

危険物施設の津波・浸水対策に関する
調 査 検 討 報 告 書

平成21年3月

総務省消防庁

はじめに

2004年12月26日に発生したスマトラ島沖地震によるインド洋大津波は、多数の人命と多くの財産を奪ったほか、沿岸部の石油貯蔵施設にも、タンクが損壊したり、タンクが数百メートルにわたって漂流したりする等の大きな被害をもたらした。

我が国においても、危険物屋外タンク貯蔵所に代表される大規模危険物施設の多くは、沿岸部に設置されており、今世紀前半にも発生するおそれがあると指摘されている東南海地震や日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震等の大地震が発生した場合には、それに伴う津波に見舞われることが懸念される。

こうしたことから、この「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討会」では、津波・浸水によって、危険物屋外貯蔵タンクにどのような被害が発生しうるかを把握するための被害予測手法を確立することを目指すとともに、タンクの周囲における被害予防・軽減対策としてどのようなものが有効であるかについての技術的な調査検討を、平成18年度から3カ年にわたって実施してきたところである。

本調査検討が今年度で最終年度を迎えたことから、本報告書ではこれまで3カ年の調査検討成果をとりまとめることとした。

大規模危険物施設に焦点をあてた津波・浸水対策に係る調査検討は、今回初めての試みであり、今後さらに自治体、事業者等の関係者においても議論を深め、効果的な対策が検討されることを期待したい。

本報告書を取りまとめることができたのは、御多忙中にもかかわらず積極的に調査検討に参加され、貴重な御意見を頂いた委員等の御尽力によるところが大であり、厚く御礼を申し上げる次第である。

この調査検討結果が、危険物施設の安全性向上に寄与することができれば幸いである。

平成21年3月

危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討会

委員長 亀井 浅道

危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討

報告書目次

はじめに

第1章 調査検討の目的と概要	1
1.1 調査検討の目的	1
1.2 調査検討の概要	3
1.3 調査検討体制	7
1.4 検討経過	11
第2章 石油タンクの津波・浸水による被害事例および対策事例調査	12
2.1 津波による被害事例調査	12
(1) 収集資料	12
(2) 津波被害事例の概要	13
(3) 調査結果のまとめ	36
2.2 津波以外の浸水被害事例調査	37
(1) 収集資料	37
(2) 高潮による被害事例の概要	38
(3) 調査結果のまとめ	45
2.3 津波・浸水対策事例調査	46
(1) 収集資料	46
(2) 一般的な（一定の地域を対象とした）津波・浸水対策	48
(3) 屋外タンク貯蔵所を対象とした津波対策事例	54
(4) 調査結果のまとめ	56
第3章 屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法の提案	57
3.1 防油堤・屋外貯蔵タンクの津波被害形態の整理	57
(1) 防油堤および屋外貯蔵タンクの津波被害形態	57
(2) 検討対象とした津波被害形態	61
3.2 防油堤・屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法	63
(1) 防油堤に作用する津波波力の算定方法	65
(2) 屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法	70
3.3 防油堤・屋外貯蔵タンクの津波被害予測手法	79
(1) 防油堤の被害形態発生可能性の評価方法	80
(2) 屋外貯蔵タンクの被害形態発生可能性の評価方法	87

3.4	屋外貯蔵タンクの津波による漂流軌跡（漂流距離）の予測手法	93
(1)	運動方程式の基礎式（一次元）	93
(2)	外力項の評価	94
(3)	水理模型実験結果との比較	95
(4)	運動方程式の二次元化	97
第4章	屋外タンク貯蔵所の津波時の被害予想	99
4.1	概要	99
4.2	モデル津波の選定	102
(1)	モデル津波の作成するに当たっての想定地震の選定	102
(2)	モデル津波の作成するに当たっての地域の選定	113
4.3	モデル津波の最大浸水深と流速の予測	115
(1)	津波伝播シミュレーションにおける解析手法の概要	115
(2)	防油堤のモデル化	117
(3)	津波伝播シミュレーションの解析条件および解析ケース	119
(4)	予測地点における津波の浸水深と流速の予測結果	120
4.4	防油堤及び屋外貯蔵タンクの被害発生可能性の予想	128
(1)	「仮定防油堤」の津波被害発生可能性の予想結果	131
(2)	「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の津波被害発生可能性の予想結果	139
(3)	「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の漂流軌跡（漂流距離）の予想結果	155
4.5	第4章のまとめ	162
第5章	屋外タンク貯蔵所の津波被害対策に関する検討	167
5.1	屋外タンク貯蔵所の津波被害対策の基本的な考え方	167
5.2	屋外タンク貯蔵所の津波被害防止対策に関連する特許	169
5.3	屋外タンク貯蔵所の滑動防止対策の検討	171
5.4	防油堤による屋外貯蔵タンクの滑動防止対策に関する検討	175
(1)	防油堤のかさ上げ及び構造強化の有効性についての検討	175
(2)	防油堤のかさ上げ及び構造強化の現実性についての検討	188
5.5	アンカーによる屋外貯蔵タンクの滑動防止対策に関する検討	199
第6章	まとめ	220
6.1	屋外タンク貯蔵所の津波・浸水被害事例及び津波対策事例	221
6.2	屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法の提案	222
6.3	我が国の屋外タンク貯蔵所における津波被害のイメージ	224
6.4	屋外タンク貯蔵所の周囲で講じる津波被害予防・軽減対策の効果と実現可能性	227
6.5	屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策の検討フローの例	230
6.6	おわりに	235

[資料編]

資料－１	タンク本体の底板抜け出しと側板下部座屈の被害予測手法 に関する検討.....	237
1.	検討概要	237
2.	津波による屋外貯蔵タンクの挙動解析	239
3.	簡易評価手法に関する検討	267
4.	まとめ	279
資料－２	防油堤に作用する津波波力に関する検討	282
1.	概要	282
2.	防油堤に作用する津波波力に関する水理模型実験の概要	284
3.	防油堤高さをパラメータとした津波波力の数値計算	287
4.	防油堤に作用する津波波力算定式の提案	300
資料－３	屋外貯蔵タンクに作用する津波波力に関する検討	303
1.	概要	303
2.	タンク本体に作用する津波波力に関する水理模型実験の概要 ..	308
3.	水理模型実験結果の再整理	312
4.	津波波力の算定方法に関する検討	317
5.	まとめ	324
資料－４	屋外貯蔵タンクの漂流距離予測手法に関する検討	326
1.	概要	326
2.	屋外貯蔵タンクの漂流距離に関する水理模型実験	327
3.	屋外貯蔵タンクの漂流軌跡予測手法の提案	357
4.	まとめ	370
資料－５	屋外タンク貯蔵所の津波対策に関する特許情報調査	373

第 1 章 調査検討の目的と概要

1. 1 調査検討の目的

我が国では、危険物屋外タンク貯蔵所（以下「屋外タンク貯蔵所」という。）に代表される大規模危険物施設の多くが、沿岸部に設置されている。国の中央防災会議では、今世紀前半にも発生する可能性が指摘されている東海地震、東南海・南海地震等、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関して、それぞれ専門調査会を設置し、それぞれの地震発生時の我が国沿岸における津波の高さを予測しているが^{1~3)}、その結果を見ると、沿岸部に設置されている屋外タンク貯蔵所の中には、これらの大地震が発生した場合には、それに伴う津波を受けるおそれのあるものがあると考えられる。

屋外貯蔵タンクの津波被害の最近の事例としては、2004 年 12 月 26 日に発生したスマトラ島沖地震によるインド洋大津波によるものがある。この事例は、この津波によって壊滅的な被害を受けたスマトラ島バンダアチェ市の近隣において、石油類貯蔵タンクが破壊されたり、タンクが数百メートルにわたって漂流したりしたものである。

このようなことから、我が国においても、沿岸部に設置されている屋外タンク貯蔵所が津波によって被害を受けるおそれは否定できるものではなく、屋外タンク貯蔵所の津波被害対策を検討しておくことは、危険物又は危険物施設による地震被害の予防・軽減を図るうえで必要であると考えられる。

また、我が国においては、過去に、台風・高潮等の浸水により屋外タンク貯蔵所に被害が発生した事例も見受けられる。最近の事例としては、国外のものではあるが、2005 年 8 月に発生したハリケーン「カトリーナ」により、米国南部の石油関連施設において石油タンクが座屈する等したものが挙げられる。

こうしたことから、大規模危険物施設についての台風・高潮等津波以外の自然現象による浸水に対する被害対策も検討する必要があると考えられる。しかしながら、津波以外の自然現象による浸水に対する被害対策の内容は、津波被害対策の内容と重なる部分が多いと考えられることから、本調査検討会では、被害対策については、津波を念頭において、調査検討を進めることとした。

言うまでもなく、津波に対しては、防波堤、海岸堤防等の津波対策等の構造物の設置によって一定範囲の地域を津波から防護することが基本的な対策であり、実際にこうした対策事例は数多く見られるほか、現在もこうした取組みが鋭意進められているところである。しかしながら、これらの津波対策等の構造物については、①有識者らによる「津波対策検討委員会提言」（平成 17 年 3 月；国土交通省）⁴⁾の「わが国の津波対策の現状と課題」で、

「津波防護機能を有する施設の適切な点検や性能評価が不十分。」と指摘されていること、②同提言の「緊急的に対応すべき具体的な目標と対策」では、「津波防護機能を有する施設の整備」が挙げられており、例えば、「重要沿岸域の港湾において、防波堤の嵩上げ等を推進」することの必要性が指摘されていること等から、津波対策等の構造物が設置されている地域であっても、屋外タンク貯蔵所が津波を受けることはありうるものと考えられる。

また、海岸保全施設で防護される区域の外に屋外タンク貯蔵所が立地している場合には、津波から屋外タンク貯蔵所を防護するものがないため、構造物の設置状況によっては、屋外タンク貯蔵所が津波を受ける可能性がある。

いったん、屋外タンク貯蔵所が津波に見舞われ、危険物が流出したり、屋外貯蔵タンクが漂流したりした場合には、被害を増大させることとなる。従って、屋外タンク貯蔵所が津波を受けることが避けられないと予想される場合には、津波対策等の構造物の設置に加えて、追加的な津波対策を屋外タンク貯蔵所の周囲において講じることにより津波被害の軽減を図ることを検討することが考えられる。

こうしたことから、本調査検討会では、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策として有効と考えられるものを具体的に提案することを「目的」として、技術的な調査検討を実施することとした。

危険物施設の津波対策は、政府全体としても、地震防災・減災上の課題の一つとしてとらえられている。平成 18 年 2 月に中央防災会議においてとりまとめられた「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震大綱」⁵⁾では、「石油・LPG等の危険物・可燃物の貯蔵施設が津波により損傷し、石油・LPG等が漏洩・流出することによる被害拡大を防ぐため、国、地方公共団体、関係事業者は、施設の強化・漏洩防止措置や、周辺地域におけるオイルフェンスの配備等の拡散防止対策の強化を促進する。」と記されている。

さらに、同じく中央防災会議において平成 20 年 12 月にとりまとめられた「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略」⁶⁾では、「国は、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害を受けるおそれのある地方公共団体に対して、減災目標の意義、必要性について認識を共有しつつ、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略を踏まえて、数値目標、達成時期、対策の内容等を明示する「地域目標」を定めることを要請し、地方公共団体は「地域目標」の設定に努めるものとする。」ということがうたわれているなど、地域レベルにおける、津波を含む地震防災対策の検討が進められようとしているところでもある。

本調査検討結果は、このような日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に対する地方公共団体等の取り組みや、津波を伴う他の想定大地震に対する取り組みを進めるうえで役立つものと考えられる。

1. 2 調査検討の概要

屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策を考えるうえでは、まず、我が国の屋外タンク貯蔵所では、どのような津波被害が発生しうるかといった「被害イメージ」を持つておく必要がある。津波被害の予想については、中央防災会議が、東南海・南海地震等、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関して、それぞれ設置した専門調査会において、それぞれの想定地震についての津波被害想定を行っているが^{2,7)}、その津波被害想定は、津波による死者数及び建物被害数を想定しているものであり、屋外タンク貯蔵所に関する被害想定は行われていない。そこで、本調査検討会では、我が国の屋外タンク貯蔵所の津波到来時の「被害イメージ」を得るため、我が国周辺で将来発生しうる地震の規模及び震源域の位置を考慮して、我が国で屋外タンク貯蔵所が立地している場所にどの程度の大きさの津波が到来するかを予測し、屋外タンク貯蔵所が予測される津波を受けた時にどのような被害が発生しうるかを予想することとした。

ところが、屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法については、必ずしも確立されたものがあるとは言えない状況にある。そのため、屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法についても、その提案に向けて本調査検討会において取り組むこととした。

本調査検討会では、「1. 1 調査検討の目的」で示した「目的」の達成に向けて、まず、過去における屋外タンク貯蔵所等に発生した津波及び台風・高潮等の浸水による被害事例と屋外タンク貯蔵所等を対象とした津波対策の事例を整理することとした。この結果は、第2章で報告する。

次に、現時点では確立されたものがあるとは言えない、屋外タンク貯蔵所（防油堤及び屋外貯蔵タンク）の津波被害予測手法について、過去に提案されているものを整理するとともに、防油堤及び屋外貯蔵タンクに作用する津波波力算定式を新たに構築すること等により、一連となった屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法を提案することとした。ここで、新たな津波波力算定式は、既往の津波波力算定式では実際の津波波力よりも過大なものが見積もられることとなり、既往の津波波力算定式よりも精確な津波波力算定式が必要であると考えられたことから、技術的な調査検討を実施して構築したものである。また、本調査検討会では、津波による屋外貯蔵タンクの漂流に関する水理模型実験等を通じた技術的調査検討も行っており、この成果から、屋外貯蔵タンクの漂流軌跡（漂流距離）を予測する手法を新たに提案することとした。本報告書で提案する津波被害予測手法は第3章に記される。

次のステップとして、上述の「被害イメージ」を作成する作業を実施した。

「被害イメージ」作成の作業は、①我が国周辺で将来発生しうる大地震で、津波を伴うおそれのあるものが発生した場合において、我が国で屋外貯蔵タンクが立地している地域に到来する津波の最大浸水深及び最大流速等を津波伝播の数値シミュレーションによって予測し、②防油堤及び屋外貯蔵タンクが当該津波を受けた時に発生しうる被害を本報告書

で提案する津波被害予測手法を用いて予想する、という手順で実施した。

ここでの「被害イメージ」は、実際に設置されている個々の屋外タンク貯蔵所の津波被害を予測するという意味での「被害想定」とは異なるものである。これは、本調査検討事業の目的が、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策として有効と考えられるものを提案することであって、具体的にどの屋外タンク貯蔵所でどのような津波被害が見込まれるかという「被害想定」までは、必ずしも必要ではないと考えられたためである。また、ここで用いられる屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法は、あくまでも提案段階のものであり、具体的な「被害想定」を行うには、その確度等について、さらなる検討が必要と考えられるという技術上の理由もある。

このようなことから、①の作業は、実際の地形等を忠実に模擬するかわりに、周辺の陸域地形を均一な地盤高さに変更して実施した。また、②の作業では、津波被害予測を実施する地域に実際に立地している防油堤及び屋外貯蔵タンクを対象として津波被害予想を行うのではなく、代表的と考えられる諸元を有する防油堤及び屋外貯蔵タンクを対象として津波被害予想を行った。

具体的には、①の作業で、「我が国周辺で将来発生しうる大地震で、津波を伴うおそれのあるもの」として取り上げる地震は、中央防災会議から想定地震の震源モデル等が示されていること等の理由から、(a)想定東海地震、(b)想定東海・東南海・南海地震、(c)想定日本海溝・千島海溝における約 500 年間隔の地震、(d)明治三陸地震の再来、の 4 つとした。同じく①の作業の「屋外貯蔵タンクが立地している地域」については、上記の 4 つの想定地震のうちのいずれかにより、大きな津波が到来するおそれがあるとされる地域で、現に屋外タンク貯蔵所が立地しているもののうちから 8 つの地域を選んだ。また、②の作業では、容量 1,000 kℓと容量 10,000 kℓの仮定の屋外貯蔵タンクを対象として津波被害予想を行った。

以上の作業で得られた「被害イメージ」、すなわち、防油堤及び屋外貯蔵タンクの津波被害予想結果は第 4 章で報告する。

次に、このようにして得られた「被害イメージ」等に基づいて、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策として有効と考えられるものを具体的に提案するための作業を行った。

上記の「被害イメージ」からわかったことの一つは、屋外貯蔵タンクに津波被害が発生するとすれば、それは「滑動」からということであった。すなわち、「滑動」は、他の被害形態（「浮き上がり」、「転倒」等）に比べて、小さな津波波力でも発生しうるものであり、いったん「滑動」が始まれば、他の被害形態は発生しにくくなると考えられたものである。また、「被害イメージ」作成の結果、いったん「滑動」が始まった場合において、何も障害物等がなければ、タンクは数百メートル程度漂流しうるということも示唆された。

このようなことから、屋外貯蔵タンクの津波対策においては、「滑動」の防止が最重要であると認識され、このための対策として、屋外タンク貯蔵所において有効かつ実施可能なものにはどのようなものが考えられるかということに調査検討の主眼が置かれた。

なかでも、防油堤については、仮に、防油堤が津波により損壊等の被害を受けなければ、防油堤は防油堤内の津波浸水深及び津波の流速を低減させ、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を軽減する役割を果たす場合があることが判明した。このため、①防油堤をかさ上げすれば、どの程度の屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減効果が見込まれるか、②防油堤をどのように設計すれば、津波により損壊等の被害を受けないものになるか、について技術的な調査検討が実施された。また、屋外貯蔵タンクをアンカーで固定することも、「滑動」防止の対策案として挙げられるため、アンカーを打設することにより、どの程度の屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減効果が見込まれるかについても技術的な調査検討が実施された。

以上の結果は、第5章で述べる。

最後に、以上の調査検討結果を踏まえ、屋外タンク貯蔵所の周囲において津波対策を講じる場合の検討手順（検討フロー）を例示することを、本調査検討の最終的な成果とした。第6章では、本調査検討に係る結果をまとめた後、「検討フロー」を例示する。

以上で述べた「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討」の概要、すなわち本報告書の全体構成を図1.2-1に示す。

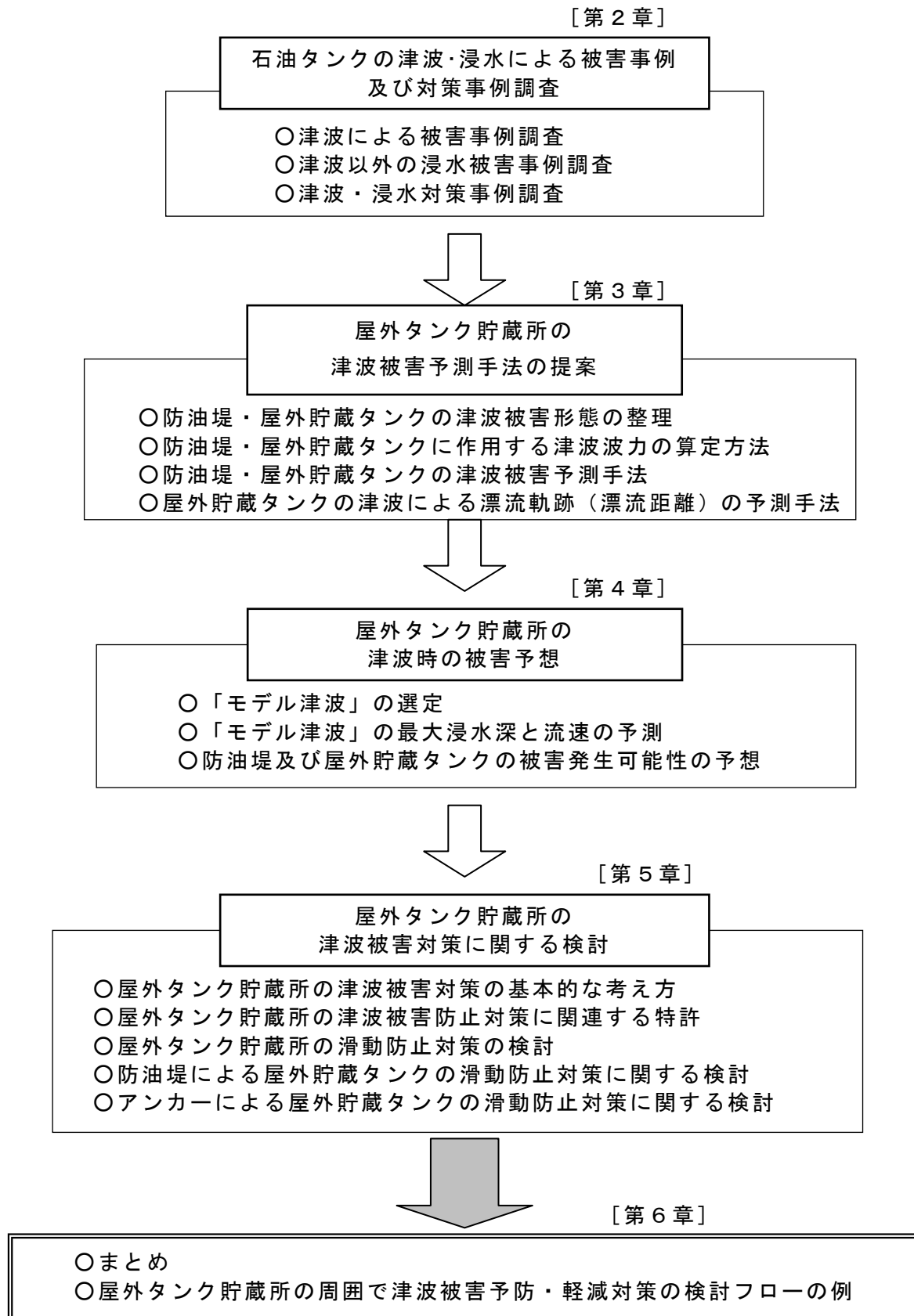


図 1.2-1 「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討」の概要

1. 3 調査検討体制

本調査検討の実施にあたっては、検討内容、方法、結果の妥当性を検証するために、専門家・有識者で構成する「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討会」を開催し、本報告書を取りまとめた。

平成 20 年度の調査検討会の構成メンバーは次のとおりである。なお、参考として、次頁以降に平成 18 年度、平成 19 年度の調査検討会の構成メンバーを示す。

平成 20 年度 危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討会 名簿

委員長	亀井 浅道	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター特任教員(教授)
委員	今村 文彦	東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター教授
	清宮 理	早稲田大学理工学部社会環境工学科教授
	座間 信作	消防大学校消防研究センター地震等災害研究室長
	鳴田 謙二	総務省消防庁危険物保安室長
	高橋 誠	岩手県総務部総合防災室防災消防担当課長
	松本 剛	三重県防災危機管理部消防保安室予防保安グループ主査
	清水 豊彦	高知県危機管理部消防政策課長
	牧野 正博	釧路市消防本部予防課長
	鳥山 啓一	仙台市消防局警防部予防課長
	伊藤 正行	川崎市消防局予防部危険物課長
	平野 雅俊	静岡市消防防災局消防部参与兼予防課長
	横山 健一	石油連盟技術環境安全専門委員会消防防災部会長
	中村 隆	石油化学工業協会
	石村 雅士	電気事業連合会
	小林 俊彦	社団法人日本産業機械工業会
	内田 喜訓	危険物保安技術協会タンク審査部
	鎗田 哲也	鹿島建設株式会社
事務局	畑山 健	総務省消防庁危険物保安室
	赤塚淳一郎	総務省消防庁危険物保安室
	佐伯 吉憲	総務省消防庁危険物保安室
	阿部 光信	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部
	藤井 直樹	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部
	阪内 茂記	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部
	大森 政則	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部

[参考]

平成 18 年度 危険物施設に係る津波・浸水対策検討会 名簿

委員長	亀井 浅道	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター教授
委員	今村 文彦	東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター教授
	清宮 理	早稲田大学理工学部社会環境工学科教授
	座間 信作	消防大学校消防研究センター地震等災害研究室長
	畑山 健	消防大学校消防研究センター施設等災害研究室主任研究員
	渡邊 洋己	総務省消防庁危険物保安室長
	山岡 正紹	三重県地震対策室長
	中本 敦也	仙台市消防局警防部予防課長
	富岡 隆	川崎市消防局予防部危険物課長
	市川 芳正	静岡市消防防災局消防部予防課長
	加藤 清	四日市市消防本部予防保安課長
	船樹 敏正	釧路市消防本部予防課長
	速水 正	三重紀北消防組合消防本部予防課長
	中村 文雄	御坊市消防本部予防課長
	佐藤 康雄	危険物保安技術協会タンク審査部長
	市川 和登	石油連盟技術環境安全専門委員会消防防災部会長
	相本 英樹	石油化学工業協会
	石村 雅士	電気事業連合会工務部副部長
	川口 和昭	日本産業機械工業会タンク部会技術分科会長
事務局	秋葉 洋	総務省消防庁危険物保安室理事官
	松本 穂高	総務省消防庁危険物保安室危険物第一係長
	三根 徳男	総務省消防庁危険物保安室パイプライン係長
	山岸 雅臣	総務省消防庁危険物保安室危険物第一係総務事務官
	鈴木 健志	総務省消防庁危険物保安室危険物第一係総務技官
	樋口 豊久	東電設計株式会社土木本部技術開発本部長
	阿部 光信	東電設計株式会社土木本部港湾・海岸部
	藤井 直樹	東電設計株式会社土木本部港湾・海岸部
	太田 孝平	東電設計株式会社土木本部構造・耐震技術部
	大森 政則	東電設計株式会社土木本部港湾・海岸部

[参考]

平成 19 年度 危険物施設に係る津波・浸水対策検討会 名簿

委員長	亀井 浅道	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター教授
委員	今村 文彦	東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター教授
	清宮 理	早稲田大学理工学部社会環境工学科教授
	座間 信作	消防大学校消防研究センター地震等災害研究室長
	木原 正則	総務省消防庁危険物保安室長
	阿部 一哉	岩手県総務部総合防災室防災消防担当課長
	木本 雅仁	三重県防災危機管理部コンビナート防災特命監
	半田 和雄	和歌山県総務部危機管理局消防保安課長
	岡林美津夫	高知県危機管理部消防政策課長
	牧野 正博	釧路市消防本部予防課長
	中本 敦也	仙台市消防局警防部予防課長
	伊藤 正行	川崎市消防局予防部危険物課長
	市川 芳正	静岡市消防防災局消防部予防課長
	内田 喜訓	危険物保安技術協会タンク審査部長
	横山 健一	石油連盟技術環境安全専門委員会消防防災部会長
	加藤 利一	石油化学工業協会
	石村 雅士	電気事業連合会工務部副部長
	山内 芳彦	日本産業機械工業会
	川口 和昭	日本産業機械工業会
事務局	畑山 健	総務省消防庁危険物保安室課長補佐
	赤塚淳一郎	総務省消防庁危険物保安室パイプライン係長
	木塚 暁喜	総務省消防庁危険物保安室総務事務官
	阿部 光信	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部
	藤井 直樹	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部
	久保 賀也	東電設計株式会社土木本部耐震技術部
	大森 政則	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部

津波によるタンク構造被害WG 名簿

主査	亀井	浅道	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター	教授
委員	山内	芳彦	日本産業機械工業会	
委員	谷内	恒平	日陽エンジニアリング株式会社タンクシステム部	
委員	畑山	健	消防庁危険物保安室課長補佐	
委員	赤塚	淳一郎	消防庁危険物保安室パイプライン係長	
委員	木塚	暁喜	消防庁危険物保安室総務事務官	
事務局	阿部	光信	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部	
	久保	賀也	東電設計株式会社土木本部耐震技術部	
	藤井	直樹	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部	
	大森	政則	東電設計株式会社土木本部社会基盤推進部	

1. 4 検討経過

(1) 平成 18 年度

第 1 回検討会（平成 18 年 9 月 7 日開催）

第 2 回検討会（平成 18 年 12 月 15 日開催）

第 3 回検討会（平成 19 年 3 月 9 日開催）

(2) 平成 19 年度

第 1 回検討会（平成 19 年 9 月 5 日開催）

第 2 回検討会（平成 19 年 12 月 20 日開催）

第 3 回検討会（平成 20 年 3 月 13 日開催）

《津波によるタンク構造被害WG》

第 1 回WG（平成 19 年 10 月 18 日開催）

第 2 回WG（平成 19 年 12 月 5 日開催）

(3) 平成 20 年度

第 1 回検討会（平成 20 年 9 月 3 日開催）

第 2 回検討会（平成 20 年 12 月 18 日開催）

第 3 回検討会（平成 21 年 2 月 27 日開催）

文 献

- 1) 中央防災会議東海地震専門調査会報告，平成 13 年 12 月 11 日，中央防災会議「東海地震専門調査会」
- 2) 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」（第 14 回），資料 2，「東南海、南海地震の被害想定について」，平成 15 年 9 月 17 日，中央防災会議事務局
- 3) 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」（第 10 回），資料 1，「強震動及び津波高さの推計について」，平成 17 年 6 月 22 日，中央防災会議事務局
- 4) 「津波対策検討委員会提言」，平成 17 年 3 月，津波対策検討委員会
- 5) 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震大綱」，平成 18 年 2 月 17 日，中央防災会議
- 6) 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略」，平成 20 年 12 月 12 日，中央防災会議
- 7) 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定について」，平成 18 年 1 月 25 日，中央防災会議事務局

第2章 石油タンクの津波・浸水による被害事例および対策事例調査

過去に、大規模地震に伴って発生する津波や台風・低気圧等に起因する高潮・河川氾濫等は、沿岸部の居住施設や公共施設、産業施設に浸水被害をもたらしてきた。このような浸水被害を軽減するために、海岸に海岸堤防（防潮堤）を設置して地域一帯を津波・浸水から防護したり、個別の施設で津波・浸水の影響を軽減する対策を講じたりするなど、さまざまな対策が実施されてきている。

ここでは、石油タンクで発生しうる津波・浸水被害の形態を把握するとともに、石油タンクについての津波・浸水対策を検討するうえでの基礎的資料を得るために、これまでに国内外の津波等による石油タンクの被害事例及びすでに実施又は検討されている津波・浸水対策事例を収集・整理した。情報収集の対象と津波・浸水対策事例には、タンクを対象としたものに限らず、一般的なものも含めることとした。

2. 1 津波による被害事例調査

(1) 収集資料

津波による石油タンクへの被害事例が記載されている資料の一覧を表 2.1-1 に示す。また、地震・津波については表 2.1-2 を参考とした。

表 2.1-1 津波による屋外タンク貯蔵所への被害事例に関する資料

No.	文献名	著者	出典	発表年
1-1	昭和21年南海大地震報告 津波編	海上保安庁水路部	水路要報 創刊号	1948
1-2	The Great Alaska Earthquake of 1964	Oceanography and Coastal Engineering	National Academy of Sciences	1972
1-3	津波来襲時の石油に関連する災害	首藤伸夫	東北大学工学部 津波防災実験所研究報告 第4号	1987
1-4	新潟地震火災に関する研究	消防庁	非常火災対策の調査研究報告書	1964
1-5	1964年新潟地震津波にみる港湾域での複合災害の実態と今後の課題	岩渕洋子・今村文彦・越村俊一	海岸工学論文集, 第53巻	2006
1-6	スマトラ地震の津波被害による屋外タンク貯蔵所等の被害事例調査報告	後藤洋三	Safety & Tomorrow No.104	2005
1-7	スマトラ島南西沖地震・津波災害現地調査	スマトラ島沖地震津波被害に対する詳細調査団	土木学会	2006

表 2.1-2 地震・津波に関する参考資料

No.	文献名	著者	出典	発表年
1-8	日本被害津波総覧 【第2版】	渡辺偉夫	東京大学出版会	1998

(2) 津波被害事例の概要

表 2.1-1 の収集資料に報告されている津波は次の 8 つである。

- (a) 1944 年 東南海地震津波
- (b) 1946 年 南海地震津波
- (c) 1960 年 チリ地震津波
- (d) 1964 年 アラスカ地震津波
- (e) 1964 年 新潟地震津波
- (f) 1968 年 十勝沖地震津波
- (g) 1983 年 日本海中部地震津波
- (h) 2004 年 スマトラ島沖地震津波

以下に、これらの津波による屋外タンク貯蔵所への被害の概要を述べる。

(a) 東南海地震津波 (1944 年 12 月 7 日発生)

① 地震・津波の概要

東南海地震の震源は熊野灘沖で、地震の規模を示すマグニチュードは 7.9 であった。各地の震度は図 2.1-1 に示すとおりで、三重県北部で震度 6 を、東海から近畿にかけての広い地域で震度 5 を観測した。

各地の津波高さは図 2.1-2 に示すとおりで、三重県南部で 6.0～7.0m を記録した。

② 石油タンクの被害

文献 1-3 によれば、この津波による石油タンクの被害は次のとおりである。

- ・ 三重県二木島の重油タンク（石油缶 3,000～4,000 個分の大きさ*）が、高さ 7m の津波で 300m 以上押し流された。この重油タンクは、当時は空であった。

*文献には石油缶一個の容量は記載されていない。仮に、容量を 18 リットルとすると、押し流された重油タンクの容量は 50～70 キロリットルということになる。

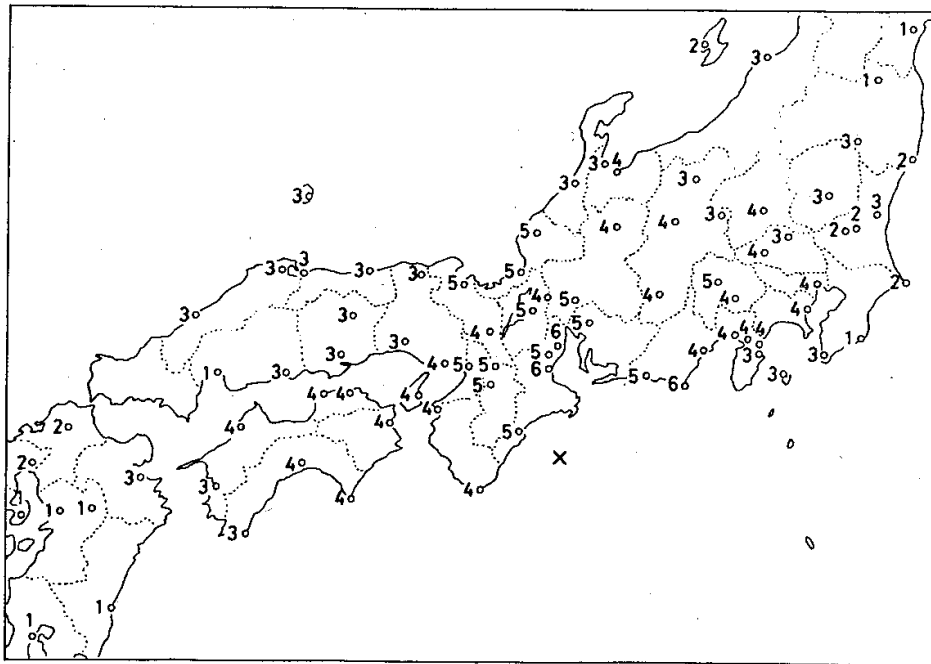


図 2.1-1 東南海地震の震度分布（文献 1-8 から引用）

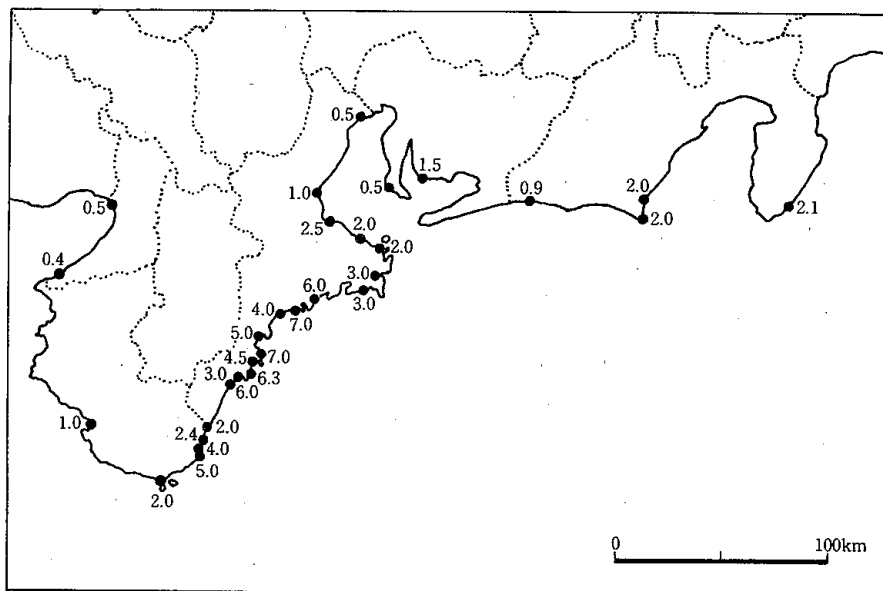


図 2.1-2 東南海地震の津波高さ分布（文献 1-8 から引用）

(b) 南海地震津波(1946年12月21日発生)

① 地震・津波の概要

南海地震の震源は紀伊半島南方沖で、地震の規模を示すマグニチュードは8.0であった。各地の震度は図 2.1-3 に示すとおりで、高知県、徳島県、和歌山県、三重県の広い範囲で震度5を記録した。

各地の津波高さを図 2.1-4 に示すとおりで、三重県から徳島県、高知県の沿岸で4.0～6.0mを記録した。

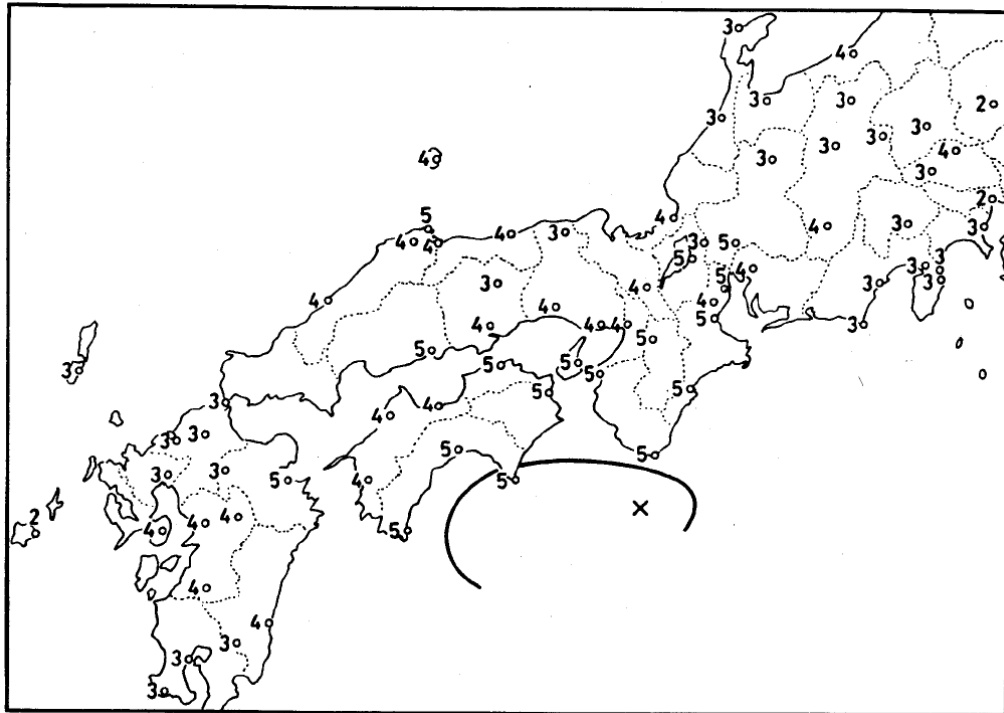


図 2.1-3 南海地震の震度分布 (文献 1-8 から引用)

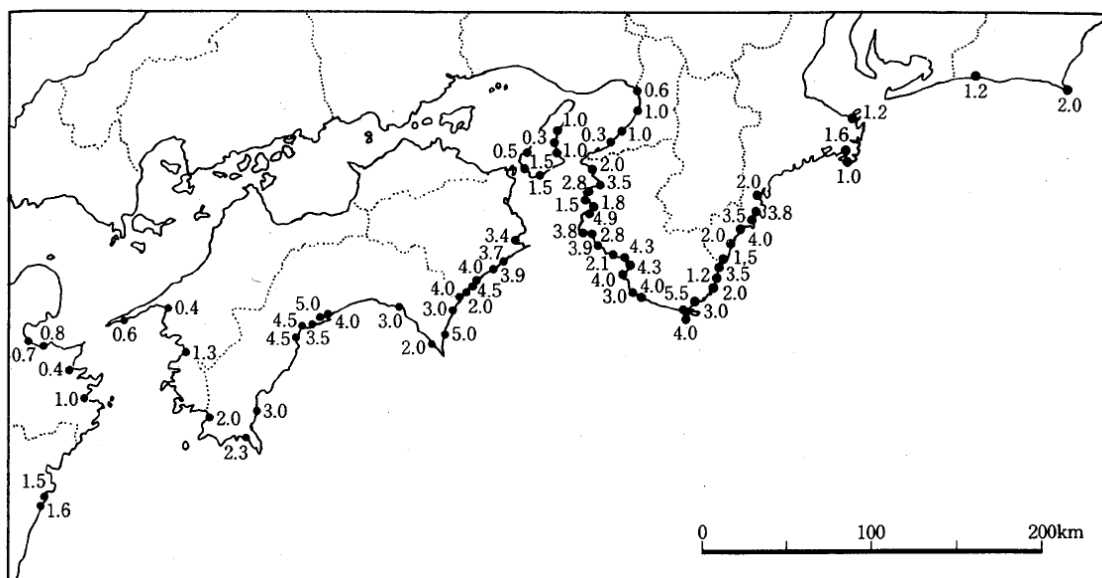


図 2.1-4 南海地震の津波高さ分布 (文献 1-8 から引用)

② 石油タンクの被害

文献 1-1 によれば、この津波の状況および石油タンクの被害は次のとおりである。

- ・最初わずかに引いて、その後第 1 波到来し、初めは高潮性であったが、岸壁に上ってから急に白波を伴った。大きい波は 3 回押し寄せ、第 3 波が最大であった。津波の高さは和歌山県の下津湾湾奥の下津地域では 3.2m、脇濱地域では 3.27m であった。
- ・下津地域では、重油タンクが海岸側に 4 m 滑動した。これは、引返し波のためと思われる。

(c) チリ地震津波（1960 年 5 月 22 日発生）

① 地震・津波の概要

チリ地震はチリ中部西方海上で発生した世界でも最大級の地震で、地震の規模を示すマグニチュードは 9.5 であった。

この地震による津波は、広く太平洋全域に伝播し、日本でも地震発生から約 22 時間後に津波が観測され、特に東北地方の太平洋岸に大きな被害をもたらした。

日本各地の津波高さは図 2.1-5 に示すとおりで、岩手県野田町玉川で 8.1m、同県陸前高田市脇之浜で 6.1m、宮城県唐桑町大沢で 5.1m 等を記録した。

② 石油タンクの被害

文献 1-3 によれば、この津波による石油タンクの被害は次のとおりである。

- ・岩手県大槌白石では痕跡高 3.8m で、石油タンクが水に浮いて押し出されて傾いていた。
- ・岩手県玉ノ脇港では、石油タンクの 2.5m 高さに痕跡があったが、被害報告はない。

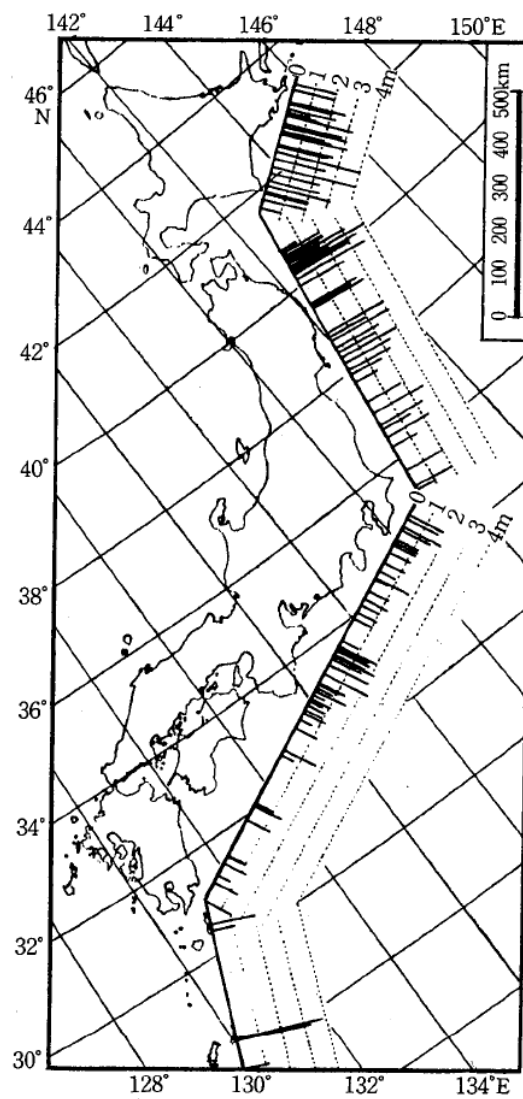


図 2.1-5 チリ地震の津波高さ分布（文献 1-8 から引用）

(d) アラスカ地震津波（1964年3月28日発生）

① 地震・津波の概要

アラスカ地震は、図 2.1-6 のアラスカのプリンス・ウィリアム湾において発生した巨大地震で、地震の規模を示すマグニチュードは 8.4 である。

この地震では地盤変動による津波と、地滑りによる津波の 2 種類の津波が発生したとされ、アラスカ州 Valdez では津波の高さは 10m 以上であった。アラスカ州 Whittier では、第 2 波、第 3 波が大きく、津波高さは 10m から 13m あった。

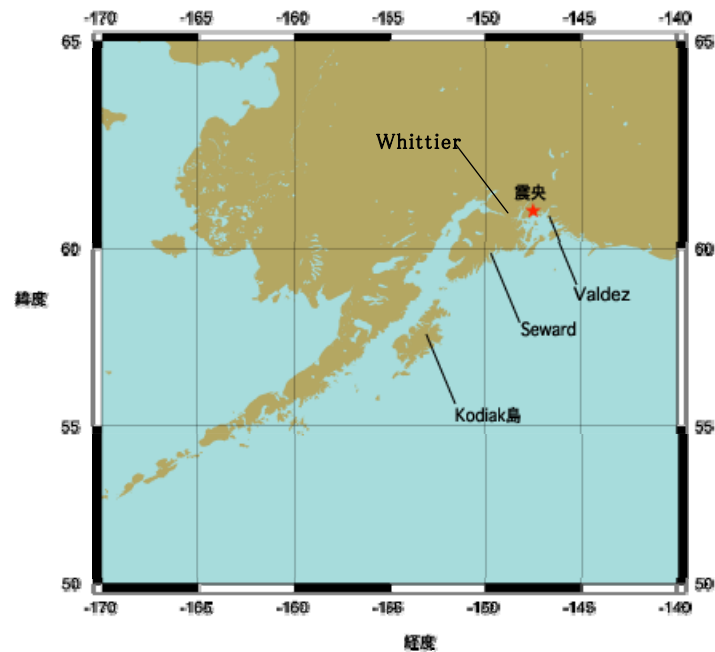


図 2.1-6 アラスカ地震の波源域（京都大学防災研究所 巨大災害研究センター：
http://inpaku.dpri.kyoto-u.ac.jp/jp/think/sea/tsunami_us/contents/1964alaska.html に一部追記）

② 石油タンクの被害

この津波による石油タンクの被害は次のとおりである。

- ・アラスカ州 Valdez では、地震によってタンクからガソリンやアスファルトが流出し、流出した油は津波によって Valdez 港の広範囲に拡散し、火災が発生した（図 2.1-7）。着火源は、電線が浸水した際のスパークであると推定されている。この火災等により、ウォーターフロントが破壊された。（文献 1-2）
- ・アラスカ州 Whittier では、地震と津波によって 13 基のタンクが壊滅的な被害を受け、11 基は津波によって、数メートル滑動し、衝突によって損傷した（図 2.1-8）。津波によってタンクは延焼し、油は燃えながら陸上や湾内にも流され、その後の爆発はタンク施設全体を巻き込んだ。火災エリアは 8km^2 であった。（文献 1-2）
- ・アラスカ州 Seward では、地震が始まって 30～40 秒経ったころ、タンクのパイプとバルブが壊れ、油が流出し始めた。タンクが傾き、海に向かってすべり始めると轟

音と共に火を発し 70m 近い火柱が立った。津波で運ばれた火は、他のタンクや鉄道の油槽貨車のタンクに次々と火災を発生させ、写真 2.1-1 の火災は数日間続いた。(文献 1-2)

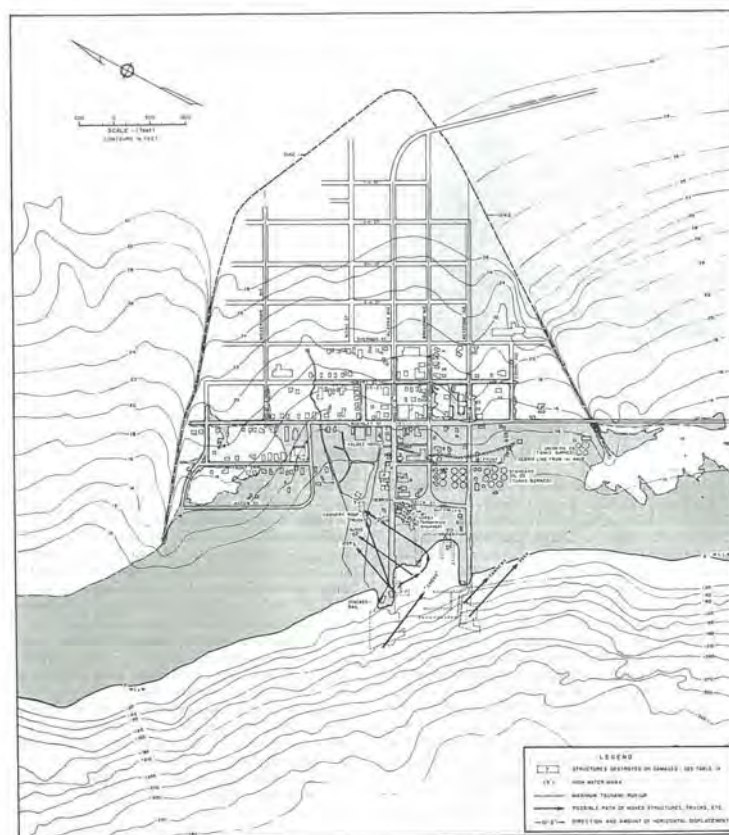
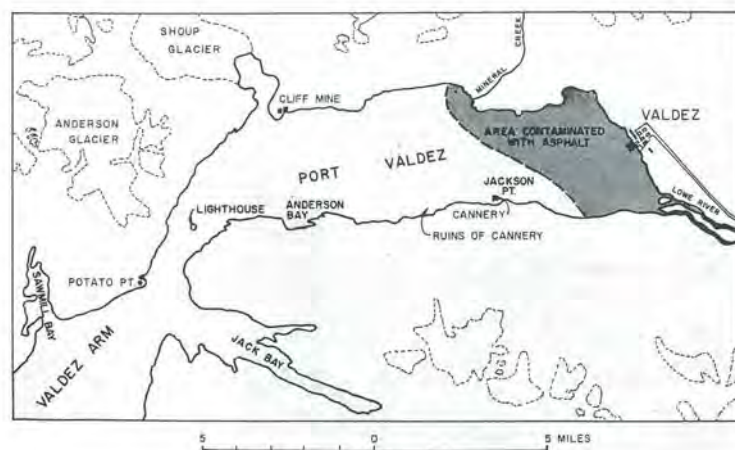


図 2.1-7 Valdez におけるアスファルト流出範囲とタンクの位置
(文献 1-2 より引用)



写真 2.1-1 Seward での津波による火災の状況
(文献 1-2 より引用)

(e) 新潟地震津波(1964年6月16日発生)

① 地震・津波の概要

新潟地震の震源は新潟県北部沿岸で、地震の規模を示すマグニチュードは7.7であった。各地の震度は図 2.1-9 に示すとおりで、新潟県と山形県の西部一帯で震度5以上が観測された。

各地の津波の高さは図 2.1-10 に示すとおりで、新潟県と山形県の沿岸域で最高となり、平均海面上3~4mに達した。

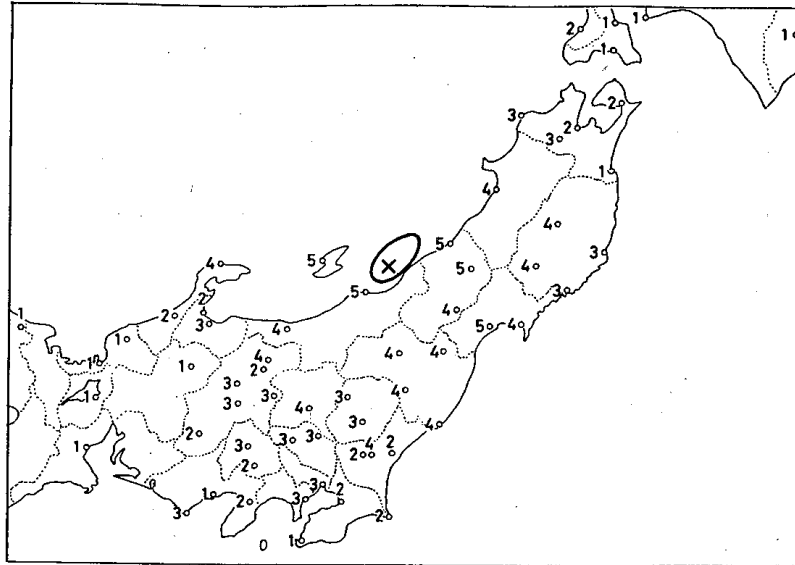


図 2.1-9 新潟地震の震度分布 (文献 1-8 から引用)

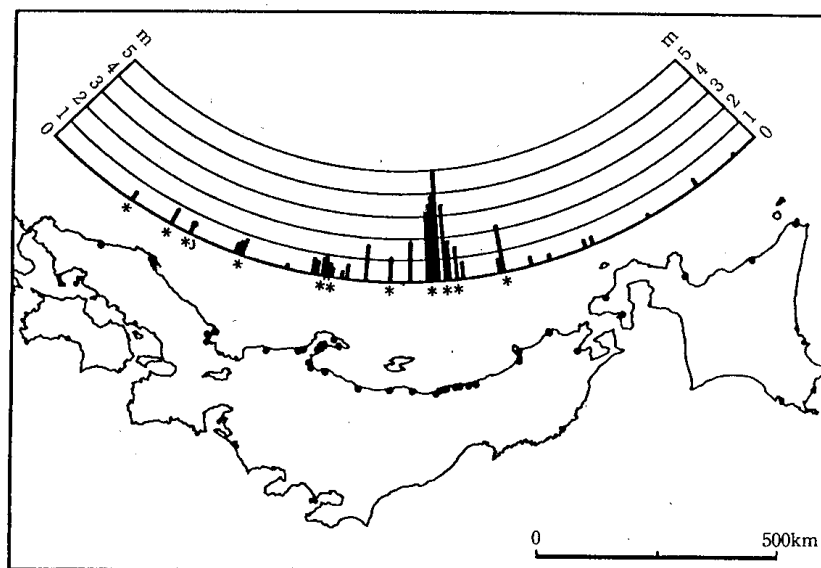


図 2.1-10 新潟地震の津波高さ分布 (文献 1-8 から引用)

② 石油タンクの被害

この地震による石油タンクの被害は次のとおりである。

- ・ 図 2.1-11 に示す「第 1 出火点」では、地震でタンク（容量 30,000 kℓ）上部から原油が溢れ出すとともに、タンク火災が発生した（写真 2.1-2）。（文献 1-4）・ 地震後約 5 時間経って、図 2.1-11 に示す「第 2 出火点」で出火があり、地震によって溢れ出た地下と津波の浸水により水面上に浮かんだガソリン等の油類に引火し、火は延焼拡大した（写真 2.1-3）。（文献 1-4）

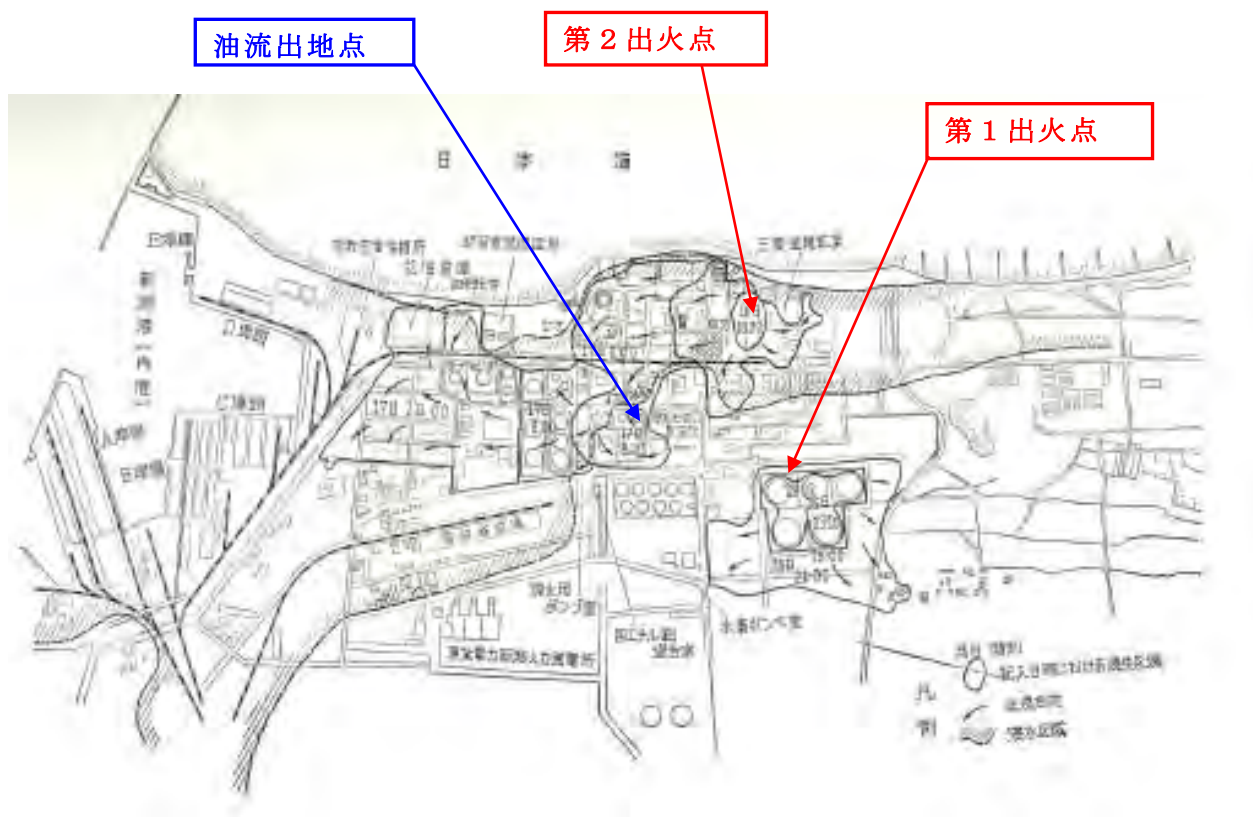


図 2.1-11 延焼状況および焼失、浸水区域図（文献 1-4 に一部追記）



写真 2.1-2 地震直後の第1火災発火（文献 1-4 より引用）

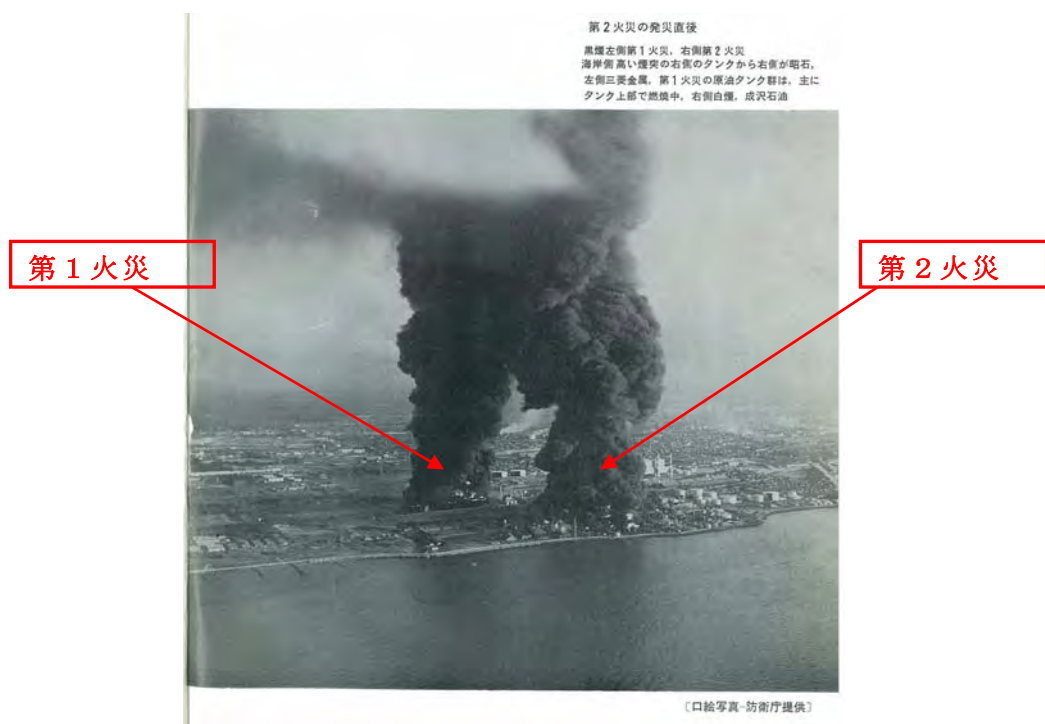


写真 2.1-3 地震から5時間後の第2火災発火（文献 1-4 に一部追記）

岩渕ら（2006）（文献 1-5）は津波と漏洩重油の複合災害について検討し、津波の浸水状況（たとえば、図 2.1-11）や油痕跡記録から、地震動により損傷したタンクから流出した重油の流出源と重油の拡がりの関係を調査した（図 2.1-12）。調査から、流出源 A と B から漏えいした重油は、石油コンビナート施設内のみならず、海上や河川へも流出し、低地の市街地にも流入したことを見出している。

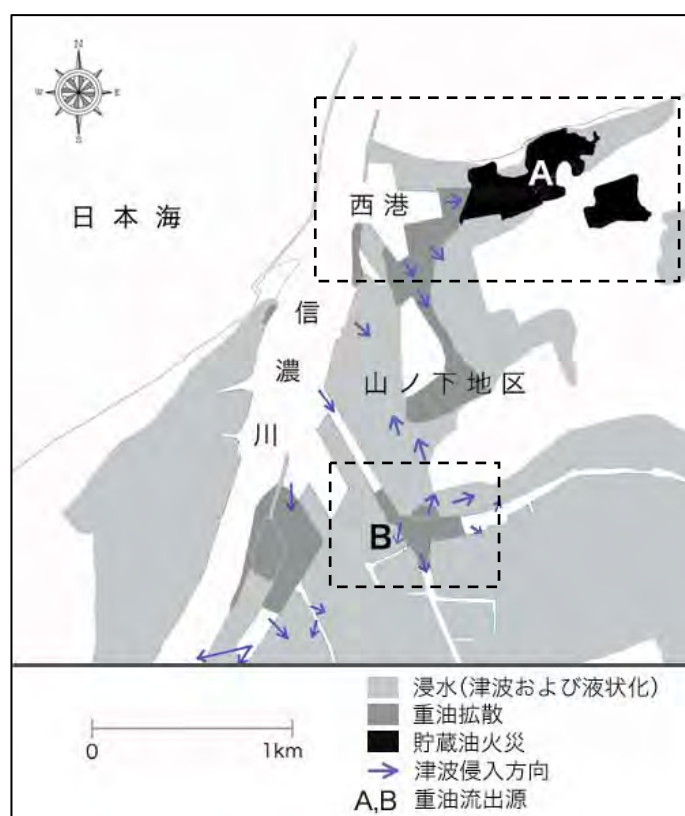


図 2.1-12 浸水域と油の拡がった領域（文献 1-5 から引用）

さらに岩渕ら（2006）（文献 1-5）は、以下の調査結果も得ている。

- ・ 流出源 A においては、油流出による複合災害に関する写真などから得られた断片的な情報を図 2.1-13 として時系列で示し、油拡散の主因として、津波が敷地内各所で重油を運搬していたと推定している。
- ・ 流出源 B においては、航空写真によって、地震後 22 時間の重油流出状況を確認し、防油堤内の油の滞留状況、河川遡上による油の拡がり状況を確認している。また、3 日後、5 日後と 10 日後の撮影から漏洩後の長期間にわたって油が回収されず焼島潟の水面上を浮遊していたことを確認している。

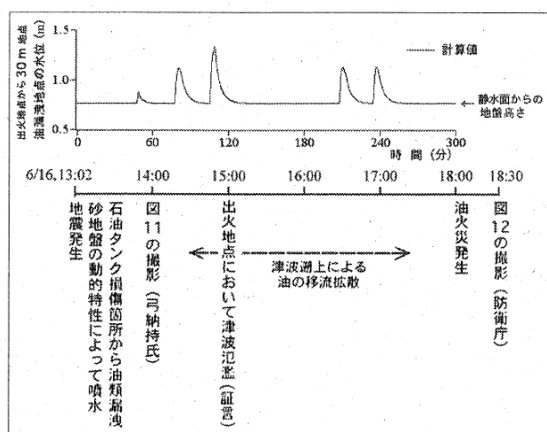


図-10 流出源 A 付近の津波陸上遡上と油拡散の推定時刻



図-11 最大波高をもつ第3波来襲の1時間前 (昭和39年6月16日 14:00頃 撮影：弓納持氏)



図-12 第2火災発生直後 (昭和39年6月16日 18:30頃 撮影：防衛庁)

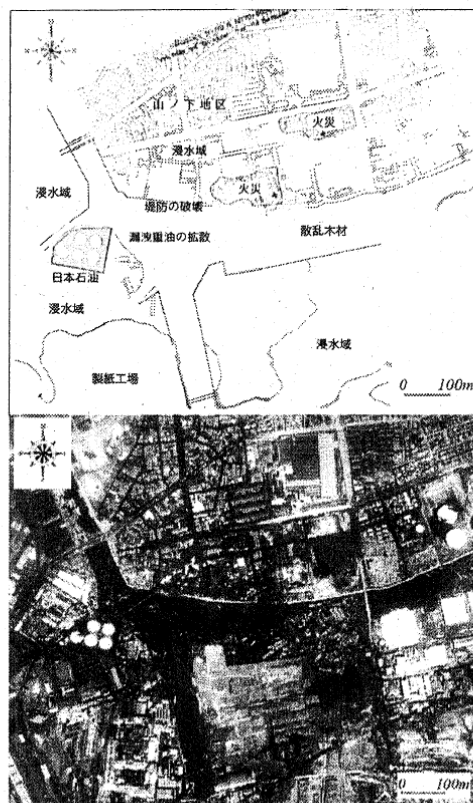


図-13 地震発生22時間後の流出源 B から焼島潟への重油流出と材木散乱状況 (提供：国際航業)

図 2.1-13 流出源 A, B における油流出調査結果 (文献 1-5 から引用)

(f) 十勝沖地震津波（1968年5月16日発生）

① 地震・津波の概要

1968年十勝沖地震の震源は三陸のはるか沖で、地震の規模を示すマグニチュードは7.9であった。各地の震度は図2.1-14に示すとおりで、青森県東部と北海道南西部で震度5を観測した。

東北地方北部の津波高さは図2.1-15に示すとおりで、現地調査では、青森県八戸市北沼で4.1m、岩手県岩泉町茂師で4.0m、同県宮古市赤前で4.3mの津波高さであった。

② 石油タンクの被害

文献1-3によれば、この津波による石油タンクの被害は次のとおりである。

- ・北海道日高支庁えりも町庶野では、重油タンクの底部に亀裂が生じ、重油が流出した。

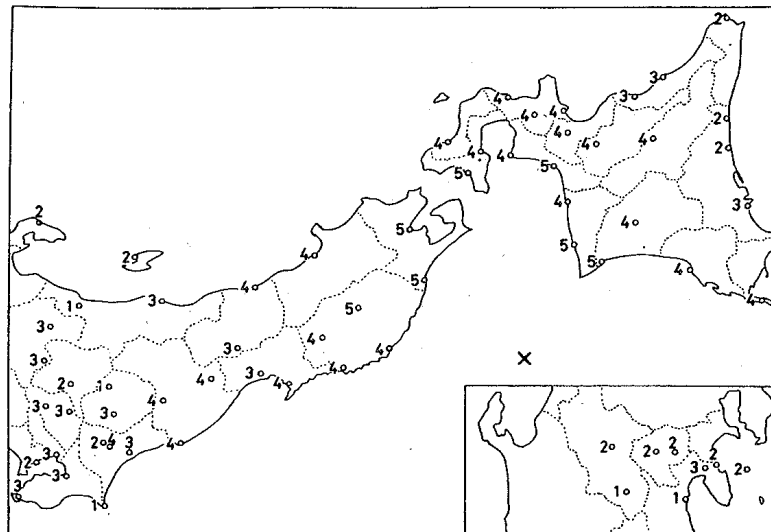


図 2.1-14 十勝地震の震度分布（文献 1-8 から引用）

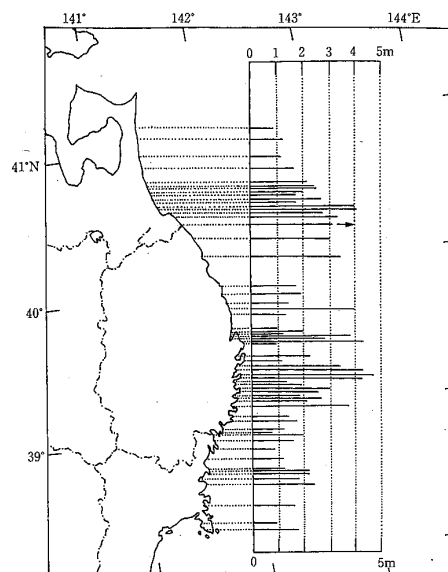


図 2.1-15 十勝地震の津波高さ分布（文献 1-8 から引用）

(g) 日本海中部地震津波（1983年5月26日発生）

① 地震・津波の概要

日本海中部地震は秋田県能代の西方約100kmの付近で発生した地震で、地震の規模を示すマグニチュードは7.7である。各地の震度は、青森県深浦町及び同県むつ市付近で震度5、同じく青森県青森市及び同県八戸市付近で震度4を記録した。

各地の津波高さは図2.1-16に示すとおりで、現地調査では、北海道の奥尻島ホヤ石で6.53m、青森県の十三湖で6.14m、秋田県峰浜村で10mを越える12.98mの津波高さであった。

② 石油タンクの被害

文献1-3によれば、この津波による石油タンクの被害は次のとおりである。

- ・韓国遠徳邑臨院では、直径7m、高さ8m、容積130klの軽油タンクが、円形のコンクリート基礎から離れ、約19m押し流されて、入っていた軽油48klが溢れ出た。ここでの津波の水位は海面上3.6～4.0m、地上約2mであった。

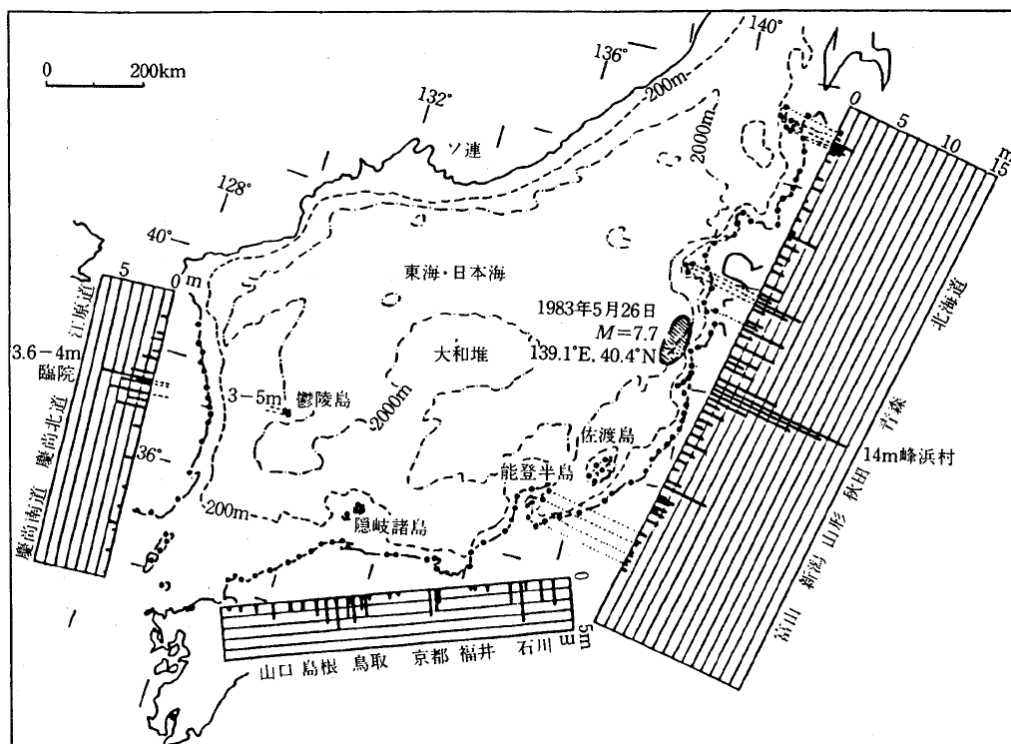


図 2.1-16 日本海中部地震の現地調査結果による津波高さ分布
(文献 1-8 から引用)

(h) スマトラ島沖地震津波（2004 年 12 月 26 日発生）

① 地震・津波の概要

スマトラ島沖地震は、インドネシアのスマトラ島西方沖で発生した巨大地震で、地震の規模を示すマグニチュードは 9.0 であった。

この地震によって大津波が発生し、文献 1-6 によると、スマトラ島北西端のバンダアチェ市の西海岸では津波の高さが 20m を越え、北海岸でも 10m を越えていたとされている。写真 2.1-4 は、バンダアチェ市北部の港湾地区における被災前後の衛星写真で、津波によって海岸線が大きく浸食され、密集していた建物は基礎を残してなくなっている。



(1) 津波到来前



(2) 津波到来後

写真 2.1-4 バンダアチェ市北海岸港湾地区の衛星写真（文献 1-6 から引用）

② 石油タンクの被害

図 2.1-17 に示す A～D の 4 カ所において石油タンクの被害が報告されている。

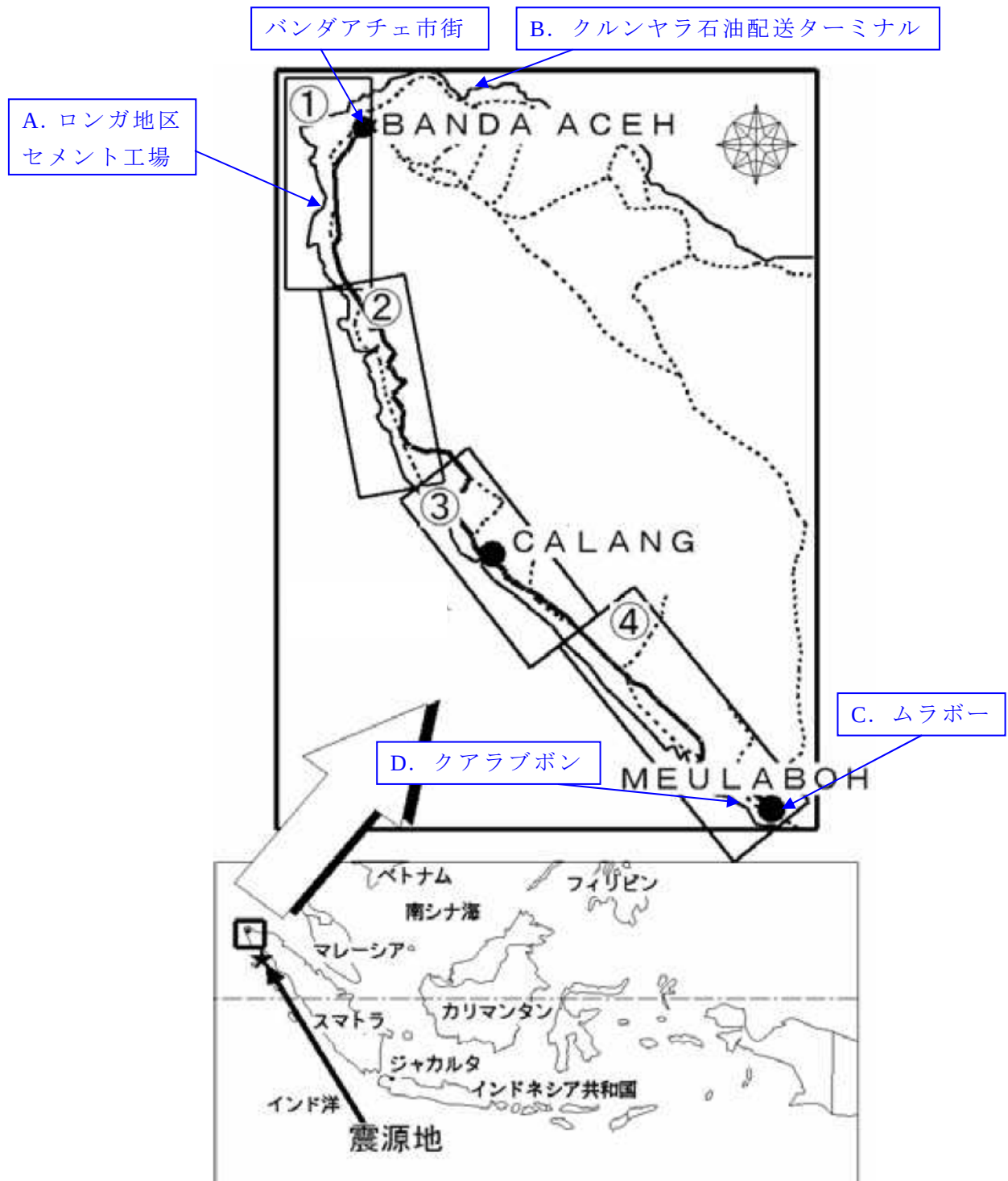


図 2.1-17 石油タンクの被害箇所（文献 1-7 に被害箇所を追記）

A. バンダアチェ市西隣ロンガ地区

文献 1-6 では、バンダアチェ市の西隣のロンガ南部の工場における石油タンクの被害が報告されている。

表 2.1-3 に石油タンクの諸元と被害状況、図 2.1-18 に同じ地点の防液（油）堤の被害及びタンクの滑動状況を示す。写真 2.1-5 はタンクの被害状況の一例で、原形をとどめない程の変形をしている。またタンク内に容量の約 75%の液が入っていたタンクは、津波によって漂流し、写真 2.1-6 に示したように防油堤を突き破ったと報告されている。

表 2.1-3 石油タンクの仕様と被害状況（文献 1-6 から引用）

施設の 種 類	仕様				地震時 の貯留 状 態	設置年	適 用 される 基準等	被害の状況等
	用途	直径m	高さm	容量kℓ				
Tank 1	水	23.30	14.62	6,000	100%	1981	API650	移動、原形を留めず。
Tank 2	軽油	23.30	14.62	6,000	75%	1981	API650	防液堤を突き破って移動、施設と衝突、原形を留めず。
Tank 3	軽油	23.30	14.62	6,000	50%	1981	API650	防液堤を突き破って移動、施設と衝突、大変形。
Tank 4	軽油	11.65	10.98	1,000	50%	1981	API650	移動、変形。
Tank 5 ～10	重油	3.05	5.719	25	?	1981	不明	移動、変形状態は不明。 工場内の一部が漏れた重油で汚染。

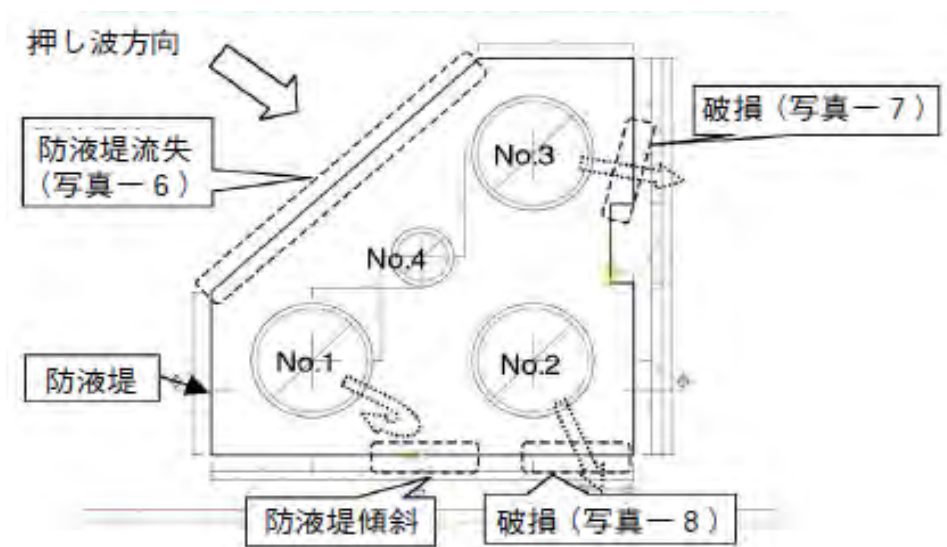


図 2.1-18 防液堤の被災状況（文献 1-6 から引用）



写真 2.1-5 No.1 タンクの被害状況（文献 1-6 から引用）



写真 2.1-6 防油堤の被害状況（文献 1-6 から引用）

B. クルンヤラ石油配送ターミナル

文献 1-6 では、バンダアチェ市の東隣のクルンラヤ石油配送ターミナルにおいてもタンクの被害が報告されている。

表 2.1-4 にタンクの諸元と被害状況、写真 2.1-7 にタンクの漂流状況を示す。これらに示すように、ここでは 3 基のタンクが津波によって百メートル漂流し、1 基のタンクが 70cm 移動して、衝突による変形が発生したと報告されている。

表 2.1-4 タンク仕様および被害状況（文献 1-6 から引用）

タンク No	仕様			地震時の状態		設置年 (完成)	タンク本 体に適用 される 基準等	被害の状況等
	油種	直径m	高さm	貯油量㎥	液深m			
1	ガソリン	17.07	11.11	250	1.1	1986	API	浮上し、数100m移動
2	軽油	17.07	11.11	600	2.6	1986	API	
3	軽油	17.07	11.11	0	0	1986	API	浮上し、数100m移動
4	灯油	17.07	11.11	1,500	6.6	1986	API	
5	ジェット	10.98	6.23	200	2.5	1986	API	70cm移動、衝突されやや変形
6	ジェット	10.98	6.23	413	5.3	1986	API	
7	ガソリン	18.10	10.98	250	1.1	1990	API	浮上し、314m移動
8	灯油	18.10	10.98	1,600	7.0	1990	API	
9	軽油	18.10	10.98	549	2.4	1990	API	



写真 2.1-7 津波によって漂流したタンクの様子（文献 1-6 から引用）

C. アチェ州ムラボー

文献 1-7 では、バンダアチェ市街から南東に 200km のアチェ州ムラボーにおけるタンクの被害が報告されている。

写真 2.1-8 の 4 基のタンクのうち白色のタンクが最初の押し波で浮上し、引き波で海側に 500m 程度流され、次の押し波で海岸から陸側に 1km 離れた地点まで漂流したと報告されている。



写真 2.1-8 オイルタンク群（文献 1-7 から引用）

D. クアラブボン

文献 1-7 では、アチェ州ムラボーから 15km 北西に行ったクアラブボンにあったパームオイルタンクにおいて被害が報告されている。

写真 2.1-9 は、津波到来前後のタンクの写真で、タンクは当初 2 基あり、1 基は容量 2,000 kℓでほぼ空の状態、もう 1 基は容量 1,500 kℓで満液状態であった。津波により満液状態のタンクが陸側へ 3km 流されたのに対して、空のタンクは側板上部に異常な凹みを残してとどまっていたと報告されている。



(1) 被災前



(2) 被災後（空のタンク）

写真 2.1-9 被災前後のタンク（文献 1-7 から引用）

(3) 調査結果のまとめ

以上の調査から得られた石油タンクの津波被害事例に関する情報を表 2.1-5 にまとめた。

過去においては、海岸に近い場所に設置されている石油タンクでは、津波により、タンクの滑動・漂流、タンク本体の損傷による油の流出及び防油堤の損壊といった被害が生じている。

表 2.1-5 屋外タンク貯蔵所の津波による被害の概要

津波名称	被害の種類	石油タンクの津波被害の概要
1944年東南海地震津波	漂流	・高さ7mの津波で、重油タンクが300m以上流された
1946年南海地震津波	滑動	・引き波で重油タンクが4m移動した
1960年チリ地震津波	浮き上がり	・痕跡高3.8mでタンクが押し出されて傾いた
1964年アラスカ地震津波	浮き上がり、漏洩、火災	・10～13mの津波でタンクが傾き、油が流出し、さらに火災となった
1964年新潟地震津波	漏洩、火災	・タンクから流出したガソリンが津波で拡散し、さらに火災となった
1968年十勝沖地震津波	漏洩	・重油の流出
1983年日本海中部地震津波	漂流、漏洩	・130klの軽油タンクが19m移動し、軽油が48kl流出
2004年スマトラ沖地震津波	漂流、座屈	・タンクが数百m滑動 ・移動したタンクによる防油堤の破壊 ・容量2,000t満液タンクが沖側へ3km滑動 ・容量1,500t空タンクが側板上部のへこみで留まる

2. 2 津波以外の浸水被害事例調査

(1) 収集資料

津波以外の浸水被害として高潮及び河川・内水氾濫に着目し、これらによる被害事例が記載されている資料を収集した。収集された資料には、次に掲げる3つ高潮で発生した石油タンクの被害の報告があった。表2.2-1に被害が記載されている資料を示す。

- (a) 1959年 伊勢湾台風（高潮）
- (b) 1999年 不知火・周防灘被害（高潮）
- (c) 2005年 ハリケーン・カトリーナ被害（高潮）

なお、一般的な浸水被害については、は表2.2-2を参考とした。

表 2.2-1 高潮による石油タンクの被害事例に関する資料

No.	文献名	著者	出典	発表年
2-1	伊勢湾台風画報、伊勢湾台風40年目の証言～全国率先市民みえサミットの記録～	全国率先市民みえサミット実行委員会	京都大学防災研究所巨大災害研究センター	2000
2-2	プラントの水災害対策	大坪憲司	高压ガス Vol.43、No.7	2006
2-3	2005年米国ハリケーンカトリーナ災害と石油・環境被害	佐藤照子	高压ガス Vol.43、No.7	2006
2-4	Perfomance of Physical Structures in Hurricane Katrina and Hurricane Rita : A Reconnaissance Report	National Instaitute of Standards and Technology	NIST Technical Note 1476	2006

表 2.2-2 高潮による浸水被害に関する資料

No.	文献名	著者	出典	発表年
2-5	平成11年（1999年）台風18号高潮災害調査報告	気象庁	—	2000
2-6	ハリケーン・カトリーナによる高潮と物的被害	加藤敦	防災科学研究所主要災害調査	2006

（２） 高潮による被害事例の概要

（ａ） 1959 年伊勢湾台風

① 気象擾乱・浸水の概要

1959 年の伊勢湾台風は、紀伊半島南端に上陸して本州を縦断した台風で、最低気圧は 895hPa、最大風速は 75m/s を記録した。

上陸地点に近い伊勢湾では、台風接近時刻と満潮時刻が重なったため、過去最高の潮位を記録し、海水が高さ 5m の堤防を乗り越えたほか、一部では堤防が決壊し、図 2.2-1 に示す沿岸域に浸水被害をもたらした。さらに、河川氾濫や内水氾濫が起こり、わが国における明治以降最大の浸水災害となった。



図 2.2-1 伊勢湾台風時の浸水区域

（ <http://www.pref.mie.jp/KIKAKUK/HP/isewan/home/data/pdf/p126.pdf> より引用）

② 石油タンクの被害

伊勢湾台風の被害地域である伊勢湾沿岸には、わが国有数の石油コンビナートである四日市工業地帯があり、多くの石油タンクが高潮等による被害を受けた。

写真 2.2-1 は、四日市港において、変形した石油タンクから多量の油が流出した状況である。また、写真 2.2-2 はタンクの初期位置が不明であるが、三重県川越町国道 23 号線の道路上まで約 4km の距離を押し流されてきた石油タンクである。



写真 2.2-1 変形した石油タンクから流出した多量の油（文献 2-1 より引用）

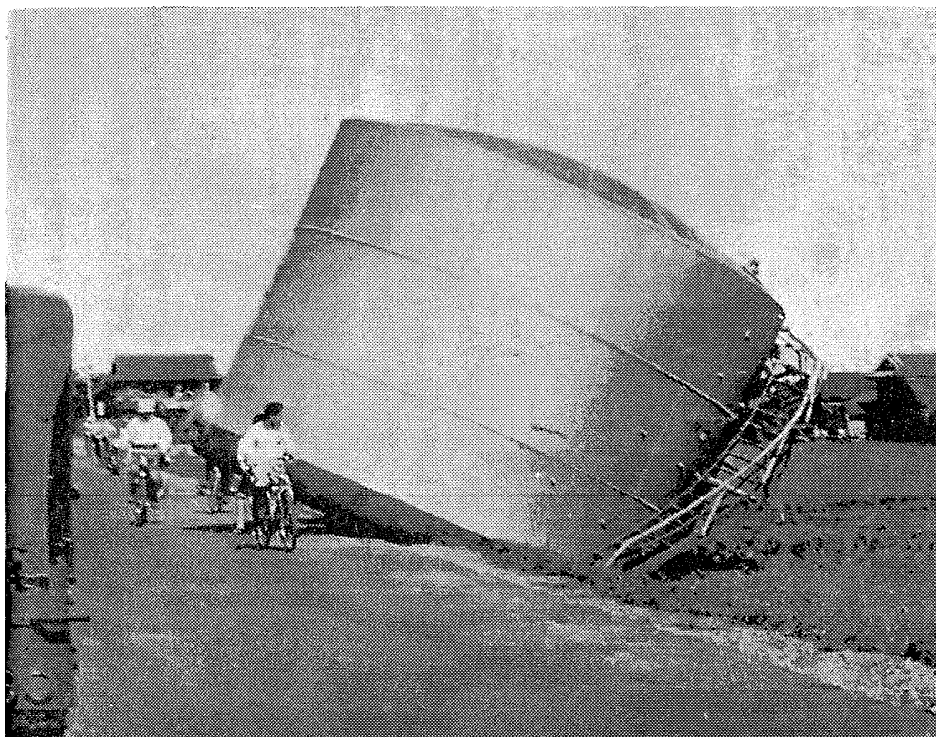


写真 2.2-2 4km の距離を押し流されてきた石油タンク（文献 2-1 より引用）

(b) 1999 年不知火・周防灘被害

① 気象擾乱・浸水の概要

1999 年の不知火・周防灘被害は、北九州を縦断した台風 18 号により、山口県南部において大雨と高波浪、高潮、河川氾濫が発生し、図 2.2-2 に示す広い範囲で浸水被害に見まわれた。

② 石油タンクの被害

山口県小野田市にある製油所では、台風による高潮と満潮・大潮が重なり、防潮堤が約 600m にわたり決壊した。そのため敷地内に海水が流入し、敷地全体が 1m 冠水した。その結果、小型タンクが 30m 程度漂流する被害が発生した。この時、被害が最も大きかったのは電気設備で、中央配電室と 16 ある電気室のうち 11 が冠水した。また、現場にある 1,300 台の電動機のうち半数が冠水により使用不能となった。(写真 2.2-3、写真 2.2-4)

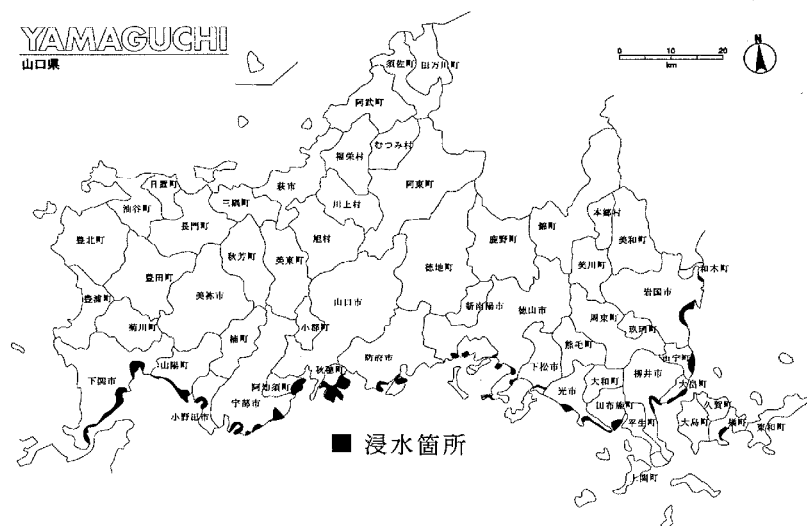


図 2.2-2 不知火・周防灘被害での浸水区域（文献 2-5 より引用）



写真 2.2-3 台風 18 号被災後の小野田市にある製油所（文献 2-2 より引用）

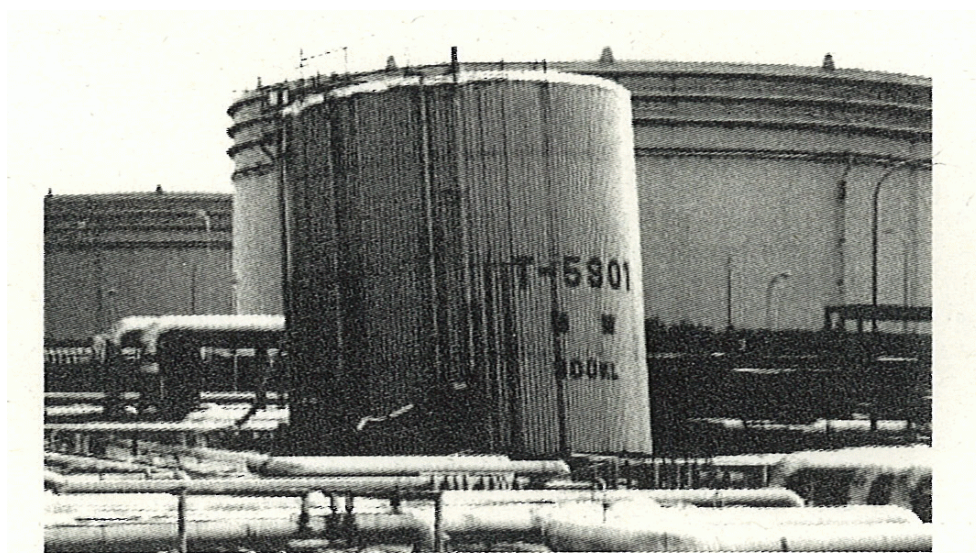


写真 2.2-4 小野田市にある製油所にて 30m 漂流したタンク（文献 2-2 より引用）

(c) ハリケーン・カトリーナ被害

① 気象擾乱・浸水の概要

2005 年のハリケーン・カトリーナは、米国南東部を襲った大型ハリケーンで、最低気圧は 902hPa、最大風速は 78m/s を記録した。被害は、ルイジアナ州とミシシッピ州で大きく、ニューオーリンズ市などの沿岸域の都市は、高潮や高波によって壊滅的な被害を受けた（図 2.2-3 参照）。

② 石油タンクの被害

メキシコ湾岸は米国内原油生産量の 29%、天然ガス生産量の 19%を担う地域で、ハリケーン・カトリーナと直後のハリケーン・リタにより、石油関連施設に大きな打撃を与えた（表 2.2-3 参照）。

ミシシッピ州ビロキシでは、タンクが漂流する被害が発生した。写真 2.2-5 に示すタンク 5 基は防油堤内に留まったが、タンク 1 基は防油堤外に漂流した。

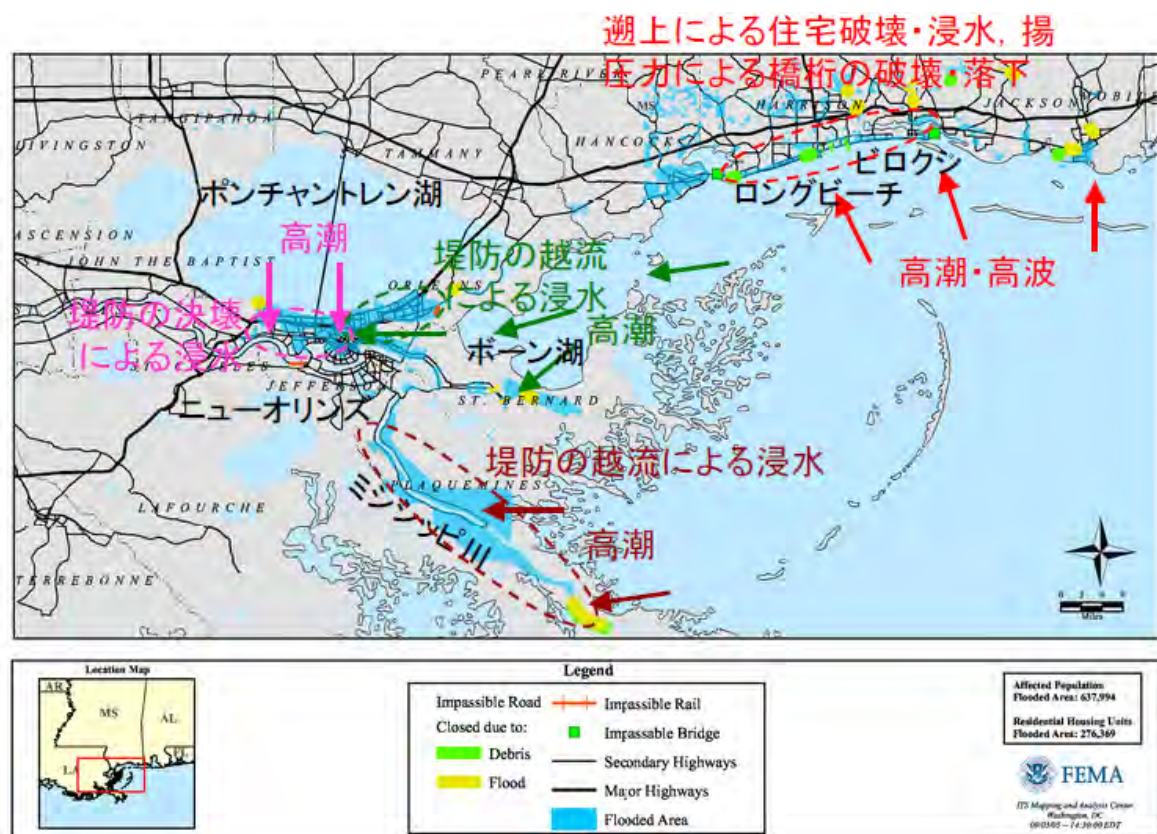


図 2.2-3 カトリーナによる浸水災害概要（文献 2-6 より引用）

表 2.2-3 ハリケーン・カトリーナとハリケーン・リタによる石油関連施設の被害
(文献 2-3 より引用)

日付	出来事
8月 27日	・午前3時頃、風速が時速115マイル(毎秒51メートル)、カテゴリー3に成長、NHCは、今後カテゴリー4に発達し、風速が時速131マイル(毎秒59メートル)に達すると予報。(ロ) ・シェール石油などが原油生産施設を閉鎖。(ロ)
28日	・7カ所の製油所が閉鎖し生産量の3分の1が停止に。(ロ) ・ニューヨークの原油先物取引相場(マーカントイル)で1バレル当たり70ドルを突破し史上最高値に。(国)
29日	・NYの原油先物市場は前日の反落を受け67.20ドルで終わる。(国) ・カトリーナ、ルイジアナ州に再上陸
30日	・NYの原油先物相場は一時70.85ドルで最高値を更新。(国) ・エネルギー省(DOE)の報告では停電世帯が270万、11カ所の石油精製基地が閉鎖。(エ)
31日	・ボドマン・エネルギー省長官が、戦略石油備蓄の放出をホワイトハウスが承認したことを発表、南東部を中心にガソリン不足が深刻化。(ロ)
9月 1日	・NYの原油先物相場は1バレル69.47ドルに。(国)
2日	・国際エネルギー機関(IEA)が、全ての加盟国が今後30日間備蓄石油を日量200万バレル放出することを正式決定し、各国に通告、日本は全体の12%にあたる日量24万バレル。(共) ・エネルギー省のボドマン長官は、米国の石油戦略備蓄(約7億バレル)から、3千万バレルを市場に売却すると発表。(ロ) ・レギュラーガソリンの平均小売価格が、中西部で1ガロン当たり初の3ドル突破、各地でガソリン不足が深刻化。(国)
3日	・メキシコ湾内の原油生産量は通常の20%にとどまっているとの報道。(国)
4日	・エネルギー省の報告ではアラバマ、ルイジアナ、ミシシッピの3州で130万世帯が停電、8カ所の石油精製施設が閉鎖。(エ) ・IEAのマンディル事務局長が世界的なエネルギー危機を警告。(ロ)
5日	・エネルギー省が、バトンルーージュにあるエクソンモービルの大型製油所などがフル稼働状態に戻ったと発表。(ロ)
6日	・製油所の半数近くが操業を再開、全米でガソリンの平均小売価格が1ガロン(3.8リットル)当たり3ドルを突破、便乗値上げではないかという批判も。(国) ・政府はガソリン節約のため遠出を控えるよう国民に呼びかけ。
7日	・メキシコ湾岸の原油生産が月内に90%まで回復するとの見方。(国)
12日	・エネルギー省の報告では44万世帯がなお停電、220万世帯が復旧、石油精製施設の閉鎖は5カ所。(エ)
14日	・NYの原油先物価格終値が再び65ドル台に上昇。(INN)
19日	・エネルギー省の報告では、27万5千世帯が未だ停電、石油精製施設の閉鎖は4カ所。(D)
20日	・エクソンモービルが日量3,000万立方フィートの天然ガス生産施設を閉鎖。(ロ)
21日	・エネルギー省が、リタによるテキサス州製油所被害が、最大18カ所に上る恐れがあるとの見方を示す。(ロ)
24日	・午前2時半ごろハリケーン・リタがカテゴリー3で、ルイジアナ州とテキサス州の境界付近に上陸。 ・湾岸の石油関連施設はほぼ全てが停止、全米の石油精製能力は30%減に落ち込む。(時)
25日	・ニューヨークの原油先物相場がリタの被害が軽微だったのを受け、1バレル62ドル台に下落。(時)
28日	・石油大手シェブロンが、カトリーナによる損害額が3億5千万ドルと発表。(ラ)
10月 3日	・エネルギー省の発表ではルイジアナ、テキサス両州で48万世帯が停電中、12カ所の石油精製施設が閉鎖中。(エ)
4日	・ブッシュ大統領が、国内の石油精製施設の増設が必要との見解を示す。(ロ) ・エクソンモービルの社長が、石油精製施設の操業回復には時間を要するが、原油不足には陥っていないとの見方を示す。(ロ) ・内務省がメキシコ湾の石油、天然ガスプラットフォーム108基が破損したことを発表。(ロ)
5日	・米国内最大のエクソンモービル石油パイタウン製油所が、通常操業を再開。(ロ)
11日	・エネルギー省によれば、18万世帯がなお停電、7カ所の石油精製施設が閉鎖中。(エ)
13日	・エネルギー省がハリケーンの影響で依然6カ所の製油所が稼働を停止しており、日量160万バレルが損なわれていると発表。(ロ)
14日	・労働省が発表した9月の消費者物価指数が前月比1.2%も上昇、ハリケーンの影響でガソリンなどのエネルギー価格が高騰した影響。(ロ)
17日	・エネルギー省によれば、14万世帯がなお停電、石油精製施設6カ所が閉鎖中。(エ)
25日	・エネルギー省の発表では12万5千世帯がなお停電(ほとんどがルイジアナ州)、石油精製施設の閉鎖は4カ所。(エ) ・ガソリン価格の高騰で巨額利益を上げている石油業界に対して、議会から批判の声があがる。(共)
27日	・ボドマン・エネルギー省長官が「石油各社は過去最高の利益をあげており、精製能力を拡大する義務がある」と発言。(ロ)
11月 9日	・上院エネルギー委員会と商業委員会は合同で公聴会を開催し、カトリーナ後のガソリン便乗値上げについて追及を行った。(時) ・エネルギー省が、メキシコ湾岸の油田、天然ガス施設の完全復旧が当初見込みより遅れ、2006年後半になるとの見方を示す。11月初めの油田生産能力は被災前の47%。(国)

末尾の()内の文字は出典を示す。(国)国内新聞(毎日、読売、朝日、日本経済、東京、産経、The Japan Times) / (ロ) Reuter / (共) 共同通信社 / (時) 時事通信社 / (INN) Insurance News Net / (ラ) ライブドア・ニュース / (D) 米国安全保障省 / (エ) 米国エネルギー省



写真 2.2-5 漂流した石油屋外貯蔵タンク（文献 2-4 より引用）

(3) 調査結果のまとめ

以上の調査から得られた石油タンクの津波以外の浸水による被害事例に関する情報を表 2.2-4 にまとめた。

過去において、津波以外の浸水により石油タンクで発生した被害は、タンクの漂流、タンク本体の損傷による油の漏洩であり、被害形態は津波によるものと同様である。

以上のことから、以降の調査検討では津波を対象とすることとした。

表 2.2-4 石油タンクの津波以外の浸水被害の概要

浸水名称	被害の種類	屋外タンク貯蔵所の被害の概要
1959年伊勢湾台風	漂流、漏洩	・高潮を受けて石油タンクが4km漂流 ・タンクが変形し、油が流出
1999年 不知火・周防灘被害	漂流	・高潮により1m冠水し、小型タンクが約30m漂流
2005年 ハリケーン・カトリーナ被害	漂流、漏洩	・高潮により、タンクが漂流 ・10万ガロン（約380kl）以上の石油流出が5施設 ・10万ガロン（約380kl）以下の石油流出が134箇所

2. 3 津波・浸水対策事例調査

(1) 収集事例

わが国の沿岸域では、古くから津波、高潮による浸水の被害を受け、その対策が実施あるいは計画・検討されている。特に、近年は、近い将来に発生することが指摘されている大規模地震に伴う津波に対する対策が、国レベルあるいは自治体レベルで実施されている。

ここでは、このような津波・浸水対策事例に関する情報を、関係機関が発行している技術資料やリーフレット類、ホームページ等の既存資料から収集した。

表 2.3-1 は、情報が収集された津波・浸水対策事例である。これらの事例のほとんどは、一定の地域を防護対象とする一般的な津波・浸水対策であるが、屋外タンク貯蔵所を防護対象とした津波・浸水対策が一つ見られる。これは、焼津漁港における事例である。

以下では、一般的な津波・浸水対策の事例を概説した後、焼津漁港における屋外タンク貯蔵所に対する津波・浸水対策事例についてやや詳しく述べる。

表 2.3-1 津波・浸水対策事例

対策施設	主な採用地点	事業主体	建設期間	構造物の概要	主な利点・特徴
津波防波堤	大船渡港（岩手県）	国土交通省直轄	S37年度～S41年度	総延長736m 開口部200m	・湾口位置に防波堤を設置し、湾内の津波波高を低減する
	釜石港（岩手県）	国土交通省直轄	S53年度～H18年度	総延長1.96km	
	久慈港（岩手県）	国土交通省直轄	H10年度～	総延長3.8km	
	須崎港（高知県）	国土交通省直轄	H4年度～	総延長1.42km	
	下田港（静岡県）	国土交通省直轄	S55年度～	総延長900m	
	湯浅広港（和歌山県）	和歌山県	H10年度～H22年度	総延長850m	
	浅川港（徳島県）	徳島県	H7年度～H18年度	総延長740m	
津波防潮堤	広村堤防（和歌山県）	濱口梧陵（個人）	安政2年（1854年） ～安政6年（1858年）	高さ約5m、総延長650m の土構造物	・海岸部に設置し、背後陸上部への津波の進入を防ぐ
	岩手県宮古市田老町	田老村（1年目） 国、県（2年目以降）	S9年～S32年 S37年～S40年 S48年～S53年	高さT.P.+10m 総延長約2.4km	
	北海道奥尻郡奥尻町	国土交通省	H5年～H8年	最大天端高11.8m 総延長14km	
水門	静岡県沼津市 （施設呼称：びゅうお）	静岡県	H8年度調査設計着手 H16年9月に完成	幅40m、総重量923t	・地震発生時に水門扉が閉鎖し、津波の侵入を防ぐ ・地震計250ガル以上、震度6弱以上を検知すると自動制御システムにより、水門扉が閉鎖
フラップ式構造物	<実用化検証段階>	—	—	・海底にヒンジ固定された扉体によるゲート構造物 ・扉体は、通常時は海底に伏せておき、津波等の非常時に扉体内に送気して浮上させる ・通常時は海底に伏せられているため、船舶の航行・景観・海水の流れ等を阻害しない	
直立浮上式防波堤	<実用化検証段階>	—	—	・上部鋼管と下部鋼管から構成される壁状構造物 ・通常時は、上部鋼管は下部鋼管内に収納され、津波等の非常時に下部鋼管に設置された空気圧送管から上部鋼管に送気し、浮力によって浮上させる ・通常時は上部鋼管は海底下の下部鋼管内に収納されているため、船舶の航行・景観・海水の流れ等を阻害しない	
津波防災 ステーション	浜中町（北海道）	水産庁、河川局、 港湾局	H9年度	・津波災害の危険性が高い地域において、水門・陸閘等の施設を効率的かつ迅速に管理・制御を行うための総合防災施設 ・水門・陸閘等の施設は、遠隔操作で一元的に管理・制御 ・津波等の情報を24時間リアルタイムで的確に収集し、住民等へ提供	
	百石町（青森県）	河川局	H12年度		
	種市町（岩手県）	河川局	～H16年度		
	大船渡市（岩手県）	水産庁、港湾局	H9年度～		
	静岡市（静岡県）	港湾局	～H20年度完成予定		
	焼津市（静岡県）	水産庁	H11年度～H18年度		
	相良町（静岡県）	水産庁、河川局、 港湾局	～H15年年度		
津波防護壁	焼津漁港（静岡県）	静岡市、事業者	S59年度	・タンク周辺の小型軽量の漂流物が、津波によって直接タンクに激突しないようにするための防護壁 ・津波対策用堤防とは別に、防油堤の外側に高さ2.0mの擁壁を設置	
津波漂流物対策施設 （津波スクリーン）	釧路港（北海道）	北海道開発局釧路 開発建設部釧路港 湾事務所	H18年度～H20年度	・減災とコスト縮減に着目した新たな津波漂流物対策施設として、北海道開発局が開発 ・支柱と捕捉ロープで構成され、自動車、小型船舶等の津波による漂流を防止	

（２） 一般的な（一定の地域を対象とした）津波・浸水対策

（ａ） 典型的な津波・浸水対策

本調査で収集した津波・浸水対策事例の多くは、国レベル又は自治体レベルで実施されている、一定の地域を対象とした津波・浸水対策である。

具体的な対策としては、津波が海岸に達する前の海域で備えとしての「防波堤」（写真 2.3-1 参照）、陸域に遡上することを防ぐ「防潮堤」（写真 2.3-2 参照）、河川等から浸水することを防ぐ「水門」（写真 2.3-3 参照）などがある。

このうち、津波防波堤は、20 年ほど前から津波の影響が大きい三陸海岸や四国沿岸において国のプロジェクトとして整備が進められているもので、湾口部に長大な防波堤を建設し、到来する津波から背後地を防護しようとするものである。対策規模は非常に大きなものとなる。



写真 2.3-1 釜石港の湾口防波堤

（釜石港湾事務所： <http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kamaishi/port/km03.html> より引用）



写真 2.3-2 田老町の防潮堤

(釜石港湾事務所： http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kamaishi/bousai/b01_02.html より引用)



写真 2.3-3 沼津市の水門

(静岡県沼津市： <http://www.city.numazu.shizuoka.jp/kankou/sanpo/byuo/byuo.htm> より引用)

(b) 新しいタイプの津波・浸水対策

近年、新しいタイプの津波・浸水対策工を開発する動きが出てきている。

具体的な対策工としては、図 2.3-1 に示すフラップ式構造物、および図 2.3-2 に示す直立浮上式防波堤がある。これらの対策工は、いずれも前項の湾口防波堤に代わる対策であるが、通常時は海底に水没して船舶等の航行の障害や景観への影響をなくし、津波到来時に対策工としての効果を発揮しようとするものである。

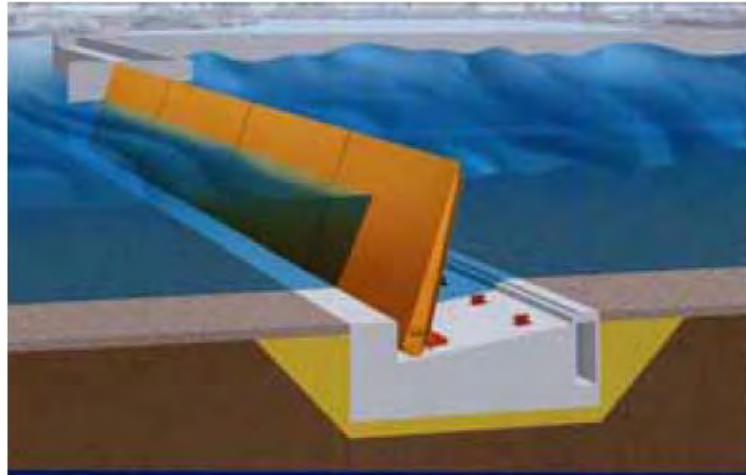


図 2.3-1 フラップ式構造物の概要図

(下迫健一郎・有川太郎(2008)：シリーズ「防災・セキュリティー」(第3回)可動式防波堤開発への取り組みーフラップ式構造物および直立浮上式防波堤ー，日本深海技術協会会報2号，<http://homepage2.nifty.com/desta/kai57h1.pdf> より引用)

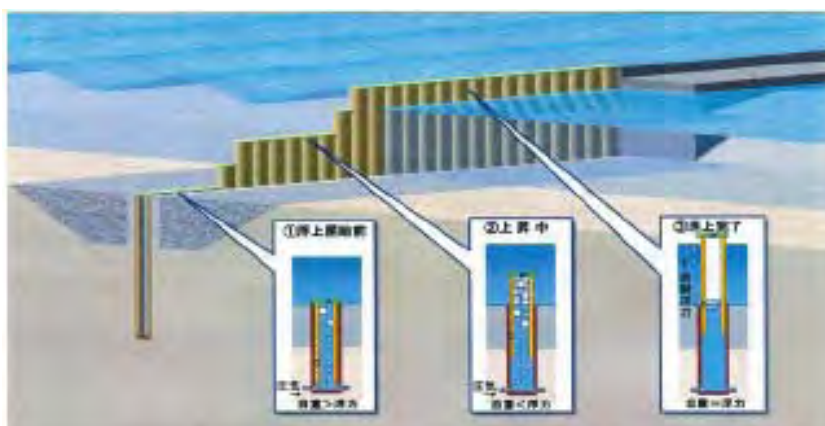


図 2.3-2 直立浮上式防波堤の概要図

(下迫健一郎・有川太郎(2008)：シリーズ「防災・セキュリティー」(第3回)可動式防波堤開発への取り組みーフラップ式構造物および直立浮上式防波堤ー，日本深海技術協会会報2号，<http://homepage2.nifty.com/desta/kai57h1.pdf> より引用)

また、新しいタイプの津波・浸水対策として、「津波・高潮防災ステーション」と呼ばれるものがある。これは、図 2.3-3 のイメージ図に示すように、津波や高潮の危険性が高い地域において、水門や陸閘等の海岸保全施設が効率的かつ迅速に効果を発揮できるように、全施設の管理・制御を一括して行うための施設である。



図 2.3-3 津波・高潮防災ステーションの概要図

（農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局：津波・高潮防災ステーション 恐ろしい津波・高潮災害に備えて，事業の紹介パンフレット，

http://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kaigan/gaiyou/panf/station/02.html より引用)

（c） 漂流物対策施設（津波スクリーン）

国土交通省北海道開発局は、釧路港における津波漂流物に対する対策について検討し、東港区の入舟地区港湾施設用地（図 2.3-4 参照）に総延長 137m の津波漂流物対策施設“津波スクリーン”を設置した。

ここでは、この津波スクリーンに関する表 2.3-1 の資料をもとに、津波漂流物対策施設の概要を紹介する。

表 2.3-1 津波漂流対策施設に関する資料

No.	文献名	著者	出典	発表年
3-1	港湾における津波漂流物対策の取り組み～釧路港における整備事例～	丸山修治・繁本護・根本任宏・佐々木洋介・本間明宏・松下圭吾	海洋開発論文集，第24巻	2008
3-2	釧路港における津波漂流物対策施設の設計手法について	酒井和彦・丸山修治・根本任宏	http://www.hkd.mlit.go.jp/to/pics/giivutu/pdf/files_h18/04/anzen/aa-06.pdf	2006



図 2.3-4 津波漂流物対策施設設置箇所（文献 3-1 より引用）

② 津波スクリーンの概要

漂流物対策施設“津波スクリーン”の概要を写真 2.3-5 に示す。また、津波スクリーンの平面図、縦断図、主要な構造部材の諸元を図 2.3-5 に示す。

津波スクリーンは支柱と捕捉ロープから構成され、5GT（GT：総トン数）未満の小型船舶と車両の捕捉を目的としている。この施設を連続して整備した場合、港湾施設用地と前面の岸壁との動線が確保できず、日常の港湾利用に支障をきたすことから、15～20m を 1 ブロックとして、ブロック間には幅 1.4m（軽自動車が通過できない幅）の通路が設けられている。捕捉ロープは、設計漂流物（5GT 未満の船舶、車両）以外の小さな漂流物の捕捉なども考慮して、配置間隔を 30cm ピッチ以下に設定している。また、最上部のワイヤーロープの高さは、最大浸水深 1.0m を確保できる高さまで設置されている。



写真 2.3-5 津波漂流物対策施設（文献 3-2 より引用）

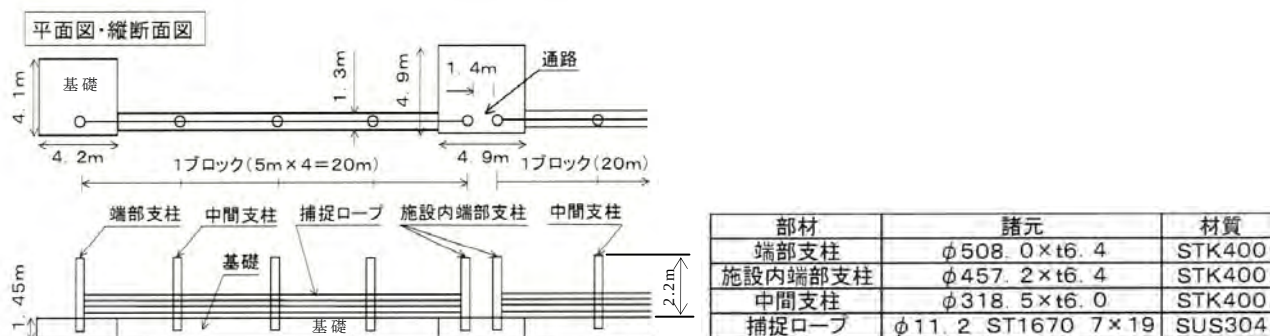


図 2.3-5 平面図・縦断面図および主な構造部材の諸元（文献 3-2 より引用）

(3) 屋外タンク貯蔵所を対象とした津波対策事例

本調査で情報が収集された津波・浸水対策事例のなかには、屋外タンク貯蔵所に対して実際に施されている対策工が1つ含まれている。これは、静岡県焼津漁港の一角に設置されている屋外貯蔵タンク群の周囲に設置された「津波防護壁」である。ここでは、この施設の概要を紹介する。

① 焼津漁港における津波対策に関する検討経緯

静岡県焼津市では東海地震に対する防災対策を進めていたが、焼津漁港内には27基の石油タンクがあり、周辺住民から地震発生時における石油タンクの安全性を懸念する声が挙がったため、静岡県、焼津市、事業者らは危険物施設問題を漁港全体の問題として捉え、「焼津漁港（焼津地区）防災対策連絡協議会」を設置し、防災対策について検討を行った。

その結果として、昭和59年度に石油タンクの防油堤の外側に津波防護壁が設置された。

② 焼津漁港における津波対策の検討内容

焼津漁港の石油タンクは、地盤高2mに設置され、その周囲には高さ0.6mの防油堤がある。この石油タンクの被害として、地震動、火災、津波を想定し、これらについて検討している。

津波については、津波シミュレーションの結果から、津波高さは港内において4m、最大浸水深は2mと想定された。この津波に対して、津波波力と漂流物による被害を想定し、ハード対策とソフト対策の2面からの対策が検討された。

ハード対策としてはタンク周辺の小型軽量の漂流物の衝突およびタンクに作用する波力を阻止あるいは軽減するため、壁状構造物（津波防護壁）でタンク周囲を囲う方法が考えられた。

また、ソフト対策としてはタンクの滑動を防止するため、液面高の下限を制限することが考えられたが、これについては具体的な措置はとられていない。

③ ハード対策としての津波防護壁

写真 2.3-4 は、ハード対策として石油タンクの周囲に設置された津波防護壁である。津波防護壁は、津波漂流物からの防護と津波波力の低減を目的として、防油堤の外側に設置されたもので、その高さは津波浸水深と同じ2.0mである。防護壁の一部には保安上の観点から、人の出入りをしやすくしたり、外からタンクヤードを見やすくするために、開口部が設けられている。

津波
防護壁



a) 石油タンク群



b) 人の出入りをしやすくしたり、外からタンクヤードを見やすくするための開口部
(外側から見た場合)

津波
防護壁

防油堤



c) 防油堤 (内側から見た場合)

写真 2.3-4 焼津漁港の津波防護壁

（４） 調査結果のまとめ

津波・高潮による浸水対策について、これまでに実施あるいは計画・検討されている事例を収集・整理した。その結果、津波・高潮浸水対策としては、国あるいは自治体レベルによる一定の地域を対象とした対策事例があるほか、近年、海域の利用と景観に配慮した新しいタイプの対策が研究開発されていることがわかった。また、屋外タンク貯蔵所を防護対象とした対策としては、静岡県焼津市における事例があった。これは、港湾施設の一角に設置されている屋外貯蔵タンク群を津波あるいは津波漂流物から防護するために、防油堤の周囲に「津波防護壁」を設置したものであり、本調査検討において参考となる一事例と言える。

第3章 屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法の提案

前章で見た津波被害事例は、屋外タンク貯蔵所が大きな津波を受けると、屋外貯蔵タンクの浮き上がり、滑動、漂流、防油堤の損壊などの被害が発生しうることを示している。

しかしながら、これらの実事例は、津波により屋外タンク貯蔵所に発生しうる被害形態をすべて代表しているとは限らない。また、前章で見た実被害は、どれくらいの大きさの津波で発生したかについては、かならずしもすべてが明らかになっているというわけではない。このようなことから、津波によって発生しうる屋外貯蔵タンクや防油堤の被害にはどのような形態が考えられるか、どの程度の津波が到来したら屋外貯蔵タンクや防油堤にはどのような被害を受ける可能性があるのか、といった「被害イメージ」を持つておくことは、屋外タンク貯蔵所の津波被害対策を検討する上で重要であると考えられる。

しかしながら、「被害イメージ」を持つために必要となる、屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法は、かならずしも確立されたものがあるとは言えない状況にある。

そこで、本章では、屋外タンク貯蔵所の津波被害形態を整理し、屋外タンク貯蔵所の主要設備である防油堤とタンク本体について、津波被害発生の可能性を簡易に評価する「津波被害簡易予測手法」を取りまとめた。

このとき、津波による被害発生の可能性を評価するには、防油堤およびタンク本体に作用する津波の力、すなわち津波波力を適切に評価することが重要である。ここでは、既往の津波波力算定式を再精査し、防油堤の高さやタンク本体への津波流速の効果を考慮した津波波力算定式について検討し、新しい津波波力算定式を提案した。

また、2004年スマトラ島沖地震津波の事例を踏まえると、津波によって浮き上がり、滑動した屋外貯蔵タンクは、津波の流れに乗って相当距離を漂流することが予想される。そこで、その漂流距離を予測する手法を、タンク本体の滑動・漂流に関する水理模型実験を実施して提案した。

3.1 防油堤・屋外貯蔵タンクの津波被害形態の整理

(1) 防油堤および屋外貯蔵タンクの津波被害形態

過去に発生した津波による屋外タンク貯蔵所の被害事例の調査結果(第2章)によれば、津波による屋外タンク貯蔵所の被害として多く見られたのは、タンクの浮き上がり、タンクの滑動、タンクの座屈による油の流出である。また、津波漂流物のタンクへの衝突、防油堤の損壊なども見られた。

これらの被害事例を踏まえ、さらに津波が沖合から屋外タンク貯蔵所まで伝播する過程を考慮して、屋外タンク貯蔵所で予想される津波被害の発生プロセスを整理した。図3.1-1に屋外タンク貯蔵所の津波被害の発生プロセスの概略を、図3.1-2に防油堤及び屋外貯蔵

タンクで発生する可能性があると考えられる津波被害形態を示す。

図 3.1-1 に沿って屋外タンク貯蔵所において津波により被害が発生するプロセスを解説すると次のとおりである。

- ① 沖合から伝播した津波は、まず港湾の前面に到来する。港湾の前面には、一般には防波堤があり、防波堤の配置・形状、港口の広さ、防波堤の高さによって、港湾内に伝播する津波の高さが変化する（通常は小さくなる）。
- ② 港湾内に伝播した津波は護岸・岸壁（陸域）に到達し、津波の高さが地盤の高さあるいは護岸周囲に整備されている防潮堤の高さよりも低ければ津波は陸域に遡上せず、屋外タンク貯蔵所等の陸域施設に被害は発生しない。津波の高さが地盤高さあるいは防潮堤高さより高い場合には、津波は陸域に越流・遡上し、屋外タンク貯蔵所に到達する。
- ③ 屋外タンク貯蔵所に到達した津波は、屋外貯蔵タンクの周囲に設置されている防油堤の前面に到達する。津波による防油堤の被害形態としては、コンクリート擁壁タイプでは防油堤の「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」が考えられ、津波漂流物が防油堤に衝突して破壊することも予想される。盛土タイプでは押し波時や引き波時の津波による崩壊、津波による流れに伴う洗掘が考えられる。また、防油堤が被害を受けると、損壊した防油堤の一部が移動、漂流してタンクに衝突する等の二次被害の発生も予想される。
- ④ 防油堤が被害を受けず、かつ、到来した津波の高さと防油堤の高さの関係から、津波が防油堤を乗り越えなければ、津波は防油堤内に浸入することはなく、屋外貯蔵タンクに被害は発生しない。防油堤は被害を受けないが、津波が防油堤を乗り越える場合、または津波によって防油堤が被害を受けた場合は、津波は防油堤内に浸入する。
- ⑤ 津波が防油堤を越流する、あるいは津波によって防油堤が損壊すると、防油堤内に浸入した津波は、屋外貯蔵タンクの前面に到達する。タンク本体における津波による被害形態としては、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」、「タンク傾斜による底板抜け出し」及び「タンク傾斜による側板下部座屈」が考えられる。また、損壊した防油堤などの津波漂流物がタンク本体に衝突して破壊することも予想される。タンク基礎における津波による被害形態としては、押し波時の基礎の洗掘や引き波時の基礎の崩壊が考えられる。さらに、タンク本体が被害を受けると、タンク回りの配管の破断や、タンク本体の移動・漂流などの二次被害や、危険物の漏洩・拡散、それによる火災発生などの三次被害も予想される。

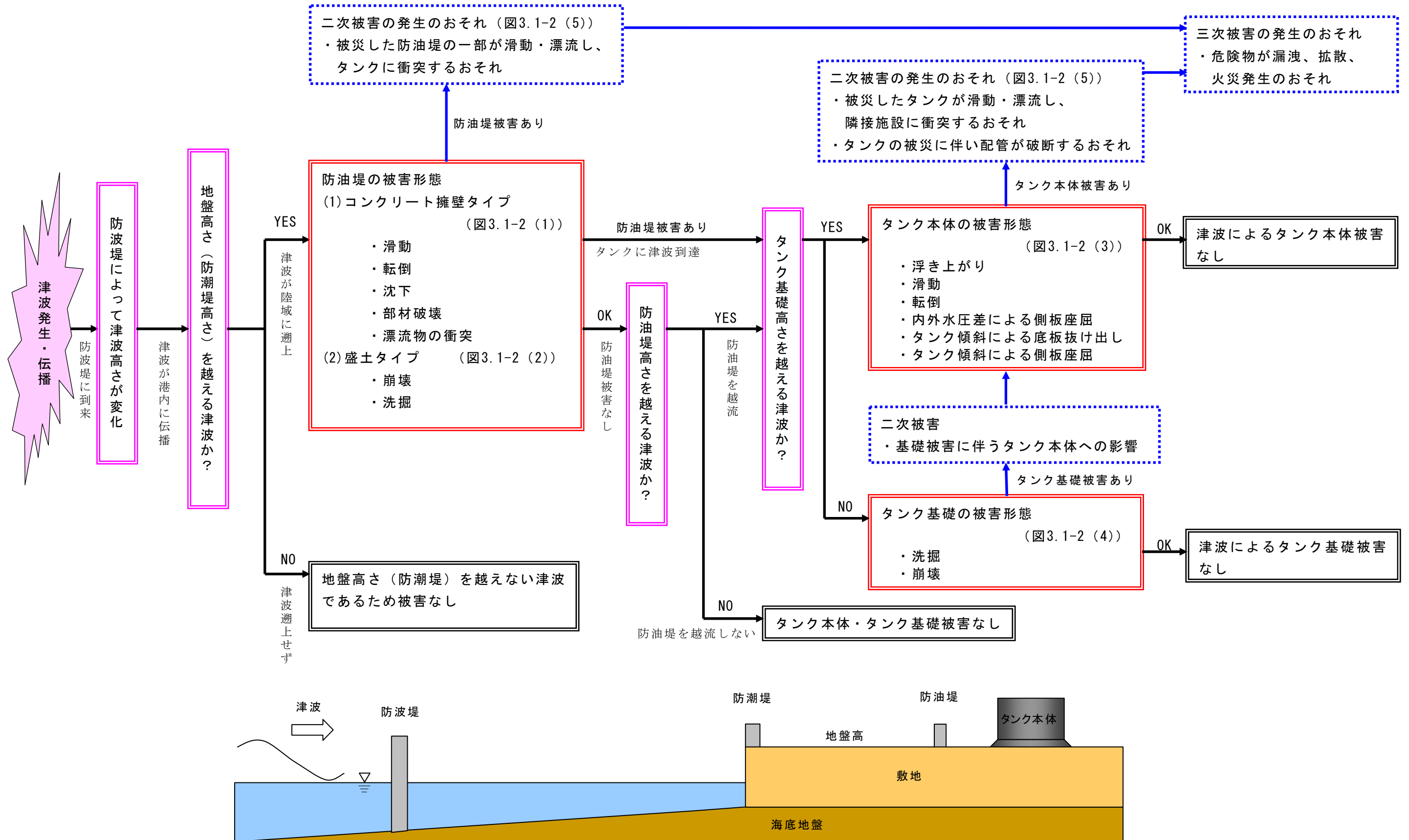
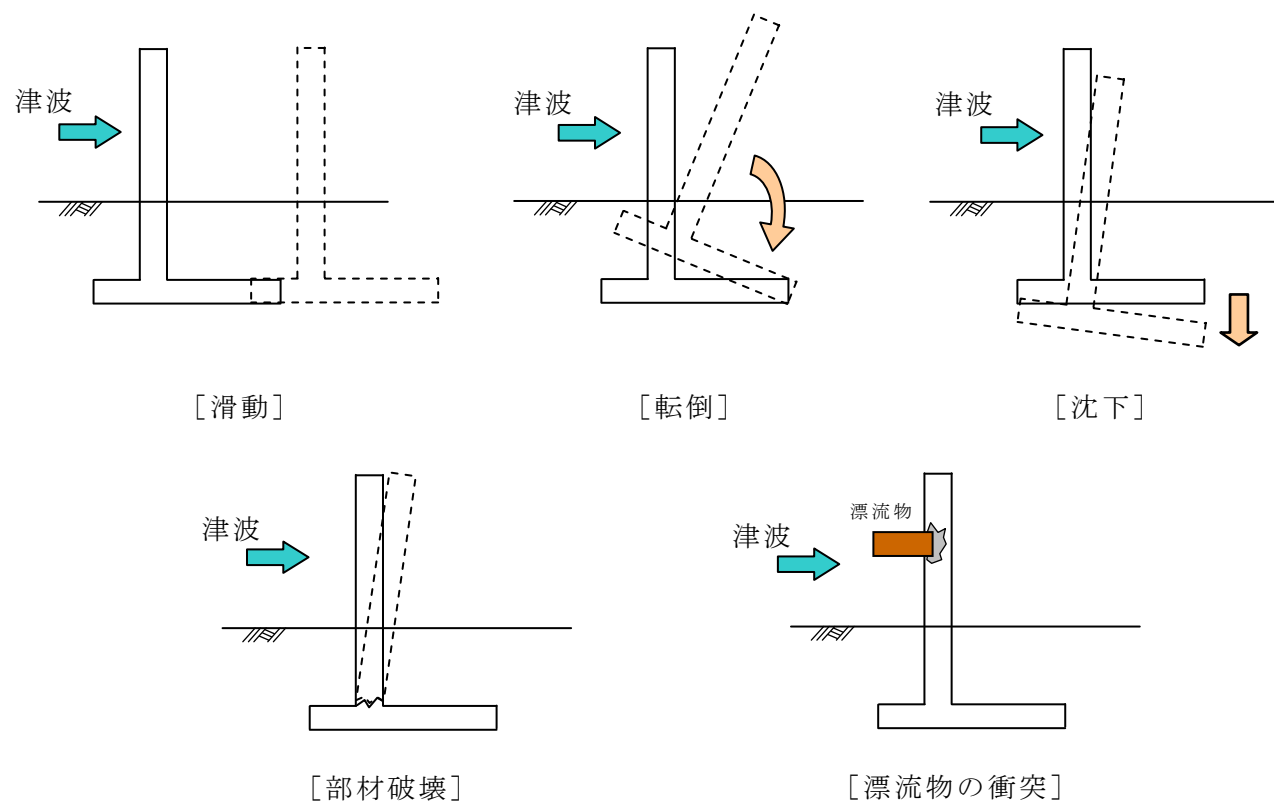
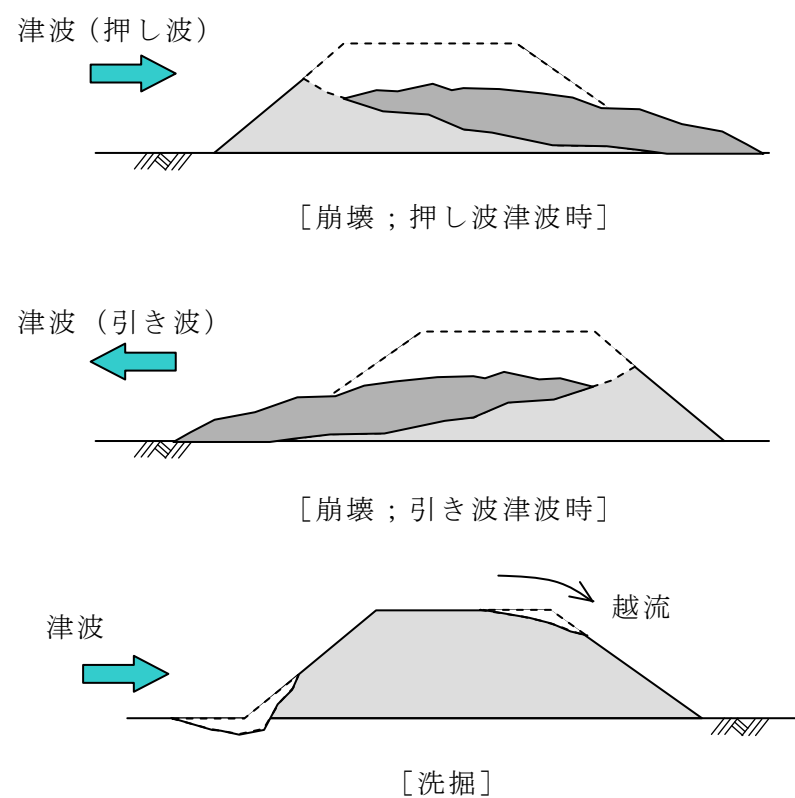


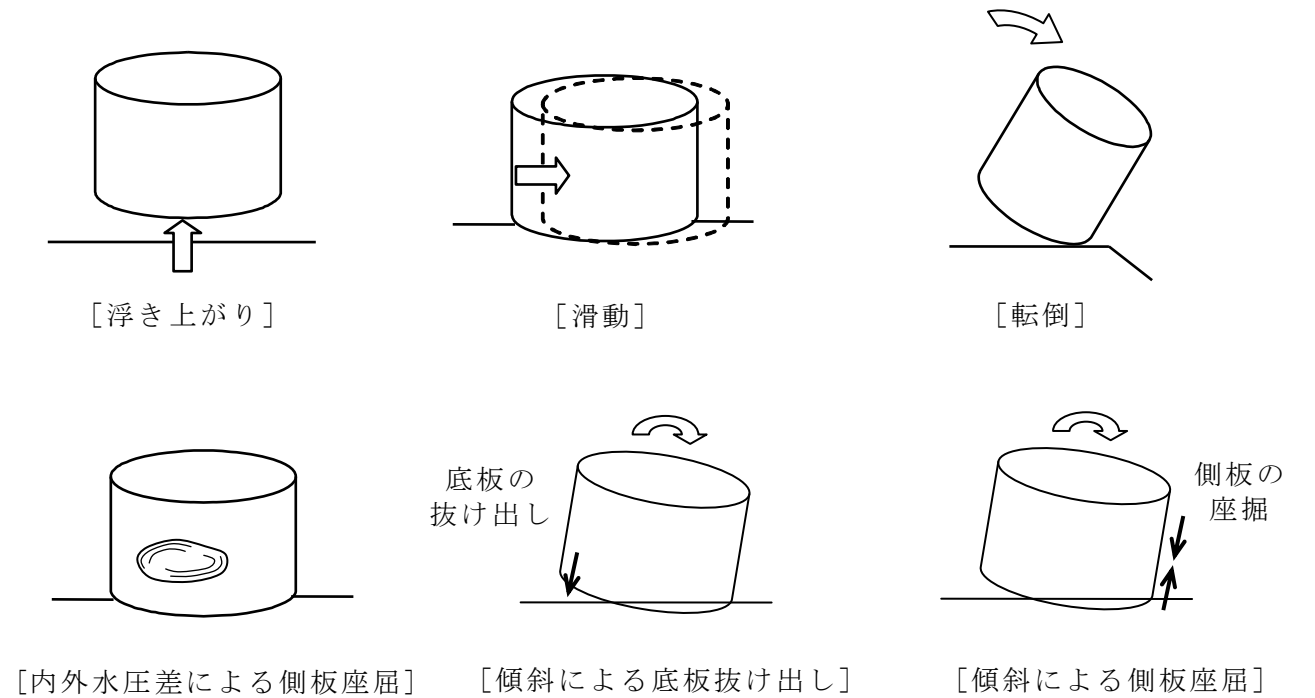
図 3.1-1 津波により各種被害が発生するプロセスおよび断面模式図



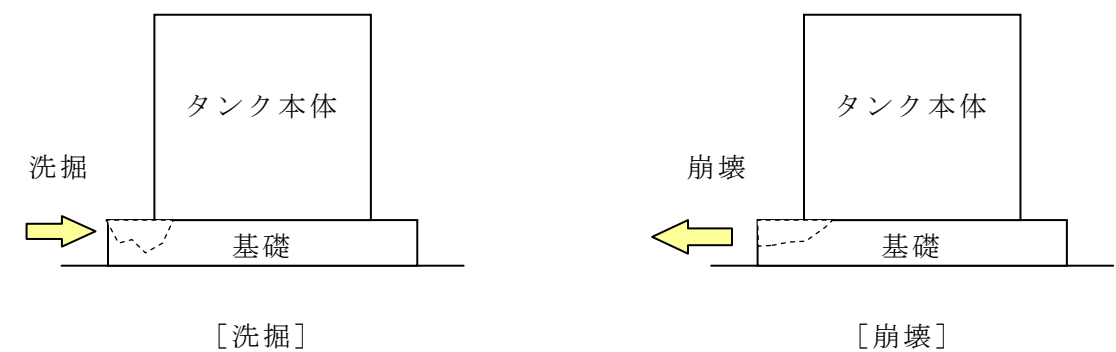
(1) コンクリート擁壁タイプの防油堤で発生する被害形態



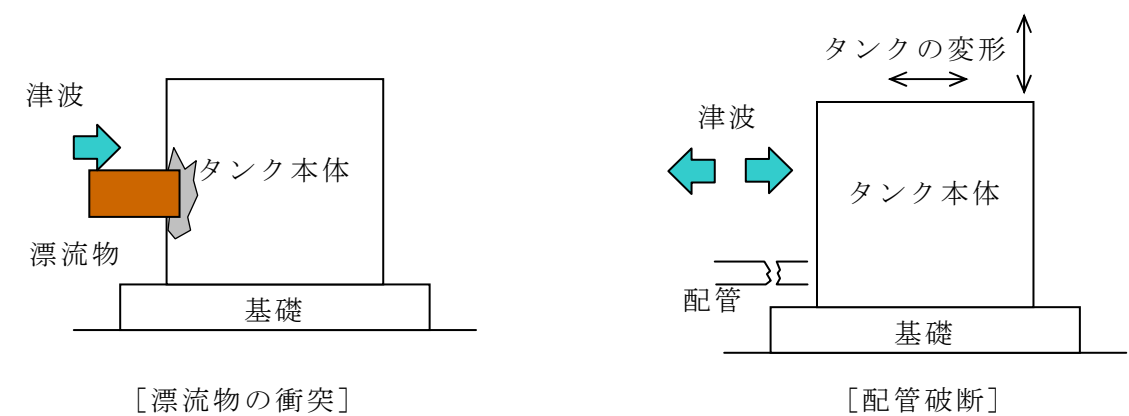
(2) 盛土タイプの防油堤で発生する被害形態



(3) タンク本体で発生する被害形態



(4) タンク基礎で発生する被害形態



(5) タンク・防油堤の被災による二次被害の被害形態

図 3.1-2 津波による屋外タンク貯蔵所の被害形態

（２） 検討対象とした津波被害形態

屋外タンク貯蔵所における津波の被害形態には、図 3.1-2 に示したように、さまざまなものが考えられる。

しかしながら、本報告書では、これらの複数の津波被害形態のうち、津波により第一次的に発生するもので、また現状の技術レベルで比較的容易に被害発生の可能性を評価できるものについて、その被害予測手法（津波被害簡易予測手法）を提案することとした。これにより、次章における屋外タンク貯蔵所での津波被害発生可能性の予想も、「津波被害簡易予測手法」が提案された被害形態について行われることとなる。

ここで「津波被害簡易予測手法」を提案する防油堤の被害形態は、コンクリート擁壁タイプについては、「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の 4 つとした。盛土タイプの防油堤の被害形態は、津波の流れと盛土材の相互作用が関係する現象で、津波諸量（津波浸水深、津波流速等）のみから評価することが困難であるため、本検討では、「津波被害簡易予測手法」提案の対象外とした。また、漂流物が防油堤に衝突することによる防油堤の被害の発生可能性は、極めて多種多様の条件に左右されられることから、同じく「津波被害簡易予測手法」提案の対象外とした。

屋外貯蔵タンクについては、タンク本体の「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」の 4 つの被害形態について、「津波被害簡易予測手法」を提案することとした。「タンク傾斜による底板抜け出し」と同じく「タンク傾斜による側板下部座屈」の 2 つについては、有限要素法（FEM）を用いたタンク本体の構造解析により、「津波被害簡易予測手法」が作成できるかどうかの検討を実施したが、「津波被害簡易予測手法」は得られなかった。これら 2 つの被害形態の発生可能性を予想するには、非線形解析等の高度な解析手法による評価が必要であると考えられる。なお、タンク傾斜による底板抜け出しと側板下部座屈の被害予測手法に関する詳細な検討内容については、資料－１に記載した。

タンク基礎の被害形態は、盛土タイプの防油堤と同様、津波の流れと基礎構造（基礎を構成する材料等）の相互作用が関係する現象で、津波諸量（津波浸水深、津波流速等）のみから評価することが困難であるため、本検討では、「津波被害簡易予測手法」提案の対象外とした。

また、配管の破断や、タンクに漂流物が衝突することによるタンクの被害の発生可能性は、これもまた、極めて多種多様の条件に左右されられることから、「津波被害簡易予測手法提案」の対象外とした。

津波による屋外貯蔵タンクの漂流については、既往の津波被害事例により重要な被害形態であると思われることから、タンク本体の滑動・漂流に関する水理模型実験を実施し、屋外貯蔵タンクの漂流軌跡（漂流距離）を予測する手法（屋外貯蔵タンク漂流予測手法）を提案することとした。

結局、本検討では、次の 8 つの津波被害形態についての「津波被害簡易予測手法」及び「屋外貯蔵タンク漂流予測手法」を提案し、次章では、これらの手法を用いて、屋外タンク貯蔵所での各被害形態の津波被害発生可能性及び漂流軌跡（漂流距離）を予想することとした。

1) コンクリート擁壁タイプ防油堤（以降「防油堤」と称す）

- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 沈下
- ・ 部材破壊

2) タンク本体

- ・ 浮き上がり
- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 内外水圧差による側板座屈

3. 2 防油堤・屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法

屋外タンク貯蔵所での津波被害発生可能性を予想するためには、防油堤及び屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を評価する必要がある。

防油堤及び屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を評価するには、いくつかの方法が考えられる。第一は、想定される津波とその津波を受ける防油堤及び屋外貯蔵タンクを模擬した水理模型実験を行い、波力等を計測する方法である。第二に、同じく想定される津波とその津波を受ける防油堤及び屋外貯蔵タンクの数値モデルに対して数値シミュレーションを行うことによって、波力等を推測する方法である。しかしながら、これらの方法は実行可能であるものの、大きな労力を要する。ここでは、浸水深や流速といった津波の状態を単純に表す量を用いて防油堤及び屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を算定する方法について述べることとする。

ここで、屋外タンク貯蔵所に到達する津波は、図 3.2-1 に示すような挙動となると考えられるが、構造物に作用する波力の算定には、構造物がない状態での波の諸元を用いることが一般的である。この考え方に従って、防油堤に作用する津波波力を算定するときは、図 3.2-2 に示すように、防油堤および屋外貯蔵タンクがない状態での防油堤位置における津波の状態（最大浸水深 η_{max} 等）に基づくものとし、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を算定するときは、図 3.2-3 に示すように、防油堤があり屋外貯蔵タンクがない状態でのタンク位置における津波の状態に基づくものとした。

具体的な津波波力算定方法については、この後の節で詳しく記載する。

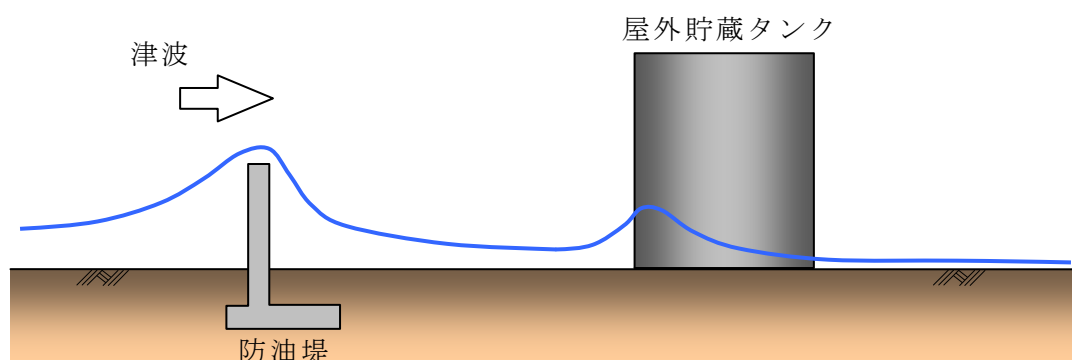


図 3.2-1 屋外タンク貯蔵所に到来する津波挙動のイメージ

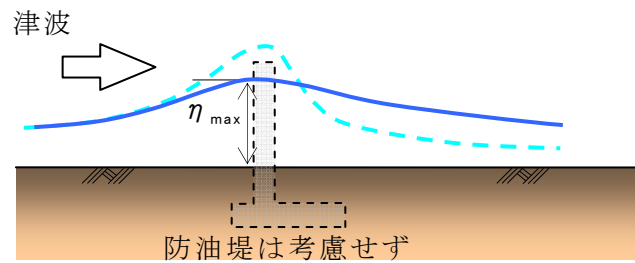


図 3.2-2 防油堤に作用する津波波力の算定に用いる津波の状態

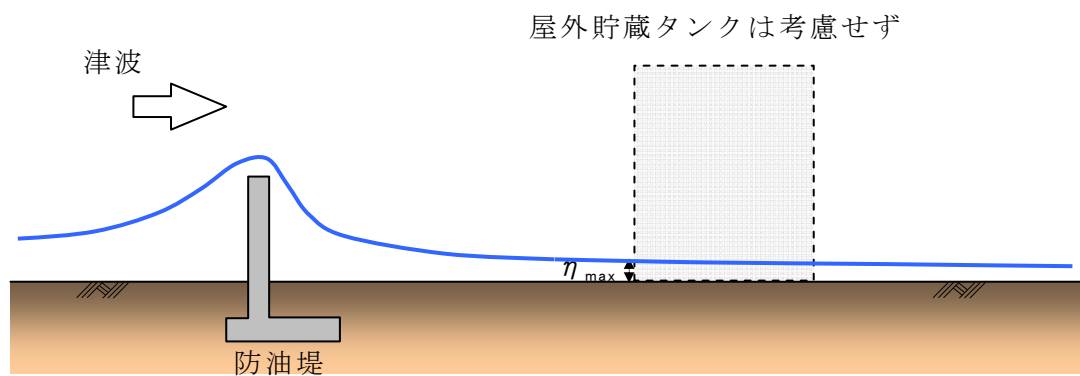


図 3.2-3 屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定に用いる津波の状態
(なお、津波等により防油堤が被害を受けてその機能をはたさなくなる場合には、防油堤
はないものとして取り扱うこととする)

(1) 防油堤に作用する津波波力の算定方法

(a) 検討概要

既往の検討¹⁾で用いられた防油堤に作用する津波波力算定式は、津波が防油堤を越流する効果が考慮されていないため、津波波力を過大に評価する可能性があった。よって、防油堤に作用する津波波力をより精確に算定できるよう、既往の津波波力算定式を、津波が防油堤を越流する効果を考慮することにより、改良することとした。

(b) 既往の津波波力算定方法

既往の検討¹⁾での津波波力の評価には、鉛直無限壁を想定した朝倉ら(2000)²⁾の津波波力算定式が用いられた。この津波波力算定式は、壁体に作用する津波波力は壁体が無い場合の同位置における最大浸水深 $\eta_{\max}$ の3倍の静水圧分布に等しいとしたものであり、津波が鉛直壁を越流しないような条件下で実施された実験の結果に基づいて提案された式である。

この既往の津波波力算定式では、直立壁である防油堤に作用する津波波力は、最大浸水深 $\eta_{\max}$ の3倍が、防油堤高さ以下とそれ以上の場合で分けて算定される(図 3.2-4)。すなわち、 h_c を防油堤高さとする、 $h_c \geq 3\eta_{\max}$ のとき、津波波力は高さ $3\eta_{\max}$ まで作用する三角形分布とされ、 $h_c < 3\eta_{\max}$ の場合には、上記三角形のうち高さ h_c までの分が作用する台形分布とされる。これにより、防油堤に作用する津波水平波力(合力)は、次の式で表されることとなる。

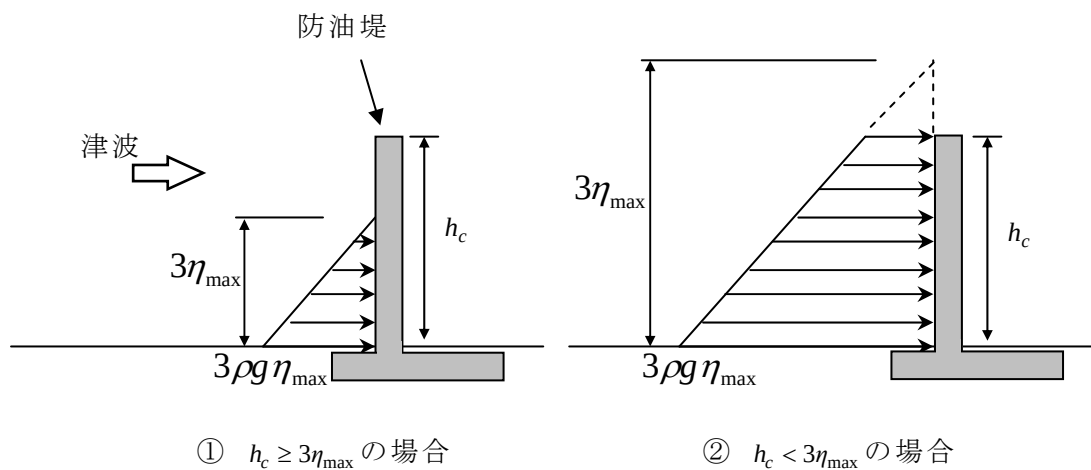


図 3.2-4 既往の検討¹⁾で用いられた防油堤に作用する津波波力算定方法

① $h_c \geq 3\eta_{\max}$ の場合

$$\begin{aligned}
 F_{dH} &= \frac{1}{2} \times 3\rho g \eta_{\max} \times 3\eta_{\max} \\
 &= \frac{9}{2} \rho g \eta_{\max}^2
 \end{aligned}
 \tag{式 3.2-1}$$

② $h_c < 3\eta_{\max}$ の場合

$$\begin{aligned}
 F_{dH} &= \frac{1}{2} \times (\rho g (3\eta_{\max} - h_c) + 3\rho g \eta_{\max}) \times h_c \\
 &= \frac{1}{2} \rho g h_c (6\eta_{\max} - h_c)
 \end{aligned}
 \tag{式 3.2-2}$$

ここで、 F_{dH} ：津波水平波力、 ρ ：津波水の密度、 g ：重力加速度である。

(c) 越流を考慮した津波波力算定式の提案

前述とおり、(b)で述べた防油堤に作用する津波波力算定式は、津波が防油堤を越流する効果が考慮されていないため、津波波力を過大に評価する可能性があった。このため、津波が防油堤を越流する効果を考慮することにより、(b)の津波波力算定式を改良するための検討を実施した。ここでは、①既往の津波波力に関する水理模型実験³⁾から得られた津波波力に関するデータと「数値波動水路」⁴⁾による数値シミュレーションから得られた津波波力を比較することにより、「数値波動水路」から得られる結果の妥当性を検証したうえで、②防油堤高さをさまざまに変えた数値モデルについて「数値波動水路」により津波波力を計算することを通じて、「越流を考慮した津波波力算定式」の提案を行った。

なお、水理模型実験および「数値波動水路」に関する検討内容の詳細は、資料－2に記載した。

図 3.2-5 に示すように、防油堤を越流する際の防油堤に作用する最大波圧分布は、非越流時の最大波圧分布に対していくらかの低減を見込むことができると考えられる。防油堤を越流する場合の最大波圧（防油堤底面部での波圧） $P_{\max}$ を下式のように静水圧分を除いた動圧を静水圧で無次元化した係数 α_d を用いて表す。本報告書では、係数 α_d を「動圧係数」と呼ぶことにする。

$$P_{\max} = (1 + \alpha_d) \cdot \rho g \eta_{\max} \quad (\text{式 3.2-3})$$

「動圧係数」 α_d は最大浸水深 $\eta_{\max}$ と防油堤高さ h_c の関数であり、 $\alpha_d(h_c/\eta_{\max})$ である。

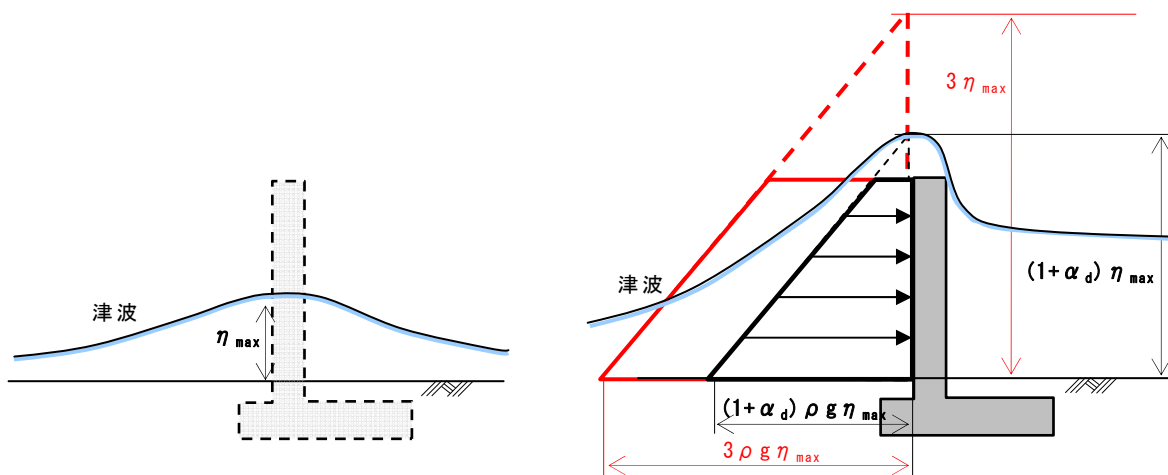


図 3.2-5 越流時の波圧分布図

さまざまな数値モデルについて「数値波動水路」から得られた津波波力を、横軸を $h_c / \eta_{\max}$ 、縦軸を $\alpha_d / \alpha_d(h_c \rightarrow \infty)$ としてプロットした結果を図 3.2-6 に示す。ここで、 $\alpha_d(h_c \rightarrow \infty)$ は、防油堤高さを無限とした場合、すなわち、既往の津波波力算定式で採用されていた仮定に対応する場合の「動圧係数」 α_d で、その値は 2.0 である。すなわち、 $\alpha_d / \alpha_d(\infty)$ は、津波が防油堤を越流しない時には 1.0 となる。また、津波の高さが微小な場合には、防油堤に作用する最大波圧は、ほぼ静水圧相当となるため、 $\alpha_d / \alpha_d(\infty)$ はほぼ 0.0 となる。

図 3.2-6 に示されている「数値波動水路」から得られた津波波力は、図中に引いた「赤線」上にほぼのっている。従って最大波圧は、「 $h_c / \eta_{\max}$ 」、すなわち、防油堤高さと最大浸水深の関係で説明できると考えてよいと言える。

図 3.2-6 中の赤線は次の式で表される。

$$\alpha_d / \alpha_d(\infty) = \begin{cases} -0.346 \times (h_c / \eta_{\max})^2 + 1.176 \times (h_c / \eta_{\max}) & (h_c / \eta_{\max} \leq 1.7) \\ 1.0 & (h_c / \eta_{\max} > 1.7) \end{cases} \quad (\text{式 3.2-4})$$

これにより、津波が防油堤を越流する効果を考慮に入れた、防油堤に作用する津波波力算定式（越流を考慮した津波波力算定式）を次のように提案する。

まず、最大波圧（防油堤底面部での波圧） $P_{\max}$ は次の式で表される。

$$P_{\max} = \alpha_d \rho g \eta_{\max} \quad (\text{式 3.2-5})$$

$$\alpha_d = \begin{cases} -0.692 \times (h_c / \eta_{\max})^2 + 2.352 \times (h_c / \eta_{\max}) & (h_c / \eta_{\max} \leq 1.7) \\ 2.0 & (h_c / \eta_{\max} > 1.7) \end{cases} \quad (\text{式 3.2-6})$$

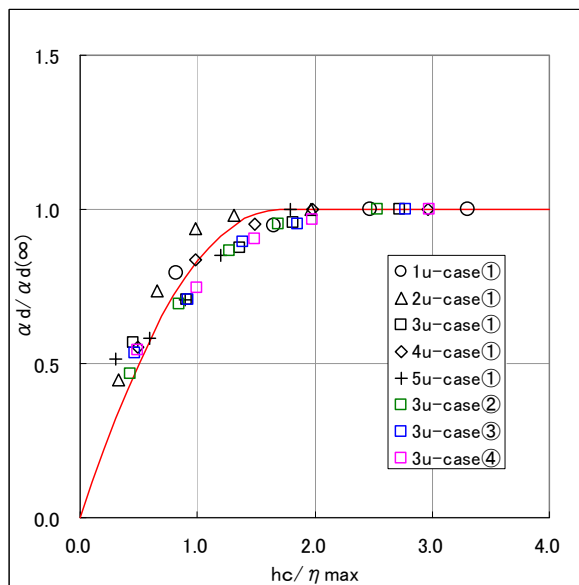
この結果、防油堤に作用する津波水平波力（合力） F_{dH} は次の式で表される。

① $h_c \geq 1.7\eta_{\max}$ の場合

$$F_{dH} = \frac{9}{2} \rho g \eta_{\max}^2 \quad (\text{式 3.2-7})$$

② $h_c < 1.7\eta_{\max}$ の場合

$$F_{dH} = \frac{1}{2} \rho g h_c (2\alpha \eta_{\max} - h_c) \quad (\text{式 3.2-8})$$



防油堤位置での最大流速

1u-case①	4.60m/s
2u-case①	7.52m/s
3u-case①	6.52m/s
4u-case①	5.53m/s
5u-case①	7.43m/s
3u-case②	5.25m/s
3u-case③	6.20m/s
3u-case④	5.79m/s

図 3.2-6 越流時の津波波力算定図

(2) 屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法

(a) 検討概要

既往の検討¹⁾で用いられていた屋外貯蔵タンクに作用する津波波力算定式は、津波の最大浸水深のみによって評価を行っていたため、流速が小さい場合には過大に波力を評価する可能性があった。そこで、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力をより精確に算定できるよう、既往の津波波力算定式を、津波の流速の影響を考慮することにより、改良することとした。

(b) 既往の津波波力の算定方法

既往の検討¹⁾では、津波波圧は、タンク側面および底面に、図 3.2-7 に示すような分布形状となるとして算定されていた。水平波力および鉛直波力の算定方法は次のようになる。

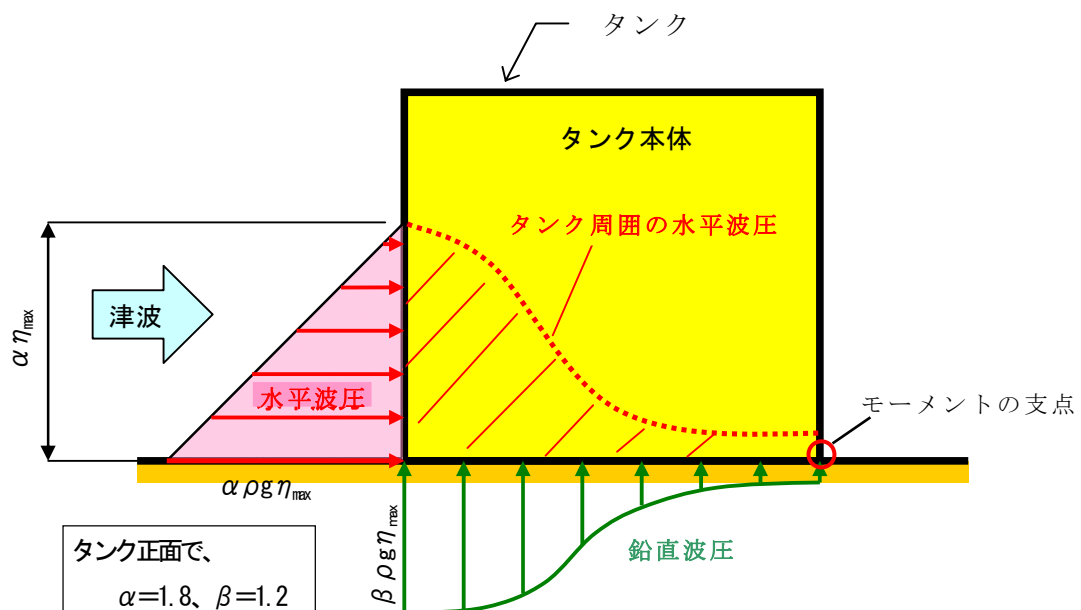


図 3.2-7 タンク本体に作用する津波波圧分布（既往の検討¹⁾）

① 水平波力と水平モーメント

過去に実施された水理模型実験³⁾では、さまざまな周期と波高の模擬津波を発生させて水位、模型タンクに作用する水平波力等の計測が行われた。その結果、タンクに津波が当たっている状態において模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点で計測されたタンク前面における津波水位 $\eta_d^{\max}$ は、入射波の最大水位、すなわち、タンクを置かない状態におけるタンク設置位置での津波水位の最大値(最大浸水深 $\eta_{\max}$)の1.8倍程度であった。すなわち、タンク前面における津波水位 $\eta_d^{\max}$ は、下式で計算できるものとされた。

$$\eta_d^{\max} = 1.8\eta_{\max} \quad (\text{式 3.2-9})$$

また、同じく水理模型実験³⁾から、模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点でのタンク周囲の津波水位(津波到来方向となす角度が θ の方向の側板での津波水位) $h_d^{\max}(\theta)$ は、次のフーリエ級数で近似できることがわかった。

$$h_d^{\max}(\theta) = \eta_d^{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta = 1.8\eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta \quad (\text{式 3.2-10})$$

$$p_0 = 0.680$$

$$p_1 = 0.340$$

$$p_2 = 0.015$$

$$p_3 = -0.035$$

参考のため図 3.2-8 に、 $\eta_{\max}$ に対する $h_x^{\max}(\theta)$ の比率を示す。

さらに、水理模型実験³⁾からは、模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点においてタンクの前面で計測された水圧の高さ方向分布は、その時点でのタンク前面における水位からの静水圧分布で近似可能であることがわかった。これに基づいて、津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} は、下式で評価できるものと考えられた。

$$F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^2 R \cos \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-11})$$

ここで、 R はタンクの半径である。(式 3.2-11)から計算された水平波力と水理模型実験³⁾で計測されたタンクに作用する水平波力を比較したところ、計算結果は測定結果とおおむね一致していたことから、(式 3.2-11)により最大浸水深 $\eta_{\max}$ から津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} を算定できるとすることが提案された。

本報告書では、(式 3.2-10)の中の値「1.8」を「タンク水平波力に係る浸水深係数」と呼ぶことにし、「 α 」と表記することとする。これにより、津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} を算定する式として提案された式は次のように表される。

$$F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^2 R \cos \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-11 再掲})$$

$$h_x^{\max}(\theta) = \alpha \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta \quad (\text{式 3.2-12})$$

$$p_0 = 0.680$$

$$p_1 = 0.340$$

$$p_2 = 0.015$$

$$p_3 = -0.035$$

津波を受けるタンクに作用する水平波力モーメントは、モーメントの支点であるタンク背後基部ら水平波力の作用線までの高さ方向の距離 $h_x(\theta)/3$ を掛けたもので評価することができると考えられた。この考え方にに基づき、水平波力 F_{tH} がタンクに作用する場合の水平モーメント M_{tH} を算定する式として次の式が提案された。

$$M_{tH} = \frac{1}{6} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^3 R \cos \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-13})$$

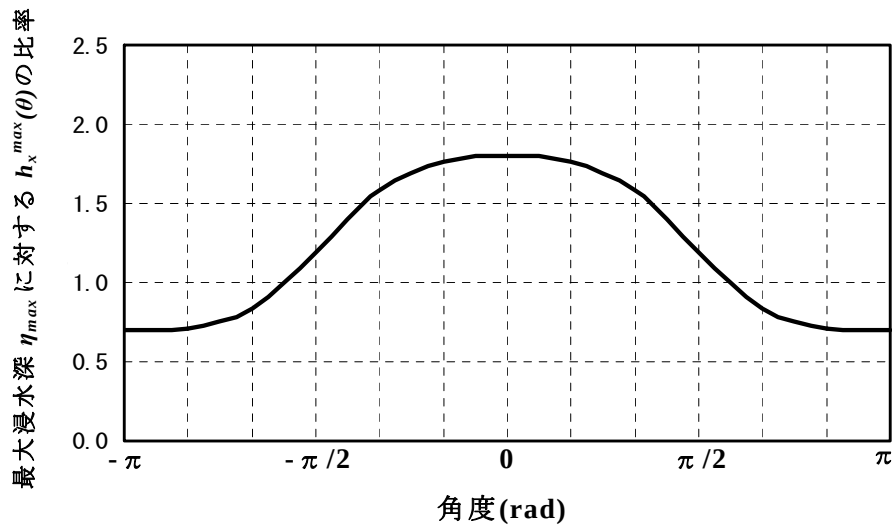


図 3.2-8 タンク円周方向の最大浸水深 $\eta_{\max}$ に対する $h_x^{\max}(\theta)$ の比率

(「タンク水平波力に係る浸水深係数」(α))

② 鉛直波力と鉛直モーメント

津波を受けるタンクに作用する鉛直波力の最大値 F_{tV} と鉛直波力 F_{tV} がタンクに作用する場合の鉛直モーメント M_{tV} を算定する式については、「① 水平波力と水平モーメント」と同様の考え方で次式が提案された。

$$F_{tV} = 2 \int_0^\pi \rho g h_V^{\max}(\theta) R^2 \cos^2 \theta d\theta \quad (\text{式 3.2-14})$$

$$h_V^{\max}(\theta) = \beta \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 q_m \cos m\theta \quad (\text{式 3.2-15})$$

$$q_0 = 0.720$$

$$q_1 = 0.308$$

$$q_2 = 0.014$$

$$q_3 = -0.042$$

ここで $h_V^{\max}(\theta)$ は、津波を受けるタンクにおいて鉛直波力が最大となる時点でのタンク周囲における水位である。水理模型実験³⁾によると、鉛直波力が最大となる時点は、水平波力が最大となる時点とは異なっており、鉛直波力が最大となる時点におけるタンク側板における水位は、最大浸水深 $\eta_{\max}$ の 1.2 倍程度であった。このため、(式 3.2-15)の β の値は 1.2 とされている。本報告書では、 β を「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」と呼ぶことにする。参考のため図 3.2-9 に、 $\eta_{\max}$ に対する $h_V^{\max}(\theta)$ の比率を示す。

鉛直モーメント M_{tV} は、モーメントの支点（タンク背後基部）から鉛直波力 F_{tV} の作用点までの距離 $R(1 + \cos \theta)$ を掛けたもので評価することができると考えられた。この考えに基づき、鉛直波力 F_{tV} がタンクに作用する場合の鉛直モーメント M_{tV} を算定する式として次の式が提案された。

$$M_{tV} = 2 \int_0^\pi \rho g h_V^{\max}(\theta) R^3 \cos^2 \theta (1 + \cos \theta) d\theta \quad (\text{式 3.2-16})$$

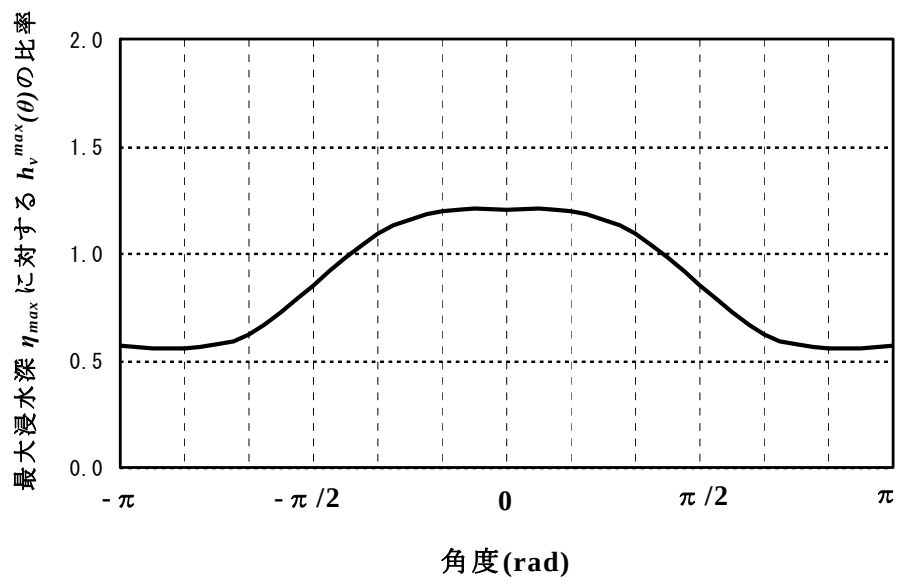


図 3.2-9 タンク円周方向の最大浸水深 η_{max} に対する $h_v^{max}(\theta)$ の比率
 (「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 (β))

(c) 流速の効果を考慮した津波波力の算定方法に関する検討

流速の効果を考慮した津波波力算定式の作成は、既往の津波波力の水理模型実験³⁾で計測されている最大浸水深 η_{max} と最大流速 V_{max} に基づいて行った。これは、防油堤は存在するものの、タンクがない場合（図 3.2-10）のタンク位置において計測されたものである。

水理模型実験結果³⁾による検討内容の詳細は、資料－3に記載した。

この水理模型実験データによると、既往の津波水平波力算定式の修正方法は、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α ($=1.8$) と「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β ($=1.2$) は、フルード数 $F_r = V_{max} / \sqrt{g\eta_{max}}$ （式中の g は重力加速度）によって変化させることが適当であると考えられた。なお、今回のフルード数の算定に用いた最大浸水深 η_{max} と最大流速 V_{max} は、同時性を考慮せずに、 η_{max} は浸水深が最大となった時点での浸水深、 V_{max} は流速が最大となった時点での流速とすることとした。

本来、フルード数は、同時刻の浸水深と流速のから算出する数値であるが、ここで参照した既往の水理模型実験結果では、最大浸水深および最大流速の発生時間に大きな差異が生じていなかったため、異なる時刻の最大浸水深と最大流速を用いてフルード数を計算しても、問題はないと考えた。

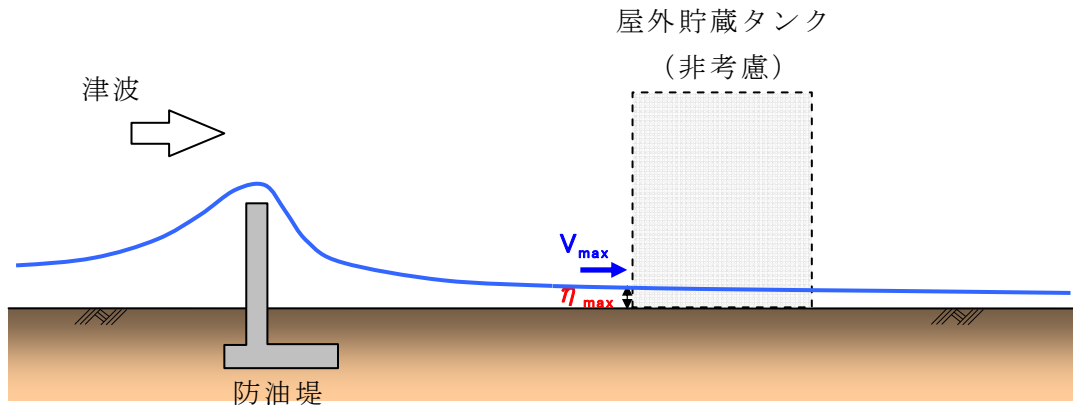


図 3.2-10 屋外貯蔵タンクの波力算定に用いる最大浸水深 η_{max} と最大流速 V_{max}

（なお、津波等により防油堤が被害を受けてその機能をはたさなくなる場合には、
防油堤はないものとして取り扱うこととする）

図 3.2-11 に、水理模型実験結果³⁾に基づいて、フルード数 F_r と「(タンク前面における津波水位) / (入射波水位)」の関係を示す。「タンク前面における津波水位」は、文字通り、タンクに津波が作用した時の実験において、タンク前面で測定された津波の水位であり、「入射波水位」はタンクを置かない場合の実験で測定されたタンク位置での津波の水位である。この「(タンク前面における津波水位) / (入射波水位)」は、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α を表していることとなる。フルード数 F_r は、同じくタンクを置かない場合の実験において、タンク位置で測定された η_{max} と V_{max} から計算されたものである。この図から、 F_r が 1 程度の値を上回ると、入射波水位に対するタンク前面における津波水位の比が大きくなることがわかる。そこで、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α は、図 3.2-11 の破線で図示したように、上限は既往の津波波力算定式と整合させて $\alpha=1.8$ 、下限はタンクがない状態に等しい $\alpha=1.0$ とし、その間を実験結果の上限を取るように直線で近似することとした。これにより、 α は次式で表される。

$$\alpha = \begin{cases} 1.8 & F_r \geq 1.3 \\ 2.0F_r - 0.8 & 1.3 \geq F_r \geq 0.9 \\ 1.0 & 0.9 \geq F_r \end{cases} \quad (\text{式 3.2-17})$$

また、「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β については、 α と同様、上限は既往の津波波力算定式と整合させて $\beta=1.2$ 、下限はタンクがない状態に等しい $\beta=1.0$ とし、その間も、 α に連動するとして、次式で表されると考えた。

$$\beta = \begin{cases} 1.2 & F_r \geq 1.3 \\ 0.5F_r + 0.55 & 1.3 \geq F_r \geq 0.9 \\ 1.0 & 0.9 \geq F_r \end{cases} \quad (\text{式 3.2-18})$$

結局、ここで提案する「流速の効果を考慮した津波波力算定式」は、(式 3.2-12)及び(式 3.2-15)において、 $\alpha=1.8$ 及び $\beta=1.2$ と定数としていたものを、それぞれ(式 3.2-17)と(式 3.2-18)に置き換え、図 3.2-12 に示すような津波波圧分布を想定したものである。

図 3.2-13 に、「流速の効果を考慮した津波波力算定式」による波力算定結果と水理模型実験³⁾で測定されている波力の比較を示す。この図には、流速の影響を考慮せず、最大浸水深のみに基づく既往の津波波力算定式により算定された波力も示されている。今回提案している「流速の効果を考慮した津波波力算定式」のほうが、実験事実をよく説明している。すなわち、「流速の効果を考慮した津波波力算定式」は、既往の津波波力算定式よりも、タンクに作用する津波波力をより精確に算定できると言える。

ところで、図 3.2-11 には津波の先端部分が個々の短周期成分となって到来するソリトン分裂波の結果も示されており、これらのデータは、同図に引いた破線からは外れている。しかしながら、図 3.2-13 に示す実験結果との比較では、今回の提案式による波力算定結果はソリトン分裂波のデータも包絡しているので、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α の算定式(式 3.2-18)の作成において、ソリトン分裂波のデータを無視したことは、結果的には問題はなかったものと考えられる。

以上をまとめると、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力は、屋外貯蔵タンクに作用する津波の最大浸水深のみがわかる場合には、 $\alpha=1.8$ 及び $\beta=1.2$ として、(式 3.2-13)及び(式 3.2-17)により算定することが可能であるが、これによる算定結果は、場合によっては、実際の津波波力よりも過大となる可能性があるため、屋外貯蔵タンクに作用する津波について、最大浸水深のほか最大流速もわかる場合には、(式 3.2-18)及び(式 3.2-19)により「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α 及び「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β の値を修正し、津波波力をより精確に算定できるようにしたものを用いることが適当であると言える。

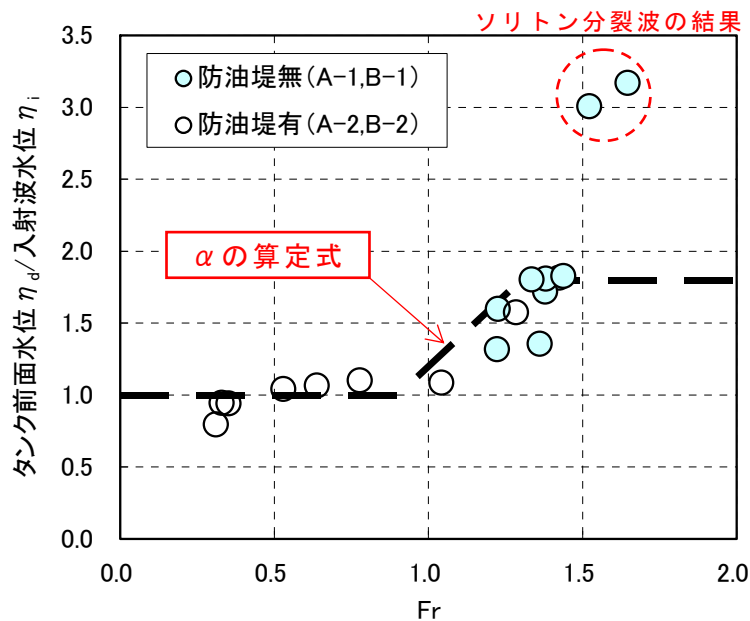


図 3.2-11 提案した「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α の算定式

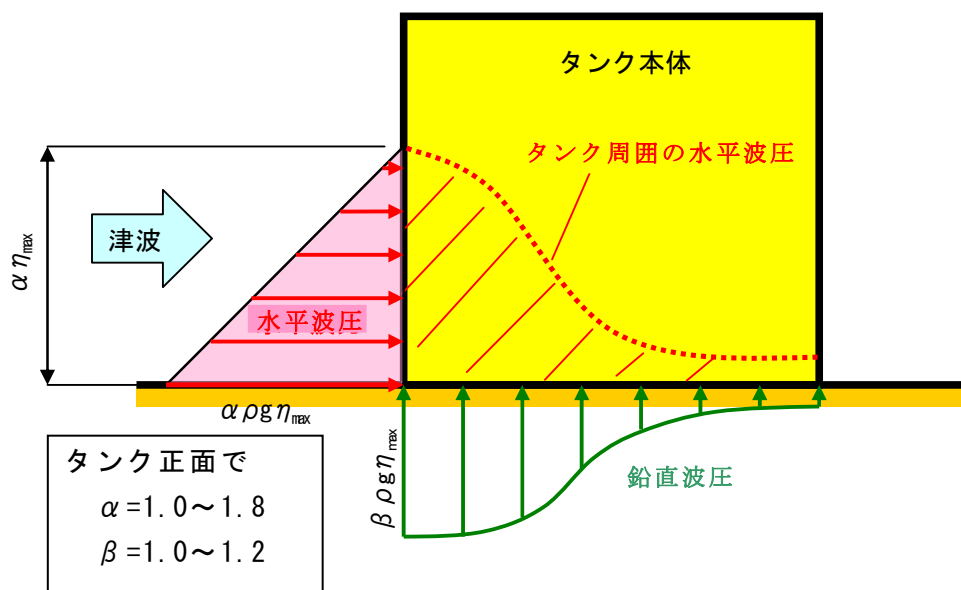


図 3.2-12 提案した「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α 及び「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β によるタンク本体に作用する津波波圧分布

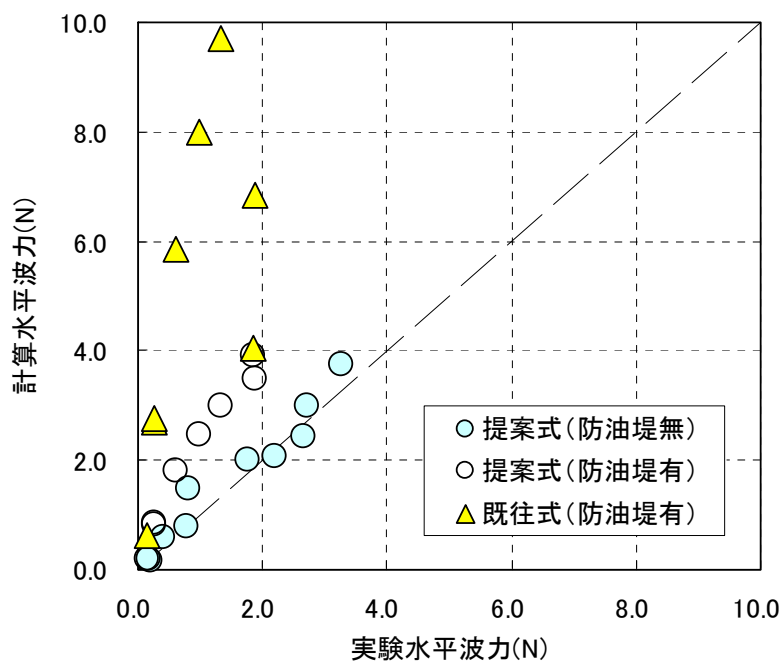


図 3.2-13 実験結果と津波波力算定式による水平波力の比較

3. 3 防油堤・屋外貯蔵タンクの津波被害予測手法

ここでは、津波により屋外タンク貯蔵所に発生する可能性があると考えられる被害形態のうち、3. 1の「(2) 検討対象とした津波被害形態」で掲げた8つのものについて、その被害発生可能性を簡易に予測する手法（津波被害簡易予測手法）を提案する。

繰り返しになるが、これらの8つの被害形態は、次のとおりである。

1) 防油堤（コンクリート擁壁タイプ防油堤）

- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 沈下
- ・ 部材破壊

2) タンク本体

- ・ 浮き上がり
- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 内外水圧差による側板座屈

以下に提案する「津波被害簡易予測手法」においては、外力として防油堤又はタンク本体に作用する津波波力を入力することとなっている。津波波力の算定方法は、前節3. 2で述べたとおりである。

(1) 防油堤の被害形態発生可能性の評価方法

防油堤の構造は、防油堤の構造指針⁵⁾において、液圧、地震の影響、照査荷重等の荷重に対して安定で、十分な強度を有することとされている。「防油堤の津波被害簡易予測手法」は、同指針に示されている荷重計算の考え方や安定性の検討項目等を参考に、防油堤に津波波力が作用した場合の安定性と強度を評価する方法とした。

表 3.3-1 に、防油堤の 4 つの被害形態（「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」）の発生可能性を簡易に予測するための「防油堤の津波被害簡易予測手法」の一覧を示す。

表 3.3-1 防油堤の被害発生可能性の簡易予測手法

被害形態	発生可能性の簡易予測手法
滑動	滑動安全率： $F_{S1} = \frac{\mu(W_1 + W_2 + W_3) + P_p}{F_{dH} + P_A}$ 滑動の可能性あり： $F_{S1} \leq 1.0$ — “ — 可能性なし： $F_{S1} \geq 1.0$ μ：地盤と防油堤の摩擦係数 $W_1 \cdot W_2 \cdot W_3$：防油堤に作用する鉛直力 （自重，土被り重量，海水重量） P_p, P_A：受働土圧合力，主働土圧合力 F_{dH}：防油堤に作用する水平力（津波波力）
転倒	転倒安全率： $F_{S2} = \frac{M_{dV} + M_{PP}}{M_{dH} + M_{PA}}$ 転倒の可能性あり： $F_{S2} \leq 1.0$ — “ — 可能性なし： $F_{S2} \geq 1.0$ $M_{dV} \cdot M_{dH}$：鉛直力（$W_1 \cdot W_2 \cdot W_3$）及び水平力（津波波力）によるモーメント $M_{PP} \cdot M_{PA}$：受働土圧及び主働土圧によるモーメント
沈下	支持力安全率： $F_{S3} = \frac{q_d}{q_{\max}}$ 沈下の可能性あり： $F_{S3} \leq 1.0$ — “ — 可能性なし： $F_{S3} \geq 1.0$ 地盤反力： $q_{\max} = \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \frac{(W_1 + W_2 + W_3)}{b}$ （台形分布； $e \leq \frac{1}{6}b$） $q_{\max} = \frac{2}{3} \frac{(W_1 + W_2 + W_3)}{(b/2 - e)}$ （三角形分布； $e > \frac{1}{6}b$） 地盤の許容支持力： $q_d = \alpha c N_c + \beta \gamma_1 b N_\gamma + \gamma_2 d N_q$ $W_1 \cdot W_2 \cdot W_3$：防油堤に作用する鉛直力 b, e, d：防油堤の底版幅，合力の偏心量，設置深さ N_c, N_γ, N_q：支持力係数 α, β：形状係数（$\alpha = 1.0, \beta = 0.5$） γ_1, γ_2, c：防油堤下地盤，上地盤の単位体積重量，防油堤下地盤の粘着力
部材破壊	必要鉄筋量： $A_{sn} = \frac{M_{dH1}}{\sigma_s j d_s}$ 部材破壊の可能性あり： $A_{sn} \geq A_s$ — “ — 可能性なし： $A_{sn} \leq A_s$ M_{dH1}：防油堤直立壁基部の曲げモーメント σ_s：許容引張応力度 d_s, j：引張鉄筋までの有効高さ，係数（=0.875） A_s：実配筋量

(a) 防油堤の被害予測において考慮する荷重条件

「防油堤の津波被害簡易予測手法」では、図 3.3-1 に示す以下の荷重を考慮する。このうち①～④は一般の防油堤の設計でも考慮している荷重である。

- ①防油堤の自重
- ②土被り重量
- ③主働土圧
- ④受働土圧
- ⑤海水重量
- ⑥津波波力

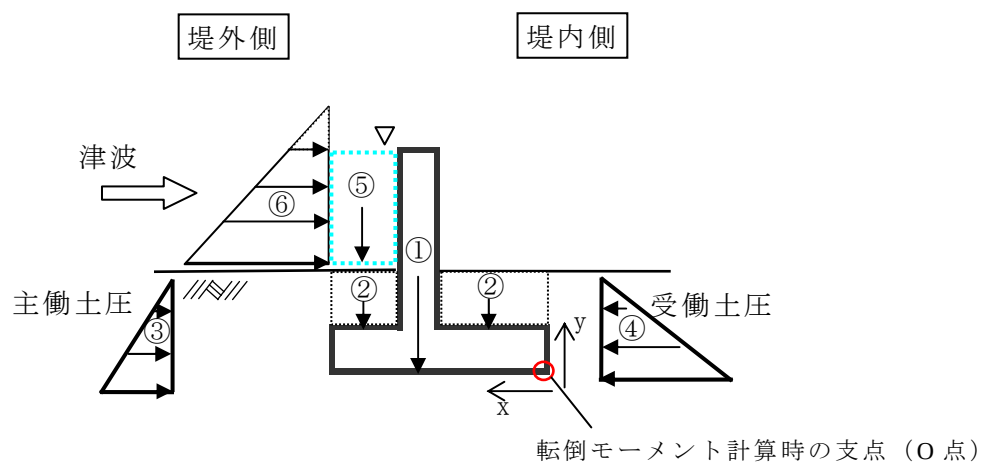


図 3.3-1 防油堤に作用する荷重の模式図

①防油堤の自重

防油堤の自重 W_1 は次式で算定する。

$$W_1 = V_1 \cdot \gamma_1$$

ここで V_1 は防油堤の体積、 γ_1 は防油堤の単位体積重量である。防油堤の単位体積重量は、コンクリート擁壁タイプの場合は一般に $\gamma_1 = 24.5 \text{ kN/m}^3$ である。

②土被り重量

防油堤に作用する荷重として、防油堤底版上の土被り重量を考慮する。土被り重量 W_2 は次式で算定する。

$$W_2 = (V_{2o} + V_{2i}) \cdot \gamma_2$$

ここで、 V_{2o} は堤外側のフーチング上の土被り体積、 V_{2i} は堤内側のフーチング上の土被り体積、 γ_2 は土被り材の単位体積重量である。土被り材の単位体積重量は現地土の単位体積重量を用いるが、標準的な砂質土の場合には $\gamma_2 = 19.0 \text{ kN/m}^3$ が用いられる。

③主働土圧、④受働土圧

防油堤に作用する土圧は、クーロンの式により算定する。クーロンの式は、剛体の土圧

公式として最も頻繁に用いられている方法で、多くの技術基準⁶⁾等で紹介されている。地盤が砂質土の水平地盤の場合の算定式を次式に示す。

$$\text{主働土圧合力： } P_A = \frac{1}{2} p_A d \quad (\text{式 3.3-1})$$

$$\text{受働土圧合力： } P_P = \frac{1}{2} p_P d \quad (\text{式 3.3-2})$$

$$\text{主働土圧強度： } p_A = K_A \gamma_2 x_d \quad (\text{式 3.3-3})$$

$$\text{受働土圧強度： } p_P = K_P \gamma_2 x_d \quad (\text{式 3.3-4})$$

$$\text{主働土圧係数： } K_A = \cos^2 \phi / \left[\cos \delta \left\{ 1 + (\sin(\phi + \delta) \sin \phi / \cos \delta)^{1/2} \right\}^2 \right] \quad (\text{式 3.3-5})$$

$$\text{受働土圧係数： } K_P = \cos^2 \phi / \left[\cos \delta \left\{ 1 - (\sin(\phi - \delta) \sin \phi / \cos \delta)^{1/2} \right\}^2 \right] \quad (\text{式 3.3-6})$$

ここで、 d は防油堤の設置深さ、 γ_2 は土の単位体積重量、 x_d は土圧の作用深さ、 ϕ は土のせん断抵抗角、 δ は壁背面と土との間の壁面摩擦角である。標準的な砂質土の場合、せん断抵抗角は $\phi = 30^\circ$ 、主働土圧の壁面摩擦角は $\delta = \phi = 15^\circ$ 、受働土圧の壁面摩擦角は $\delta = -\phi/3 = -10^\circ$ である。

なお、防油堤の設置地盤が傾斜している場合、または粘性土地盤の場合のクーロンの式は参考文献を参照されたい。

⑤海水重量

防油堤に津波波力が作用しているときは、堤外側のフーチング上に津波の水塊（海水）があることから、この重量を考慮することができるため、海水重量 W_3 は次式で算定する。

$$W_3 = V_3 \cdot \gamma_w$$

ここで、 V_3 は堤外側のフーチング上の津波水塊の体積で、水位レベルは $(1 + \alpha_d) \eta_{max}$ が防油堤の高さよりも高い場合は防油堤高さ、低い場合は $(1 + \alpha_d) \eta_{max}$ となる。 γ_w は海水の単位体積重量で、一般には $\gamma_w = 10.1 \text{ kN/m}^3$ が用いられる。

なお、津波波力には、防油堤に作用する水平波力の他に地表面に下向きに作用する波力もあり、防油堤壁前面の地表面において、鉛直下向きに作用していると考えられる。ただし、地表面に作用する鉛直下向きの力は、防油堤から堤外側に離れるにつれ、どのような分布をしているかは現状不明であるため、本検討では津波波力を最大浸水深から算定していることを考慮して、最大浸水深分の水塊重量を防油堤外側の底版部分に見込むこととした。

⑥津波波力

防油堤に作用する津波水平波力 F_{dH} は、前項 3. 2 に示すとおりである。

(b) 防油堤の滑動発生可能性の予測

防油堤の滑動発生可能性の有無は、津波波力作用時における防油堤に作用する水平抵抗力と水平力の比で表される滑動安全率 F_{S1} (式 3.3-7) にて判定する。

$$\text{滑動安全率 ; } F_{S1} = \frac{\mu(W_1 + W_2 + W_3) + P_p}{F_{dH} + P_A} \quad (\text{式 3.3-7})$$

$$F_{S1} \leq 1.0 : \text{滑動あり}$$

$$F_{S1} \geq 1.0 : \text{滑動なし}$$

ここで、 μ は地盤と防油堤の摩擦係数で、一般には $\mu=0.5$ が用いられる。

なお、防油堤の構造指針⁵⁾では、地震時に対する滑動安全率の許容値を $F_{S1}=1.2$ としているが、上式は滑動の可能性の有無を評価する式であることから、 $F_{S1}=1.0$ を判定の基準とした。

(c) 防油堤の転倒発生可能性の予測

防油堤の転倒発生可能性の有無は、津波波力作用時における防油堤の堤内側端点 (図 3.3-1 の O 点) 回りの抵抗モーメントと転倒モーメントの比で表される転倒安全率 F_{S2} (式 3.3-8) にて判定する。

$$\text{転倒安全率 ; } F_{S2} = \frac{M_{dV} + M_{PP}}{M_{dH} + M_{PA}} \quad (\text{式 3.3-8})$$

$$F_{S2} \leq 1.0 : \text{転倒あり}$$

$$F_{S2} \geq 1.0 : \text{転倒なし}$$

ここで、 M_{dV} は鉛直力 (自重、土被り重量、海水重量) によるモーメント、 M_{PP} 、 M_{PA} はそれぞれ受働土圧および主働土圧によるモーメント、 M_{dH} は津波波力によるモーメントで、それぞれのモーメントは各荷重に O 点からの荷重重心までの距離を乗じた値である。

なお、防油堤の構造指針⁵⁾では、地震時に対する転倒安全率の許容値を $F_{S2}=1.2$ としているが、上式は転倒の可能性の有無を評価する式であることから、 $F_{S2}=1.0$ を判定の基準とした。

(d) 防油堤の沈下発生可能性の予測

防油堤の沈下発生可能性の有無は、津波波力作用時における防油堤の底面反力と基礎地盤の許容支持力の比で表される F_{S3} (式 3.3-9) にて判定する。

$$\text{沈下に対する安全率} ; F_{S3} = \frac{q_d}{q_{\max}} \quad (\text{式 3.3-9})$$

$$F_{S3} \leq 1.0 : \text{沈下あり}$$

$$F_{S3} \geq 1.0 : \text{沈下なし}$$

ここで、 q_d は基礎地盤の許容支持力、 $q_{\max}$ は防油堤の底面反力で、それぞれ次式で求められる。

$$q_d = \alpha c N_c + \beta \gamma_1 b N_\gamma + \gamma_2 d N_q \quad (\text{式 3.3-10})$$

$$q_{\max} = \begin{cases} \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \frac{(W_1 + W_2 + W_3)}{b} & ; e \leq \frac{1}{6}b \quad (\text{底面反力が台形分布}) \\ \frac{2(W_1 + W_2 + W_3)}{3(b/2 - e)} & ; e \geq \frac{1}{6}b \quad (\text{底面反力が三角形分布}) \end{cases} \quad (\text{式 3.3-11})$$

$$e = b/2 - x$$

$$x = \frac{M_{dV} + M_{PP} - M_{dH} - M_{PA}}{W_1 + W_2 + W_3}$$

ここで、 b は防油堤の底版幅、 c は基礎底面下にある地盤の粘着力、 d は防油堤の設置深さ、 e は全合力の偏心量、 α 、 β は支持力公式における形状係数、 γ_1 は基礎底面下にある地盤の単位体積重量、 γ_2 は基礎底面より上方にある地盤の単位体積重量、 N_c, N_γ, N_q は支持力公式における支持力係数である。防油堤の場合の形状係数と支持力係数は構造指針に明記されており、形状係数は $\alpha=1.0$ 、 $\beta=0.5$ 、支持力係数はせん断抵抗角が $\phi=30^\circ$ の場合は $N_c=16.2$ 、 $N_\gamma=7.5$ 、 $N_q=10.6$ を用いることができる。なお、地盤が砂質土の場合は一般に粘着力 $c=0\text{kN/m}^2$ であるため、許容支持力 q_d の右辺第一項はゼロとなる。

なお、この照査方法は防油堤の構造指針⁵⁾における地盤の支持力の検討方法に準じた方法であり、地震時に対する支持力安全率の許容値を $F_{S3}=1.5$ としているが、上式は沈下の可能性の有無を評価する式であることから、 $F_{S3}=1.0$ を判定の基準とした。

(e) 防油堤の部材破壊発生可能性の予測

防油堤の部材破壊発生可能性の有無は、防油堤の壁体が津波波力に対して十分な強度を有するために必要な鉄筋量 A_{sn} を求め、これと防油堤の実配筋 A_s との対比によって判定する。ここで、必要鉄筋量と実配筋との対比を行う箇所は直立壁の基部とし、必要鉄筋量は(式 3.3-12) で求める。

$$\text{必要鉄筋量 ; } A_{sn} = \frac{M_{dH1}}{\sigma_s j d_s} \quad (\text{式 3.3-12})$$

$$A_{sn} \geq A_s : \text{部材破壊あり}$$

$$A_{sn} \leq A_s : \text{部材破壊なし}$$

ここで、 M_{dH1} は津波波力によって防油堤直立壁基部に発生する曲げモーメント、 σ_s は鉄筋の許容引張応力度、 j は係数で $j=0.875$ 、 d_s は引張鉄筋までの有効高さである。このうち、 M_{dH1} は津波波力に防油堤直立壁基部から荷重重心までの距離を乗じた値である。また、鉄筋の許容引張応力度 σ_s 、引張鉄筋までの有効高さ d_s 、防油堤の実配筋 A_s は防油堤の原設計に準じて設定するが、鉄筋の許容引張応力度は、防油堤の構造指針より $\sigma_s=300\text{N/mm}^2$ (割増係数 1.5 を含む) とされている。

なお、防油堤直立壁基部に発生する曲げモーメントは、図 3.3-2 に示すように、底版中心部を支点として次式より求める。また、評価は鉄筋の曲げ破壊のみとし、コンクリートの破壊は考慮しないものとした。

$$M_{dH1} = F_{dH} h \quad (\text{式 3.3-13})$$

ここで、 F_{dH} : 津波による水平波力、 h : 直立壁基部からの作用高さである。

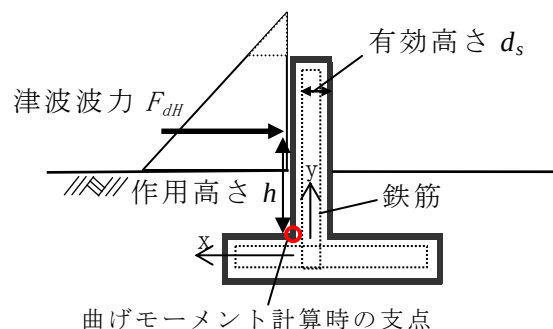


図 3.3-2 部材破壊評価の模式図

(2) 屋外貯蔵タンクの被害形態発生可能性の評価方法

表 3.3-2 に、タンクの 4 つの被害形態（「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水压差による側板座屈」）の発生可能性を簡易に予測するための「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測手法」の一覧を示す。

表 3.3-2 屋外貯蔵タンクの被害発生可能性の簡易予測手法

被害形態	発生可能性の簡易予測手法
浮き上がり	浮き上がり安全率： $F_{Sa} = \frac{W_T + W_L}{F_{iv}}$ 浮き上がりの可能性あり： $F_{Sa} \leq 1.0$ — “ — 可能性なし： $F_{Sa} \geq 1.0$ W_T：タンク本体の重量 W_L：タンク内容液の重量 F_{iv}：タンクに作用する鉛直力（津波波力）
滑動	滑動安全率： $F_{Sb} = \frac{\mu(W_T + W_L - F_{iv})}{F_{ih}}$ 滑動の可能性あり： $F_{Sb} \leq 1.0$ — “ — 可能性なし： $F_{Sb} \geq 1.0$ μ：タンク基礎とタンク本体の摩擦係数 W_T：タンク本体の重量 W_L：タンク内容液の重量 F_{iv}：タンクに作用する津波の鉛直力 F_{ih}：タンクに作用する津波の水平力
転倒	転倒安全率： $F_{Sc} = \frac{M_w - M_{iv}}{M_{ih}}$ 転倒の可能性あり： $F_{Sc} \leq 1.0$ — “ — 可能性なし： $F_{Sc} \geq 1.0$ M_w：津波に対する抵抗モーメント M_{iv}：津波による鉛直モーメント M_{ih}：津波による水平モーメント
側板座屈	座屈が発生する津波浸水深： $H_0 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$ 座屈の可能性あり： $H_0 \leq \eta_{\max}$ — “ — 可能性なし： $H_0 \geq \eta_{\max}$ $A = \frac{\rho g RL^2}{2\pi^2 D}$ $B = \left(\frac{\rho_1 g RL^2}{2\pi^2 D} H_1 + 0.3168Z^{1/2} \right)$ $C = -1.152LZ^{1/2}$ $D = \frac{EH^3}{12(1-\nu^2)}$ $Z = \sqrt{1-\nu^2} \frac{L^2}{RH}$ ρ_1, ρ：内容液の比重，津波水の比重 R, L, H：タンクの半径，高さ，側板厚 H_1：タンク内容液高さ， Z, ν, E：形状係数，ポアソン比，ヤング率

(a) タンク本体の被害予測における荷重条件

タンク本体の被害判定においては、次の荷重を考慮する。

- ・タンク本体重量
- ・タンク内容液(危険物)の重量
- ・津波波力
- ・浮力

(b) タンク本体の浮き上がり発生可能性の予測

タンク本体の浮き上がり発生可能性の有無は、タンク本体及び危険物の重量と津波による鉛直力の比で表す浮き上がり安全率 F_{sa} にて判定した。

次式にタンク本体の滑動安全率の算定式を示す。

$$\text{浮き上がり安全率} \quad F_{sa} = \frac{W_T + W_L}{F_{tv}} \quad (\text{式 3.3-14})$$

$$F_{sa} \leq 1.0 : \text{浮き上がりあり}$$

$$F_{sa} \geq 1.0 : \text{浮き上がりなし}$$

ここで、 W_T ：タンク本体重量、 W_L ：内溶液の重量、 F_{tv} ：津波の鉛直波力である。

(c) タンク本体の滑動発生可能性の予測

タンク本体の滑動発生可能性の有無は、タンク本体及び危険物の重量、津波の鉛直波力と津波波力による水平力の比で表す滑動安全率 F_{sb} にて判定した。

次式にタンク本体の滑動安全率の算定式を示す。

$$\text{滑動安全率} \quad F_{sb} = \frac{\mu(W_T + W_L - F_{tv})}{F_{th}} \quad (\text{式 3.3-15})$$

$$F_{sb} \leq 1.0 : \text{滑動あり}$$

$$F_{sb} \geq 1.0 : \text{滑動なし}$$

ここで、 μ ：基礎とタンク本体の摩擦係数、 F_{th} ：津波の水平波力である。

なお、本検討での摩擦係数 μ は、JIS 規格書⁷⁾から、土面に対する乾いた石の静止摩擦係数である 0.5 を用いた。

(d) タンク本体の転倒発生可能性の予測

タンク本体の転倒発生可能性の有無は、タンク本体及び内溶液の重量による抵抗モーメントと津波波力による水平・鉛直モーメントの比で表す転倒安全率 F_{Sc} にて判定した。なお、本検討におけるモーメント計算時の支点は、タンク背面基部とした。

次式にタンク本体の転倒安全率の算定式を示す。

$$\text{転倒安全率} \quad F_{Sc} = \frac{M_w - M_{iv}}{M_{th}} \quad (\text{式 3.3-16})$$

$$\text{抵抗モーメント} \quad M_w = (W_T + W_L)R$$

$$F_{Sc} \leq 1.0 : \text{転倒あり}$$

$$F_{Sc} \geq 1.0 : \text{転倒なし}$$

ここで、 R ：タンクの半径である。

(e) 内外水圧差による側板座屈発生可能性の予測

内外水圧差によるタンク本体の側板座屈（タンクの外側から作用する水圧により側板に発生しうる座屈）発生可能性の有無の照査は、周囲液体からの静液圧を受ける円筒シェルの座屈理論⁸⁾に基づき式を導出した。

この結果、タンク本体の側板に座屈が発生する津波浸水深 H_0 は、(式 3.3-17) から求められる。

なお、本来の側板座屈の評価には、流速の影響が考慮されるべきであるが、本検討ではタンク周囲から一様な静水圧が作用すると仮定した際の側板座屈の有無を評価した。

$$\frac{\rho g}{2} \frac{RL^2}{\pi^2 D} H_0^2 - \left(\frac{\rho_1 g}{2} \frac{RL^2}{\pi^2 D} H_1 + 0.3168Z^{1/2} \right) H_0 - 1.152LZ^{1/2} = 0 \quad (\text{式 3.3-17})$$

$$H_0 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$A = \frac{\rho g}{2} \frac{RL^2}{\pi^2 D}$$

$$B = \left(\frac{\rho_1 g}{2} \frac{RL^2}{\pi^2 D} H_1 + 0.3168Z^{1/2} \right)$$

$$C = -1.152LZ^{1/2}$$

$$D = \frac{EH^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$Z = \sqrt{1-\nu^2} \frac{L^2}{RH}$$

$$H_0 \leq \eta_{\max} : \text{座屈あり}$$

$$H_0 \geq \eta_{\max} : \text{座屈なし}$$

ここで、 ρ は周囲液体の密度、 g は重力加速度、 R はタンク半径、 L はタンク高さ、 D は曲げ剛性、 E はヤング率、 Z は形状係数、 ν はポアソン比 (=0.3)、 ρ_1 は内溶液の密度、 H_1 は内溶液の高さを示す。

(式 3.3-14) の導出には、日本機械学会(2000)⁸⁾で紹介されている円筒シェル内部が空で周囲液体のみ作用する場合の研究結果である Chiba ら(1989)⁹⁾の知見を参照した。図 3.3-3 に円筒シェルの無次元座屈圧力 k_m とシェルの形状係数 Z との関係を示す。ここで、静液圧は円周方向には一様に作用する力である。

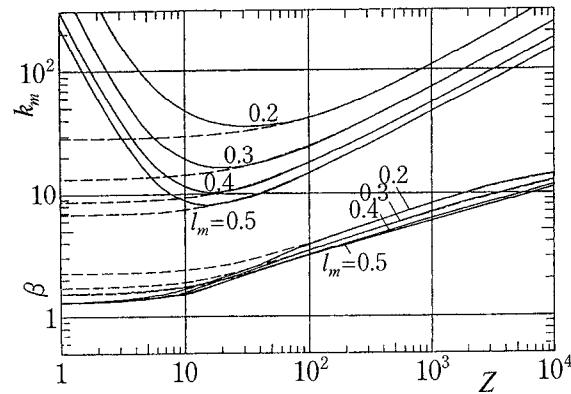


図 3.3-3 周囲から静液圧を受ける円筒シェルの無次元座屈圧力 k_m と形状係数 Z の関係
(両端固定壁の場合、Chiba ら(2000)⁹⁾より)

Chiba らは、図 3.3-3 の曲線の近似式として、(式 3.3-18) を示している。

$$k_m = 0.576 \left(\frac{1}{l_m} + 0.55 \right) Z^{1/2} \quad (\text{式 3.3-18})$$

$$l_m = H_0/2L \quad (\text{式 3.3-19})$$

$$Z = \sqrt{1-\nu^2} \frac{L^2}{RH} \quad (\text{式 3.3-20})$$

ここで、 l_m ：無次元周囲液体高さ、 H_0 ：周囲液体高さ(m)、 L ：タンク高さ(m)、 ν ：ポアソン比 (=0.3)、 R ：タンク半径(m)、 H ：タンク側板の厚さ(m)である。

一方、 k_m の定義から、

$$k_m = P_m RL^2 / \pi^2 D \quad (\text{式 3.3-21})$$

$$P_m = \rho_f g H_0 / 2 \quad (\text{式 3.3-22})$$

$$D = EH^3 / \{12(1-\nu^2)\} \quad (\text{式 3.3-23})$$

ここで、 P_m ：最下面静液圧（の半分）、 D ：曲げ剛性 (N・m)、 ρ_f ：周囲液体の密度、 E ：ヤング率(N/m²)である。

ともに k_m の式である（式 3.3-18）、（式 3.3-21）から次式が得られ、これを整理すると、次の 2 次方程式が得られ、この解 H_0 がタンク側壁に座屈が発生する周囲液位となる。

$$\frac{\rho_f g}{2} \frac{RL^2}{\pi^2 D} H_0^2 - 0.3168 Z^{1/2} H_0 - 1.152 LZ^{1/2} = 0 \quad (\text{式 3.3-24})$$

次に、タンクに内部液がある場合を想定し、簡易的に、タンク内外の流体の圧力差で、タンクが座屈するものとする。

タンクには、図 3.3-4 に示すような静水圧が内外に作用する。この場合、（式 3.3-22）に示した最下面静液圧の半分 P_m は、

$$P_m = \rho_f g H_0 / 2 - \rho_{f1} g H_1 / 2 \quad (\text{式 3.3-25})$$

ここで、 ρ_{f1} ：内溶液の密度、 H_1 ：内溶液の高さ(m)である。

（式 3.3-18）と（式 3.3-21）に対し、（式 3.3-25）を用いると、（式 3.3-24）は下記のように書き換わり、（式 3.3-17）が得られる。

$$\frac{\rho_f g}{2} \frac{RL^2}{\pi^2 D} H_0^2 - \left(\frac{\rho_{f1} g}{2} \frac{RL^2}{\pi^2 D} H_1 + 0.3168 Z^{1/2} \right) H_0 - 1.152 LZ^{1/2} = 0 \quad (\text{式 3.3-17 再掲})$$

この 2 次方程式の解 H_0 が、タンク側壁に座屈が発生する周囲液位となる。

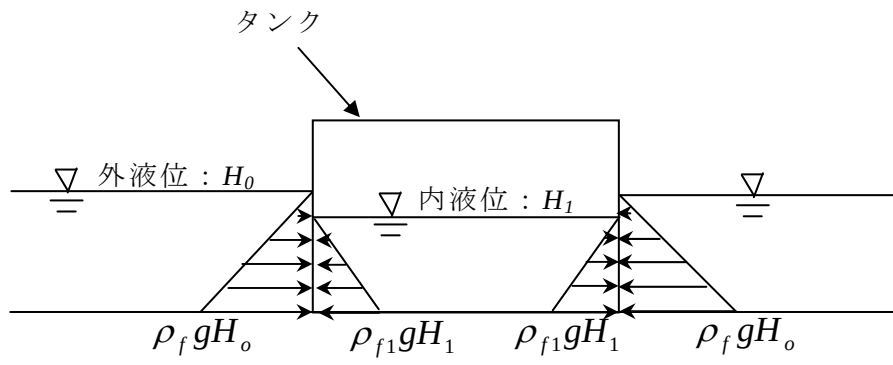


図 3.3-4 タンク内外に作用する静水圧差の模式図

3. 4 屋外貯蔵タンクの津波による漂流軌跡（漂流距離）の予測手法

第2章で記載したように、2004年インドネシア・スマトラ島沖地震の際の津波では、屋外貯蔵タンクが漂流して防油堤を損壊させるとともに、数百メートルにもわたって漂流するという被害が発生している。

こうしたことから、本検討では、タンクの津波による浮き上がり、滑動、漂流軌跡（漂流距離）を明らかにするための水理模型実験を通じて、屋外貯蔵タンクの漂流軌跡（漂流距離）を予測する手法（屋外貯蔵タンク漂流予測手法）の提案を行うこととした。

なお、水理模型実験に関する詳細は、資料－4に記載した。

（1） 運動方程式の基礎式（一次元）

津波の水位（浸水深）と流速の時間・空間分布が得られている場合に「屋外貯蔵タンク漂流予測手法」として、タンクの位置に関する運動方程式を解く方法を考える。ここでは、タンクを1質点と考え、津波による流体力などを外力とし、タンクの漂流による付加質量および付加減衰項を考慮した運動方程式(式 3.4-1)を解く方法により、タンクの漂流軌跡（漂流距離）を予測することを試みる。(式 3.4-1)の解である x_G がタンクの位置であり、この式が妥当であれば、津波によりタンクに力が作用するとき、タンクがどこまで漂流するかを計算できることになる。

$$\underbrace{(W + m_a) \cdot \ddot{x}_G}_{\text{加速度項}} + \underbrace{N \cdot \dot{x}_G}_{\text{減衰項}} = \underbrace{F_x}_{\text{外力項}} \quad (\text{式 3.4-1})$$

ここで、

W : タンク重量 (kg)

m_a : 付加質量 (kg)

$\ddot{x}_G$: タンクの漂流加速度 (m/s²)

N : 付加減衰 (kg/s)

$\dot{x}_G$: タンクの漂流速度 (m/s)

F_x : 外力

である。

(2) 外力項の評価

右辺の外力項は、次式で表される。

$$F_x = F_T - F_D - F_B \quad (\text{式 3.4-2})$$

ここで、 F_T : 津波による流体力、 F_D : 摩擦抵抗抗力、 F_B : 防油堤による反力である。

流体力は以下のモリソン式とする。

$$F_T = \rho/2 \cdot C_D \cdot (u - \dot{x}_G) \cdot |u - \dot{x}_G| \cdot S \eta + C_M \cdot \rho \cdot A \cdot \eta \cdot \dot{u} \quad (\text{式 3.4-3})$$

ここで、

ρ : 流体密度

C_D : 抗力係数 (=1.2)

C_M : 慣性力係数 (=2.0)

u : タンクの位置の流速 (タンクが無いとき)

$\dot{u}$: タンクの位置の流れ加速度

S : タンク軸直角方向の幅 (=直径 D)

A : タンクの底面積

η : タンク位置の浸水深 (タンクが無いとき)

である。

(3) 水理模型実験結果との比較

(式 3.4-1)の計算により、水理模型実験で観察されたタンクの滑動、漂流、停止が再現できるかどうかを調べた。計算に使用したパラメータを表 3.4-1 に示す。パラメータの詳細は資料－4を参照されたい。

表 3.4-1 水理模型実験の再現に使用した計算パラメータ

項目	記号	設定値
津波水位（浸水深）・流速	η, u	実験で計測した値
計算時間刻み	Δt	0.005s
計算時間		90s
タンク重量（自重＋内容液重量）	W	実験ケースにより変化 (925～2,280g)
タンク半径	R	0.1064m
静止摩擦係数	μ_s	0.4
動摩擦係数	μ_d	0.2
抗力係数	C_D	1.2
慣性力係数	C_M	2.0
タンク付加質量	m_a	0.1M
タンク付加減衰	N	0
静止摩擦時の作用浮力に関する定数	a_s	0.2
動摩擦時の作用浮力に関する定数	a_d, b_d	0.8, 1.2

水理模型実験との比較結果を図 3.4-1 に示す。それぞれ赤線が(式 3.4-1)による計算値である。

予測値は、タンクの動き出しのタイミングおよびタンクの漂流距離について、実験のばらつきの中にほぼ収まる結果となっており、実験結果を良く表していると言える。従って、前節に示した運動方程式モデルは妥当であると言える。

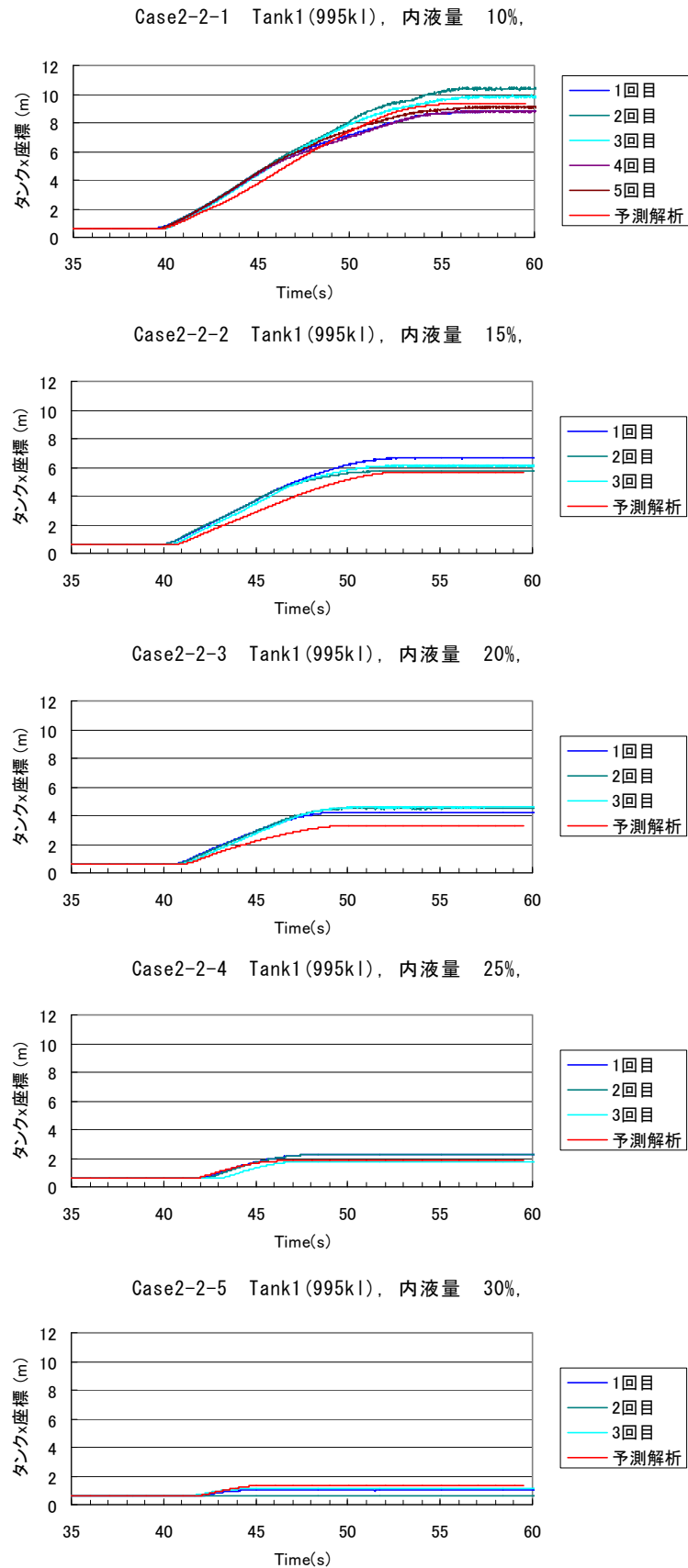


図 3.4-1 タンク漂流位置に関する実験結果と予測結果の比較

(4) 運動方程式の二次元化

(1) で示した運動方程式(式 3.4-1)は、水理模型実験の再現を念頭に x 方向の一次元で記述した。しかし、ある地域を対象とした津波伝播シミュレーションでは水平 2 方向 (x, y) 方向) の二次元計算を行っており、この津波伝播シミュレーション結果に基づいてタンクの漂流軌跡 (漂流距離) を予測するには運動方程式も二次元化しておく必要がある。

式(式 3.4-1)および(式 3.4-2)を二次元化すると、(式 3.4-4)および(式 3.4-5)のようになる。

$$\begin{cases} (W + m_a) \cdot \ddot{x}_G + N \cdot \dot{x}_G = F_x \\ (W + m_a) \cdot \ddot{y}_G + N \cdot \dot{y}_G = F_y \end{cases} \quad (\text{式 3.4-4})$$

$$\begin{cases} F_x = F_{T_x} - F_{D_x} - F_{B_x} \\ F_y = F_{T_y} - F_{D_y} - F_{B_y} \end{cases} \quad (\text{式 3.4-5})$$

y_G : y 方向重心位置

各項の評価については、基本的に合成流速を用いた作用力の x 方向分力・ y 方向分力を与えてやればよく、静的摩擦力についても合力はタンクが漂流した方向に作用するとして、その分力を与えてやればよいと考えられる。ただし、流体力については二次元化の書き方に注意が必要であり、モリソン式(式 3.4-6)の記述を下記に示しておく (今村ら¹⁰⁾ を引用)。

$$\begin{cases} F_{T_x} = \rho/2 \cdot C_D \cdot (u - \dot{x}_G) \cdot \sqrt{(u - \dot{x}_G)^2 + (v - \dot{y}_G)^2} \cdot S\eta + C_M \cdot \rho \cdot A\eta \cdot \dot{u} \\ F_{T_y} = \rho/2 \cdot C_D \cdot (v - \dot{y}_G) \cdot \sqrt{(u - \dot{x}_G)^2 + (v - \dot{y}_G)^2} \cdot S\eta + C_M \cdot \rho \cdot A\eta \cdot \dot{v} \end{cases} \quad (\text{式 3.4-6})$$

v : タンク位置の流速・ y 成分

＜第3章 参考文献＞

- 1) 東電設計株式会社・鹿島建設株式会社(2006)：津波による石油タンクの被害予測手法に関する研究，平成 17 年度消防防災科学技術研究推進制度．
- 2) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷毅・高尾誠・金戸俊道・藤井直樹・大森政則(2000)：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.911-915.
- 3) 東電設計株式会社・鹿島建設株式会社(2005)：津波による石油タンクの被害予測手法に関する研究，平成 16 年度消防防災科学技術研究推進制度．
- 4) (財)沿岸開発技術研究センター(2001)：数値波動水路の研究・開発，沿岸開発技術ライブラリー，No.12.
- 5) 昭和 52 年 11 月 14 日付け消防危第 162 号 (6)防油堤の構造等に関する運用基準について別記 1 防油堤の構造指針．
- 6) 社団法人日本道路協会(2002)：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編 2.2.6 土圧，pp.38.
- 7) 鋼製石油貯蔵の構造（全溶接製）JIS B 8501-1995： 附属書 4 本体の強度計算 (2)本体の転倒と滑り(e)，解 51.
- 8) 日本機械学会編（2003）：シェルの振動と座屈ハンドブック，技報堂出版，350p.
- 9) Chiba,M.,Yamashida,T.,and Yamauchi,M(1989)：Buckling of Circular Cylindrical Shells Partially Subjected to External Liquid Pressure, Thin-Walled Structures, 8, pp.217-333.
- 10) 今村文彦・吉田功・アンドリュー・ムーア(2001)：沖縄県石垣島における 1771 年明和大津波と津波石移動の数値解析，海岸工学論文集、第 48 巻，pp.346-350.

第4章 屋外タンク貯蔵所の津波時の被害予想

4. 1 概要

本章では、我が国の屋外タンク貯蔵所において、どのような津波被害が発生しうるかをとおおむね把握すること、すなわち、屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を作成することを目的として、我が国周辺で将来発生しうる地震の規模及び震源域の位置を考慮して、我が国で屋外タンク貯蔵所が立地している場所にどの程度の大きさの津波が到来するかを予測し、屋外タンク貯蔵所が予測される津波を受けた時にどのような被害が発生しうるかを予想する作業を行った結果を報告する。この「被害イメージ」は、屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策を考えるうえで必要となるものと思われる。

ただし、ここでの「被害イメージ」は、実際に設置されている個々の屋外タンク貯蔵所の津波被害を予測するという意味での「被害想定」とは異なるものである。これは、本調査検討事業の目的が、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策として有効と考えられるものを提案することであって、具体的にどの屋外タンク貯蔵所でどのような津波被害が見込まれるかという「被害想定」までは、必ずしも必要ではないと考えられたためである。また、ここで用いられる屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法は、第3章で提案されたものであるが、これはあくまでも提案段階のものであり、具体的な「被害想定」を行うには、その確度等について、さらなる検討が必要と考えられるという技術上の理由もある。

「被害イメージ」作成の作業は次の手順で行った。

- (1) 我が国周辺で将来発生しうる大地震で、津波を伴うおそれのあるものが発生した場合において、我が国で屋外貯蔵タンクが立地している場所に到来する津波の最大浸水深及び最大流速等を津波伝播シミュレーションによって予測する。
- (2) 防油堤及び屋外貯蔵タンクが当該津波を受けた時の被害発生可能性を第3章で提案された「防油堤の津波被害簡易予測式」、「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」及び「屋外貯蔵タンク漂流予測手法」を用いて予想する。

ここで、(1)の作業は、次のようにして行った。

- ①「我が国周辺で将来発生しうる大地震で、津波を伴うおそれのあるもの」は、中央防災会議から想定地震の震源モデル等が示されていること等の理由から、の4つとした。

- (a) 想定東海地震
- (b) 想定東海・東南海・南海地震
- (c) 想定日本海溝・千島海溝における約500年間隔の地震
- (d) 明治三陸地震の再来

- ②次に、「屋外貯蔵タンクが立地している地域」については、上記の4つの想定地震のうち

のいずれかにより、大きな津波が到来するおそれがあるとされる地域で、現に屋外タンク貯蔵所が立地しているもののうちから 8 つの地域を選んだ。

- ③これら 8 つの地域において、それぞれに対して設定された想定地震から予想される津波を「モデル津波」と呼ぶこととし、「モデル津波」の最大浸水深及び最大流速等を津波伝播シミュレーションによって計算した。「モデル津波」は次のとおりである。

表 4.1-1 モデル津波

「モデル津波」の名称	想定地震
静岡県東部沿岸のモデル津波	東海地震
高知県中部沿岸のモデル津波	東海・東南海・南海 3 連動型地震
和歌山県中部沿岸のモデル津波	
三重県南部沿岸のモデル津波	
三重県中部沿岸のモデル津波	
三重県北部沿岸のモデル津波	
北海道東部沿岸のモデル津波	日本海溝・千島海溝における約 500 年間隔の地震
岩手県中部沿岸のモデル津波	明治三陸地震の再来

(2) の被害予想は、第 3 章で提案された屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法を用いて行うものであるから、予想対象となる被害形態は、次の 9 つとなる。

1) 防油堤（コンクリート擁壁タイプ防油堤）

- ・滑動
- ・転倒
- ・沈下
- ・部材破壊

2) タンク本体

- ・浮き上がり
- ・滑動
- ・転倒
- ・内外水圧差による側板座屈
- ・漂流軌跡（漂流距離）

前述のとおり、ここでの作業は、いわゆる「被害想定」を行うものではなく、あくまでも我が国の屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を得るためのものであることから、上記③の津波伝播シミュレーションは、実際の地形等を忠実に模擬するかわりに、都市計画図等を参考に周辺の陸域地形を均一な地盤高さに変更し、さらに建物等を省

略して実施した。ただし、海底地形、防波堤、防潮堤、陸閘等は、対象地域に実在するものをモデル化し、現在建設中のものについては、完成後の状態をモデル化することとした。

また、同じくここでの作業は「被害イメージ」を得るためのものであることから、(2)の被害予想は、対象地域に実在する防油堤及び屋外貯蔵タンクに対して行うのではなく、代表的と考えられる諸元を有する防油堤及び屋外貯蔵タンクを仮定し、この仮定された屋外貯蔵タンク及び防油堤が(1)で予測された津波を受けた場合の被害を予想することとした。

ここで仮定する屋外貯蔵タンクは、容量 1,000 kℓ（小規模仮定タンク）と容量 10,000 kℓ（中規模仮定タンク）の 2 種類とした。また、仮定する防油堤（仮定防油堤）の高さは 1.5m とした。

なお、上記③の津波伝播シミュレーションは、場合によっては、防油堤が含まれるモデルに対して実施する必要があるが、その場合の防油堤も同じく代表的諸元と考えられる防油堤と仮定した。

以下、「4.2 モデル津波の選定」では、上記①及び②の作業内容とその結果を述べる。次に、「4.3 モデル津波の最大浸水深と流速の予測」で上記③の作業内容及び結果を、「4.4 防油堤及び屋外貯蔵タンクの被害発生可能性の予想」で(2)の作業内容及び結果を述べる。

4. 2 モデル津波の選定

(1) モデル津波の作成するに当たっての想定地震の選定

中央防災会議では、我が国周辺で将来発生しうる大地震で、津波を伴うおそれのあるもののうち、東海地震、東南海・南海地震、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震について、それぞれ専門調査会^{*)}を設置し、津波の波高予測等を行っている。

ここでは、これらの専門調査会での津波の波高予測結果^{1)~5)}から、我が国沿岸においてとくに大きな津波が予想される想定地震として、次の4つの地震を取り上げ、これらの地震から「モデル津波」を作成することとした。

- (a) 想定東海地震
- (b) 想定東海・東南海・南海地震（3連動地震）
- (c) 想定日本海溝・千島海溝における約500年間隔の地震
- (d) 明治三陸地震（再来）

以下、中央防災会議の各専門調査会の資料^{1)~5)}に基づいて、地震と津波の概要を述べる。

^{*)} 「東海地震に関する専門調査会」、「東南海・南海地震等に関する専門調査会」、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」

(a) 想定東海地震の津波

東海地震は、「1944 年の東南海地震によってエネルギーの解放がなされなかった駿河湾及び駿河トラフ付近の領域においては、1854 年の安政東海地震の発生後約 150 年が経過しており、いつ発生してもおかしくない状況にあり、十分な警戒が必要である。」とされている¹⁾。図 4.2-1 に資料内で示されている想定断層モデルの震源域を、図 4.2-2 に沿岸での最大津波高さの分布を示す。御前崎町付近の沿岸域で高さ 8m 程度の津波が予想されている。

【断層ケース：想定震源域+ABD】



各断層のすべり量は次の通り

想定震源域：4.0m

断層 A ：1.5m

断層 B ：4.0m

矩形断層 D：4.0m

尚、矩形断層 D の断層パラメータは次の通り

断層名	深さ (km)	走向 (°)	傾斜 (°)	すべり角 (°)	長さ (km)	幅 (km)	すべり量 (m)
D	3	230	26	115	90	20	2.85

図 4.2-1 想定東海地震の震源域（中央防災会議資料¹⁾から引用）

海岸における津波の高さの最大値分布および波の到達時刻

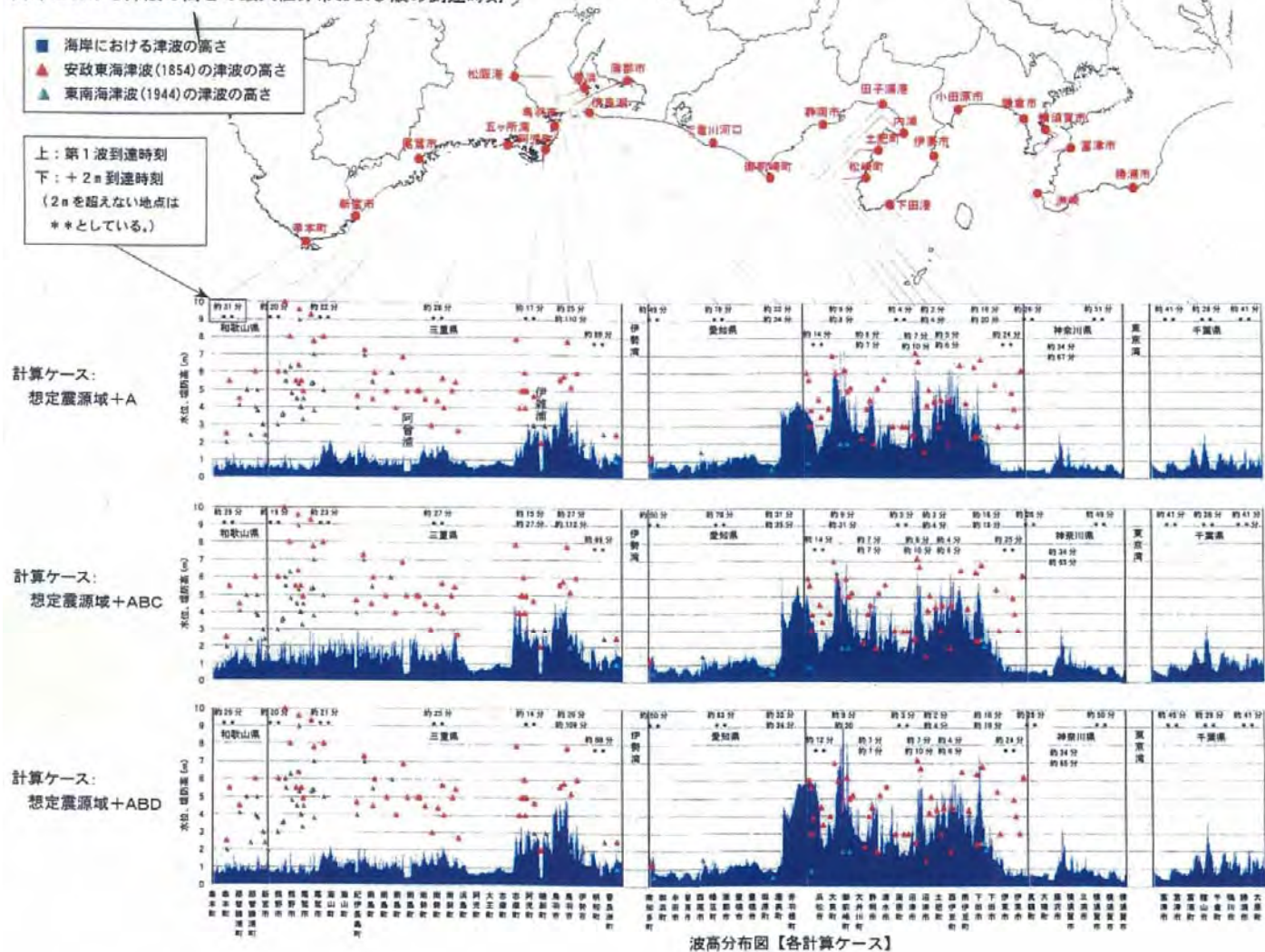


図 4.2-2 想定東海地震による沿岸域での最大津波高さ（中央防災会議資料¹⁾から引用）

(b) 想定東海・東南海・南海地震（3連動地震）の津波

中央防災会議の専門調査会では、「切迫性が高いとされている「東海地震」の震源域と連なる、遠州灘西部から土佐湾沖までの南海トラフのプレート境界においては、（中略）巨大地震の発生間隔が約 100～150 年であることから考えると、今世紀前半にも当該地域で巨大な地震が発生する状況にあることが懸念されている。」²⁾とされている。

図 4.2-3 に東南海・南海地震の震源域を示す。専門調査会では、東南海地震と南海地震の震源域が同時に破壊するケースや、東海地震が相当期間発生しなかった場合には、東海地震と東南海地震等との同時発生の可能性も生じてくるとして、東海地震、東南海地震、南海地震の震源域が同時に破壊されるケース（3連動地震）の検討も実施されている²⁾。

図 4.2-4(1)・(2)には、3連動地震発生時に予想される沿岸における最大津波高さの分布を示す。高知県沿岸では、広い範囲で高さ 10m 程度の津波の到来が予想されている。紀伊半島の先端に近い和歌山県串本町から三重県鳥羽市の広い範囲にかけても、高さ 5～8m 程度の津波の到来が予想されている。

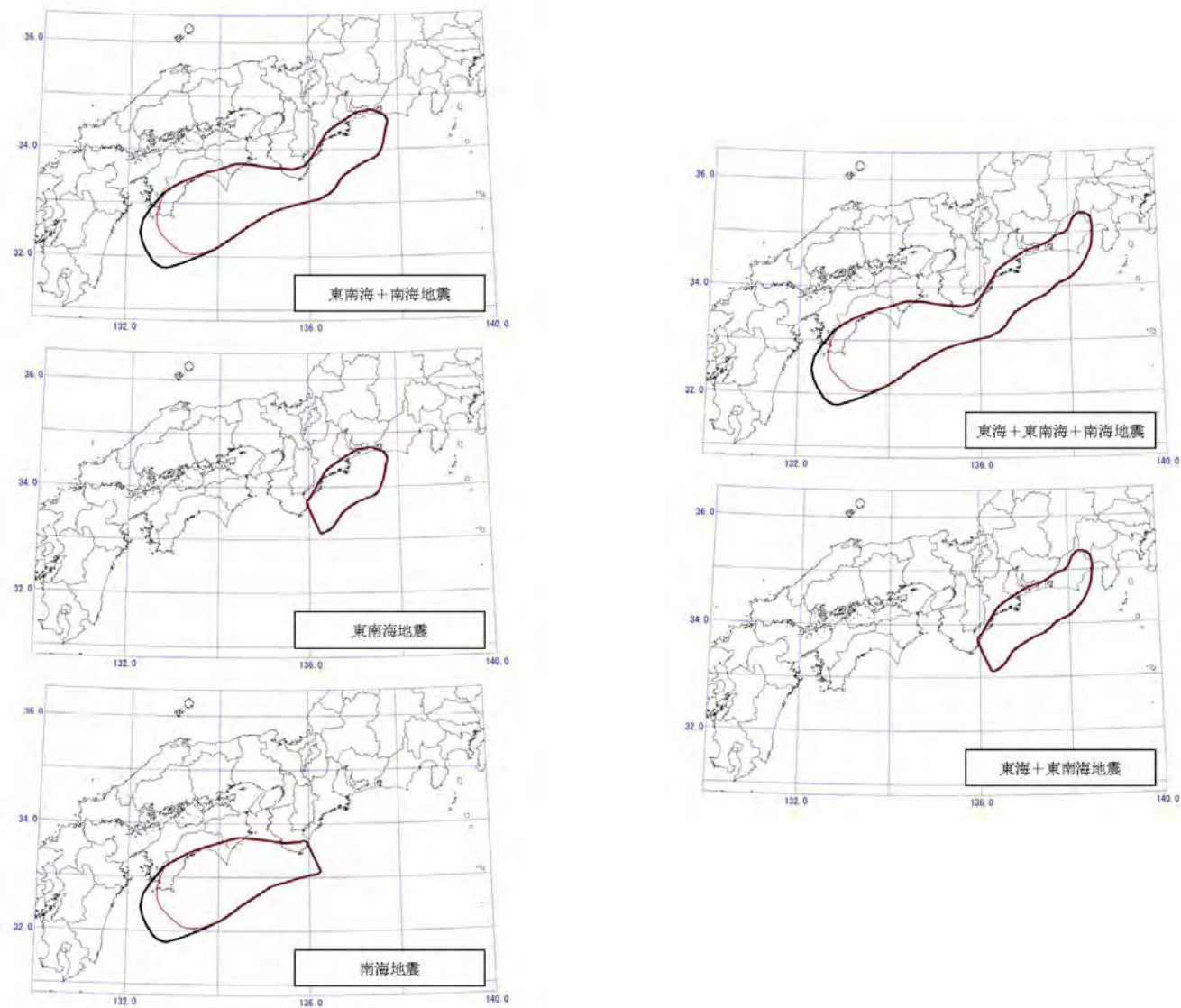


図 4.2-3 想定東海・東南海・南海地震の震源域（中央防災会議資料²⁾から引用）

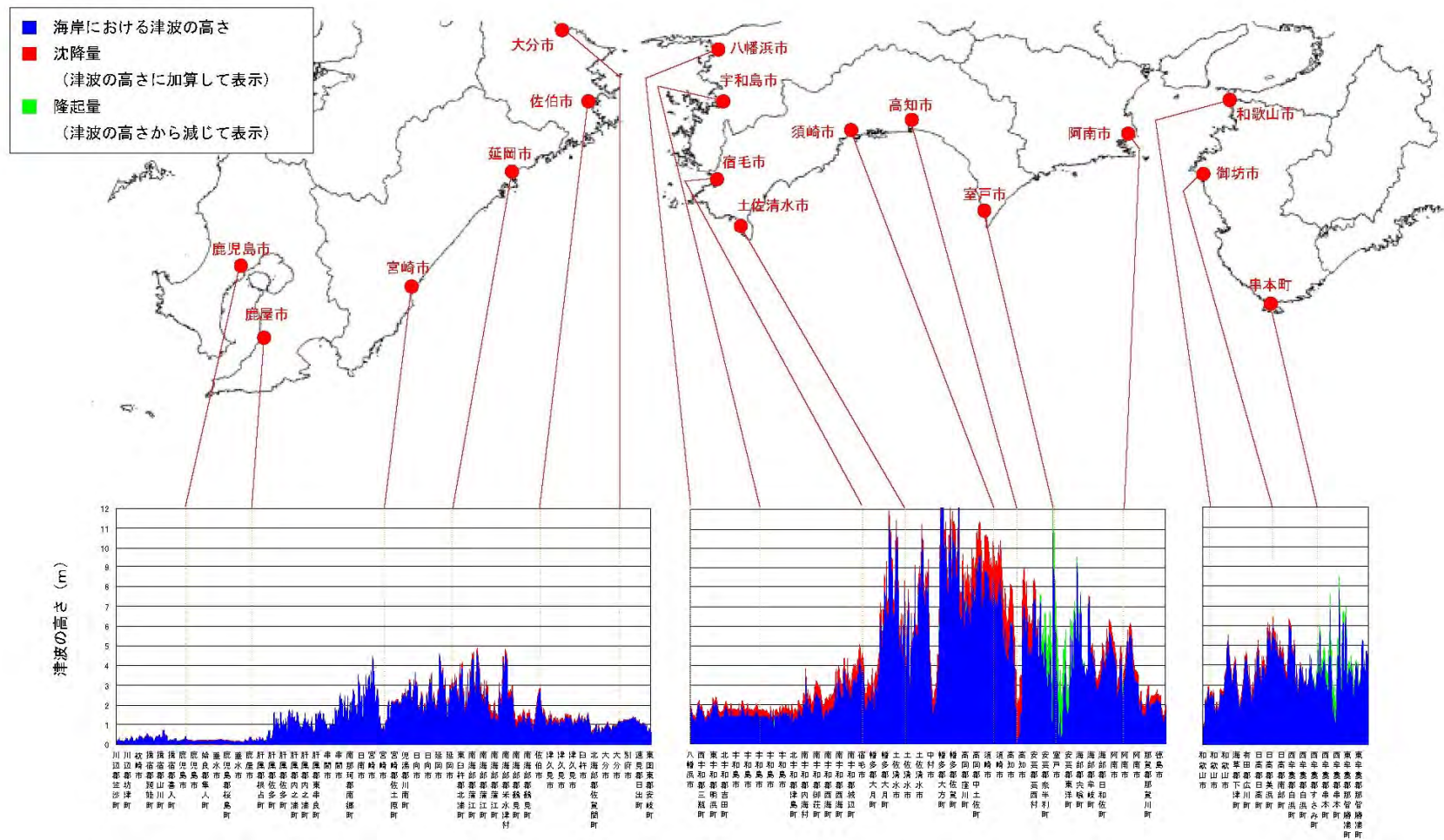


図 4.2-4(1) 想定東海・東南海・南海地震による沿岸域での最大津波高さ (中央防災会議資料²⁾から引用)

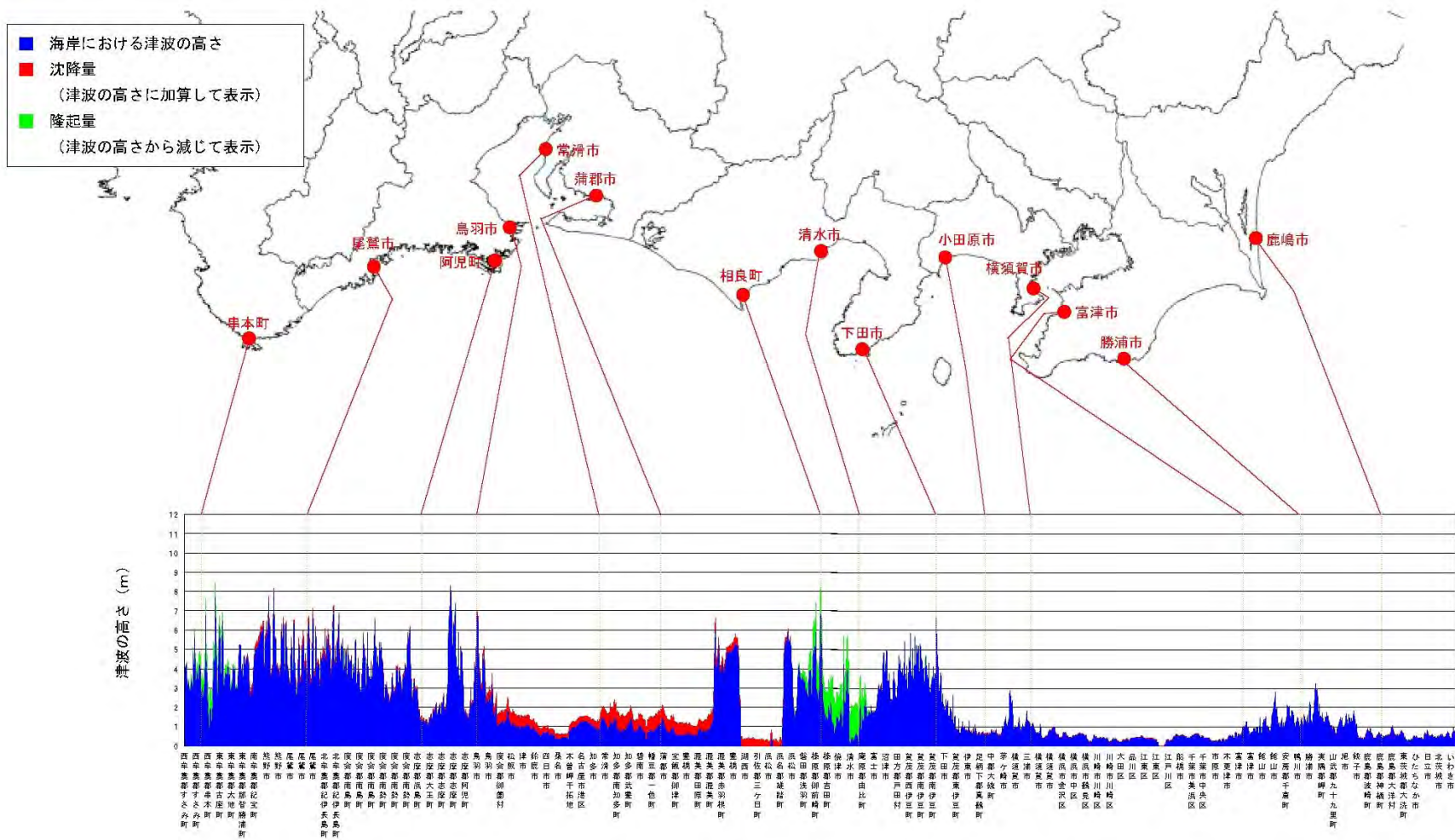


図 4.2-4(2) 想定東海・東南海・南海地震による沿岸域での最大津波高さ（中央防災会議資料²⁾から引用）

(c) 想定日本海溝・千島海溝における約 500 年間隔の地震の津波及び (d) 明治三陸地震(再来)の津波

日本海溝・千島海溝周辺では、マグニチュード 7 や 8 クラスの大規模地震が多数発生しており、中央防災会議の「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」では、次に掲げる地震について調査が行われている。図 4.2-5 にこれらの地震の震源域を示す。

- ・ 択捉島沖の地震 (M=8.4)
- ・ 色丹島沖の地震 (M=8.3)
- ・ 根室沖・釧路沖の地震 (M=8.3)
- ・ 十勝沖・釧路沖の地震 (M=8.2)
- ・ 500 年間隔地震 (M=8.6)
- ・ 三陸沖北部の地震 (M=8.4)
- ・ 宮城県沖の地震 (M=8.2 (連動型))
- ・ 明治三陸の地震 (M=8.6)

※上記地震規模は、資料⁴⁾による津波被害想定時の地震規模である。

これらの地震のうち「500 年間隔地震」は、北海道の十勝沖から根室沖で発生する巨大地震で、約 500 年間隔で発生すると考えられており、前回発生したのは 17 世紀初頭とされている³⁾。

また、1896 年の明治三陸地震 (M8.6) は、地震の規模のわりに揺れは小さいものの、大きな津波を発生した、いわゆる「津波地震」であるが、明治三陸地震の震源域では、1611 年に「慶長三陸地震」と呼ばれる津波地震とみられる地震が発生していることから、この震源域では、津波地震が繰り返し発生しているものと考えられる³⁾。

図 4.2-6 に、「500 年間隔地震」が発生した場合に予測される沿岸での津波の最大値分布図を示す⁴⁾。えりも岬周辺の地域では津波の高さが 15m 程度となると予想されている。

図 4.2-7 に、1896 年に発生した明治三陸地震 (M8.6) と同様の地震が再び発生した場合に予想される沿岸での津波の最大値分布図を示す⁵⁾。明治三陸地震 (再来) では、岩手県沿岸でとくに大きな津波高さとなり、地点によっては高さ 20m 程度の津波が発生すると予想されている。

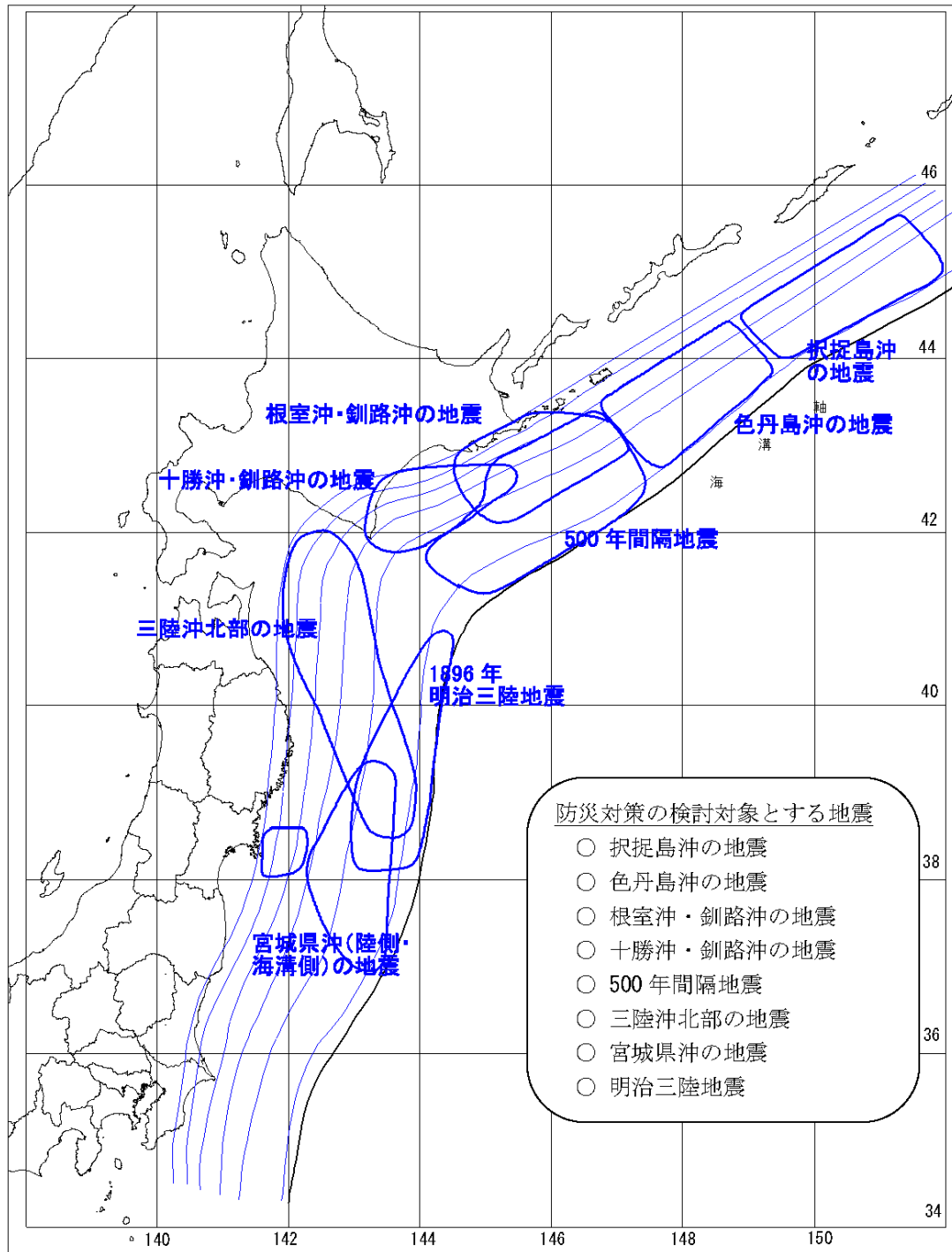


図 4.2-5 日本海溝・千島海溝周辺の震源域（中央防災会議資料⁴⁾から引用）

図 4.2-6 「500 年間隔地震」による沿岸域での最大津波高さ（中央防災会議資料⁴⁾から引用）

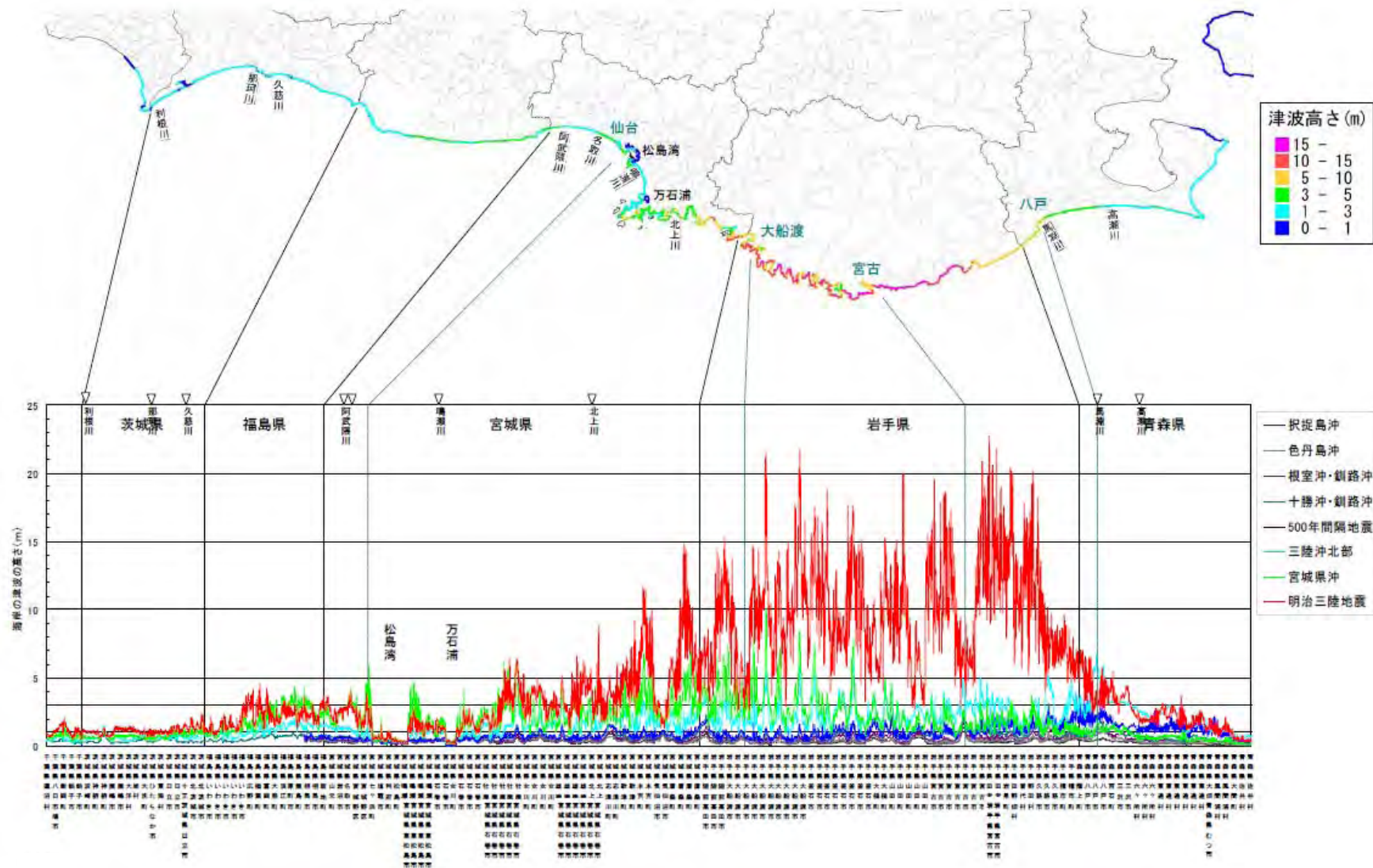


図 4.2-7 明治三陸地震（赤線）による沿岸域での最大津波高さ（中央防災会議資料⁵⁾から引用）

(2) モデル津波の作成するに当たっての地域の選定

前記(1)で取り上げた4つの想定地震が発生した場合において、大きな津波が到来すると予想されている地域を地震別に整理すると次のとおりとなる。

(a) 想定東海地震

静岡県御前崎町から同県下田市にかけての沿岸域

(b) 想定東海・東南海・南海地震(3連動地震)

高知県土佐清水市から同県室戸市にかけての沿岸域，和歌山県串本町付近の沿岸域，三重県熊野市付近の沿岸域，三重県志摩市付近の沿岸域，愛知県相良町付近の沿岸域

(c) 想定日本海溝・千島海溝における約500年間隔の地震

北海道様似町から同道浜中町にかけての沿岸域

(d) 明治三陸地震(再来)

岩手県大船渡市から同県久慈市にかけての沿岸域

「モデル津波」の作成は、上記の地域で、かつ、現に海岸近くに屋外タンク貯蔵所が設置されている地域に該当するものの中からいくつかを選んで行うこととした。

ここでは、8つの地域を取り上げることとし、それぞれの地域に大きな津波をもたらすと考えられる(a)～(d)の地震と組み合わせて「モデル津波」を作成することとした。

図4.2-8に「モデル津波」を作成する地震と地域を示す。



図 4.2-8 「モデル津波」を作成する地震と地域

4. 3 モデル津波の最大浸水深と流速の予測

前節 4. 2 で選定した 8 つの「モデル津波」（表 4.1-1 及び図 4.2-8）について津波伝播シミュレーションを実施し、「モデル津波」の浸水深と流速を予測した。

津波伝播シミュレーションからは、「モデル津波」を作成するに当たって選定された地域の各地点での時々刻々の浸水深と流速が結果として得られる。

本報告書では、この結果の中から、当該地域の屋外タンク貯蔵所が設置されている場所付近において、浸水深が最大となる地点での予測値を取り上げ、この予測値を屋外タンク貯蔵所の津波被害を予想するうえでの入力として用いることとした。以下では、この「浸水深が最大となる地点」を「予測地点」と呼ぶこととし、津波伝播シミュレーションの結果は、「予測地点」に対して得られたものを示す。

（１） 津波伝播シミュレーションにおける解析手法の概要

津波解析の基礎方程式および計算スキームは、後藤ら(1982)⁶⁾の方法と同様の非線形長波方程式を用いた。基礎方程式を以下に示す。

① 連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

② 運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - K_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - K_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) + \gamma_b^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2} = 0$$

ここで、 t ：時間， x, y ：平面座標， η ：静水面から鉛直上方にとった水位変動量， M ： x 方向の線流量， N ： y 方向の線流量， h ：静水深， D ：全水深（ $D = h + \eta$ ）， g ：重力加速度， K_h ：水平渦動粘性係数， γ_b^2 ：摩擦係数（ $= gn^2 / D^{1/3}$ ， n ：マンニングの粗度係数）である。

計算の初期条件となる海底変動による海水面の初期変動量は、Mansinha and Smylie(1971)⁷⁾の方法を用いて計算を行った。なお、初期変位量の計算は、継続時間がゼロで、瞬時に海水面の変位が発生するものとして計算を行った。

沖側の境界条件は、後藤ら(1982)⁶⁾と同様の自由透過の条件を用いた。また、陸側の境界条件として、陸上部への遡上を考慮しない場合は汀線部で完全反射の条件にて計算を行

い、陸上部への遡上を考慮する場合は岩崎ら(1979)⁸⁾および小谷ら(1998)⁹⁾の方法により、津波先端部が格子間隔幅の陸上地形上にあるか否かを判断して計算を行った。

防波堤や護岸の計算には越流境界条件として、防波堤の越流計算には本間(1940)¹⁰⁾、護岸の越流計算には相田(1977)¹¹⁾の方法を用いて計算を行った。

(2) 防油堤のモデル化

第3章の「3.2 防油堤・屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法」で述べたように、本報告書では、防油堤及び屋外貯蔵タンクの津波被害の予想するに当たって必要となる防油堤及び屋外貯蔵タンクに作用する津波波力は、防油堤に作用する津波波力については、防油堤および屋外貯蔵タンクがない状況下（図 3.2-2）での防油堤位置における津波の状態（最大浸水深 $\eta_{\max}$ 等）から算定し、タンクに作用する津波波力については、防油堤がありタンクがない状況下（図 3.2-3）でのタンク位置における津波の状態から算定することとした。ただし、防油堤が津波により損壊を受ける場合には、タンクに作用する津波波力であっても、防油堤および屋外貯蔵タンクがない状況下でのタンク位置における津波の状態から算定することとなる。

このようなことから、防油堤及び屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を算定するための津波伝播シミュレーションは、防油堤もタンクも含まれないモデルと、防油堤は含まれるがタンクは含まれないモデルの2つのモデルに対して実施される必要がある。

ここで、防油堤は次のようにモデル化した。すなわち、「4.1 概要」で述べたように、本章で津波被害を予想する屋外貯蔵タンクは、代表的諸元と考えられるものを有する容量 1,000 kℓ のタンク（小規模仮定タンク）及び容量 10,000 kℓ のタンク（中規模仮定タンク）の2種類とした。また、本章で津波被害を予想する防油堤は、同じく代表的と考えられる諸元を有する高さ 1.5m のもの（仮定防油堤）とした。そこで、防油堤が含まれるモデルに対して津波伝播シミュレーションを行う場合には、モデルにおいては、前記の「予測地点」を中心とする場所に高さ 1.5m の防油堤を設けることとし、防油堤で囲む範囲は、消防法令の技術基準に則ってタンク容量の 110% の容積を確保できるようなものとした（図 4.3-1）。これにより、「小規模仮定タンク」に対して津波波力を算定しようとする場合の「仮定防油堤」の平面的な大きさは 30m×30m（小規模仮定防油堤）、「中規模仮定タンク」に対して津波波力を算定しようとする場合の「仮定防油堤」のそれは 90m×90m（中規模仮定防油堤）となり、2つの場合で「仮定防油堤」の置き方が異なることとなる。

なお、津波伝播シミュレーションでは、「仮定防油堤」は津波を受けても損壊しないものと仮定した。

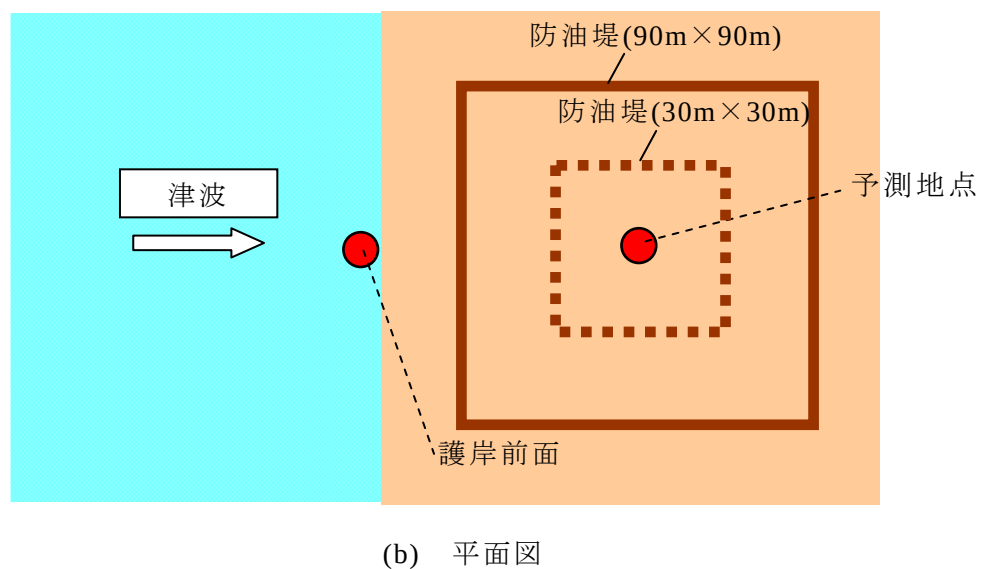
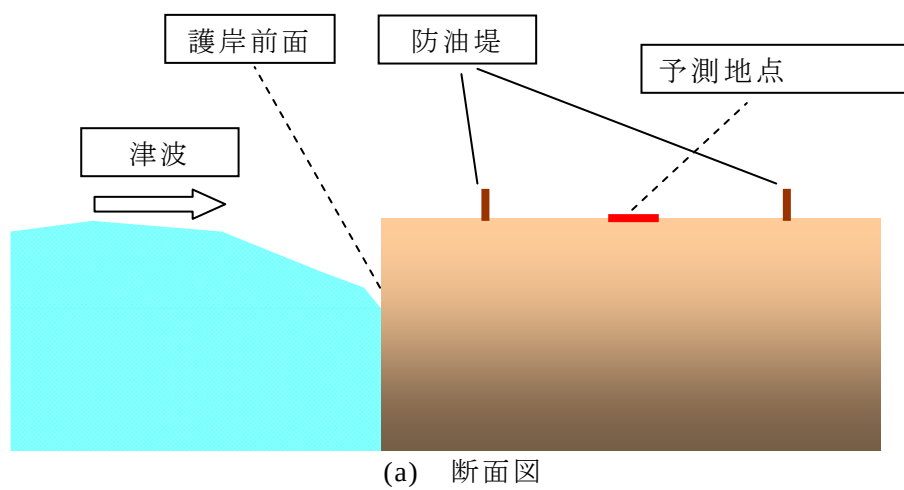


図 4.3-1 「仮定防油堤」の置き方

(3) 津波伝播シミュレーションの解析条件および解析ケース

津波伝播シミュレーションの解析条件および解析ケースを表 4.3-1 に示す。

最小格子間隔は 10m、計算時間は 3 時間とした。ただし、「三重県北部沿岸のモデル津波」については、「予測地点」に浸水深が発生する時間を考慮して 5 時間とした。

なお、「三重県南部沿岸のモデル津波」では、「予測地点」に「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）に対する「中規模仮定防油堤」（90m×90m）を置こうとすると、防油堤が海域にはみ出てしまうため、「中規模仮定タンク」に対する「中規模仮定防油堤」を置いたモデルでの津波伝播シミュレーションは行わなかった。

表 4.3-1(1) 津波伝播シミュレーションの解析条件

モデル津波名	静岡県東部沿岸の モデル津波	三重県北部沿岸の モデル津波	三重県中部沿岸の モデル津波	三重県南部沿岸の モデル津波
想定地震	想定東海地震	想定東海・東南海・南海3連動型地震		
最小計算格子間隔	10m			
計算時間	3時間	5時間	3時間	

表 4.3-1(2) 津波伝播シミュレーションの解析条件

モデル津波名	和歌山県中部沿岸の モデル津波	高知県中部沿岸の モデル津波	北海道東部沿岸の モデル津波	岩手県中部沿岸の モデル津波
想定地震	想定東海・東南海・南海3連動型地震		500年間隔地震	明治三陸地震
最小計算格子間隔	10m			
計算時間	3時間			

(4) 予測地点における津波の浸水深と流速の予測結果

表 4.1-1 に掲げた 8 つの「モデル津波」のうち、「静岡県東部沿岸のモデル津波」を除く 7 つの「モデル津波」について、津波伝播シミュレーションから予測された護岸前面水位並びに「予測地点」における浸水深及び流速の時刻歴波形を図 4.3-2 から図 4.3-8 に示す。

「静岡県東部沿岸のモデル津波」については、「仮定防油堤」がない場合でも、「予測地点」は浸水しないという結果となった。これは、計算では「予測地点」において+1.5m 程度の地盤隆起が発生することとなるためと考えられる。「静岡県東部沿岸のモデル津波」の津波伝播シミュレーションの結果は図示しなかった。

表 4.3-2 に「予測地点」での最大浸水深 $\eta_{\max}$ 、最大流速 $V_{\max}$ 、フルード数 F_r の結果を示す。ここで、フルード数は $F_r = V_{\max} / \sqrt{g\eta_{\max}}$ で定義される流速と波速の関係を示す無次元量であり、 $\eta_{\max}$ 及び $V_{\max}$ の読み取り方については、第 3 章の「3. 2 防油堤・屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法」でも述べたように、本報告書では、浸水深、流速がそれぞれ最大となる時点での値を読み取ることとした。

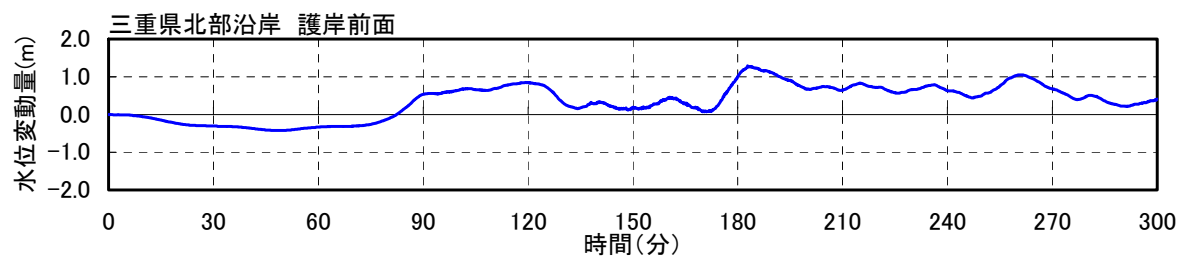
「予測地点」での浸水深が最も大きく予測されたのは、「高知県中部沿岸のモデル津波」の 4.4m であった。この結果は、「仮定防油堤」（高さ 1.5m）の有無によらず同じ結果となる。

また、「予測地点」での流速が最も大きく予測されたのは、「三重県中部沿岸のモデル津波」で、「仮定防油堤」がない場合には最大で 3m/s 程度の流速が発生するとの予測結果となった。この時のフルード数は 0.81 であり、フルード数としては、今回得られた結果の中では最大の値となった。

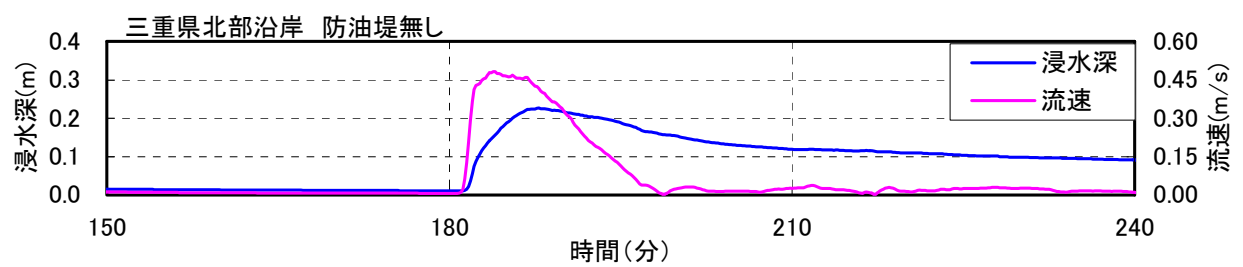
表 4.3-2 各「モデル津波」の「予測地点」での最大浸水深および最大流速

モデル津波名	防油堤無し			防油堤1.5m, 1,000kl			防油堤1.5m, 10,000kl		
	浸水深(m)	流速(m/s)	フルード数	浸水深(m)	流速(m/s)	フルード数	浸水深(m)	流速(m/s)	フルード数
静岡県東部沿岸のモデル津波	計算では+1.5m程度の地盤隆起が発生することとなるため、予測地点での浸水はなし								
三重県北部沿岸のモデル津波	0.2	0.5	0.30	－	－	－	－	－	－
三重県中部沿岸のモデル津波	1.5	3.2	0.81	1.2	1.4	0.39	0.7	1.4	0.54
三重県南部沿岸のモデル津波	2.0	1.2	0.26	2.1	0.4	0.09	予測値なし		
和歌山県中部沿岸のモデル津波	0.4	0.8	0.39	－	－	－	－	－	－
高知県中部沿岸のモデル津波	4.4	1.7	0.25	4.4	1.2	0.18	4.4	1.1	0.17
北海道東部沿岸のモデル津波	1.4	2.2	0.59	－	－	－	0.03	0.2	0.27
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.1	3.0	0.48	4.1	1.9	0.29	4.0	1.8	0.29

※表中の「－」は、「予測地点」に浸水が発生しなかったケースである。

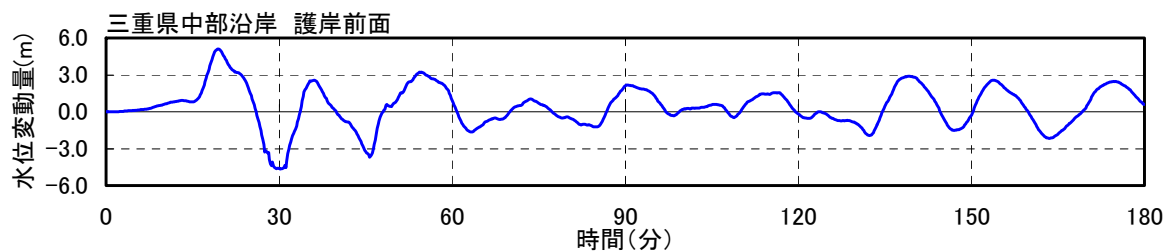


(a) 護岸前面位置

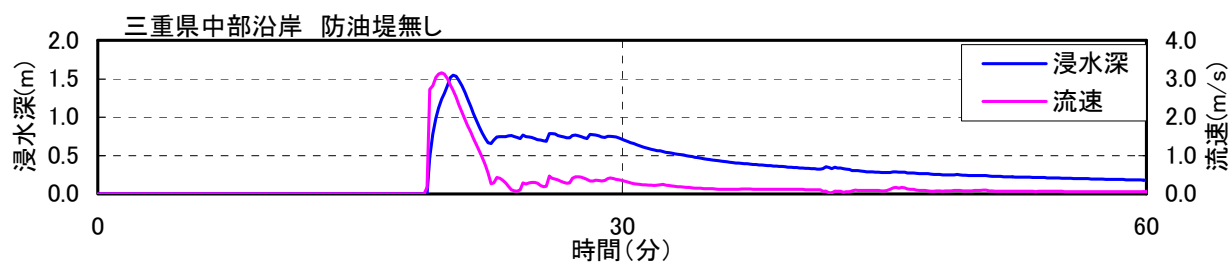


(b) 予測地点（「仮定防油堤」を置かないモデル）

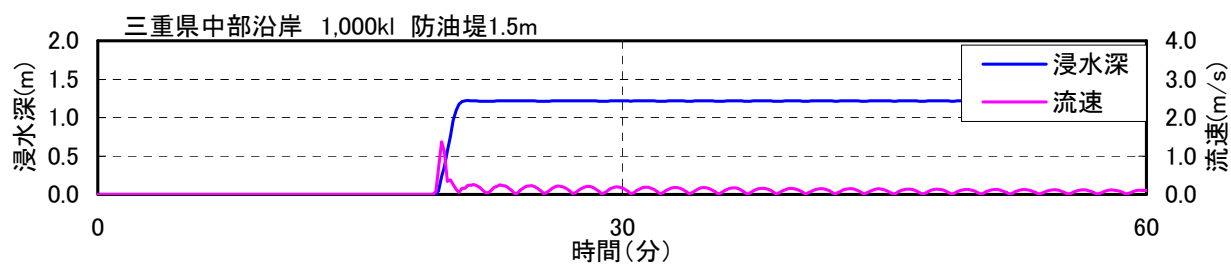
図 4.3-2 「三重県北部沿岸のモデル津波」の予測結果



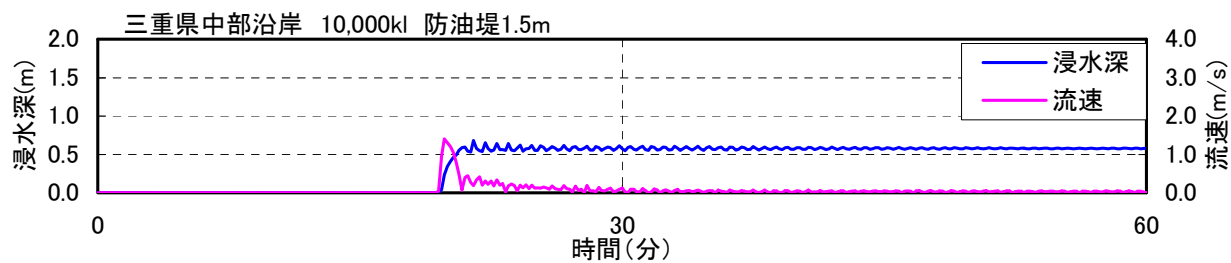
(a) 護岸前面位置



(b) 予測地点（「仮定防油堤」を置かないモデル）

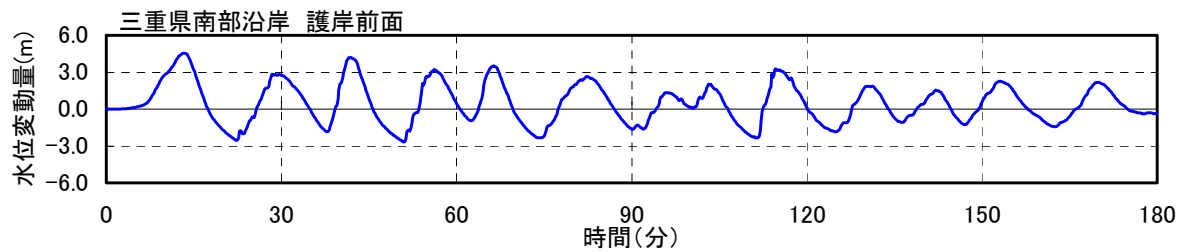


(c) 予測地点（「小規模仮定タンク」に対する「小規模仮定防油堤」を置いたモデル）

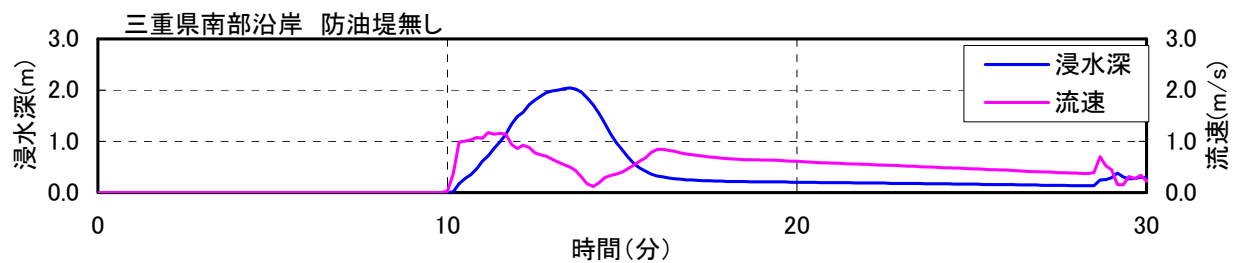


(d) 予測地点（中規模仮定タンク）に対する「中規模仮定防油堤」を置いたモデル）

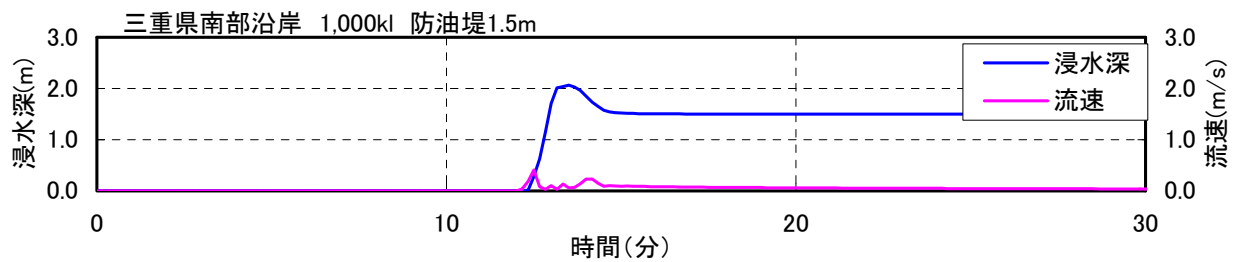
図 4.3-3 「三重県中部沿岸のモデル津波」の予測結果



(a) 護岸前面位置

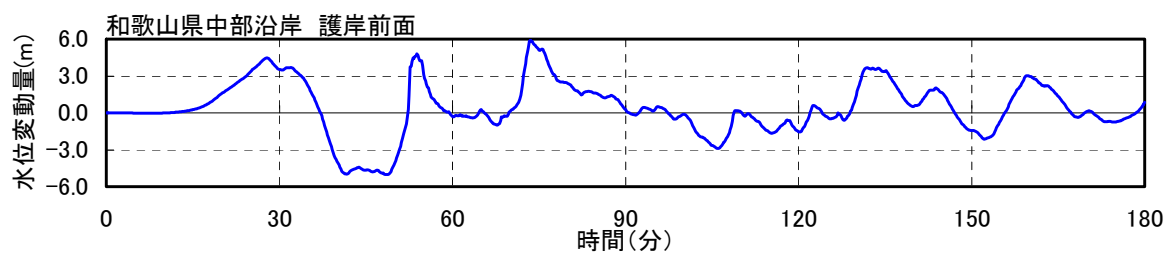


(b) 予測地点（「仮定防油堤」を置かないモデル）

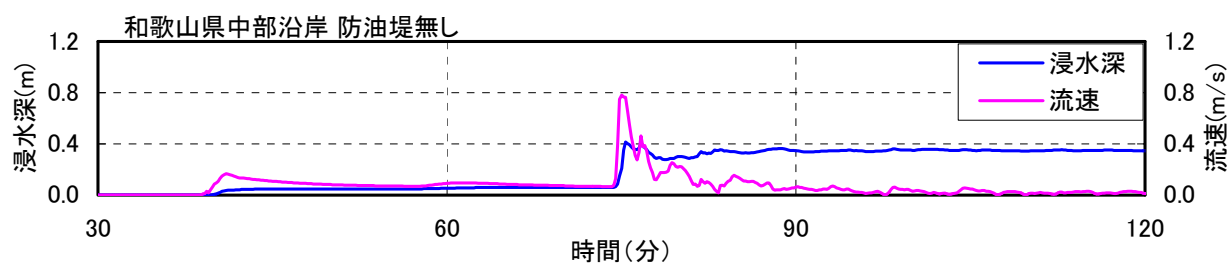


(c) 予測地点（「小規模仮定タンク」に対する「小規模仮定防油堤」を置いたモデル）

図 4.3-4 「三重県南部沿岸のモデル津波」の予測結果

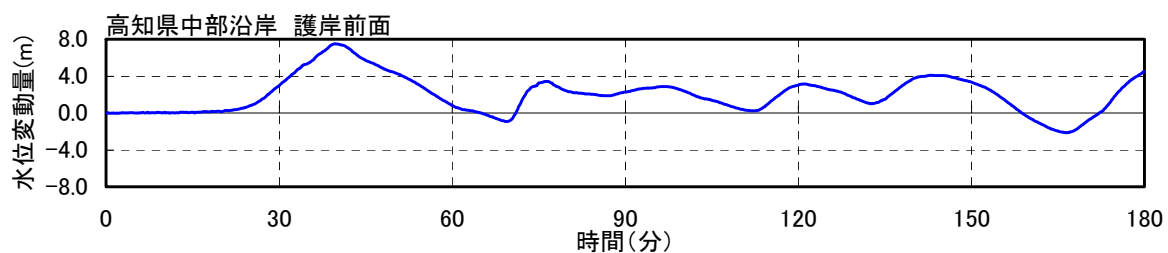


(a) 護岸前面位置

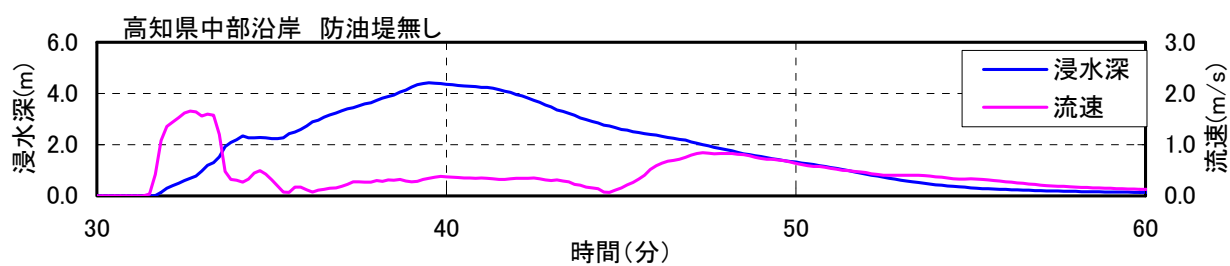


(b) 予測地点（「仮定防油堤」を置かないモデル）

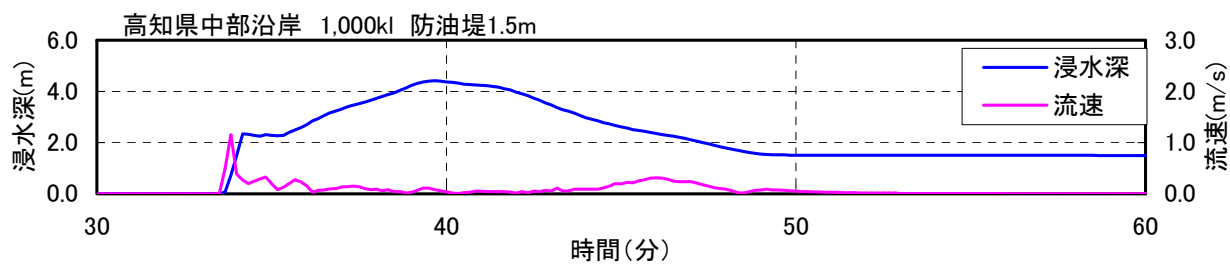
図 4.3-5 「和歌山県中部沿岸のモデル津波」の予測結果



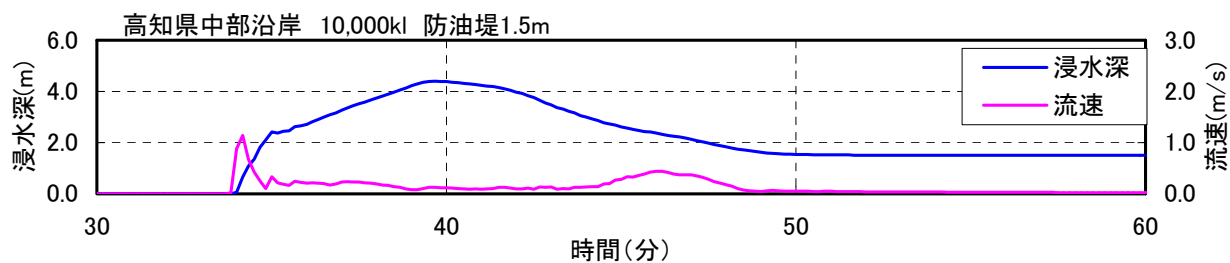
(a) 護岸前面位置



(b) 予測地点 (「仮定防油堤」を置かないモデル)

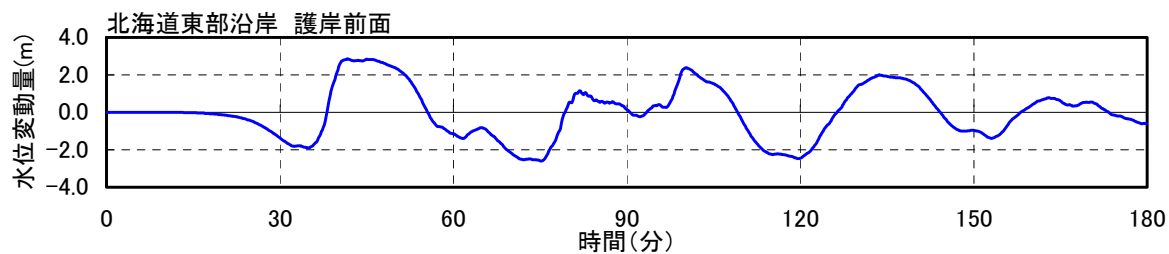


(c) 予測地点 (小規模仮定タンク) に対する「小規模仮定防油堤」を置いたモデル)

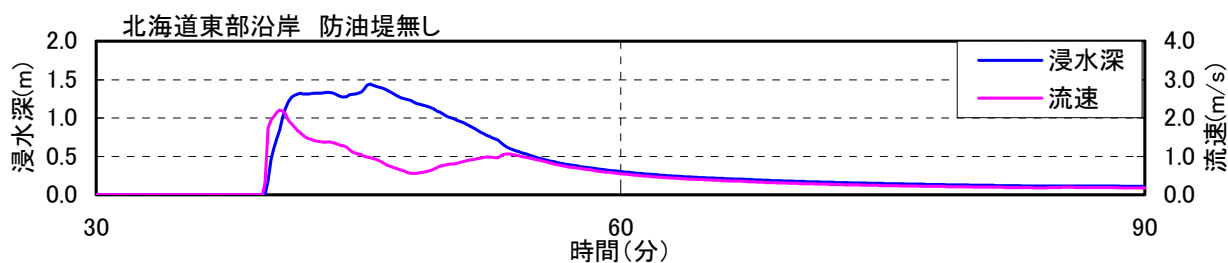


(d) 予測地点 (「中規模仮定タンク」に対する「中規模仮定防油堤」を置いたモデル)

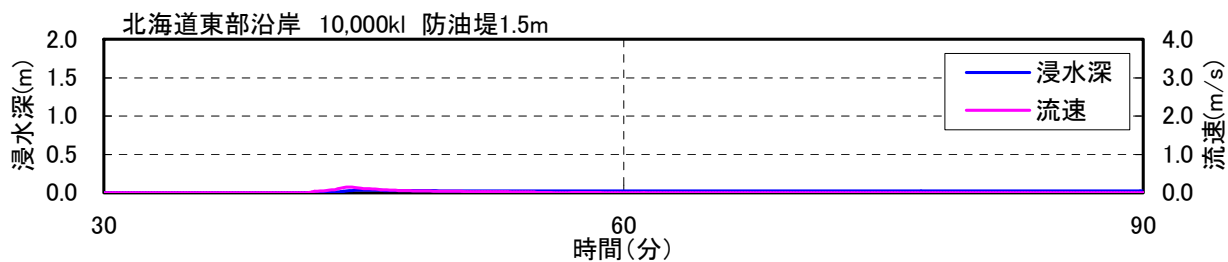
図 4.3-6 「高知県中部沿岸のモデル津波」の予測結果



(a) 護岸前面位置

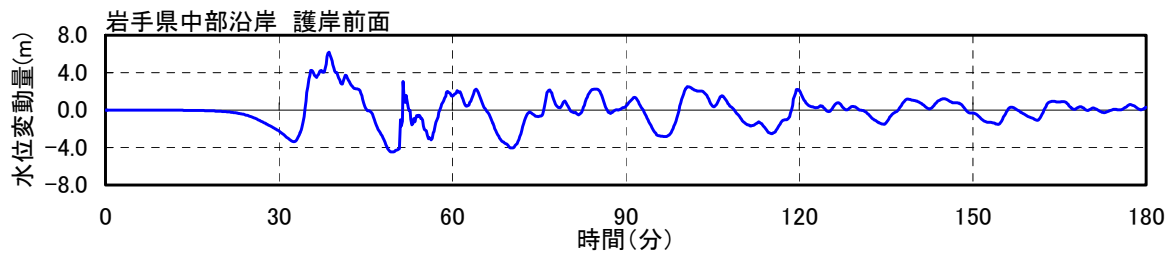


(b) 予測地点（「仮定防油堤」を置かないモデル）

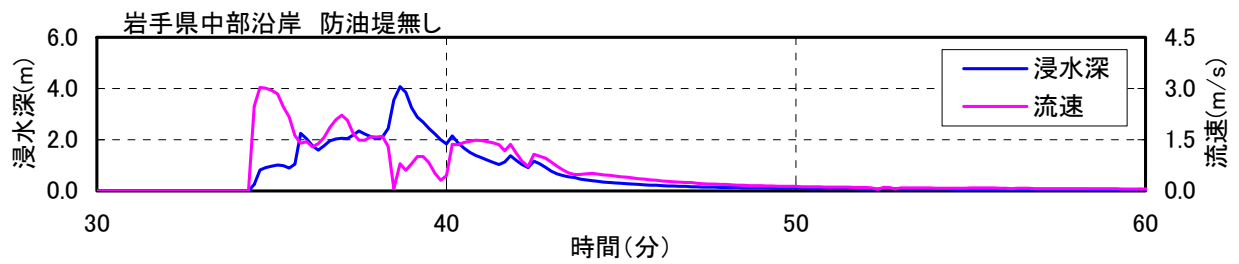


(c) 予測地点（「中規模仮定タンク」に対する「中規模仮定防油堤」を置いたモデル）

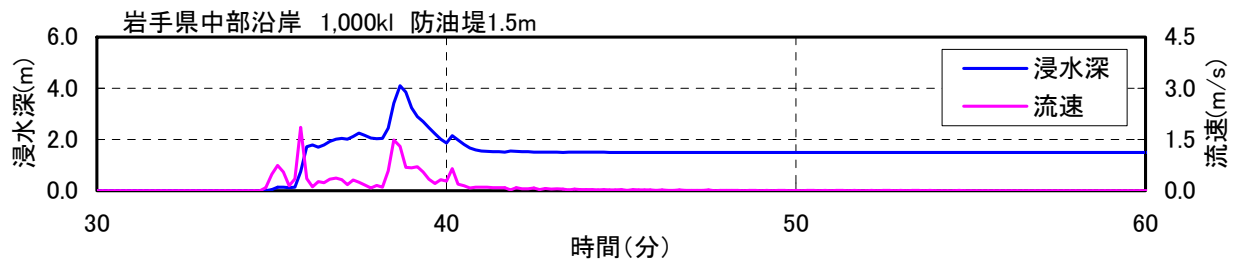
図 4.3-7 「北海道東部沿岸のモデル津波」の予測結果



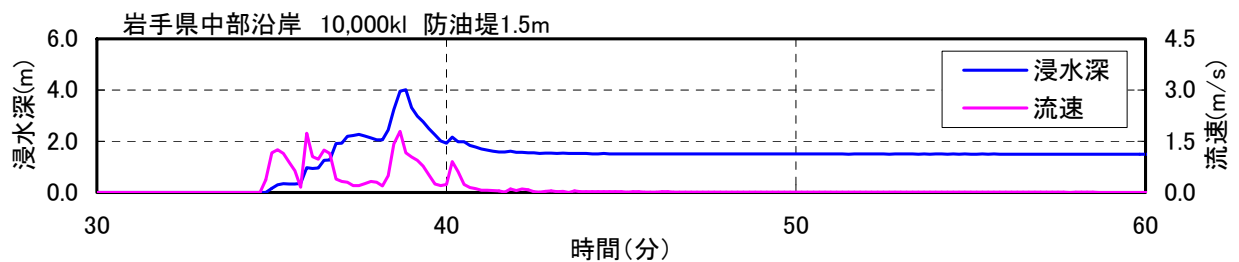
(a) 護岸前面位置



(b) 予測地点 (「仮定防油堤」を置かないモデル)



(c) 予測地点 (「小規模仮定タンク」に対する「小規模仮定防油堤」を置いたモデル)



(d) 予測地点 (「中規模仮定タンク」に対する「中規模仮定防油堤」を置いたモデル)

図 4.3-8 「岩手県中部沿岸のモデル津波」の予測結果

4. 4 防油堤及び屋外貯蔵タンクの被害発生可能性の予想

本節では、前節 4. 3 において津波伝播シミュレーションにより予測した「予測地点」における「モデル津波」が、代表的と考えられる諸元を有する防油堤及び屋外貯蔵タンク（「仮定防油堤」、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」）に作用した場合に、これらに発生する津波被害を第 3 章で提案された「防油堤の津波被害簡易予測手法」、「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測手法」及び「屋外貯蔵タンク漂流予測手法」を用いて予想した結果を述べる。

「4. 1 概要」で述べたとおり、予想対象とされる被害形態は、次の 9 つである。

1) 防油堤（コンクリート擁壁タイプ防油堤）

- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 沈下
- ・ 部材破壊

2) タンク本体

- ・ 浮き上がり
- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 内外水圧差による側板座屈
- ・ 漂流軌跡（漂流距離）

表 4.1-1 に掲げた 8 つの「モデル津波」のうち、「静岡県東部沿岸のモデル津波」は、予測地点では、防油堤がある場合でも浸水は発生しないと予測されたため、「静岡県東部沿岸のモデル津波」については、被害の予想は行わなかった。

また、上記の 9 つの被害形態のうち、漂流軌跡（漂流距離）の予想は、「高知県中部沿岸のモデル津波」、「三重県南部沿岸のモデル津波」、「岩手県中部沿岸のモデル津波」の 3 つの「モデル津波」についてのみ行った。これは、これらの「モデル津波」の最大浸水深が、他の「モデル津波」よりも大きかったためである。

津波被害の予想を行う「仮定防油堤」は、図 4.4-1 及び表 4.4-1 に示すものとした。「仮定防油堤」の高さは 1.5m である。

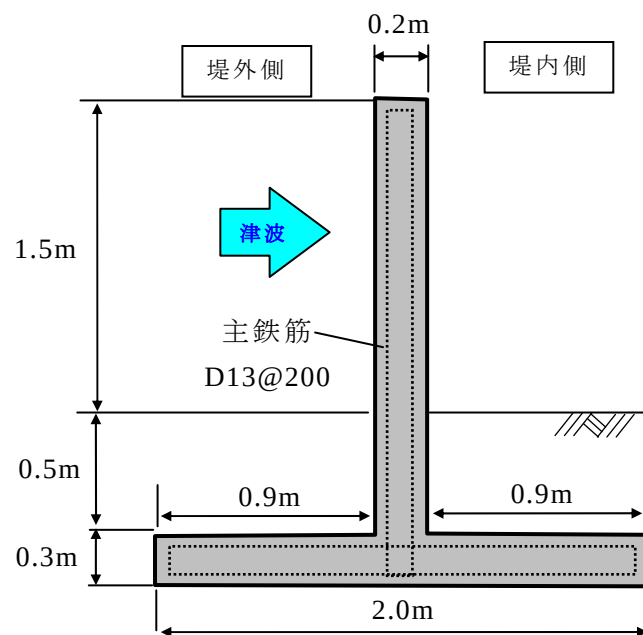


図 4.4-1 「仮定防油堤」の断面図

表 4.4-1 「仮定防油堤」の諸元

項 目 名	数 値
土のせん断抵抗角	30°
壁背面と土との間の壁面摩擦角	15° (主働側)
	-10° (受働側)
引張鉄筋までの有効高さ	0.15m
地盤と防油堤の摩擦係数	0.5

一方、津波被害の予想を行う代表的諸元と考えられるものを有する屋外貯蔵タンクは、前述のとおり、容量 1,000 kℓ のタンク（小規模仮定タンク）と容量 10,000 kℓ のタンク（中規模仮定タンク）とし、図 4.4-2 及び表 4.4-2 に示すものとした。

「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」は、アンカーボルトを打たれておらず、マウンドもないものと仮定した。また側板の厚さは高さ方向に一様であるものと仮定した。

以下、「仮定防油堤」に対する被害予想結果と「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」に対する被害予想結果をそれぞれ述べる。

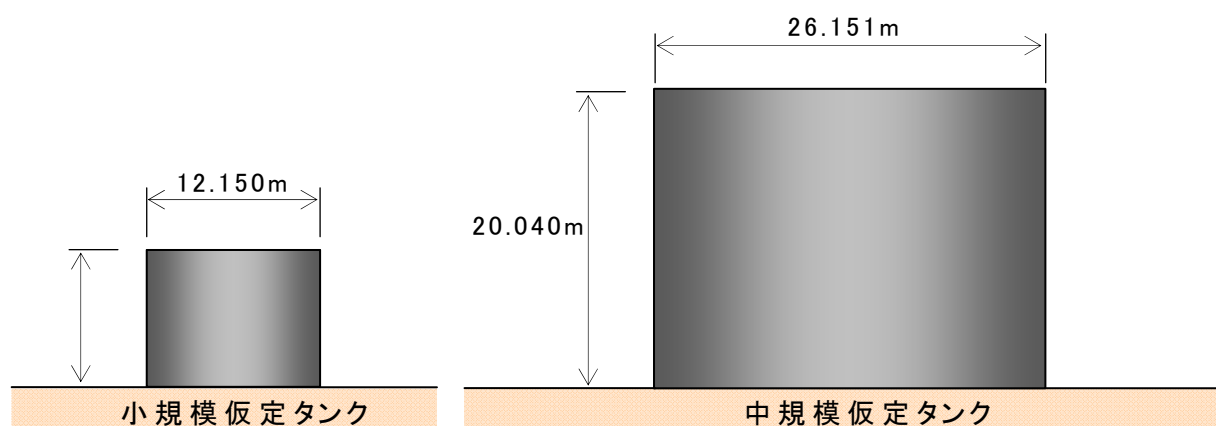


図 4.4-2 「小規模仮定タンク」と「中規模仮定タンク」

表 4.4-2 「小規模仮定タンク」と「中規模仮定タンク」の諸元

想定タンク名	小規模仮定タンク (容量 1,000 kℓ)	中規模仮定タンク (容量 10,000 kℓ)
直径 (m)	12.150	26.151
高さ (m)	9.205	20.040
重量 (t)	35.7	270.0
側板厚さ (mm)	3.2	8.0
内容液比重	0.83	
地盤とタンク本体の 摩擦係数	0.5	
タンク基礎	非考慮	

(1) 「仮定防油堤」の津波被害発生可能性の予想結果

第3章の「3.2 防油堤・屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法」で述べたように、本報告書では、防油堤の津波被害の予想するに当たって必要となる防油堤に作用する津波波力は防油堤および屋外貯蔵タンクがない状況下（図 3.2-2）で、防油堤前面において予測される津波の最大浸水深 η_{max} から算定することとした。

防油堤に作用する津波波力の算定には、同じく第3章3.2の(1)(c)で提案されている「越流を考慮した津波波力算定式」を用いた。この津波波力算定式は、図 3.2-5（右図）に示されているように、防油堤に作用する津波波力は、 $(1+\alpha_d) \eta_{max}$ の高さからの静水圧が防油堤直立壁に加わるというモデルで表現されるとの考え方に基づいたものである。 α_d は(式 3.2-6)で与えられる。

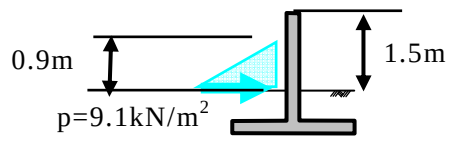
防油堤の津波被害発生可能性は、表 3.3-1 に示されている防油堤の被害発生可能性の簡易予測手法を用いて予想した。

表 4.4-3 に各「モデル津波」について予測された「仮定防油堤」前面での最大浸水深 η_{max} と津波波力の作用高さ $(1+\alpha_d) \eta_{max}$ の値を掲げる。最大浸水深 η_{max} が計算された「仮定防油堤」前面の位置は、「小規模仮定タンク」に対する「仮定防油堤」と「中規模仮定タンク」に対する「仮定防油堤」では異なり、その結果、計算された最大浸水深 η_{max} は、厳密には両者で異なることとなったが、その差異は数センチメートルであったため、表 4.4-3 には、いずれか大きいほうの値を掲げることとした。予測された最大浸水深 η_{max} は、0.3～4.5m の範囲にある。「三重県北部沿岸のモデル津波」及び「和歌山県中部沿岸のモデル津波」の津波波力の作用高さ $(1+\alpha_d) \eta_{max}$ は、「仮定防油堤」の高さ(1.5m)以下であり、この場合は、津波が「仮定防油堤」を越流しないものとして津波波力が算定される（図 4.4-3）。一方、津波波力の作用高さが「仮定防油堤」の高さを超えるその他の「モデル津波」については、津波が防油堤を越流するものとして津波波力が算定される（同じく図 4.4-3）。

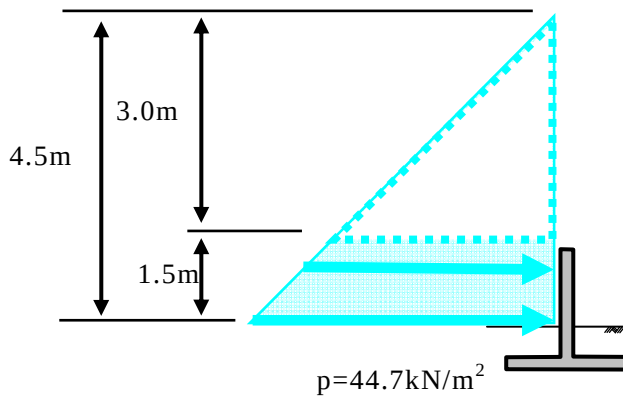
これらの津波波力が「仮定防油堤」に作用した時の津波被害発生可能性の予想結果を表 4.4-4 に示す。津波波力の作用高さが「仮定防油堤」の高さを超えないと予想された「三重県北部沿岸のモデル津波」及び「和歌山県中部沿岸のモデル津波」では、「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」のいずれについても、安全率が確保され、「仮定防油堤」にはこれらの被害は発生しないという予想結果となった。その他の「モデル津波」では、「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」のいずれについても安全率が確保できず、「仮定防油堤」にはこれらの被害のいずれかが発生する可能性があるという予想結果となった。

表 4.4-3 各「モデル津波」の最大浸水深および津波波力の作用高さ

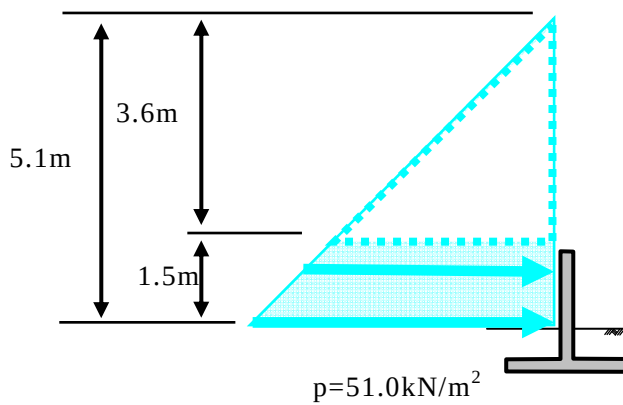
モデル津波名	最大浸水深 η_{max}	津波波力の作用高さ $(1+\alpha_d) \eta_{max}$
三重県北部沿岸のモデル津波	0.3m	0.9m
三重県中部沿岸のモデル津波	1.7m	4.5m
三重県南部沿岸のモデル津波	2.1m	5.1m
和歌山県中部沿岸のモデル津波	0.5m	1.5m
高知県中部沿岸のモデル津波	4.5m	8.1m
北海道東部沿岸のモデル津波	1.5m	4.1m
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.1m	7.4m



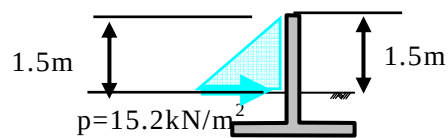
(a) 三重県北部沿岸のモデル津波



(b) 三重県中部沿岸のモデル津波

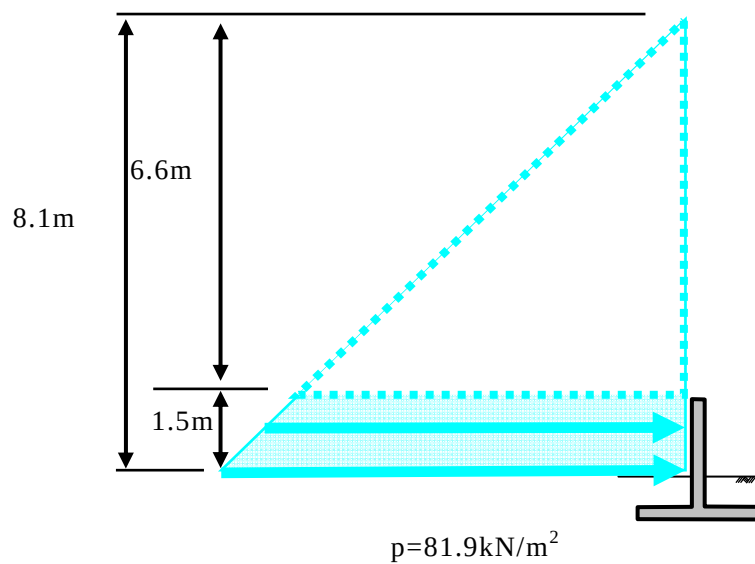


(c) 三重県南部沿岸のモデル津波

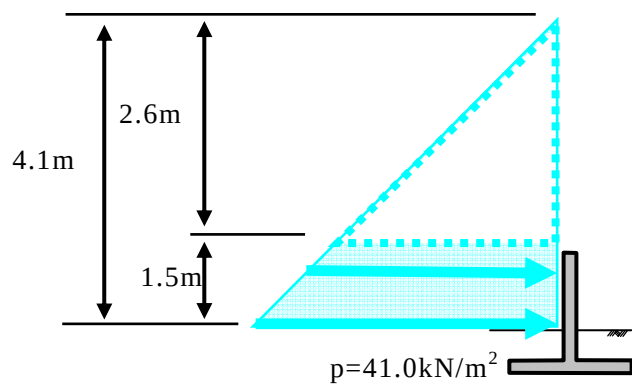


(d) 和歌山県中部沿岸のモデル津波

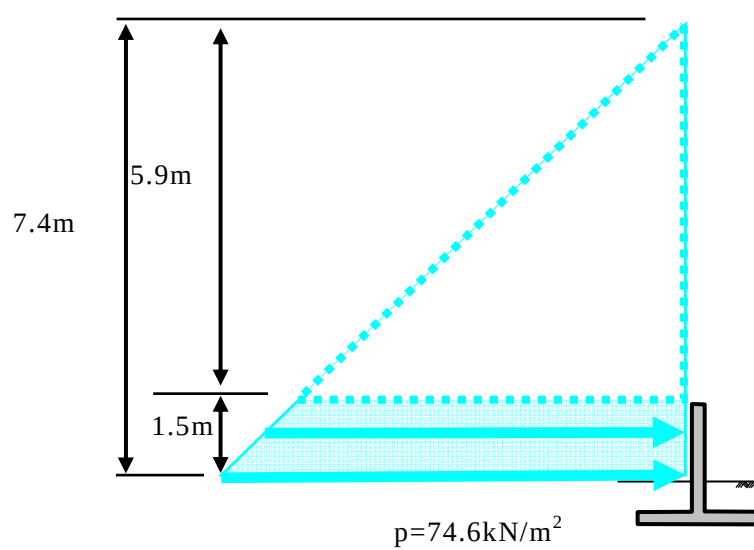
図 4.4-3(1) 津波波力と「仮定防油堤」高さの関係



(e) 高知県中部沿岸のモデル津波



(f) 北海道東部沿岸のモデル津波



(g) 岩手県中部沿岸のモデル津波

図 4.4-3(2) 津波波力と「仮定防油堤」高さの関係

表 4.4-4(1) 「三重県北部沿岸のモデル津波」に対する「仮定防油堤」の予想結果

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	34.14
	作用水平力(kN)	5.77
	滑動安全率	5.92
	評価	安全率>1.0 OK
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	47.86
	転倒モーメント(kN・m)	4.96
	転倒安全率	9.65
	評価	安全率>1.0 OK
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	31.1
	許容支持力度(kN/m ²)	287.64
	支持力安全率	9.25
	評価	安全率>1.5 OK
部材破壊	コンクリート応力度(N/mm ²)	1.4
	鉄筋応力度(N/mm ²)	37
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以下 OK

表 4.4-4(2) 「三重県中部沿岸のモデル津波」に対する「仮定防油堤」の予想結果

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	40.5
	作用水平力(kN)	57.55
	滑動安全率	0.70
	評価	安全率<1.0 NG
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	67.58
	転倒モーメント(kN・m)	84.27
	転倒安全率	0.80
	評価	安全率<1.0 NG
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	転倒がNGのため評価不要
	許容支持力度(kN/m ²)	
	支持力安全率	
	評価	
部材破壊	コンクリート応力度(N/mm ²)	28.6
	鉄筋応力度(N/mm ²)	745
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以上 NG

表 4.4-4(3) 「三重県南部沿岸のモデル津波」に対する「仮定防油堤」の予想結果

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	42.32
	作用水平力(kN)	66.92
	滑動安全率	0.63
	評価	安全率<1.0 NG
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	73.22
	転倒モーメント(kN・m)	98.98
	転倒安全率	0.74
	評価	安全率<1.0 NG
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	転倒がNGのため評価不要
	許容支持力度(kN/m ²)	
	支持力安全率	
	評価	
部材破壊	コンクリート応力度(N/mm ²)	33.5
	鉄筋応力度(N/mm ²)	875
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以上 NG

表 4.4-4(4) 「和歌山県中部沿岸のモデル津波」に対する「仮定防油堤」の予想結果

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	35.05
	作用水平力(kN)	13.07
	滑動安全率	2.68
	評価	安全率>1.0 OK
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	50.68
	転倒モーメント(kN・m)	15.27
	転倒安全率	3.32
	評価	安全率>1.0 OK
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	42.0
	許容支持力度(kN/m ²)	287.64
	支持力安全率	6.85
	評価	安全率>1.5 OK
部材破壊	コンクリート応力度(N/mm ²)	4.9
	鉄筋応力度(N/mm ²)	127
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以下 OK

表 4.4-4(5) 「高知県中部沿岸のモデル津波」に対する「仮定防油堤」の予想結果

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	53.23
	作用水平力(kN)	113.2
	滑動安全率	0.47
	評価	安全率<1.0 NG
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	107.0
	転倒モーメント(kN・m)	169.98
	転倒安全率	0.63
	評価	安全率<1.0 NG
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	転倒がNGのため評価不要
	許容支持力度(kN/m ²)	
	支持力安全率	
	評価	
部材破壊	コンクリート応力度(N/mm ²)	58.2
	鉄筋応力度(N/mm ²)	1517
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以上 NG

表 4.4-4(6) 「北海道東部沿岸のモデル津波」に対する「仮定防油堤」の予想結果

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	39.59
	作用水平力(kN)	51.92
	滑動安全率	0.76
	評価	安全率<1.0 NG
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	64.77
	転倒モーメント(kN・m)	75.32
	転倒安全率	0.86
	評価	安全率<1.0 NG
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	転倒がNGのため評価不要
	許容支持力度(kN/m ²)	
	支持力安全率	
	評価	
部材破壊	コンクリート応力度(N/mm ²)	25.6
	鉄筋応力度(N/mm ²)	667
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以上 NG

表 4.4-4(7) 「岩手県中部沿岸のモデル津波」に対する「仮定防油堤」の予想結果

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	51.41
	作用水平力(kN)	102.25
	滑動安全率	0.50
	評価	安全率<1.0 NG
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	101.4
	転倒モーメント(kN・m)	153.33
	転倒安全率	0.66
	評価	安全率<1.0 NG
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	転倒がNGのため評価不要
	許容支持力度(kN/m ²)	
	支持力安全率	
	評価	
部材破壊	コンクリート応力度(N/mm ²)	52.3
	鉄筋応力度(N/mm ²)	1365
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以上 NG

（２） 「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の津波被害発生可能性の予想結果

ここでは、本報告書で予想対象としている屋外貯蔵タンクの５つの被害形態、すなわち、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」、「漂流軌跡（漂流距離）」のうち、「漂流軌跡（漂流距離）」を除く４つの被害形態についての、津波被害発生可能性の予想結果を述べる。「漂流軌跡（漂流距離）」の予想結果は後述する。

屋外貯蔵タンクの津波被害発生可能性は、表 3.3-2 に示されている「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」を用いて予想した。この際必要となる屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定には、同じく第３章「３．２ 防油堤・屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法」の（２）（ｃ）で提案されている「流速の効果を考慮した津波波力算定式」を用いた。

「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の津波被害発生可能性の予想は、次の２つのアプローチで行った。一つは、前項（１）の「仮定防油堤」の津波被害発生可能性の予想と同様に、「モデル津波」を「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」が受けた場合の被害の発生可能性を予想するものとした。もう一つは、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」が受ける津波の最大浸水深が変化すると、津波被害発生可能性がどのように変化するかを予想するものとした。前者については（２－１）で、後者については（２－２）で述べることとする。

いずれの予想でも、タンクに「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」が発生する可能性は、タンクの内容液量に依存し、内容液量がある量未満であれば、被害が発生する可能性があり、内容液量がその量以上であれば被害が発生する可能性はないという結果が得られた。

そこで、以下に述べる「小規模仮定防油堤」及び「中規模仮定防油堤」の津波被害発生可能性の予想結果では、被害形態ごとに、その被害形態が発生するおそれのある内液量比率（タンク容量に対する内液量の比）を示すことにする。

(2-1) モデル津波による「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の津波被害発生可能性の予想結果

第3章の「3.2 防油堤・屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法」で述べたように、本報告書では、屋外貯蔵タンクの津波被害の予想するに当たって必要となる屋外貯蔵タンクに作用する津波波力は、防油堤はあるが屋外貯蔵タンクはない状況下(図 3.2-3)で、タンク立地位置において予測される津波の最大浸水深 η_{max} から算定することとした。ここで、タンクは表 4.3-2 に津波伝播シミュレーションにから得られた予測結果が掲げられている「予測地点」に立地しているものと仮定し、この「予測地点」における最大浸水深 η_{max} と最大流速 V_{max} の予測値、すなわち、防油堤で囲まれる領域の中心点における予測値から、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を算定することとした。

表 4.4-5 に、各「モデル津波」について予測された「予測地点」、すなわちタンク仮定位置での最大浸水深 η_{max} 、最大流速 V_{max} 及びフルード数 $F_r = V_{max} / \sqrt{g\eta_{max}}$ (g は重力加速度)を示す。これは、表 4.3-2 の抜粋である。表 4.3-2 のところでも述べたように、 η_{max} と V_{max} は、浸水深、流速がそれぞれ最大となる時点での値を読み取ることとした。

「三重県北部沿岸のモデル津波」、「和歌山県中部沿岸のモデル津波」、「小規模仮定タンク」を置いたときの「北海道中部沿岸のモデル津波」では、高さ 1.5m の「仮定防油堤」が被害を受けなければ、防油堤の内側は浸水しないという予測結果となった。なお、前項「(1)「仮定防油堤」の津波被害発生可能性の予想結果」では、「三重県北部沿岸のモデル津波」及び「和歌山県中部沿岸のモデル津波」では、「仮定防油堤」には「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の被害は発生しないと予想されたが、「北海道中部沿岸のモデル津波」では、「仮定防油堤」に「滑動」、「転倒」、「部材破壊」の被害のうちいずれかが発生する可能性があるとして予想されている。

表 4.4-5 に「中規模仮定タンク」を置いたときの「三重県南部沿岸のモデル津波」についての予測結果がないのは、前節「4.3 モデル津波の最大浸水深と流速の予測」の(3)で述べたように、予測地点に「中規模仮定タンク」に対する「中規模仮定防油堤」(90m×90m)を置こうとすると、「中規模仮定防油堤」が海域にはみ出てしまうため、「中規模仮定防油堤」を置いたモデルでの津波伝播シミュレーションは行われなかったためである。

以下、「モデル津波」ごとに「小規模仮定防油堤」及び「中規模仮定防油堤」の津波被害発生可能性の予想結果を述べる。なお、「三重県北部沿岸のモデル津波」、「和歌山県中部沿岸のモデル津波」、「小規模仮定タンク」を置いたときの「北海道中部沿岸のモデル津波」については、前述のとおり、「仮定防油堤」が被害を受けなければ、防油堤の内側は浸水しないという予測結果となっており、このことから防油堤内の屋外貯蔵タンクは津波被害を受けないと予想されるので、以下での記述は省略する。

表 4.4-5 「仮定防油堤」を置いた場合の「予測地点」（タンク仮定位置）における
最大浸水深 $\eta_{\max}$ 最大流速 $V_{\max}$ およびフルード数

モデル津波名	防油堤1.5m, 1,000kl			防油堤1.5m, 10,000kl		
	浸水深(m)	流速(m/s)	フルード数	浸水深(m)	流速(m/s)	フルード数
三重県北部沿岸のモデル津波	－	－	－	－	－	－
三重県中部沿岸のモデル津波	1.2	1.4	0.39	0.7	1.4	0.54
三重県南部沿岸のモデル津波	2.1	0.4	0.09	予測値なし		
和歌山県中部沿岸のモデル津波	－	－	－	－	－	－
高知県中部沿岸のモデル津波	4.4	1.2	0.18	4.4	1.1	0.17
北海道東部沿岸のモデル津波	－	－	－	0.03	0.2	0.27
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.1	1.9	0.29	4.0	1.8	0.29

※「－」は、「予測地点」（タンク仮定位置）への浸水が発生しなかったケースである。

① 「三重県中部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの被害発生の可能性

「三重県中部沿岸のモデル津波」に対する評価結果を表 4.4-6 および図 4.4-4 に示す。表に掲げたパーセンテージの範囲は、内液比率がその範囲にあると被害発生のおそれがあるということを意味している。

津波伝播シミュレーションの結果から、「三重県中部沿岸のモデル津波」では、「小規模仮定タンク」が受ける津波は、最大浸水深 1.2m、最大流速 1.4m/s、フルード数 0.39、「中規模仮定タンク」が受ける津波は、最大浸水深 0.7m、最大流速 1.4m/s、フルード数 0.54 と予測された。

この「モデル津波」では、「小規模仮定タンク」は、内液比率が 10%以下であると「滑動」又は「転倒」が発生する可能性があり、内液比率が 8%以下であると「浮き上がり」が発生する可能性があるとの予想結果となった（表 4.4-6）。「内外水圧差による側板座屈」は空の状態であっても発生しないと予想された（同じく表 4.4-6）。すなわち、「浮き上がり」及び「内外水圧差による側板座屈」が懸念される内溶液量状態に該当する範囲に比べると、「滑動」又は「転倒」が懸念されるそのほうがやや範囲が広いと予想された（図 4.4-4）。

「中規模仮定タンク」は、タンクが空の状態であったとしても、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」のいずれの被害も発生しないと予想された（表 4.4-6）。

表 4.4-6 「三重県中部沿岸のモデル津波」の場合の
被害発生可能性をとまなう内液比率

被害形態名	小規模仮定タンク (防油堤範囲 30m×30m)	中規模仮定タンク (防油堤範囲 90m×90m)
浮き上がり	0～8%	被害発生可能性
滑動	0～10%	
転倒	0～10%	
内外水圧差による 側板座屈	被害発生無し	

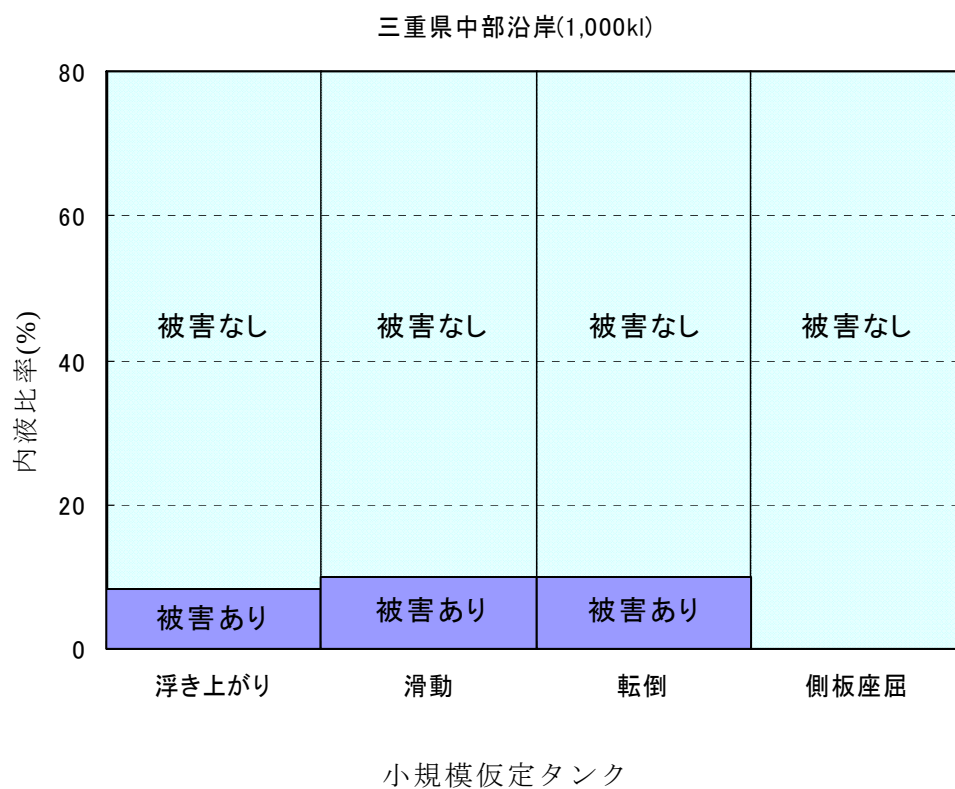


図 4.4-4 「三重県中部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生する
おそれのある内液比率

② 「三重県南部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの被害発生の可能性

「三重県南部沿岸のモデル津波」に対する評価結果を表 4.4-7 および図 4.4-5 に示す。

津波伝播シミュレーションの結果から、「三重県南部沿岸のモデル津波」では、「小規模仮定タンク」が受ける津波は、最大浸水深 2.1m、最大流速 0.4m/s、フルード数 0.09 と予測された。

「小規模仮定タンク」については、内液比率が 22%以下であると「滑動」が発生する可能性があり（表 4.4-7）、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」のなかでは、「滑動」が懸念される内溶液量状態に該当する範囲が、残りの 3 つのそれに比べて最も広いと予想された（図 4.4-5）。

表 4.4-7 「三重県南部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生する
おそれのある内液比率

被害形態名	小規模仮定タンク (防油堤範囲 30m×30m)
浮き上がり	0～17%
滑動	0～22%
転倒	0～20%
内外水圧差による 側板座屈	0～17%

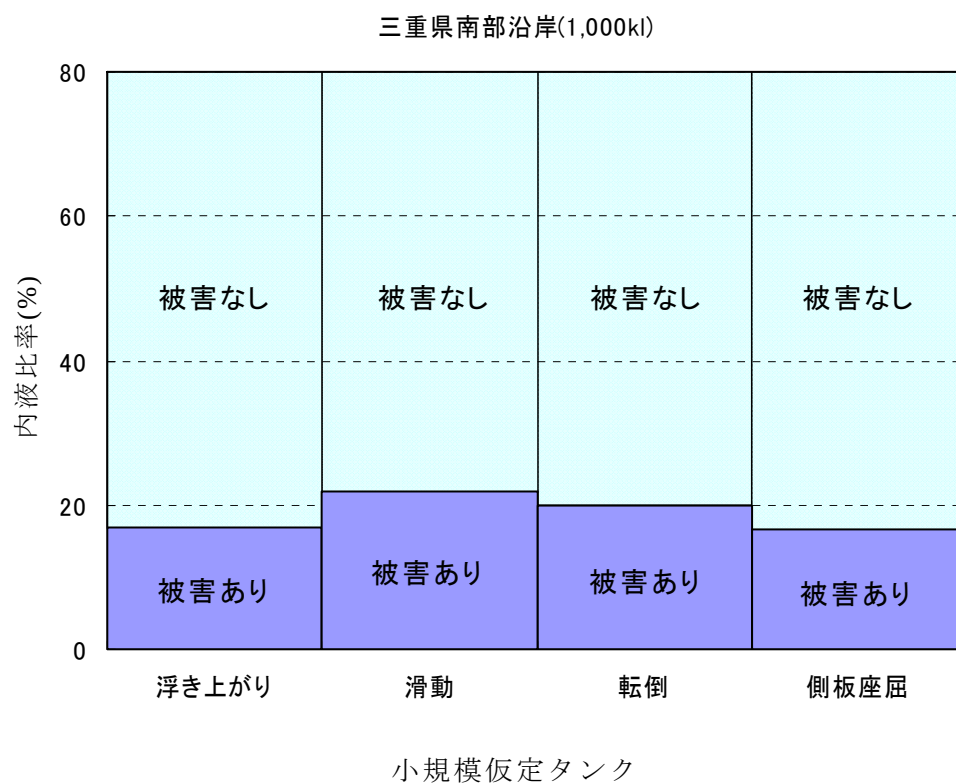


図 4.4-5 「三重県南部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生するおそれのある内液比率

③ 「高知県中部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの被害発生の可能性

「高知県中部沿岸のモデル津波」に対する評価結果を表 4.4-8 および図 4.4-6 に示す。

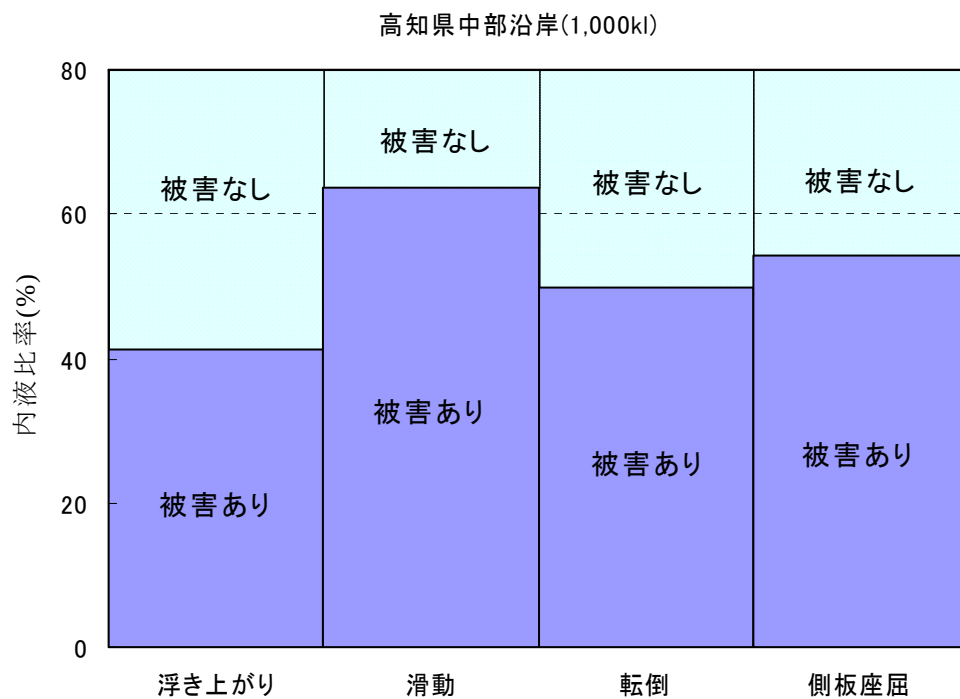
津波伝播シミュレーションの結果から、「高知県中部沿岸のモデル津波」では、「小規模仮定タンク」が受ける津波は、最大浸水深 4.4m、最大流速 1.2m/s、フルード数 0.18、「中規模仮定タンク」が受ける津波は、最大浸水深 4.4m、最大流速 1.1m/s、フルード数 0.17 と予測された。

「小規模仮定タンク」については、内液比率が 64%以下であると「滑動」が発生する可能性があり（表 4.4-8）、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」のなかでは、「滑動」が懸念される内溶液量状態に該当する範囲が、残りの 3 つのそれに比べて最も広いと予想された（図 4.4-6）。

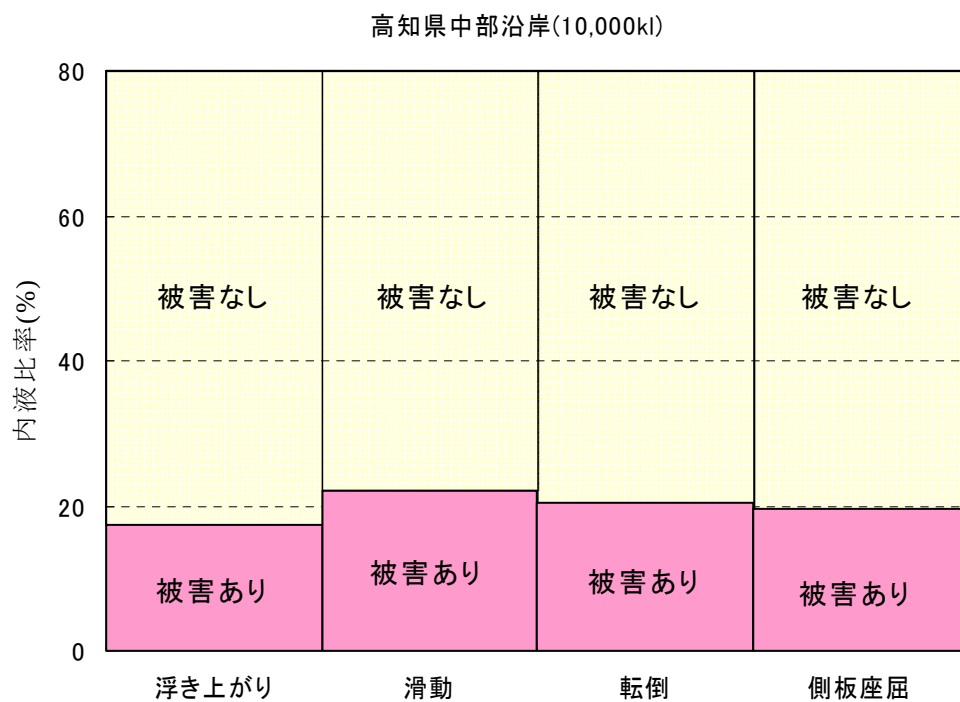
「中規模仮定タンク」については、内液比率が 22%以下であると「滑動」が発生する可能性があるとして予想された（表 4.4-8）。また同じく、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」のなかでは、「滑動」が懸念される内溶液量状態に該当する範囲が、残りの 3 つのそれに比べて最も広いと予想された（図 4.4-6）。

表 4.4-8 「高知県中部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生する
おそれのある内液比率

被害形態名	小規模仮定タンク (防油堤範囲 30m×30m)	中規模仮定タンク (防油堤範囲 90m×90m)
浮き上がり	0～41%	0～18%
滑動	0～64%	0～22%
転倒	0～50%	0～20%
内外水圧差による 側板座屈	0～54%	0～20%



(a) 小規模仮定タンク



(b) 中規模仮定タンク

図 4.4-6 「高知県中部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生するおそれのある内液比率

④ 「北海道東部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの被害発生の可能性

「北海道東部沿岸のモデル津波」に対する評価結果を表 4.4-9 に示す。

津波伝播シミュレーションの結果から、「北海道東部沿岸のモデル津波」では、「小規模仮定タンク」は津波を受けず、「中規模仮定タンク」が受ける津波も、最大浸水深が 0.03m とほぼ津波を受けないと予測された。

この結果、「小規模仮定タンク」、「中規模仮定タンク」とともに津波被害の発生可能性は予想されなかった。

表 4.4-9 「北海道東部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生する
おそれのある内液比率

被害形態名	小規模仮定タンク (防油堤範囲 30m×30m)	中規模仮定タンク (防油堤範囲 90m×90m)
浮き上がり	被害発生無し	被害発生無し
滑動		
転倒		
内外水圧差による 側板座屈		

⑤ 「岩手県中部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの被害発生の可能性

「岩手県中部沿岸のモデル津波」に対する評価結果を表 4.4-10 および図 4.4-7 に示す。

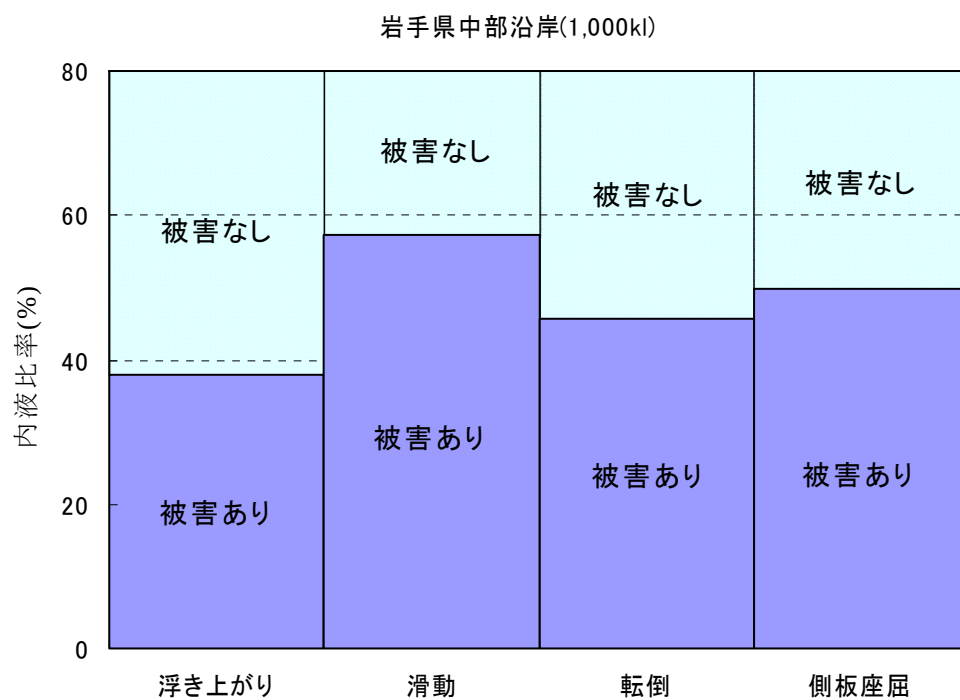
津波伝播シミュレーションの結果から、「岩手県中部沿岸のモデル津波」では、「小規模仮定タンク」が受ける津波は、最大浸水深 4.1m、最大流速 1.9m/s、フルード数 0.29、「中規模仮定タンク」が受ける津波は、最大浸水深 4.0m、最大流速 1.8m/s、フルード数 0.29 と予測された。

「小規模仮定タンク」については、内液比率が 57%以下であると「滑動」が発生する可能性があり（表 4.4-10）、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」のなかでは、「滑動」が懸念される内溶液量状態に該当する範囲が、残りの 3 つのそれに比べて最も広いと予想された（図 4.4-7）。

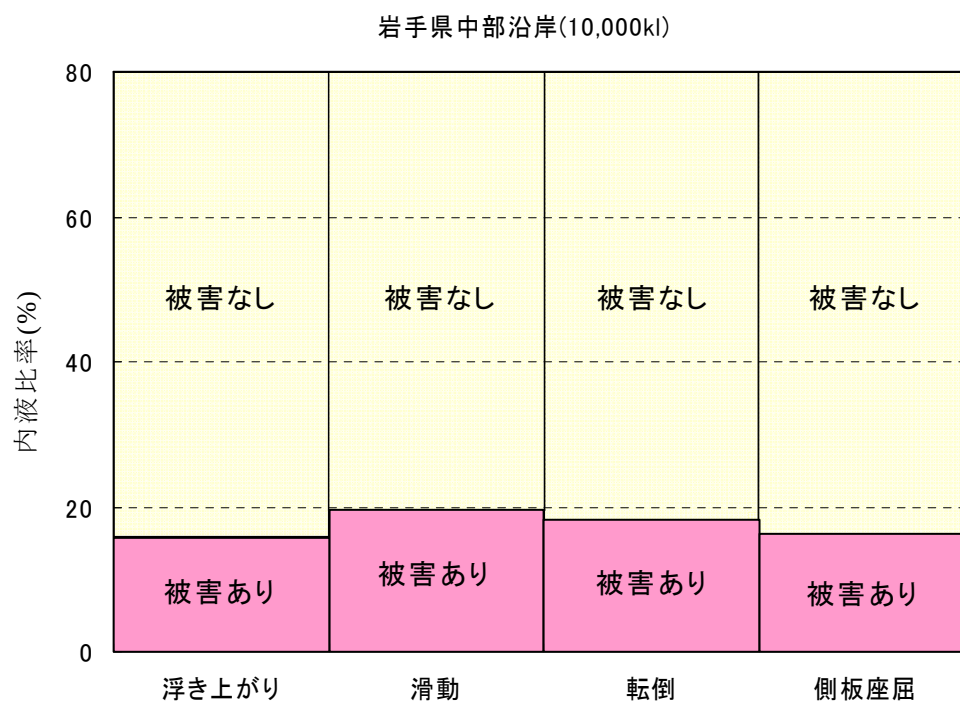
「中規模仮定タンク」については、内液比率が 20%以下であると「滑動」が発生する可能性があるとして予想された（表 4.4-10）。また同じく、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」のなかでは、「滑動」が懸念される内溶液量状態に該当する範囲が、残りの 3 つのそれに比べて最も広いと予想された（図 4.4-7）。

表 4.4-10 「岩手県中部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生する
おそれのある内液比率

被害形態名	小規模仮定タンク (防油堤範囲 30m×30m)	中規模仮定タンク (防油堤範囲 90m×90m)
浮き上がり	0～38%	0～16%
滑動	0～57%	0～20%
転倒	0～46%	0～18%
内外水圧差による 側板座屈	0～50%	0～16%



(a) 小規模仮定タンク



(b) 中規模仮定タンク

図 4.4-7 「岩手県中部沿岸のモデル津波」において被害形態が発生するおそれのある内液比率

(2-2) 津波の最大浸水深と屋外貯蔵タンクの津波被害発生可能の関係に関する予想結果

ここでは、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の津波被害発生可能性と津波の最大浸水深の関係を調べる。言い換えれば、津波の浸水深がどれくらいの大きさになれば、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」の被害発生可能性がそれぞれ予想されることとなるかということ調べようとするものである。

ここでは、フルード数がある一定の値である津波を仮定し、その津波の浸水深をさまざまに変えたものを「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」が受けた場合に、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」に「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」が発生する可能性を予想した。

津波のフルード数を仮定するのは、ここで用いることとしている「流速の効果を考慮した津波波力算定式」が、フルード数により場合分けされたもの(式 3.2-17) 及び(式 3.2-18) であるからである。仮定するフルード数は、0.8、1.0、1.2、1.4 の 4 つとした。(式 3.2-17) 及び(式 3.2-18) によると、これらのフルード数に対して、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α 及び「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β は表 4.4-11 のように計算される。なお、表 4.4-5 に掲げているように本報告書で取り上げた「モデル津波」について、「予測地点」で予測されたフルード数は約 0.1~0.5 程度の範囲にあり、いずれの「モデル津波」についても、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α 及び「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β はともに 1.0 となる。

図 4.4-8 に津波被害発生可能性の予想結果を示す。図では、横軸に内液比率を、縦軸に津波の浸水深をとっている。例えば、「滑動」についての結果は黒線で描いているが、この黒線は、津波の浸水深がそれ以上になると「滑動」が発生する可能性が生ずることを意味している。

「小規模仮定タンク」がフルード数 0.8 の津波を受けた場合の予想結果を示している図 4.4-8(1)(a)を見ると、「滑動」に対応する黒線は、残りの「浮き上がり」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」にそれぞれ対応する他の 3 本の線よりも下に位置している。これは、内液比率にかかわらず、「浮き上がり」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」に比べると、「滑動」は小さな浸水深でも発生する可能性があることを予想されることを意味している。

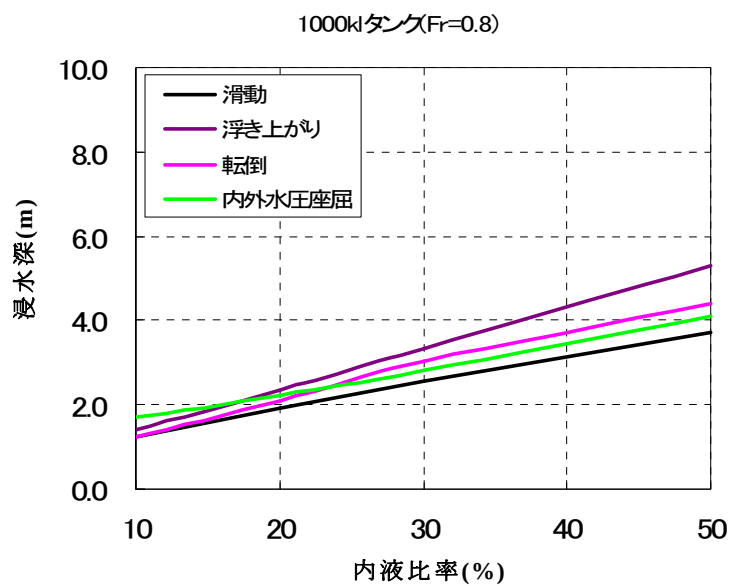
ここで用いることとしている「流速の効果を考慮した津波波力算定式」では、フルード数が一定の場合、浸水深が小さければ、それに応じて小さな津波波力が算定される。このことから、「小規模仮定タンク」がフルード数 0.8 の津波を受ける場合では、「滑動」は残りの 3 つの被害形態に比べて、より小さな波力で発生する可能性があるものと予想される。

さらに、「小規模仮定タンク」であるか「中規模仮定タンク」であるかによらず、また、フルード数によらず、残りの場合についても、すべて同様の結果、すなわち、「滑動」に対応する黒線が、残りの「浮き上がり」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」にそれぞ

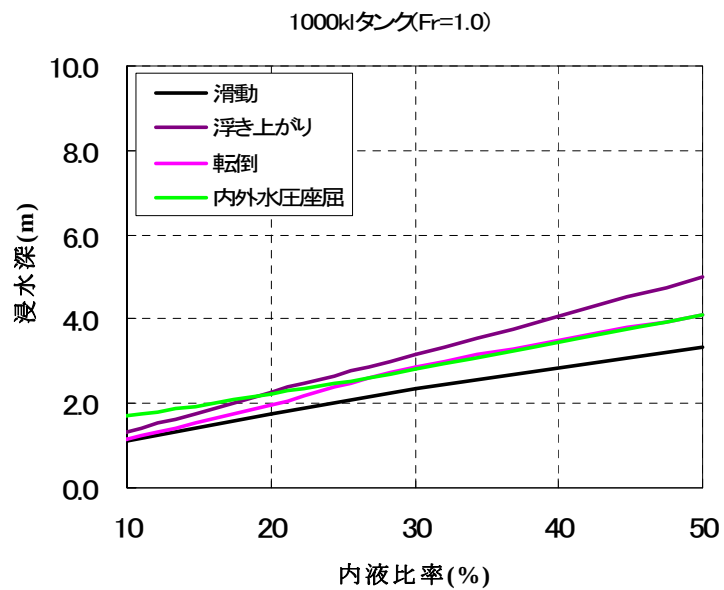
れ対応する他の 3 本の線よりも下に位置している。このことから、一般的に、内液比率にかかわらず、「滑動」は、「浮き上がり」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」に比べると、より小さな津波波力でも発生する可能性があると考えることができそうである。

表 4.4-11 仮定したフルード数での比率 α 及び β の値

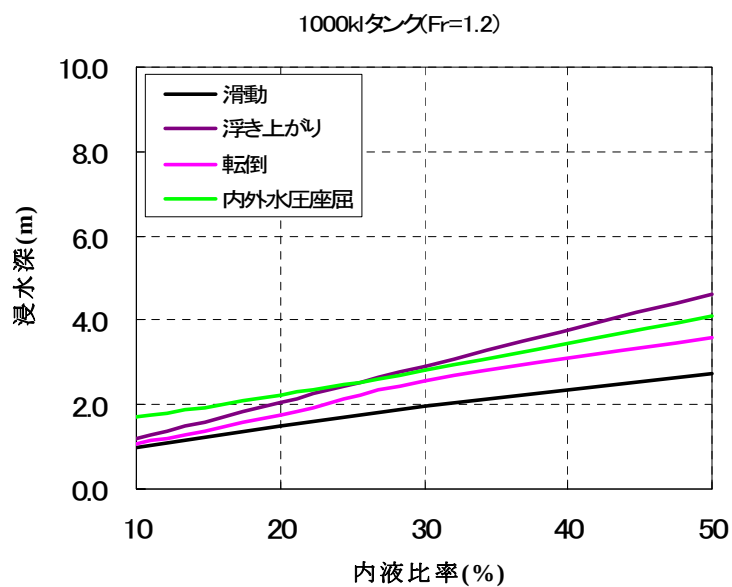
フルード数	0.8	1.0	1.2	1.4
α	1.0	1.2	1.6	1.8
β	1.0	1.05	1.15	1.2



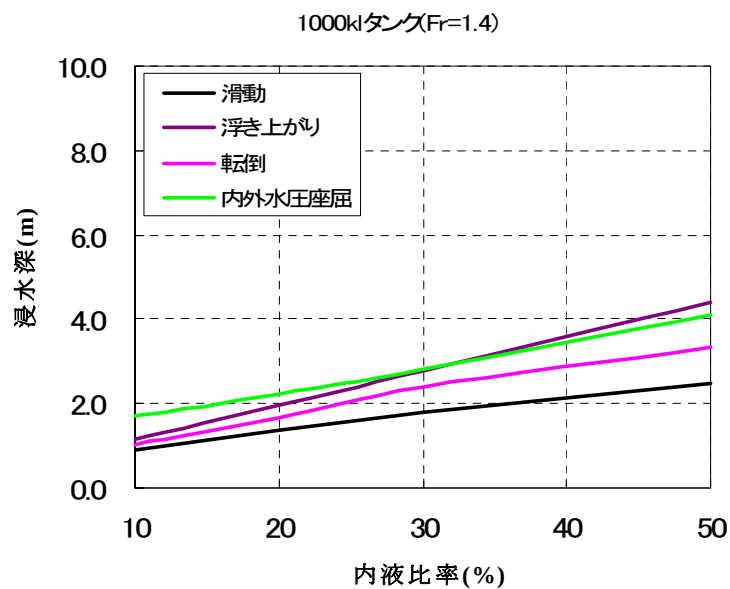
(a) フルード数 0.8



(b) フルード数 1.0

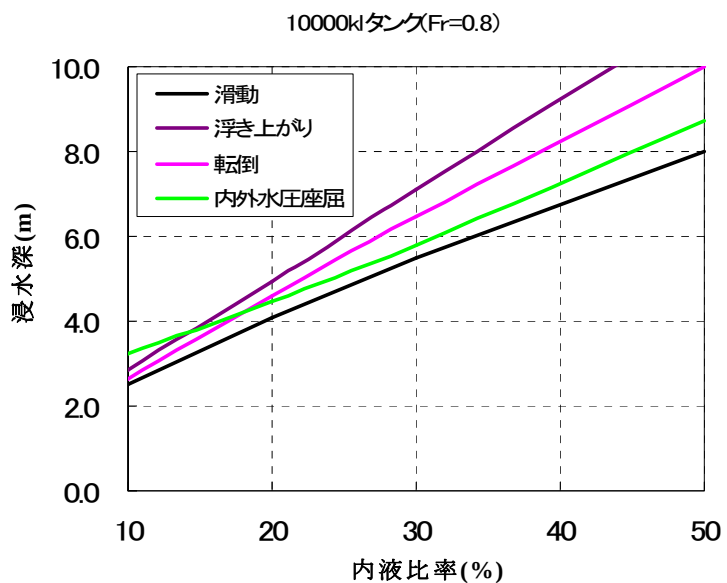


(c) フルード数 1.2

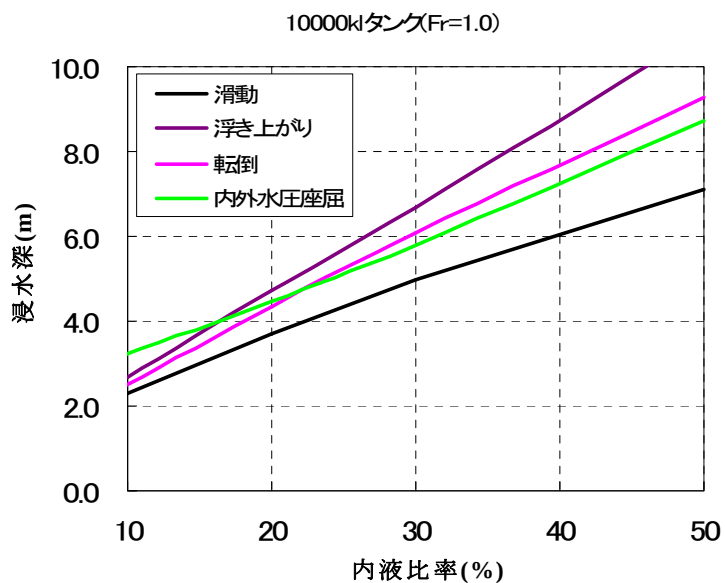


(d) フルード数 1.4

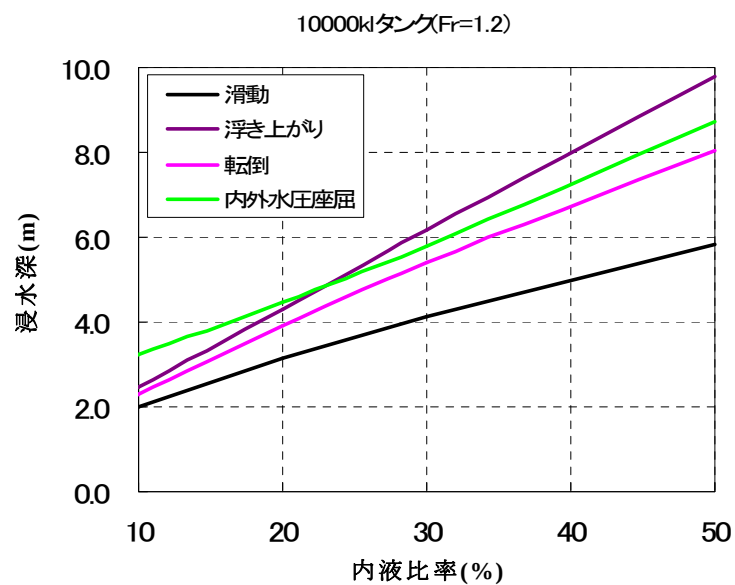
図 4.4-8(1) 屋外貯蔵タンクで発生する 4 つの被害形態の予想結果
(小規模仮定タンク)



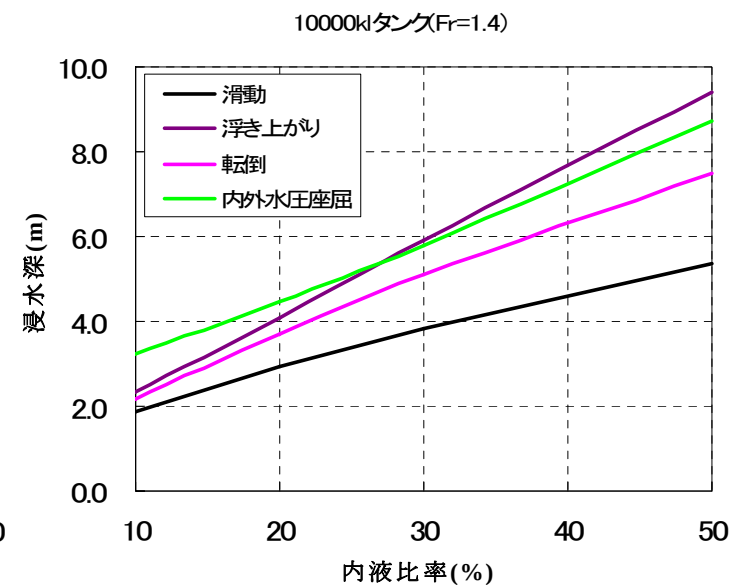
(a) フルード数 0.8



(b) フルード数 1.0



(c) フルード数 1.2



(d) フルード数 1.4

図 4.4-8(2) 屋外貯蔵タンクで発生する 4 つの被害形態の予想結果
(中規模仮定タンク)

(3) 「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の漂流軌跡（漂流距離）の予想結果

ここでは、第3章で提案された「屋外貯蔵タンク漂流予測手法」を用いて、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の漂流軌跡（漂流距離）を予想した結果を述べる。

漂流軌跡（漂流距離）の予想は、最大浸水深が、他の「モデル津波」よりも大きいと予測された「高知県中部沿岸のモデル津波」、「三重県南部沿岸のモデル津波」、「岩手県中部沿岸のモデル津波」の3つの「モデル津波」について行った。外力場は、防油堤が津波を受けて損壊したことを想定し、防油堤をモデルに置かない場合の津波伝播シミュレーションから得られた結果とした。すなわち、漂流軌跡（漂流距離）は、陸域では山地を除くと平坦であり、さらに、タンクが漂流した場合の障害物となる建物等も省略されたモデルにおいて予想されることとなる。

タンクの初期位置は、前項4.3の「予測地点」、すなわち、本項の(2)の屋外貯蔵タンクの津波被害発生可能性の予想で「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」を仮定した位置とした。漂流軌跡（漂流距離）を計算する空間的範囲は、このタンクの初期位置を中心とする500m×500m範囲とした。漂流軌跡（漂流距離）を計算する時間帯域は次のとおりとした。予測地点で最大浸水深が発生する時点は、この時間帯域に含まれる。

- ・ 高知県中部沿岸のモデル津波：地震発生後30分から60分までの30分間
- ・ 三重県南部沿岸のモデル津波：地震発生後5分から50分までの45分間
- ・ 岩手県中部沿岸のモデル津波：地震発生後30分から50分までの20分間

漂流軌跡（漂流距離）の計算に用いた条件を表4.4-12に示す。計算に用いた各係数及び付加質量は、資料編の資料-4に記載した実験結果を良く再現する値とされている。

また、タンク基礎水平バネの最大変位量（変形できる最大長さ）は、実験縮尺1/50での計測に基づく値0.2mmを現地換算し、10mmとした。

静止摩擦力計算時の作用浮力（揚圧力）の値は、静水圧の0.2倍相当で作用する場合と、静水圧の1.0倍相当で作用する場合の2とおりとした。前者は、実験結果の再現性が良かったものである。後者は、タンクがより浮き上がりやすいことを模擬するための設定である。

表 4.4-12 漂流軌跡（漂流距離）の計算に用いた条件

	小規模仮定タンク	中規模仮定タンク
直径(m)	12.150	26.151
重量(t)	35.7	270.0
内液比重	0.83	
内液比率	10%, 30%	
静止摩擦係数	0.4	
動摩擦係数	0.2	
抗力係数	1.2	
慣性力係数	2.0	
付加質量	タンク重量の 0.1 倍	
タンク基礎水平バネ の最大変位量	10mm	
静止摩擦力計算時の 作用浮力	静水圧の 0.2 倍, 1.0 倍	

図 4.4-9 から図 4.4-11 に「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の漂流軌跡（漂流距離）の予想結果を示す。これらの図では、1 つの図の中に、内液比率 10%、30%とした場合と、静止摩擦力計算時の作用浮力（揚圧力）を静水圧の 0.2 倍、1.0 倍とした場合の組み合わせた計 4 ケースに対して予想された漂流軌跡が描かれている。

以下、「モデル津波」ごとに結果を述べる。

①「高知県中部沿岸のモデル津波」（図 4.4-9）

「小規模仮定タンク」については、作用浮力を 1.0 倍とすると漂流すると予想されたが、作用浮力を 0.2 倍とすると漂流しないと予想された。作用浮力を 1.0 倍、内液比率を 10%としたケースでは、まず初期タンク位置から+X 方向に漂流し、海域に近づきながら+Y 方向へと移動し、その後反転して-Y 方向へと漂流すると予想された。同じく作用浮力を 1.0 倍、内液比率を 30%としたケースでは、海域方向へ移動した後、+Y 方向の護岸沿いを漂流するが、Y=350m 付近で-Y 方向に反転し、そのまま護岸沿いを-Y 方向に漂流すると予想された。

「中規模仮定タンク」については、作用浮力を 1.0 倍、内液比率 10%としたケースでのみ、漂流すると予想された。漂流軌跡は、「小規模仮定タンク」の作用浮力を 1.0 倍、内液比率を 30%としたケースとほぼ同様と予想された。

②「三重県南部沿岸のモデル津波」（図 4.4-10）

「三重県南部沿岸のモデル津波」については、「小規模仮定タンク」の漂流軌跡のみを予想した。

「小規模仮定タンク」は、作用浮力を 1.0 倍、内液比率を 10%としたケースでのみ、初期タンク位置から曲線状の経路で-Y 方向へ漂流する結果となった。

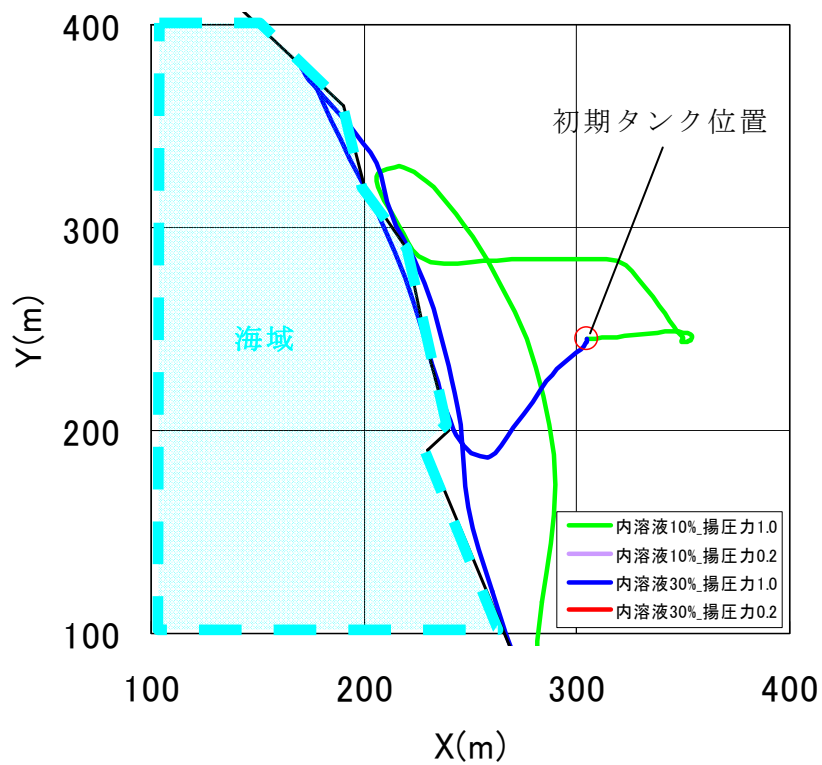
③「岩手県中部沿岸のモデル津波」（図 4.4-11）

「小規模仮定タンク」については、4 ケースすべてで漂流すると予想された。内液比率を 10%とした 2 ケースは、ほぼ同じような漂流軌跡となるが、作用浮力を 1.0 倍としたケースのほうが、作用浮力を 0.2 倍としたケースよりも、より広い範囲を漂流すると予想された。また、内液比率を 30%とした 2 ケースについても、両ケースで同じような軌跡となり、+Y 方向の陸域で停止すると予想された。

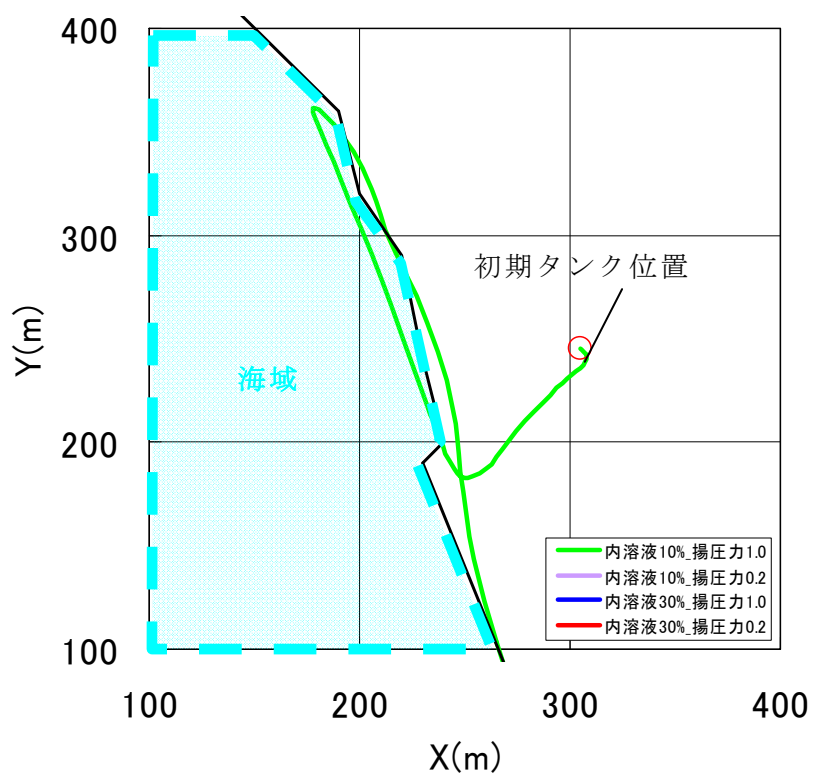
「中規模仮定タンク」については、作用浮力を 1.0 倍、内液比率を 10%としたケースでのみタンクが移動し、その軌跡は「小規模仮定タンク」で内液比率を 30%としたケースと同様と予想された。

以上で見たように、「小規模仮定タンク」と「中規模仮定タンク」では、「小規模仮定タンク」のほうが漂流しやすい。また、一度動き出したタンクは、障害物等がなければ、数百メートル程度の長い距離を漂流するという可能性があるとして予想された。

なお、タンクの漂流挙動は、タンクの規模や内液容量および静止摩擦力計算時の作用浮力の設定によって動き出すタイミングが異なり、その結果、動き出した後にタンクが受ける津波も異なることになることから、これらの条件によって漂流軌跡（漂流距離）は大きく異なりうると考えられる。

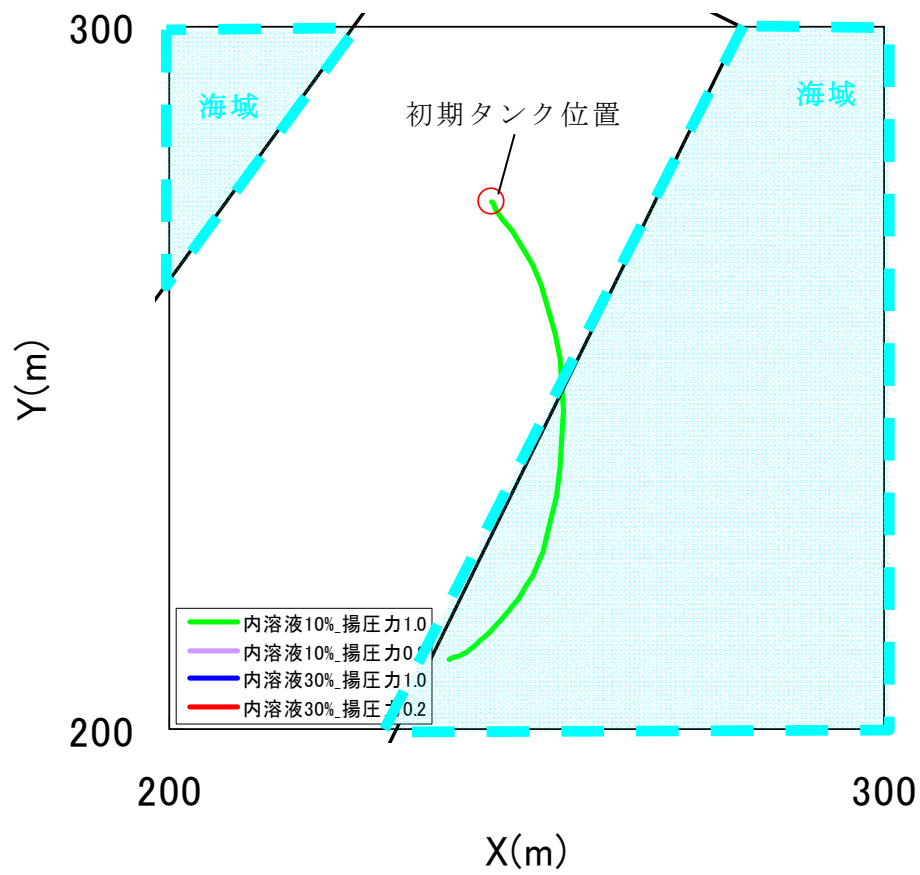


(a) 小規模仮定タンク



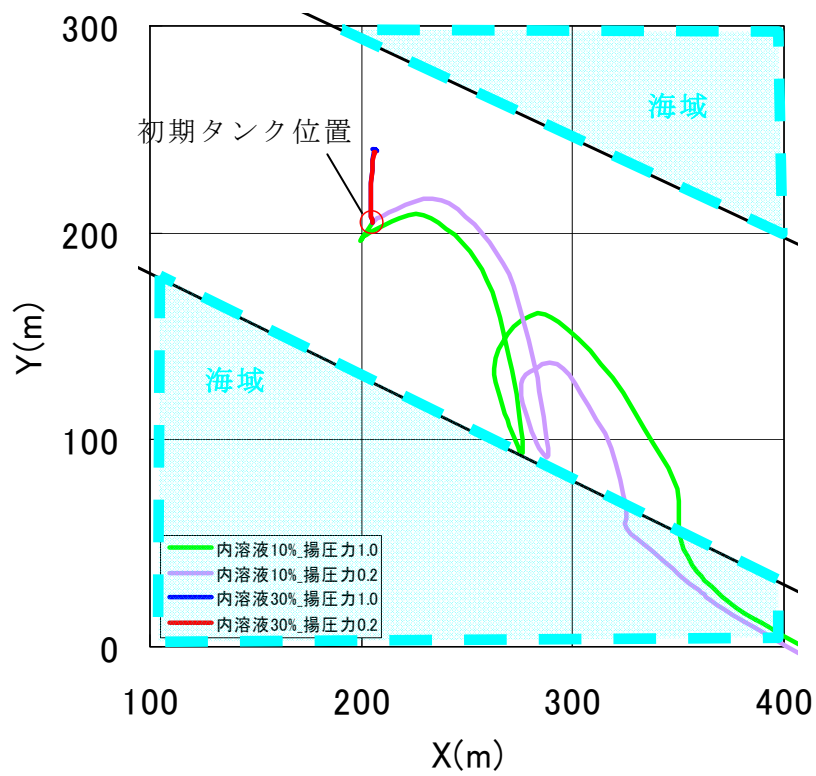
(b) 中規模仮定タンク

図 4.4-9 「高知県中部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの漂流軌跡

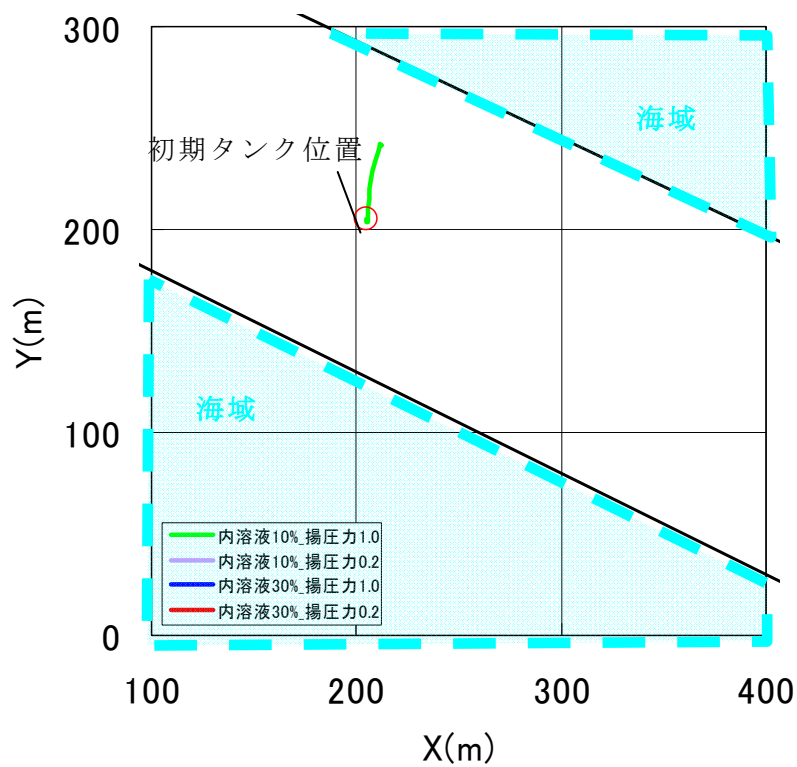


小規模仮定タンク

図 4.4-10 「三重県南部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの漂流軌跡



(a) 小規模仮定タンク



(b) 中規模仮定タンク

図 4.4-11 「岩手県中部沿岸のモデル津波」による屋外貯蔵タンクの漂流軌跡

4. 5 第4章のまとめ

本章では、我が国の屋外タンク貯蔵所において、どのような津波被害が発生しうるかをおおむね把握すること、すなわち、屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を作成することを目的として、我が国周辺で将来発生しうる地震の規模及び震源域の位置を考慮して、我が国で屋外タンク貯蔵所が立地している場所にどの程度の大きさの津波が到来するかを予測し、屋外タンク貯蔵所が予測される津波を受けた時にどのような被害が発生しうるかを予想する作業を行った。

ただし、ここでの「被害イメージ」は、実際に設置されている個々の屋外タンク貯蔵所の津波被害を予測するという意味での「被害想定」とは異なるものである。これは、本調査検討事業の目的が、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策として有効と考えられるものを提案することであって、具体的にどの屋外タンク貯蔵所でどのような津波被害が見込まれるかという「被害想定」までは、必ずしも必要ではないと考えられたためである。また、ここで用いられる屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法は、第3章で提案されたものであるが、これはあくまでも提案段階のものであり、具体的な「被害想定」を行うには、その確度等について、さらなる検討が必要と考えられるという技術上の理由もある。

具体的な作業は、まず、我が国で屋外タンク貯蔵所が立地している場所にどの程度の大きさの津波が到来するかを予測するために、我が国周辺で想定されている大地震が発生した場合に、大きな津波が到来すると予想されている地域で、かつ、現に海岸近くに屋外タンク貯蔵所が設置されている地域に該当する地域を8つ取り上げ、それぞれの地域について、その地域に大きな津波をもたらすと考えられる想定地震からの津波による浸水深、流速を津波伝播シミュレーションにより予測した。これらの8つの地域の津波を、本報告書では「モデル津波」と呼ぶこととした。

次に、代表的諸元と考えられるものを有する防油堤及び屋外貯蔵タンク（「仮定防油堤」、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」）を仮定し、これらが「モデル津波」等を受けた場合の被害発生可能性を予想することとした。津波被害発生可能性の予想は、第3章で提案された「防油堤の津波被害簡易予測式」、「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」及び「屋外貯蔵タンク漂流予測手法」を用いて行った。これにより、予想対象となる被害形態は、次の9つとなった。

1) 防油堤（コンクリート擁壁タイプ防油堤）

- ・ 滑動
- ・ 転倒
- ・ 沈下
- ・ 部材破壊

2) タンク本体

- ・浮き上がり
- ・滑動
- ・転倒
- ・内外水圧差による側板座屈
- ・漂流軌跡（漂流距離）

津波被害発生可能性を予想するに当たって仮定した屋外貯蔵タンク及び防油堤として、屋外貯蔵タンクは容量 1,000 kℓのタンク（小規模仮定タンク）と容量 10,000 kℓのタンク（中規模仮定タンク）の 2 種類とし、また、「仮定防油堤」の高さは 1.5m とした。

上記の作業の結果を表 4.4-13 にまとめる。主な結果は次のとおりである。

- ① 8 つの「モデル津波」について、津波伝播シミュレーションを行った結果、仮に「仮定防油堤」（高さ 1.5m）が津波を受けても損壊等しないものとする、4 つの「モデル津波」では防油堤内への浸水が発生しないと予測され、残り 4 つの「モデル津波」では、防油堤内への浸水が発生すると予測された。防油堤内への浸水が予測された 4 つの「モデル津波」については、最大浸水深は 0.4～4.4m 程度、最大流速は 0.2～1.9m/s 程度となると予測された。
- ② 「仮定防油堤」（高さ 1.5m）が「モデル津波」を受けた場合の「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の発生可能性を予想した結果、津波波力の作用高さが「仮定防油堤」の高さを超えないと予測された「モデル津波」、すなわち、最大浸水深が 0.3～0.5m の「モデル津波」では、これらの被害のいずれも発生しないと予想された。しかし、津波波力の作用高さが「仮定防油堤」の高さを超えると予測された「モデル津波」、すなわち、最大浸水深が 1.5m を越える「モデル津波」では、「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」のうちのいずれかが発生する可能性があるとして予想された。
- ③ 「小規模仮定タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）が「モデル津波」を受けた場合の「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」の発生可能性を予想した結果、最大浸水深が 0.7m 以下の「モデル津波」では、内容液量にかかわらず、「小規模仮定タンク」にも「中規模仮定タンク」にも、これらの被害のいずれも発生しないと予想された。しかし、最大浸水深が 1.2m 以上となる「モデル津波」では、内容液量により、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」が発生する可能性があるとして予想された。ただし、最大浸水深が 1.2m となる「モデル津波」を「小規模仮定タンク」が受ける場合では、タンク容量の 10% 以上の量の内容液がタンクに貯蔵されていれば、これらの被害は発生しないと予想さ

れた。また、最大浸水深 4.4m の「モデル津波」を「小規模仮定タンク」が受ける場合では、タンク容量の 64%以上の量の内溶液がタンクに貯蔵されていれば、これらの被害は発生しないと予想され、ほぼ同様の「モデル津波」を「中規模仮定タンク」が受ける場合では、タンク容量の 22%以上の量の内溶液がタンクに貯蔵されていれば、これらの被害は発生しないと予想された。

- ④ 「小規模仮定タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）について、津波の浸水深がどれくらいの大きさになれば、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」の被害発生可能性がそれぞれ予想されることとなるかを調べた結果、「小規模仮定タンク」であるか「中規模仮定タンク」であるかにかかわらず、また、内溶液の量にかかわらず、「滑動」は、「浮き上がり」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」と比較すると、より小さな津波波力でも発生する可能性があると考えられることがわかった。
- ⑤ 最大浸水深が 2.0m 以上と予測された 3 つの「モデル津波」について、「小規模仮定タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）の漂流軌跡（漂流距離）を予想した結果、津波を受けて一度動き出したタンクは、障害物等がなければ、数百メートル程度の長い距離を漂流するという可能性があると考えられた。また、タンクの漂流挙動は、タンクの規模や内液容量および静止摩擦力計算時の作用浮力（揚圧力）の設定によって動き出すタイミングが異なり、その結果、動き出した後にタンクが受ける津波も異なることになることから、これらの条件によって漂流軌跡（漂流距離）は大きく異なりうると考えられる。

表 4.4-13 「モデル津波」による防油堤および屋外貯蔵タンクの被害発生可能性の予想結果

(1) 防油堤の被害予想結果（小規模仮定タンク）

モデル津波名	最大 浸水深 (m)	防油堤1.5m, 1,000kl			
		滑動	転倒	沈下	部材破壊
静岡県東部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—
三重県北部沿岸のモデル津波	0.3	○	○	○	○
三重県中部沿岸のモデル津波	1.7	×	×	×	×
三重県南部沿岸のモデル津波	2.1	×	×	×	×
和歌山県中部沿岸のモデル津波	0.5	○	○	○	○
高知県中部沿岸のモデル津波	4.5	×	×	×	×
北海道東部沿岸のモデル津波	1.5	×	×	×	×
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.1	×	×	×	×

※最大浸水深は、防油堤が無いときの防油堤位置における結果である。

※「○」は被害可能性なし、「×」は被害可能性あり、「—」は浸水深なし

(3) 防油堤の被害予想結果（中規模仮定タンク）

モデル津波名	最大 浸水深 (m)	防油堤1.5m, 10,000kl			
		滑動	転倒	沈下	部材破壊
静岡県東部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—
三重県北部沿岸のモデル津波	0.3	○	○	○	○
三重県中部沿岸のモデル津波	1.7	×	×	×	×
和歌山県中部沿岸のモデル津波	0.5	○	○	○	○
高知県中部沿岸のモデル津波	4.5	×	×	×	×
北海道東部沿岸のモデル津波	1.5	×	×	×	×
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.1	×	×	×	×

※最大浸水深は、防油堤が無いときの防油堤位置における結果である。

※「○」は被害可能性なし、「×」は被害可能性あり、「—」は浸水深なし

本結果は、実際の固有地点を忠実に再現して実施したものではなく、防油堤および屋外貯蔵タンクも固有地点に実在するものではない。

(2) 屋外貯蔵タンクの被害予想結果（小規模仮定タンク）

モデル津波名	最大 浸水深 (m)	最大 流速 (m/s)	防油堤1.5m, 1,000kl			
			浮き上がり	滑動	転倒	内外水圧差による 側板座屈
静岡県東部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—	—
三重県北部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—	—
三重県中部沿岸のモデル津波	1.2	1.4	8	10	10	被害モード 発生無し
三重県南部沿岸のモデル津波	2.1	0.4	16	22	20	17
和歌山県中部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—	—
高知県中部沿岸のモデル津波	4.4	1.2	41	64	50	54
北海道東部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—	—
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.1	1.9	38	57	46	50

※最大浸水深および最大流速は、防油堤があるときのタンク位置における結果である。

※被害形態内の数値は、被害形態が発生する恐れのない内液比率(%)の下限值であり、記載数値の大きい方が被害が発生しやすいことを示す。

※「—」は浸水深なし

(4) 屋外貯蔵タンクの被害予想結果（中規模仮定タンク）

モデル津波名	最大 浸水深 (m)	最大 流速 (m/s)	防油堤1.5m, 10,000kl			
			浮き上がり	滑動	転倒	内外水圧差による 側板座屈
静岡県東部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—	—
三重県北部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—	—
三重県中部沿岸のモデル津波	0.7	1.4	被害モード 発生無し	被害モード 発生無し	被害モード 発生無し	被害モード 発生無し
和歌山県中部沿岸のモデル津波	—	—	—	—	—	—
高知県中部沿岸のモデル津波	4.4	1.1	18	22	20	20
北海道東部沿岸のモデル津波	0.03	0.2	被害モード 発生無し	被害モード 発生無し	被害モード 発生無し	被害モード 発生無し
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.0	1.8	16	20	18	16

※最大浸水深および最大流速は、防油堤があるときのタンク位置における結果である。

※被害形態内の数値(%)は、各被害形態について、内液比率がその数値以下であれば、その被害形態が発生する可能性があることと予想されることを意味している。

※「—」は浸水深なし

＜第 4 章 参考文献＞

- 1) 中央防災会議事務局(2001): 中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」(第 11 回).
- 2) 中央防災会議事務局(2003): 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第 16 回).
- 3) 中央防災会議事務局(2006): 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会報告」.
- 4) 中央防災会議事務局(2005): 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(第 10 回).
- 5) 中央防災会議事務局(2005): 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(第 12 回).
- 6) 後藤智明・小川由信(1982): Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学土木工学科, 52p.
- 7) Mansinha,L. and D.E.Smylie(1971):The displacement field of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61,No5,pp.1433-1440.
- 8) 岩崎敏夫・真野明(1979): オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算: 第 26 回海岸工学講演会論文集, pp.70-74.
- 9) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998): GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法, 第 45 回海岸工学講演会論文集, pp.356-360.
- 10) 本間仁(1940): 低溢流堰堤の流量係数, 土木学会誌, 第 26 巻, 第 6 号, pp.635-645., 第 9 号, pp.849-862.
- 11) 相田勇(1977): 陸上に溢れる津波の数値計算－高知県須崎および宇佐の場合－, 東京大学地震研究所彙報, Vol.52, pp.441-460.

第5章 屋外タンク貯蔵所の津波被害対策に関する検討

5. 1 屋外タンク貯蔵所の津波被害対策の基本的な考え方

前章において、「小規模仮定タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）について、津波の浸水深がどれくらいの大きさになれば、タンクに「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」が発生する可能性が生ずることとなるかを調べた結果、「小規模仮定タンク」であるか「中規模仮定タンク」であるかにかかわらず、また、内容液の量にかかわらず、これら 4 つの被害形態のなかでは、「滑動」が最も小さな浸水深、すなわち最も小さな津波波力で発生する可能性があると考えられることがわかった。このことから、屋外貯蔵タンクが津波を受けた場合には、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」のなかでは、「滑動」が最も発生しやすいと言えると思われる。

仮に、屋外貯蔵タンクが津波を受けて「滑動」したとすると、その滑動量が大きいと、タンクと配管等との接続部等が切断し、その結果、危険物が流出するおそれが生じることが考えられる。

また、同じく前章においては、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」が、浸水深が 2.0m 以上と予測された 3 つの「モデル津波」を受けた場合のタンクの漂流軌跡（漂流距離）を予想した結果、津波を受けて一度動き出したタンクは、障害物等がなければ、数百メートル程度の長い距離を漂流するという可能性があることも予想された。

タンクの漂流については、タンクが漂流し始めるという事態に備えて、タンクの漂流を食い止める構造物をタンクの周囲に設置する対策を講ずるということも考えられなくはないが、タンクがこのような構造物に衝突した場合には、タンクに損傷が生じ、危険物が流出する危険性が考えられる。

こうしたことから、屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策は、屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止することを目標としたものとするのが適当と考えられる。

前章では、「仮定防油堤」（高さ 1.5m）が「モデル津波」を受けた場合の「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の発生可能性も予想されている。その結果は、津波波力の作用高さが「仮定防油堤」の高さを越えると予測された「モデル津波」では、「仮定防油堤」には「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」のうちのいずれかが発生する可能性があることが予想されるというものであった。

仮に、防油堤が津波によって損傷したとすると、その破片等防油堤の一部が、津波に流されて屋外貯蔵タンクに衝突し、屋外貯蔵タンクに損傷を与えるおそれが生じることが考えられる。

また、地震動等の影響で屋外貯蔵タンクが損傷し、屋外貯蔵タンクから危険物が流出す

る事態が生じた場合において、防油堤が津波を受けて防油堤としての機能を失ってしまっていると、危険物が防油堤外に流出し、津波によって拡散してしまうといった被害が発生するおそれがあることも考えられる。

このようなことから、防油堤については、津波波力により防油堤に被害が生じることを避けることを目標とするのが適当と考えられる。

以下本章では、上記の屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策の基本的な考え方、すなわち、屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策については、①屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止することを目標としたものとするのが適当と考えられること、②防油堤は、津波波力により防油堤に被害が生じることを避けることを目標とするのが適当と考えられること、に基づいて、屋外タンク貯蔵所の周囲で講ずることのできる津波被害対策を検討することとする。

検討に当たっては、まず、参考情報を取得するという目的で、屋外タンク貯蔵所の周囲で講ずる津波被害対策に関連する特許出願状況を調べた。この調査結果は、「5.2 屋外タンク貯蔵所の津波被害防止対策に関連する特許」で述べる。

次に、「5.3 屋外タンク貯蔵所の滑動防止対策の検討」では、屋外タンク貯蔵所の周囲で講ずることのできる屋外貯蔵タンクの滑動防止対策として考えられるものを列挙し、どのようなものが有効かつ現実的でありうるかについて検討を行った。その結果、「防油堤のかさ上げ及び構造強化」、「防油堤の外側への津波防護壁の設置」、「タンクのアンカー留め」が、タンクの滑動防止対策として有効かつ現実的なものとなる可能性があると考えられた。そこで、「5.4 防油堤による屋外貯蔵タンクの滑動防止対策に関する検討」では、第4章の「モデル津波」を用いて、防油堤をかさ上げすることにより、タンクに作用する津波波力がどの程度低減するかを見積もるとともに、防油堤が津波に耐えるようにするためには、防油堤をどのように設計すればよいか調べ、「防油堤のかさ上げ及び構造強化」によりタンクの滑動防止を図ることの有効性及び現実性を検討した。

また、「5.5 アンカーによる屋外貯蔵タンクの滑動防止対策に関する検討」では、どのようにタンクにアンカーを打設すれば、滑動が防止できるかを、第4章の「モデル津波」、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」を用いて調べ、「タンクのアンカー留め」によりタンクの滑動防止を図ることの有効性及び現実性を検討した。

なお、「防油堤の外側への津波防護壁の設置」のタンク滑動防止対策としての有効性及び現実性は、5.4の検討結果を参考にすることができると考えられるため、津波防護壁に特化した調査検討は行わなかった。

5. 2 屋外タンク貯蔵所の津波被害防止対策に関連する特許

ここでは、屋外タンク貯蔵所の周囲で講ずる屋外タンク貯蔵所の津波被害対策に関連する参考情報を取得するという目的で、平成 20 年 11 月 11 日の時点で公開されていた特許出願状況を調べた結果を報告する。特許、は出願から 1 年 6 ヶ月経過すると出願内容が特許公開公報に掲載されることとなっている。今回調べた特許情報には、出願中のもの、すでに特許登録されたもの、出願したものの特許登録さなかったものが含まれている。

屋外タンク貯蔵所に限らず陸上の構造物が受ける津波を減勢させることを目的とした津波対策工は、設置位置の観点から整理すると図 5.2-1 のようにすることができる。本報告書は、屋外タンク貯蔵所の周囲において講ずることのできる津波被害予防・軽減対策を提案することを目的としていることから、A から C の部位に施工することを意図したような対策工に関する特許を調査の対象とした。また、次に掲げる内容の特許は、陸上構造物が受ける津波を減勢させることを目的としたものではないため、ここでは調査対象外とした。

- ・ 津波避難方法、避難用構造物やシェルター
- ・ 浮遊物（船舶）の係留装置関連
- ・ 津波情報、津波警報、津波計測・観測、津波解析、津波実験装置関連

出願された特許の検索結果は、資料－5 に示すこととし、ここでは、特許出願内容の傾向等の概要を述べる。

A：タンク周辺の対策

- ・ 防液（油）堤の補強対策については、古くから出願がある。
- ・ 平成 18 年以降、「タンク周囲に津波対策構造物を設置する方法」が出願されている。
- ・ 調査時点では、津波によるタンクの滑動・漂流対策に関する出願はみられなかった。
- ・ なお、タンクを対象としたものではないが、一般の家屋を浮上式とし、津波に流されない程度にアンカーを備えるという発想に基づく出願が多数なされている。

B：漂流物用のスクリーン

- ・ 津波というよりもむしろ土石流のようなものを想定した流木止め工の出願は以前から見られたが、ここ数年は、津波による漂流物を受け止めるためのスクリーン（柵、ロープ等）に関する出願がみられるようになってきている。

C：防潮堤、護岸

- ・ 古くから護岸に浮体を組み込んでおき、外の水位上昇に連動して壁状の浮体が上昇あるいは回転することで起伏して、水の浸入を遮断するという発想に基づく出願が相次いでいる。

- ・ 具体的には、膜や袋の中に液体を注入して堤体を形成するという内容の出願が多い。

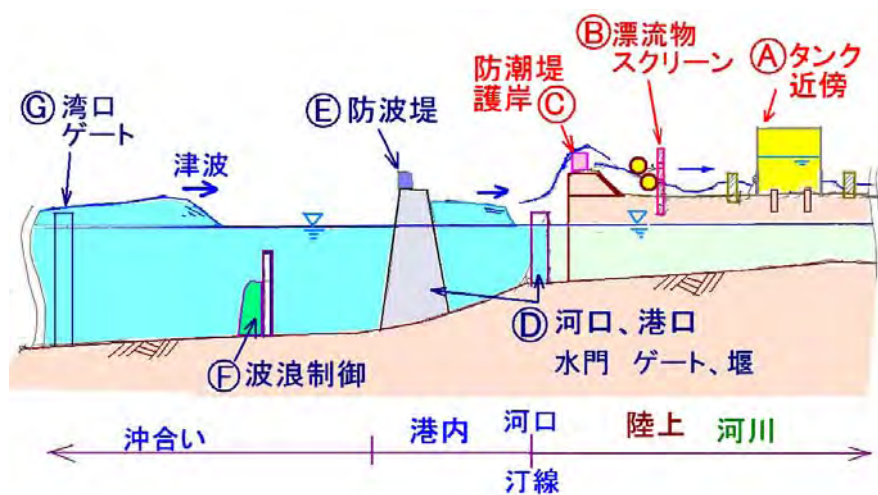


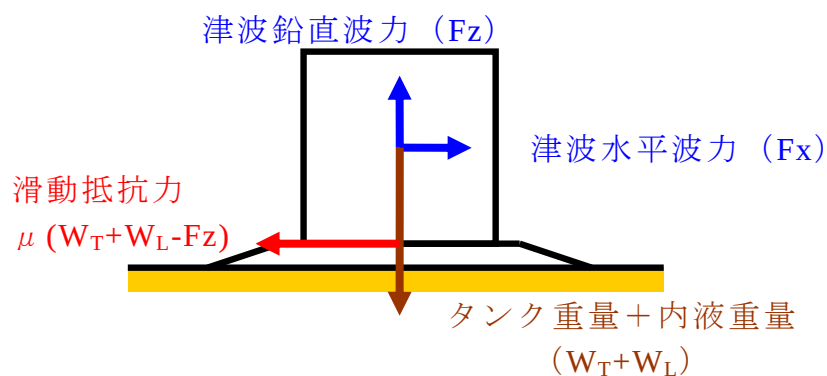
図 5.2-1 陸上構造物が受ける津波を減勢させることを目的とした
津波対策工の例

5. 3 屋外タンク貯蔵所の滑動防止対策の検討

第3章で提案された「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」では、タンクに「滑動」が発生する可能性は、図 5.3-1 に示すように「津波水平波力」、「津波鉛直波力」、「タンクの自重」、「内液重量」、「タンク底部と基礎の間の摩擦力」のつり合いを評価している。

この考え方に基づくと、タンクの滑動発生可能性は、次に掲げる方法によって小さくできるものと考えられる。

- 1) 「津波水平波力」、「津波鉛直波力」を低減させる方法
- 2) 「タンクの自重」、「内液重量」を増加させる方法
- 3) 「タンク底部と基礎の間の摩擦力」等のタンクの滑動に対する抵抗力を増加させる方法



$$\text{滑動安全率} : F_{sb} = \frac{\mu(W_T + W_L - F_z)}{F_x}$$

滑動の可能性あり : $F_{sb} \leq 1.0$

— 〃 — 可能性なし : $F_{sb} \geq 1.0$

μ : タンク基礎とタンク本体の摩擦係数

W_T : タンク本体の重量

W_L : タンク内容液の重量

F_z : タンクに作用する津波の鉛直波力

F_x : タンクに作用する津波の水平波力

図 5.3-1 屋外貯蔵タンクに作用する力

これらの3つの方法については、それぞれ、次のような具体的対策案が考えられる。

1)「津波水平波力」、「津波鉛直波力」を低減させる方法

① 津波防護壁の設置

タンクに作用する津波波力を低減する方法の一つとして、タンク周囲に津波からタンクを防護することを意図した壁体（津波防護壁）を設置する方法が考えられる。これは、前節5.2の特許の調査でもみられたものである。

出願された特許のなかには、津波防護壁を防油堤内に設置するというものがあった。しかし、防油堤内に津波防護壁を設置すれば、(i)津波防護壁が新たな防油堤と見なされることとなるとも考えられ、この場合には、津波防護壁内部の容積や壁体とタンクとの距離についての消防法令上の技術基準に適合する必要があること、(ii) 津波防護壁内部の容積を技術基準に適合するように確保しようとする、津波防護壁の高さが高くなって、消防活動上及び保安上支障をきたすことが懸念されること等から、津波防護壁を防油堤内に設置することは、津波防護壁を防油堤外に設置することに比べて問題が多いと考えられる。

このことを踏まえると、防油堤外に津波防護壁を設置することは、その対策工の規模によっては、タンクの滑動防止対策として有効かつ現実的なものの一つとなる可能性があると考えられる。

② 防油堤の構造強化・かさ上げ

一般に、防油堤のような壁体は津波を減勢させる効果を有するものと考えられる。

しかし、この壁体が津波を受けて損壊してしまうと、津波波力を低減させる効果を期待することができなくなるため、防油堤が津波を受けて損壊してしまうと予想される場合には、津波を受けても損壊しないように防油堤の構造を強化することが、タンクに作用する津波波力を低減する方法の一つとして考えられる。

さらに、防油堤の高さが現状のままでは、津波波力を低減させる効果が十分でないと考えられる場合には、防油堤をかさ上げすることが考えられる。ただし、防油堤をかさ上げすれば、防油堤が受ける津波波力が増大するため、これに備えた防油堤の構造強化が必要となる場合もあるものと考えられる。

防油堤の構造強化・かさ上げは、その対策工の規模によっては、タンクの滑動防止対策として有効かつ現実的なものの一つとなる可能性があると考えられる。

③ タンク基礎のかさ上げ

津波はタンク下部ほど波力が大きくなるため、タンクの基礎をかさ上げすることによって、タンクに作用する津波波力を低減できるものと考えられる。

しかしながら、タンクの基礎をかさ上げすると、今度は基礎への作用波力が大きくなり、また、流況も複雑となるため、基礎に発生する被害への対策について検討する必要がある。また、タンク基礎のかさ上げの施工は、タンクをジャッキアップすること等により原理的

には実施可能ではあるものの、その工事は非常に大規模となる。

以上のことから、タンク基礎のかさ上げは、タンクの滑動防止対策としては、適当な選択肢とはならない場合が多いと考えられる。

④ タンク底面への浸水防止

タンク底面の下に津波が浸入しなければ、タンクには津波の鉛直波力が作用しない。このことから、タンク底面への浸水防止が、タンクに作用する津波波力を低減する方法の一つとして考えられる。

しかし、タンク底面と基礎上面の間に少しでも空隙ができると津波は容易に底面下に浸入すると考えられ、タンク底面への浸水防止を確実に達成するような施工は現実的には難しいものと考えられる。

2)「タンクの自重」、「内液重量」を増加させる方法

「タンクの自重」、「内液重量」を増加させると、津波波力に抵抗する物体の重量が増加するため、「タンクの自重」、「内液重量」を増加させることは、タンクの滑動を防止する方法の一つとして考えられる。

しかしながら、「タンクの自重」を増加させる方法については、タンクの再建造、または大規模な改造につながることになるものと考えられるため、現実的な対策とは言い難い。

また、「内液重量」を増加させる方法については、具体的には、(i)タンクには常に一定以上の内容液を貯蔵するようにすること、(ii)津波の到来が警戒される場合には、内容液を増加させることの措置が考えられるが、いずれも現実的な対策とは言い難い。

3)「タンク底部と基礎の間の摩擦力」等のタンクの滑動に対する抵抗力を増加させる方法

① タンク底部と基礎の間の摩擦力の増大

タンク底面に作用する滑動抵抗力を増大させるための具体的な措置の一つとしては、摩擦増大マット等の抵抗材を基礎上面に敷設することが考えられる。

しかしこれは、(i)タンク底部外面の腐食環境を悪化させるおそれがあること、(ii) 摩擦増大マット等の抵抗材をタンク底部と基礎の間に設置することにより、タンクが津波を受けた場合等に、タンク底部に局所的な応力集中が発生する可能性があり、その結果、タンク本体が損傷するおそれが高まるとも考えられること、(iii) 摩擦増大マット等を敷設する工事は大規模なものとなること等の理由から、タンクの滑動防止対策としては、適当な選択肢とはならない場合が多いと考えられる。

② タンクのアンカー留め

屋外貯蔵タンクには、風圧力に対する滑動・転倒防止措置としてアンカーが打設されている場合がある。このアンカー留めは、タンクが津波を受けた場合のタンクの滑動に対する抵抗力を増加させる効果も有していると考えられる。

ただし、津波波力は風圧力に比べて格段に大きいため、津波への備えとしてのアンカーの打設は、風への備えとしてのそれよりも大がかりなものとなるものと考えられる。

また、固くアンカー留めされたタンクが、地震動又は津波を受けた時に、その本体構造にどのような影響が発生するかも検討する必要があるものと考えられる。

タンクのアンカー留めについては、固くアンカー留めされたタンクが地震動又は津波を受けた場合のタンク本体構造の安全性が確認されるのであれば、アンカー留めの対策工の規模によっては、タンクの滑動防止対策として有効かつ現実的なものの一つとなる可能性があると考えられる。

以上をまとめると、上記で取り上げた具体的な滑動防止対策案のうち、有効かつ現実的なものとなる可能性があるのは、次の３つであると考えられる。

- ・ 防油堤のかさ上げ及び構造強化
- ・ 防油堤の外側への津波防護壁の設置
- ・ タンクのアンカー留め

以降、５．４及び５．５で、それぞれ「防油堤のかさ上げ及び構造強化」及び「タンクのアンカー留め」の有効性及び現実性について具体的な評価を行うこととする。

5. 4 防油堤による屋外貯蔵タンクの滑動防止対策に関する検討

本節では、前節 5. 3 で、屋外貯蔵タンクの滑動防止対策として有効かつ現実的なものとなる可能性があると考えられた「防油堤のかさ上げ及び構造強化」の有効性及び現実性について具体的な評価を行う。

有効性については、防油堤を高くすると、防油堤内のタンクに作用する津波波力がどの程度低減し、その結果、タンクに「滑動」が発生する可能性がどの程度小さくなるかを、第 4 章で導入した「モデル津波」と「小規模仮定タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）を例として評価した。この評価は、防油堤が津波を受けても、防油堤は被害を受けないと仮定して行った。

しかしながら、「5. 1 屋外タンク貯蔵所の津波被害対策の基本的な考え方」では、「防油堤は、津波波力により防油堤に被害が生じることを避けることを目標とするのが適当と考えられる」という考え方が示されており、また、防油堤が津波を受けた場合に、防油堤に被害が発生すると、もはや防油堤に津波波力低減効果を期待することはできないこととなるとも考えられ、これらを踏まえると、防油堤は津波を受けても被害が生じないような強固な構造である必要があると考えられる。

一方、防油堤を高くすると、それに応じて防油堤が受ける津波波力は大きくなると考えられることから、防油堤が津波に耐えるには、防油堤にはより強固な構造が求められることとなり、場合によっては、防油堤の規模等が現実的なものとは言えなくなるくらいに大きくなることも考えられる。

このようなことから、「防油堤のかさ上げ及び構造強化」の現実性については、「モデル津波」を例として取り上げ、「モデル津波」に耐えうる防油堤を試設計し、設計された防油堤の規模がどの程度のものになるかを見ることによって検討することとした。

（1） 防油堤のかさ上げ及び構造強化の有効性についての検討

まず、防油堤の高さによる津波波力低減効果の違いを見るために、防油堤の高さをいくつか仮定して「モデル津波」についての津波伝播シミュレーションを行い、防油堤内中心点における津波の浸水深及び流速を予測した。防油堤の高さは、第 4 章で導入された「仮定防油堤」の高さである 1.5m と、この高さをかさ上げした 2.0m 及び 3.0m の 3 とおりとした。津波伝播シミュレーションを行うモデルでの「仮定防油堤」の置き方は、「4. 3 モデル津波の最大浸水深と流速の予測」にならって、「予測地点」を中心として、「小規模仮定タンク」に作用する津波波力を予測する場合には 30m×30m、「中規模仮定タンク」に作用する津波波力を予測する場合には 90m×90m のものを置くこととした。

次に、これら 3 とおりの防油堤の高さに対してそれぞれ予測された津波の最大浸水深及び最大流速からタンクに作用する津波波力を算定し、これらの津波波力が「小規模仮定タ

ンク」及び「中規模仮定タンク」に作用した場合の「滑動」発生可能性を予想した。

表 5.4-1 と図 5.4-1 に、津波伝播シミュレーションから予測された防油堤内中心点での「モデル津波」の最大浸水深及び最大流速を掲げる。図 5.4-2 から図 5.4-6 には、予測された浸水深と流速の時刻歴を示す。表 4.1-1 に掲げた 8 つの「モデル津波」のうち、「静岡県東部沿岸のモデル津波」は、4.3 で述べたように、「仮定防油堤」がない場合でも、予測地点は浸水しないと予測されたため、津波伝播シミュレーションは実施しなかった。また、「三重県南部沿岸のモデル津波」の「中規模仮定タンク」に作用する津波波力を予測するための津波伝播シミュレーションは、同じく 4.3 で述べたように、「予測地点」に 90m×90m の「仮定防油堤」を置こうとすると、「仮定防油堤」が海域にはみ出してしまうという理由から実施しなかった。なお、これらの図表に示されている「仮定防油堤」高さ 1.5m の結果は、すでに第 4 章で得られているものであり、ここでは再掲となる。

まず、「三重県北部沿岸のモデル津波」、「和歌山県中部沿岸のモデル津波」、「北海道東部沿岸のモデル津波」で「中規模仮定タンク」に対応する防油堤を仮定した場合では、「仮定防油堤」の高さ 1.5m であっても防油堤内は浸水しないと予測されており、防油堤を 2.0m、3.0m と高くしてもその結果に変わりはない(表 5.4-1)。

「仮定防油堤」の高さが 1.5m の場合には防油堤内は浸水すると予測された残りの「モデル津波」については、概して、防油堤を高くすると最大浸水深と最大流速がともに低減する傾向が見られる(図 5.4-1)。

ただし、「高知県中部沿岸のモデル津波」では、「仮定防油堤」が高くなっても、防油堤内の最大浸水深は変わらないという結果になった(図 5.4-1)。これは、このモデル津波は、防油堤前面で予測される最大浸水深がおおむね 4.5m(表 4.4-13)と、ここで仮定している防油堤の高さの最大値 3.0m 上回っていることに加えて、津波の周期が比較的長いことから、高さ 3m 程度の防油堤には、浸水深を低減させる効果がなかったものと考えられる。

また、「岩手県中部沿岸のモデル津波」で「中規模仮定タンク」に対応する防油堤を仮定した場合では、「仮定防油堤」の高さを 2.0m から 3.0m に変えると、防油堤内の津波の最大流速が増加するという結果が得られた(図 5.4-1(2))。しかしこの場合、最大浸水深は減少しており(同じく図 5.4-1(2))、直ちに津波波力が増加したとは言えない。なお、図 5.4-6(2)を見ると、防油堤内中心点で浸水が始まった後、浸水深が一定値に上昇するまでの間、流速が鋭いピークを示していることから、津波が防油堤内に流れ込んだ直後一時的に流速が大きくなったことが予測されたものと言える。

次に、防油堤内中心位置に「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」を仮定して、上記の最大浸水深及び最大流速の予測結果から、これらの「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」が「滑動」する可能性を予想した結果を表 5.4-2 に示す。

「仮定防油堤」を高くしても、防油堤内の最大浸水深の低減効果がみられなかった「高知県中部沿岸のモデル津波」を除くと、残りのモデル津波では、いくつかの場合では、「仮定防油堤」を高くすれば、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」の「滑動」発生

のおそれをなくすることができている。また、「滑動」発生のおそれをなくすることができない場合でも、「滑動」発生のおそれのある内液比率の範囲を狭くなっており、「滑動」発生のおそれを小さくすることができていると言える。

以上のことから、一般的には、防油堤をかさ上げすれば、防油堤内のタンクに作用する津波波力が低減し、その結果、滑動発生のおそれを小さくすることができるものと考えられる。

ただし、「高知県中部沿岸のモデル津波」の例でも見られたように、防油堤の高さをかさ上げしても、津波波力の低減効果がまったく得られないということがあることもわかった。このことから、かさ上げ高さは、想定される津波の高さを考慮して検討される必要があると考えられる。

表 5.4-1(1) モデル津波での防油堤高さによる最大浸水深および最大流速
(小規模仮定タンク)

モデル津波名	防油堤1.5m, 1,000kl		防油堤2.0m, 1,000kl		防油堤3.0m, 1,000kl	
	浸水深(m)	流速(m/s)	浸水深(m)	流速(m/s)	浸水深(m)	流速(m/s)
三重県北部沿岸のモデル津波	-	-	-	-	-	-
三重県中部沿岸のモデル津波	1.2	1.4	0.01	0.5	-	-
三重県南部沿岸のモデル津波	2.1	0.4	0.04	0.1	-	-
和歌山県中部沿岸のモデル津波	-	-	-	-	-	-
高知県中部沿岸のモデル津波	4.4	1.2	4.4	0.6	4.4	0.2
北海道東部沿岸のモデル津波	-	-	-	-	-	-
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.1	1.9	4.1	2.0	3.6	1.6

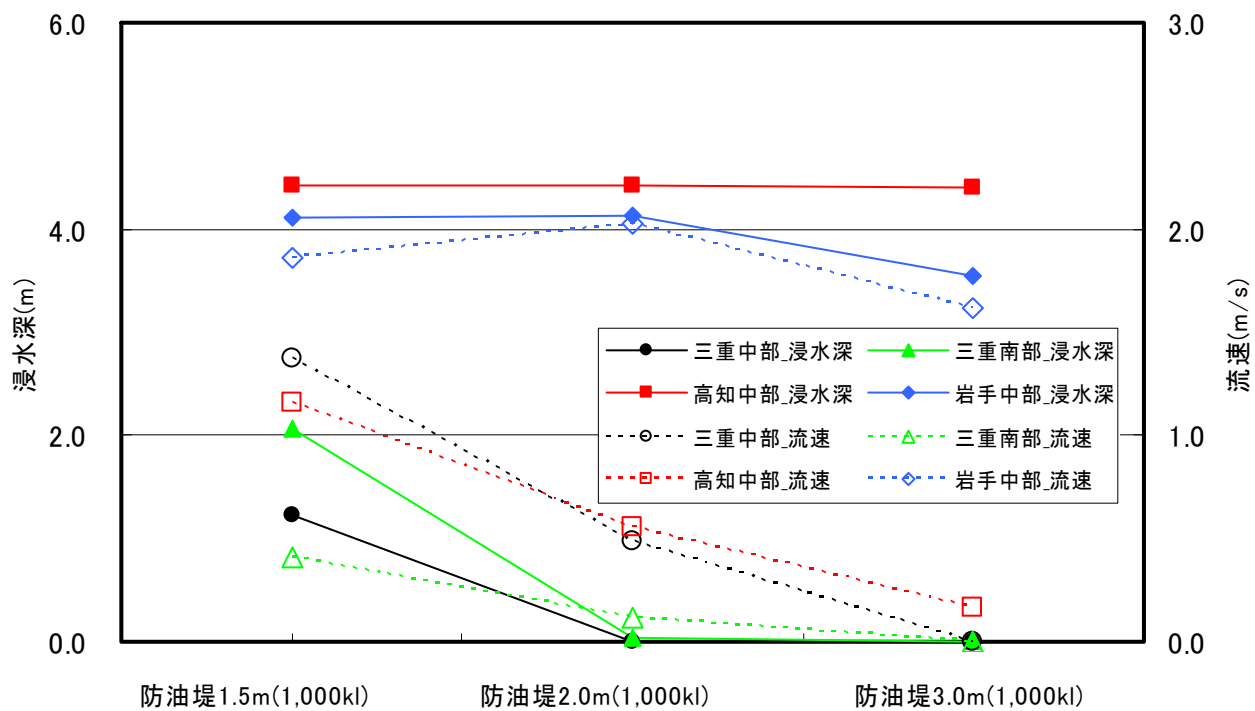
※「-」はタンク位置への浸水深なし

表 5.4-1(2) モデル津波での防油堤高さによる最大浸水深および最大流速
(中規模仮定タンク)

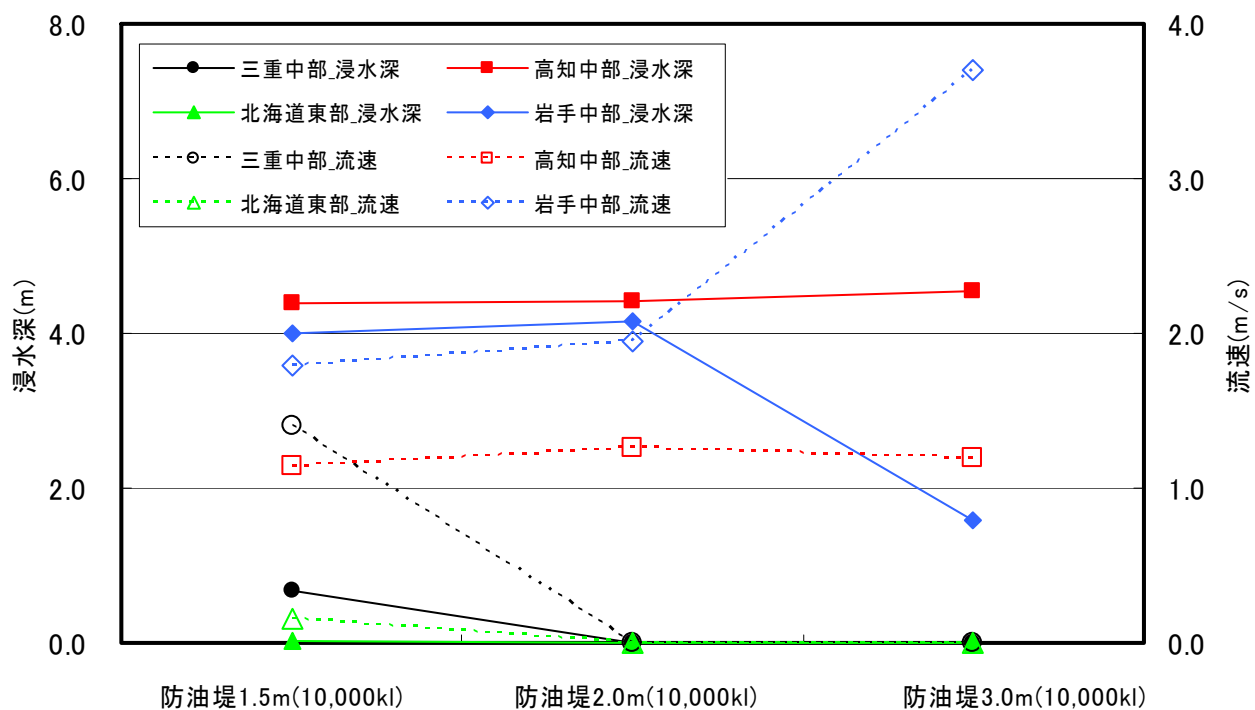
モデル津波名	防油堤1.5m, 10,000kl		防油堤2.0m, 10,000kl		防油堤3.0m, 10,000kl	
	浸水深(m)	流速(m/s)	浸水深(m)	流速(m/s)	浸水深(m)	流速(m/s)
三重県北部沿岸のモデル津波	-	-	-	-	-	-
三重県中部沿岸のモデル津波	0.7	1.4	-	-	-	-
和歌山県中部沿岸のモデル津波	-	-	-	-	-	-
高知県中部沿岸のモデル津波	4.4	1.1	4.4	1.3	4.5	1.2
北海道東部沿岸のモデル津波	0.03	0.2	-	-	-	-
岩手県中部沿岸のモデル津波	4.0	1.8	4.2	2.0	1.6	3.7

※「-」はタンク位置への浸水深なし

※三重県南部沿岸のモデル津波は、中規模タンクを想定する防油堤範囲が確保できなかったため対象外とした。

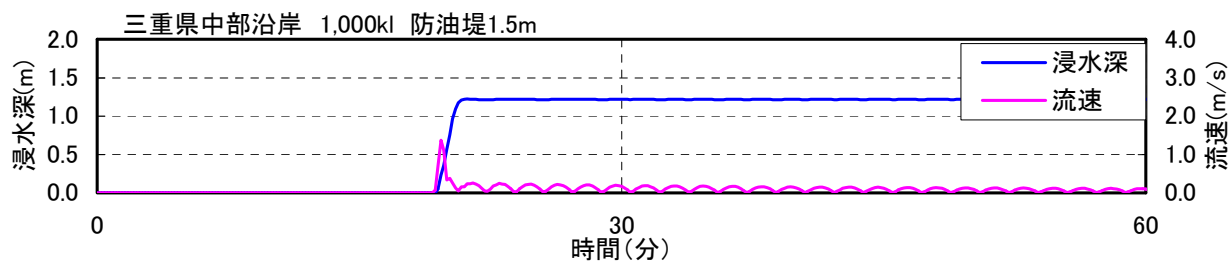


(1) 小規模仮定タンク

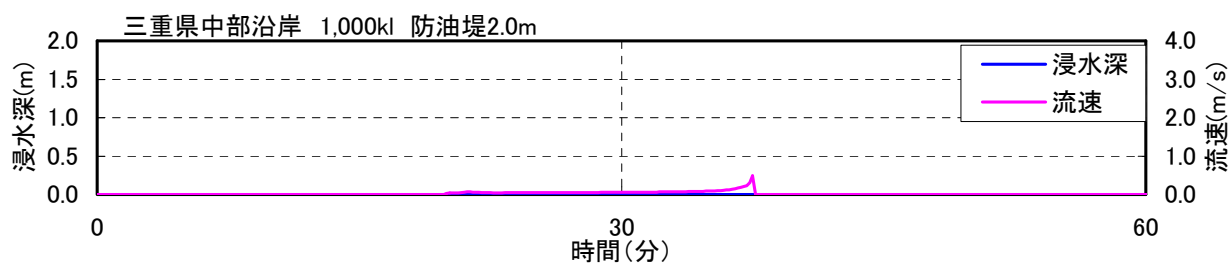


(2) 中規模仮定タンク

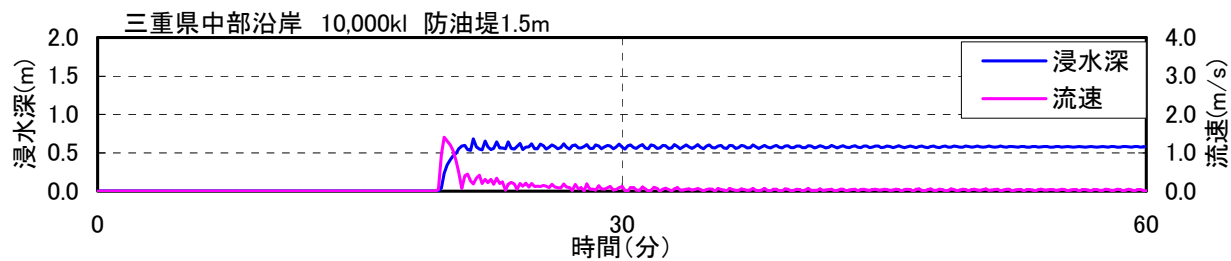
図 5.4-1 モデル津波での防油堤高さによる最大浸水深および最大流速



(a) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m

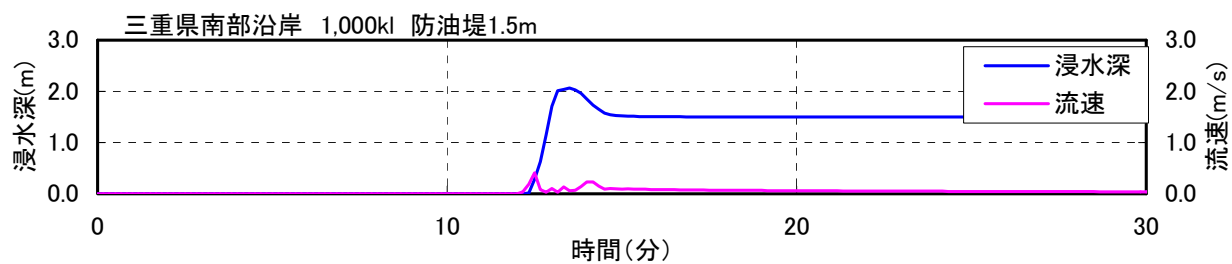


(b) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 2.0m

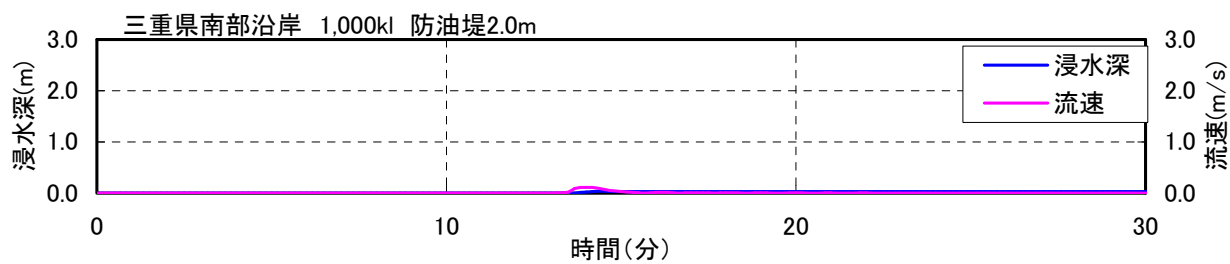


(c) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m

図 5.4-2 タンク位置における浸水深・流速の時刻歴波形
(三重県中部沿岸のモデル津波)

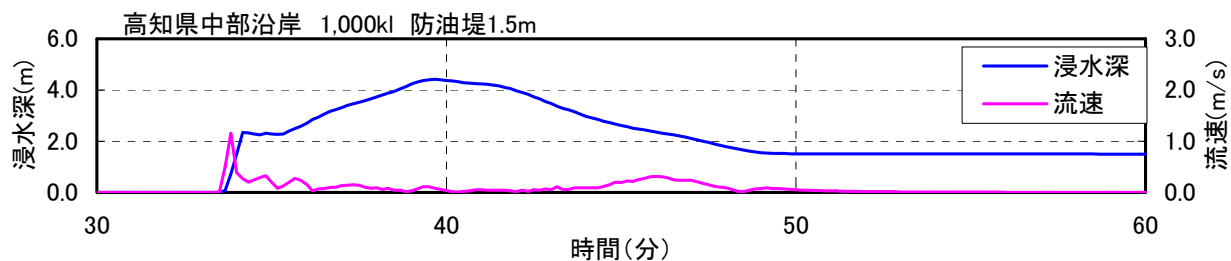


(a) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m

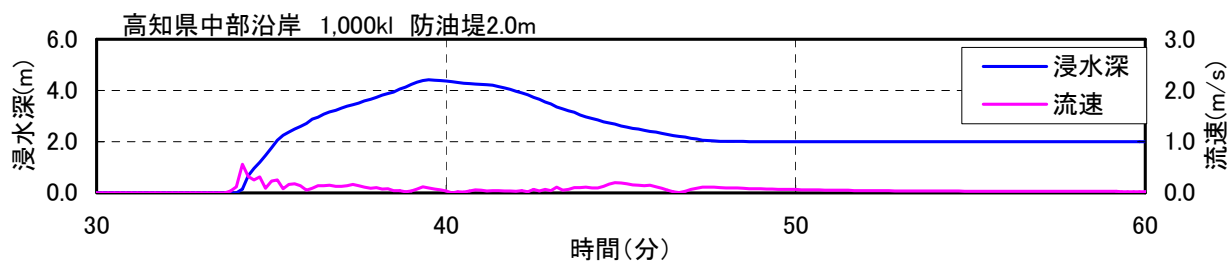


(b) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 2.0m

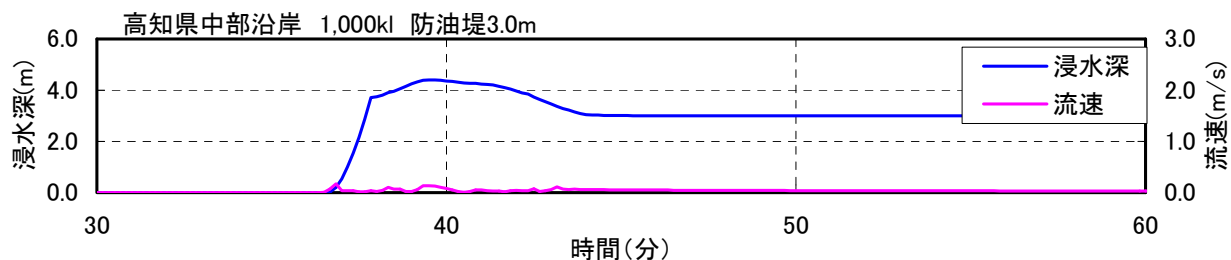
図 5.4-3 タンク位置における浸水深・流速の時刻歴波形
(三重県南部沿岸のモデル津波)



(a) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m

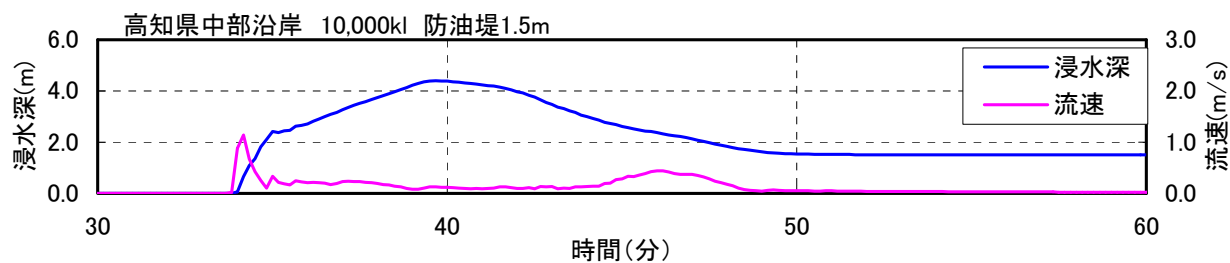


(b) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 2.0m

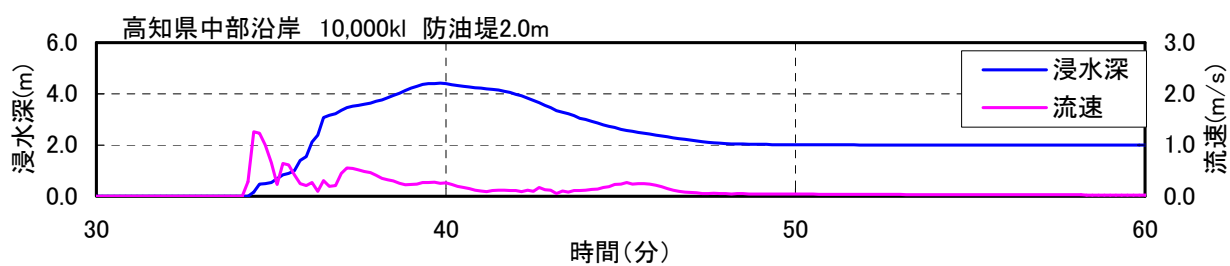


(c) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 3.0m

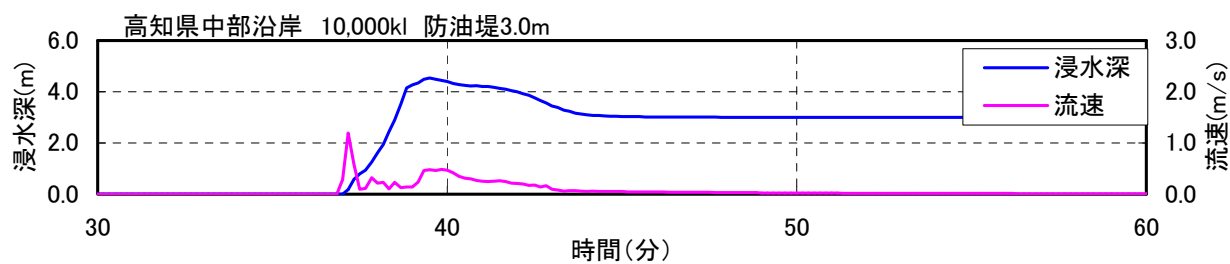
図 5.4-4(1) タンク位置における浸水深・流速の時刻歴波形
(高知県中部沿岸のモデル津波)



(a) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m

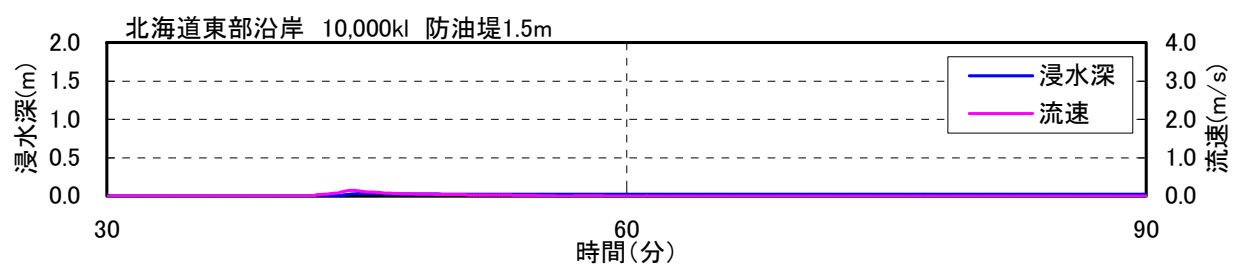


(b) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 2.0m



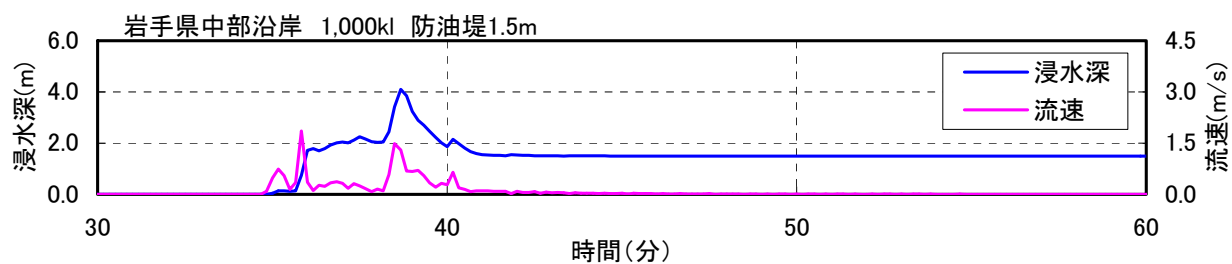
(c) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 3.0m

図 5.4-4(2) タンク位置における浸水深・流速の時刻歴波形
(高知県中部沿岸のモデル津波)

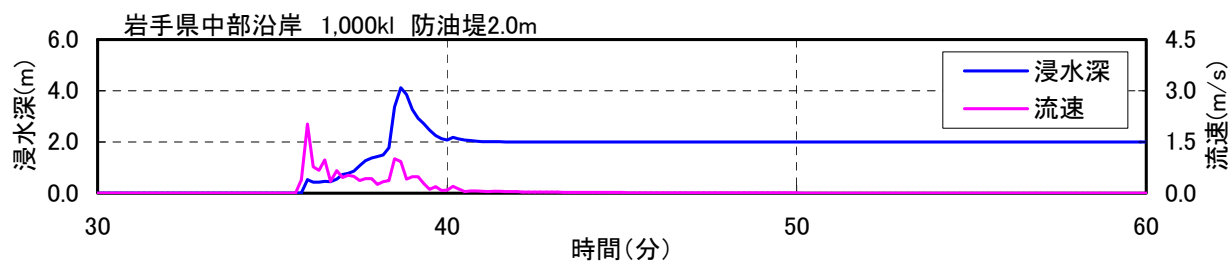


(a) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m

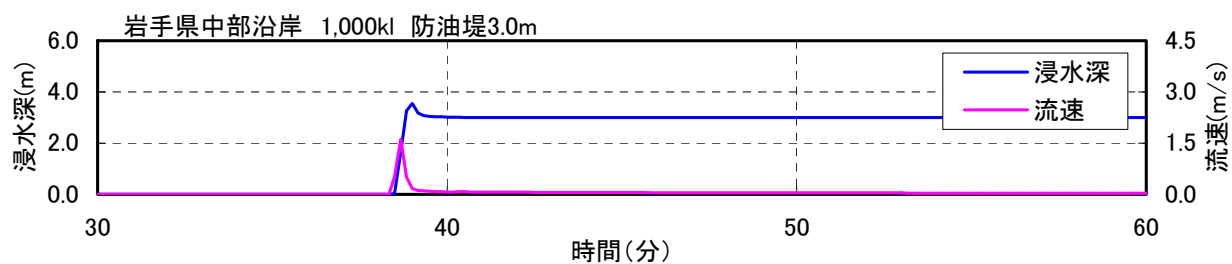
図 5.4-5 タンク位置における浸水深・流速の時刻歴波形
(北海道東部沿岸のモデル津波)



(a) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m

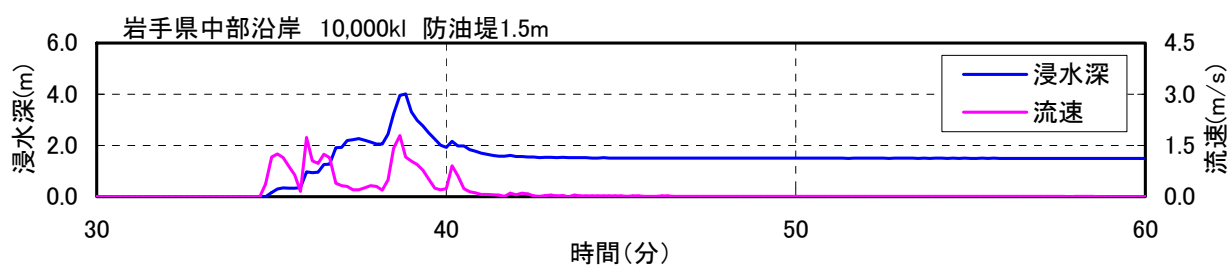


(b) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 2.0m

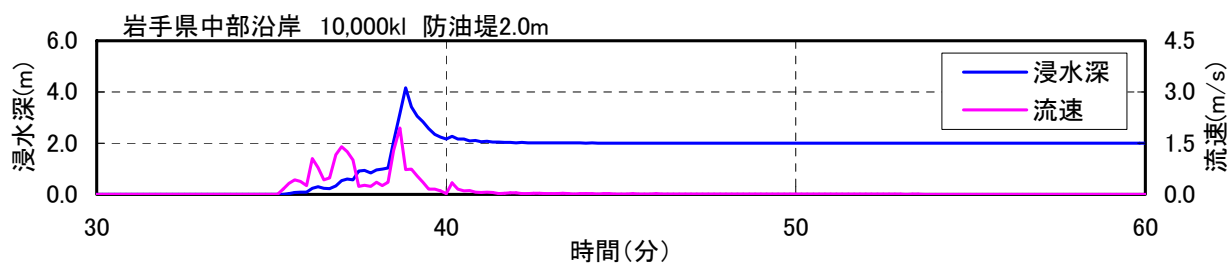


(c) 小規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 3.0m

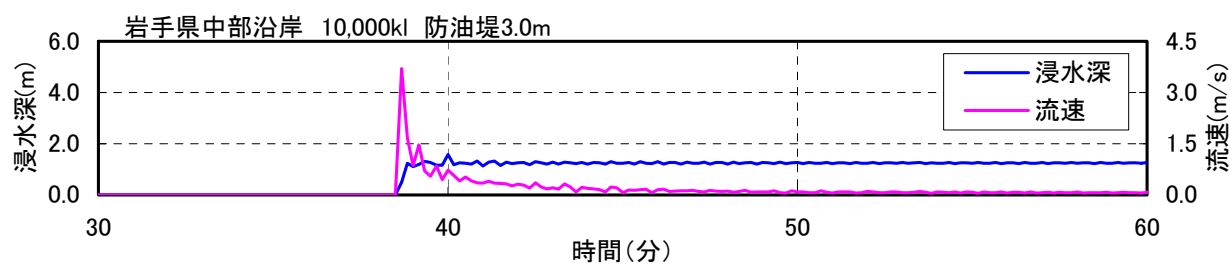
図 5.4-6(1) タンク位置における浸水深・流速の時刻歴波形
(岩手県中部沿岸のモデル津波)



(a) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 1.5m



(b) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 2.0m



(c) 中規模仮定タンク，仮定防油堤高さ 3.0m

図 5.4-6 (2) タンク位置における浸水深・流速の時刻歴波形
(岩手県中部沿岸のモデル津波)

表 5.4-2(1) 防油堤高さによる「滑動」の発生するおそれのある内液比率
(小規模仮定タンク)

モデル津波名	防油堤1.5m, 1,000kl	防油堤2.0m, 1,000kl	防油堤3.0m, 1,000kl
三重県北部沿岸のモデル津波	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
三重県中部沿岸のモデル津波	0～10%	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
三重県南部沿岸のモデル津波	0～22%	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
和歌山県中部沿岸のモデル津波	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
高知県中部沿岸のモデル津波	0～64%	0～64%	0～64%
北海道東部沿岸のモデル津波	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
岩手県中部沿岸のモデル津波	0～58%	0～58%	0～47%

※表内の数値(%)は、内液比率がその範囲内であれば、「滑動」が発生する可能性がある
と予想されることを意味している。

表 5.4-2(2) 防油堤高さによる「滑動」の発生するおそれのある内液比率
(中規模仮定タンク)

モデル津波名	防油堤1.5m, 10,000kl	防油堤2.0m, 10,000kl	防油堤3.0m, 10,000kl
三重県北部沿岸のモデル津波	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
三重県中部沿岸のモデル津波	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
和歌山県中部沿岸のモデル津波	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
高知県中部沿岸のモデル津波	0～22%	0～22%	0～23%
北海道東部沿岸のモデル津波	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし	滑動のおそれなし
岩手県中部沿岸のモデル津波	0～20%	0～21%	0～5%

※表内の数値(%)は、内液比率がその範囲内であれば、「滑動」が発生する可能性がある
と予想されることを意味している。

（２） 防油堤のかさ上げ及び構造強化の現実性についての検討

ここでは「モデル津波」に耐えうる防油堤を試設計し、設計された防油堤の規模がどの程度のものになるかを見ることによって、「防油堤のかさ上げ及び構造強化」の現実性を検討する。

第４章では、「仮定防油堤」（高さ 1.5m、壁厚 20cm）が「モデル津波」を受けた時の「仮定防油堤」の「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の発生可能性が予想された。その結果、次の５つのモデル津波については、これらの被害のうちのいずれかが発生する可能性があるとして予想された。

- ・ 三重県中部沿岸のモデル津波
- ・ 三重県南部沿岸のモデル津波
- ・ 高知県中部沿岸のモデル津波
- ・ 北海道東部沿岸のモデル津波
- ・ 岩手県中部沿岸のモデル津波

防油堤の試設計は、これら５つのモデル津波に対して行う。その際の防油堤の高さは、表 5.4-3 に掲げるとおりとした。

前項（１）では、例えば、「三重県中部沿岸のモデル津波」については、防油堤の高さを 2.0m とすれば、「小規模仮定タンク」、「中規模仮定タンク」のいずれにも「滑動」発生のおそれはなくなるものと予想された（表 5.4-3）ため、「三重県中部沿岸のモデル津波」、高さ 2.0m の防油堤がこのモデル津波に耐えうるにはどのような構造であればよいか試設計することとした。「三重県南部沿岸のモデル津波」と「北海道東部沿岸のモデル津波」に対して仮定する防油堤の高さは、同様の考え方に基づくものである。

同じく前項（１）では、「岩手県中部沿岸のモデル津波」については、「仮定防油堤」の高さを 3.0m としても、「小規模仮定タンク」、「中規模仮定タンク」のいずれの「滑動」発生のおそれはなくならないと予想されたものの、「仮定防油堤」の高さが 1.5m 又は 2.0m である場合に比べて、そのおそれは小さくなるものと予想された。このことから、「岩手県中部沿岸のモデル津波」に対して試設計する防油堤の高さは 3.0m とした。

「高知県中部沿岸のモデル津波」については、「仮定防油堤」の高さを 3.0m としても、「滑動」発生のおそれが小さくなることすらもないと予想されたが、参考として、防油堤の高さは 3.0m として試設計した。

表 5.4-3 防油堤の試設計における防油堤の高さ

モデル津波名	防油堤 高さ	備 考
三重県中部沿岸のモデル津波	2.0m	仮定タンクの「滑動」を防止できると考えられる高さ
三重県南部沿岸のモデル津波	2.0m	仮定タンクの「滑動」を防止できると考えられる高さ
高知県中部沿岸のモデル津波	3.0m	参考
北海道東部沿岸のモデル津波	1.5m	仮定タンクの「滑動」を防止できると考えられる高さ
岩手県中部沿岸のモデル津波	3.0m	仮定タンクの「滑動」のおそれを小さくできると考えられる高さ

防油堤の試設計は、防油堤を新設するのではなく、仮に、図 4.4-1 及び表 4.4-1 に示されている「仮定防油堤」が設置されているものとし、これを改造するという方針のもとで行うこととした。

防油堤の改造方法については、「防油堤の構造等に関する運用基準について（昭和 52 年 11 月 14 日付け消防危第 162 号）」において、次の i から iv に掲げる例（図 5.4-7）が示されている。

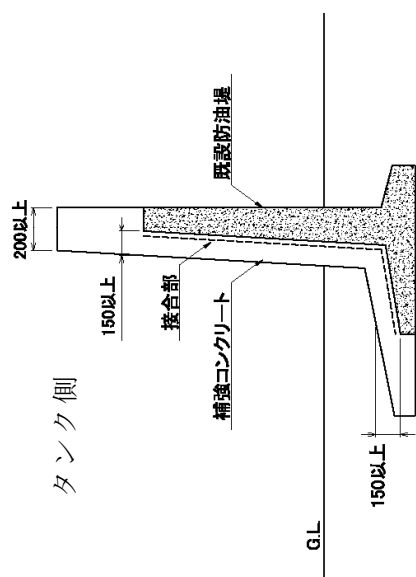
- i . 部材の補強による改造例
- ii . 鉄筋コンクリート壁を新設する改造例
- iii . 矢板による改造例
- iv . 盛土による改造例

ここで、ii ～ iv による改造は、改造後の防油堤の地表面より上の部分の規模が、i による改造に比べて大きくなり、防油堤付近に設定されている他の構造物（配管、道路等）を移設、模様替え等に関する問題が i による改造に比べて大きいものと考えられる。

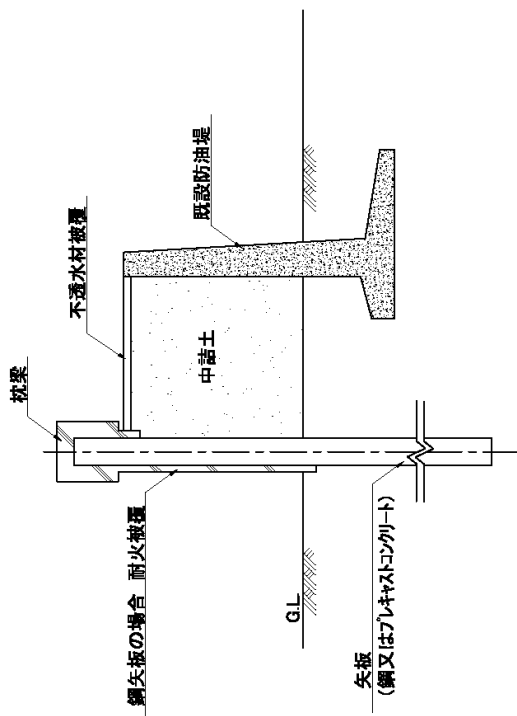
このようなことから、ここでは i の方法に基づいて、防油堤の改造を試設計することとした。具体的には、次の方針をとった。

- ・既設の防油堤を活用することから、既設の防油堤よりも深い掘削をしない改造とする。
- ・防油堤の壁以外は地表面より上に出ない構造とする。
- ・「防油堤の構造等に関する運用基準について（昭和 52 年 11 月 14 日付け消防危第 162 号）」には、“部材の補強による改造をする場合、補強部分はタンク側に設けることを標準とする”旨の記述がなされているが、本検討においては津波時の水塊の重量を見込むことにより、滑動及び転倒に対する抵抗を増加させることを意図して、防油堤外側に補強部分を増加させる方針とする。なお、津波時の水塊の重量は最大浸水深分の水塊とする。

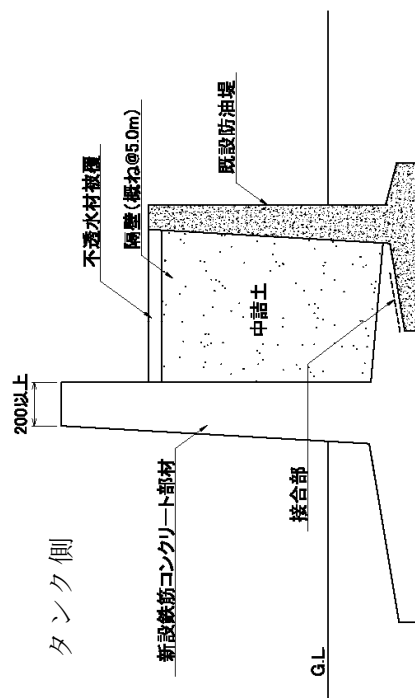
i. 部材の補強による改造例



iii. 矢板による改造例



ii. 鉄筋コンクリート壁を新設する改造例



iv. 盛土による改造例

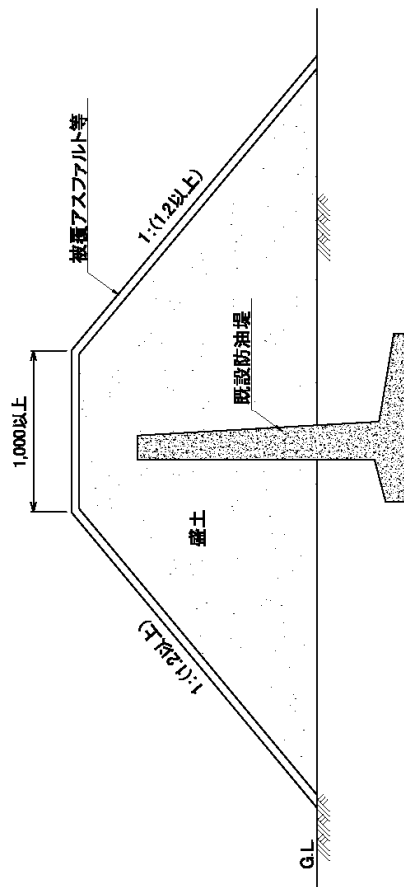


図 5.4-7 防油堤の改造例

(「防油堤の構造等に関する運用基準について (昭和 52 年 11 月 14 日付け消防危第 162 号)」から引用)

試設計の安全性の確認、すなわち、改造後の防油堤が「モデル津波」を受けたときに、「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」のいずれも発生する可能性がないことの確認に際して設定する安全率及び許容応力度は、同じく「防油堤の構造等に関する運用基準について（昭和 52 年 11 月 14 日付け消防危第 162 号）」に準拠することとした。すなわち、本通知では、「地震時及び照査荷重積載時」の安全率及び許容応力度が示されており、ここでの安全率及び許容応力度はこれを参考に、表 5.4-4 に示す値とした。

表 5.4-4 滑動、転倒、支持力の安全率及びコンクリート、鉄筋の許容応力度

項目	安全率・許容応力度	備考
滑動	1.2	
転倒	1.2	
沈下（支持力）	1.5	
コンクリートの許容応力度	10.5N/mm ²	設計基準強度 21N/mm ²
鉄筋の許容応力度	300N/mm ²	SD345

表 5.4-5 と図 5.4-8 に試設計の結果を示す。また、表 5.4-6 に、改造後の防油堤が「モデル津波」を受けたときの、「滑動」、「転倒」、「沈下」の安全率の計算結果及び「部材破壊」に関する発生応力度と許容応力度の比較の結果を掲げる。

防油堤高さを 1.5m とした「北海道東部沿岸のモデル津波」のケースでは、底版長さで既設防油堤の 1.5 倍、コンクリート体積で既設防油堤の 3 倍程度の改造が必要となる結果となった（表 5.4-5）。

防油堤高さが 2.0m とした「三重県中部沿岸のモデル津波」及び「三重県南部沿岸のモデル津波」のケースでは、底版長さで既設防油堤の 2.5 倍程度、コンクリート体積で既設防油堤の 5 倍程度の改造が必要となる結果となった（同じく表 5.4-5）。

防油堤の高さが 3.0m である「高知県中部沿岸のモデル津波」及び「岩手県中部沿岸のモデル津波」のケースでは、底版長さで既設防油堤の 5 倍、コンクリート体積で既設防油堤の 11 倍の改造が必要となる結果となった（同じく表 5.4-5）。

表 5.4-6 を見ると、どのケースでも、「滑動」、「転倒」、「沈下」の各安全率のなかでは、「滑動」の安全率が小さくなっている。このことから、防油堤が「滑動」、「転倒」、「沈下」しないものであるための防油堤の構造は、「滑動」しないものであるための構造上の条件で、ほぼ決定されるものと考えられる。

防油堤が津波を受けて「滑動」しようとするとき、津波の水平力に抵抗するのは主に防油堤の堤体の重量及び堤体上の水塊重量による摩擦力であると考えられる。このため、防油堤に作用する津波の水平力が大きい場合には、抵抗する摩擦力を確保するために防油堤

形状を大きくする必要がある。このようなことから、「高知県中部沿岸のモデル津波」及び「岩手県中部沿岸のモデル津波」のような防油堤が大きな津波波力を受けるケースについては、大規模な防油堤が設計されることとなったと言える。

一方、「部材破壊」については、防油堤内に鉄筋 D19～D22 を 200 ピッチに配筋することにより、発生は防ぐことができるものと考えられる。この鉄筋量は、一般に用いられる鉄筋量である。

以下、試設計された防油堤の規模の観点から、防油堤のかさ上げ及び構造強化の現実性を考察する。

既設構造物を対象とする工事では、一般に工事対象構造物の検討の他に対象構造物周辺の干渉物対策の検討も行う必要がある。ここでいう「干渉物」とは、工事を実施する範囲内にある既設物のことで、屋外タンク貯蔵所の防油堤の場合には、配管、電気機器、道路等が考えられる。既設防油堤の改造の場合、工事実施範囲内は掘削やコンクリートの打設等が行われることから、干渉物は一時移設や養生（配管を仮設材で吊る、掘削された道路部分を覆工盤で覆う等）の対策を講じることが必要となる場合がほとんどであると思われる。

従って、既設防油堤の改造の現実性を考察するに当たっては、既設防油堤周辺の干渉物の状況も含めて評価すべきであるが、干渉物の状況は個別具体的に評価するものであるため、ここでは、次のように定性的な評価を行った。

○防油堤高さ 1.5m：「北海道東部沿岸のモデル津波」（防油堤が受ける津波の浸水深 1.5m 程度に耐えるように試設計した結果）

底版長さが既設の防油堤の 1.6 倍程度の長さとなること及び既設防油堤外側 2m 程度以下の構造となることから、干渉物との問題が解決でき、改造によって津波に耐えるように構造強化することが可能な場合があるものと考えられる。

○防油堤高さ 2.0m：「三重県中部沿岸のモデル津波」及び「三重県南部沿岸のモデル津波」（浸水深 2m 程度に耐えるように試設計した結果）

底版が既設防油堤の外側 5m 程度まで及ぶことになることから、防油堤外側の干渉物との問題が解決できない場合も考えられる。干渉物との問題が解決できれば、改造によって津波に耐えるように構造強化することが可能である場合もあると考えられるが、解決できない場合には、既設防油堤を撤去し、杭支持構造物を用いることにより、コンパクトな防油堤を再建することを検討することもあると考えられる。

また、防油堤の高さが人の身長よりも上回ることから、防油堤内が見えにくくなり、日常の保安確保の妨げになることも考えられ、このようなことにも配慮が必要である。

○防油堤高さ 3.0m : 「高知県中部沿岸のモデル津波」及び「岩手県中部沿岸のモデル津波」
(浸水深 4m 程度に耐えるように試設計した結果)

底版が防油堤外側 10m まで及ぶこととなり、もはや現実的な構造ではないと考えられる。
防油堤高さ 2.0m の場合と同様、既設防油堤を撤去し、杭支持構造を用いることにより、
コンパクトな防油堤を再建することを検討することも考えられる。

また、防油堤の高さが人の身長よりも大きく上回ることから、防油堤内が見えにくくなり、
日常の保安確保の妨げになることや、消防活動に支障をきたすことも考えられ、この
ようなことにも配慮が必要であると考えられる。

表 5.4-5 防油堤改造後の底版長さ及びコンクリート体積

モデル津波名	防油堤底版長さ		コンクリート体積	
	既設	改造後	原構造	改造後
三重県中部沿岸のモデル津波	2.0m	4.7m	1.0m ³	4.8m ³
三重県南部沿岸のモデル津波		5.3m		5.2m ³
高知県中部沿岸のモデル津波		10.0m		11.0m ³
北海道東部沿岸のモデル津波		3.0m		3.2m ³
岩手県中部沿岸のモデル津波		10.0m		11.0m ³

※コンクリート体積は奥行き 1m 当たりの体積を示す

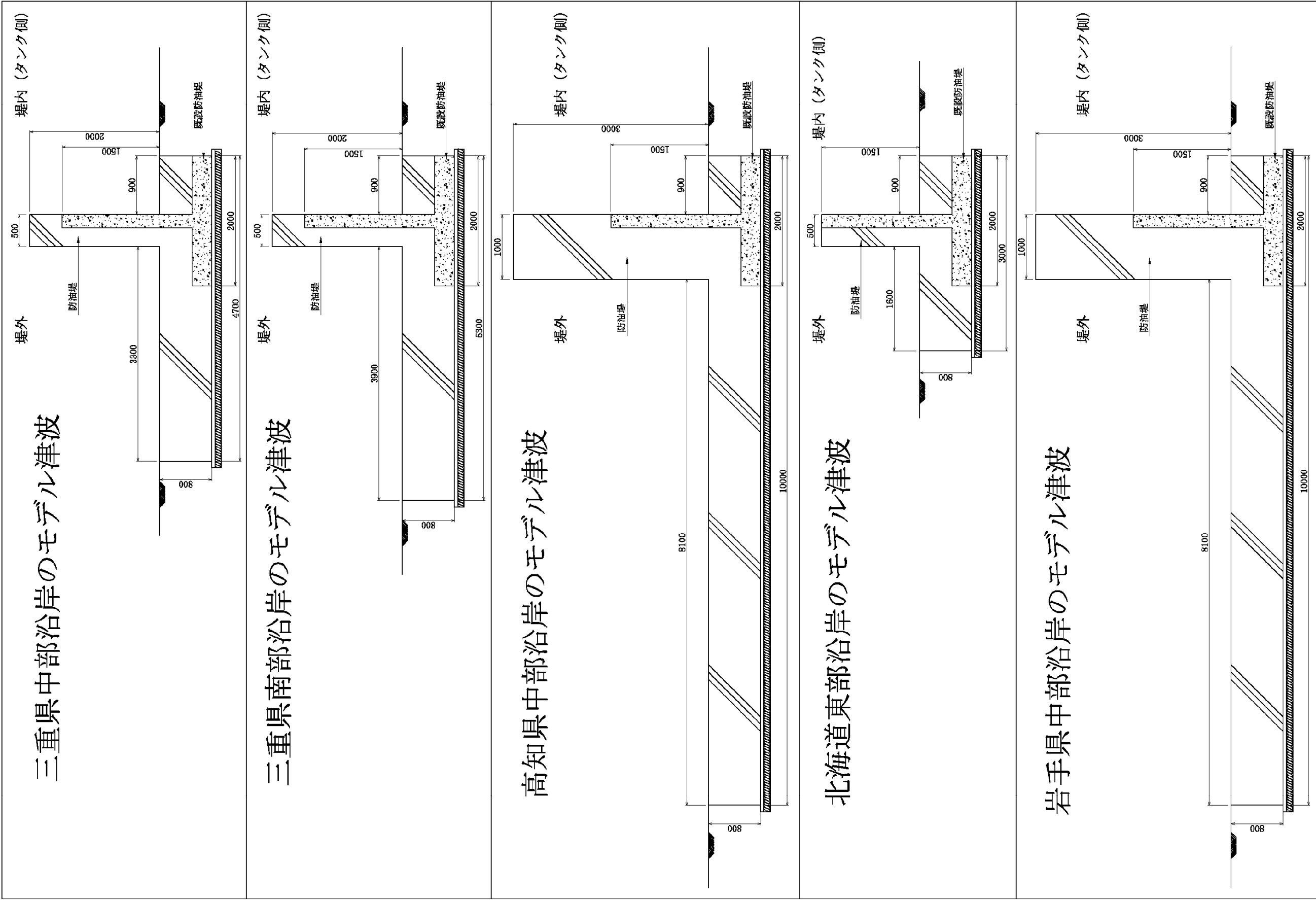


図 5.4-8 防油堤改造後の構造図

表 5.4-6(1) 滑動、転倒、支持力の安全率及び部材応力度算定結果
(三重県中部沿岸のモデル津波)

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	98.12
	作用水平力(kN)	81.37
	滑動安全率	1.21
	評価	安全率>1.2 OK
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	415.9
	転倒モーメント(kN・m)	137.53
	転倒安全率	3.02
	評価	安全率>1.2 OK
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	42.1
	許容支持力度(kN/m ²)	469.89
	支持力安全率	11.17
	評価	安全率>1.5 OK
部材破壊 D19@200	コンクリート応力度(N/mm ²)	9.4
	鉄筋応力度(N/mm ²)	260
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以下 OK

表 5.4-6 (2) 滑動、転倒、支持力の安全率及び部材応力度算定結果
(三重県南部沿岸のモデル津波)

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	116.91
	作用水平力(kN)	96.17
	滑動安全率	1.22
	評価	安全率>1.2 OK
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	577.79
	転倒モーメント(kN・m)	163.94
	転倒安全率	3.52
	評価	安全率>1.2 OK
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	44.4
	許容支持力度(kN/m ²)	510.39
	支持力安全率	11.50
	評価	安全率>1.5 OK
部材破壊 D19@200	コンクリート応力度(N/mm ²)	7.2
	鉄筋応力度(N/mm ²)	237
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以下 OK

表 5.4-6 (3) 滑動、転倒、支持力の安全率及び部材応力度算定結果
(高知県中部沿岸のモデル津波)

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	328.75
	作用水平力(kN)	270.32
	滑動安全率	1.22
	評価	安全率>1.2 OK
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	3254.71
	転倒モーメント(kN・m)	596.9
	転倒安全率	5.45
	評価	安全率>1.2 OK
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	68.3
	許容支持力度(kN/m ²)	827.64
	支持力安全率	12.12
	評価	安全率>1.5 OK
部材破壊 D22@200	コンクリート応力度(N/mm ²)	7.7
	鉄筋応力度(N/mm ²)	291
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以下 OK

表 5.4-6 (4) 滑動、転倒、支持力の安全率及び部材応力度算定結果
(北海道東部沿岸のモデル津波)

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	62.54
	作用水平力(kN)	51.92
	滑動安全率	1.20
	評価	安全率>1.2 OK
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	204.13
	転倒モーメント(kN・m)	75.32
	転倒安全率	2.71
	評価	安全率>1.2 OK
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	38.1
	許容支持力度(kN/m ²)	375.39
	支持力安全率	9.84
	評価	安全率>1.5 OK
部材破壊 D19@200	コンクリート応力度(N/mm ²)	5.9
	鉄筋応力度(N/mm ²)	196
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以下 OK

表 5.4-6 (5) 滑動、転倒、支持力の安全率及び部材応力度算定結果
(岩手県中部沿岸のモデル津波)

被害形態	項目	数値
滑動	抵抗力(kN)	306.62
	作用水平力(kN)	254.72
	滑動安全率	1.20
	評価	安全率>1.2 OK
転倒	抵抗モーメント(kN・m)	2746.98
	転倒モーメント(kN・m)	559.69
	転倒安全率	4.91
	評価	安全率>1.2 OK
沈下	最大底面反力度(kN/m ²)	69.1
	許容支持力度(kN/m ²)	787.14
	支持力安全率	11.39
	評価	安全率>1.5 OK
部材破壊 D22@200	コンクリート応力度(N/mm ²)	7.2
	鉄筋応力度(N/mm ²)	273
	コンクリート許容応力度(N/mm ²)	10.5
	鉄筋許容応力度(N/mm ²)	300
	評価	許容応力度以下 OK

5. 5 アンカーによる屋外貯蔵タンクの滑動防止対策に関する検討

「5. 3 屋外タンク貯蔵所の滑動防止対策の検討」では、前節 5. 4 で取り上げた「防油堤のかさ上げ及び構造強化」のほかに、「タンクのアンカー留め」も屋外貯蔵タンクの滑動防止対策として有効かつ現実的なものとなる可能性があるものの一つと考えられた。本節では、この「タンクのアンカー留め」の有効性及び現実性について具体的な評価を行う。

前節では、防油堤の高さのかさ上げによって、屋外貯蔵タンクの「滑動」防止を図ろうとした場合には、津波の高さによっては、必要となるかさ上げ高さが相当大きくなり、その結果、津波に耐えるために必要となる防油堤の全体的な規模も相当大きなものとなることから、防油堤の高さのかさ上げが、必ずしも適当な選択肢とはならない場合もあると考えられた。「タンクのアンカー留め」は、このような場合のタンク滑動防止対策案の一つとなりうる可能性もある。

屋外貯蔵タンクの滑動防止対策として「タンクのアンカー留め」を行うことの有効性及び現実性の評価は、第 4 章で導入した「小規模仮定タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「中規模仮定タンク」（容量 10,000 kℓ）が、同じく第 4 章で導入した「モデル津波」を受けたときに、これらのタンクにどのようにアンカーが打設されていれば、これらのアンカーが引抜き等に対して安全なものとなるかを試算することにより行った。

評価上のアンカーの打設方法は、既設タンクにアンカーを打設する状況を想定して、接着系の「あと施工アンカー」とした。「あと施工アンカー」の施工は、「ケミカルアンカー設計指針（建築研究振興協会）」¹⁾に準拠して実施されるものと仮定した。アンカー筋は SD345 を使用することとし、アンカー筋の径は、ケミカルアンカー設計指針では最大 38mm のものが示されていることから、ここでも最大で 38mm ものを採用することができるとした。アンカーが打設されるタンクの基礎は、厚さ 80cm 程度以上のコンクリートとし、アンカーの引抜きに耐え得る重量を有するか、あるいは杭支持構造となっていることを仮定した。コンクリート強度は、一般の無筋コンクリートも強度の $18\text{N}/\text{mm}^2$ とした。また、ここでは、津波波力を受けたタンクは、剛体的（局所的な変形を生じない）な挙動をすることと仮定した。「あと施工アンカー」の概要を図 5.5-1 及び図 5.5-2 に示す。

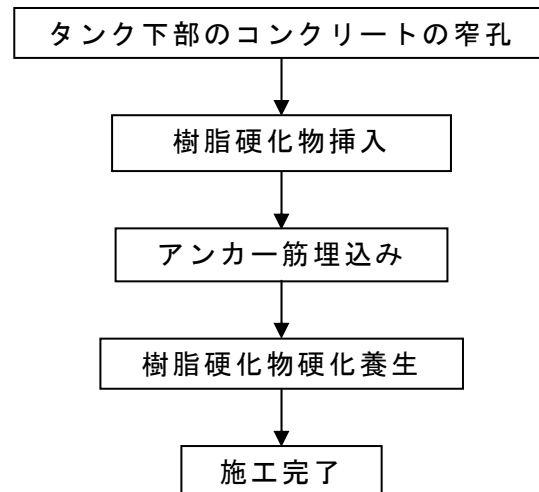


図 5.5-1 あと施工アンカーの施工手順

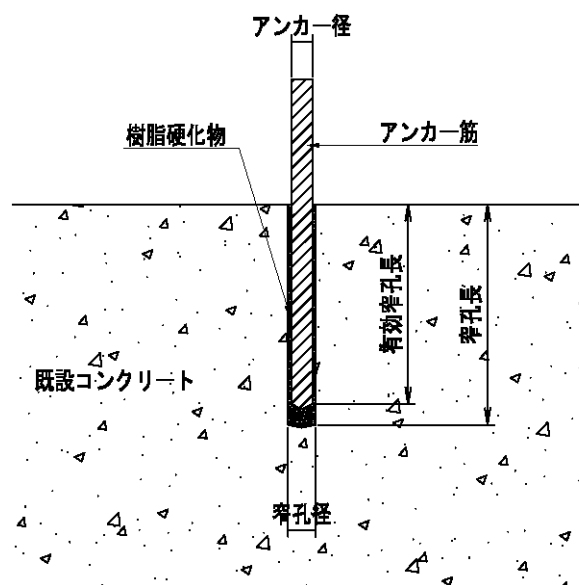


図 5.5-2 あと施工アンカーの概要図

「あと施工アンカー」には、次の4つの破壊形態が考えられている。ここでの評価では、アンカーが引抜き等に対して安全なものであるかどうかは、これら4つの破壊形態に関する照査を行って判断することとした。

- ・ アンカーを埋込んだコンクリートの破壊 (図 5.5-3)
- ・ 樹脂硬化物とコンクリートとの境界面の付着破壊 (図 5.5-4)
- ・ アンカー筋の引張りによる破断 (図 5.5-5)
- ・ アンカー筋のせん断による破断 (図 5.5-5)

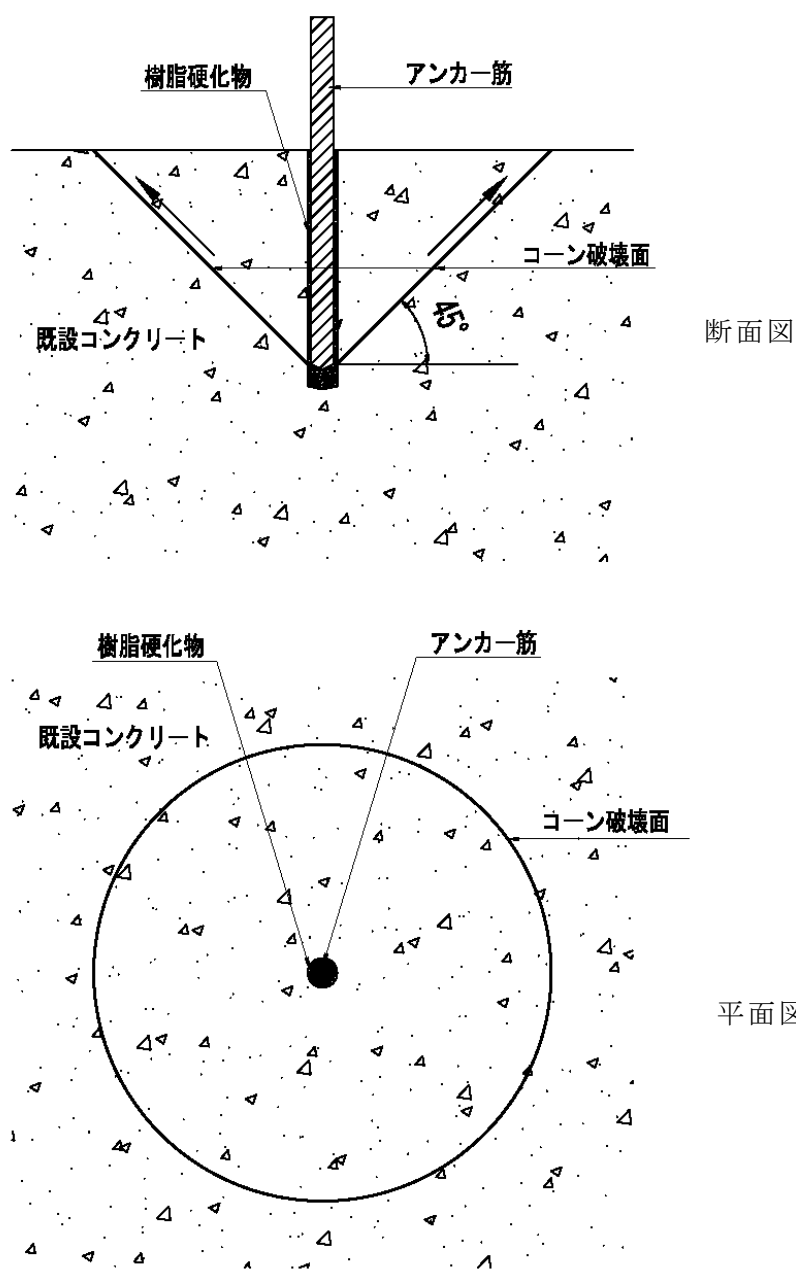


図 5.5-3 アンカーを埋込んだコンクリートの破壊

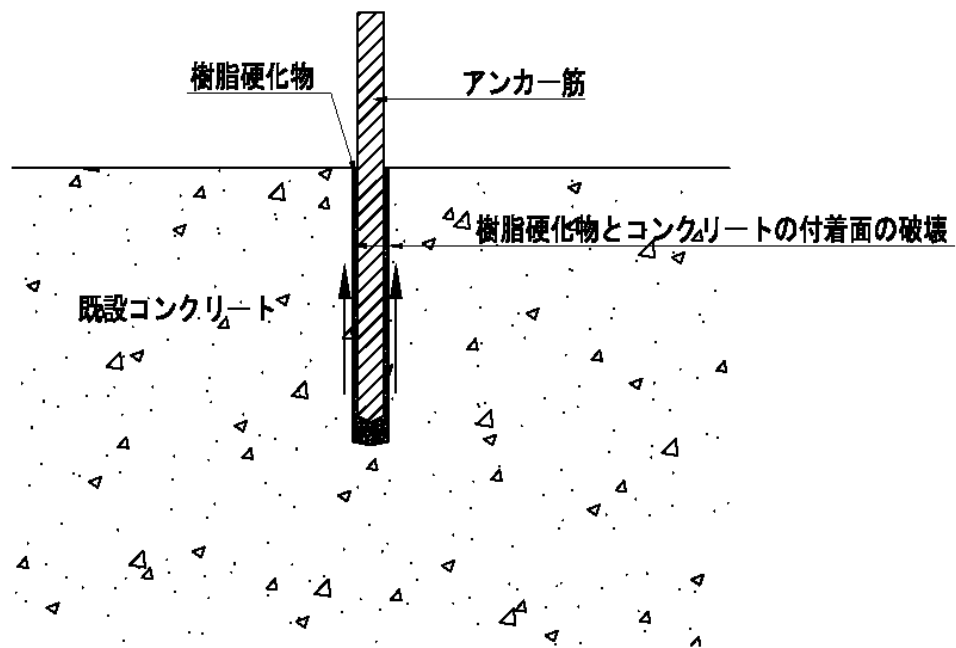


図 5.5-4 樹脂硬化物とコンクリートとの境界面の付着破壊

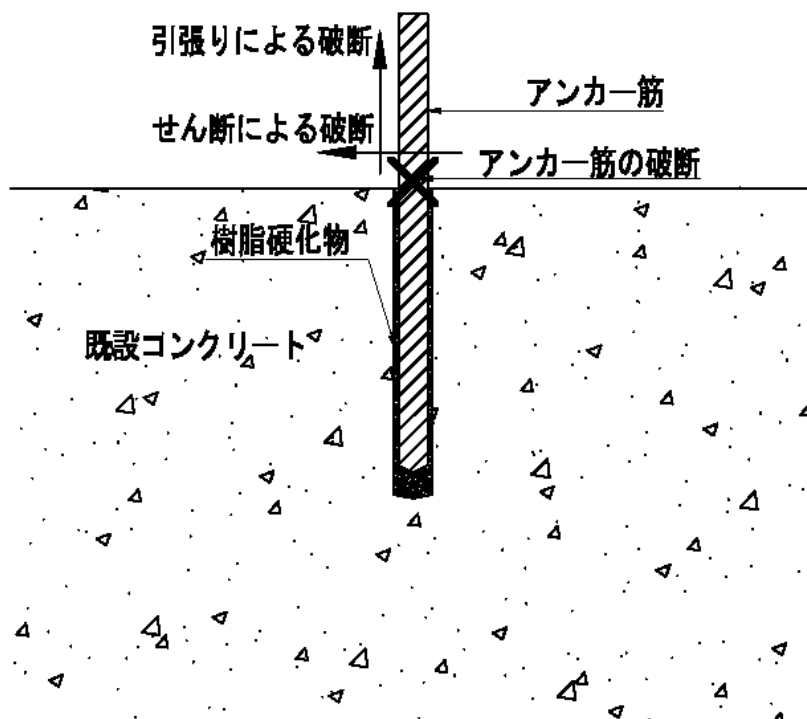


図 5.5-5 アンカー筋の引張り、せん断による破断

タンクが津波を受けたときの「あと施工アンカー」の破壊形態に関する照査は、具体的には次のように行った。すなわち、許容引張荷重及び許容せん断荷重については、「ケミカルアンカー設計指針（建築研究振興協会）」¹⁾に則って、それぞれ、（a）及び（b）のように計算した。これらの複合荷重に対する照査は（c）のように行った。（c）の照査で必要となるアンカーに作用する引張荷重及びせん断荷重は、（d）で述べる方法で計算した。

（a） 許容引張荷重の計算

P_{a1} 、 P_{a2} 、 P_{a3} は、「アンカーを埋込んだコンクリートの破壊」、「アンカー筋の引張りによる破断」、「樹脂硬化物とコンクリートとの境界面の付着破壊」に対する許容引張荷重であり、次式にそれぞれの算定式を示す。

$$P_{a1} = \phi_1 \times \gamma \times P_{u1} \quad (\text{式 5.5-1})$$

$$P_{a2} = \phi_2 \times_s \sigma_y \times_{sc} a \quad (\text{式 5.5-2})$$

$$P_{a3} = \phi_3 \times \tau \times \pi \times D \times L_e \quad (\text{式 5.5-3})$$

ここで、

P_{a1} ：コンクリートの破壊により決まる許容引張荷重（N）

P_{a2} ：アンカー筋の降伏により決まる許容引張荷重（N）

P_{a3} ：樹脂硬化物とコンクリートとの界面の付着破壊により決まる許容引張荷重（N）

$\phi_{1\sim3}$ ：低減係数

表 5.5-1 低減係数（許容引張荷重の計算時）

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
長期荷重用	0.4	2/3	0.4
短期荷重用	0.6	1.0	0.6

γ ：施工係数（0.75 とする）

P_{u1} ：最大引張荷重（N）

$\sqrt{F_c} \times A_c \leq 470000$ の場合

$$P_{u1} = 0.39 \times \sqrt{F_c} \times A_c$$

$\sqrt{F_c} \times A_c > 470000$ の場合

$$P_{u1} = 0.1871 \times \sqrt{F_c} \times A_c + 95360$$

F_c ：コンクリートの圧縮強度（N/mm²）（範囲：18～36 N/mm²）

A_c ：有効水平投影面積（mm²）

$$A_c = \pi \times L_e \times (L_e + D)$$

${}_s\sigma_y$: アンカー筋の降伏強度 (N/mm²)

${}_{sc}a$: アンカー筋の軸部断面積とねじ部有効断面積のうち小さい方の値 (mm²)

τ : 付着強度 (N/mm²)

$$\tau = 10 \times \sqrt{\frac{F_c}{21}} \quad (\tau \text{ の計算値は } 10 \text{ を上限とする})$$

L_e : 有効埋込深さ (mm)

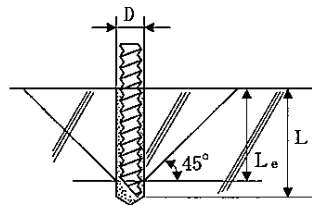
$$L_e = L - d$$

D : 窄孔径 (mm)

L : 窄孔長 (mm)

d : アンカー筋の径 (mm)

である。



(b) 許容せん断荷重の計算

次式の Q_a は、「アンカー筋のせん断による破断」に対する許容せん断荷重である。

$$Q_a = \phi \times 0.7 \times {}_s\sigma_y \times {}_{sc}a \quad (\text{式 5.5-4})$$

ここで、

Q_a : 許容せん断荷重 (N)

ϕ : 低減係数

表 5.5-2 低減係数 (許容せん断荷重の計算時)

	ϕ
長期荷重用	2/3
短期荷重用	1.0

γ : 施工係数 (0.75 とする)

${}_s\sigma_y$: アンカー筋の降伏強度 (N/mm²)

${}_{sc}a$: アンカー筋のせん断を受ける部分の断面積 (mm²)

ただし、ねじ部がせん断を受ける場合は有効断面積である。

(c) 複合荷重に対する照査

アンカーに引張荷重とせん断荷重が作用する場合は、次式により照査する。

$$\left(\frac{P}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{Q}{Q_a}\right)^2 \leq 1 \quad (\text{式 5.5-5})$$

ここで、

P : 引張荷重 (N) [後述 (式 5.5-6)]

P_a : 許容引張荷重 (N) = MIN (Pa1, Pa2, Pa3)

Q : せん断荷重 (N)

Q_a : 許容せん断荷重 (N)

である。

(d) タンクのアンカーに作用する荷重の算定方法

タンクが津波を受けたときにアンカーに作用する引張荷重 P の計算は、文献²⁾に示されているタンクの基礎に用いられる杭の軸力算定式を準用して行った。すなわち、次に示す方法を用いた。タンクは空の状態であると仮定した。これは、アンカーに作用する引張荷重は、この状態であるときに最も大きくなると考えられるためである。

一方、アンカーに作用するせん断力 Q については、タンクに打設されるすべてのアンカーが、津波の水平波力を均等に負担するものと仮定して計算した。

$$P_{Ni} = \frac{V_0}{n} + \frac{M_0}{\sum x_i^2} \cdot x_i \quad (\text{式 5.5-6})$$

ここで、

P_{Ni} : i 番目の杭の杭軸方向力 (t)

V_0 : 基礎スラブ底面より上に作用する鉛直荷重 (t)

n : 杭の総本数

M_0 : 基礎スラブ下面の杭群図心での外力モーメント (t・m)

x_i : 杭群の図心より i 番目の杭までの水平距離 (m)

である。

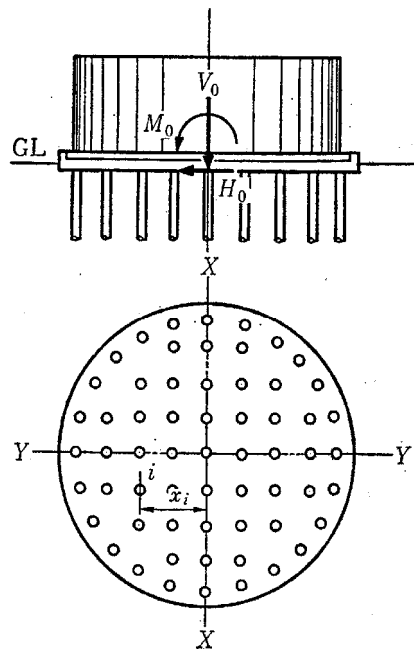


図 5.5-6 屋外タンク貯蔵所の基礎の規制基準 (文献²⁾から引用)

以上の仮定と考え方にに基づき、第4章において導入された「仮定防油堤」と同じ高さ、すなわち高さ 1.5m の防油堤で囲まれた「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」が、モデル津波を受けた場合において、タンクに打設された「あと施工アンカー」が引抜き等に対して安全なものであるために必要となる「あと施工アンカー」の打設箇所数、1カ所当たりのアンカー本数及びアンカー径を試算した。

ここで用いたモデル津波は、次に掲げる4つのモデル津波である。これらのモデル津波は、タンクにある程度の内容液が貯蔵されていたとしても、また、タンクの周囲の高さ 1.5m の防油堤が津波を受けても無被害であったとしても、「小規模仮定タンク」と「中規模仮定タンク」のいずれか又は両方に、「滑動」が発生すると予想されたものである（表 4.4-13）。

- ・ 三重県中部沿岸のモデル津波
- ・ 三重県南部沿岸のモデル津波
- ・ 高知県中部沿岸のモデル津波
- ・ 岩手県中部沿岸のモデル津波

表 5.5-3 及び図 5.5-7 に試算の結果を示す。また、表 5.5-4 に「あと施工アンカー」の引抜き等に対する照査結果を示す。

「三重県中部沿岸のモデル津波」については、「小規模仮定タンク」、「中規模仮定タンク」とともに、等間隔で 8 箇所に 1 本ずつ「あと施工アンカー」を打設すれば、引抜き等に対して安全であると予想された（表 5.5-3）。また、「三重県南部沿岸のモデル津波」を受ける「小規模仮定タンク」については、等間隔で 12 箇所に 1 本ずつ「あと施工アンカー」を打設すれば、引抜き等に対して安全であると予想された。

一方、「高知県中部沿岸のモデル津波」については、「小規模仮定タンク」では、1 箇所当たり 2 本の「あと施工アンカー」を 16 箇所に打設しなければ、引抜き等に対する安全性が確保されないと予想された（同じく表 5.5-3）。また、同じく「高知県中部沿岸のモデル津波」を「中規模仮定タンク」が受ける場合には、1 箇所当たり 3 本の「あと施工アンカー」を 32 箇所に打設する必要があると予想された。「岩手県中部沿岸のモデル津波」についても、ほぼ同様の結果となった。

表 5.5-3 引抜き、せん断力に耐えられるアンカーの配置・仕様

対象津波	対象タンク	アンカー 固定箇所数	1 固定箇所当たり のアンカー本数	必要アンカー 本数	アンカー径
高知県中部	小規模	16	2	32	32mm
三重県中部		8	1	8	25mm
三重県南部		12	1	12	32mm
岩手県中部		16	2	32	25mm
高知県中部	中規模	32	3	96	38mm
三重県中部		8	1	8	19mm
岩手県中部		32	3	96	38mm

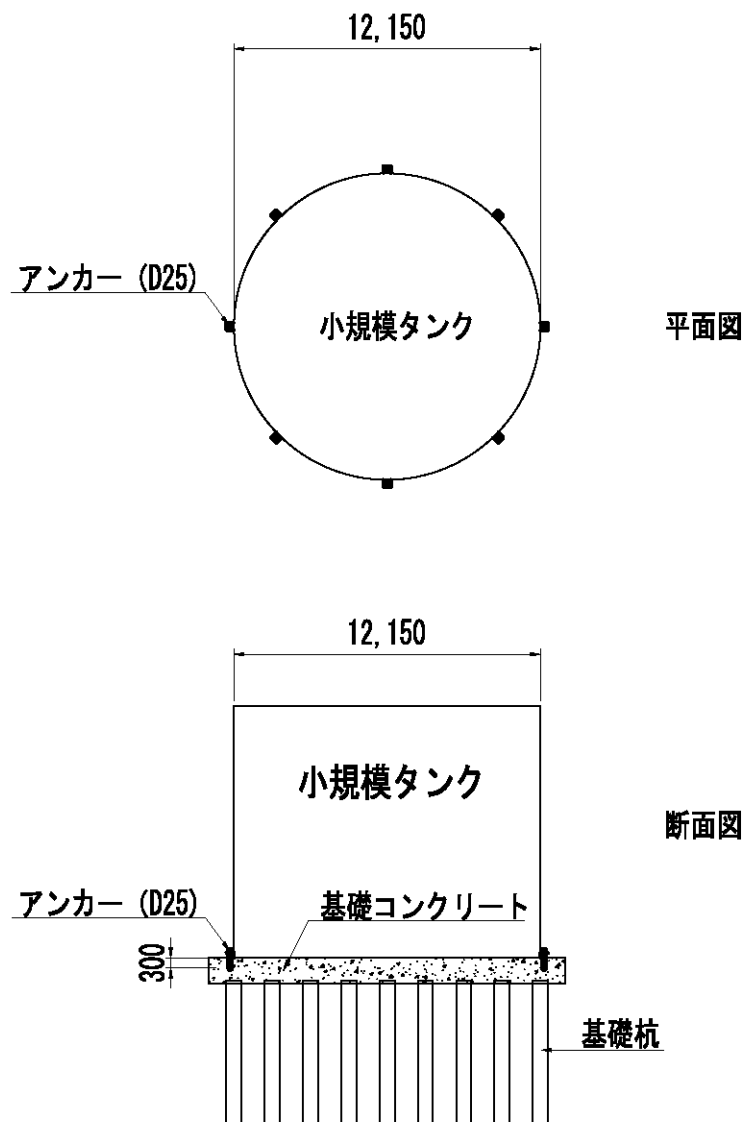


図 5.5-7(1) 三重県中部沿岸のモデル津波（小規模仮定タンク）

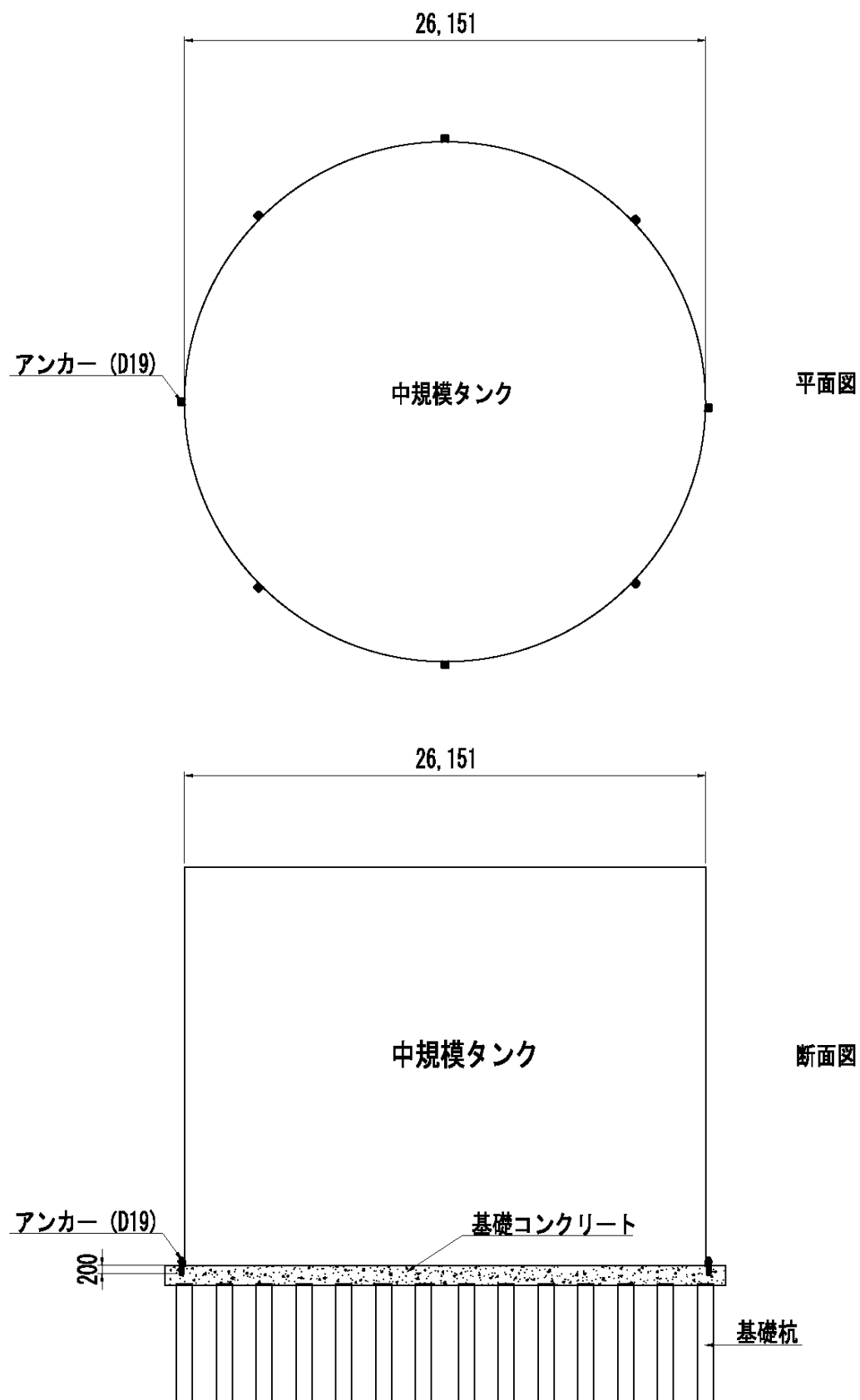


図 5.5-7 (2) 三重県中部沿岸のモデル津波（中規模仮定タンク）

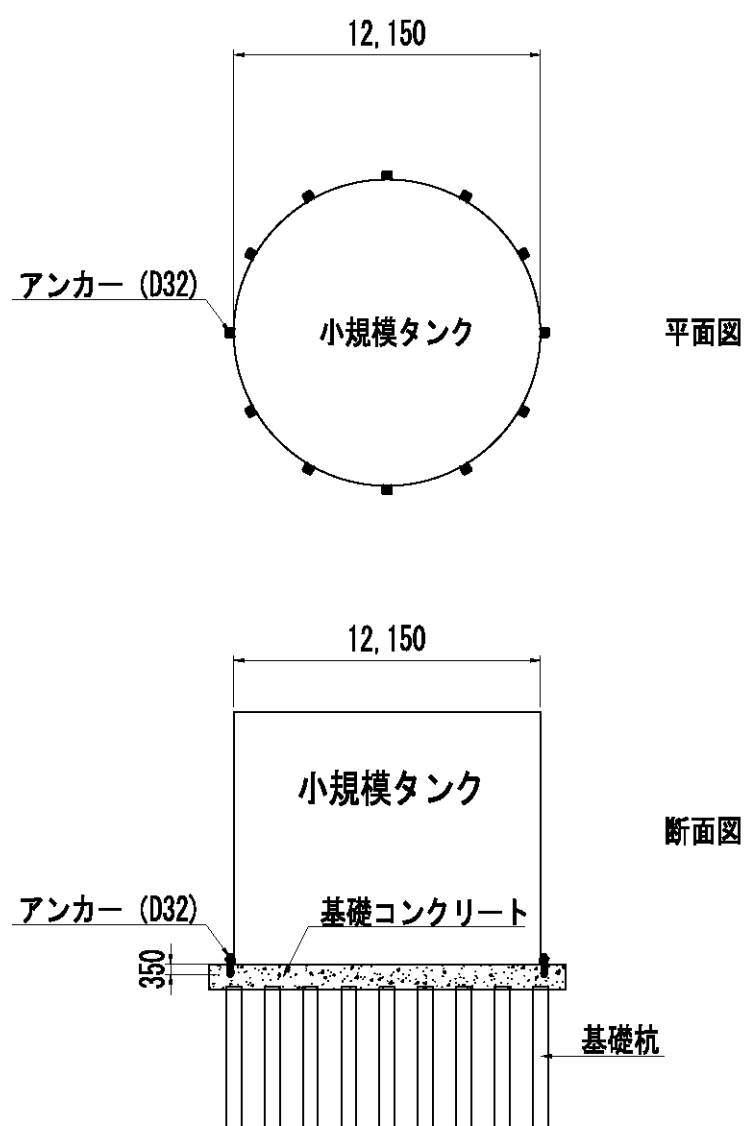


図 5.5-7 (3) 三重県南部沿岸のモデル津波（小規模仮定タンク）

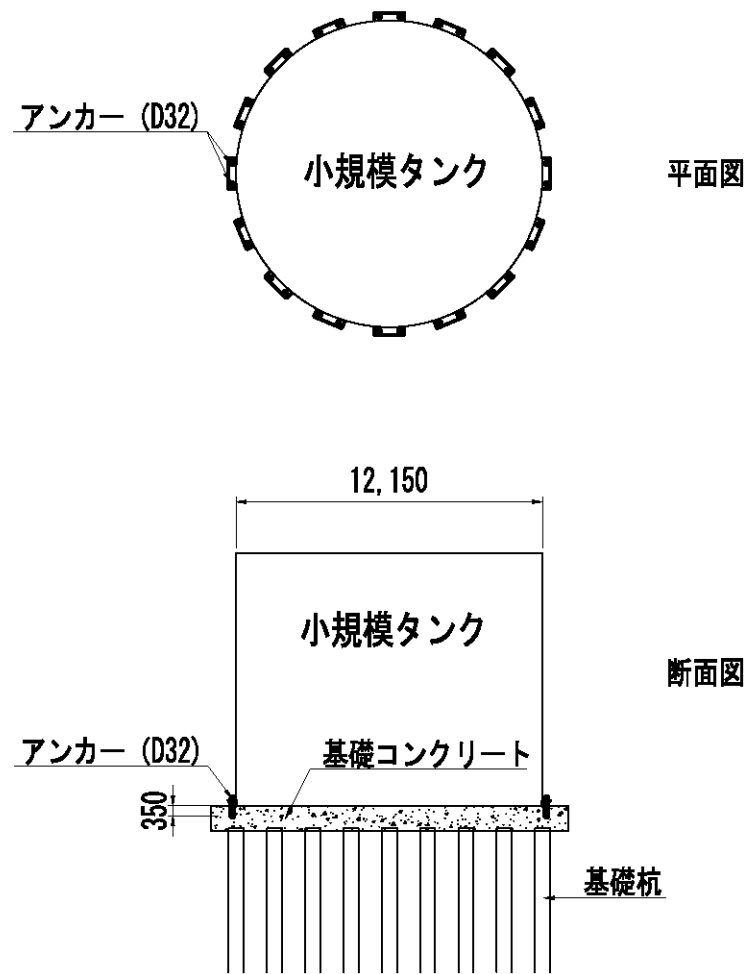


図 5.5-7 (4) 高知県中部沿岸のモデル津波（小規模仮定タンク）

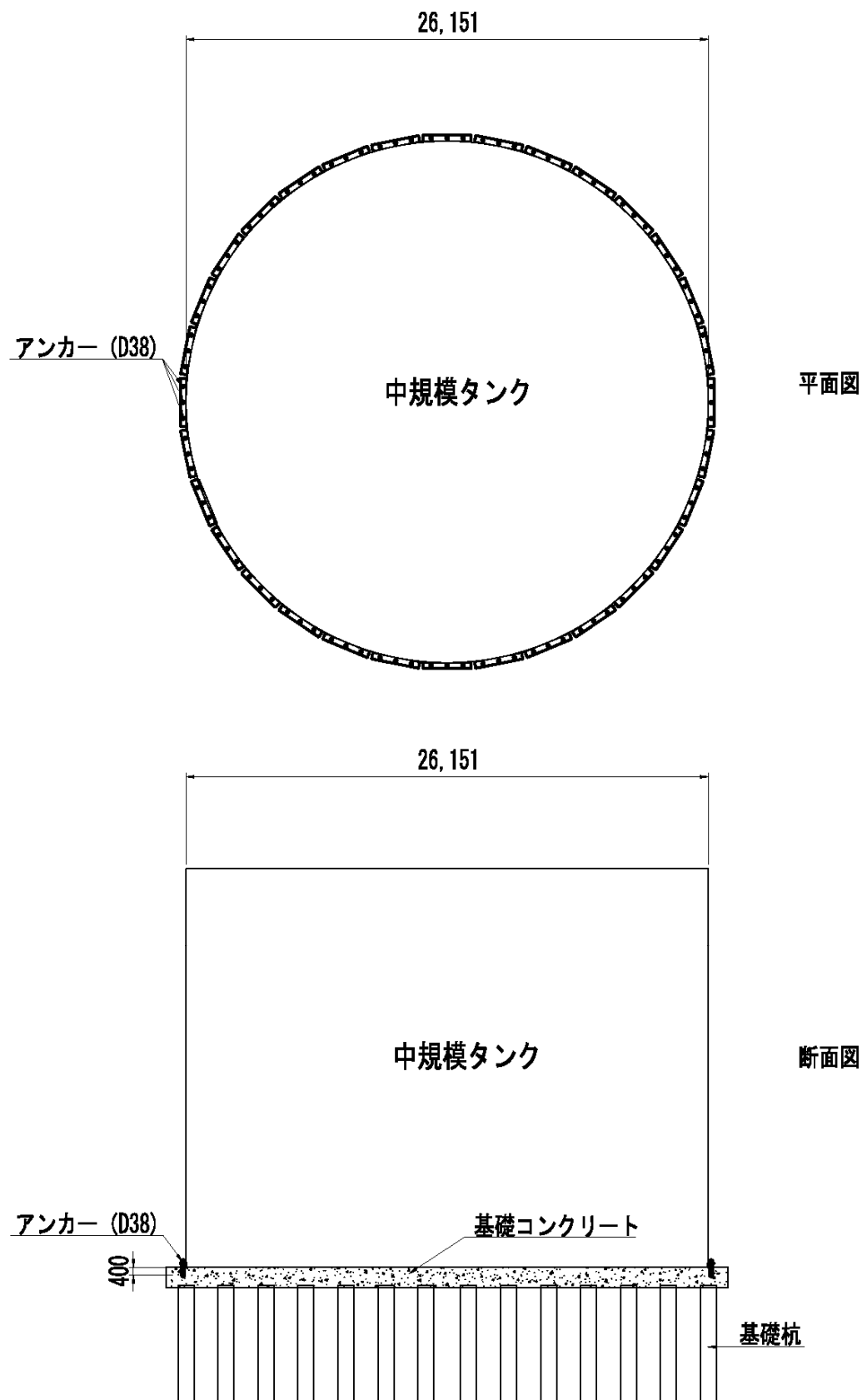


図 5.5-7 (5) 高知県中部沿岸のモデル津波（中規模仮定タンク）

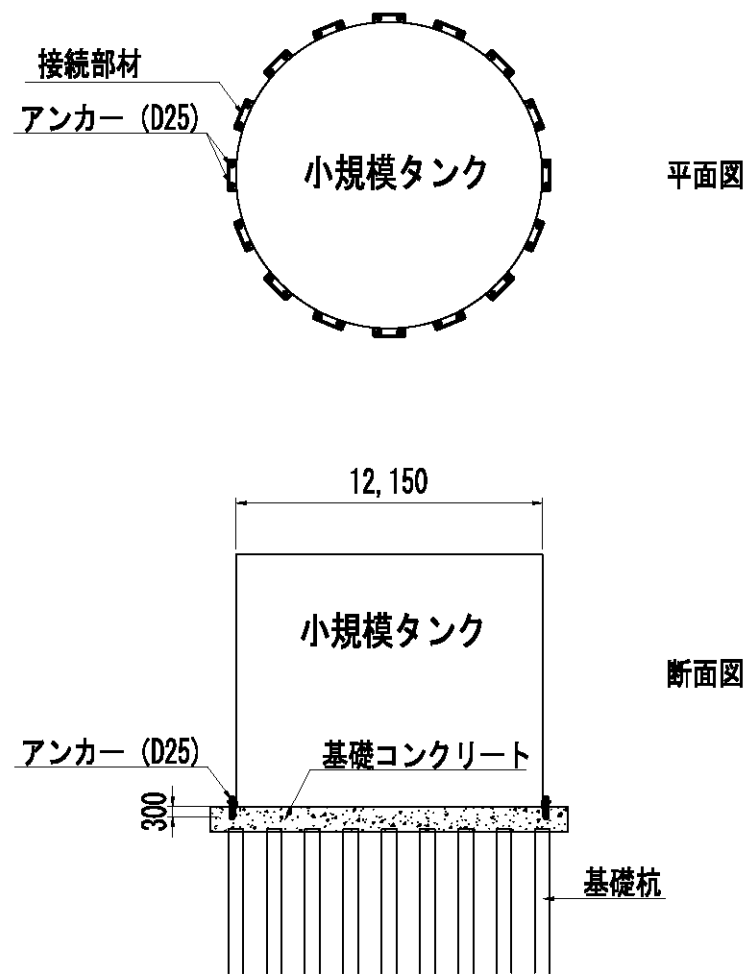


図 5.5-7 (6) 岩手県中部沿岸のモデル津波（小規模仮定タンク）

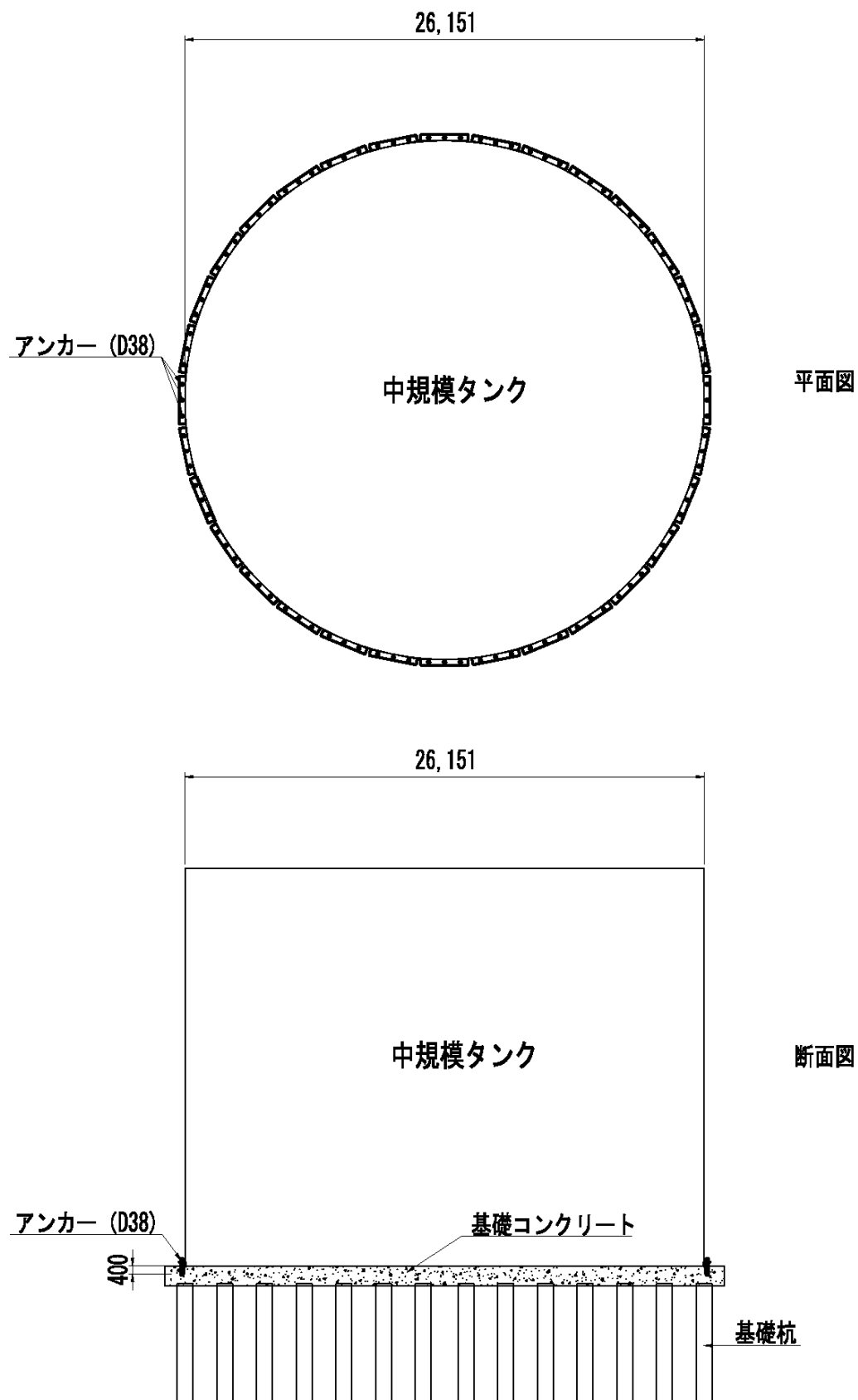


図 5.5-7 (7) 岩手県中部沿岸のモデル津波（中規模仮定タンク）

表 5.5-4(1) アンカーの照査（タンクの諸元、タンクに作用する外力、アンカーの配置及びアンカーに作用する荷重

	小規模タンク					中規模タンク				
	高知県中部	三重県中部	三重県南部	岩手県中部	高知県中部	三重県中部	岩手県中部	高知県中部	三重県中部	岩手県中部
タンク直径 (m)	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	26.151	12.15	26.151	26.151	26.151
タンク重量 (t)	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7	270	35.7	270	270	270
タンク付加質量率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
許容量 (k l)	980	980	980	980	980	9938	980	9938	9938	9938
内液比重	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
内液比率 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
内液水深 (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
内液重量 (t)	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.0
総トン数 (t)	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7	270.0	35.7	270.0	270.0	270.0
総トン数 (kN)	349.9	349.9	349.9	349.9	349.9	2646	349.9	2646	2646	2646
タンクの底面積 (m ²)	115.9	115.9	115.9	115.9	115.9	537.1	115.9	537.1	537.1	537.1
タンクに作用する水平力 (kN)	902	70	197	778	1928	46				1599
タンクに作用する揚圧力 (kN)	-3620	-1005	-1692	-3362	-16710	-2586				-15218
タンク中心のモーメント (kN・m)	4256	806	1455	3766	30852	4303				27613
固定箇所	16	8	12	16	32	8				32
固定箇所当たりアンカー数	2	1	1	2	3	1				3
アンカーの本数	32	8	12	32	96	8				96
クリヤとなるアンカーの $\sum X_i^2 / X_i$ (m)	113.20	28.30	42.45	113.20	675.60	56.30				675.60
鉛直力による軸力 (kN)	-102.2	-81.9	-111.9	-94.1	-146.5	7.5				-131.0
モーメントによる軸力 (kN)	-37.6	-28.5	-34.3	-33.3	-45.7	-76.4				-40.9
アンカー 1 本当り最大軸力 (kN)	-140	-111	-147	-128	-193	-69				-172
アンカー 1 本当りせん断力 (kN)	29	9	17	25	21	6				17

※軸力の正の値は押込み、負の値は引抜きを示す

表 5.5-4(2) アンカーの照査結果

	小規模タンク				中規模タンク			
	高知県中部	三重県中部	三重県南部	岩手県中部	高知県中部	三重県中部	岩手県中部	
○引抜き力に対する照査								
低減係数 ϕ_1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
低減係数 ϕ_2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
低減係数 ϕ_3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
施工係数 γ	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
水中施工係数	1	1	1	1	1	1	1	
アンカー筋の径d (mm)	32	25	32	25	38	19	38	
宥孔径D (mm)	42	34	42	34	50	25	50	
宥孔長L (mm)	350	300	350	300	400	200	400	
有効埋込深さLe (mm) =L-d	318	275	318	275	362	181	362	
有効水平投影面積Ac (mm2)	359,650	266,957	359,650	266,957	468,550	117,137	468,550	
コンクリート圧縮強度F _c (N/mm2)	18	18	18	18	18	18	18	
最大引張り荷重P _{u1} (N)	380849	307270	380849	307270	467294	188343	467294	
アンカー筋の降伏強度σ _{oγ} (N/mm2)	345	345	345	345	345	345	345	
アンカー筋の軸部断面積とねじ部有効断面積の小さい値sca (mm2)	D32	D25	D32	D25	D38	D19	D38	
	794.2	506.7	794.2	506.7	1140	286.5	1140	
付着強度τ (N/mm2)	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	9.26	
コンクリートの破壊による決まる許容引張荷重 Pa1 (kN/本)	171.38	138.27	171.38	138.27	210.28	84.75	210.28	
アンカー筋の降伏により決まる許容引張荷重 Pa2 (kN/本)	274.00	174.81	274.00	174.81	393.30	98.84	393.30	
樹脂硬化物とコンクリートとの境界面の付着破壊により決まる許容引張荷重 Pa3 (kN/本)	233.08	163.17	233.08	163.17	315.87	78.97	315.87	
許容引張荷重 (一本当たり) Pa (kN/本)	171	138	171	138	210	79	210	
発生引張力 (一本当たり) (kN)	140	111	147	128	193	69	172	
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
○せん断に対する照査								
低減係数	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
許容せん断荷重 (一本当たり) Q (kN/本)	191.80	122.37	191.80	122.37	275.31	69.19	275.31	
発生せん断力 (一本当たり) (kN)	29	9	17	25	23	6	17	
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
○複合荷重に対する照査								
許容引張荷重 (一本当たり) Pa (kN/本)	171.38	138.27	171.38	138.27	210.28	78.97	210.28	
許容せん断荷重 (一本当たり) Q (kN/本)	191.80	122.37	191.80	122.37	275.31	69.19	275.31	
発生引張力 (一本当たり) P (kN)	140	111	147	128	193	69	172	
発生せん断力 (一本当たり) Q (kN)	29.0	9.0	17.0	25.0	23.0	6.0	17.0	
照 査 (P/Pa) ² + (Q/Qa) ² ≤1.0	0.69	0.65	0.74	0.90	0.85	0.77	0.67	
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

ここで、試算された「あと施工アンカー」の打設箇所数等が現実的な対策工であるかどうかを考えるために、タンクのアンカー留めの一例を取り上げる。取り上げるタンクは、危険物屋外貯蔵タンクではなく、発電所のろ過水タンクである(図 5.5-8)。タンクの大きさは直径 10.6m、高さ 12.1m であり、「小規模仮定タンク」(直径 12.2m、高さ 9.2m)に近い大きさである。このタンクには、周囲 12 箇所に等間隔にアンカーが打設されており、アンカーの径は 42mm であった。アンカー打設の設計経緯は不明であるが、タンクに作用する風荷重あるいは地震力によるタンクの滑動及び転倒防止のために配置されているものと推測される。

この事例に照らすと、「三重県中部沿岸のモデル津波」及び「三重県南部沿岸のモデル津波」のケースで「小規模仮定タンク」又は「中規模仮定タンク」に必要とされた、タンク周囲の 8 箇所に 1 本ずつ「あと施工アンカー」を打設する対策工は、現実的な規模のものであると考えられる。

また、この事例に照らすと、「高知県中部沿岸のモデル津波」及び「岩手県中部沿岸のモデル津波」のケースで「小規模仮定タンク」に必要とされた、タンク周囲の 16 箇所に 2 本ずつ「あと施工アンカー」を打設する対策工は、非現実的であるとまでは言えないものと考えられる。しかし、「中規模仮定タンク」に必要とされた、タンク周囲の 32 箇所に 3 本ずつ「あと施工アンカー」を打設する対策工は、少なくとも常識的な規模のものとは言えないと考えられる。

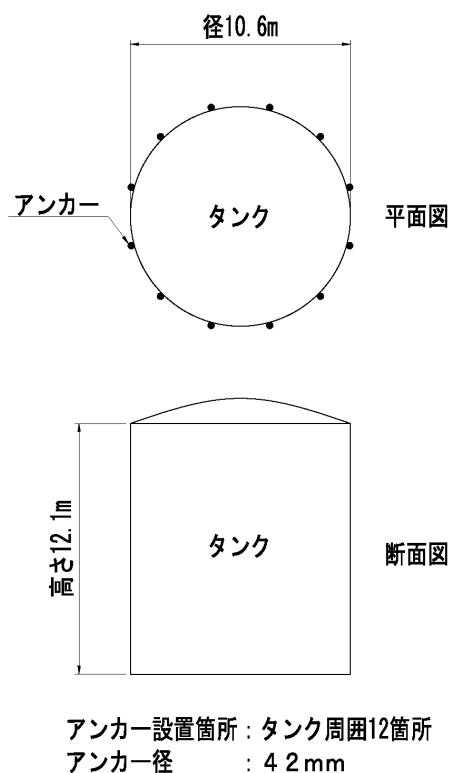


図 5.5-8 タンクのアンカー留めの事例 (発電所のろ過水タンク)

以上で述べたように、アンカー留めによって屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止するという対策は、有効かつ現実的であると考えられる場合もあるものと考えられるが、屋外貯蔵タンクをアンカーで強固に固定することについては、次に掲げるような問題も考えられることから、アンカー留めの対策を検討する際には、これらの問題点に対する安全性も検討する必要がある。

① アンカーが接続部材を介してタンクに作用する力に対するタンクの安全性に関する問題

本節では、アンカーに作用する引抜力及びせん断力に対してアンカーが耐えられるかどうかの評価を行ったが、アンカーが接続部材（図 5.5-9）を介してタンクに作用する力に対するタンクの安全性が評価されておらず、この意味でのタンクの安全性の確認が別途必要であると考えられる。

② タンクの底部鋼板に作用する揚圧力に対するタンクの安全性に関する問題

屋外貯蔵タンクが基礎に固定された状況下で、タンクの底部鋼板の下に水が浸入すると、タンクの底部鋼板に揚圧力が作用することとなり、このような場合には、とくにタンクの底部鋼板の隅角部付近に大きな応力が発生するおそれがあることから、このような事象に対するタンクの安全性の確認が別途必要であると考えられる。

また、本節では、タンクが津波を受けたときのアンカーに作用する引抜力を算定は、タンクが剛体的な挙動をするものと仮定して行ったが、この仮定が成り立たず、タンクが剛体的な挙動をしない場合には、津波を受けるタンク前面付近では、局所的に、本仮定に基づく算定結果よりも大きな引抜力がアンカーに作用することも懸念される。このようなことから、アンカーに作用する引抜力をより精確に算定するには、タンクの本体（側板、底部鋼板等）の構造等を詳細にモデル化した解析が必要とも考えられる。

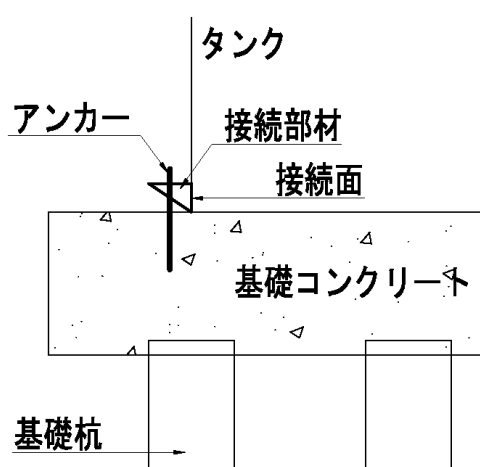


図 5.5-9 アンカー設置箇所拡大図

＜第 5 章 参考文献＞

- 1) (社) 建築研究振興協会 (昭和 60 年 5 月) : ケミカルアンカー設計指針.
- 2) 技報堂出版 (昭和 58 年 1 月) : 屋外タンク貯蔵所 基礎の規制基準 (杭基礎及びリング基礎について) 解説 土木学会監修 危険物技術研究会編.

第6章 まとめ

本調査検討会では、我が国沿岸部に設置されている代表的な大規模危険物施設である屋外タンク貯蔵所に津波又は台風・高潮等による浸水（以下「津波・浸水」という。）がもたらす被害の予防・軽減に資するため、屋外タンク貯蔵所の周囲において講じる津波・浸水被害の予防・軽減対策として有効かつ現実的と考えられるものを具体的に提案することを最終的な目的として技術的な調査検討を行った。

言うまでもなく、津波に対しては、防波堤、海岸堤防等の津波対策等の構造物の設置によって一定範囲の地域を津波から防護することが基本的な対策であり、実際にこうした対策事例は数多く見られるほか、現在もこうした取組みが鋭意進められているところである。しかしながら、これらの津波対策等の構造物については、①有識者らによる「津波対策検討委員会提言」（平成17年3月；国土交通省）¹⁾の「わが国の津波対策の現状と課題」で、「津波防護機能を有する施設の適切な点検や性能評価が不十分。」と指摘されていること、②同提言の「緊急的に対応すべき具体的な目標と対策」では、「津波防護機能を有する施設の整備」が挙げられており、例えば、「重要沿岸域の港湾において、防波堤のかさ上げ等を推進」することの必要性が指摘されていること等から、津波対策等の構造物が設置されている地域であっても、屋外タンク貯蔵所が津波を受けることはありうるものと考えられる。

また、海岸保全施設で防護される区域の外に屋外タンク貯蔵所が立地している場合には、津波から屋外タンク貯蔵所を防護するものがないため、構造物の設置状況によっては、屋外タンク貯蔵所が津波を受ける可能性がある。

いったん、屋外タンク貯蔵所が津波に見舞われ、危険物が流出したり、屋外貯蔵タンクが漂流したりした場合には、被害を増大させることとなる。従って、屋外タンク貯蔵所が津波を受けることが避けられないと予想される場合には、津波対策等の構造物の設置に加えて、追加的な津波対策を屋外タンク貯蔵所の周囲において講じることにより津波被害の軽減を図ることを検討することが考えられる。

このようなことから、本報告書は、屋外タンク貯蔵所の周囲において何らかの津波対策を講じようとする場合において、活用することのできる技術的情報を提供することを意図して作成したものである。

なお、屋外タンク貯蔵所の台風・高潮等の浸水の被害の形態は、津波のそれと似通っており、被害の発生機構も津波の被害のそれと共通すると考えられることから、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波対策は、台風・高潮等による浸水の被害の予防・軽減にも一定の効果があると考えられるため、ここでは、もっぱら津波に関する事項に言及する。

本調査検討会では、屋外タンク貯蔵所の周囲において講じる有効かつ現実的な津波被害予防・軽減対策を得るという目的に向けて、次の4つの作業を行った。

（1）過去に屋外タンク貯蔵所に発生した津波・浸水による被害事例と屋外タンク貯蔵

所等を対象とした津波対策の事例を整理すること

(2) 屋外貯蔵タンク及び防油堤の津波被害予測手法を提案すること

(3) 我が国の屋外タンク貯蔵所において、どのような津波被害が発生しうるかをおおむね把握すること

(4) 屋外タンク貯蔵所の周囲において講じる津波被害予防・軽減対策として考えられるものについて、その効果と実現可能性を評価・考察すること

ここで、(3)の作業は、我が国の屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策を考えるうえでは、まず、我が国の屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を持っておく必要があることから実施したものである。津波被害の予想については、中央防災会議が、東南海・南海地震等、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関して、それぞれ設置した専門調査会において、それぞれの想定地震についての津波被害想定を行っているが^{2,3)}、その津波被害想定は、津波による死者数及び建物被害数を想定しているものであり、屋外タンク貯蔵所に関する被害想定は行われていない。こうしたことから、本調査検討会において、屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を作成したものである。

なお、ここでの「被害イメージ」の作成は、実際に設置されている個々の屋外タンク貯蔵所の津波被害を予測するという意味での「被害想定」とは異なるものである。この理由は、6.3で後述する。

(2)の作業は、(3)の作業を実施するにあたり、屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法については、必ずしも確立されたものがあるとは言えない状況にあることから実施したものである。

(1)から(4)の作業の内容及び結果の詳細は、本報告書の第2章から第5章にそれぞれ記述されている。

以下では、これらの作業結果の要点を述べた後、これらの作業結果を踏まえ、屋外タンク貯蔵所の周囲において津波被害予防・軽減対策を講じることを検討する場合において、活用することのできる「検討フロー」の一例を示す。

6.1 屋外タンク貯蔵所の津波・浸水被害事例及び津波対策事例

我が国における過去の津波による屋外タンク貯蔵所の被害については、屋外貯蔵タンクが滑動したり、300m程度漂流したりする事例のほか、地震動によってタンクが損傷し、そこから流出した危険物が津波にのって拡散するという被害事例が報告されている。また、外国においては、同じく石油タンクが数百メートルにわたって漂流する被害が発生しているほか、タンクに津波が押し寄せたためにタンクが損傷し、流出した危険物に着火して火災に至った事例の報告もある。

我が国における過去の台風・高潮等による屋外タンク貯蔵所の被害については、高潮に

より、屋外貯蔵タンクが数十メートル滑動したり、約 4km にわたって漂流したりする事例があるほか、高潮を受けてタンクが損傷し、そこから危険物が流出したという事例の報告もある。

我が国において津波対策も意図して実際に講じられている対策としては、ある地域一帯を津波から防護するために、湾口防波堤、防波堤、海岸堤防（防潮堤）といった構造物が沿岸又は海岸に設置されている事例が数多く見受けられる。こうした取組みは、現在も鋭意進められているところである。

このほかに、漁港施設の一角に設置されている屋外タンク貯蔵所群を津波又は津波漂流物から防護するために、防油堤のすぐ外側に津波防護壁を設置するという静岡県焼津市における取組みもみられる。

6. 2 屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法の提案

（１）タンクの津波被害簡易予測式について

屋外貯蔵タンクにある津波波力が作用した場合の被害発生可能性の有無を簡便に予測できるよう過去に提案された予測式（**屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式**）を整理した〔表 3.3-2〕。これらの予測式は、屋外貯蔵タンクに、(a)「浮き上がり」、(b)「滑動」、(c)「転倒」、(d)「内外水圧差による側板座屈」が発生しうるかどうかを簡易に予測できるものである。

（２）防油堤の津波被害簡易予測式について

同じく、防油堤（コンクリート擁壁型に限る。以下特段のことわりがない限り同じ。）にある津波波力が作用した場合の被害発生可能性の有無を簡便に予測できるよう過去に提案された予測式（**防油堤の津波被害簡易予測式**）を整理した〔表 3.3-1〕。これらの予測式は、防油堤に、(e)「滑動」、(f)「転倒」、(g)「沈下」、(h)「部材破壊」が発生しうるかどうかを簡易に予測できるものである。

（３）タンクに作用する津波波力の算定方法について

「**屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式**」への入力として必要とされる屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定方法については、2 通りのものを示した（**屋外貯蔵タンクの津波波力算定式**）。一つは、屋外貯蔵タンク立地地点における津波の最大浸水深から算定するもの（**方法 A**）〔式 3.2-9～3.2-16〕と、もう一つは、同じく屋外貯蔵タンク立地地点における津波の最大浸水深と最大流速から算定するもの（**方法 B**）〔式 3.2-17～3.2-18〕である。「**方法 A**」は、過去に提案されたものであり、最大流速がわからなくても最大浸水深さえわかっているれば使用できる方法であるが、流速が小さい時など場合によっては、実際の津波波力よりも大きな津波波力を算定してしまうという問題がある。

そこで、本報告書では、津波がタンクに及ぼす影響に関する過去の水理模型実験のデータの再整理作業等を通じて、最大浸水深に加えて最大流速も考慮することにより、より精確に津波波力を算定することのできる「方法 B」を作成して示したものである。最大流速は、津波伝播シミュレーション等により最大浸水深とともに得られる。この「方法 B」は本報告書で初めて提案するものである。

（４）防油堤に作用する津波波力の算定方法について

「防油堤の津波被害簡易予測式」への入力として必要とされる防油堤に作用する津波波力の算定方法については、津波が防油堤を乗り越える場合には、その効果を考慮して算定するもの〔式 3.2-6～3.2-7〕を示した（防油堤の津波波力算定式）。これは、津波が防油堤を乗り越えたとしても、そのことを考慮せずに算定する既往の方法〔式 3.2-1～3.2-2〕を改良したものである。ここでいう「既往の方法」は、無限の高さの壁に津波が当たった時に壁に作用する津波波力を最大浸水深のみから算定するものである。しかしながら、実際には、津波の波高が大きければ、津波は防油堤を乗り越えることとなり、乗り越えている部分の流れは防油堤に対しては大きな水平力を及ぼさないので、津波が防油堤を乗り越えている場合に対して「既往の方法」を適用すると、実際の津波波力よりも大きな津波波力を算定してしまうことになる。

そこで、本報告書では、津波が防油堤に及ぼす影響に関する過去の水理模型実験のデータの再整理や数値実験等の作業を通じて、最大浸水深に加えて津波が防油堤を乗り越えるかどうかの場合分けを行うことにより、津波が防油堤を乗り越えた場合でも、より精確に津波波力を算定することのできる方法を作成して示したものである。この方法は本報告書で初めて提案するものである。

なお、津波の流速が防油堤に作用する津波波力に及ぼす影響は、津波が防油堤を乗り越えるかどうかの場合分けを行うことで、一応は考慮されていることになる。

（５）タンクの漂流を予測する方法について

本報告書では、津波によるタンクの漂流に関する水理模型実験等の作業を通じて、屋外貯蔵タンクの２次元漂流軌跡を予測する手法（屋外貯蔵タンク漂流予測手法）を作成して示した〔第３章３．４〕。この方法は、津波伝播シミュレーションから得られる各地点、時々刻々の津波の流速等を入力として、時間領域で表現された運動方程式を水平２方向について解くものである。ただし、この方法は、タンクの漂流を妨害する構造物がまったくないと仮定する場合に適用できるものである。この方法もまた、本報告書で初めて提案するものである。

（６）その他の津波被害の予測方法について

屋外タンク貯蔵所の津波被害形態については、上記(a)～(h)及びタンクの漂流以外のもの

も考えられる。

例えば、屋外貯蔵タンク本体については、傾斜による底板抜け出し又は側板座屈の被害形態が考えられる。本調査検討に係る一連の作業では、これらの被害形態の発生可能性を予測できる式で、(a)～(d)の被害形態に対する「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」のような簡易なものを作ることができるかどうかについての検討を行ってみたものの、結局そのような簡易な式は得られなかった。

また、屋外貯蔵タンクの基礎が盛土基礎である場合には、基礎の洗堀、崩壊といった被害形態が考えられる。さらに、防油堤には、コンクリート擁壁タイプのほかに盛土タイプのものもあり、盛土タイプの防油堤についても、崩壊、洗堀といった被害形態が考えられる。しかしながら、これらの被害形態の発生可能性は、津波伝播シミュレーション等から得られる津波諸量のみから予測することは困難であると見込まれる。このほかに、屋外貯蔵タンク及び防油堤に津波漂流物が衝突するといった被害形態も考えられるが、このような被害形態の発生可能性は、極めて多種多様の条件に左右されると思われる。こうしたことから、本調査検討会では、これらの被害の発生可能性を予測する方法に関する調査検討は将来的な課題とした。

6. 3 我が国の屋外タンク貯蔵所における津波被害のイメージ

屋外タンク貯蔵所における津波被害のイメージは、実際に設置されている個々の屋外タンク貯蔵所の津波被害を予測するという意味での「被害想定」を行うのではなく、一般的に、どの程度の津波であれば、屋外タンク貯蔵所にどういった被害が発生しうるかという観点からの評価を通じて作成しようと考えられた。

これは、本調査検討事業の目的が、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策として有効と考えられるものを提案することであって、具体的にどの屋外タンク貯蔵所でどのような津波被害が見込まれるかという「被害想定」までは、必ずしも必要ではないと考えられたためである。また、ここで用いられる屋外タンク貯蔵所の津波被害予測手法は、あくまでも提案段階のものであり、具体的な「被害想定」を行うには、その確度等について、さらなる検討が必要と考えられるという技術上の理由もある。

(1) 作業手順について

我が国の屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を得るための作業は、次の手順で行った。

- ① 我が国周辺で将来発生しうる大地震で、津波を伴うおそれのあるものが発生した場合において、我が国で屋外貯蔵タンクが立地している場所に到来する津波の最大浸水深及び最大流速等を津波伝播シミュレーションによって予測する。

②防油堤及び屋外貯蔵タンクが当該津波を受けた時の被害発生可能性を「**防油堤の津波被害簡易予測式**」、「**屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式**」及び「**屋外貯蔵タンク漂流予測手法**」を用いて予想する。

手順①における「我が国周辺で将来発生しうる大地震で、津波を伴うおそれのあるもの」は、中央防災会議から想定地震の震源モデル等が示されていること等の理由から、

(a)想定東海地震

(b)想定東海・東南海・南海地震

(c)想定日本海溝・千島海溝における約 500 年間隔の地震

(d)明治三陸地震の再来

の 4 つとした。手順①における「屋外貯蔵タンクが立地している地域」については、上記の 4 つの想定地震のうちのいずれかにより、大きな津波が到来するおそれがあるとされる地域で、現に屋外タンク貯蔵所が立地しているもののうちから 8 つの地域を選んだ。本報告書では、これら 8 つの地域において、それぞれに対して設定された想定地震から予想される津波を「モデル津波」と呼ぶこととし、これら 8 つの「モデル津波」の最大浸水深及び最大流速等を津波伝播シミュレーションによって計算した。

前述のとおり、ここでの作業は、いわゆる「被害想定」を行うものではなく、あくまでも我が国の屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」を得るためのものであることから、手順①の津波伝播シミュレーションは、実際の地形等を忠実に模擬するかわりに、周辺の陸域地形を均一な地盤高さに変更して実施した。また、手順②の作業では、「モデル津波」の場所に実際に立地している防油堤及び屋外貯蔵タンクを対象としてではなく、代表的と考えられる諸元を有する高さ 1.5m の防油堤（仮定防油堤）及び屋外貯蔵タンク（容量 1,000 kℓ（小規模仮定タンク）と容量 10,000 kℓ（中規模仮定タンク）を模擬した 2 種類）が「モデル津波」を受けた場合の被害を予想した。「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」は、ともにアンカー留め等は行われず、ただ地盤面上に置かれただけの状態にあると仮定した。

本報告書で示されている防油堤及び屋外貯蔵タンクの津波被害予想結果は、このような仮定を置いたうえでのものであることから、「モデル津波」が作成された地域についての被害想定ではないことに留意する必要がある。

（２）屋外タンク貯蔵所の津波被害発生可能性の一般的特徴について

屋外貯蔵タンクの「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」及び「内外水压差による側板座屈」の発生可能性は、内容液量に依存する。一般的に、内容液量が多ければ、これらの被害形態は発生しにくい。

これら 4 つの被害形態のうち、最も発生しやすいのは「滑動」であると考えられる。この理由は、①「滑動」が最も小さな津波波力で発生する可能性があることが見出されたこと、②いったん「滑動」してしまえば、もはや「転倒」したり、「内外水压差による側板座

屈」が発生したりする可能性は小さくなると考えられること、である。

さらに、いったん屋外貯蔵タンクが「滑動」すると漂流が始まり、妨害する物がまったくないと仮定すると、「モデル津波」のいくつかについては、タンクは数百メートル程度漂流するおそれがあることがわかった。

防油堤の被害発生可能性については、防油堤がここで仮定している「仮定防油堤」（代表的と考えられる諸元を有する高さ 1.5m のもの）であれば、津波の最大浸水深が 0.5～1.5m の範囲にある値を超えると、「滑動」、「転倒」、「沈下」及び「部材破壊」のうち、いずれかの被害が発生するおそれがあると予想される。

（３）「モデル津波」ごとの屋外タンク貯蔵所の津波被害発生可能性の有無について

津波伝播シミュレーションにより、８つの「モデル津波」のうち、１つについては、最大浸水深は 0m（浸水なし）と計算され、この「モデル津波」では、屋外タンク貯蔵所（防油堤及び屋外貯蔵タンク）には被害は発生しないと予想された。

残りの 7 つの「モデル津波」についての津波伝播シミュレーションでは、「仮定防油堤」（高さ 1.5m）は、最大浸水深 0.3～4.5m の津波を受けるとの計算結果となった。これらの 7 つの「モデル津波」のうち、防油堤が受ける最大浸水深が 0.5m 以下である 2 つの「モデル津波」では、「仮定防油堤」に被害は発生しないと予想された。一方、防油堤が受ける最大浸水深が 1.5m 以上である残り 5 つの「モデル津波」では、「仮定防油堤」に、「滑動」、「転倒」、「沈下」及び「部材破壊」のいずれかが発生する可能性があるとして予想された。

「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」については、仮に、「仮定防油堤」が津波を受けても被害が生じないとすると、津波伝播シミュレーションの結果、８つの「モデル津波」のうち 4 つで、タンクは津波を受けないか又は受けても最大浸水深 0.03m 程度の小さな津波であると計算された。その結果、「小規模仮定タンク」及び「中規模仮定タンク」には被害は発生しないと予想された。

一方、残り 4 つの「モデル津波」では、「仮定防油堤」が津波を受けて被害が生じなかったとしても、「小規模仮定タンク」又は「中規模仮定タンク」は、最大浸水深 0.7～4.4m、最大流速 0.4～1.9m/s の津波を受けるとの計算結果となった。

これら 4 つの「モデル津波」のうち、「小規模仮定タンク」又は「中規模仮定タンク」が受ける最大浸水深が 1m 程度である 1 つの「モデル津波」では、「中規模仮定タンク」の「滑動」は予想されなかったが、「小規模仮定タンク」の「滑動」は予想された。しかし、この場合においても、内容液量がタンク容量の 10% 以上あれば、「小規模仮定タンク」は「滑動」しないと予想された。

残り 3 つの「モデル津波」では、「小規模仮定タンク」又は「中規模仮定タンク」は、最大浸水深が 2.1～4.4m という大きな津波を受けるとの計算結果となった。これらの「モデル津波」では、内容液量にもよるが、「小規模仮定タンク」、「中規模仮定タンク」とともに「滑動」発生のあることが予想された。ただし、「小規模仮定タンク」については、最

大浸水深が 4.4m の「モデル津波」であっても、内容液量が容量の約 60%以上あれば「滑動」せず、「中規模仮定タンク」については、同じく最大浸水深が 4.4m の「モデル津波」であっても、内容液量が容量の約 20%以上あれば「滑動」しないという予想になった。

本報告書で取り上げた 8 つの「モデル津波」は、第 4 章で述べたように、我が国周辺で想定されている大地震が発生した場合に、大きな津波が到来すると予想されている地域で、かつ、現に海岸近くに屋外タンク貯蔵所が設置されている地域に該当する地域をいくつか選んで作成されたものではあるものの、この選び方は、必ずしも悉皆的な調査に基づくものではないため、実際に屋外タンク貯蔵所の津波被害の予想を実施する場合においては、対象地点によっては屋外タンク貯蔵所が受ける津波の最大浸水深が 4.4m 程度を越える可能性もある。ただし、このような場合であっても、防油堤の被害発生可能性は、本報告書で提案する「防油堤に作用する津波波力の算定方法」と「防油堤の津波被害簡易予測式」により予測することができる。また、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の作用高さ、すなわち、方法 A [式 3.2-9～3.2-16] 又は方法 B [式 3.2-17～3.2-18] における $\alpha\eta_{\max}$ が屋外貯蔵タンクの高さを超えなければ、方法 A 又は方法 B により、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力を算定し、「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」により屋外貯蔵タンクの被害発生可能性を予測することができる。

6. 4 屋外タンク貯蔵所の周囲で講じる津波被害予防・軽減対策の効果と実現可能性

(1) 屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策に関する基本的な考え方について

屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策は、屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止することを目標としたものとするのが適当と考えられる。

その理由は次に掲げるとおりである。

- ①我が国の屋外タンク貯蔵所における津波時の「被害イメージ」作成の作業の結果、屋外貯蔵タンクの津波被害発生可能性については、「浮き上がり」、「滑動」、「転倒」、「内外水圧差による側板座屈」の 4 つの被害形態のなかでは、「滑動」が最も発生しやすいと考えられたこと。
- ②屋外貯蔵タンクが「滑動」し、その滑動量が大きいと、タンクと配管等との接続部等が切断し、その結果、危険物が流出するおそれが生じること。
- ③いったん屋外貯蔵タンクが「滑動」すると漂流が始まり、妨害する物がまったくないと仮定すると、場合によっては、タンクが数百メートル程度漂流するおそれがあること。
- ④タンクが漂流し始めるという事態に備えて、タンクの漂流を食い止める構造物をタンクの周囲に設置するという対策も考えられなくはないが、タンクがこのような構造物に衝突した場合には、タンクに損傷が生じ、危険物が流出する蓋然性が高いこと。

また、防油堤については、津波波力により防油堤に被害が生じることを避けることを目標とするのが適当と考えられる。

その理由は次に掲げるとおりである。

- (a) 防油堤が津波によって損壊すると、その破片等防油堤の一部が、津波に流されて屋外貯蔵タンクに衝突し、屋外貯蔵タンクに損傷を与えかねないこと。
- (b) 地震動等の影響で屋外貯蔵タンクが損傷し、屋外貯蔵タンクから危険物が流出する事態が生じた場合において、防油堤が津波を受けて防油堤としての機能を失うと、危険物が防油堤外に流出し、津波によって拡散してしまうといった被害が発生するおそれがあること。

(2) 屋外貯蔵タンクの「滑動」の防止対策として考えられるものについて

上記(1)で示した基本的な考え方に基づいて、屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止するには、どのような対策が考えられるかについて考察を行った結果、概念的には、屋外貯蔵タンクの「滑動」は、次のいずれかの考え方に基づくことにより防止することが可能であると整理された。

- ① タンクに作用する水平方向及び鉛直方向の津波波力を低減させるという考え方
- ② タンク本体（内容液を含む）の重量を増加させるという考え方
- ③ タンクが有する「滑動」に対する抵抗力を増加させるという考え方

次に、これら3つの考え方に基づいて考え出される具体的対策案を列挙し、各具体的対策案について、その効果、実現性及び弊害を評価した。その結果、次の3つの対策案が有効かつ現実的である可能性があると考えられた。

- (a) 防油堤の高さをかさ上げする対策
- (b) 防油堤の外側に津波防護壁を設置する対策
- (c) タンクをアンカーで留める対策

これらのうち、(a)と(b)は①の考え方に基づくもの、(c)は③の考え方に基づくものである。なお、②の考え方に基づく対策で有効かつ現実的なものは、見出すことができなかった。

ここでは、(a)と(c)の効果及び対策工の規模が評価された。(b)に対する評価が行われなかったのは、その効果及び対策工の規模は(a)と共通する部分が大きいと考えられたからである。

(3) 防油堤の屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策の効果について

防油堤が津波により被害を受けないものであると仮定すると、防油堤の高さをかさ上げすれば、防油堤内における津波の最大浸水深または最大流速が低減され、その結果として屋外貯蔵タンクに作用する津波波力も低減されることになるため、屋外貯蔵タンクに「滑動」が発生する可能性を小さくすることができる効果が得られることがわかった。ただし、防油堤の高さをかさ上げすれば、必ず津波波力の低減効果が得られるというわけではなく、津波の高さが大きい場合においては、かさ上げ高さが不十分であると津波波力の低減効果がまったく得られないということがあることもわかった。従って、かさ上げ高さは、想定される津波の高さを考慮して検討される必要がある。

一方、前述のとおり、「仮定防油堤」が「モデル津波」を受けた場合には、津波の最大浸水深が0.5～1.5mの範囲にある値を超えると、「仮定防油堤」には、「滑動」、「転倒」、「沈下」及び「部材破壊」のうちいずれかの被害が発生する可能性があることが予想された。こうしたことから、防油堤に津波波力の低減効果を期待するならば、防油堤は、津波により被

害を受けないように設計されている必要がある。

そこで、本調査検討会では、防油堤の高さを当該防油堤内の屋外貯蔵タンクの「滑動」の発生可能性を小さくすることができるようなものとする場合、防油堤をどのように設計すれば、津波により被害を受けないようなものとするができるかについて、「モデル津波」を用いて検討を行った。ここでの「防油堤の高さ」は、「モデル津波」に応じて異なり、1.5、2、3m のいずれかである。ただし、「モデル津波」の 1 つについては、津波の浸水深等が大きく、防油堤の高さを 3m としても、防油堤内の屋外貯蔵タンクの「滑動」の発生可能性を小さくすることができなかつたものである。本検討作業上の防油堤の設計は、「防油堤の構造等に関する運用基準について」（昭和 52 年 11 月 14 日付け消防危第 162 号）で示されている「防油堤の構造指針」を参考とした。

検討の結果、「モデル津波」を見る限り、津波の最大浸水深が 1.5m 程度以下であれば、必要とされる防油堤の規模は、「仮定防油堤」の規模に照らしてさほど大きなものではなく、既存の防油堤の改修又は取替設置といった程度の工事により、津波に耐えられる防油堤にすることができることがわかった。しかし、同じく「モデル津波」を見る限り、津波の最大浸水深が 1.5m 程度を上回る場合には、津波に耐えられる防油堤を設計すること自体は可能であるものの、必要とされる防油堤の規模はその高さを含め常識的とは言えないくらい大きなものとなるとともに、防油堤の高さから防油堤内が見にくくなること、消防活動等に悪影響を与えかねないこと等の弊害も生じるおそれもあることから、このような場合には、防油堤の高さのかさ上げによる対策は必ずしも適当な選択肢とは言えないと考えられる。

（４）アンカーの屋外タンク貯蔵所の津波被害予防・軽減対策の効果について

前述のとおり、防油堤の高さのかさ上げによって、屋外貯蔵タンクの「滑動」防止を図ろうとした場合には、津波の高さによっては、必要となるかさ上げ高さが相当大きくなり、その結果、津波に耐えるために必要となる防油堤の全体的な規模も相当大きなものとなることから、防油堤の高さのかさ上げが、必ずしも適当な選択肢とはならない場合も考えられる。

このような場合の対策案の 1 つとして、屋外貯蔵タンクをアンカーで留めることにより、屋外貯蔵タンクの「滑動」に対する抵抗力を増加させるという考え方がありうる。

こうしたことから、本調査検討会では、アンカーをどのように打設すれば、屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止する効果が得られるかについて検討を行った。本検討に係る作業では、「仮定防油堤」（高さ 1.5m）を乗り越えた「モデル津波」の津波波力が、「仮定小規模タンク」（容量 1,000 kℓ）及び「仮定中規模タンク」（容量 10,000 kℓ）に作用した場合において、「仮定小規模タンク」及び「仮定中規模タンク」が「滑動」しないようにするのに必要なアンカー打設箇所数及び 1 箇所当たりのアンカー打設本数を求めた。検討上想定したアンカーの打設工法は、「あと施工アンカー」*を「ケミカルアンカー設計指針」（昭和 60 年・社団法人建築研究振興協会）に沿って実施するものとした。

その結果、「モデル津波」を見る限り、「仮定小規模タンク」については、「滑動」を防止するのに必要なアンカー打設箇所数及び 1 箇所当たりのアンカー打設本数は、実際のタンク

*コンクリート等にあと付けする固着機能を有するものをいう。土木・建築コンクリート構造物に固着するアンカーは、コンクリート打設前にアンカーを所定の位置に設置後、コンクリートを打設してアンカーを固着させる「先付けアンカー工法」とコンクリート硬化後に穿孔しアンカーを固着させる「あと施工アンカー工法」に大別される。

に施工されているアンカー留めの状況に照らして現実的であると言えなくもない程度のも
のとなった（最大の「モデル津波」に対する対策工の規模は、アンカー打設箇所数及び 1
箇所当たりのアンカー打設本数は、それぞれ 16 箇所及び 2 本、アンカーの径は 32mm）。

しかしながら、同じく「モデル津波」を見る限り、「仮定中規模タンク」については、「滑
動」を防止するのに必要なアンカー打設箇所数及び 1 箇所当たりのアンカー打設本数は、
常識的とは言えないくらい多くなった（最大の「モデル津波」に対する対策工の規模は、
アンカー打設箇所数及び 1 箇所当たりのアンカー打設本数は、それぞれ 32 箇所及び 3 本、
アンカーの径は 38mm）。

このように、アンカー留めによって容量 1,000 kℓ級の屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止
するという対策は、決して非現実的なものではないと思われるが、屋外貯蔵タンクをアン
カーで強く固定すると、次のような問題点の指摘もあることから、アンカー留めの対策を
検討する際には、これらの問題点に対する安全性を検討する必要がある。

問題点のひとつは、以上の検討作業では、アンカーに作用する引抜力及びせん断力に対
してアンカーが耐えられるかどうかの評価が行われており、アンカーがタンクに作用する
力に対するタンクの安全性が評価されておらず、この意味でのタンクの安全性の確認が別
途必要であると考えられることである。

加えて、屋外貯蔵タンクが基礎に固定された状況下で、タンクの底部鋼板の下に水が浸
入すると、タンクの底部鋼板に揚圧力が作用することとなり、このような場合には、とく
にタンクの底部鋼板の隅角部付近に大きな応力が発生するおそれがあることから、このよ
うな事象に対するタンクの安全性の確認が別途必要であると考えられることである。

これらの問題点については、屋外貯蔵タンクの構造上の特徴を十分に踏まえた詳細な技
術的調査検討が必要であり、本調査検討会ではこれらの問題点に関する調査検討は将来的
な課題とした。

6. 5 屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策の検討フローの例

以上の調査検討結果を踏まえ、今後、各地域等で危険物施設等の津波・浸水対策が検討課
題の一部として含まれるような防災対策の検討が行われる場合において、こうした検討の
場に活用されうる技術的情報の一つとして、屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予
防・軽減対策の「検討フロー」の例を示す。

ここで示す「検討フロー」は次の考え方に立脚している。

- （１）津波に対しては、防波堤、海岸堤防等の津波対策等の構造物の設置によって一定範
囲の地域を津波から防護することが基本的な対策ではあるが、津波対策等の構造物
が設置されていたとしても、屋外タンク貯蔵所が津波を受けることが避けられない
場合はありうるものと考えられること。
- （２）そのような場合への備えとして、屋外タンク貯蔵所の周囲で補完的、追加的な対策を
講ずることを検討することが考えられるが、そのような検討の場合において、対策を
立案するうえでの一つの考え方として活用されることを期待して示されるものであ
ること。

- (3) 屋外貯蔵タンクの津波対策の目標は、「滑動」を防止することとすることが適当と考えられること。
- (4) 防油堤の津波対策の目標は、防油堤に被害が生じることを防止することとすることが適当と考えられること。
- (5) 屋外タンク貯蔵所の周囲において講じる津波・浸水被害の予防・軽減対策として有効かつ現実的と考えられるものは、次の(a)～(c)のいずれか、又はこれらの組み合わせであること。しかしながら、津波の大きさやタンクの規模等によっては、これらの対策が有効かつ現実的でない場合があること。
- (a)防油堤の高さをかさ上げる対策
- (b)防油堤の外側に津波防護壁を設置する対策
- (c)タンクをアンカーで留める対策
- (6) 津波の規模がある程度の大きさまでならば、屋外タンク貯蔵所の周囲において、現実的に可能な範囲で、防油堤の津波被害を防止し、屋外貯蔵タンクの「滑動」を防止する対策を講ずることができるものと考えられるので、上記(3)及び(4)の目標を達成しようとするのであれば、屋外タンク貯蔵所が受ける津波が当該程度の大きさ以下であるよう、防波堤、海岸堤防等の津波対策等の構造物等は設計される必要があると考えられること。

図 6-1 に、「屋外タンク貯蔵所の周囲で津波被害予防・軽減対策の検討フロー」の一例を示す。

以下、この図に従って、検討の流れを説明する。

- ① まず、検討対象とする屋外タンク貯蔵所と想定地震を設定する。屋外タンク貯蔵所のタンク本体については、「滑動」発生可能性の予測のために、内容液の重量を含めたタンク重量に関する情報が必要である。防油堤については、「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の被害の発生可能性を予測するために、防油堤の構造に関するやや詳細な諸元が必要である。また、想定地震の設定には、想定される地震の規模や震源断層の大きさ、位置等に関する情報が必要であるが、これらは、中央防災会議、地震調査研究推進本部等の資料を参照することができる。
- ② 予想される津波によって防油堤に被害が発生するかどうかを予測する。防油堤の「滑動」、「転倒」、「沈下」、「部材破壊」の発生可能性の予測は、第3章で提案されている「**防油堤の津波被害簡易予測式**」[表 3.3-1]を用いて行うことができる。その際、防油堤に作用する津波波力が必要となるが、これもまた、第3章で提案されている「**防油堤の津波波力算定式**」[式 3.2-6～3.2-7]を用いて算定することができる。この「**防油堤の津波波力算定式**」は、防油堤設置位置での津波の最大浸水深から防油堤に作用する津波波力を算定する方法である。防油堤設置位置での津波の最大浸水深は、**津波伝播シミュレーション**を行うことにより得ることができる。なお、第3章で提案されている「**防油堤の津波波力算定式**」を用いる場合には、**津波伝播シミュレーション**は、仮に、防油堤もタンクもないとした場合の数値モデルに対して行うものとなる。また、すでに最大浸水深が示された「**津波ハザードマップ**」等が作成されている場合には、それから読み取ることも可能である。
- ③ 前記②の手続きにおいて、防油堤には津波被害は発生しないと予想される場合には、

タンクに「滑動」が発生するかどうかを予測する。タンクの「滑動」の発生可能性の予測は、第3章で提案されている「**屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式**」[表 3.3-2]を用いて行うことができる。その際、タンクに作用する津波波力が必要となるが、これもまた、第3章で提案されている「**屋外貯蔵タンクの津波波力算定式**」の「**方法 A**」[式 3.2-9～3.2-16]又は「**方法 B**」[式 3.2-17～3.2-18]を用いて算定することができる。

「**方法 A**」は、タンク設置位置での津波の最大浸水深のみからタンクに作用する津波波力を算定する方法で、すでに「**津波ハザードマップ**」等で、タンク設置位置での津波の最大浸水深の予想結果が示されている場合に用いることができる。「**方法 B**」は、タンク設置位置での津波の最大浸水深と最大流速からタンクに作用する津波波力を算定する方法であり、**津波伝播シミュレーション**からタンク設置位置での最大浸水深と最大流速が求められている、あるいは求められる場合に用いることができる。なお、第3章で提案されている「**屋外貯蔵タンクの津波波力算定式**」を用いる場合には、**津波伝播シミュレーション**は、仮に、タンクはなく防油堤のみがあるとした場合の数値モデルに対して行うものとなる。「**方法 A**」は、タンクに作用する津波波力を実際よりも過大に算定する可能性がある。一方、「**方法 B**」は「**方法 A**」に比べてタンクに作用する津波波力をより精確に算定することができるため、最大浸水深のほかに最大流速に関する情報が必要ではあるものの、「**方法 B**」を用いるほうが望ましい。

- ④ 前記③の手続きにおいて、タンクに滑動が発生すると予想される場合には、タンクの滑動防止対策を検討する。ここでは、「**防油堤のかさ上げ及びそれに伴う防油堤の構造強化**」、「**防油堤周囲への津波防護壁の設置**」、「**タンク本体のアンカー留め又はその増強・増設**」のいずれか又はその組み合わせで、タンクの「滑動」が防止できるかどうか検討する。なお、「**防油堤のかさ上げ及びそれに伴う防油堤の構造強化**」の「防油堤の構造強化」は、防油堤のかさ上げに伴って、防油堤が受ける津波波力が大きくなることから、かさ上げによって防油堤が津波により被害を受けるおそれが生じる場合には、構造の強化が必要となるものである。また、「**タンク本体のアンカー留め又はその増強・増設**」を選択するに当たっては、(イ)アンカーがタンクに作用する力に対するタンクの安全性、(ロ)タンク底部鋼板に作用する揚圧力に対する隅角部付近の安全性等が確認される必要がある。
- ⑤ 前記④の検討において、屋外タンク貯蔵所が受ける津波が大きく、屋外タンク貯蔵所の周囲で講ずる津波対策では、その対策工の規模の大きさ又はその弊害等から、タンクの「滑動」を防止することは困難であると考えられる場合には、屋外タンク貯蔵所が受ける津波の大きさを、少なくとも、屋外タンク貯蔵所の周囲で講ずる津波対策がその効力を発揮できる程度まで軽減するための対策を検討する。これには、例えば、防波堤、海岸堤防、胸壁等の津波対策等の構造物のかさ上げといった対策が考えられる。
- ⑥ 前記②の手続きにおいて、防油堤に津波被害が発生すると予想される場合には、防油堤の構造を強化することにより、防油堤が津波により被害を受けないものとするところである。この場合、防油堤の高さは現状のままとする。この検討において、防油堤が受ける津波が大きく、防油堤が津波により被害を受けないようにするためには、防油堤の規模が大きくなりすぎる等の理由から、対策が困難であると考えられる場合には、⑤の検討（屋外タンク貯蔵所が受ける津波の大きさを軽減する

対策の検討）を実施する。

- ⑦ 前記⑥の検討において、防油堤の構造を強化することにより、防油堤には津波による被害が発生しなくなるものと考えられる場合には、防油堤の構造強化の実施を計画するとともに、仮に、防油堤の構造が強化されたものとして、タンクに「滑動」が発生するかどうかを予測する。その結果、タンクに「滑動」が発生すると予想される場合には、④の検討（タンクの滑動防止対策の検討）を実施する。

屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策の検討フローの例

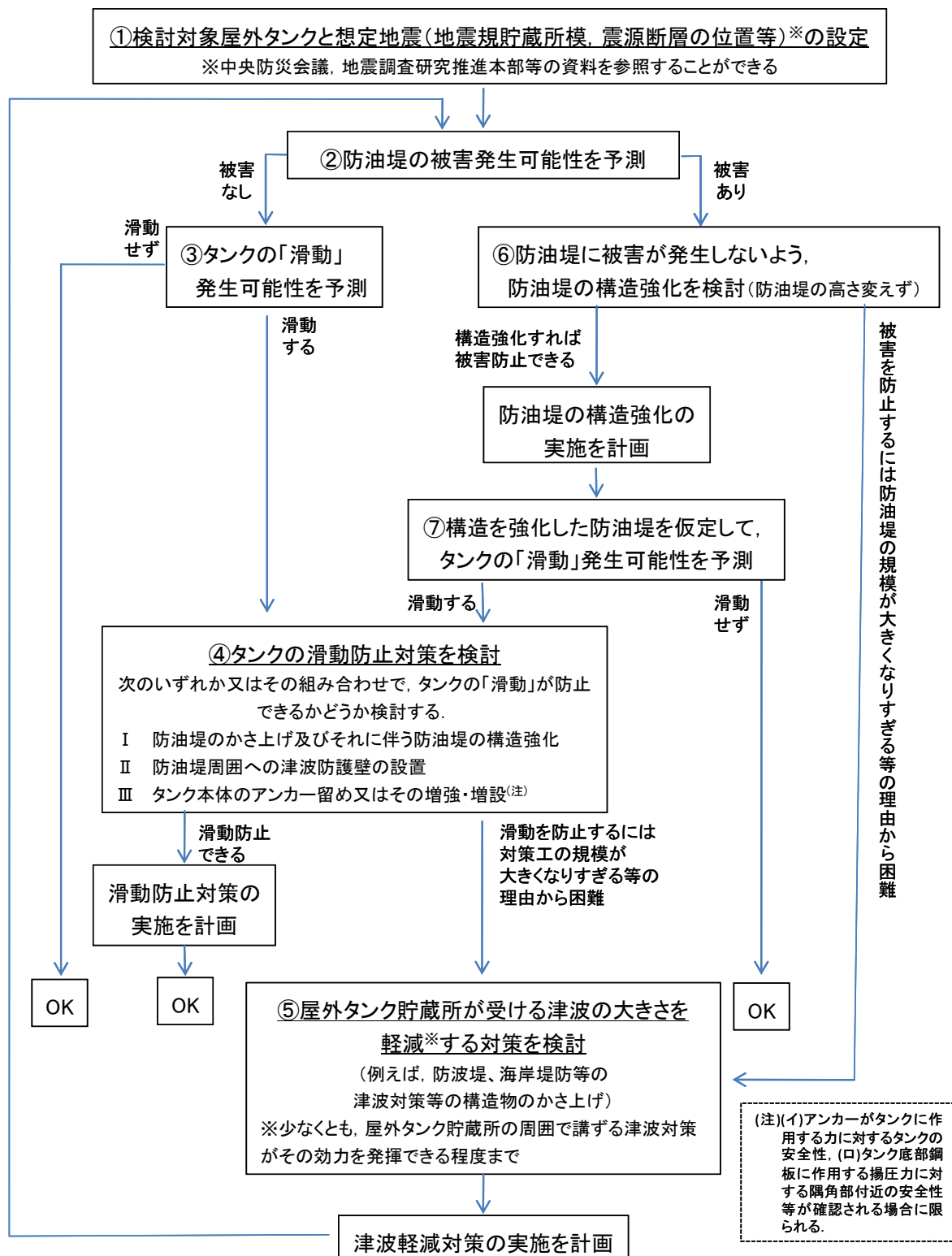


図 6-1 屋外タンク貯蔵所の周囲における津波被害予防・軽減対策の検討フローの一例

6. 6 おわりに

本調査検討は、①2004年12月26日に発生したスマトラ島沖地震によるインド洋大津波により、スマトラ島沿岸部の石油貯蔵施設に、タンクが損傷したり、タンクが数百メートルにわたって漂流したりする等の大きな被害が生じたこと、②我が国においても、危険物屋外貯蔵タンクに代表される大規模危険物施設の多くは、沿岸部に設置されており、今世紀前半にも発生するおそれがあると指摘されている東南海地震や日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震等の大地震が発生した場合には、それに伴う津波に見舞われるおそれがあるものと思われること等に鑑み実施してきたものであるが、有識者らによる「津波対策検討委員会提言」（平成17年3月；国土交通省）¹⁾でも、「わが国の津波対策の現状と課題」の一つとして、「臨海部にLNG等有害危険物（HNS）[†]の貯蔵施設等が多く立地。多くの場合これらの施設は津波に対して未対策。」と指摘されており、本指摘が石油類貯蔵施設に対しても向けられているものであるとすれば、本報告書は、この問題提起に対する一つの取り組みとしても位置づけられるものと考えられる。

危険物施設の津波対策は、政府全体としても、地震防災・減災上の課題の一つとしてとらえられている。平成18年2月に中央防災会議においてとりまとめられた「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震大綱」⁴⁾では、「石油・LPG等の危険物・可燃物の貯蔵施設が津波により損傷し、石油・LPG等が漏洩・流出することによる被害拡大を防ぐため、国、地方公共団体、関係事業者は、施設の強化・漏洩防止措置や、周辺地域におけるオイルフェンスの配備等の拡散防止対策の強化を促進する。」と記されている。

さらに、同じく中央防災会議において平成20年12月にとりまとめられた「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略」⁵⁾では、「国は、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害を受けるおそれのある地方公共団体に対して、減災目標の意義、必要性について認識を共有しつつ、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略を踏まえて、数値目標、達成時期、対策の内容等を明示する「地域目標」を定めることを要請し、地方公共団体は「地域目標」の設定に努めるものとする。」ということがうたわれているなど、地域レベルにおける、津波を含む地震防災対策の検討が進められようとしているところでもある。前節の6. 5で例示した「検討フロー」をはじめとする本調査検討結果は、このような日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に対する地方公共団体等の取り組みや、津波を伴う他の想定大地震に対する取り組みを進めるうえで役立つものと考えられる。

屋外タンク貯蔵所に代表される大規模危険物施設に焦点をあてた津波・浸水対策に係る調査検討は、今回初めての試みであり、本報告書で提案した「屋外タンク貯蔵所の津波被害簡易予測手法も提案段階のものであって、その確度については、実際に発生した被害との照合等により検証される必要があるものと考えられる。また、本報告書では、いくつかの課題について、「将来的な課題」としたものもある。危険物施設の津波・浸水対策については、今後さらに自治体、事業者等の関係者においても議論を深め、効果的な対策が検討されることを期待したい。

[†] Hazardous and Noxious Substances の略。「危険物質及び有害物質」と訳される。「HNS」とは「油以外の物質であって、その海洋環境への流出が人体に危害を及ぼし、生物資源及び海洋生物を害し、環境に損害を与え、または他の海洋の正当な使用を妨げる可能性のあるもの」とされる。

文 献

- 1) 「津波対策検討委員会提言」，平成 17 年 3 月，津波対策検討委員会
- 2) 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」（第 14 回），資料 2，「東南海、南海地震の被害想定について」，平成 15 年 9 月 17 日，中央防災会議事務局
- 3) 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定について」，平成 18 年 1 月 25 日，中央防災会議事務局
- 4) 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震大綱」，平成 18 年 2 月 17 日，中央防災会議
- 5) 「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の地震防災戦略」，平成 20 年 12 月 12 日，中央防災会議

資料— 1 タンク本体の底板抜け出しと側板下部座屈の被害予測手法に関する検討

1. 検討概要

津波水平波力と津波鉛直波力がタンクに作用した場合、タンクが傾くことによって底部が浮き上がる可能性がある。これに伴って、タンク本体には、図 1.1-1 に示すような「底板抜け出し」や「側板下部座屈」が発生することが考えられる。

そこで、津波波力がタンクに作用した場合におけるタンク底板と側板下部の変位及び発生応力を把握することを目的として FEM 解析を実施した。さらに、「底板抜け出し」と「側板下部座屈」の発生可能性を簡易に評価する方法の作成を試みた。

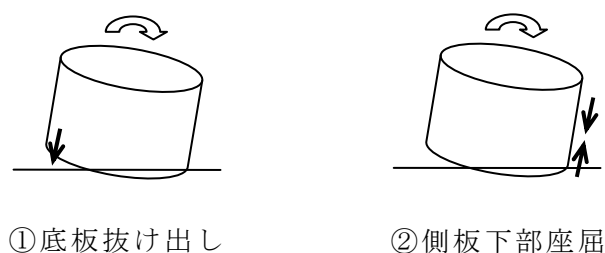


図 1.1-1 検討対象とした被害モード

FEM 解析では、タンクが津波を受けた場合のタンクの大変形効果と底部と基礎の接触を考慮した弾性静解析を実施することにより、タンクの変形量やタンクに発生する応力を計算した。

FEM 解析は下記の条件に対して実施した。

- 1) タンクの大きさ：小規模タンク（容量 960 kℓ）または中規模タンク（容量 9922 kℓ）
- 2) タンク内液高：最高液面高の 30%または 60%
- 3) 作用する津波波力（津波浸水深を 0m から 6m まで段階的に変化）

本報告書第 3 章では、タンクが津波を受けたときにタンクに起こりうる被害形態の一つとして考えられる「滑動」に対する「津波被害簡易予測式」を提案している。ここではまず、「津波被害簡易予測式」による「滑動」発生可能性に関する評価結果と FEM 解析結果を照合することにより、「滑動」発生可能性に関する「津波被害簡易予測式」と FEM 解析結果が調和的であるかどうか調べた。

次に、「底板抜け出し」の発生の可能性を、津波を受けるタンクの津波上流側の底板の浮き上がり変位とそれによって発生する応力から調べるとともに、「側板下部座屈」の発生の

可能性を、同じく津波を受けるタンクの津波下流側の側板下部の軸方向圧縮応力から調べた。

最後に、「底板抜け出し」と「側板下部座屈」の発生可能性を評価するための簡易式を試作し、その有効性を調べるために FEM 解析による結果と比較した。

2. 津波による屋外貯蔵タンクの挙動解析

(1) 解析対象のタンク

FEM 解析では、容量約 1,000 kℓの小規模タンクと、容量約 10,000 kℓの中規模タンクを対象とした。解析対象タンクの諸元は、図 1.2-1 (小規模タンク)、図 1.2-2 (中規模タンク) に示す実機の形状・寸法を参考に、タンク内径、タンク高さ、各段の板厚等を表 1.2-1 (小規模タンク)、表 1.2-2 (中規模タンク) に示す値によって設定した。

タンクには、アンカーは打設されていないものと仮定した。また、中規模タンクには、ウインドガーダーが設けられているものとした。

内容液高は各々のタンクについて、下記に示す 2 ケースを設定した。

①小規模タンク

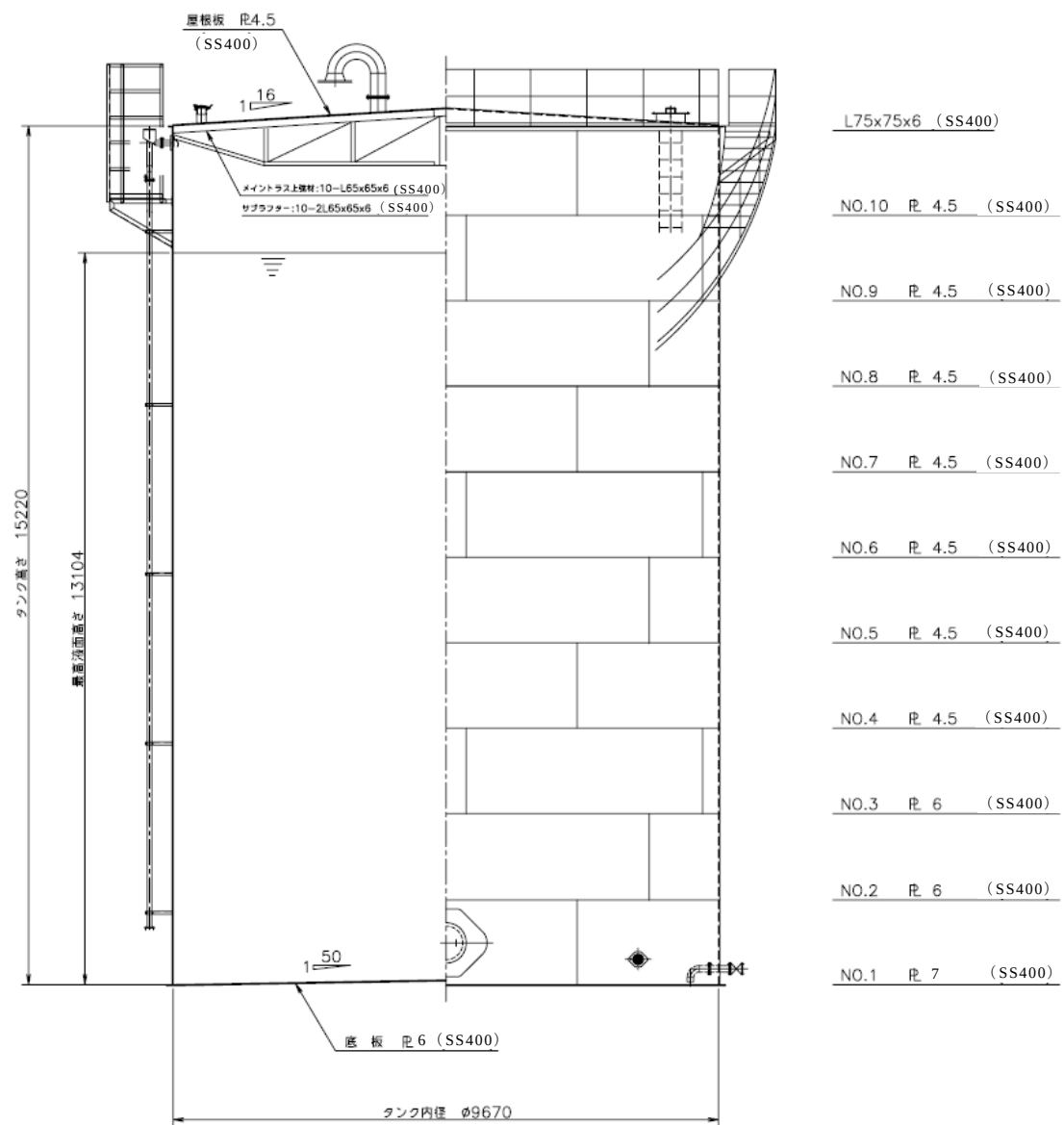
ケース 1：最高液面高の 30% ($13,104\text{mm} \times 0.3 = 3,931\text{mm}$)

ケース 2：最高液面高の 60% ($13,104\text{mm} \times 0.6 = 7,862\text{mm}$)

②中規模タンク

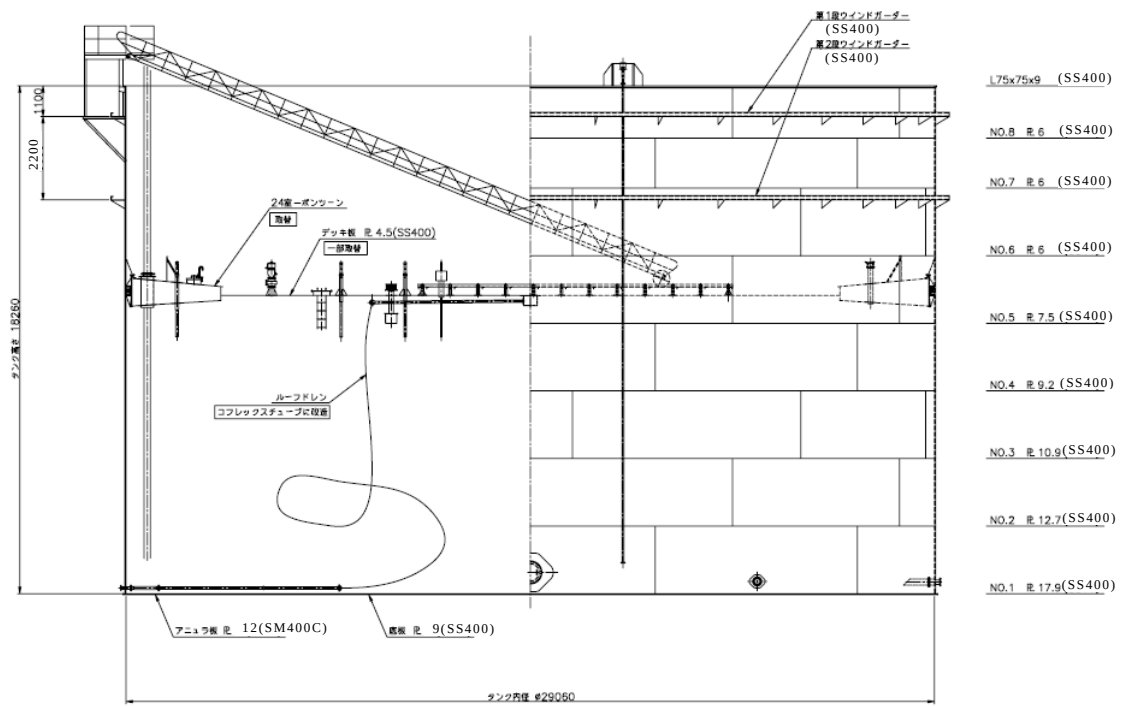
ケース 1：最高液面高の 30% ($14,960\text{mm} \times 0.3 = 4,488\text{mm}$)

ケース 2：最高液面高の 60% ($14,960\text{mm} \times 0.6 = 8,976\text{mm}$)



(mm)

図 1.2-1 小規模タンクの全体図



(mm)

図 1.2-2 中規模タンクの全体図

表 1.2-1 FEM 解析に用いた小規模タンクの諸元

側部 (単位体積重量として載荷)

1522.0 mm/段

段	重量 (kN)	タンク内 径 ϕ (mm)	板厚 t(mm)	V(mm ³)	単位体積重量 (N/mm ³)
10	19.9	9670	4.5	208,067,147	9.5642E-05
9	17.1	9670	4.5	208,067,147	8.2185E-05
8	17.1	9670	4.5	208,067,147	8.2185E-05
7	17.1	9670	4.5	208,067,147	8.2185E-05
6	17.1	9670	4.5	208,067,147	8.2185E-05
5	17.1	9670	4.5	208,067,147	8.2185E-05
4	17.1	9670	4.5	208,067,147	8.2185E-05
3	22.4	9670	6.0	277,422,863	8.0743E-05
2	22.4	9670	6.0	277,422,863	8.0743E-05
1	32.8	9670	7.0	323,660,007	1.0134E-04
総重量	200.1				

屋根部 (側板頂部円周上に載荷)

	重量 (kN)	タンク内 径 ϕ (mm)	ヒッチ (度)	節点荷重(N)
屋根板	26.0	-	-	-
屋根骨	14.7	-	-	-
屋根付属品	5.0	-	-	-
トップアングル	2.1	-	-	-
総重量	47.8	9670	5.0	663.89
			2.5	(端部) 331.94

底部 (単位体積重量として載荷)

	重量 (kN)	タンク内 径 ϕ (mm)	t(mm)	V(mm ³)	単位体積重量 (N/mm ³)
底部総重量	59.4	9670	6.0	440,650,310	1.3480E-04

	全断面	半断面
タンク総重量(kN)	307.3	153.7

表 1.2-2 FEM 解析に用いた中規模タンクの諸元

側部

φ 29060 mm

段	重量 (kN)	高さ (mm)	板厚 t(mm)	V(mm ³)	単位体積重量 (N/mm ³)
8	139.6	1802.5	6.0	987,351,991	1.4139E-04
7	119.3	1802.5	6.0	987,351,991	1.2083E-04
6	128.2	2430.0	6.0	1,331,076,471	9.6313E-05
5	153.8	2430.0	7.5	1,663,845,589	9.2436E-05
4	161.9	2430.0	9.2	2,040,983,922	7.9324E-05
3	190.9	2430.0	10.9	2,418,122,256	7.8946E-05
2	221.7	2430.0	12.7	2,817,445,197	7.8688E-05
1	325.9	2430.0	17.9	3,971,044,805	8.2069E-05
総重量	1441.3	18185.0			

	重量 (kN)	タンク内 径 φ(mm)	ピッチ (度)	節点荷重(N)
浮き屋根	700.0	-	-	-
トップアングル	8.9	29060	2.0	49.44
			1.0	24.72

底部

	重量 (kN)	-	t(mm)	A(mm ²)	単位体積重量 (N/mm ³)
底部	372.7	-	9.0	533,016,412	7.7692E-05
アニュラ板	128.0	-	12.0	130,241,721	8.1899E-05

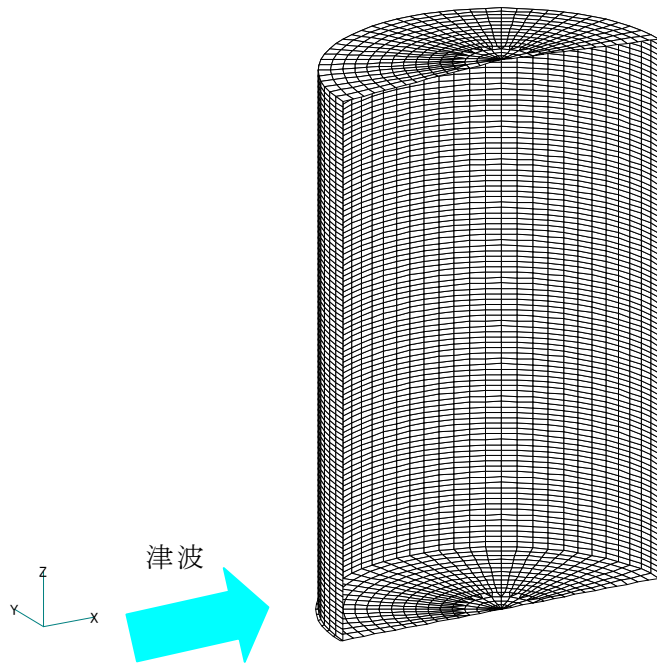
	全断面	半断面
タンク総重量(kN)	2650.9	1325.5

（２）解析モデルおよび解析条件

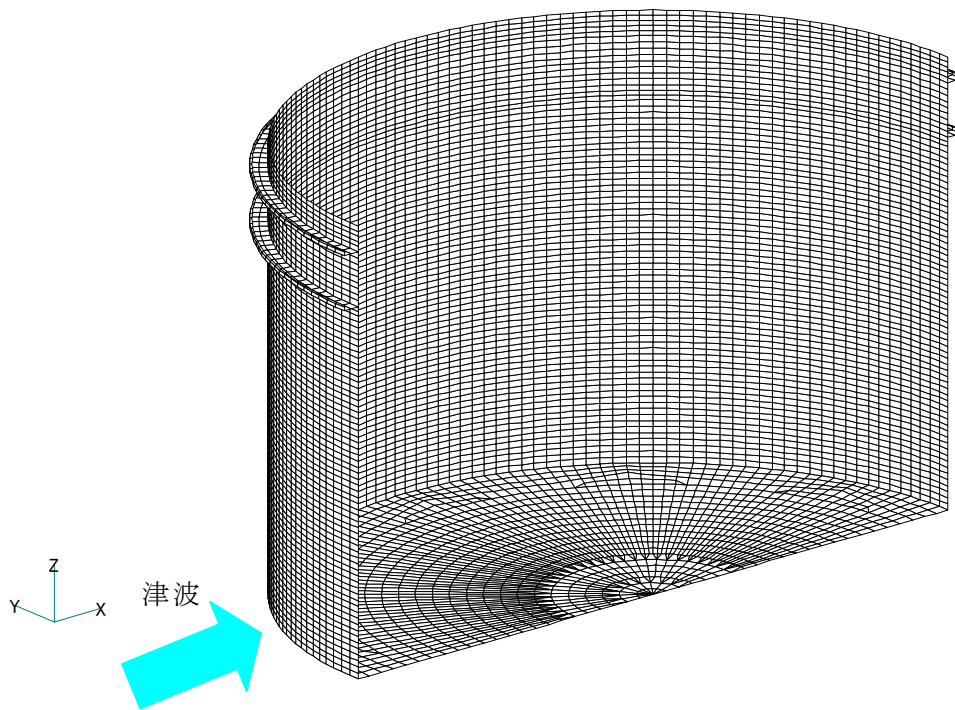
（a）解析モデル

図 1.2-3 に解析で使用した 3 次元有限要素モデルを示す。タンクの形状、構造およびタンクに作用する津波波力の対称性により、タンクは 1/2 対称(180 度)モデルとし、シェル要素でモデル化した。

解析プログラムは、汎用非線形有限要素法解析ソフト FINAS (Ver.17.1) を使用した。材料の応力とひずみは線形関係、構造物の荷重と変位の関係は非線形関係（幾何学的非線形）であると仮定して静的解析を実施した。



(1) 小規模タンク



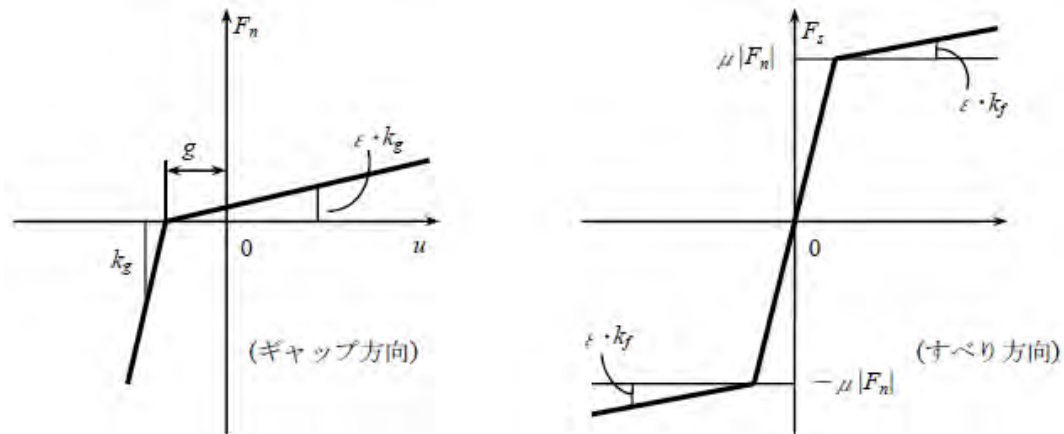
(2) 中規模タンク

図 1.2-3 タンクの有限要素モデル

(b) 解析条件

① 底板と地盤間の境界条件

タンク底板と地盤（基礎）の結合には、図 1.2-4 に示すように接触要素（GAP 要素）を用いた。今回用いている接触要素は、圧縮方向の力（鉛直方向下向きの力）に対する変形に対してのみ反力を持ち、引張方向の力（鉛直方向上向きの力）に対しては接触面において力が伝達されない。また、圧縮方向の力（鉛直方向下向きの力）が作用している状態では、タンク底板と地盤（基礎）の間に摩擦力が発生することとしている。



（ギャップ方向：鉛直方向、滑り方向：水平方向）

F_n ：鉛直力、 F_s ：水平力、 k_g ：鉛直剛性、 k_f ：水平剛性、 μ ：摩擦係数

g ：初期間隙、 ϵ ：スケールファクター

図 1.2-4 接触要素（GAP 要素）の特性

接触要素（GAP 要素）における条件としては、下記のとおり設定した。

k_g ： 100MN/m³ （鉛直方向圧縮時のみ作用）

危険物の規制に関する規則(第 20 条の 2 第 2 項第四号)に定められた値を準用した。

k_f ： 100MN/m³ （鉛直方向圧縮時のみ作用）

g ： 0

ϵ ： 10⁻⁶

μ ： 0.5（静止摩擦係数 μ は JIS 規格書¹⁾で 0.4～0.7 とあることから、本検討では 0.5 を用いた。）

② 物性値

ヤング率： 205,939.7N/mm²

（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示（第 4 条の 16 の 2）に定められた値を準用した。）

ポアソン比： 0.3

内液比重： 0.8

(c) 作用荷重

① 小規模タンク

a.自重

タンク側板および底板の自重は、表 1.2-3 に掲げる単位体積重量を用い、屋根の自重は同じく表 1.2-3 に掲げる側板頂部円周上に節点荷重として載荷した。表 1.2-3 に掲げる単位体積重量には、タンクの付属部材の重量は含まれている。なお、タンクの付属部材は構造部材として考慮せず、荷重のみ考慮することとした。

b.内液圧

内容液の液高は下記の 2 ケースとし、側板と底板に静水圧として作用させた。

ケース 1：最高液面高の 30% ($13,104\text{mm} \times 0.3 = 3,931\text{mm}$)

ケース 2：最高液面高の 60% ($13,104\text{mm} \times 0.6 = 7,862\text{mm}$)

c.津波作用波力

屋外貯蔵タンクに作用する津波波力は、本報告書第 3 章の (式 3.2-11) 及び (式 3.2-14) を用いて算定することとした。一例として、最大浸水深 5.0m のときの水位分布と揚圧力を図 1.2-5 に示す。津波波圧は、滑り限界荷重付近まで段階的に漸増させて戴荷することとした。

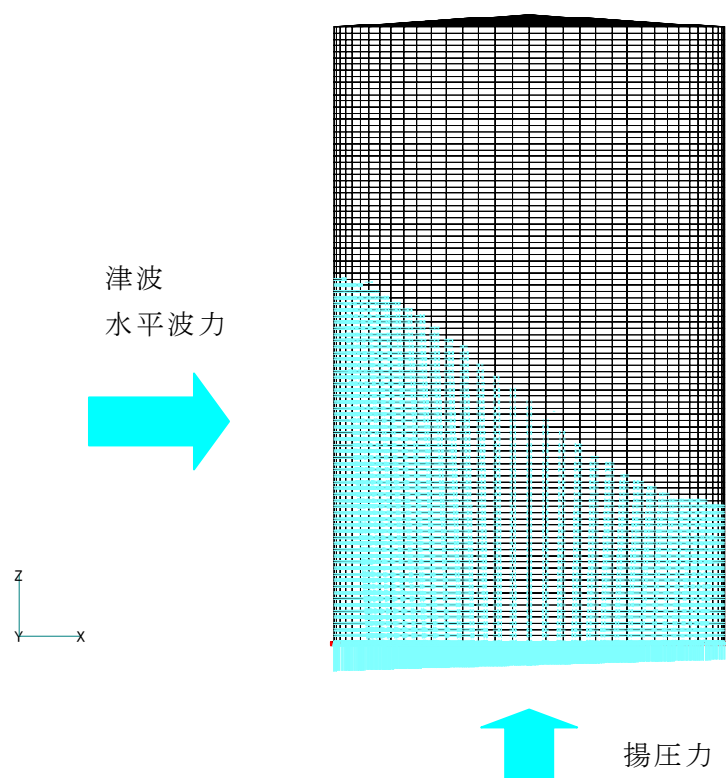


図 1.2-5 最大浸水深 5.0m のときの水位分布と揚圧力

② 中規模タンク

a.自重

タンク側板、底板の単位体積重量および荷重値は、表 1.2-2 を用いた。タンク側板および底板の自重は、表 1.2-2 に掲げる単位体積重量を用いた。浮き屋根については、モデル化せず圧力荷重として内液面に 700kN 付加することとした。タンクの付属部材の取り扱いは、小規模タンクの場合と同様とした。

b.内液圧

内容液の液高は下記の 2 ケースとし、側板と底板に静水圧として作用させた。

ケース 1：最高液面高の 30% ($14,960\text{mm} \times 0.3 = 4,488\text{mm}$)

ケース 2：最高液面高の 60% ($14,960\text{mm} \times 0.6 = 8,976\text{mm}$)

c.津波作用波力

小規模タンクの場合と同様とした。一例として、最大浸水深 5.0m のときの水位分布と揚圧力を図 1.2-6 に示す。

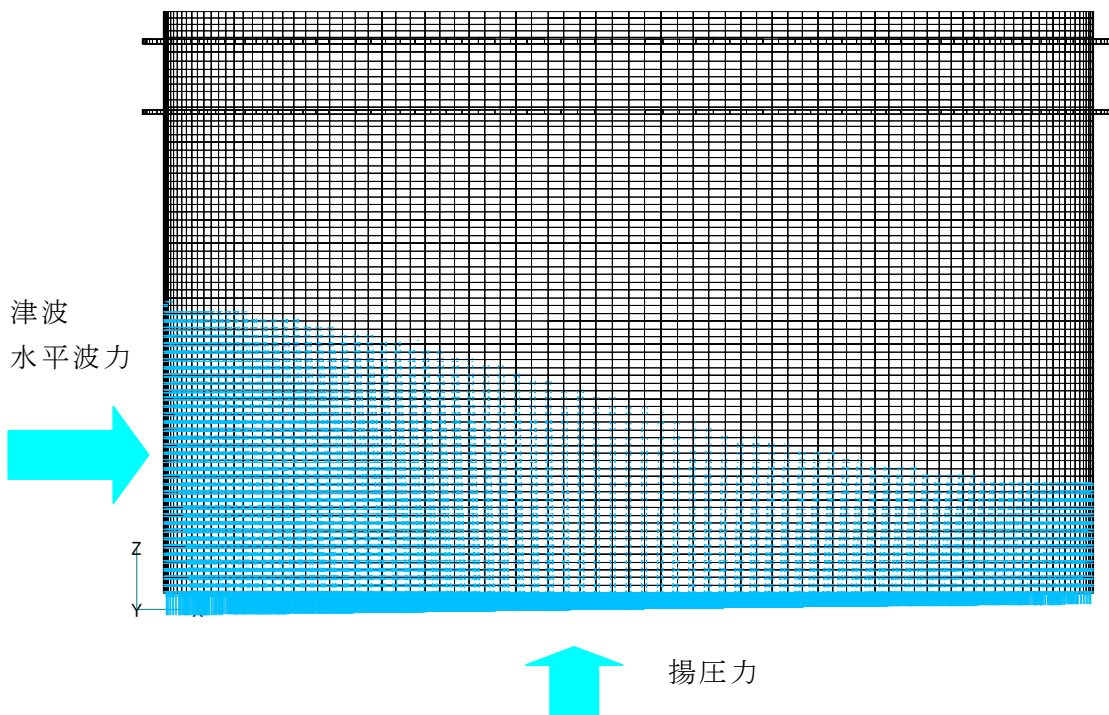


図 1.2-6 最大浸水深 5.0m のときの水位分布と揚圧力

（３）FEM 解析によるタンクの「滑動」に関する評価

ここで実施した FEM 解析では、底板と基礎地盤の間に設定した個々のばね要素で水平方向の摩擦力とばねの伸びが求められている。求められたばねの伸びは「滑り」に対応するものと考えられる。

ここで、個々のばね要素で求められた摩擦力の総和を「ばね反力」と呼ぶこととし、図 1.2-7 には、さまざまな津波浸水深に対して計算された「ばね反力」をシンボルで示した。図 1.2-7 には、本報告書第 3 章の（式 3.2-11）及び（式 3.2-14）によりタンクに作用するものとして算定された津波水平波力（水平荷重）と津波鉛直波力（鉛直荷重）を実線で示した。FEM 解析で求められた「ばね反力」と水平荷重又は鉛直荷重はよく一致しており、全体として力の釣り合いがとれているという点では、FEM 解析は良好に実施できているものと言える。

ただし、FEM 解析は、浸水深が本解析における浸水深の設定範囲の上限である 5.0m に達する前に、解が収束せず計算ができなくなるという現象が発生した。これにより、図 1.2-7 には、計算が実行できた浸水深までの結果が示されている。解が収束せず計算ができなくなったのは、物理的には「滑動」を含む何らかの異常が発生したためと考えられる。すなわち、FEM 解析ができなくなる浸水深では、「滑動」を含む何らかの異常が発生すると考えることができるものと思われる。

図 1.2-7 に示されている点線は、「滑動」に対する「津波被害簡易予測式」から計算されるタンクが保有する摩擦抵抗力を示したものである。このときの摩擦係数は 0.5 とした。

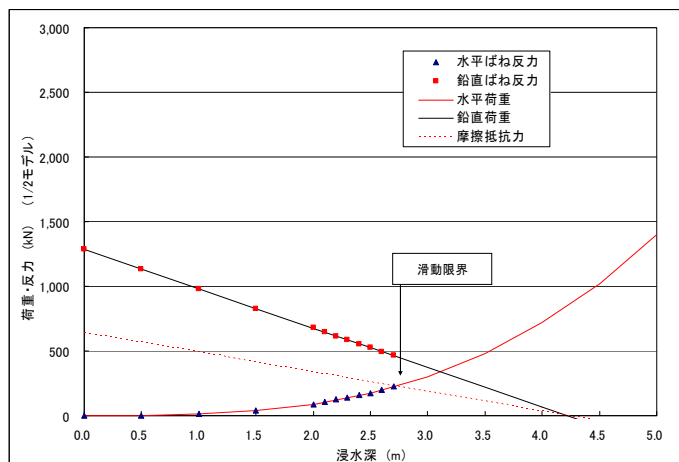
「滑動」に対する「津波被害簡易予測式」では、水平荷重が摩擦抵抗力を上回るとタンクは「滑動」するという考え方で「滑動」発生可能性を評価している。すなわち、水平荷重の線と摩擦抵抗力の線が交わる浸水深で、「滑動」が発生するという考え方である。

図 1.2-7 からは、水平荷重の線と摩擦抵抗力の線が交わる浸水深と FEM 解析ができなくなる浸水深は、中規模タンクの内液量 60%のケースを除いてよく一致している。水平荷重の線と摩擦抵抗力の線が交わる浸水深と FEM 解析ができなくなる浸水深が一致するケースでは、FEM 解析モデルでも、その浸水深で「滑動」が発生しているものと考えられる。水平荷重の線と摩擦抵抗力の線が交わる浸水深と FEM 解析ができなくなる浸水深が一致しない中規模タンクの内液量 60%のケースでは、「滑動」に先んじて「滑動」以外の被害形態が発生する可能性がある。

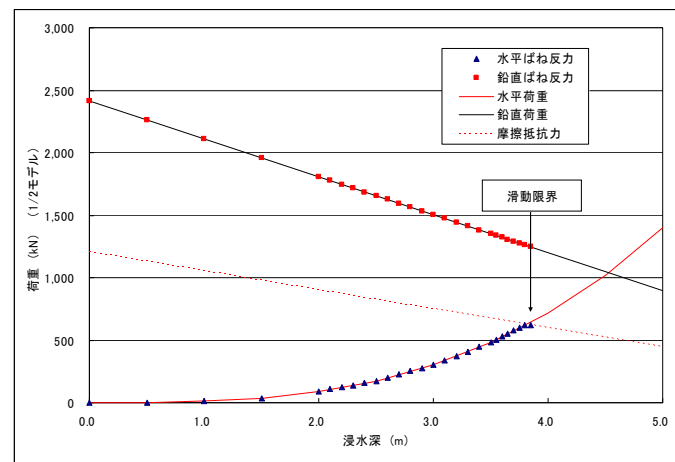
タンク全体の「滑動」は、水平波力がタンク側板に作用するとともに、揚圧力のタンク底板への作用により摩擦抵抗力が減少するために発生すると考えられる。そこで、底板と基礎地盤間の各要素の接触状態を見るため、図 1.2-8 に FEM 解析の最終ステップ、すなわち、FEM 解析ができなくなる寸前の浸水深における解析結果を示す。図中の「0」は鉛直方向のばねの伸びが 0mm 以上となった場合を示し、底板が地盤から浮き上がった状態、「1」は水平ばね反力が摩擦抵抗力より大きくなった場合を示し、要素が滑っている状態、「2」

は「浮き上がり」も「滑り」も発生せず、要素が固着している状態を表している。

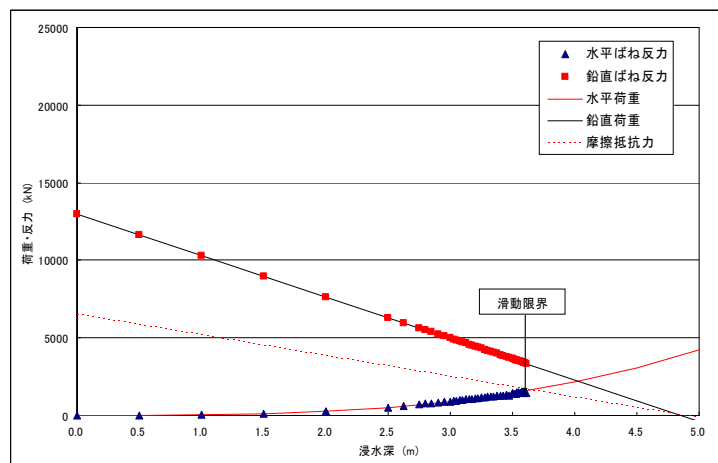
どのケースでも、津波上流側底板 0 度（図中左側）から側板円周方向に、三日月形で浮き上がり領域が存在していることがわかる。また、中規模タンクの内液量 30%はほとんどの底板で滑りが発生しており、中規模タンクの内液量 60%は浮き上がり側と反対領域で固着して滑りに抵抗していることがわかる。



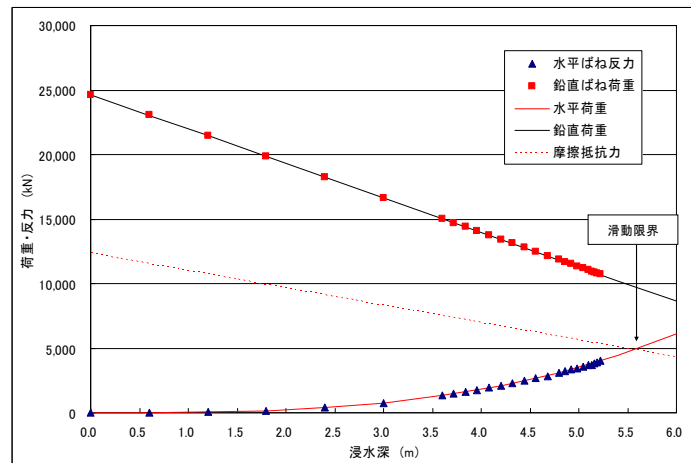
(a)小規模タンク（内液量 30%, 最終ステップ 浸水深 2.7m）



(b)小規模タンク（内液量 60%, 最終ステップ 浸水深 3.8m）



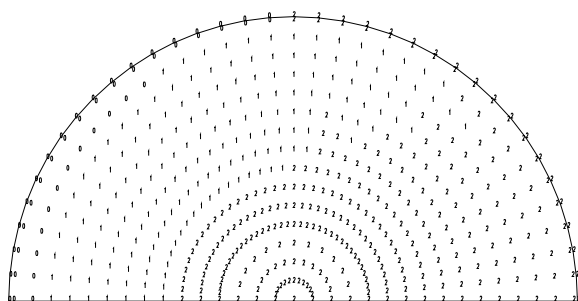
(c)中規模タンク（内液量 30%, 最終ステップ 浸水深 3.6125m）



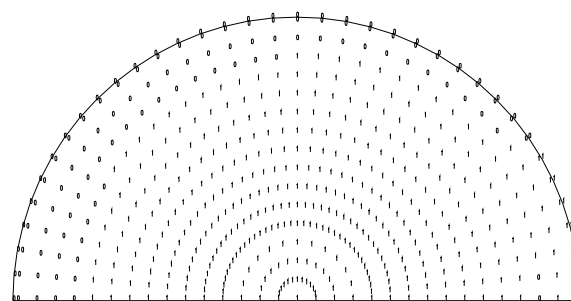
(d)中規模タンク（内液量 60%, 最終ステップ 浸水深 5.22m）

図 1.2-7 津波荷重とばね反力

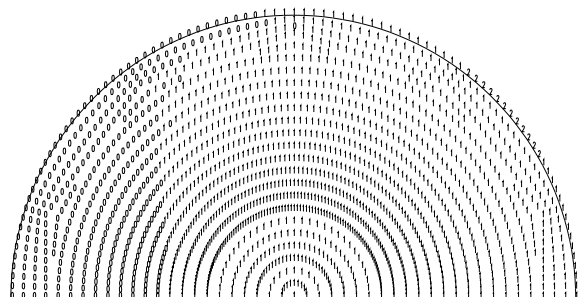
津波



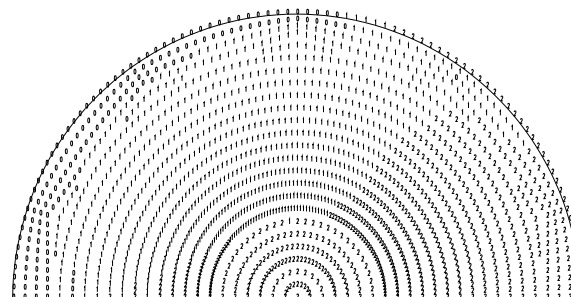
小規模タンク (30% : 浸水深 2.7m)



小規模タンク (60% : 浸水深 3.8m)



中規模タンク (30% : 浸水深 3.6125m)



中規模タンク (60% : 浸水深 5.22m)

図 1.2-8 (0 : 浮き上がり、1 : 滑り、2 : 固着)

(4) FEM 解析による底板の浮き上がり挙動

(a) 底板の浮き上がり変位

FEM 解析の最終ステップにおける小規模タンクの水平変位と鉛直変位を図 1.2-9 に示す。津波は図の左方向から右方向に流れているため、タンクは右側（下流側）に傾斜し、側板上部は上下流側とも水平方向下流側に変位している。内液量 60%は傾斜量が大きく、津波作用側である上流側で浮き上がり、下流側で沈下している様子がわかる。図 1.2-10 は中規模タンクの場合の水平変位と鉛直変位であり、内液量 30%の場合は上流側底板隅角部が盛り上がる現象が見られた。内液量 60%の場合は、小規模タンクと同様に上流側で浮き上がり、下流側で沈下している。中規模タンクの側板上部の水平方向の変形を見ると、上流側は中心方向に変位し、下流側も中心方向に変位している様子がわかる。これは、小規模タンクと異なる変形である。

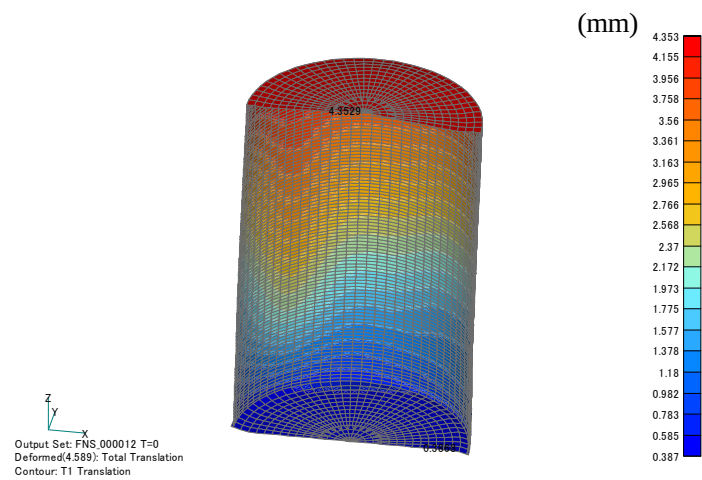
津波の浸水深と底板の浮き上がり状態を見るため、FEM 解析から得られた底板中心線の鉛直方向変位の結果を図 1.2-11 に示す。浸水深 2.7m で滑動する小規模タンクの内液量 30%の場合は、ほとんど変位しない結果となった。これに対し、小規模タンクの内液量 60%の場合は、津波上流側の底板で浸水深 3.8m のとき、80mm 浮き上がる結果となった。このときの浮き上がり幅は、約 1m である。浮き上がり変位量は、津波浸水深が大きくなると徐々に大きくなり、浸水深 3m ぐらいから急激に大きくなる。内液量 30%のケースに比べて内液量の重量が増えるため、タンク全体としては滑動抵抗力が大きくなり、浸水深 3.8m まで滑動しないが、津波作用側の側板に作用する水平波力と底板に作用する場圧力により、底板の一部に浮き上がる現象が発生したと考えられる。

中規模タンクの内液量 30%は、小規模タンク 30%のケースに比べて自重、内液量の増加により抵抗が増し、大きな浸水深 3.6125m まで滑動しないケースである。浸水深 3.6125m のときの鉛直変位量は 148mm であり、津波作用側の底板から中心方向 7.5m の範囲で浸水深 3.2m から底板が盛り上がり始める変形が見られた。これは、地震時におけるタンクの挙動には見られない変形である。中規模タンクの内液量 60%は、想定された滑動限界浸水深 5.6m より早い段階で収束解が得られなかった場合であり、浸水深 5.22m のとき津波作用側の底板が鉛直方向に 134mm 浮き上がる。このときの浮き上がり幅は約 3m である。

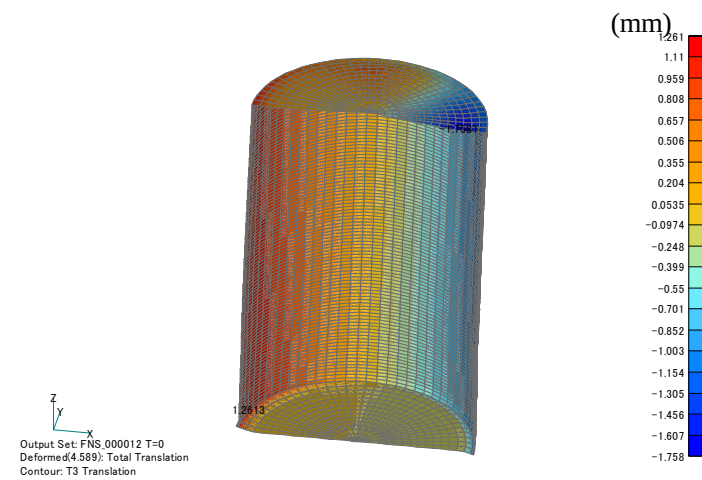
浮き上がり変位が大きい小規模タンクの内液量 60%と中規模タンクの内液量 60%の場合における浸水深と鉛直変位の関係を図 1.2-12 に示す。津波作用側である 0 度では、浸水深が大きくなると急激に大きく浮き上がる。小規模タンクの場合は、90 度においても 0 度の半分程度の浮き上がりが生じている。下流側 180 度の小規模タンクの場合は僅かに沈下しているが、中規模タンクの場合は沈下していない。これは、中規模タンクにおいては下流側側板上部が中心方向に水平に変位しているため、沈下しなかったものと考えられる。なお、この下流側が沈下しない現象は、中規模タンクの内液量 30%の場合においても確認された。

以上で見たように、内液量が多い場合は、津波作用側の底板の一部が浮き上がりうることがわかった。また、図 1.2-11 に示したように、津波作用側の底板隅角部からやや内側の部分が盛り上がる現象も発生しうることもわかった。

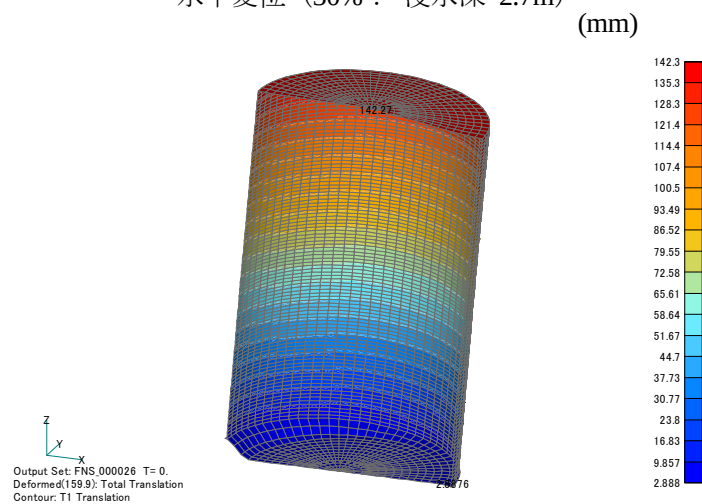
津波
→
- 255 -



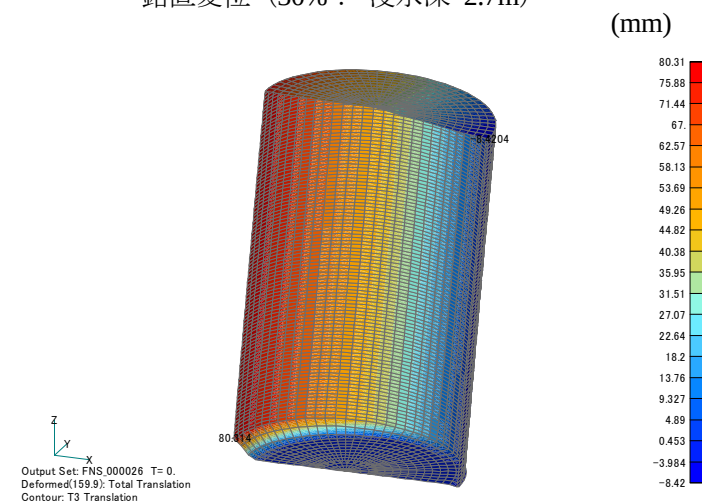
水平変位 (30% : 浸水深 2.7m)



鉛直変位 (30% : 浸水深 2.7m)



水平変位 (60% : 浸水深 3.8m)



鉛直変位 (60% : 浸水深 3.8m)

図 1.2-9 小規模タンクの水平変位・鉛直変位

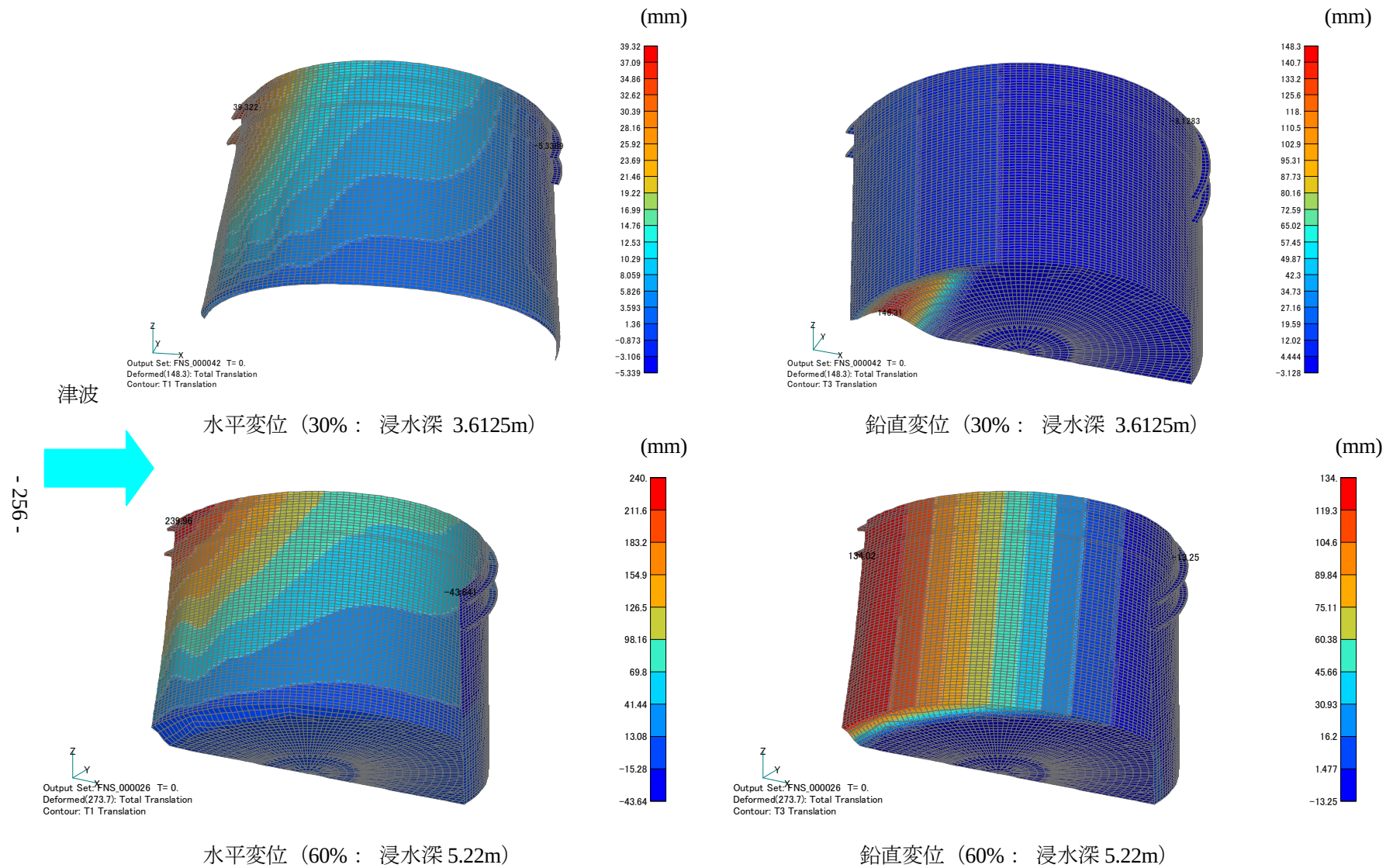
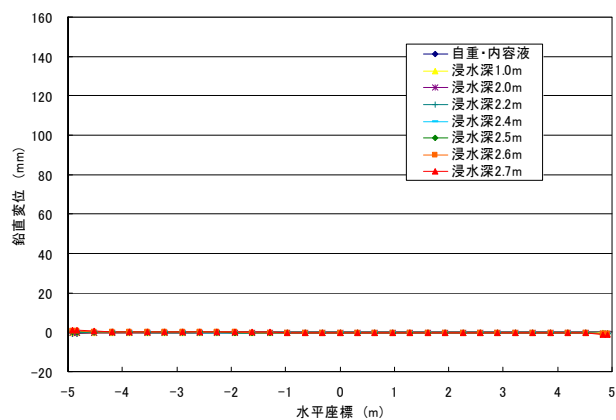
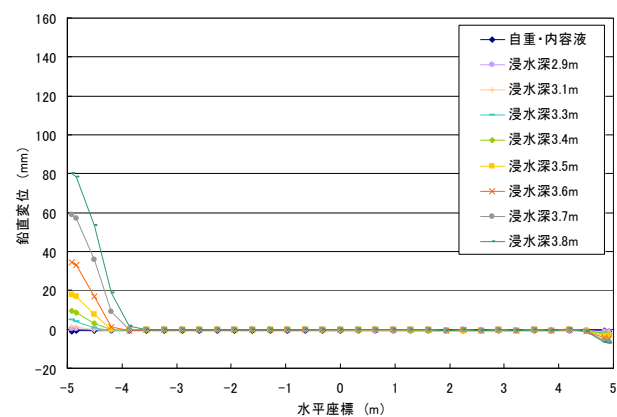


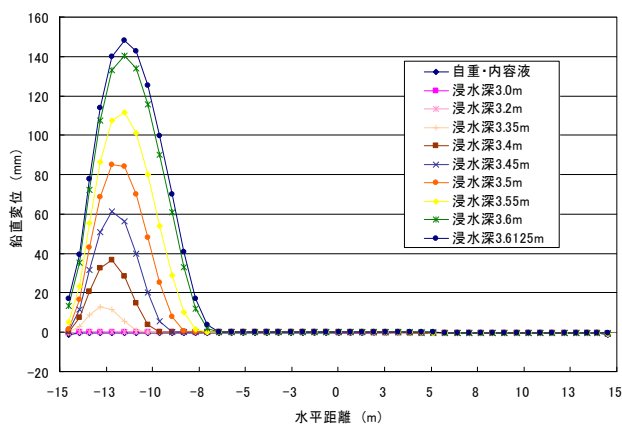
図 1.2-10 中規模タンクの水平変位・鉛直変位



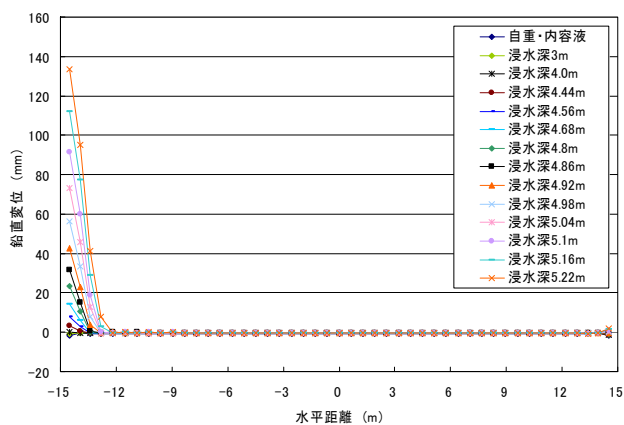
小規模タンク（内液量 30%）



小規模タンク（内液量 60%）



中規模タンク（内液量 30%）



中規模タンク（内液量 60%）

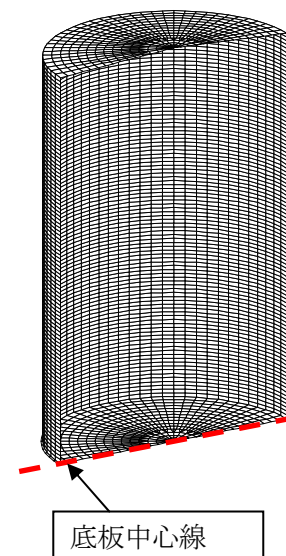
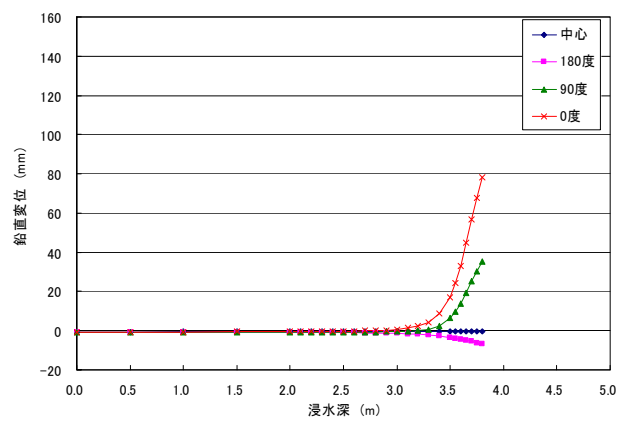
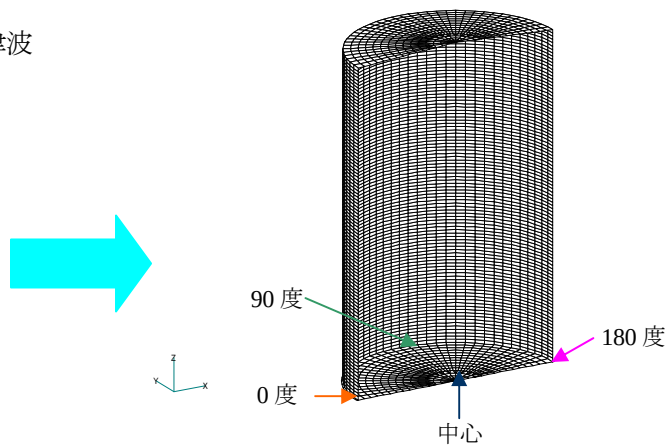
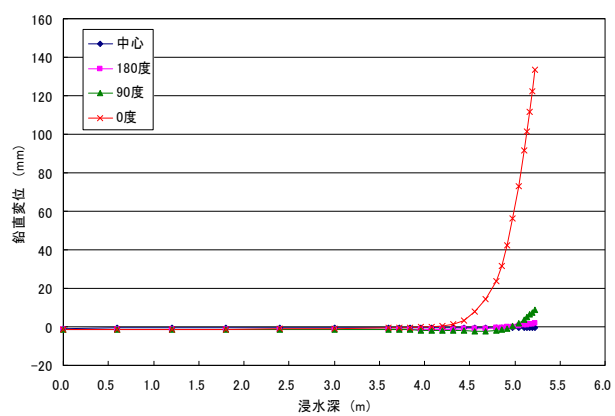


図 1.2-11 底板中心線における鉛直変位

津波



(a) 小規模タンク



(b) 中規模タンク

図 1.2-12 浸水深と鉛直変位（内液量 60%の場合）
（津波作用上流側が 0 度、下流側が 180 度である。）

(b) 発生応力

図 1.2-13 に小規模タンクの内液量 30%における FEM 解析によるミーゼス応力の結果を示す。浸水深 0m はタンク重量と内容液重量のみの状態であり、側板最下部で最大応力を示す。その後、津波による揚圧力が作用することにより、浸水深 2.0m での応力は僅かに減少する。浸水深が 2.7m になるとミーゼス応力の最大値は僅かに増加し、津波の下流側で 25N/mm^2 程度の応力が発生するが、降伏応力 245N/mm^2 に比べて小さい値である。このケースは、この浸水深のときに滑動するため、タンクに大きな応力が発生することはないという結果となった。

小規模タンクの内液量 60%の応力の結果を図 1.2-14 に示す。ミーゼス応力の最大値は、浸水深 3.0m ぐらいまで下流側の側板下端で発生するが、浸水深 3.2m 以降では津波作用側の底板浮き上がりにより底板隅角部付近の応力が徐々に大きくなり、浸水深 3.8m で降伏応力 245N/mm^2 に近い 180N/mm^2 の応力が発生している。このケースは、この浸水深のときに高い応力が発生すると同時に、「滑動」が生じる結果となった。

中規模タンクの内液量 30%の応力の結果を図 1.2-15 に示す。ミーゼス応力の最大値は、浸水深 3.3m 程度まで下流側の側板下端で発生する。その後、津波作用側の底板が盛り上がる変形が見られるようになることに伴って、底板隅角部付近の応力が徐々に大きくなり、浸水深 3.6125m で降伏応力 245N/mm^2 の半分程度の 137N/mm^2 の応力が発生する。このケースもその浸水深で「滑動」するため、これ以上大きな応力は生じないという結果となった。

中規模タンクの内液量 60%の応力の結果を図 1.2-16 に示す。ミーゼス応力の最大値は、浸水深 4.0m まで下流側の側板下端で発生するが、その後、浸水深が大きくなるに従い、津波上流側の底板浮き上がりに伴って、底板隅角部付近の応力が徐々に大きくなり、浸水深 5.22m では降伏応力 245N/mm^2 に近い 188N/mm^2 の応力が発生している。

以上をまとめると、中規模タンクで内液量 60%の場合は、浸水深が 5.22m になると、底板の浮き上がりに伴って、浮き上がった側のタンク底板隅角部で降伏応力に近い高い応力が発生するという結果となった。このケースでは、「滑動」に対する「津波被害簡易予測式」の考え方によれば、浸水深が 5.6m になるまで「滑動」しないと評価されることから、浸水深が 5.22m を超えるとさらに高い応力が発生する可能性も考えられる。これ以外の 3 つのケースでは、高応力が発生する前あるいは発生と同時に「滑動」が生ずるという結果となった。このことから推測すると、タンクが大きいかつ内液量が多いという条件の下では、底板の抜け出しが発生する可能性は否定できないものと考えられる。しかし、これ以外の条件下では、「滑動」が生じるものと予想される。

津波

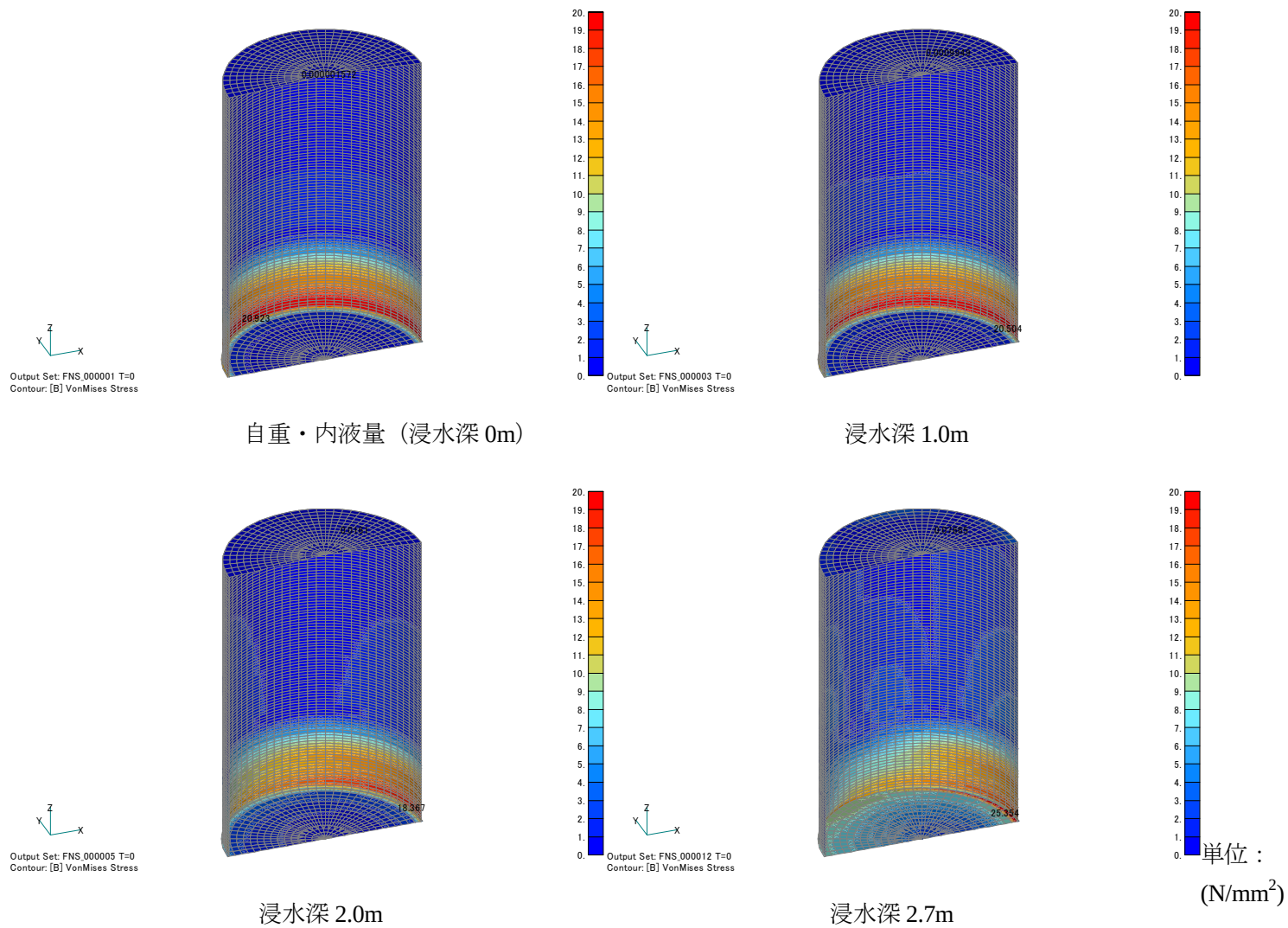


図 1.2-13 側板内面・底板下面のミーゼス応力（小規模タンク，内液量 30%の場合）

津波

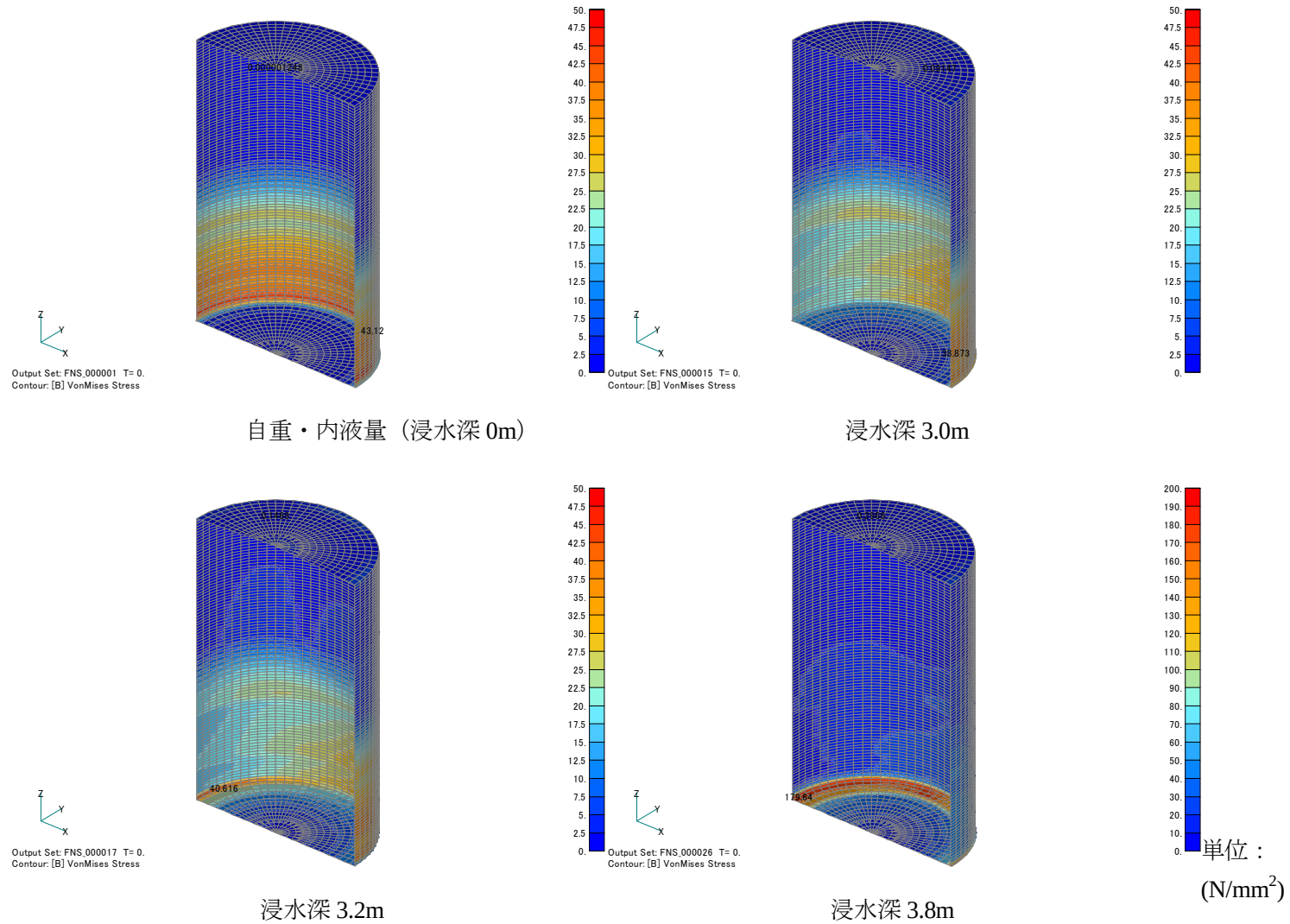
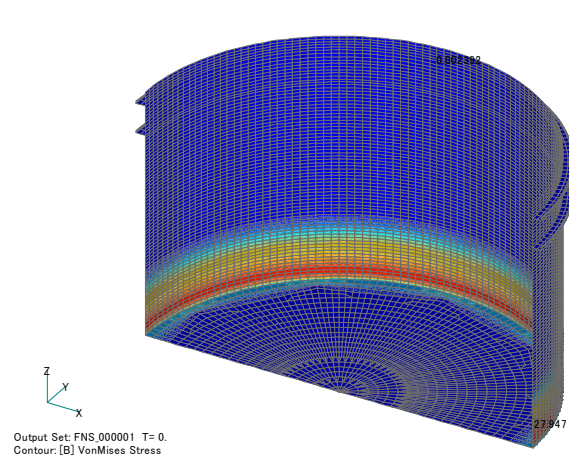


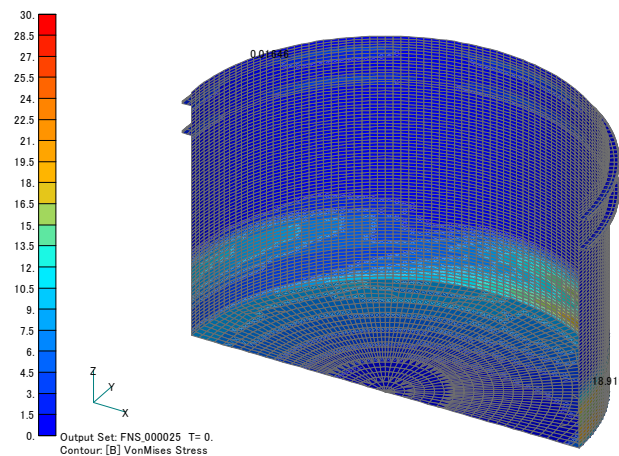
図 1.2-14 側板内面・底板下面のミーゼス応力（小規模タンク，内液量 60%の場合）

津波



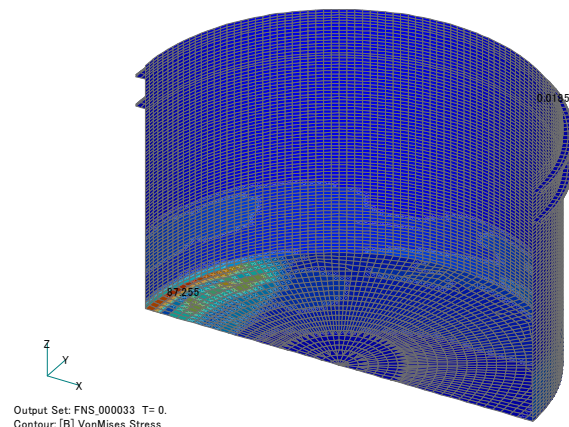
Output Set: FNS_000001 T= 0.
Contour: [B] VonMises Stress

自重・内液量（浸水深 0m）



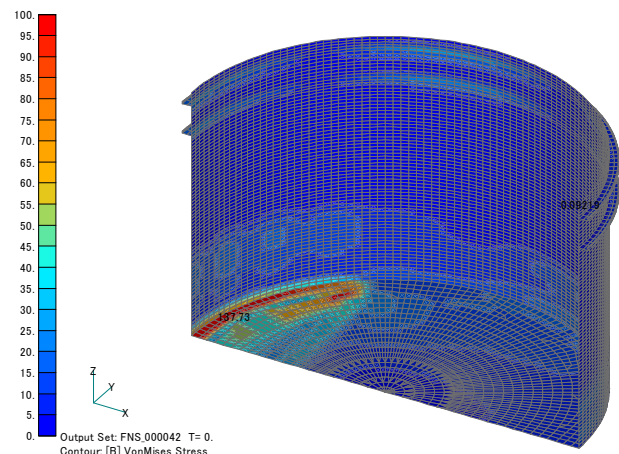
Output Set: FNS_000025 T= 0.
Contour: [B] VonMises Stress

浸水深 3.3m



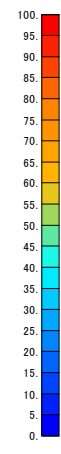
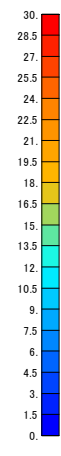
Output Set: FNS_000033 T= 0.
Contour: [B] VonMises Stress

浸水深 3.5m



Output Set: FNS_000042 T= 0.
Contour: [B] VonMises Stress

浸水深 3.6125m



単位：
(N/mm²)

図 1.2-15 側板内面・底板下面のミーゼス応力（中規模タンク，内液量 30%の場合）

津波

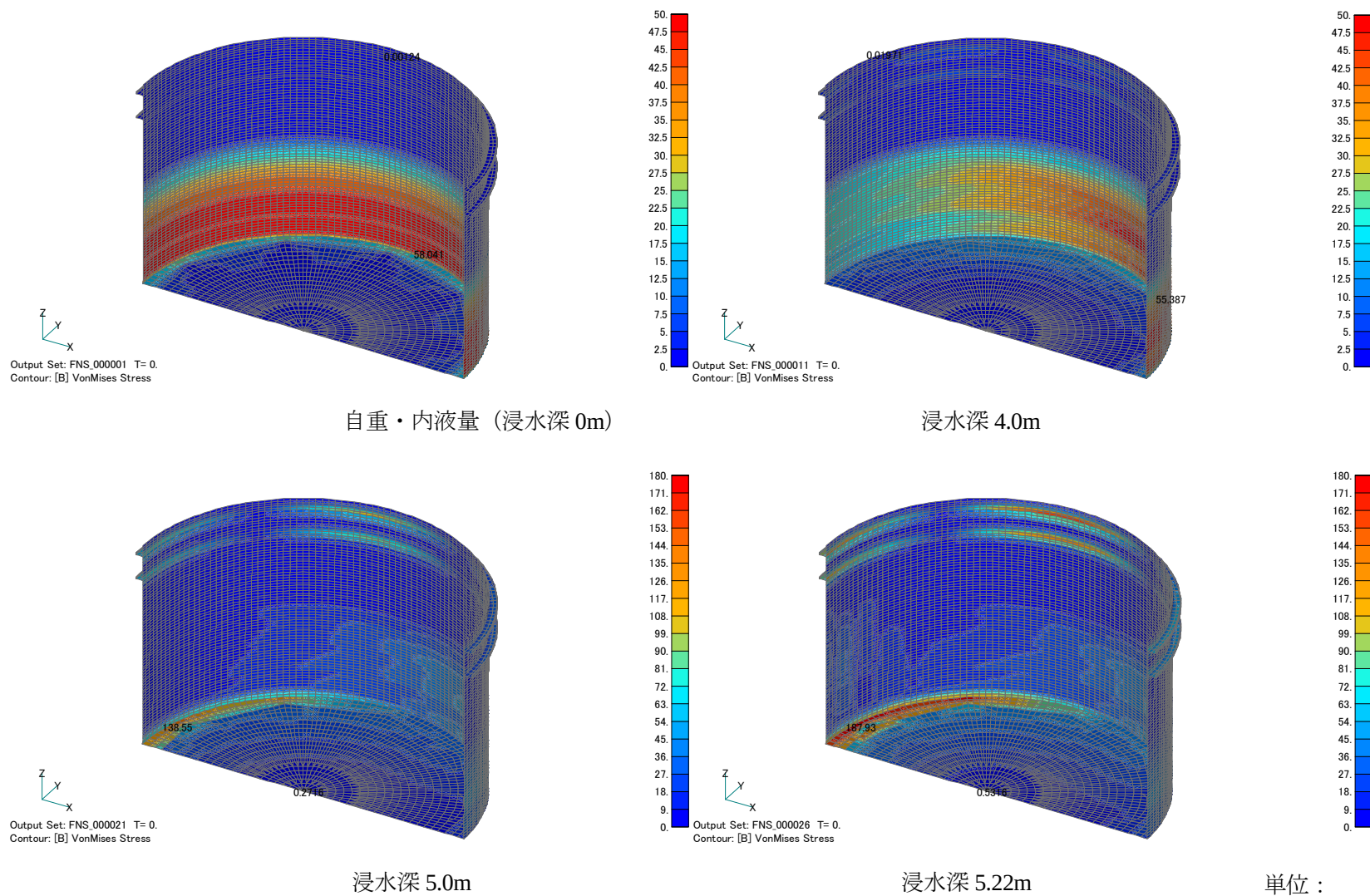


図 1.2-16 側板内面底板下面のミーゼス応力（中規模タンク，内液量 60%の場合）

(5) FEM 解析による側板下部の圧縮応力

(4) の FEM 解析結果には、津波波力がタンクに作用することによってタンクが傾き、津波上流側では底板の浮き上がり、下流側では底板の沈下が生じる場合があった。ここでは、「側板下部座屈」の発生可能性を評価するため、津波下流側の側板最下部の軸方向圧縮応力を計算した。図 1.2-17 に小規模タンク、図 1.2-18 に中規模タンクに対する FEM 解析による結果を示す。小規模タンクは浸水深が大きくなるに従い、軸方向圧縮応力も大きくなる傾向があり、特に内液量 60% の場合では急激な上昇が見られる。軸方向圧縮応力が急激に上昇し始める浸水深は、図 1.2-12(a) で示した底板の一部が浮き上がる浸水深と一致している。

薄肉円筒シェルの壁面座屈限界応力 σ_{limit} は、有限変形理論によれば (資-式 1.2-1) で与えられる。

$$\sigma_{\text{limit}} = \frac{0.4E \cdot t}{D} \quad (\text{資-式 1.2-1})$$

ここで、 E : 使用材料のヤング率 (N/mm^2)

t : 側板の実板厚 (mm)

D : タンクの内径 (mm)

ここで、許容圧縮応力 σ_{ca} は、座屈限界応力に対して安全率を 1.0 として評価することとした。これによれば、小規模および中規模タンクの許容圧縮応力 σ_{ca} は次のとおりとなる。

小規模タンク :

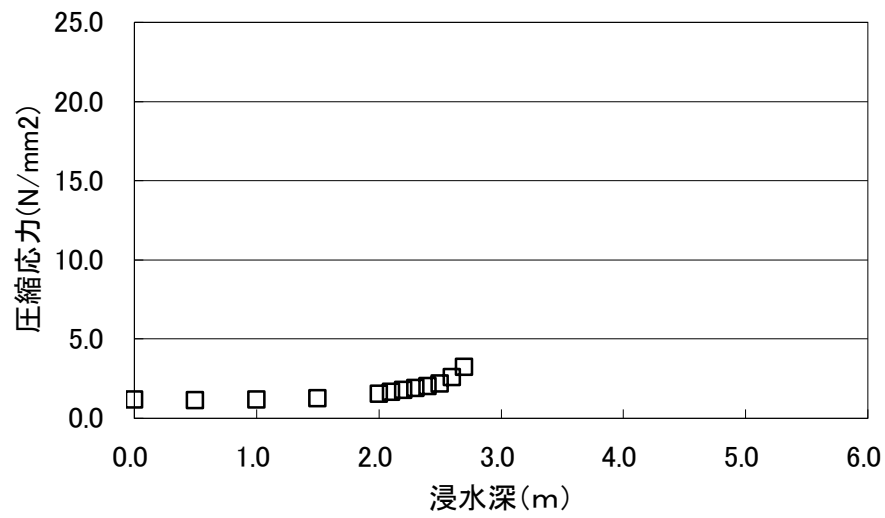
$$\sigma_{ca} = \frac{0.4E \cdot t}{\gamma \cdot D} = \frac{0.4 \times 205939.7 \times 7}{1.0 \times 9670} = 59.6 (\text{N/mm}^2)$$

中規模タンク :

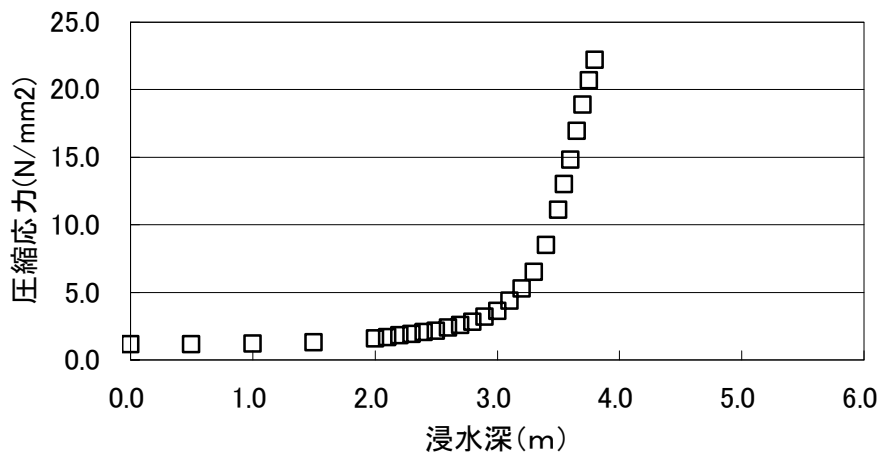
$$\sigma_{ca} = \frac{0.4E \cdot t}{\gamma \cdot D} = \frac{0.4 \times 205939.7 \times 17.9}{1.0 \times 29060} = 50.7 (\text{N/mm}^2)$$

小規模タンクの側板下部に発生する FEM 解析から得られた軸方向圧縮応力は、許容圧縮応力に比べて約半分以下である。中規模タンクの場合の FEM 解析から得られた軸方向圧縮応力は、許容圧縮応力に比べて約 1/50 以下と非常に小さく、浸水深が増加するに従い、圧縮応力の減少が見られる。中規模タンクの場合は、津波の上流側と下流側の側板がタンク中心方向に変形するため、図 1.2-12(b) で示したように下流側底板が若干持ち上がる傾向にあり、軸方向圧縮力が減少したものと考えられる。

以上をまとめると、津波波力が作用した時の 4 つのケースの津波下流側の側板下部に発生する軸方向圧縮応力を見る限り、津波により側板下部に座屈が発生する可能性は小さいと予想される。

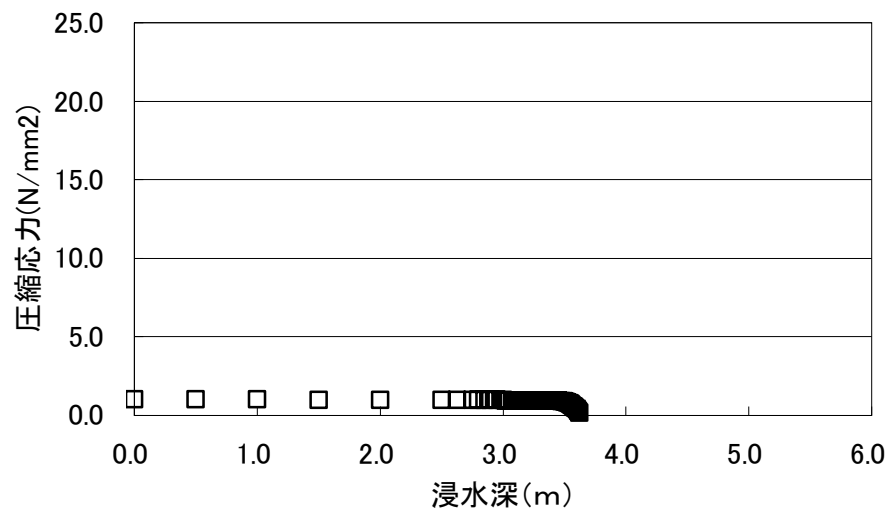


(a) 内液量 30%の場合

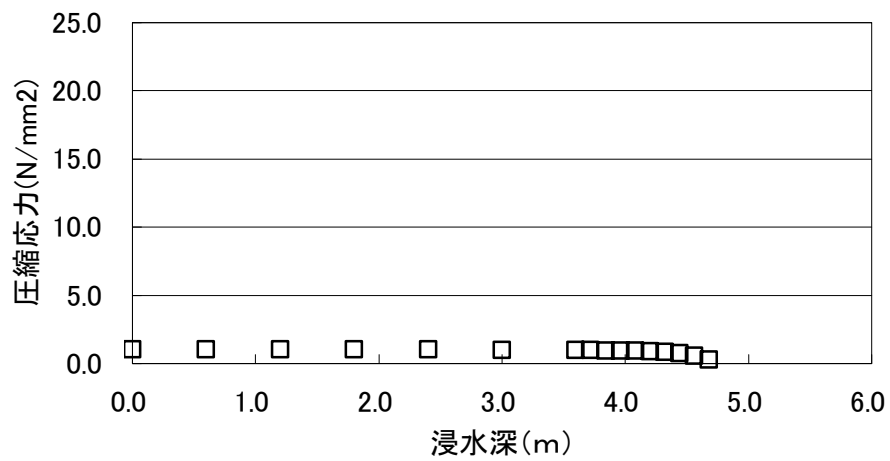


(b) 内液量 60%の場合

図 1.2-17 FEM 解析による側板最下部の圧縮応力
(小規模タンクの場合)



(a) 内液量 30%の場合



(b) 内液量 60%の場合

図 1.2-18 FEM 解析による側板最下部の圧縮応力
(中規模タンクの場合)

3. 簡易評価手法に関する検討

(1) 簡易評価手法の検討

津波波力がタンクに作用した場合における「底板抜け出し」が発生する可能性を簡易に評価する方法を作成することの試みとして、底板の浮き上がり変位を簡易に算定する式を試作し、FEM 解析結果と比較した。また、同じく津波波力がタンクに作用した場合における「側板下部座屈」が発生する可能性を簡易に評価する方法を作成することの試みとして、津波下流側の側板の軸方向圧縮応力を簡易に算定する式を試作し、FEM 解析結果と比較した。「底板抜け出し」と「側板下部座屈」が発生する可能性を簡易に評価する方法を試作するに当たっての作業フローを図 1.3-1 に示す。まず、津波計算結果による最大浸水深 $\eta_{\max}$ からタンクに作用する水平波力および水平モーメントを算定する。その算定結果を用いて、「底板抜け出し」では転倒（曲げ）モーメントから浮き上がり変位量を、「側板下部座屈」では側板下部の圧縮応力を求める。底板抜け出しと側板下部座屈の簡易予測式は、地震時における予測式を基にして、津波時への適用化を図ることとした。

以下、津波水平波力および水平モーメントの算定式と浮き上がり変位および圧縮応力の算定式について説明する。

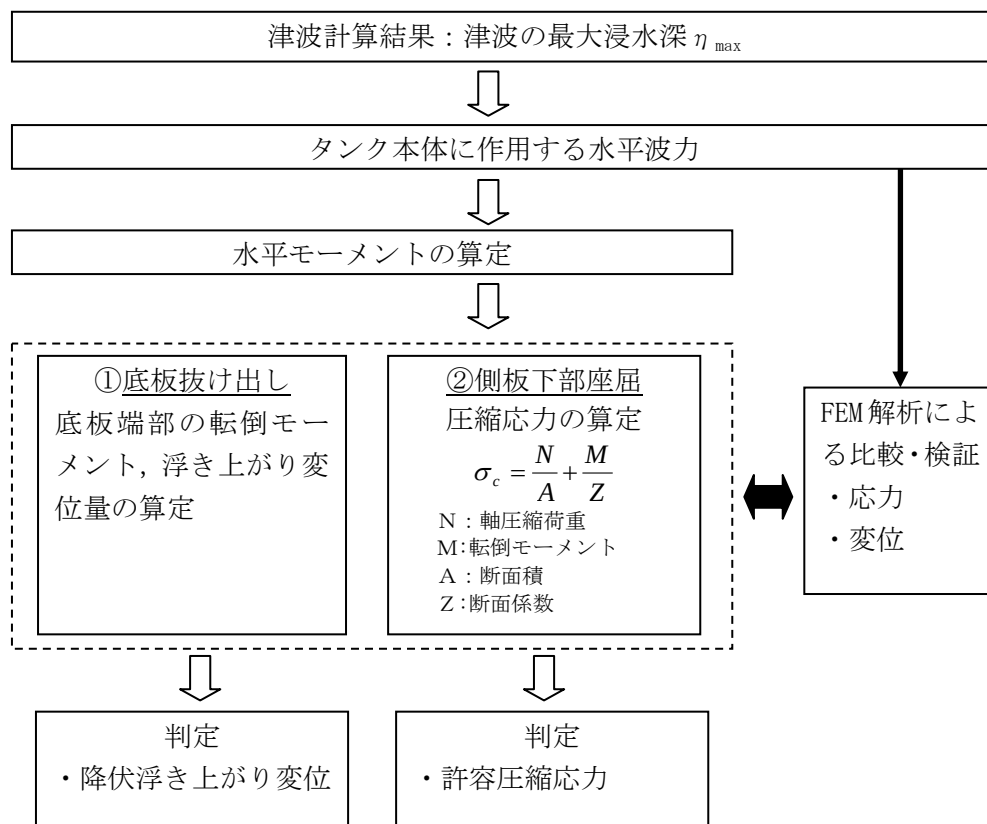


図 1.3-1 底板抜け出しと側板下部座屈の簡易評価フロー

(a) 津波の水平波力と水平モーメント

①タンク円周方向の水位分布

図 1.3-2 に示すようにタンク円周方向の実験水位分布は、津波上流側タンク 0 度から下流側 180 度へ余弦曲線的に変化している。そこで、円周方向水位分布 $h(\theta)$ を (資-式 1.3-1) のようにフーリエ級数展開により評価する。

$$h(\theta) = (h_0 + h_1 \cos \theta) \eta_{\max} \quad (\text{資-式 1.3-1})$$

ここで、 $\eta_{\max}$: タンクがない状態での津波の最大浸水深、 h_0 , h_1 : 0 次と 1 次のフーリエ係数、 θ : 角度である。

図 1.3-2 は実験で得られたタンク円周方向の水位分布の推定結果であり、0 次 (図中 $m=0$) と 1 次 (図中 $m=1$) を足し合わせることによって近似できていることがわかる。このときのフーリエ係数は、 $h_0=1.2$, $h_1=0.6$ とした。「2. 津波による屋外貯蔵タンクの挙動解析」での FEM 解析で入力した津波波力は、本報告書第 3 章の (式 3.2-11) 及び (式 3.2-14) のフーリエ係数を 3 次まで用いて算定したが、ここでは簡便に評価するためフーリエ係数を 1 次までとした。

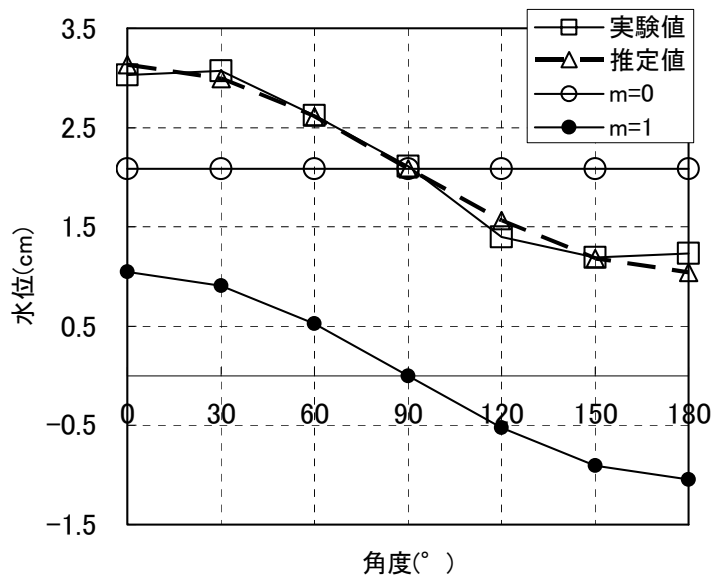


図 1.3-2 タンク円周方向の水位分布

②水平波力と水平モーメント

タンクに作用する津波波力 F_x と水平モーメント M_x は、本報告書第 3 章の (式 3.2-11) 及び (式 3.2-13) のフーリエ係数を 1 次までとして、次式により求めた。

$$F_x = \frac{1}{2} \pi D \rho g h_0 h_1 \eta_{\max}^2 \quad (\text{資-式 1.3-2})$$

$$M_x = \frac{1}{16} \pi D \rho g h_1 (4h_0^2 + h_1^2) \eta_{\max}^3 \quad (\text{資-式 1.3-3})$$

ここで、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 D ：タンク直径である。

(b) 底板浮き上がり変位の予測式

「底板抜け出し」の簡易評価に必要となる、タンク底部の浮き上がり変位量を簡易に算出する式は、日本建築学会の1996年改訂「容器構造設計指針・同解説」²⁾を参考にして試作することとした。「容器構造設計指針・同解説」では、図1.3-3に示すように底板を単位幅の梁に近似して、降伏耐力は底板隅角部が全塑性モーメントに達したときの側板に加わる反力と考えることができると仮定している。ここでは、この考え方に基づくこととする。

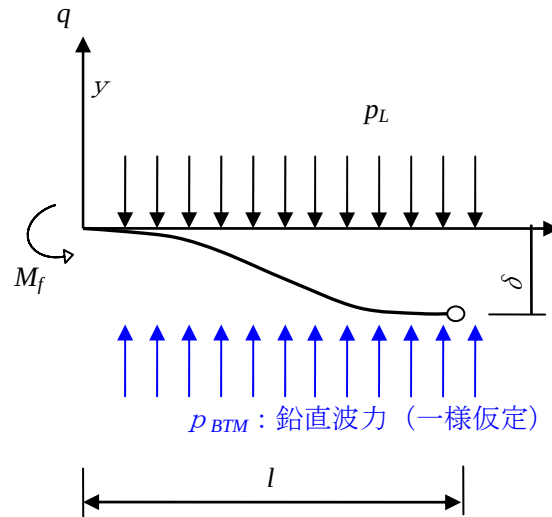


図 1.3-3 底板の浮き上がり状態の力学モデル

① 降伏耐力時の浮き上がり

浮き上がり部が図1.3-3の状態に留まる場合の釣り合いの方程式から、底板端部の曲げモーメント M_f が求められる。この曲げモーメントと全塑性モーメントを等置することにより、底板の降伏耐力、降伏耐力時の浮き上がり変位、浮き上がり長さは、下記のように求められる。

- ・ 底板の単位幅あたりの降伏耐力 q_y

$$q_y = \frac{2t\sqrt{1.5p\sigma_y}}{3} \quad (\text{資-式 1.3-4})$$

- ・ 降伏耐力時の浮き上がり変位 δ_y

$$\delta_y = \frac{3t\sigma_y^2}{8Ep} \quad (\text{資-式 1.3-5})$$

・降伏耐力時の浮き上がり長さ ℓ_y

$$\ell_y = t \sqrt{\frac{3\sigma_y}{2p}} \quad (\text{資-式 1.3-6})$$

ここで、 t ：底板の板厚、 p ：底板に加わる液圧、 σ_y ：底板の降伏応力、 E ：底板のヤング率である。ただし、底板への波圧は、津波による揚圧力が一様に作用するとして、

$p = p_L - p_{BTM}$ により求めた。

② 簡易予測式

津波の水平モーメントから側板の単位幅あたりの持ち上げ力、そのときの浮き上がり長さ、浮き上がり変位は、次式により求められる。

・側板の単位幅あたりの持ち上げ力 q

$$\begin{aligned} q &= \sigma_t \cdot t \\ &= \frac{M_x}{Z} t \end{aligned} \quad (\text{資-式 1.3-7})$$

・浮き上がり長さ ℓ

$$\ell = \frac{3q}{2p} \quad (\text{資-式 1.3-8})$$

・側板直下の浮き上がり変位 δ

$$\delta = \frac{9q^4}{128EI p^3} \quad (\text{資-式 1.3-9})$$

ここで、 σ_t ：圧縮側曲げ応力、 Z ：断面係数、 I ：底板の単位幅あたりの断面 2 次モーメントである。

ここでは、(資-式 1.3-9) により求められる浮き上がり変位の推定値 δ が (資-式 1.3-5) の降伏耐力時の底板の浮き上がり変位 δ_y より大きくなると降伏すると考えることとした。

(c) 側板下部圧縮応力の予測式

「側板下部座屈」の簡易評価に必要となる、津波下流側の側板最下部の軸方向圧縮応力を簡易に算出する式は、消防法令の技術基準（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示）への適合確認のために例示されている方法に基づいて試作することとした。これによれば、側板最下部の圧縮応力は、先に示した（１）の水平モーメントから次式により求められる。

$$\sigma_c = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{Z} \quad (\text{資-式 1.3-10})$$

N ：軸圧縮荷重

M_x ：水平波力による転倒モーメント

A ：断面積（ $=\pi Dt$ ）， D ：タンク径， t ：板厚

Z ：断面係数（ $=\pi D^2 t/4$ ）

また、底板浮き上がりによる変位と浮き上がり抵抗力の関係が非線形化すると考えられるため、ここでは、側板最下部の軸方向圧縮応力を単純なはりモデルに基づいた「API 650 Appendix-E」による評価方法も取り入れて、側板最下部の圧縮応力を求めることとした。

図 1.3-4 は転倒モーメントと側板に発生する圧縮力 b の関係を示している。

1) $X < 0.785$ ：底板が浮き上がらない場合

底板が浮き上がらないときは、（資-式 1.3-10）と同じである。

2) $0.785 < X < 1.5$ ：底板が浮き上がる場合

浮き上がった場合は、図 1.3-4 の関係図（あるいは式 A）から圧縮力 b を求め、圧縮力 b と板厚 t から圧縮応力 $\sigma (=b/t)$ を求める。

ここで、 Wt ：タンク円周に沿う単位長さ当たりの側板重量、 W_L ：タンク円周に沿う単位長さ当たりの底板浮き上がり時に作用する鉛直方向の荷重（内容液による静圧と底板に作用する津波鉛直波力の差）である。

3) $1.5 < X < 1.57$ ：さらに底板が浮き上がる場合

式 B により圧縮力 b を求め、圧縮力 b と板厚 t から圧縮応力 $\sigma (=b/t)$ を求める。

4) $X > 1.57$ ：不安定

底板の浮き上がりがさらに進行すると不安定と判定される。

なお、図中の式 A の β は主たる変数 X, Y の間に陰的に存在する単なる媒介変数であり、 X, Y は繰り返し計算により求められる。

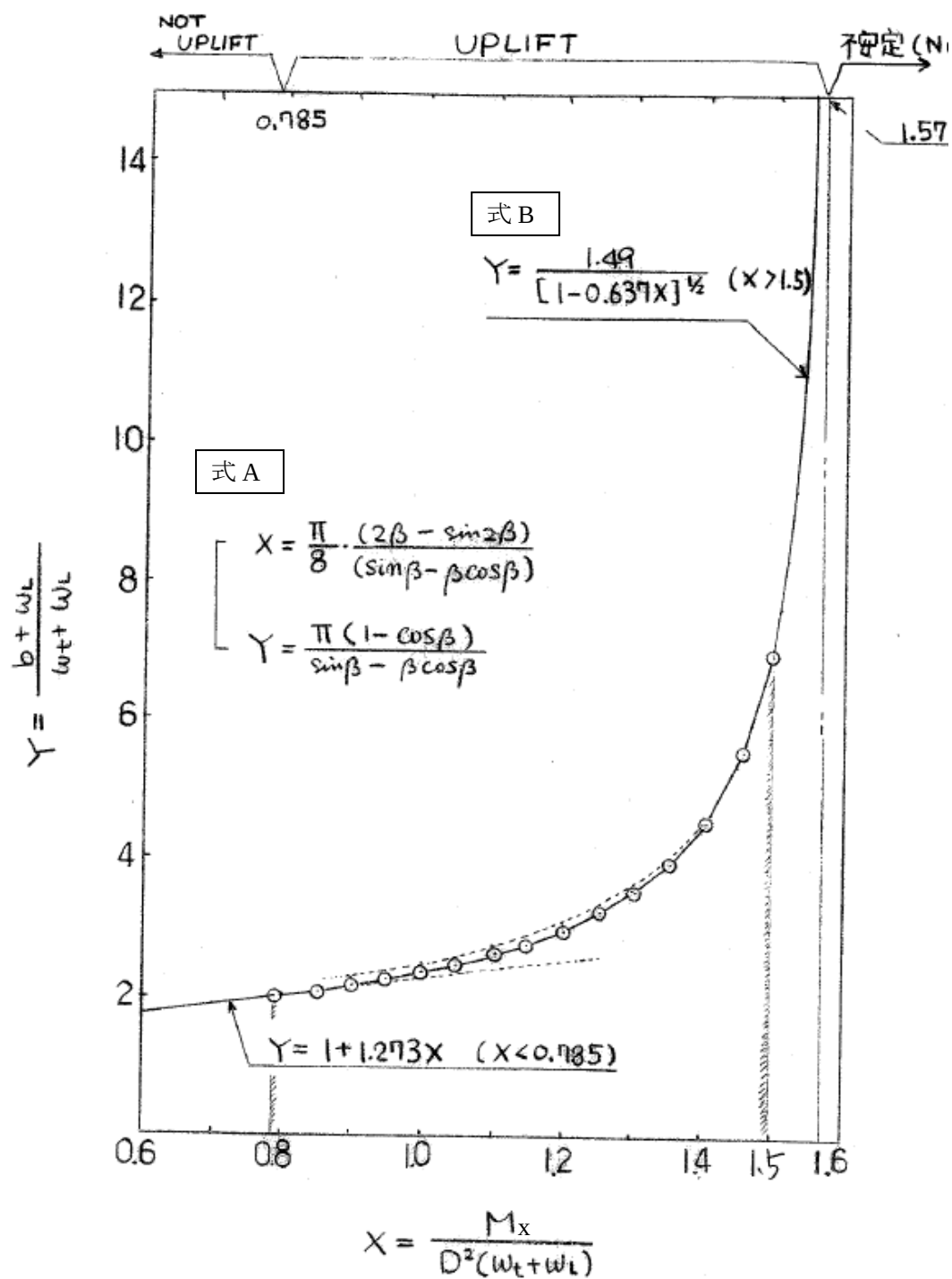


図 1.3-4 転倒モーメントと側板に発生する圧縮力 b の関係図

(ここで、 M_x ：転倒モーメント、 D ：タンク径、 w_t ：タンク円周に沿う単位長さ当たりの側板重量、 w_L ：タンク円周に沿う単位長さ当たりの底板浮き上がり時に作用する鉛直方向の荷重（内容液による静圧と底板に作用する津波鉛直波力の差）である。)

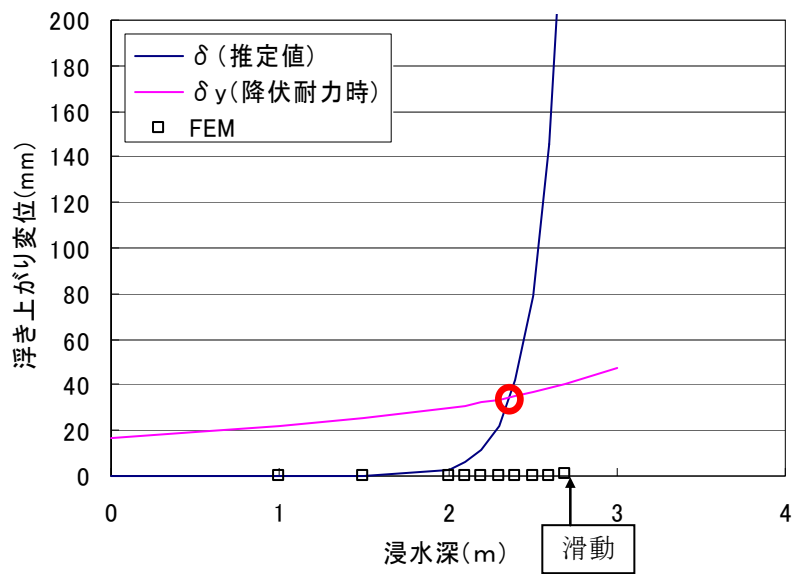
(2) FEM 解析結果との比較

(a) 底板の浮き上がり量

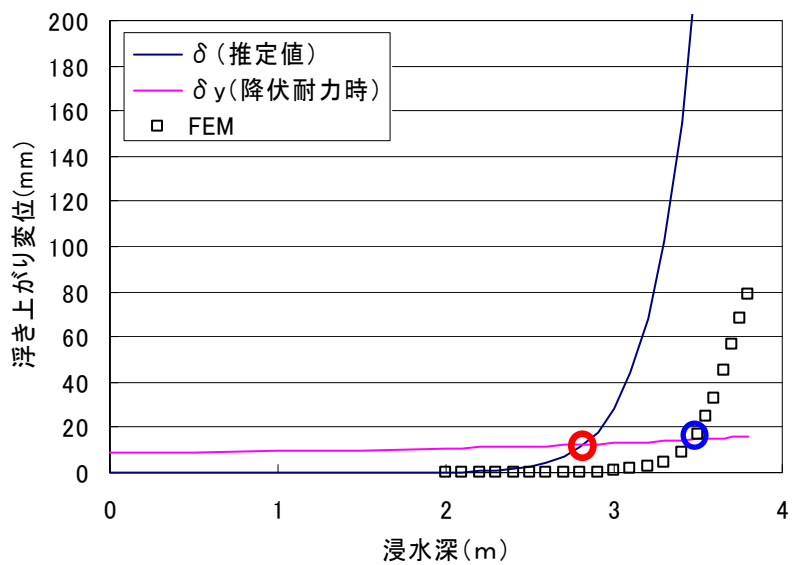
簡易式(資-式 1.3-9) による底板の浮き上がり変位 δ と FEM 解析から得られた底板の浮き上がり変位の比較を図 1.3-5 に示す。また、降伏耐力時の浮き上がり変位 δ_y は (資-式 1.3-5) から求めた。図中の赤丸の変位 δ と δ_y が交差する点は、簡易式に基づけば降伏すると推定される浸水深を表している。また、小規模タンクの内容液量 60%と中規模タンクの内液量 60%における図中の青丸は、FEM 解析に基づけば降伏すると推定される浸水深を表している。

簡易式(資-式 1.3-9) から算出された浮き上がり変位と FEM 解析から得られた浮き上がり変位は一致しない。このことから、簡易式(資-式 1.3-9) は、底板の浮き上がり変位を求める式としては、有効であるとは考えられない。

この不一致は、底板の浮き上がりが、非線形効果が顕著な現象であるにもかかわらず、単純なはり理論に基づき試作した算出式では、アニュラ板の大変形による抵抗力が考慮されていないことが一因になっているものと考えられる。精度向上を図るためには、非線形効果を考慮した計算手法を導入する等の工夫が必要と考えられる。

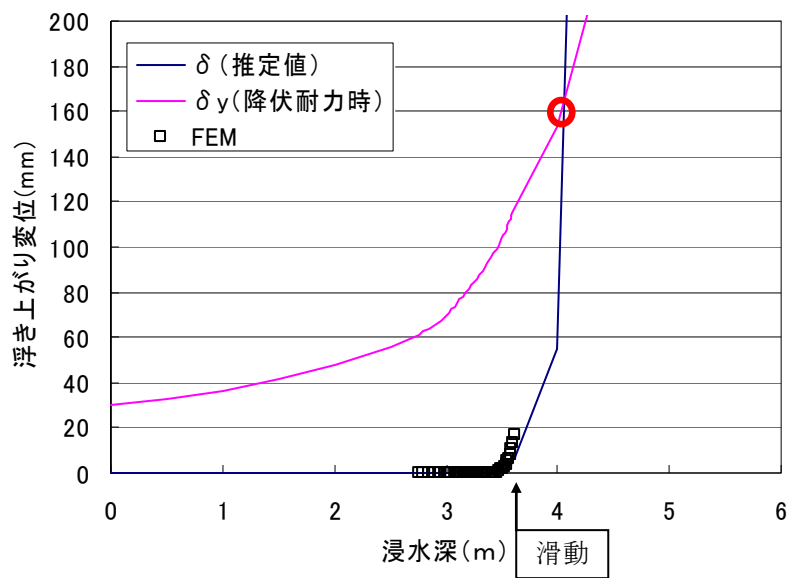


(a) 内液量 30%

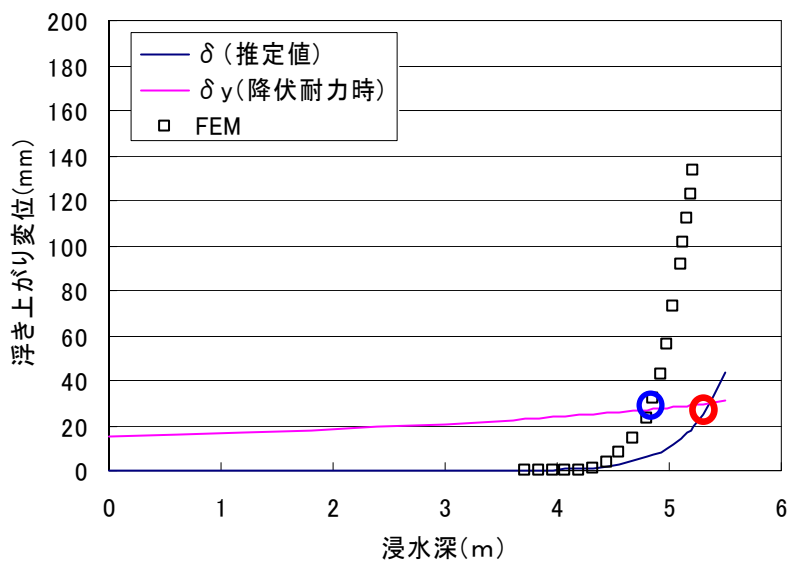


(b) 内液量 60%

図 1.3-5(1) 浮き上がり変位 (小規模タンクの場合)



(a) 内液量 30%



(b) 内液量 60%

図 1.3-5(2) 浮き上がり変位 (中規模タンクの場合)

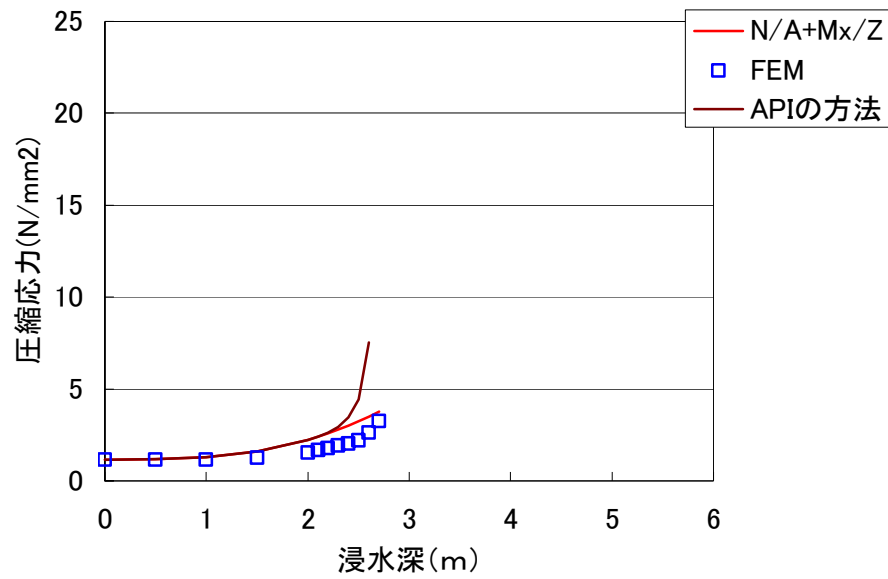
(b) 側板最下部の軸方向圧縮応力

側板最下部の軸方向圧縮応力を (資-式 1.3-10) から求めた。さらに、図 1.3-4 の API 650 Appendix-E の関係図より底板が浮き上がると判定された場合は、それに基づき底板の浮き上がりを考慮した軸方向圧縮応力を求めた。このようにして求めた軸方向圧縮応力と FEM 解析から得られた軸方向圧縮応力を図 1.3-6 に示す。小規模タンクの内液量 30%の (資-式 1.3-10) による算出結果は、FEM 結果と良く一致している。また、小規模タンクの内液量 60%を除けば、(資-式 1.3-10) のほうが FEM 解析によりも大きめに軸方向圧縮応力評価している。このことから、タンクの容量が小さく、内液量が多い場合を除けば、(資-式 1.3-10) は、側板最下部の軸方向圧縮応力の評価に用いることができるものと考えられる。

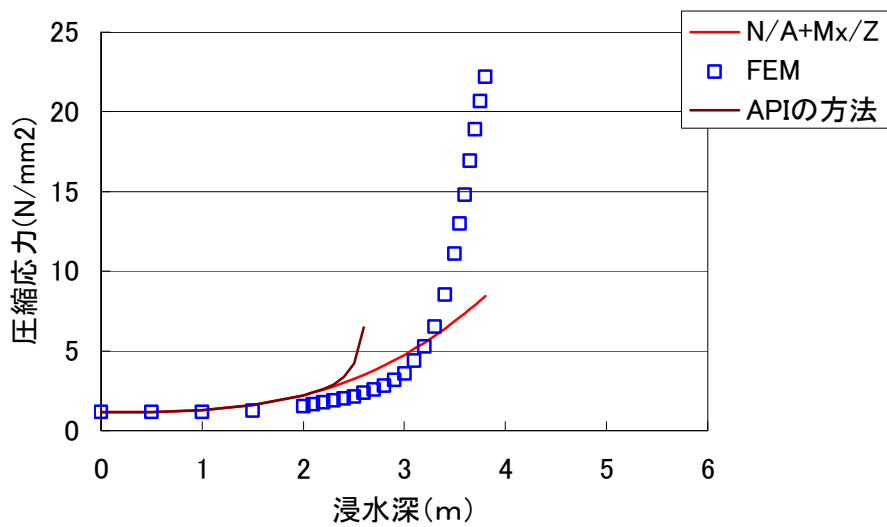
API の方法は、地震動作用時は、浮き上がりの効果を考慮することにより、軸方向圧縮応力の算出結果の精度の向上を図ることができるものとされているが、図 1.3-6 では、API の方法による算出結果よりもむしろ、(資-式 1.3-10) による算出結果のほうが FEM 解析結果に近いことから、API の方法は、津波波力作用時には必ずしも適さない可能性がある。ところで、中規模タンクでは、FEM 解析による圧縮力が減少している。これは、津波の上流側の側板のみならず、下流側の側板もタンク中心方向に変形し、これに伴って下流側底板が若干持ち上がることから、側板最下部の軸方向圧縮力が減少したものとする。

以上の結果から、小規模タンクの内液量 30%の場合は、線形領域では側板下部圧縮応力について (資-式 1.3-10) による結果と FEM 解析結果に一致が見られたが、他のケースについては非線形領域で一致しなかった。また、API による方法では過大評価となる結果であった。

以上で見たように、(資-式 1.3-10) は、津波を受けたタンクの津波下流側の側板最下部の軸方向圧縮応力の評価に用いることができるものと考えられるものの、今回解析対象としたケースを見る限りでは、側板最下部の軸方向圧縮応力は、許容圧縮応力に比べて約半分以下であることから、津波により側板下部に座屈が発生する可能性は小さいものと考えられる。



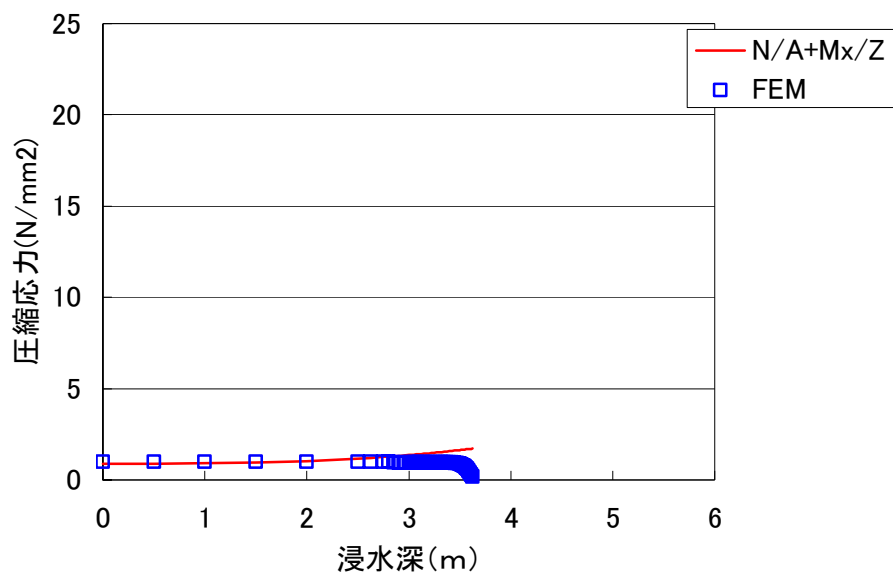
(a) 内液量 30%



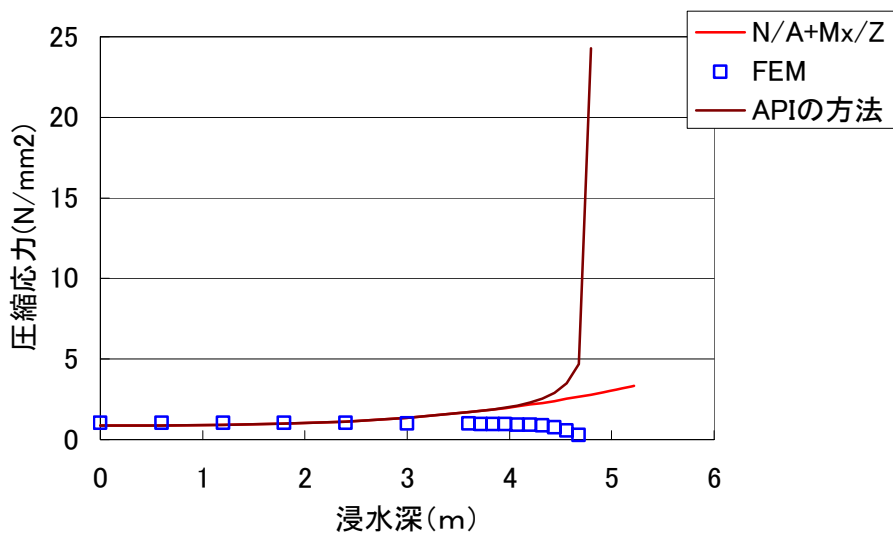
(b) 内液量 60%

図 1.3-6(1) 側板下部圧縮応力 (小規模タンクの場合)

許容応力 σ_{ca} : 59.6N/mm²



(a) 内液量 30%



(b) 内液量 60%

図 1.3-6(2) 側板下部圧縮応力（中規模タンクの場合）

許容応力 σ_{ca} : 50.7N/mm²

4. まとめ

津波水平波力と津波鉛直波力がタンクに作用した場合、タンクが傾くことによって底部が浮き上がる可能性がある。これに伴って、タンク本体には、「底板抜け出し」や「側板下部座屈」が発生することが考えられる。

そこで、津波波力がタンクに作用した場合におけるタンク底板と側板下部の変位及び発生応力を把握することを目的として FEM 解析を実施するとともに、「底板抜け出し」と「側板下部座屈」が発生する可能性を簡易に評価する方法の作成を試みた。

FEM 解析では、タンクが津波を受けた場合のタンクの大変形効果と底部と基礎の接触を考慮した弾性静解析を実施することにより、タンクの変形量とタンクに発生する応力を計算した。解析対象としたタンクは、容量約 1,000 kℓの小規模タンクと容量約 10,000 kℓの中規模タンクの 2 種類とした。タンク内液高は、小規模タンク、中規模タンクでそれぞれ最高液面高の 30%または 60%とし、津波浸水深を 0m から 6m まで段階的に大きくして、各ケースにおけるタンクの変形量ならびに発生応力を計算した。

次に、「底板抜け出し」、「側板下部座屈」が発生する可能性を簡易に評価するための式を試作し、その有効性を調べるために、FEM 解析による結果と比較した。

得られた主な結果は、以下のとおりである。

(1) 津波による屋外貯蔵タンクの挙動解析

表 1.4-1 に、小規模タンク（容量約 1,000 kℓ、図 1.2-1）、中規模タンク（容量約 10,000 kℓ、図 1.2-2）の 2 つのタンクで、内液高を最高液面高の 30%または 60%とした場合において、津波波力が作用した時のタンク底部の挙動ならびに発生応力に関する FEM 解析結果を掲げる。タンクはアンカーされていないものと仮定し、内容液の比重は 0.8 とした。

表 1.4-1 タンク挙動に関する FEM 解析結果（アンカーされていないものと仮定）

タンク容量 内液高	小規模タンク (容量約 1,000 kℓ)	中規模タンク (容量約 10,000 kℓ)
最高液面高の 30%	浸水深 2.7m で滑動 (図 1.2-7(a))	浸水深 3.2m で底板隅角部が盛り上がり、浸水深 3.6125m で滑動 (図 1.2-7(c))
最高液面高の 60%	浸水深 2.9m で底板の一部が浮き上がり、浸水深 3.8m で底板隅角部の応力が降伏応力に近い高い応力に達すると同時に滑動 (図 1.2-7(b))	浸水深 4.0m で底板の一部が浮き上がり、浸水深 5.22m で降伏応力に近い高い応力が底板隅角部で発生 (図 1.2-16)

FEM 解析結果から、津波波力作用時の「底板抜け出し」、「側板下部座屈」が発生する可能性については、次の①、②のことが言える。

- ① 容量約 10,000 kℓのタンクで内液高 60%の場合は、浸水深が 5.22m になると、側板下端の浮き上がりにより、浮き上がった側のタンク底板隅角部で降伏応力に近い高い応力が発生するという結果が得られたが（図 1.2-16）、それ以外の 3 つのケースでは、高応力が発生する前あるいは発生と同時に滑動が生ずるという結果が得られた（図 1.2-7(a)～(c)）。このことから推測すると、タンクが大きくかつ内液量が多いという条件の下では、「底板抜け出し」等の底部における構造上の被害が発生する可能性は否定できないものと考えられるが、これ以外の条件下では、底部に構造上の被害が発生するよりも先に「滑動」が生じるものと予想される。
- ② 解析対象とした 4 つのケースで見る限り、側板下部に発生する圧縮応力は、許容圧縮応力に比べて約半分以下という解析結果が得られた（図 1.2-17～18）。このことから、津波により側板下部に座屈が発生する可能性は小さいものと思われる。

なお、以上の結果は、タンクがアンカーされていないと仮定した場合のものであって、アンカーされている場合には、「滑動」や「浮き上がり」が抑制され、そのかわりに高い応力が底部に発生する可能性が考えられる。

（２）簡易予測式に関する検討

- ・ 「底板抜け出し」の発生可能性を簡易に評価するため、日本建築学会「容器構造設計指針・同解説」²⁾を参考にして、単純なはりモデルに基づいて、タンク底部の浮き上がり変位量を算出する式を試作した。
- ・ 「側板下部座屈」の発生可能性を簡易に評価するため、消防法令の技術基準適合確認のために例示されている側板軸方向圧縮応力の計算方法および「API 650 Appendix-E」による底板浮き上がりを考慮した単純なはりモデルを用いた方法に基づき、側板最下部における圧縮応力の算出式を試作した。
- ・ 試作した算出式による結果と FEM 解析結果を比較した結果、側板下部圧縮応力については、線形領域では一致が見られたが非線形領域では一致しなかった。また、底板浮き上がり変位量については、全般的に一致しなかった。これは、底板の浮き上がりが、非線形効果が顕著な現象であるにもかかわらず、試作した算出式では、アニュラ板の大変形による抵抗力が考慮されていないことが一因となっているものと考えられる。（図 1.3-5～6）
- ・ 結局、今回単純な線形理論に基づいて試作した簡易算出式では、「底板抜け出し」、「側板下部座屈」が発生する可能性を評価することはできないものと考えられる。「底板抜け出し」、「側板下部座屈」が発生する可能性を算術的に評価するためには、非線形効果を考慮する等の工夫が必要と考えられる。

<参考文献>

- 1) 鋼製石油貯蔵の構造（全溶接製）JIS B 8501-1995： 附属書 4 本体の強度計算 (2)
本体の転倒と滑り(e), 解 51.
- 2) 日本建築学会(2001)：容器構造設計指針・同解説.

資料— 2 防油堤に作用する津波波力に関する検討

1. 概 要

屋外タンク貯蔵所での津波被害発生可能性を予想するためには、まず防油堤に作用する津波波力を評価する必要がある。既往の検討¹⁾で用いられている防油堤に作用する津波波力の算定式は、津波が防油堤を越流する効果が考慮されていないため、津波波力を過大に評価する可能性がある。そこで、防油堤に作用する津波波力をより精確に算定できるよう、既往の津波波力算定方法を、津波が防油堤を越流する効果を考慮することにより、改良することとする。

(1) 既往の津波波力算定方法

既往の検討¹⁾での津波波力の評価には、鉛直無限壁を想定した朝倉ら(2000)²⁾の津波波力の算定式が用いられた。この算定式は、壁体に作用する津波波力は壁体が無い場合の同位置における最大浸水深 $\eta_{\max}$ の3倍の静水圧分布に等しいとしたものであり、津波が鉛直壁を越流しないような条件下で実施された実験の結果に基づいて提案された式である。

この既往の津波波力算定方法では、直立壁である防油堤に作用する津波波力は、最大浸水深 $\eta_{\max}$ の3倍が、防油堤高さ以下とそれ以上の場合で分けて算定される(図 2.1-1)。すなわち、 h_c を防油堤高さとする、 $h_c \geq 3\eta_{\max}$ のとき、津波波力は高さ $3\eta_{\max}$ まで作用する三角形分布とされ、 $h_c < 3\eta_{\max}$ の場合には、上記三角形のうち高さ h_c までの分が作用する台形分布とされる。これにより、防油堤に作用する津波水平波力(合力)は、次の式で表されることとなる。

(i) $h_c \geq 3\eta_{\max}$ の場合

$$\begin{aligned} F_{dH} &= \frac{1}{2} \times 3\rho g \eta_{\max} \times 3\eta_{\max} \\ &= \frac{9}{2} \rho g \eta_{\max}^2 \end{aligned} \quad (\text{資-式 2.1-1})$$

(ii) $h_c < 3\eta_{\max}$ の場合

$$\begin{aligned} F_{dH} &= \frac{1}{2} \times (\rho g (3\eta_{\max} - h_c) + 3\rho g \eta_{\max}) \times h_c \\ &= \frac{1}{2} \rho g h_c (6\eta_{\max} - h_c) \end{aligned} \quad (\text{資-式 2.1-2})$$

ここで、 F_{dH} : 津波水平波力、 ρ : 津波水の比重、 g : 重力加速度である。

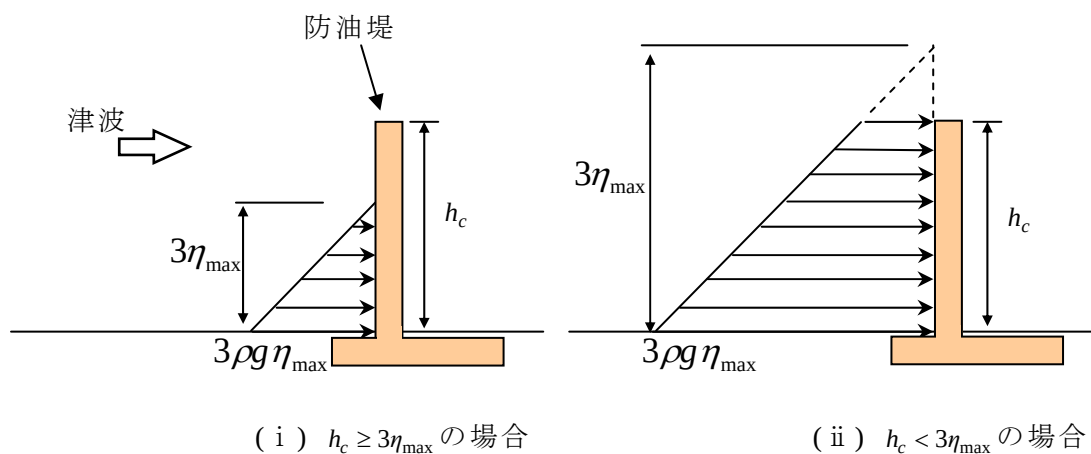


図 2.1-1 既往の検討¹⁾で用いられた防油堤に作用する津波波力算定方法

(2) 検討フロー

ここでは、津波が防油堤を越流する効果を考慮した津波波力算定方法を提案するため、図 2.1-2 に示す手順を踏んだ。

- ① 既往の津波波力に関する水理模型実験の結果³⁾により入射波を設定する。
- ② 「数値波動水路」⁴⁾による数値シミュレーション結果と実験結果とを比較する。
- ③ 防油堤の高さを変えた数値波動水路による津波波力に関する数値実験を実施する。
- ④ これらの結果を用いて津波が防油堤を越流するときの防油堤に作用する津波波力算定方法を作成する。

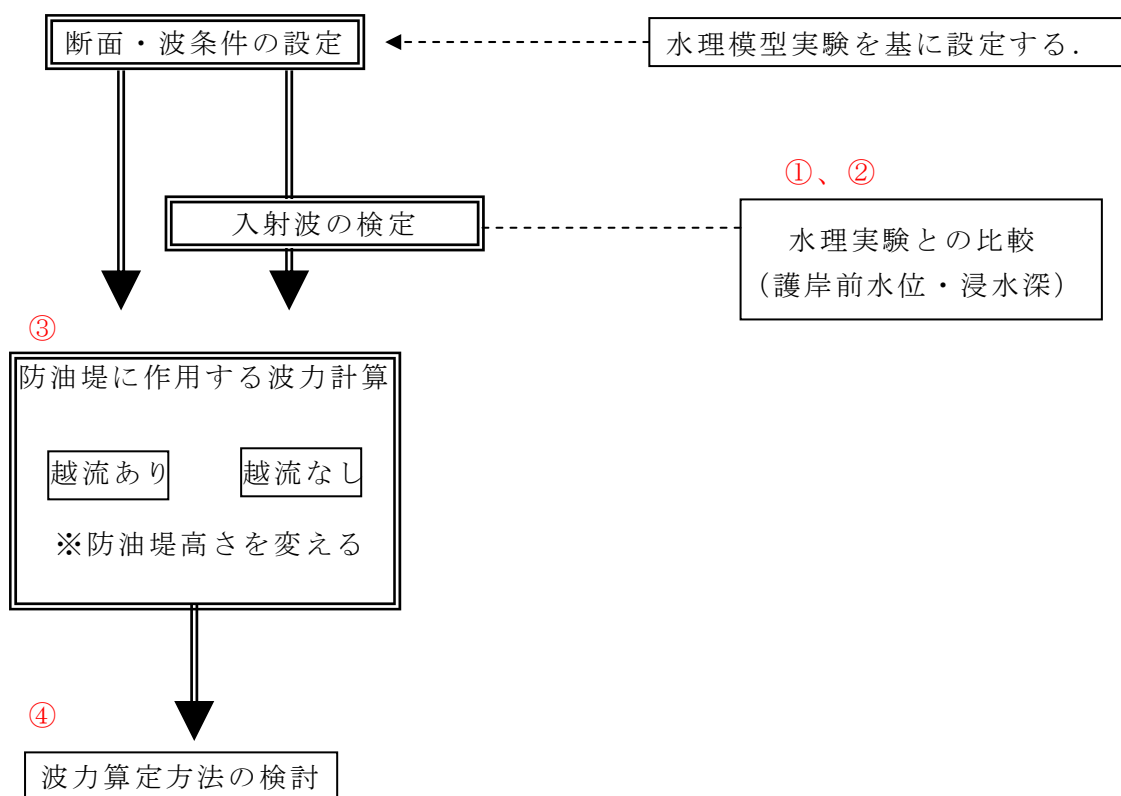


図 2.1-2 検討フロー

2. 防油堤に作用する津波波力に関する水理模型実験結果の概要

2.1 実験概要

(1) 実験の目的

文献 3)では、屋外貯蔵タンクの被害予測手法を提案するため、津波波力算定式の提案を行うことを目的とした水理模型実験を実施している。この実験では、防油堤が津波を受けたときに防油堤にかかる波圧が計測されている。

(2) 実験条件

① 模型実験縮尺

フルード相似則に従い、1/100 スケールで実験を実施している。

② 津波条件

実験では、津波の沖合波高を 5、7.5、10m（現地換算）の 3 種類、津波周期を 5、15、30 分の 3 種類とし、これらの条件を組み合わせる津波が造波された。表 2.2-1 に津波条件と造波ケース名を示す。括弧内は現地換算値である。

表 2.2-1 津波条件と造波ケース名

	30s (5 分)	90s (15 分)	180s (30 分)
5.0cm (5.0m)		1u	
7.5cm (7.5m)	2u	3u	4u
10.0cm (10.0m)		5u	

③ 陸上地形と模型配置

実験模型は、陸上地形は水平とし、1 基のタンクの周りに防油堤が配置された状況（図 2.2-1）とされた。実験では、防油堤内にタンクが設置された状態で防油堤にかかる波圧が計測されている。

④ 防油堤の模型と波圧の計測

写真 2.2-1 に波圧計の設置状況を示す。対象とした防油堤は高さが 20mm（現地換算 2m）、厚さが 10mm（現地換算 1m）で、波圧計は鉛直方向に 5mm 間隔で 3 点配置し、波圧分布の特性が調べられている。

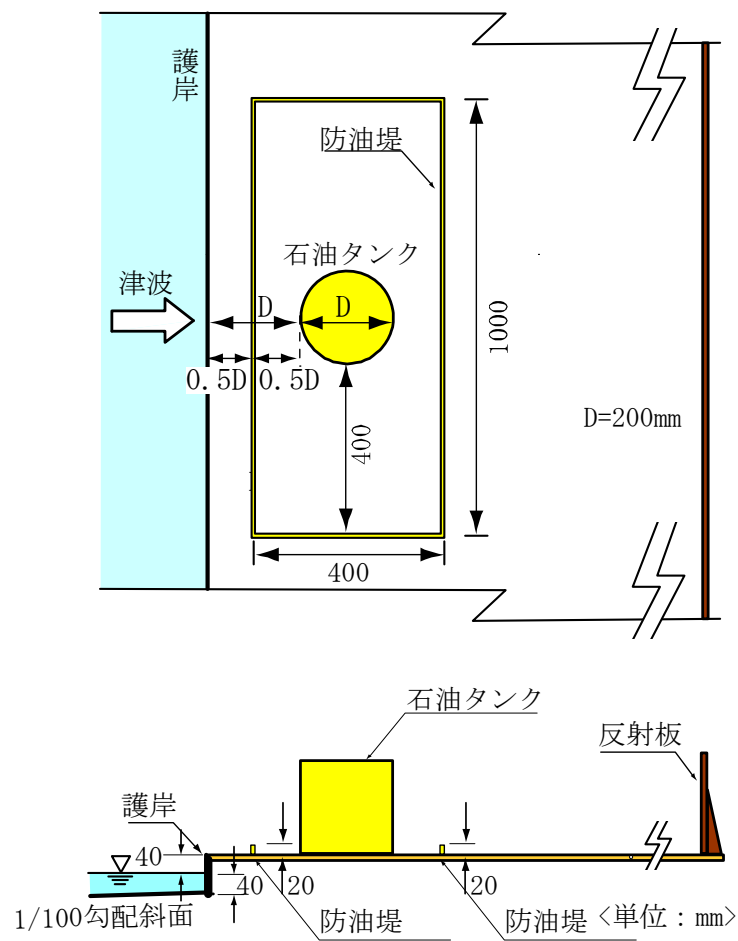


図 2.2-1 陸上構造物の平面配置



写真 2.2-1 波圧計設置状況

2.2 実験結果の概要

計測の状況を写真 2.2-2 に、各波条件における作用高さ Z と計測された最大波圧の結果を図 2.2-2 に示す。縦軸（波圧が計測された高さ）及び横軸（計測された波圧）は模型を設置しないときの津波浸水深 $\eta_{\max}$ 及びそのときの静水圧を用いて、それぞれ無次元化されている。この図には、それぞれの波条件のケースで波圧積分波力が最大となる時刻における波圧がプロットされている。また、図中の点線は、朝倉ら(2000)²⁾による津波浸水深 $\eta_{\max}$ の3倍に相当する静水圧を示している。

水理模型実験で計測された作用波圧は、朝倉ら(2000)²⁾の津波浸水深の3倍に相当する静水圧より小さい値となっている。これは、防油堤上の越流の影響によるものと考えられる。

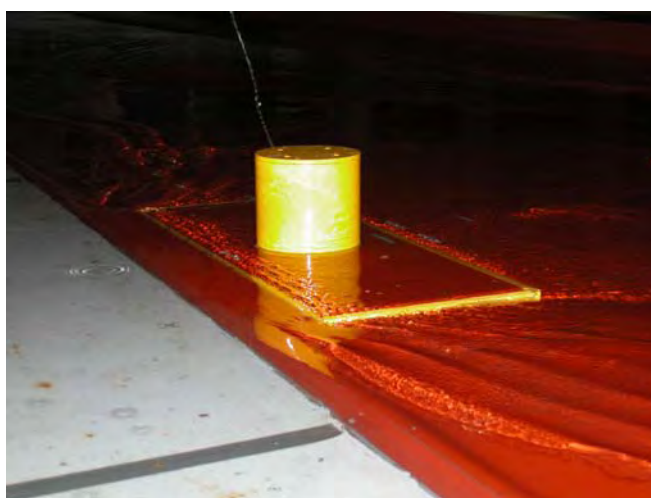
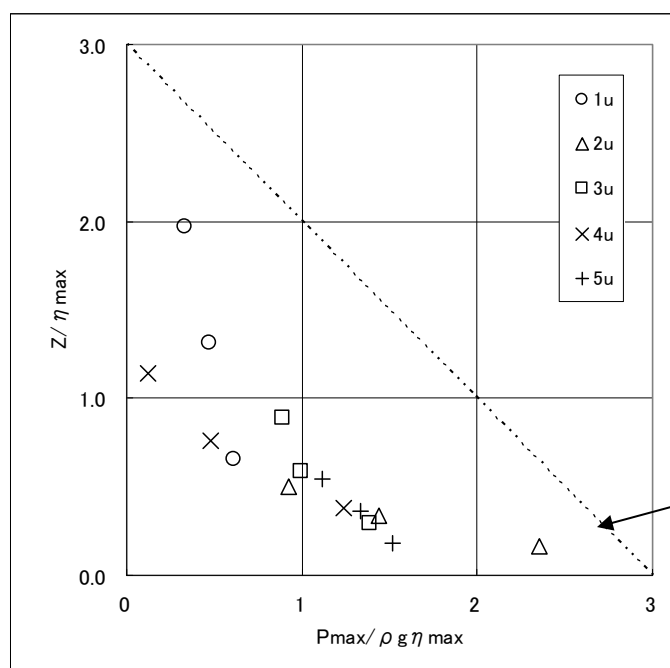


写真 2.2-2 実験状況



朝倉ら(2000)²⁾の式

図 2.2-2 防油堤に作用する作用高さ Z と最大波圧 $P_{\max}$ の関係
(波圧積分波力最大時の値、模型なし時の最大浸水深 $\eta_{\max}$ で無次元化)

3. 防油堤高さをパラメータとした津波波力の数値計算

ここでは、「数値波動水路」⁴⁾と呼ばれる数値計算技法を用いて、防油堤に作用する津波波力を、数値計算により求めることを考えた。

3.1 数値波動水路の概要

使用した「数値波動水路」⁴⁾は、『CADMAS-SURF』というプログラム名である。『CADMAS-SURF』は、波や流れによる水位、圧力、流速、流量などの水理諸量を算出することが可能である。その出力結果を図 2.3-1 に例として示す。本解析に用いた数値波動水路のパラメータは、表 2.3-1 に示すとおりである。

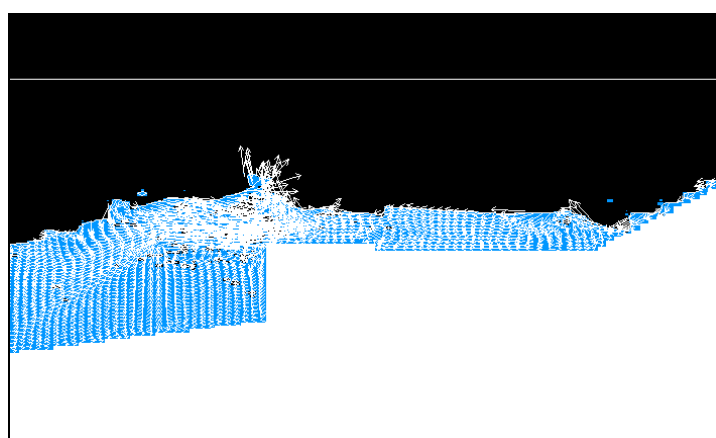


図 2.3-1 『CADMAS-SURF』を用いた計算結果例

表 2.3-1 数値波動水路パラメータ

諸元		設定
時間制御	時間刻み幅	自動
	解析終了時間	150 sec
造波モデル	造波関数	流れ関数
	流れ関数 B の次数	10
物性値	密度	1000.0 kg/m ³
	分子動粘性係数	0.0
	重力加速度	9.8 m/s ²
乱流モデル		未使用
差分スキーム	流速に DONOR スキーム	DONOR スキームパラメータ 0.2
連立一次方程式の解法	M-ILUBCGSTAB 法	MILU 用パラメータ 0.95
	最大反復回数	500
	収束判定値(絶対誤差)	1.0 × 10 ⁻¹⁵
	収束判定値(相対誤差)	1.0 × 10 ⁻¹²
消波被覆計算格子の設定	空隙率	0.5
	慣性力係数	1.2
	抵抗係数	1.0
境界条件	流速・圧力の境界条件	スリップ
	VOF 関数 F の境界条件	フリー

(1) 計算格子

格子間隔 : 岸沖方向 X 2.0m~0.5m、
鉛直方向 Z 1.0m~0.25m

図 2.3-2 計算格子間隔

数値計算は、水理模型実験と同じ断面とした基本ケースと、防油堤位置および斜面勾配を変更したケースについて行った。これらのケースを、表 2.3-2 および図 2.3-3 に示す。各ケースで防油堤高さをいくつか設定して計算を実施した。

防油堤位置や海底勾配が水理模型実験とは異なるケース②から④で計算を行ったのは、防油堤に作用する津波波力の大きさは、陸上部を遡上して防油堤に衝突する津波の先端部の形（切り立ち具合や碎波）によって変化すると考えられるためである。

	防油堤位置 (護岸先端から)	海底勾配
Case① (基本ケース)	10m	1/100
Case②	5m	1/100
Case③	15m	1/100
Case④	10m	1/80

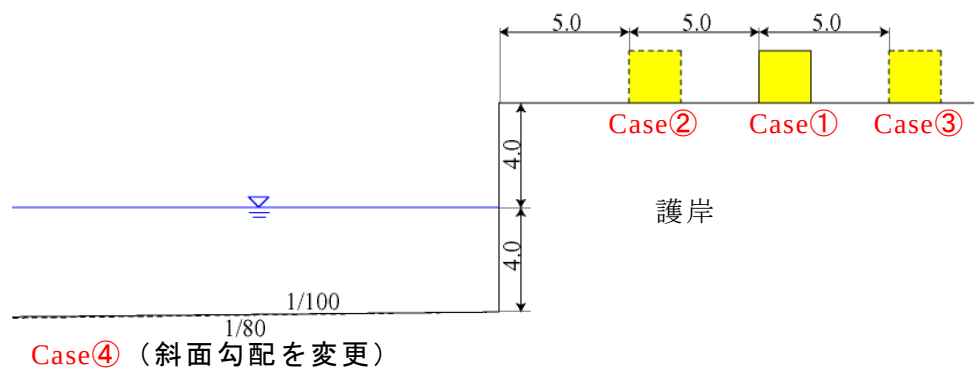


図 2.3-3 計算ケース

図 2.3-4～6 に示す防油堤高さを変化させた場合における計算結果の例を示す。

「防油堤あり」で津波が越流しないケース（図 2.3-5）では、防油堤高さ 6m をとして計算を行った。ただし、津波の波高の高いケースでは 10m として計算を行った。

「防油堤あり」で津波が越流するケース（図 2.3-6）では、防油堤高さを 1m、2m、3m、4m、6m と変えて計算を行った。ただし、防油堤高さ 4m で越流しなかった場合は、防油堤高さ 6m についての計算は行わなかった。



図 2.3-4 防油堤なし



図 2.3-5 防油堤あり（越流なし）



図 2.3-6 防油堤あり（越流あり）

(3) 入射波

計算で入射させる水位時系列は、図 2.3-7 に示す実験において ch7 の容量式波高計で計測された水位時系列を現地スケール（100 倍）に換算したものに基いて作成した。ch7 で計測された水位時系列には、護岸からの反射波も含まれており、この入射波と反射波の重なりあったものを「数値波動水路」により再現できるように、ch7 の容量式波高計で計測された水位時系列の振幅を調整して入射波の水位時系列を設定した。また、計算上必要な入射波の流速は長波理論に基づき設定した。

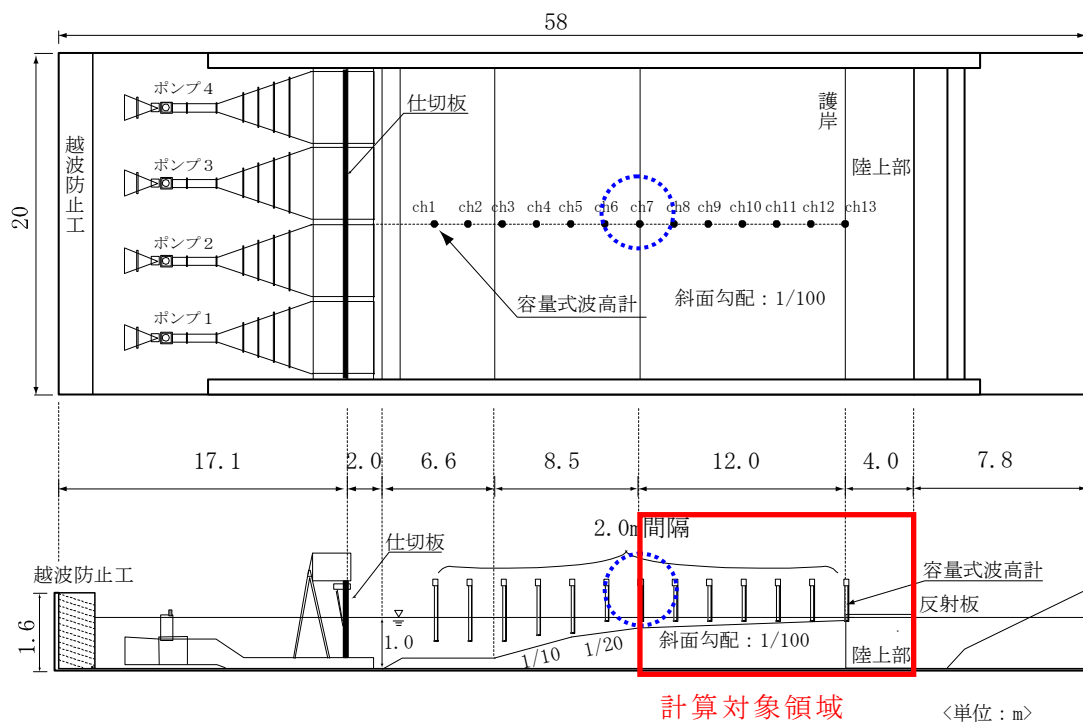


図 2.3-7 計算対象領域と計算に使用した入射波 ch7

3.3 数値波動水路による計算結果

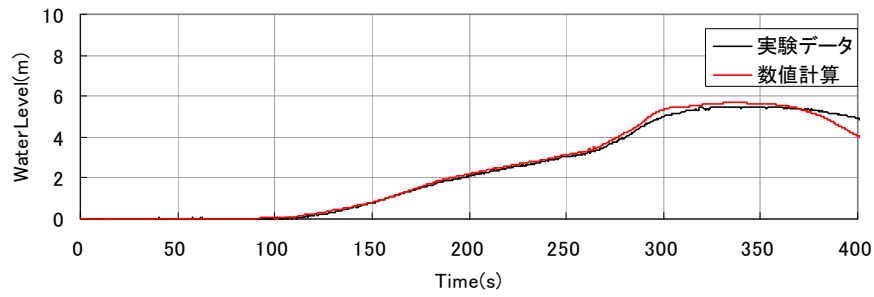
(1) 水位波形

まず、表 2.3-2 の Case①、すなわち水理模型実験と同じ断面とした基本ケースに対する計算結果と水理模型実験で計測されたデータを比較する。

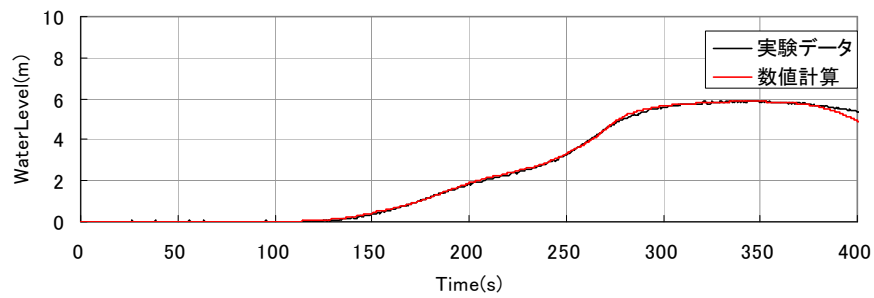
表 2.3-3 に、基本ケースで防油堤を置かない場合について計算された最大浸水深とそのときの流速を掲げる。これらの最大浸水深と流速は、防油堤を置く場合のその設置位置で計算されたものである。また、図 2.3-8～2.3-12 には、水位時系列の計算結果と実験結果の比較を水理模型実験における造波ケースごとに示す。図の数値はフルード則に従い、現地スケールに換算している。計算による水位は海域においては実験で計測された水位と振幅及び位相とも良く一致している。図 2.3.13 は、防油堤を置く場合のその設置位置で計算された流速の時系列である。

表 2.3-3 最大浸水深と流速

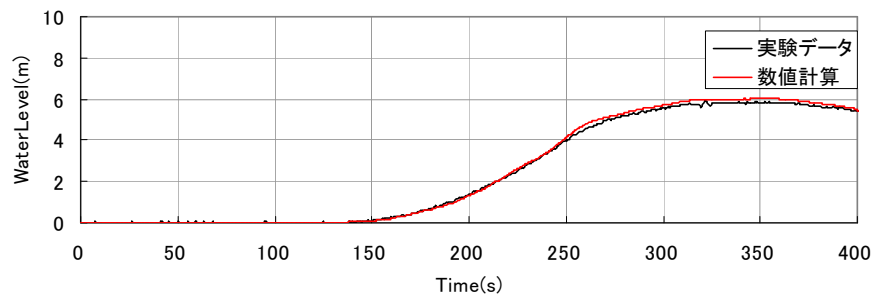
造波 ケース	津波高さ (m)	周期 (分)	最大浸水深 $\eta_{\max}$ (m)	最大浸水水深時 の流速 V (m/s)	時刻 (t)
1u	5.0	15	1.21	3.58	379
2u	7.5	5	3.05	6.57	173
3u	7.5	15	2.20	5.69	343
4u	7.5	30	2.02	4.74	343
5u	10.0	15	3.35	6.89	318



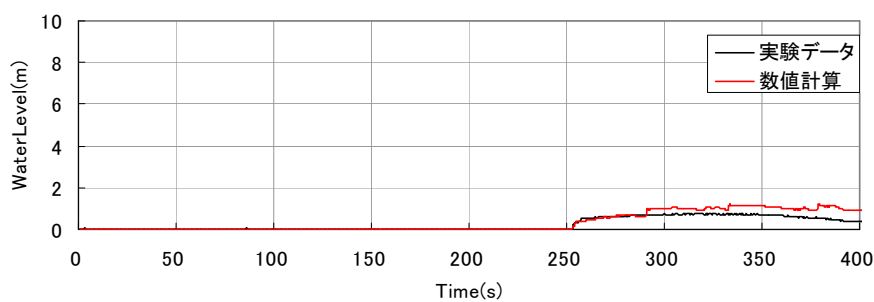
(a) 護岸から 600m 離れた海域の波形



(b) 護岸から 400m 離れた海域の波形

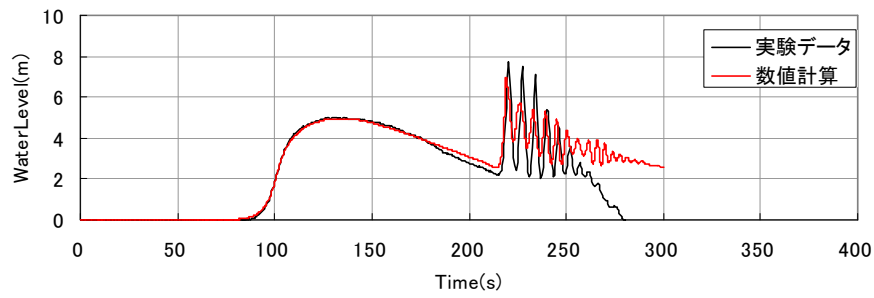


(c) 護岸から 200m 離れた海域の波形

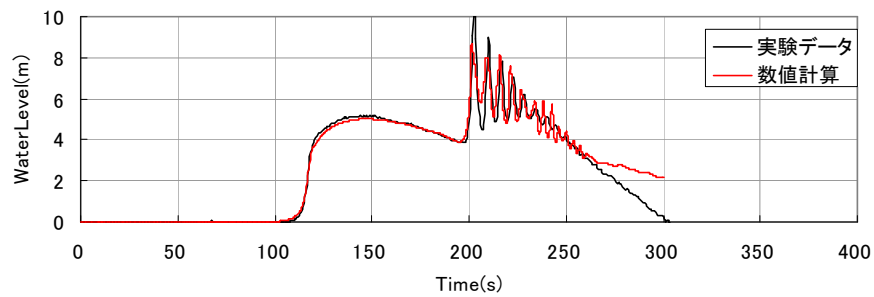


(d) 防油堤位置（陸域）

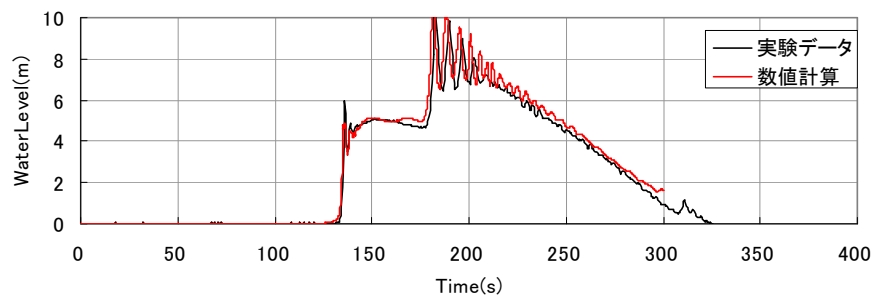
図 2.3-8 水位時刻歴波形の比較（1u の場合）



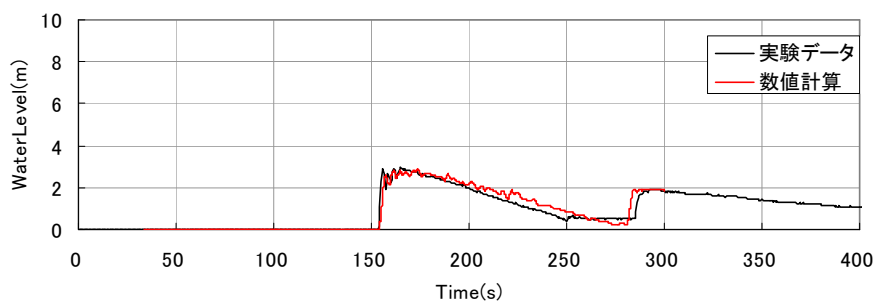
(a) 護岸から 600m 離れた海域の波形



(b) 護岸から 400m 離れた海域の波形

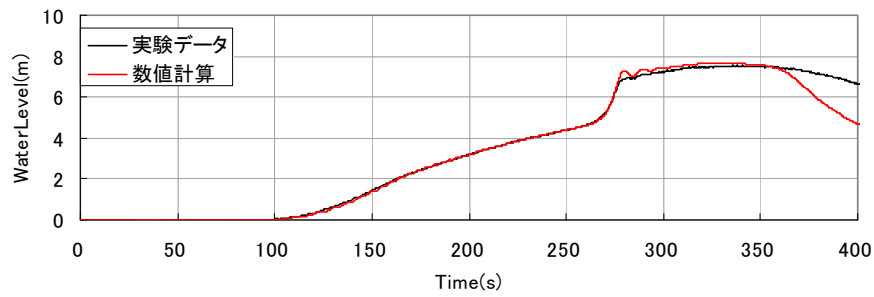


(c) 護岸から 200m 離れた海域の波形

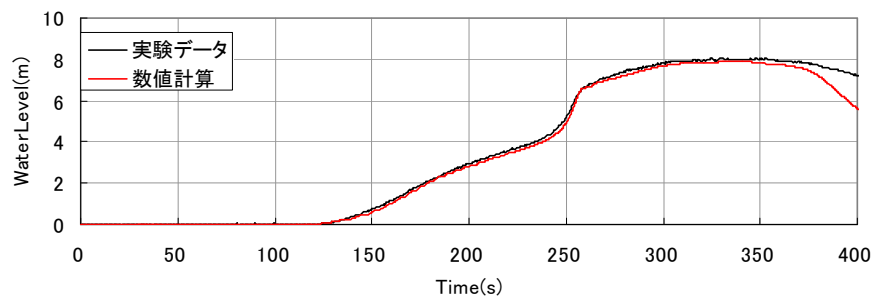


(d) 防油堤位置（陸域）

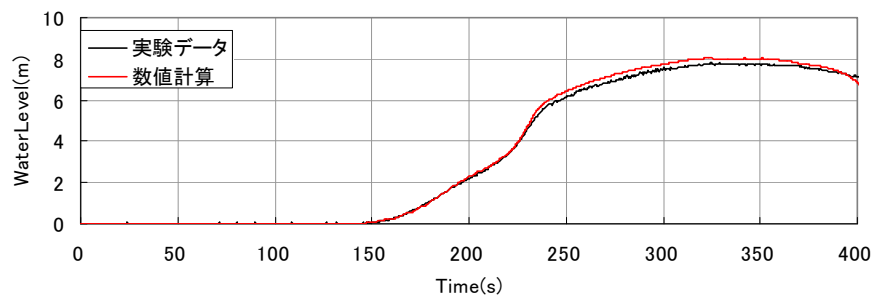
図 2.3-9 水位時刻歴波形の比較（2u の場合）



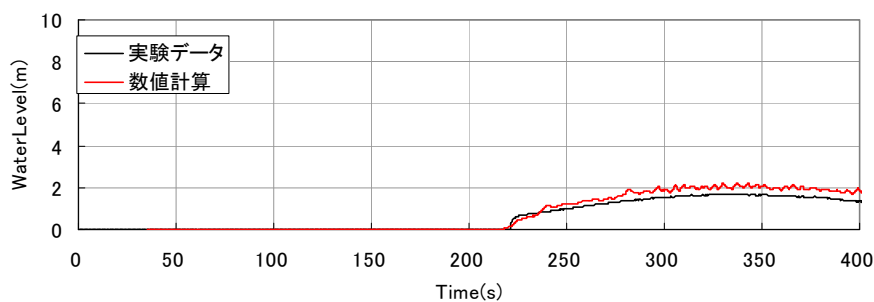
(a) 護岸から 600m 離れた海域の波形



(b) 護岸から 400m 離れた海域の波形

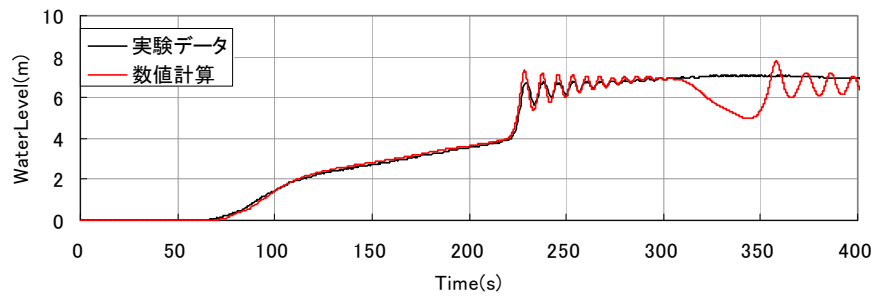


(c) 護岸から 200m 離れた海域の波形

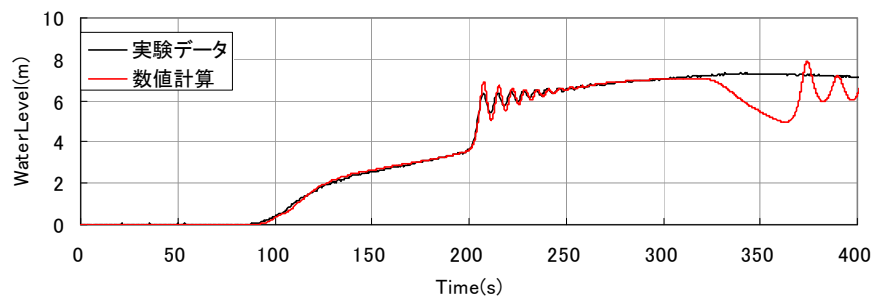


(d) 防油堤位置（陸域）

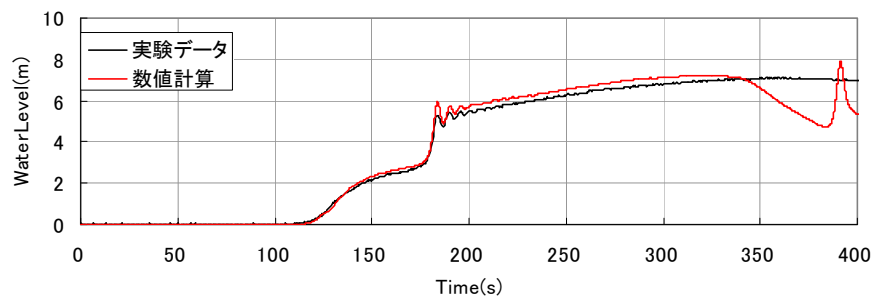
図 2.3-10 水位時刻歴波形の比較（3u の場合）



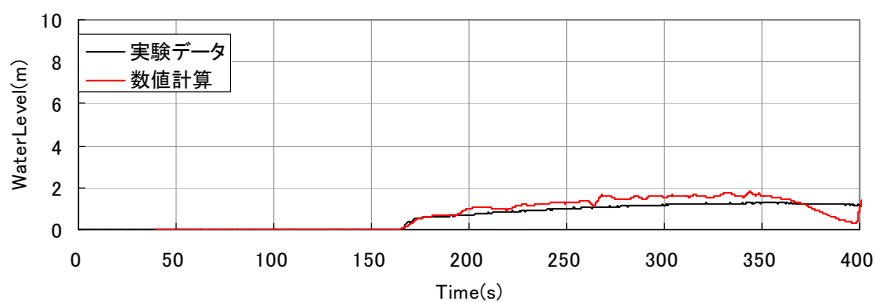
(a) 護岸から 600m 離れた海域の波形



(b) 護岸から 400m 離れた海域の波形

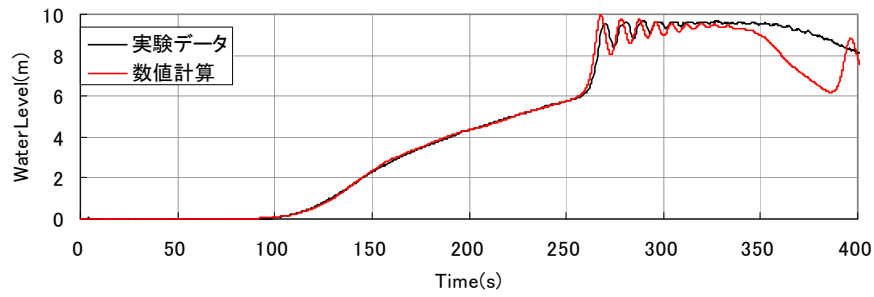


(c) 護岸から 200m 離れた海域の波形

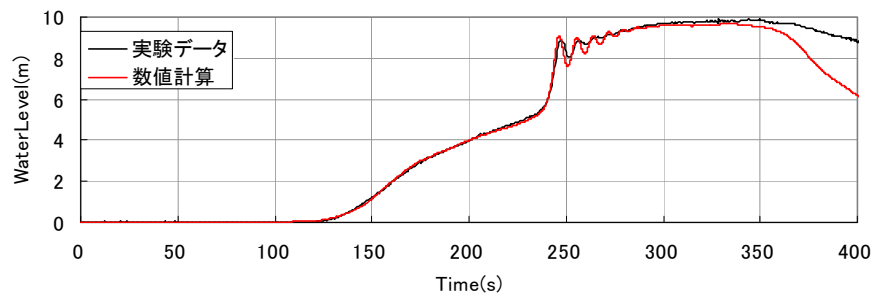


(d) 防油堤位置（陸域）

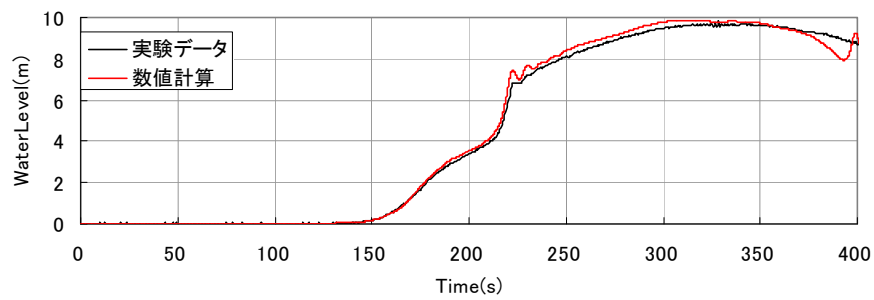
図 2.3-11 水位時刻歴波形の比較（4u の場合）



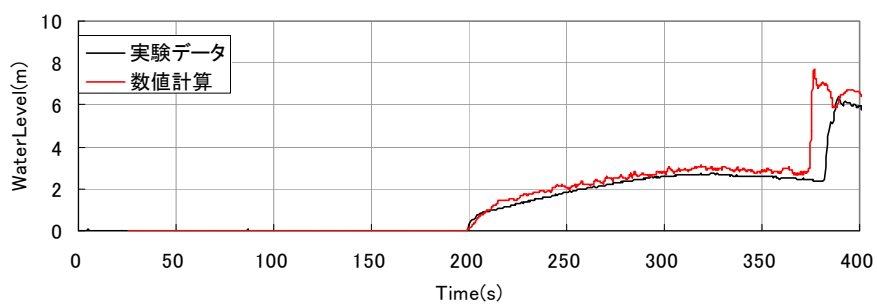
(a) 護岸から 600m 離れた海域の波形



(b) 護岸から 400m 離れた海域の波形

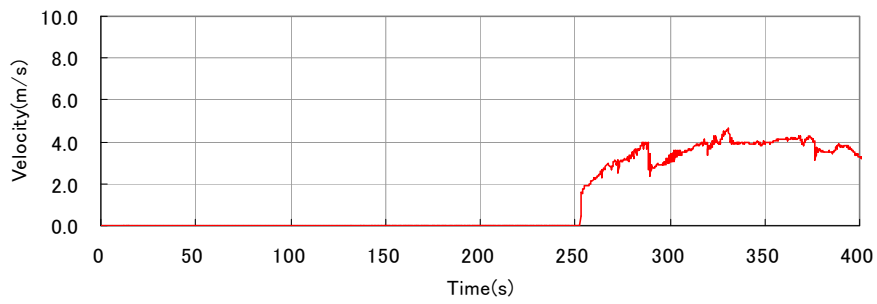


(c) 護岸から 200m 離れた海域の波形

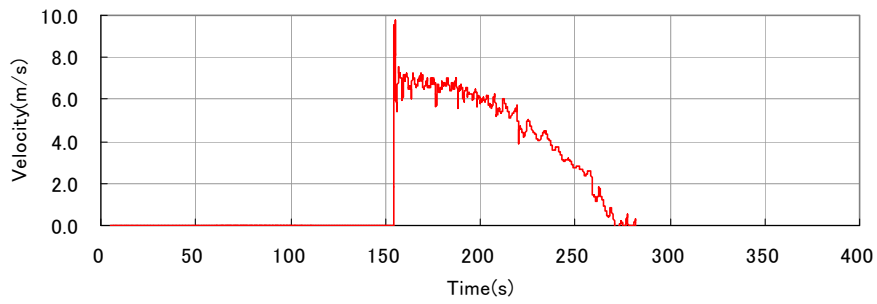


(d) 防油堤位置（陸域）

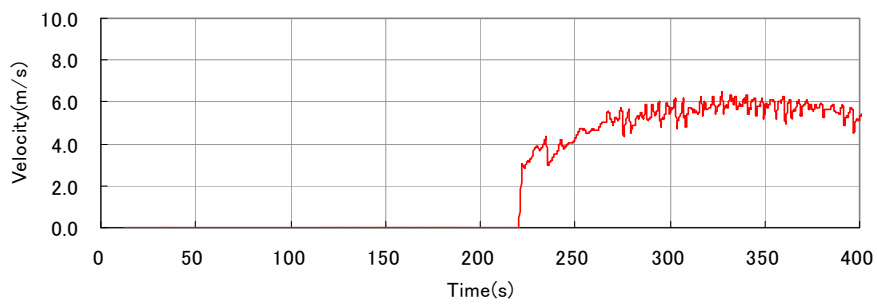
図 2.3-12 水位時刻歴波形の比較（5u の場合）



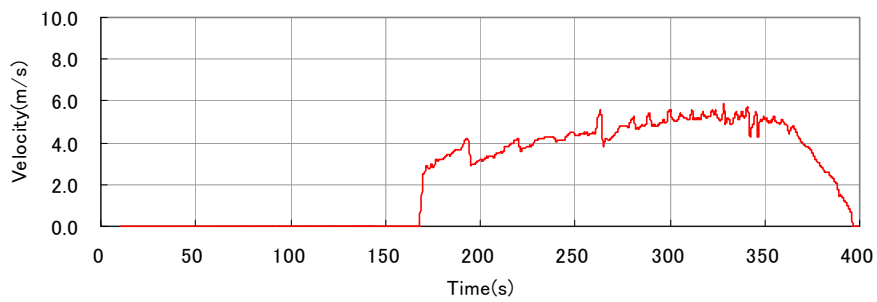
(a) 1u の場合



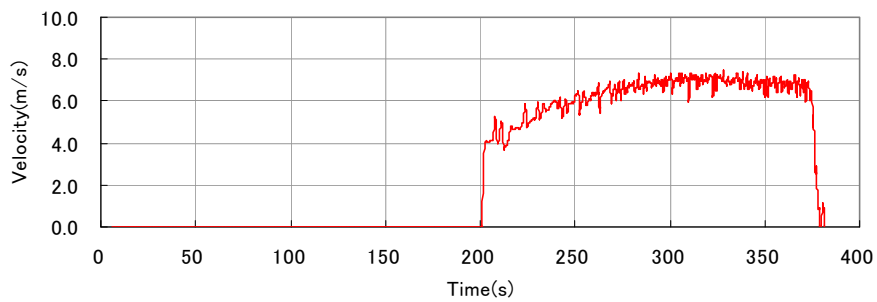
(b) 2u の場合



(c) 3u の場合



(d) 4u の場合



(e) 5u の場合

図 2.3-13 防油堤位置における流速時刻歴波形

(2) 波圧・波力

図 2.3-14 に、断面形状を表 2.3-2 の Case①、防油堤の高さを 2.0m、造波ケースを数値模型実験の「5u」として、「数値波動水路」から計算された防油堤に作用する波圧の時刻歴を示す。防油堤の高さ方向の各点で計算された波圧のなかでは、最下点での波圧が最大となる。この最下点で計算された波圧のうち、波圧が最大となる時刻の波圧を最大波圧 $P_{\max}$ とする。最大波圧 $P_{\max}$ が発生する時刻における波圧計算結果を高さ方向に積分した値と実験で波力が最大となった時刻における計測値の比較を図 2.3-15 に示す。計算結果は実験結果を若干上回っているが、計算結果が実験結果を包絡している点に着目すれば、この「数値波動水路」による計算で、波力を評価することができると言える。

断面形状を表 2.3-2 の Case①としたまま、防油堤の高さをさまざまに変え、また各造波ケースも変えて、「数値波動水路」から防油堤に作用する波圧を計算した。各ケースで最大波圧 $P_{\max}$ が出現する時刻における防油堤の高さ方向の各点での波圧を図 2.3-16 に示す。縦軸（波圧が計測された高さ）及び横軸（計測された波圧）は模型を設置しないときの津波浸水深 $\eta_{\max}$ 及びそのときの静水圧を用いて、それぞれ無次元化されている。図 2.3-16 の点線は、津波浸水深 $\eta_{\max}$ の 3 倍の高さの水塊の静水圧の高さ分布であり、朝倉ら(2000)²⁾の津波波力の算定方法では、防油堤に作用する波圧は、この静水圧と等価であると見なしている。「数値波動水路」から計算された防油堤に作用する波圧は、この津波浸水深 $\eta_{\max}$ の 3 倍の高さの水塊の静水圧を下回っている。これは、津波が防油堤を越流していることの影響と考えられる。また、防油堤が低くなるほど、波圧が小さくなる傾向が見られる。これは、防油堤が低くなると、越流量が多くなるためと思われる。

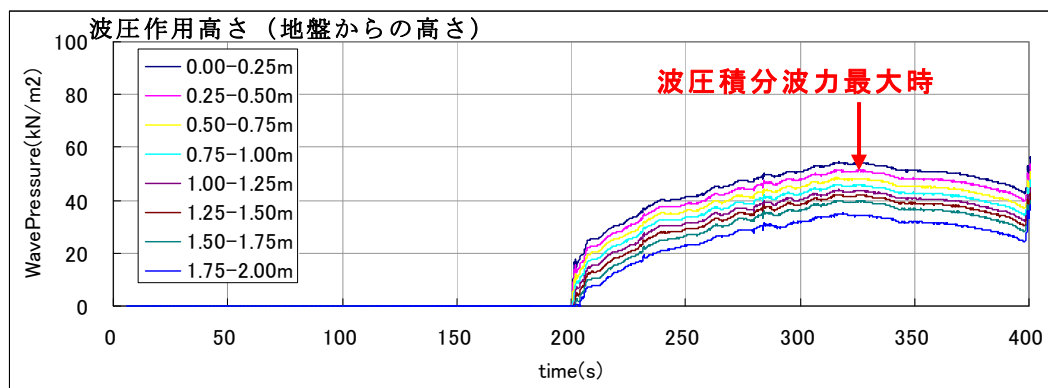


図 2.3-14 波圧時系列計算結果（5u の場合、防油堤 2.0m）

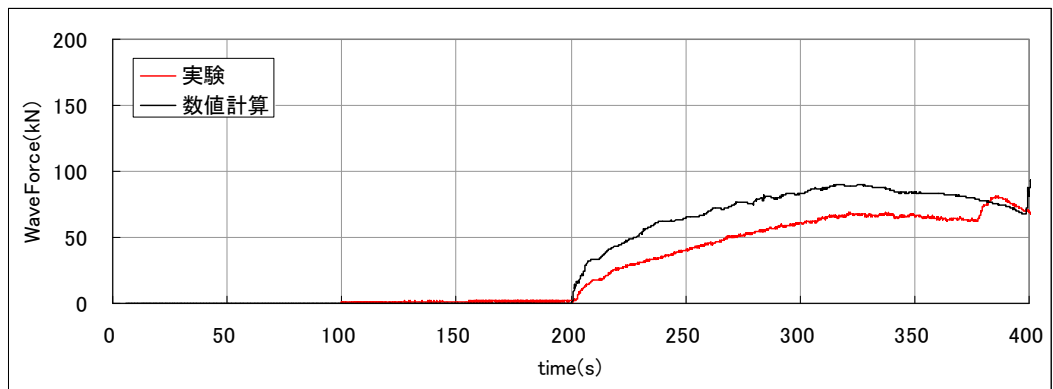


図 2.3-15 波力時系列の計算結果と実験結果の比較（5u の場合、防油堤 2.0m）

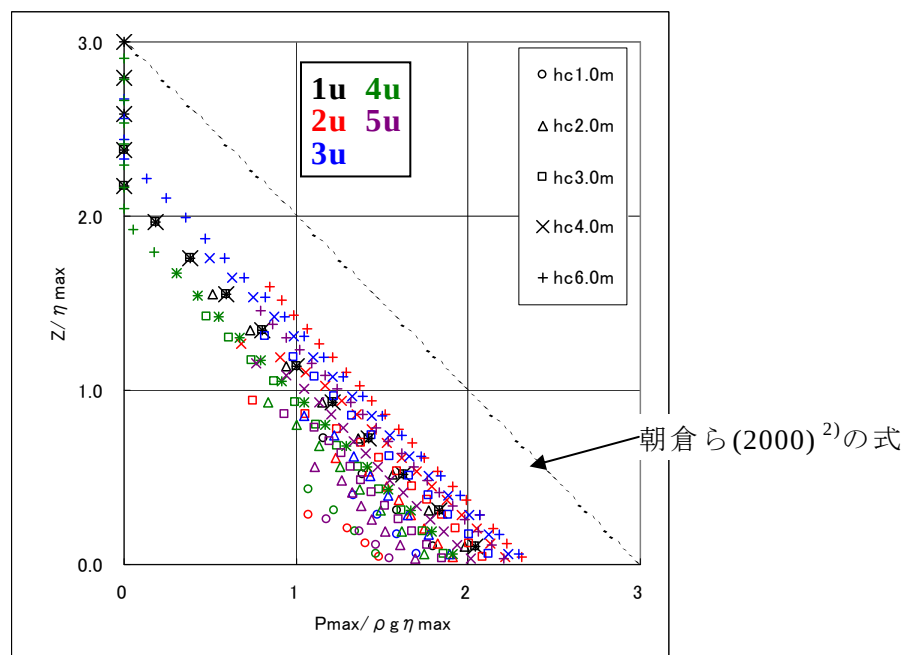


図 2.3-16 無次元最大波圧分布

4. 防油堤に作用する津波波力算定式の提案

図 2.3-15 で見たように、防油堤を越流する際の防油堤に作用する最大波圧分布は、図 2.4-1 に示すように、非越波時の最大波圧分布に対していくらかの低減を見込むことができると考えられる。また、防油堤に作用する最大波圧分布は、防油堤の高さに依存するものと考えられる。

そこで、防油堤を越流する場合の最大波圧 $P_{\max}$ を次式のように静水圧分を除いた動圧を静水圧で無次元化した動圧係数 α_d を用いて表すこととしてみる。

$$P_{\max} = (1 + \alpha_d) \cdot \rho g \eta_{\max} \quad (\text{資-式 2.4-1})$$

ここで、動圧係数 α_d は最大浸水深 $\eta_{\max}$ と防油堤高さ h_c の関数であり、 $\alpha_d(h_c / \eta_{\max})$ である。

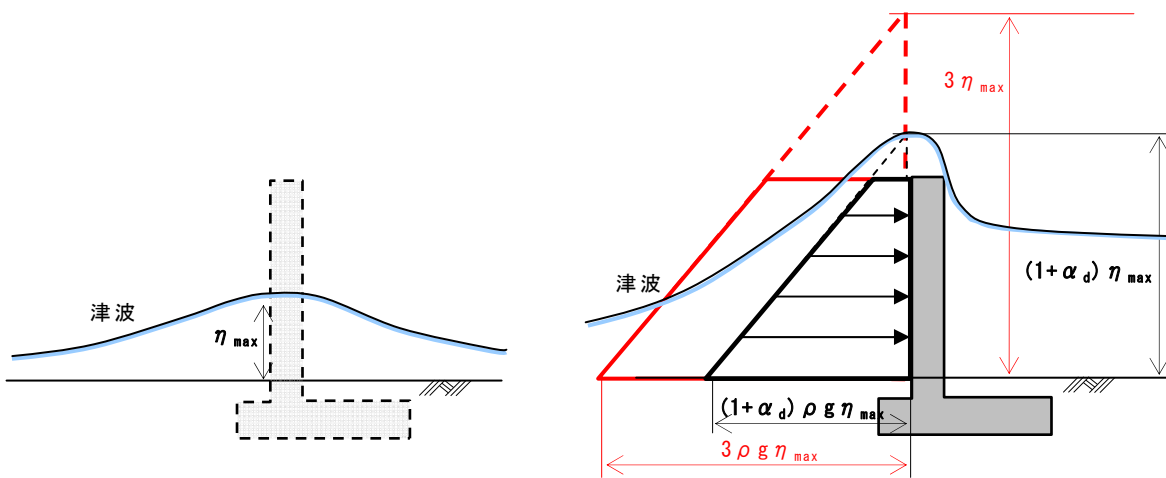


図 2.4-1 越流時の波圧分布図

図 2.4-2 は、さまざまなケースについて「数値波動水路」から得られた津波波力を、横軸を $h_c / \eta_{\max}$ 、縦軸を $\alpha_d / \alpha_d(h_c \rightarrow \infty)$ としてプロットしてみたものである。ここで、 $\alpha_d(h_c \rightarrow \infty)$ は、防油堤高さを無限とした場合、すなわち、既往の津波波力算定式で採用されていた仮定に対応する場合の α_d で、その値は 2.0 である。すなわち、 $\alpha_d / \alpha_d(\infty)$ は、津波が防油堤を越流しない時には 1.0 となる。また、津波の高さが微小な場合には、防油堤に作用する最大波圧は、ほぼ静水圧相当となるため、 $\alpha_d / \alpha_d(\infty)$ はほぼ 0.0 となる。

図 2.4-2 に示されている「数値波動水路」から得られた津波波力は、図中に引いた「赤線」上にほぼのっている。従って最大波圧は、 $h_c / \eta_{\max}$ 、すなわち、防油堤高さと最大浸水深の関係で説明できると考えてよいと言える。

図 2.4-2 中の赤線は次の式で表される。

$$\alpha_d / \alpha_d(\infty) = \begin{cases} -0.346 \times (h_c / \eta_{\max})^2 + 1.176 \times (h_c / \eta_{\max}) & (h_c / \eta_{\max} \leq 1.7) \\ 1.0 & (h_c / \eta_{\max} > 1.7) \end{cases} \quad (\text{資-式 2.4-2})$$

これにより、津波が防油堤を越流する効果を考慮に入れた、防油堤に作用する津波波力

の算定式を次のように提案する。

まず、最大波圧（防油堤底面部での波圧） $P_{\max}$ は次の式で表される。

$$P_{\max} = \alpha_d \rho g \eta_{\max} \quad (\text{資-式 2.4-3})$$

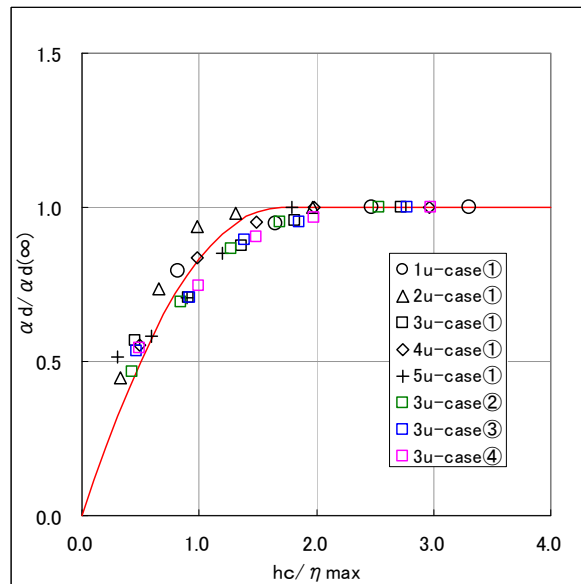
$$\alpha = 1 + \alpha_d \quad (\text{資-式 2.4-4})$$

$$\alpha_d = \begin{cases} -0.692 \times (h_c / \eta_{\max})^2 + 2.352 \times (h_c / \eta_{\max}) & (h_c / \eta_{\max} \leq 1.7) \\ 2.0 & (h_c / \eta_{\max} > 1.7) \end{cases} \quad (\text{資-式 2.4-5})$$

この結果、防油堤に作用する津波水平波力（合力） F_{dH} は次の式で表される。

$$\textcircled{1} \quad h_c \geq 1.7\eta_{\max} \text{ の場合 : } F_{dH} = \frac{9}{2} \rho g \eta_{\max}^2 \quad (\text{資-式 2.4-6})$$

$$\textcircled{2} \quad h_c < 1.7\eta_{\max} \text{ の場合 : } F_{dH} = \frac{1}{2} \rho g h_c (2\alpha\eta_{\max} - h_c) \quad (\text{資-式 2.4-7})$$



防油堤位置での最大流速

1u-case① 4.60m/s

2u-case① 7.52m/s

3u-case① 6.52m/s

4u-case① 5.53m/s

5u-case① 7.43m/s

3u-case② 5.25m/s

3u-case③ 6.20m/s

3u-case④ 5.79m/s

図 2.4-2 越流時の津波波力算定図

<参考文献>

- 1) 東電設計株式会社・鹿島建設株式会社(2006)：津波による石油タンクの被害予測手法に関する研究，平成 17 年度消防防災科学技術研究推進制度．
- 2) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷毅・高尾誠・金戸俊道・藤井直樹・大森政則(2000)：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 911-915.
- 3) 東電設計株式会社・鹿島建設株式会社(2005)：津波による石油タンクの被害予測手法に関する研究，平成 16 年度消防防災科学技術研究推進制度．
- 4) (財)沿岸開発技術研究センター(2001)：数値波動水路の研究・開発，沿岸開発技術ライブラリー，No. 12.

資料－３ 屋外貯蔵タンクに作用する津波波力に関する検討

１．概 要

（１） 目的

屋外貯蔵タンクの津波被害発生可能性を予想するためには、タンクに作用する津波波力を評価する必要がある。既往の検討¹⁾で用いられていた屋外貯蔵タンクに作用する津波波力式は、津波の最大浸水深のみによって評価を行っており、流速が小さい場合には過大に波力を評価する可能性があった。そこで、過去に実施されたタンク模型に津波を当てる水理模型実験²⁾で測定されたデータを再整理することにより、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力をより精確に算定できるような新たな津波波力算定式を提案することとした。

(2) 既往の津波波力の算定方法

既往の検討¹⁾では、津波波圧は、タンク側面および底面に、図 3.1-1 に示すような分布形状となるとして算定されていた。水平波力および鉛直波力の算定方法は次のようになる。

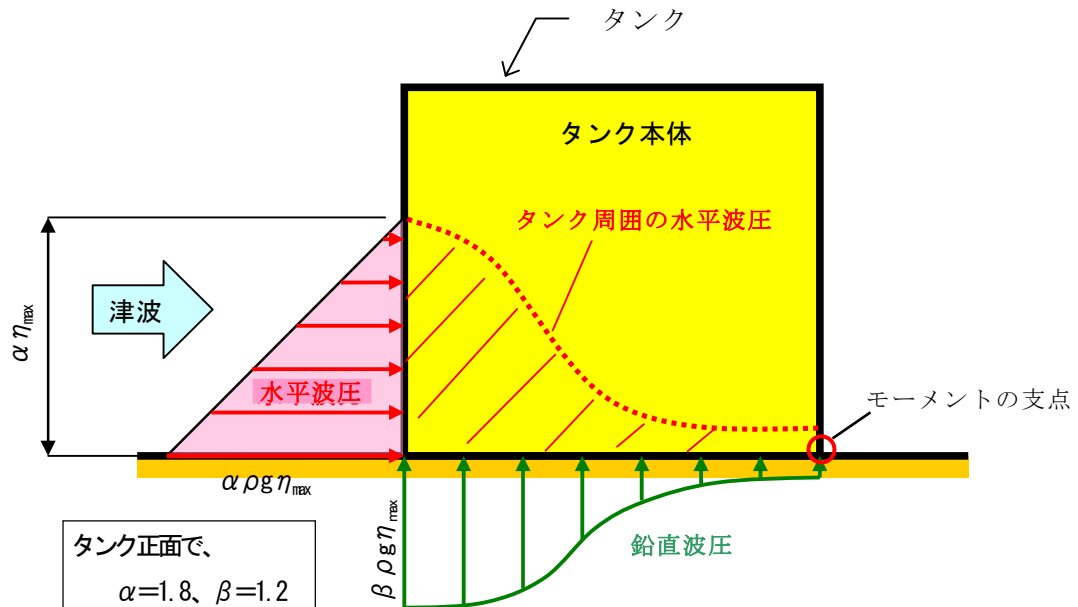


図 3.1-1 タンク本体に作用する津波波圧分布（既往の検討¹⁾）

① 水平波力

過去に実施された水理模型実験²⁾では、さまざまな周期と波高の模擬津波を発生させて水位、模型タンクに作用する水平波力等の計測が行われた。その結果、タンクに津波が当たっている状態において模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点で計測されたタンク前面における津波水位 $\eta_d^{\max}$ は、入射波の最大水位、すなわち、タンクを置かない状態におけるタンク設置位置での津波水位の最大値（最大浸水深 $\eta_{\max}$ ）の1.8倍程度であった。すなわち、タンク前面における津波水位 $\eta_d^{\max}$ は、下式で計算できるものとされた。

$$\eta_d^{\max} = 1.8\eta_{\max} \quad (\text{資-式 3.1-1})$$

また、同じく水理模型実験³⁾から、模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点でのタンク周囲の津波水位（津波到来方向となす角度が θ の方向の側板での津波水位） $h_d^{\max}(\theta)$ は、次のフーリエ級数で近似できることがわかった。

$$h_d^{\max}(\theta) = \eta_d^{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta = 1.8\eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta \quad (\text{資-式 3.1-2})$$

$$p_0 = 0.680$$

$$p_1 = 0.340$$

$$p_2 = 0.015$$

$$p_3 = -0.035$$

参考のため図 3.1-2 に、 $\eta_{\max}$ に対する $h_x^{\max}(\theta)$ の比率を示す。

さらに、水理模型実験²⁾からは、模型タンクに作用する水平波力が最大となる時点においてタンクの前面で計測された水圧の高さ方向分布は、その時点でのタンク前面における水位からの静水圧分布で近似可能であることがわかった。これに基づいて、津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} は、下式で評価できるものと考えられた。

$$F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^2 R \cos \theta d\theta \quad (\text{資-式 3.1-3})$$

ここで、 R はタンクの半径である。(資-式 3.1-3)から計算された水平波力と水理模型実験²⁾で計測されたタンクに作用する水平波力を比較したところ、計算結果は測定結果とおおむね一致していたことから、(資-式 3.1-3)により最大浸水深 $\eta_{\max}$ から津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} を算定できるとすることが提案された。

本報告書では、(資-式 3.1-2)の中の値「1.8」を「タンク水平波力に係る浸水深係数」と呼ぶことにし、「 α 」と表記することとする。これにより、津波を受けるタンクに作用する水平波力の最大値 F_{tH} を算定する式として提案された式は次のように表される。

$$F_{tH} = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \rho g [h_x^{\max}(\theta)]^2 R \cos \theta d\theta \quad (\text{資-式 3.1-3 再掲})$$

$$h_x^{\max}(\theta) = \alpha \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 p_m \cos m\theta \quad (\text{資-式 3.1-4})$$

$$p_0 = 0.680$$

$$p_1 = 0.340$$

$$p_2 = 0.015$$

$$p_3 = -0.035$$

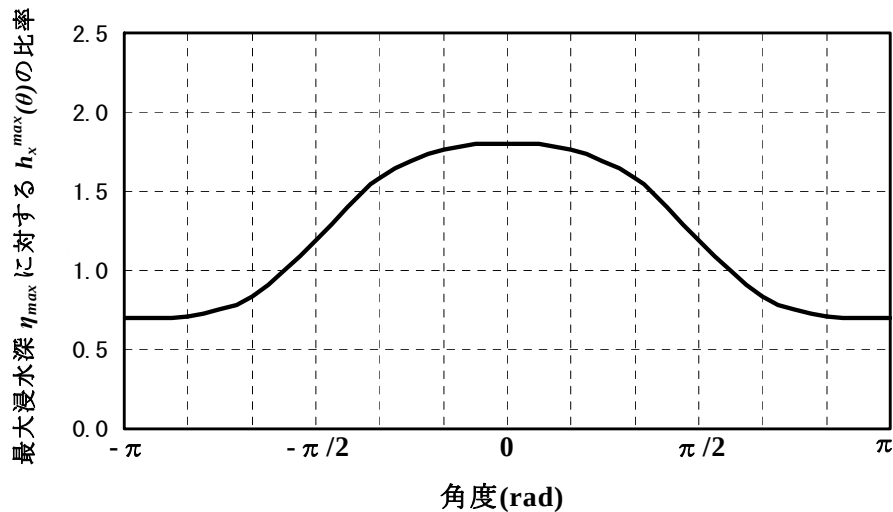


図 3.1-2 タンク円周方向の最大浸水深 $\eta_{\max}$ に対する $h_x^{\max}(\theta)$ の比率

(「タンク水平波力に係る浸水深係数」(α))

② 鉛直波力

津波を受けるタンクに作用する鉛直波力の最大値 F_{tV} を算定する式については、「①水平波力」と同様の考え方で次式が提案された。

$$F_{tV} = 2 \int_0^\pi \rho g h_v^{\max}(\theta) R^2 \cos^2 \theta d\theta \quad (\text{資-式 3.1-5})$$

$$h_v^{\max}(\theta) = \beta \eta_{\max} \sum_{m=0}^3 q_m \cos m\theta \quad (\text{資-式 3.1-6})$$

$$q_0 = 0.720$$

$$q_1 = 0.308$$

$$q_2 = 0.014$$

$$q_3 = -0.042$$

ここで $h_v^{\max}(\theta)$ は、津波を受けるタンクにおいて鉛直波力が最大となる時点でのタンク周囲における水位である。水理模型実験²⁾によると、鉛直波力が最大となる時点は、水平波力が最大となる時点とは異なっており、鉛直波力が最大となる時点におけるタンク側板における水位は、最大浸水深 $\eta_{\max}$ の 1.2 倍程度であった。このため、(資-式 3.1-6) の β の値は 1.2 とされている。本報告書では、 β を「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」と呼ぶことにする。参考のため図 3.1-3 に、 $\eta_{\max}$ に対する $h_v^{\max}(\theta)$ の比率を示す。

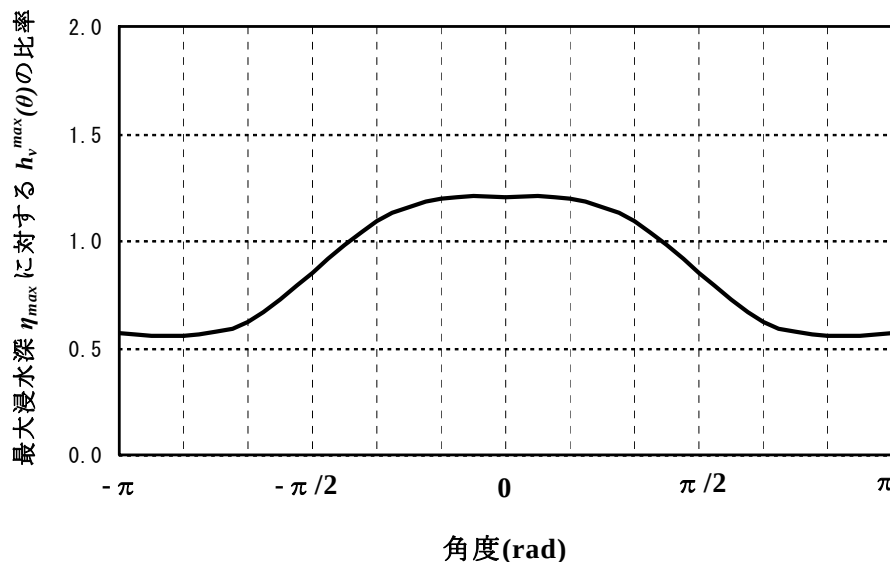


図 3.1-3 タンク円周方向の最大浸水深 $\eta_{\max}$ に対する $h_v^{\max}(\theta)$ の比率
(「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」(β))

2. タンク本体に作用する津波波力に関する水理模型実験の概要

(1) 実験装置

文献 2)の屋外貯蔵タンクに作用する津波波力に関する水理模型実験は、図 3.2-1 及び写真 3.2-1 に示す津波発生装置を有する平面水槽において実施された。

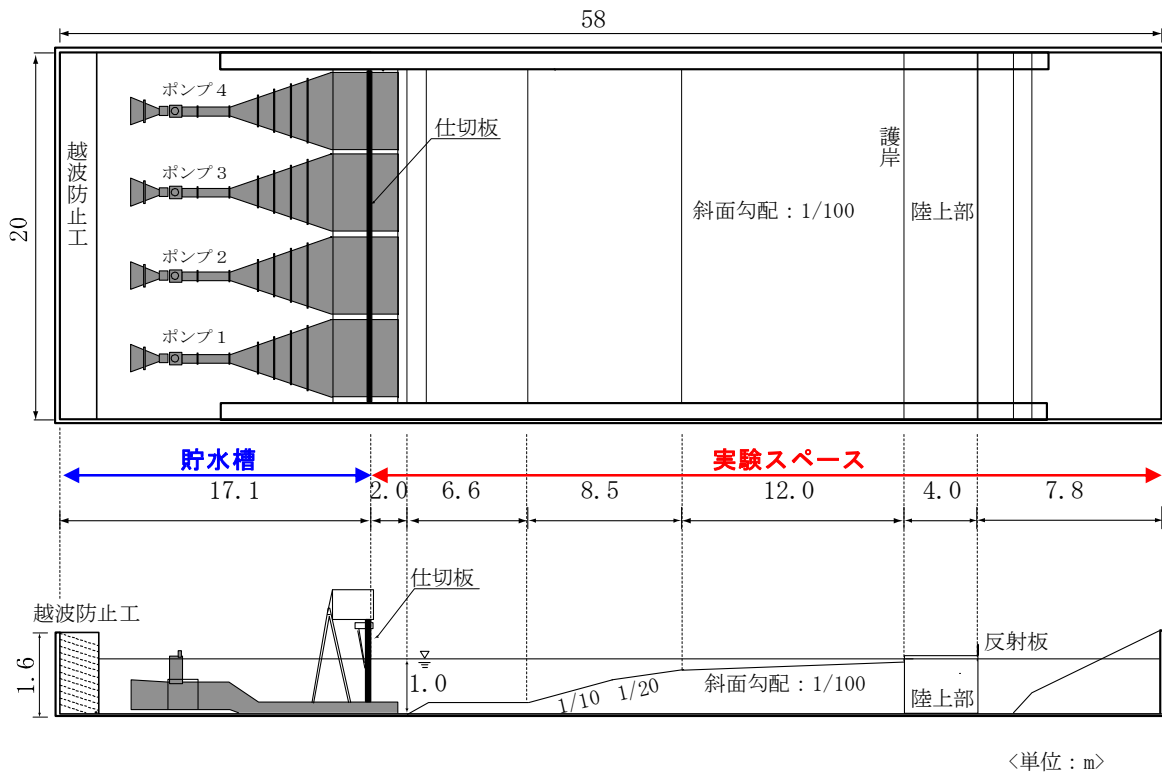


図 3.2-1 津波実験装置

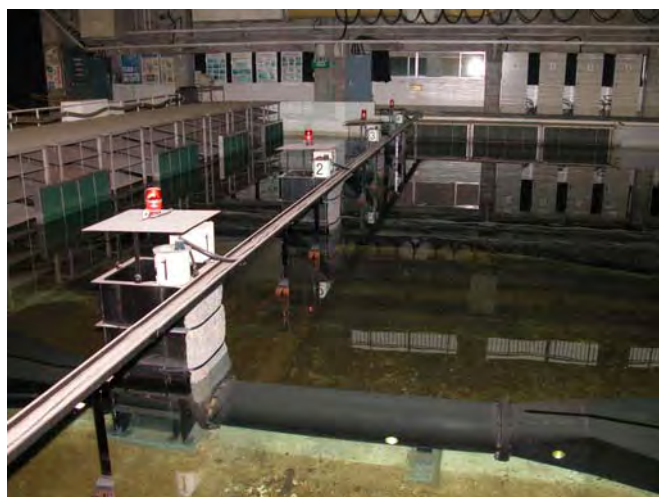


写真 3.2-1 津波実験装置

(2) 実験に用いた津波諸元

水理模型実験²⁾で用いる津波の諸元は、表 3.2-1 に示す 5 ケースとされた。ここで、模型縮尺(※1)を 1:100 として設定されている。表に掲げられている津波波高と津波周期は、沖合でのものである。

実験で発生させた津波は、海底断層が隆起して発生する津波を想定した押波初動の津波(添字 u) と、海底断層が陥没して発生する津波を想定した引波初動の津波(添字 d) の 2 種類とされた。すなわち、表 3.2-1 に示す津波諸元に対して、それぞれ 2 種類の津波を発生させて実験が実施された。

表 3.2-1 津波条件

ケース名	津波波高	津波周期
1	5.0cm (5.0m)	30s (5min)
2	7.5cm (7.5m)	30s (5min)
3	7.5cm (7.5m)	90s (15min)
4	7.5cm (7.5m)	180s (30min)
5	10.0cm (10.0m)	90s (15min)

注：() 内は実験縮尺 1:100 の現地諸元

(※1) 模型縮尺について

模型実験では、模型と実物とが形状、運動、作用力の 3 点で相似であることが要求される。波浪に関する問題では、通常は水の摩擦抵抗や表面張力の影響が小さいことから、フルード相似則に従って模型実験を行えばよい。フルード相似則による主要な諸元の縮尺は次のとおりである。

長さ (波高、水深、浸水深等)	$S = 1/100$
時間 (周期等)	$S = 1/\sqrt{100} = 1/10$
重量、荷重 (波力等)	$S = 1/100^3 = 1/100000000$
圧力 (波圧等)	$S = 1/100$

(参考；合田良實；港湾構造物の耐波設計 [波浪工学への序説]、pp.156-157.)

(3) 実験データと構造条件

水理模型実験²⁾では、タンクと防油堤の有無の条件を変えて水位や流速、波力等が計測された。ここでは、次の実験 A から実験 C で得られたデータを再整理することとした。再整理に当たっては、とくに防油堤の有無による津波波力の違いに着目することとした。

実験 A：入射波実験……タンク模型は設置せず、防油堤のみを設置したケースと、同じくタンク模型は設置せず、また、防油堤も設置しないケースの 2 つのケースについて、タンクを設置する場合のその設置位置での津波水位 η_i と津波流速 U_i を計測したもの。

実験 B：水位実験……タンク模型も防油堤も設置したケースと、タンク模型は設置するものの防油堤は設置しないケースの 2 つのケースについて、タンク設置位置前面での津波水位 η_d を計測したもの。

実験 C：波力実験……タンク模型も防油堤も設置したケースと、タンク模型は設置するものの防油堤は設置しないケースの 2 つのケースについて、タンク模型に作用する津波の水平波力 F_x と鉛直波力 F_z を計測したもの。

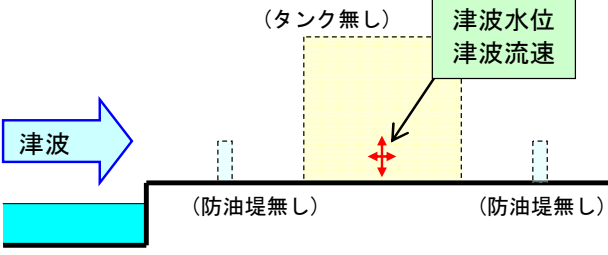
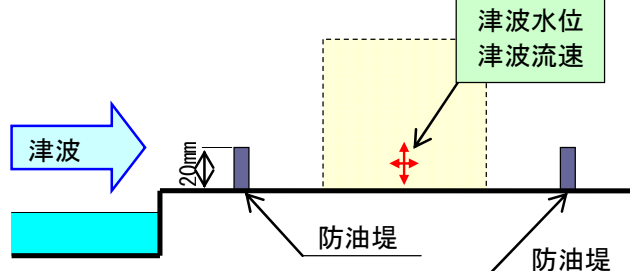
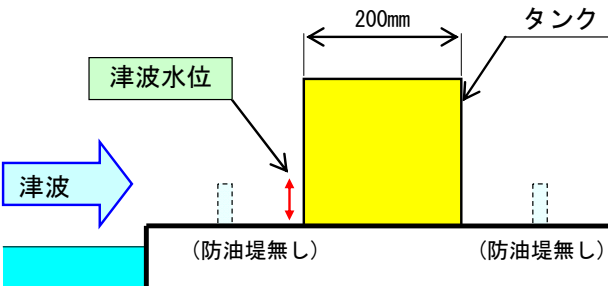
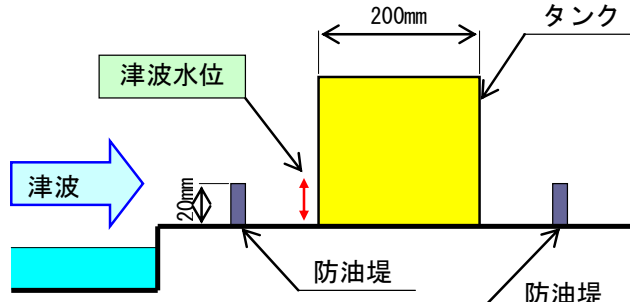
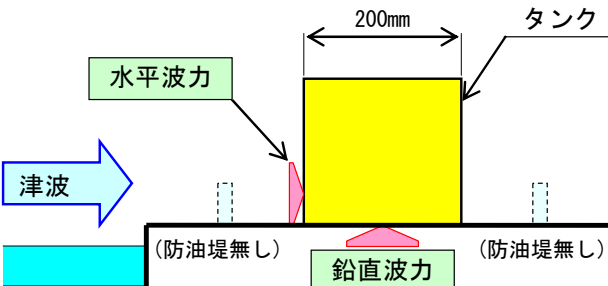
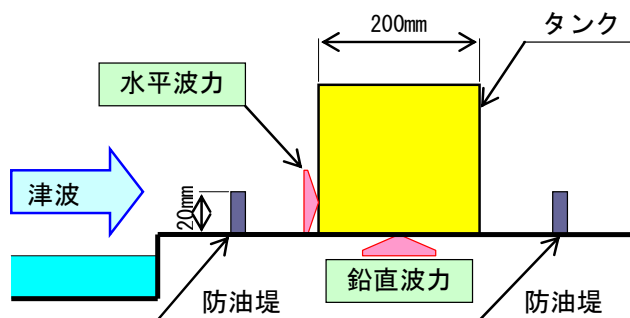
表 3.2-2 に実験 A から実験 C のタンクおよび防油堤の構造条件を掲げる。また、表 3.2-3 に各実験の概要および模式図を示す。

表 3.2-2 タンクおよび防油堤の構造条件

実験ケース	タンク内径	防油堤高
A-1	なし	なし
A-2		20mm (2m)
B-1	200mm (20m)	なし
B-2		20mm (2m)
C-1	200mm (20m)	なし
C-2		20mm (2m)

注：() 内は実験縮尺 1:100 の現地諸元

表 3.2-3 実験項目の概要と模式図

実験名	実験内容	模式図	
入射波実験	タンク設置位置での津波の入射波条件を設定するため、タンクがない状態でのタンク中心位置での水位と流速を計測する。	A-1 	A-2 
水位実験	津波の遡上特性を定量的に把握するため、タンクの前や側方での水位変動を計測する。	B-1 	B-2 
波力実験	タンクに作用する津波の波力特性を把握するため、タンク側面および底面での波圧や、タンク全体に作用する波力、モーメントを計測する。	C-1 	C-2 

3. 水理模型実験結果の再整理

(1) 計測結果一覧

前項に述べた各実験において計測された最大津波水位、最大流速、最大波力を表 3.3-1 に示す。

本報告書では、タンクに作用する津波波力を算定するに当たっては、仮にタンクがないとした場合のタンク設置位置における津波浸水深と流速から算定するという考え方を採ることとしている。これは、タンク等の構造物の影響を考慮しつつ、津波伝播シミュレーション等により津波浸水深や流速を予測することは困難であり、構造物等の影響を考慮せずに津波浸水深や流速を予測することのほうが比較的容易であると考えられるためである。

この津波波力の算定上の考え方に基つけば、実験 A の測定結果と実験 C の測定結果を対照することが最も重要な検討項目であると位置付け、実験結果の再整理を実施した。

表 3.3-1 実験結果（各ケースの津波水位、流速、波力）

防油堤 有無	津波条件			実験A (入射波実験)		実験B (水位実験)	実験C (波力実験)	
	波高 (cm)	周期 (s)	実験波 No.	水位 η_i (cm)	流速 U_i (cm/s)	水位 η_d (cm)	水平波力 F_x (N)	鉛直波力 F_z (N)
なし (A-1) (B-1) (C-1)	5.0	90	1u	0.92	36.81	1.47	0.21	2.30
			1d	2.71	63.02	3.57	0.82	5.10
	7.5	30	2u	2.95	88.52	9.35	2.19	4.75
			2d	3.18	84.99	9.56	2.66	8.19
	7.5	90	3u	1.83	60.31	3.32	0.77	5.24
			3d	3.95	83.04	7.12	3.26	7.77
	7.5	180	4u	1.56	53.93	2.68	0.41	5.14
			4d	0.90	40.43	1.22	0.16	1.92
	10.0	90	5u	2.89	73.46	5.23	1.77	6.47
			5d	3.53	84.58	6.45	2.73	7.54
あり (A-2) (B-2) (C-2)	5.0	90	1u	—	—	—	—	—
			1d	3.40	20.33	3.20	0.26	8.21
	7.5	30	2u	4.11	81.49	6.47	1.86	9.98
			2d	5.34	75.37	5.80	1.89	11.48
	7.5	90	3u	3.36	18.90	3.18	0.26	8.29
			3d	6.37	61.45	7.02	1.32	13.04
	7.5	180	4u	1.61	12.33	1.28	0.14	3.57
			4d	—	—	—	—	—
	10.0	90	5u	4.94	36.83	5.15	0.61	11.42
			5d	5.78	47.99	6.16	0.99	11.98

注 1：実験波 No.の添え字は、u は押波初動、d は引波初動

注 2:実験 A の水位 η_i はタンクを設置しない状態でのタンク中心位置での水位

実験 B の水位 η_d はタンクを設置した状態でのタンク前面水位

注 3:現地スケールにするには、波高、水位は 100 倍、流速は $100^{1/2}$ 倍、波力は 100^3 倍する

（２） 津波水位とタンクに作用する水平波力の関係

まず、実験 A で測定された津波の入射波水位（タンクがない状態での浸水深）と実験 C で測定された水平波力の関係を調べた。前述 1（２）に示したように、既往の津波波力の算定式では、タンクに作用する津波水平波力の最大値はタンクがない状態での最大浸水深 $\eta_{\max}$ の 2 乗の関数になっている。そこで、図 3.3-1 には、入射波水位の 2 乗に対する水平波力をプロットした。この図から、防油堤がない場合のほうが防油堤のある場合に比べて、水平波力が系統的に大きいことがわかる。

次に、実験 B で測定されたタンク前面水位（タンクがある状態でのタンク前面での浸水深）と実験 C で測定された水平波力の関係を調べた。結果を図 3.3-2 に示す。タンク前面水位とタンクに作用する水平波力の間には良い相関があることがわかる。

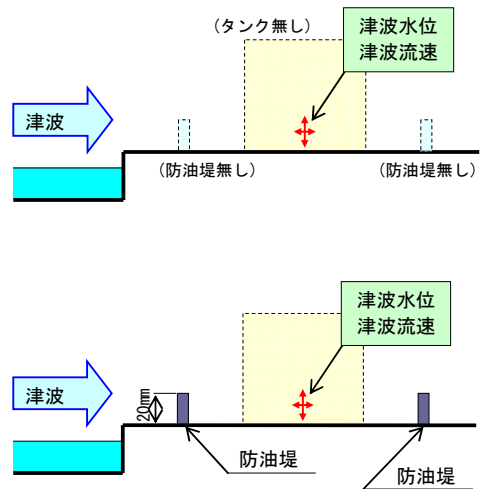
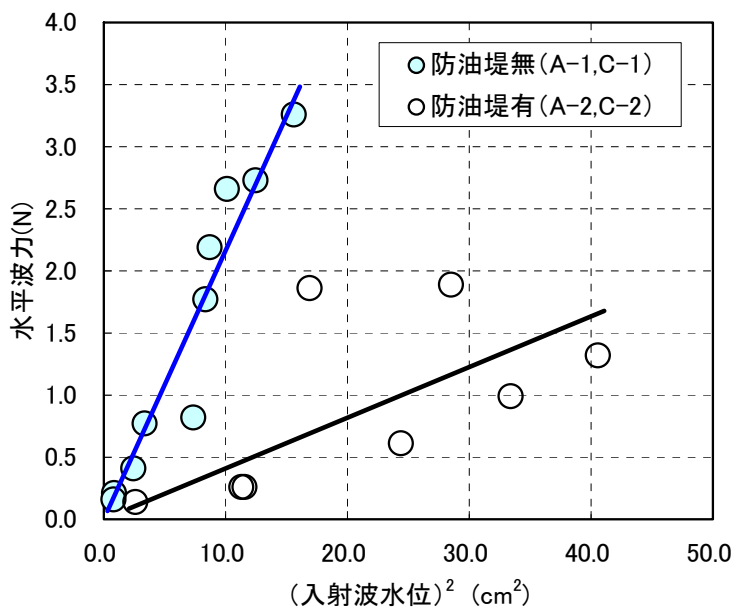


図 3.3-1 津波の入射波水位と水平波力の関係

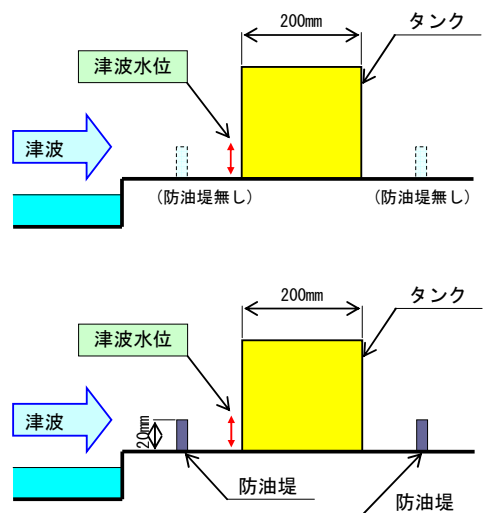
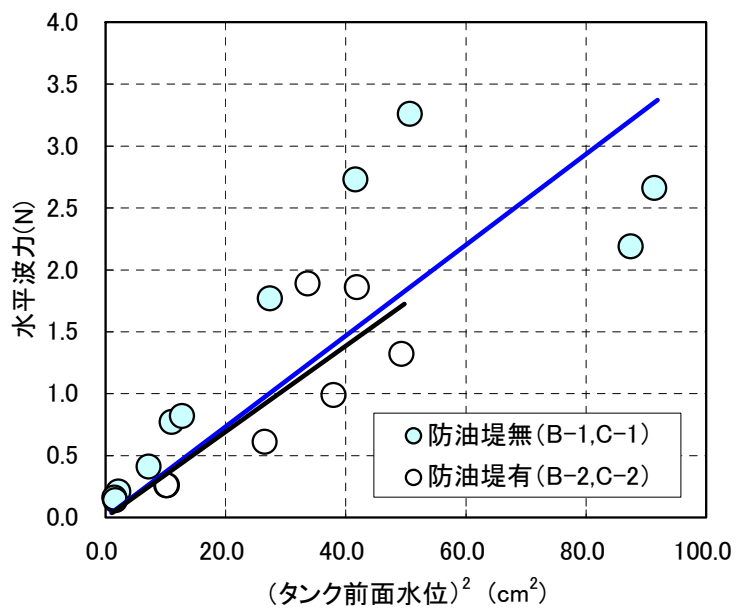


図 3.3-2 津波のタンク前面水位と水平波力の関係

(3) 津波流速とタンクに作用する水平波力の関係

次に、実験Aで測定された津波の流速（タンクがない状態での流速）と実験Cで測定された水平波力の関係を調べた。図 3.3-3 には、流速の 2 乗に対して水平波力をプロットした。この図から、流速とタンクに作用する水平波力の間にも良い相関があることがわかる。

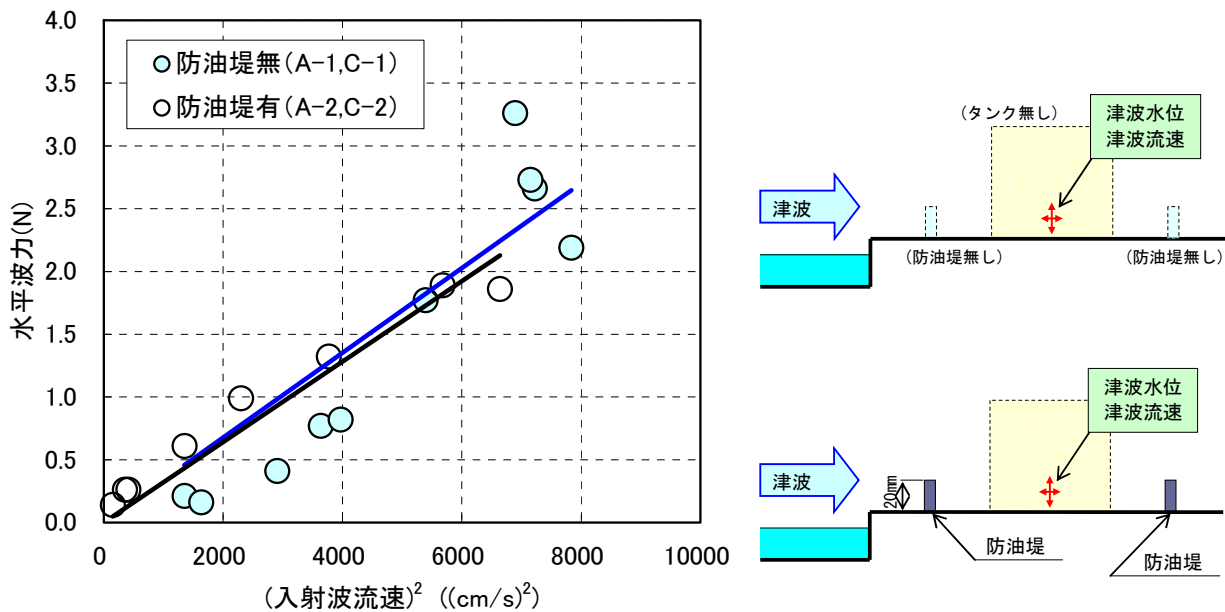


図 3.3-3 津波の入射波流速と水平波力の関係

4. 津波波力の算定方法に関する検討

(1) 津波波力算定方法の基本的な考え方

前項3(2),(3)で見たように、タンクに作用する津波の水平波力は、タンク前面水位及び入射波流速と良い相関がある。このことから、タンクに作用する津波波力をより精確に算定できるような新たな津波波力の算定方法の検討に当たっての考え方として、次の2つの方法を考えた。

①既往の津波波力算定式を修正する方法

既往の検討¹⁾で用いられていた屋外貯蔵タンクに作用する津波波力の算定式は、津波の最大浸水深のみによって評価を行っており、流速が小さい場合には過大に波力を評価する可能性があった。そこで、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力をより精確に算定できるよう、既往の津波波力算定式を、津波の流速の影響を考慮することにより、改良する。

②流れに伴う流体力の算定方法を準用する方法

「港湾の施設の技術上の基準・同解説、平成19年7月」に記載されている流れに伴う流体力の算定方法を用いて、タンクがない状態での津波流速 U_i をもとにタンクに作用する水平波力を算定する。

ここで、②の流れに伴う流体力の算定方法を準用する方法は物体に作用する抗力（作用合力）を求める方法であり、本報告書で提案する「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」では、タンクの「転倒」や「内外水圧差による側板座屈」を予測する場合には津波波圧分布が必要であることから、何らかの方法で作用合力から波圧分布を求めなければならない。また、既往の津波波力算定式との整合を図ることが望まれる。このようなことから、まず、上記①の方法について検討することとした。

(2) 既往の津波波力算定式を修正する方法に関する検討

既往の津波波力算定式を補正する方法を提案するには、タンクがない状態での水位 η_i とタンク前面での水位 η_d との関係を適切に設定する必要がある。図 3.4-1 は、水理模型実験におけるタンクがない状態での津波水位 η_i (実験 A のデータ) とタンク前面での津波水位 η_d (実験 B のデータ) の関係を示したものである。これによれば、タンクがない状態での津波水位 η_i に対するタンクを置いた場合のタンク前面での津波水位 η_d の比 (「(タンク前面における津波水位) / (入射波水位)」) は、防油堤がない場合には 1.8 倍程度、防油堤がある場合は 1.0 ～ 1.1 倍程度である。この「(タンク前面における津波水位) / (入射波水位)」は、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α と同意であるため、ここでは「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α と表記する。

なお、防油堤がない場合の実験結果のうちの 2 ケース (赤丸印) は他のケースに比べて、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α が大きくなっている。これらは、津波周期が短いソリトン分裂波のケースである。ソリトン分裂波は、沖合から到達した津波の波形が浅海域で崩れる現象で、わが国では 1983 年に日本海中部地震による津波で発生したことがある。

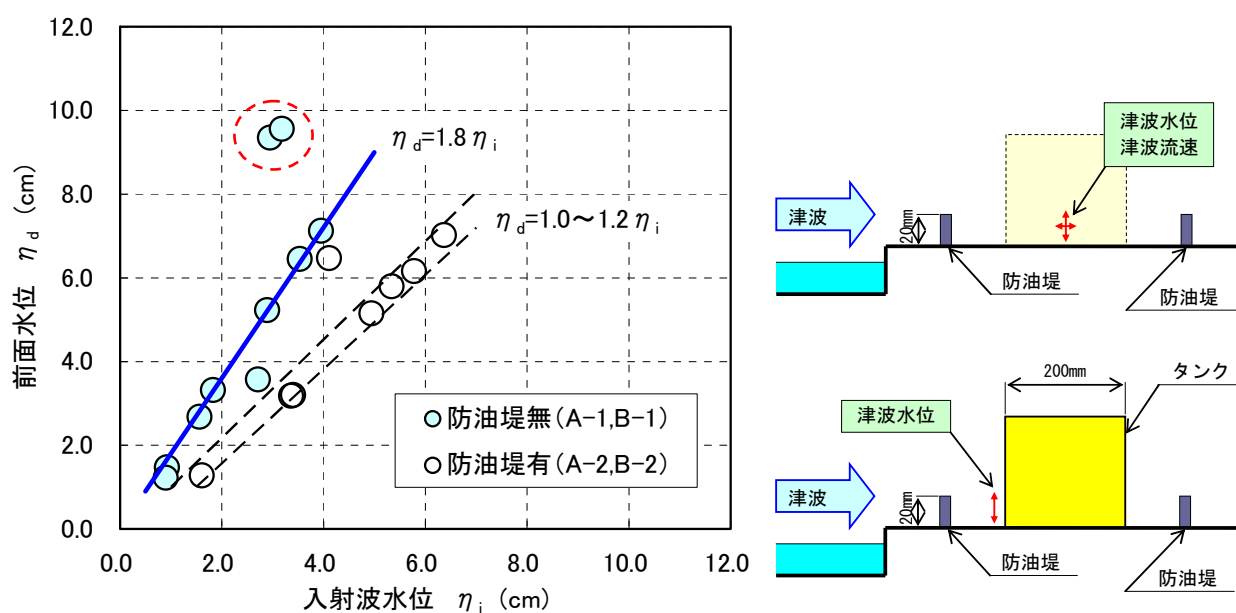


図 3.4-1 津波の入射波水位と前面水位の関係

「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α が、防油堤がある場合とない場合とで異なることの原因としては、沖合から到達した津波が防油堤によってその流れの一部が阻止され、タンク前面での津波の流速が小さくなることが考えられる。

そこで、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α と流速の無次元係数であるフルード数 F_r の関係を調べた。フルード数 F_r は次式に示すとおりで、流速、水位ともにタンクがない状態の入射波の諸元 U_i および η_i を用いた。

$$\text{フルード数： } F_r = \frac{U_i}{\sqrt{g\eta_i}} \quad (\text{資-式 3.4-1})$$

図 3.4-3 に、 F_r に対して「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α をプロットしたものを示す。この図から、防油堤がない場合は、タンク設置位置における津波のフルード数 F_r は大きく、また、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α も大きいことがわかる。一方、防油堤がある場合にはフルード数 F_r が小さくなり、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α も防油堤がない場合に比べて小さくなり、1.0 程度となる。

図 3.4-3 で、フルード数 F_r が 1.5 より小さい範囲の「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α は、同図に引いた破線の上に載っている。この破線を引くに当たっては、ソリトン分裂波の結果は無視することとし、その上限は、既往の津波波力算定式と整合するように 1.8 とした。また、下限は、タンクがない状態に対応する 1.0 とした。

図 3.4-3 に引いた破線は次式で表される。

$$\alpha = \begin{cases} 1.8 & F_r \geq 1.3 \\ 2.0F_r - 0.8 & 1.3 \geq F_r \geq 0.9 \\ 1.0 & 0.9 \geq F_r \end{cases} \quad (\text{資-式 3.4-2})$$

この(資-式 3.4-2)の適用性を調べるため、(資-式 3.4-2)から得られる「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α を既往の津波波力算定式(資-式 3.1-1)に用いたもの(流速の効果を考慮した津波波力算定式)から算出される水平波力と水理模型実験で計測された水平波力を図 3.4-4 に比較した。図には、 α を 1.8 とした既往の津波波力算定式から求めた津波水平波力も示した。

この図から、防油堤がある場合の津波水平波力は、既往の津波波力算定式では過大に評価していたが、既往の津波波力算定式を修正した「流速の効果を考慮した津波波力算定式」から得られた津波水平波力は、実験での測定結果に近い値となっていることがわかる。このことから、津波の浸水深のほか流速も考慮する(資-式 3.4-2)から得られる「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α を既往の津波波力算定式に用いた「流速の効果を考慮した津波波力算定式」により、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力をより精確に算定できると考えられる。

なお、図 3.4-4 には、ソリトン分裂波の津波水平波力も含まれており、ソリトン分裂波についても、実験での測定結果と「流速の効果を考慮した津波波力算定式」による算出結果が

整合している。

「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β は、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α と同様にフルード数に依存するものとした。すなわち、 F_r と β の関係は次の式で表されるものとした。

$$\beta = \begin{cases} 1.2 & F_r \geq 1.3 \\ 0.5F_r + 0.55 & 1.3 \geq F_r \geq 0.9 \\ 1.0 & 0.9 \geq F_r \end{cases} \quad (\text{資-式 3.4-3})$$

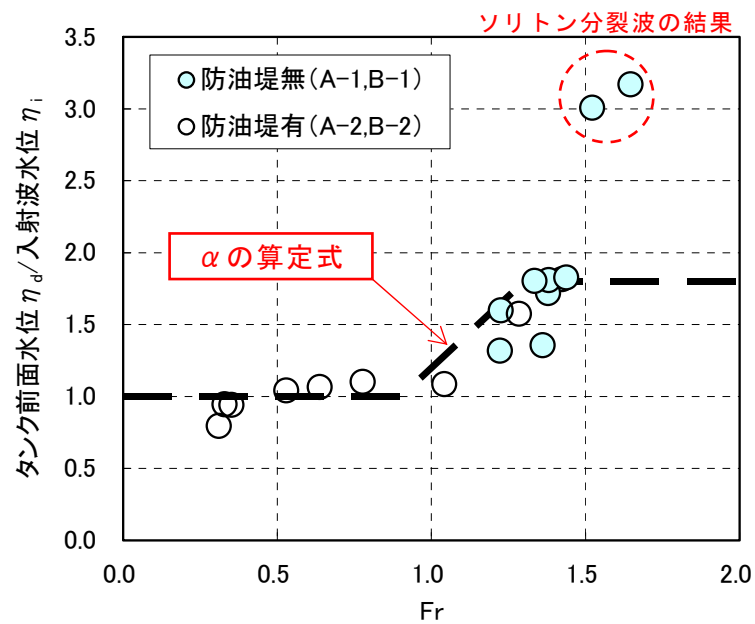


図 3.4-3 提案した「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α の算定式

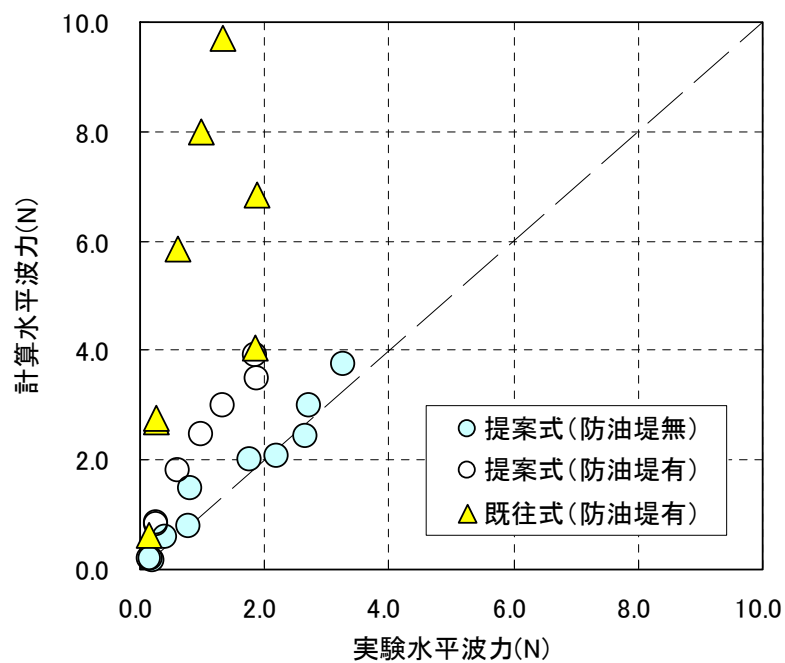


図 3.4-4 実験結果と算定式による水平波力の比較

(3) 流れに伴う流体力算定式を準用する方法に対する検討

ここでは、4 (1) で考えたもう一つの算定方法である「流れに伴う流体力算定式を準用する方法」について検討した。

流れに伴う流体力算定式は次式のとおりである。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2 \quad (\text{資-式 3.4-4})$$

ここで、 F_D は物体に作用する流れの方向の抗力、 C_D は物体の形状によって決まる抗力係数、 ρ_0 は水の密度、 A は流れの方向の物体の投影面積、 U は流速である。

この式を津波波力の算定に適用する場合、抗力係数 C_D と投影面積 A を適切に設定する必要がある。ここでは、抗力係数 C_D は円柱の標準値 $C_D = 1.0$ 、投影面積 A はタンクの直径 D とタンク設置位置での入射波水位 η_i から算定した。

図 3.4-5 は水理模型実験で測定された津波波力と(資-式 3.4-4)の流体力算定式を用いて求めた津波波力の関係を示したものである。この図から、「流れに伴う流体力算定式を準用した方法」から算定した津波の水平波力は、実験での測定結果に近い値となり、その一致の程度は、前述 4 (2) で提案した「流速の効果を考慮した津波波力算定式」による算定結果と実験での測定結果の一致の程度とおおむね同様であることがわかる。

すなわち、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力は、流れに伴う流体力算定式を準用することにより、既往の津波波力算定式に比べて、より精確に算定できるものと考えられる。

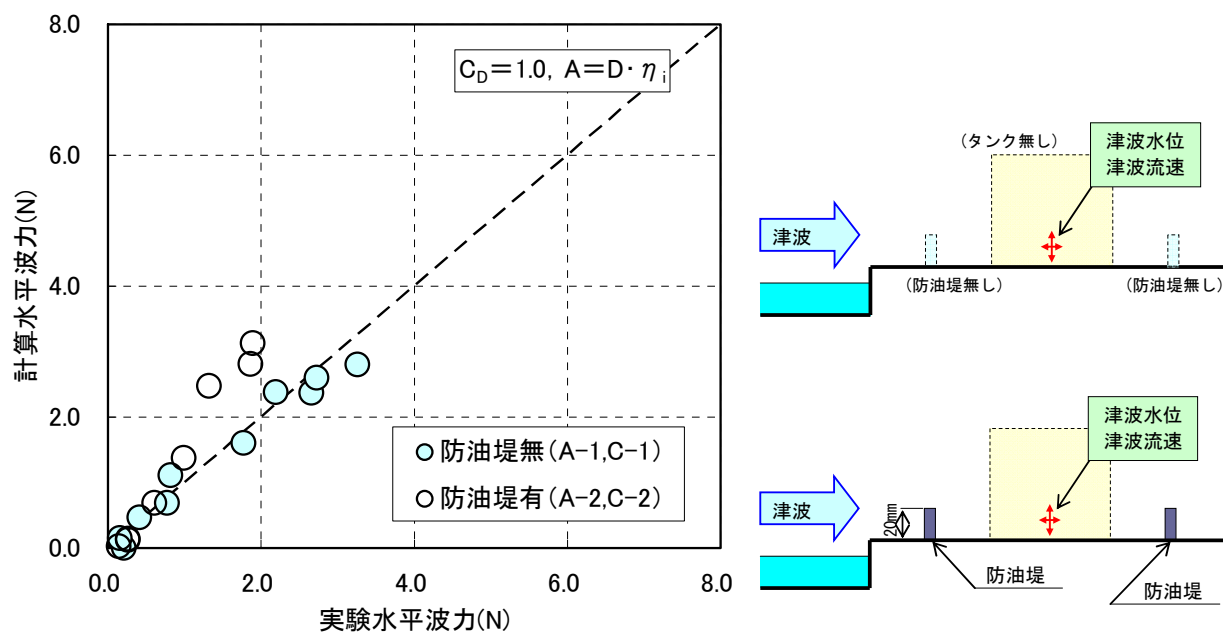


図 3.4-5 津波の入射波水位と鉛直波力の関係

5. まとめ

4（2）及び（3）で調べたように、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力は、「既往の津波波力算定式を修正する方法」によっても「流れに伴う流体力の算定方法を準用する方法」によっても、既往の津波波力算定式に比べて、より精確に算定できるものと考えられる。

しかしながら、「流れに伴う流体力の算定方法を準用する方法」は、水平合力のみを求める式であり、本報告書で提案する「屋外貯蔵タンクの津波被害簡易予測式」では、タンクの「転倒」や「内外水圧差による側板座屈」を予測する場合には津波波圧分布が必要であることを考えると、何らかの方法で作用合力から波圧分布を求めなければならないという不便が生じる。

こうしたことから、ここでは、既往の津波波力算定式を修正するという考え方に基づいて、屋外貯蔵タンクに作用する津波波力をより精確に算定する方法を提案することとする。

提案する方法は、具体的には、4（2）で述べたように、「タンク水平波力に係る浸水深係数」 α 及び「タンク鉛直波力に係る浸水深係数」 β を、津波の浸水深及び流速を考慮する(資-式 3.4-2)及び(資-式 3.4-3)からそれぞれ求め、この α 及び β を(資-式 3.1-3)、(資-式 3.1-4)及び(資-式 3.1-5)、(資-式 3.1-6)に用いるというものである。

<参考文献>

- 1) 東電設計株式会社・鹿島建設株式会社(2006): 津波による石油タンクの被害予測手法に関する研究, 平成 17 年度消防防災科学技術研究推進制度.
- 2) 東電設計株式会社・鹿島建設株式会社(2005): 津波による石油タンクの被害予測手法に関する研究, 平成 16 年度消防防災科学技術研究推進制度.

資料－４ 屋外貯蔵タンクの漂流距離予測手法に関する検討

１．概要

ここでは、タンクの津波による滑動、浮き上がり、漂流の挙動を明らかにするために実施した水理模型実験の結果を報告するとともに、その結果に基づいて、タンク漂流軌跡の予測手法を提案する。

2. 屋外貯蔵タンクの漂流距離に関する水理模型実験

(1) 実験条件

一般に水理模型実験を実施する場合、実験精度を上げる（粘性や表面張力を無視する）ために、できる限り実験縮尺を大きくする必要がある。しかし、実際には、実験施設の規模、能力、模型製作時間などを考慮することも必要である。本実験は精度上問題のない実験縮尺である 1/50 にて実施した。

津波の現象は重力と慣性力に支配されるため、重力と慣性力との比を原型と模型で一定にするフルード相似則を用いた。

表 4.2-1 に主な物理諸量の縮尺を示す。

表 4.2-1 物理量の縮尺

物理量	実験縮尺	適用量の例
長さ	1/50	津波波高、タンク径など
時間	$1/50^{1/2}$	経過時間など
速度	$1/50^{1/2}$	流速など
密度	1	

(2) 地形条件

地形条件は、図 4.2-1 のように、大型平面水槽内に海域部と陸上部を設置するものとした。海域部には、津波のエネルギーを集めて高い波高を作るため、仕切板を設置した。護岸前水深は、現地スケールで 10.5m、陸上部標高は同じく現地スケールで 1.5m とし、護岸前海底および陸上部は水平とした。写真 4.2-1 に実験水槽の全景写真を示す。

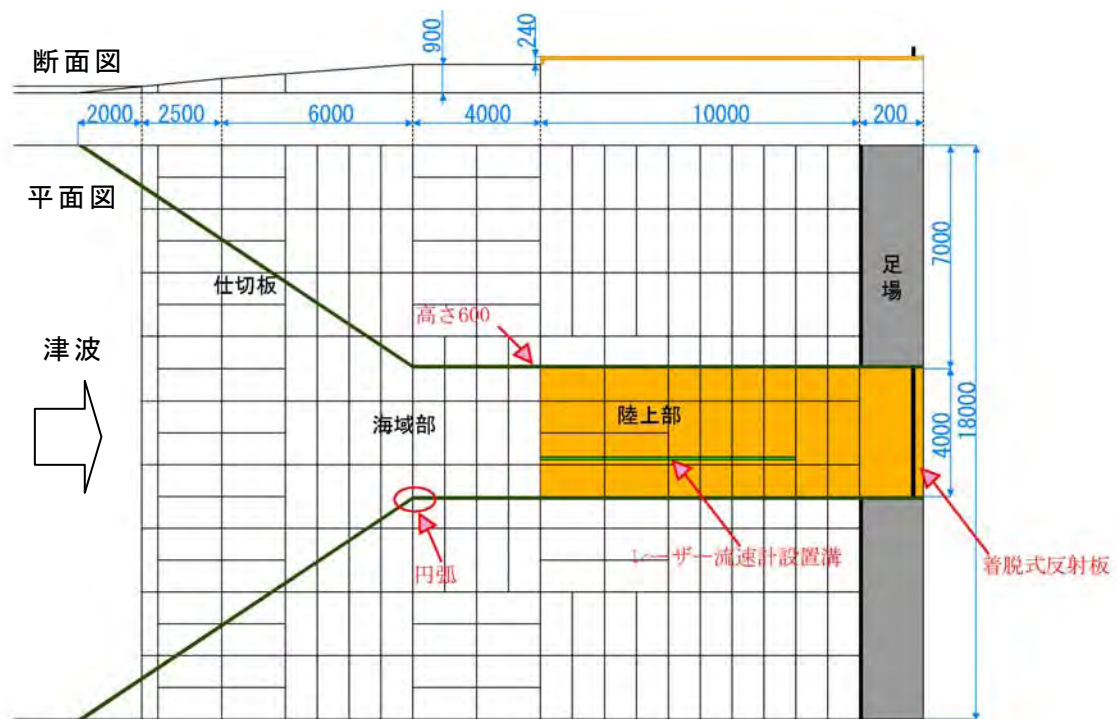


図 4.2-1 大型平面水槽内のセッティング（断面図・平面図：単位 mm）



写真 4.2-1 実験水槽全景

実験で造波する津波は、陸上部における現地スケールの津波浸水深で、2m、3m、4m の 3 とおりとした。また、周期は同じく現地スケールで 5 分と 10 分の 2 とおりとした。これらの浸水深と周期を組み合わせたいくつかの津波（表 4.2-2）で実験を行うこととした。

表 4.2-2 波条件一覧

波番号	現地スケール		実験スケール	
	浸水深	周期	浸水深	周期
Wave1	2m	5 分	4cm	42.4 秒
Wave2	3m	5 分	6cm	42.4 秒
Wave3	2m	10 分	4cm	84.8 秒
Wave4	3m	10 分	6cm	84.8 秒
Wave5	4m	10 分	8cm	84.8 秒

タンク条件は、次の 2 ケースとした。

Tank1：現地 D=10.64m・H=12.16m（小規模タンク（容量 995kl）を模擬）

Tank2：現地 D=29.06m・H=18.26m（中規模タンク（容量 9922kl）タンクを模擬）

写真 4.2-2 および写真 4.2-3 が 1/50 スケール模型の写真である。

構造物条件は、タンク模型を置く場合と置かない場合、防油堤模型（高さ：現地スケールで 2m、実験スケールで 40mm）を置く場合と置かない場合を考えた。

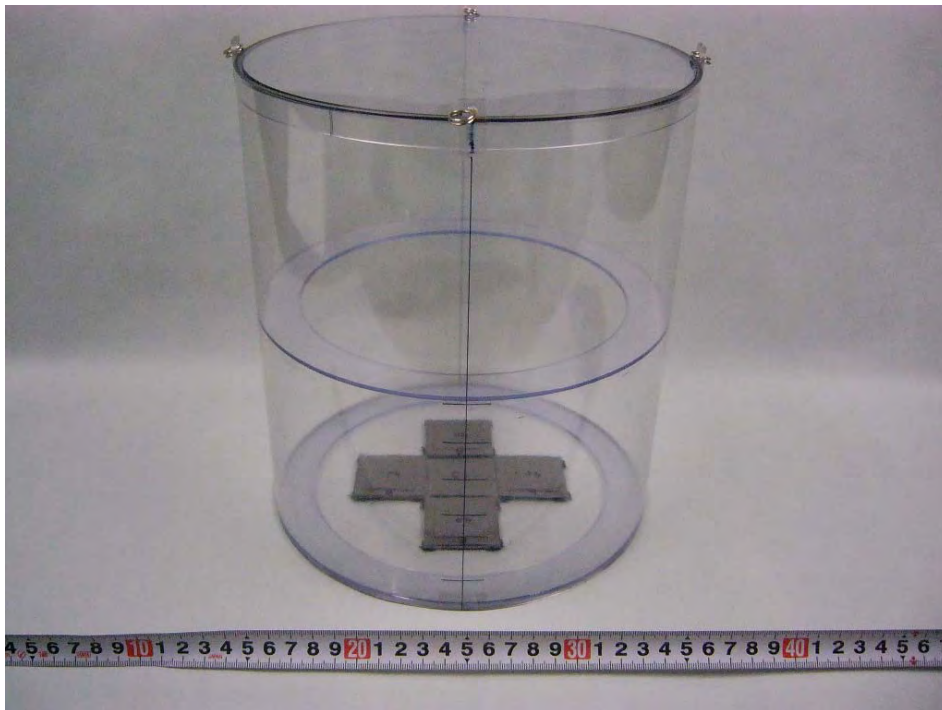


写真 4.2-2 Tank1 模型（小規模タンク、内液量 10%に重量調整時）

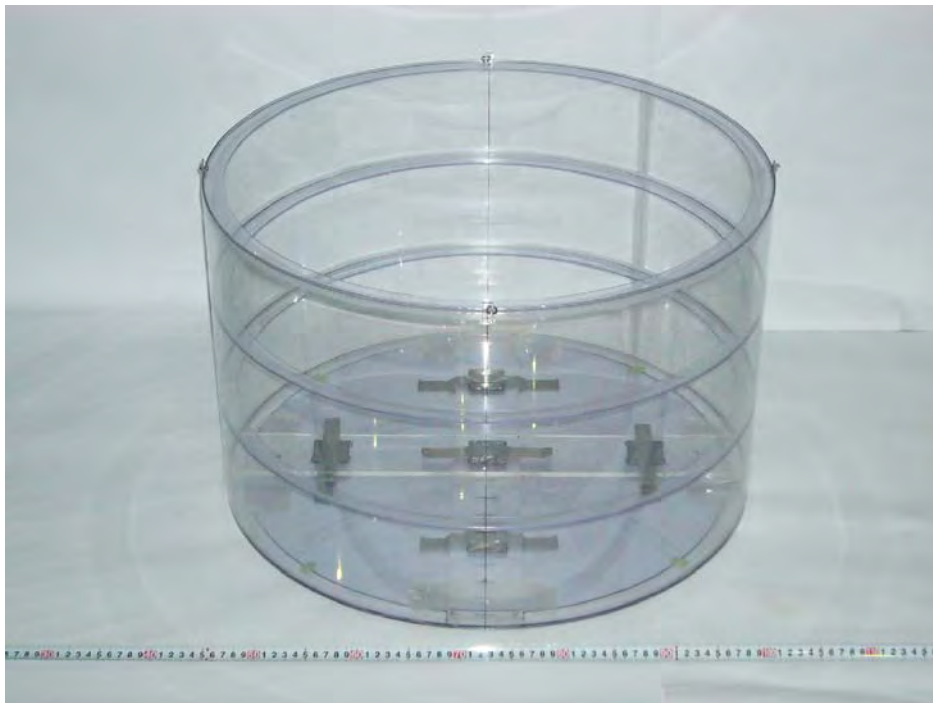


写真 4.2-3 Tank2 模型（中規模タンク、内液量 5%に重量調整時）

(3) 実験項目

今回の実験では、次に掲げる 7 種の実験を実施した。ここでは、重要な結果である◎印をつけた実験-2,3,5 について記すものとし、その他の実験結果は補足的に用いることとする。

実験-1 タンクの挙動パターンを知るための計測

タンクの基礎的な挙動パターンを見るため、波条件、タンク条件、構造物条件を様々に変え、タンクの挙動を観察する。

◎実験-2 タンクが実験領域内に停止するケースの詳細計測（防油堤なし）

実験-1 において、タンクが実験領域内に停止したケースについてタンクの内液量を変えて、タンクの軌跡等を繰り返し計測する。

◎実験-3 水理量計測（防油堤なし）

タンクも防油堤も置かない状態で、陸上部の水位と流速を計測する。

実験-4 タンクの地盤バネ計測

実験で用いたタンク基礎（発泡ポリエチレンシート）の水平ばねのばね係数を計測する。

◎実験-5 防油堤がある場合のタンクの挙動計測

防油堤を置いた場合について、実験-2 と同様の、タンクの移動軌跡等を繰り返し計測する。

実験-6 防油堤周辺の水位・流速詳細計測

タンクを置かない状態で、防油堤内外に波高計と流速計を設置し、水位及び流速分布の詳細な計測を行なう。

実験-7 高速度ビデオ撮影

タンクの初期滑動から浮き上がりに至る状況を、高速度カメラで撮影する。また、タンク底面とタンク基礎の間に、どのように水が浸入するかも撮影する。

(4) 実験方法および計測方法

(a) 実験-2 タンク模型が実験領域内に停止するケースの詳細計測（防油堤なし）

予備的に実施した実験-1において、タンク模型が実験領域内に停止したケースについて、タンクの内液量を模擬する重りを変えて、タンク模型の移動軌跡を計測する。この計測により、タンクの移動開始、漂流、停止という挙動の基本的な構成要素すべてを含むデータを得ることができた。

計測セッティングを図 4.2-2 に示す。

現地の屋外タンクの静止摩擦係数は 0.4～0.7 とされる（JIS B 8501(p.130)）。実験において、アクリル製のタンク模型との摩擦係数がこの現地の静止摩擦係数に近くなる材料を探したところ、発泡ポリエチレンシートに近いことがわかったため、タンク模型設置箇所には発泡ポリエチレンシートを敷いて実験を行った。なお、別途計測の結果、アクリル製のタンク模型と発泡ポリエチレンシートの間の静止摩擦係数は 0.4 であった。

タンク模型には追跡用のマーカーを 3 つ取り付け、移動のほか回転運動も計測できるようにした。（写真 4.2-4、4.2-5）

実験ケースは次の Case2-1 と Case2-2 の 2 つとした。

Case2-1 Tank2（D=29.06m,H=18.26m）を使用

Wave2（浸水深 3m・周期 5 分）の波を当てる

内液量を 20%とした場合にタンクが動かなかったため、この状態からタンクを少しずつ軽くしていき、タンクが領域内で停止しなくなるまで実験を続けた。

表 4.2-3 Case2-1 実験条件

Case2-1-1	タンク内液量	18.941%
Case2-1-2	タンク内液量	17.153%
Case2-1-3	タンク内液量	15.364%
Case2-1-4	タンク内液量	13.576%
Case2-1-5	タンク内液量	11.788%

Wave1（浸水深 2m・周期 5 分）の波を当てる
内液量を 10%とした場合に、タンクは実験領域のほぼ終端まで動いて止まった。この状態から、タンクを少しずつ重くしていき、タンクが動かなくなるまで実験を続けた。

Case2-2-1	タンク内液量	10%
Case2-2-2	タンク内液量	15%
Case2-2-3	タンク内液量	20%
Case2-2-4	タンク内液量	25%
Case2-2-5	タンク内液量	30%
Case2-2-6	タンク内液量	35%

- 333 -

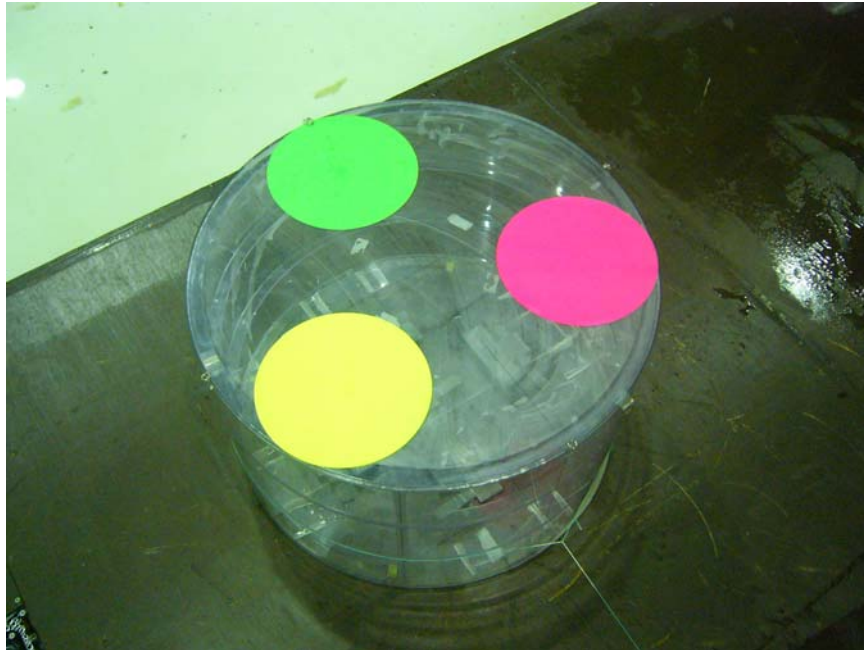


写真 4.2-4 Case2-1 タンクとマーカーセッティング状況



写真 4.2-5 Case2-2 タンクとマーカーセッティング状況

(b) 実験-3 水理量計測実験（防油堤なし）

タンクも防油堤も置かない状態で、陸上部の水位と流速を計測した。

陸上部の流速計測にはレーザー流速計を使用した。レーザー流速計は1台のみ保有しているため、順次移動させて設置し（図 4.2-3 および図 4.2-4 参照）、同じ津波を造波して繰り返し計測した。流速計のセンサー（プローブ）は、図 4.2-5 のように床下に設置し、流速を非接触で計測した。波高と海域部の流速は毎回同じ位置で計測した。なお、海域部の流速は、電磁流速計により測定された。

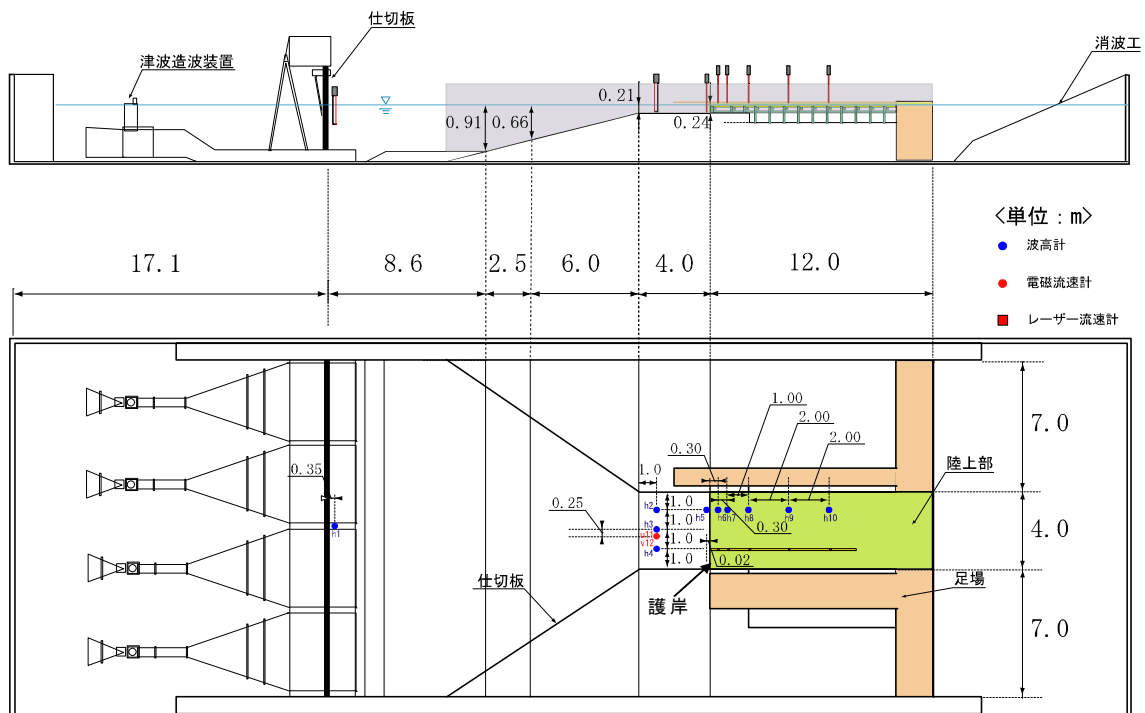


図 4.2-3 実験-3 波高・流速（海域部）計測箇所

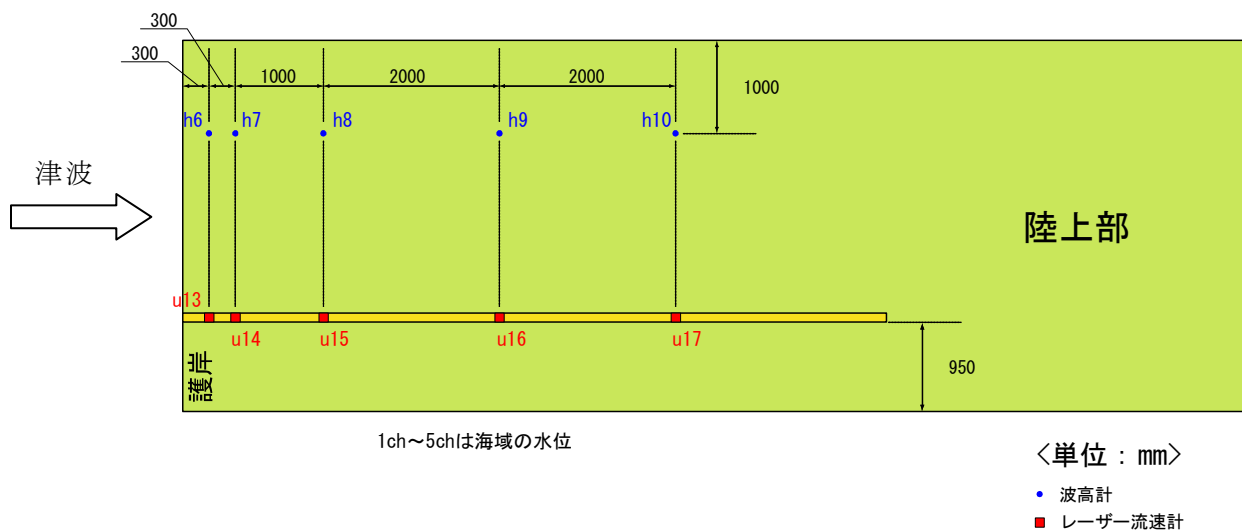


図 4.2-4 実験-3 陸上部水位・流速計測箇所

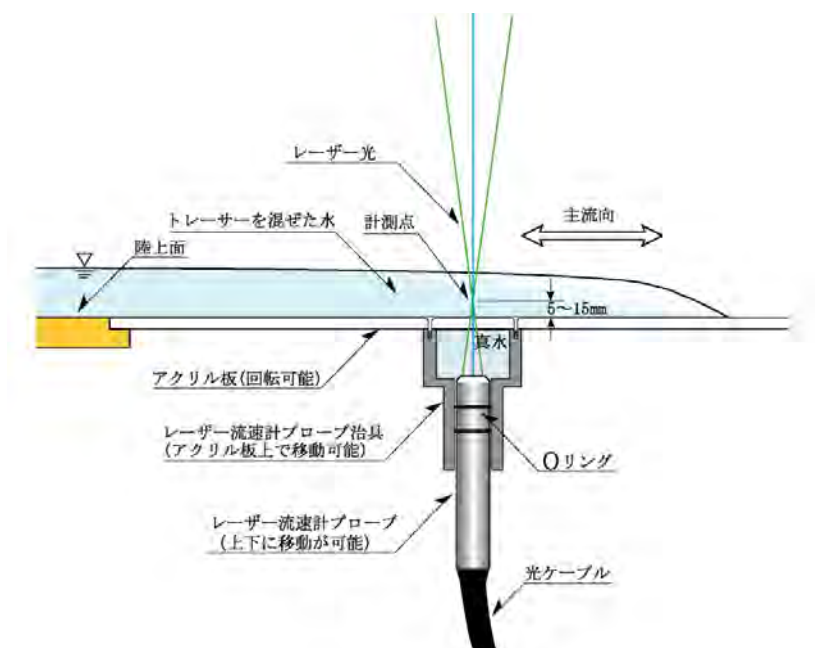


図 4.2-5 レーザー流速計センサーの設置と計測状況

(c) 実験-5 防油堤がある場合のタンクの挙動計測

Tank1 (小規模タンク) 模型を用い、防油堤がある場合のタンクの挙動を計測した。実験条件は表 4.2-5 に掲げるとおりで、内液量が 10%の場合と 20%の場合 (ともに内液量は重りで調整) について、波条件を変えて計測を行った。

実験-2と同様に、3回の繰り返し計測を行なった。防油堤とタンクの設置状況を写真 4.2-6 に示す。

表 4.2-5 実験-5 実験条件

Case5-1-1	Wave1(h=2m, T=5min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 10%
Case5-2-1	Wave2(h=3m, T=5min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 10%
Case5-3-1	Wave3(h=2m, T=10min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 10%
Case5-4-1	Wave4(h=3m, T=10min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 10%
Case5-1-2	Wave1(h=2m, T=5min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 20%
Case5-2-2	Wave2(h=3m, T=5min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 20%
Case5-3-2	Wave3(h=2m, T=10min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 20%
Case5-4-2	Wave4(h=3m, T=10min)	Tank1(D10.64m*H12.16m)	内液量 20%

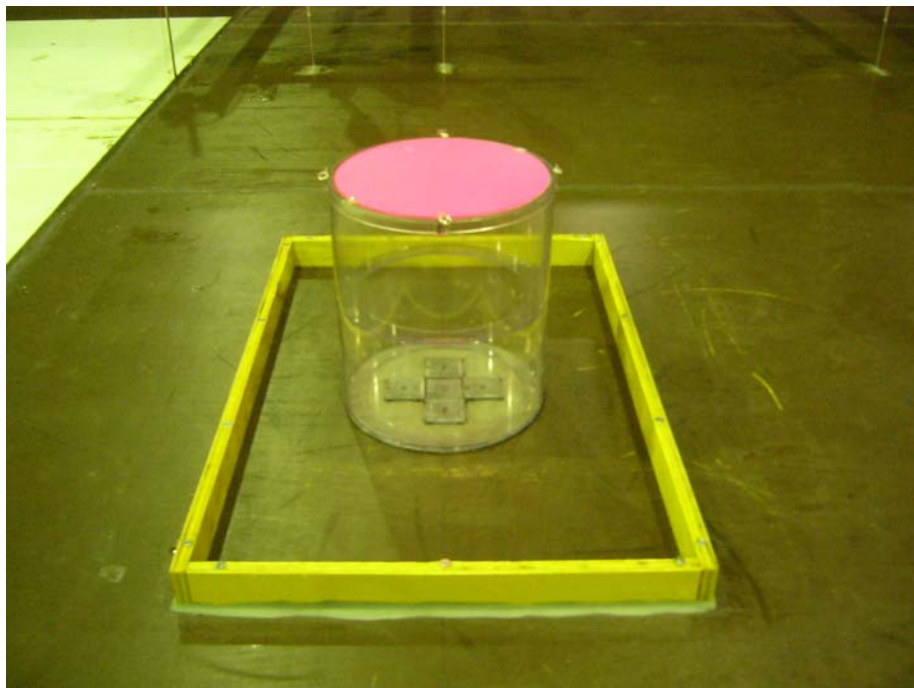


写真 4.2-6 実験-5 のタンクと防油堤設置状況

(5) 実験結果

(a) 実験-2の結果

まず、波条件が同じ場合、実験水槽内に発生している波が毎回同様であるかについて、Wave2を用いる Case2-1 で確認を行った。図 4.2-6 は海域の水位計測点 h1,h2,h3,h5 (図 4.2-2 参照) それぞれにおいて、10 回の水位計測値を描いたグラフである。毎回の水位変化の線はほぼ重なっており、造波している波が毎回同じであることが確認できる。

実験により観察された、タンク漂流挙動の基本パターンは次のとおりである。例として、Case2-2-3 の写真を写真 4.2-7～11 に示す。

- ① 津波がタンクに当たり始めた当初は、静止摩擦力でタンクは基礎上に留まっている (写真 4.2-7)。タンク底部下面への水の入り込みは、少しずつ起こっている。
- ② 静止摩擦力が津波の水平力に抗し切れなくなると、タンクは動き出す。この瞬間、タンク底部下面に多量の水が入り込み、タンクは浮力を受けて大きく動き出す (写真 4.2-8)。
- ③ 水深がタンクの喫水より十分大きいときは、タンクは浮かびながら漂流する (写真 4.2-9)。
- ④ タンク周辺の水位が下がったとき、タンクは動摩擦力を受け、減速を始める (写真 4.2-10)。
- ⑤ 最終的に、タンクが停止する (写真 4.2-11)。

タンクの移動を計測した例を、図 4.2-7 (Case2-1-4 の例) および図 4.2-8 (Case2-2-1 の例) に示す。これらの図は、タンク移動の軌跡を 1/6 秒毎に描画したものであり、タンクの間隔が開いている箇所はタンクが速く移動したところ、詰まっている箇所はタンクが遅く移動したところ、という情報も得ることができる。

この図からも、移動し始めたタンクは、しばらくの間速いスピードで移動し、停止の直前は移動速度が遅くなって、最終的に止まる様子がわかる。観察されたタンク模型の移動速度及び後述の実験-3 で計測された流速を照合した結果、タンク模型が速い速度で移動している間は、周囲の津波とほぼ同じ速度で移動していることがわかった。また、タンク模型が減速するときはタンク底部が地面と接触し、動摩擦力を受けるようになっていることが観察された。

計測した全ケースの、タンクの x 方向 (岸沖方向、護岸からの距離) の位置の結果を図 4.2-9 (Case2-1) および図 4.2-10 (Case2-2) に示す。どちらのケースでも、タンクの内液量が増えるにつれて、タンクの動き出すタイミングが遅くなり、停止するまでの距離が短くなることがわかる。これらの図からわかるように、タンク模型に当てている津波は毎回同じであるが、停止位置のばらつきの大きさはケースによって若干の差が見られた。実験

-2 では、停止位置のばらつきが $\pm 1\text{m}=2\text{m}$ 以内の場合は 3 回繰り返し計測を実施、停止位置のばらつきがそれ以上の場合はさらに 2 回計測し、計 5 回の計測を行なうというルールを定めた。これにより、Case2-1 では Case2-1-3 を除いては 5 回計測を行うこととなった。Case2-2 では、Case2-2-1 は 5 回、その他は 3 回の計測となった。なお、Case2-1-1 では 3 回繰り返してもタンクは動かず、Case2-1-2 においても 1 回目、4 回目、5 回目はタンク模型が動かなかった。

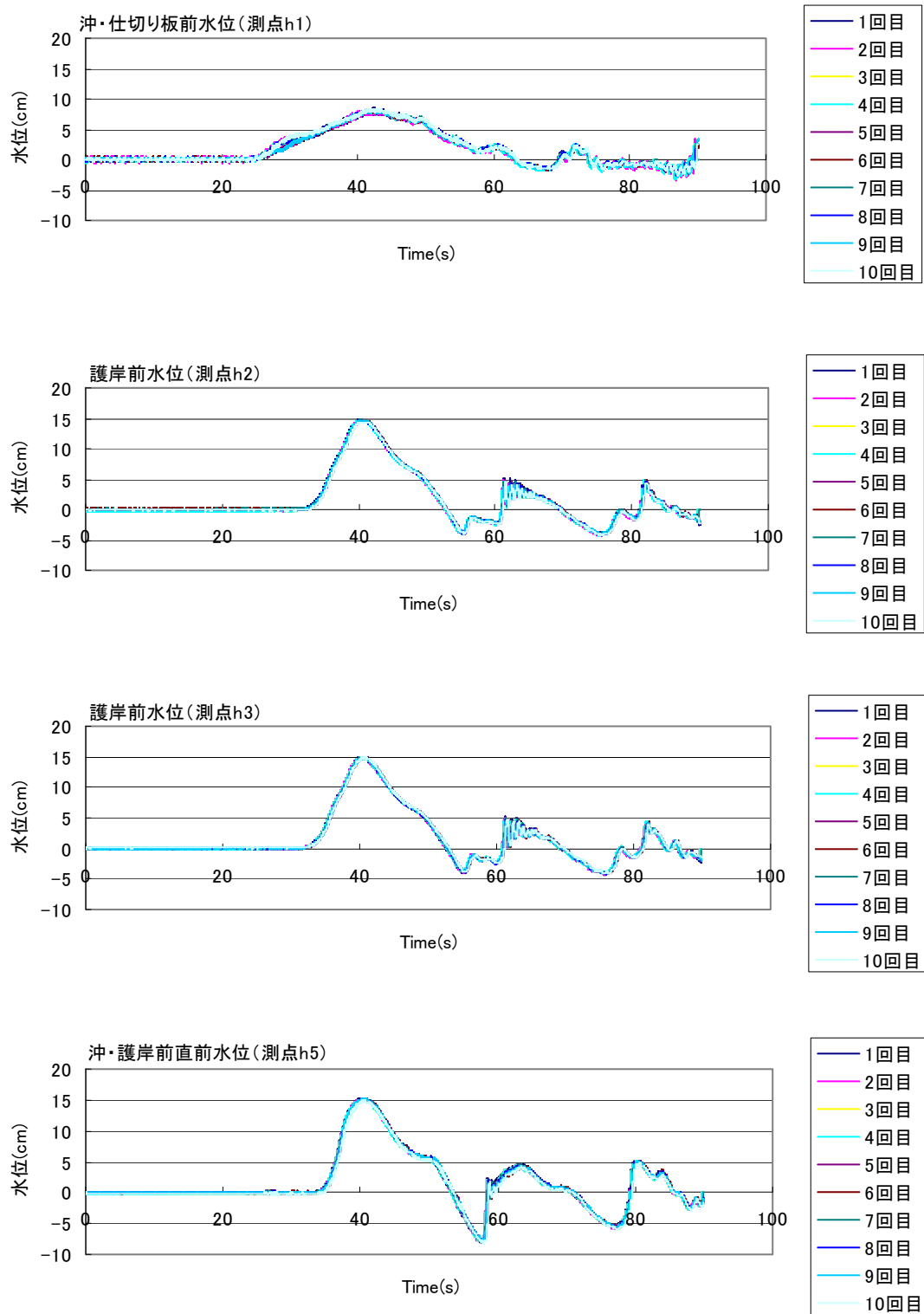


図 4.2-6 海域での水位測定結果 (Case2-1)

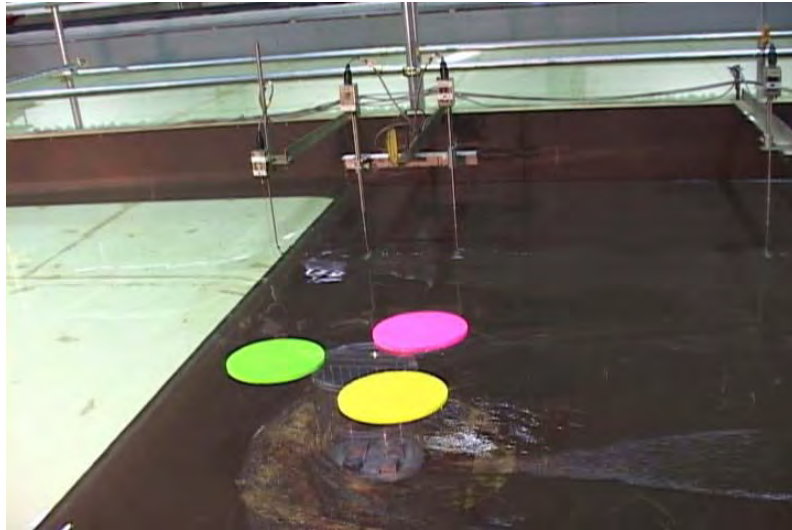


写真 4.2-7 Case2-2-3 初期位置で津波を受けるタンク

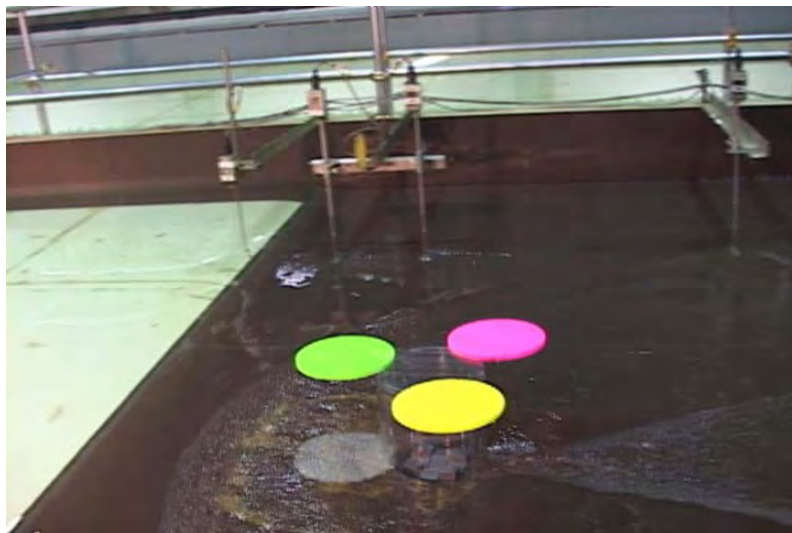


写真 4.2-8 Case2-2-3 移動を始めたタンク

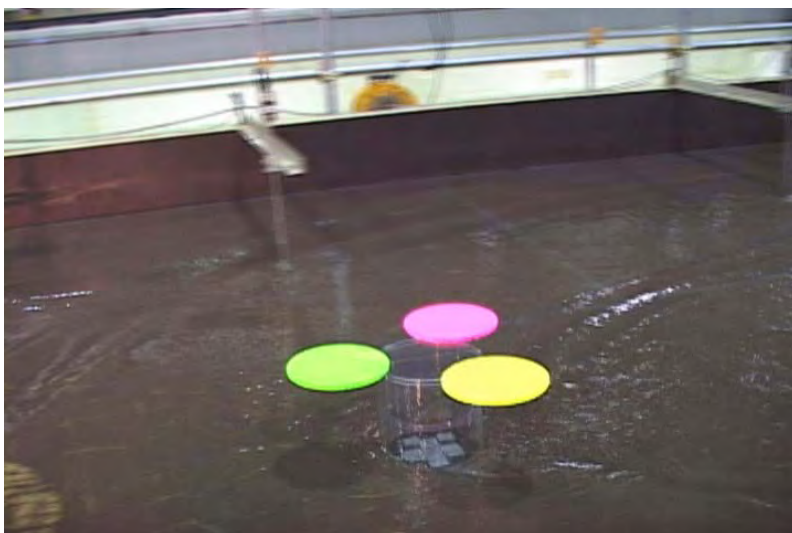


写真 4.2-9 Case2-2-3 浮上して漂流するタンク



写真 4.2-10 Case2-2-3 動摩擦力を受けて減速するタンク



写真 4.2-11 Case2-2-3 停止したタンク

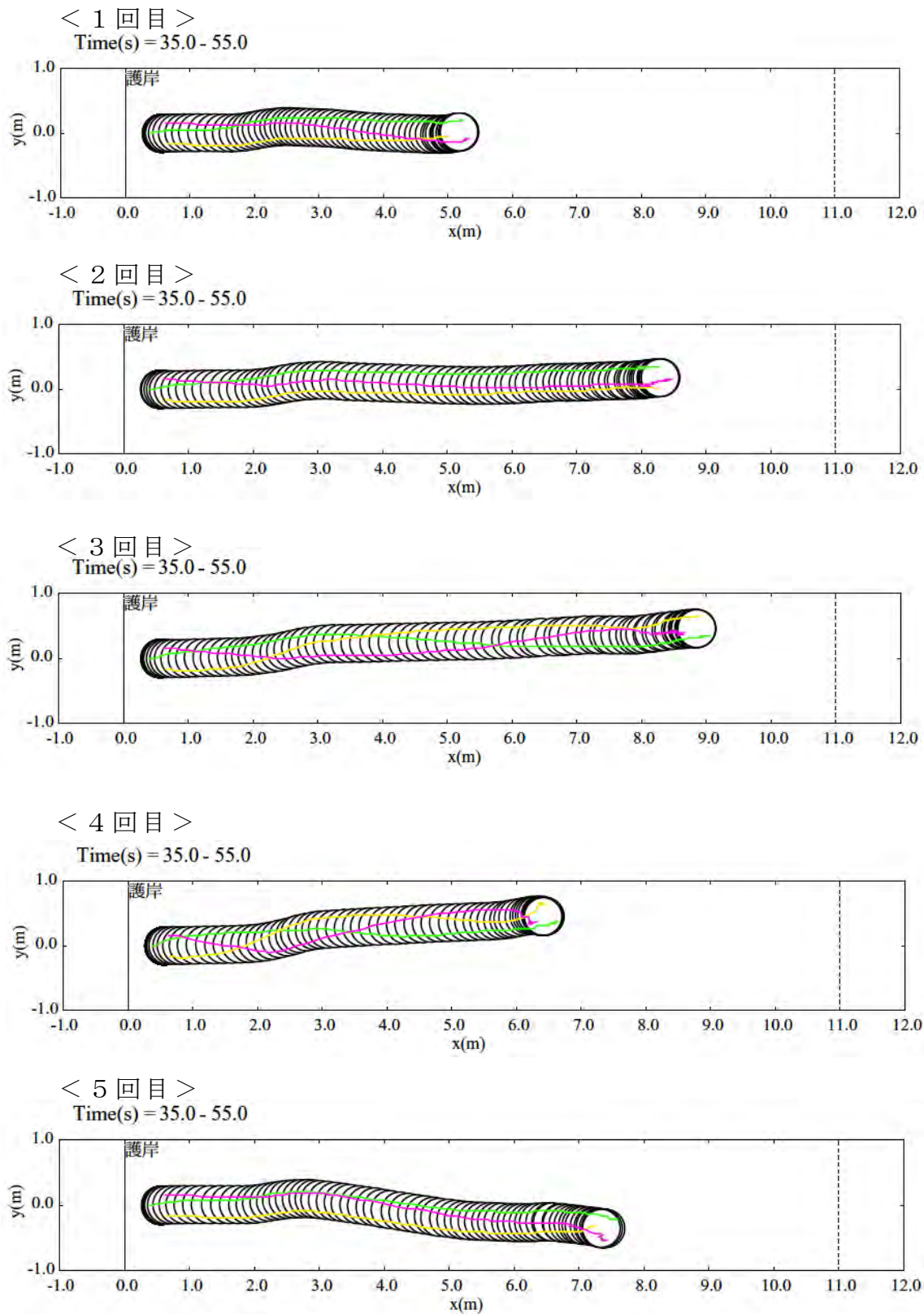


図 4.2-7 タンク漂流挙動の測定結果例 (Case2-1-4)
(1/6 秒毎のタンクの位置を描画)

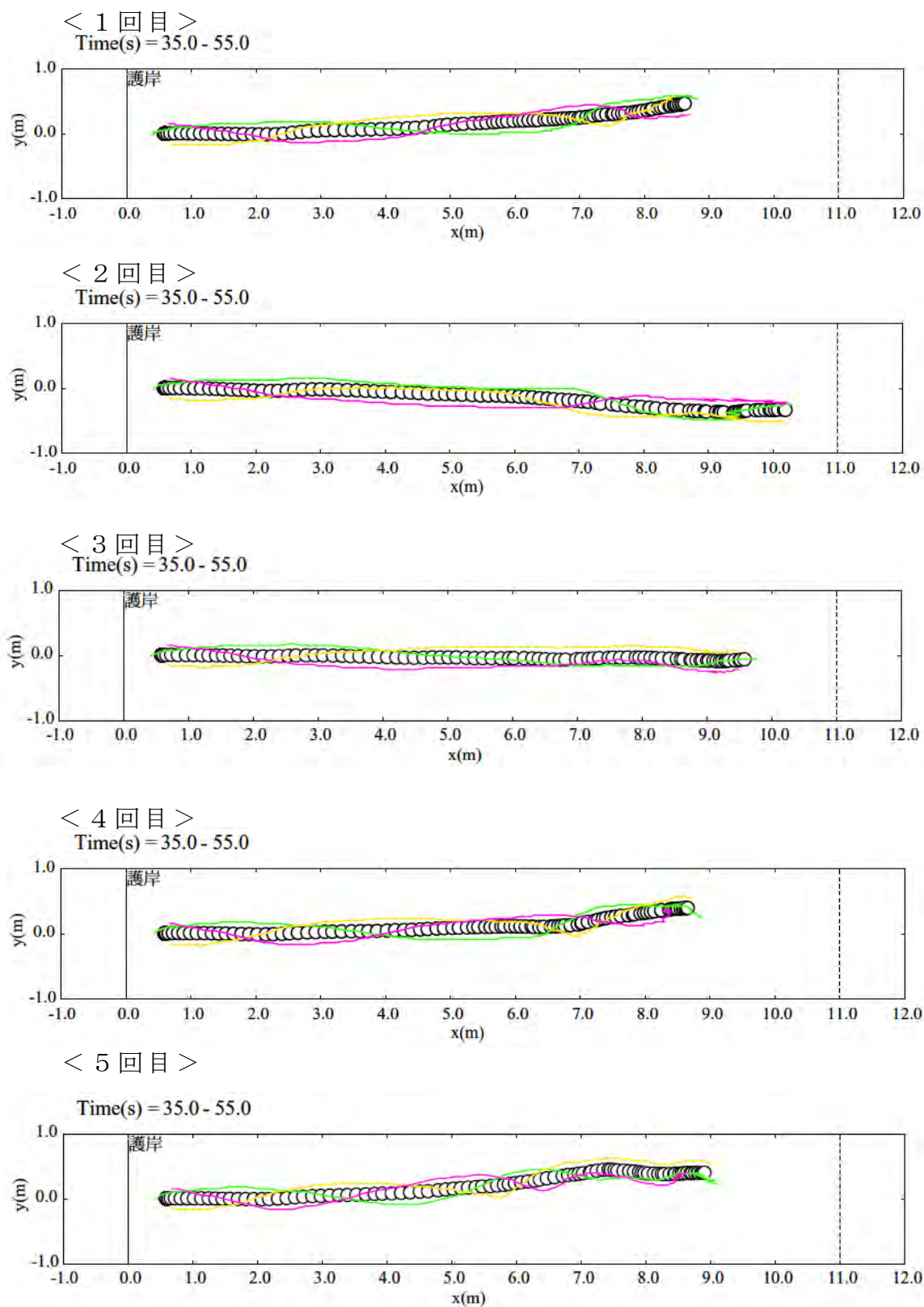
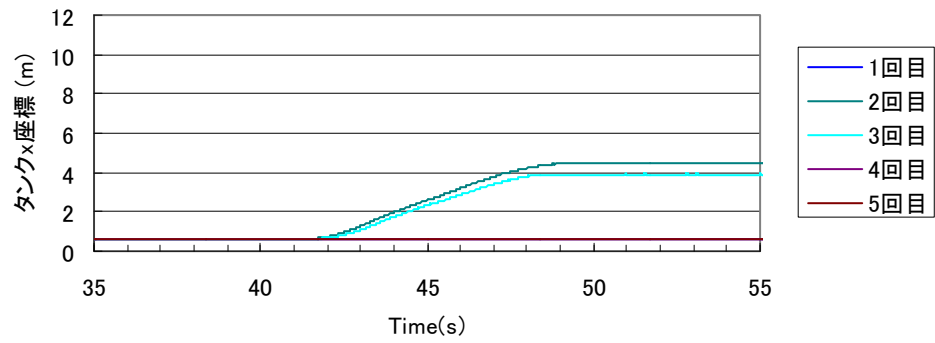
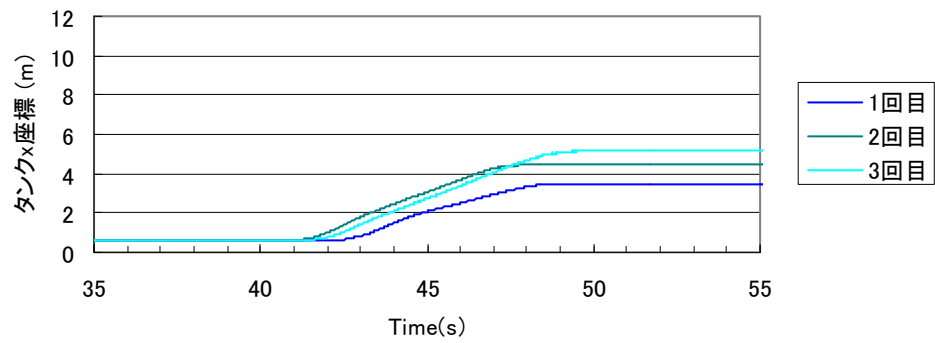


図 4.2-8 タンク漂流挙動の測定結果例 (Case2-2-1)
(1/6 秒毎のタンクの位置を描画)

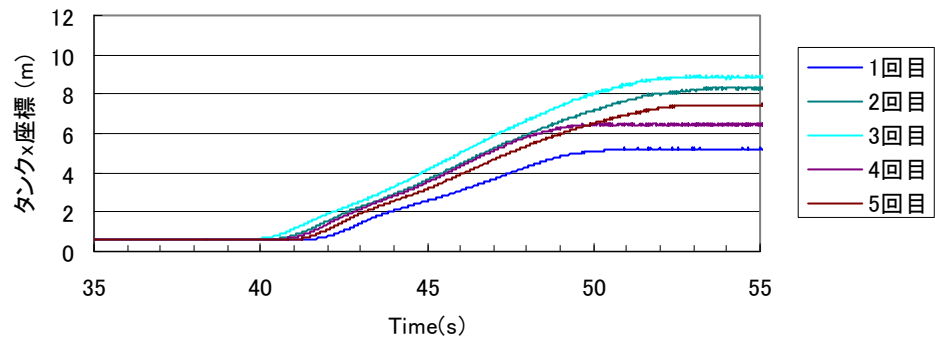
Case2-1-2 Tank 2(9,922kl), 内液量 17.153%, Wave 2



Case2-1-3 Tank 2(9,922kl), 内液量 15.346%, Wave 2



Case2-1-4 Tank 2(9,922kl), 内液量 13.576%, Wave 2



Case2-1-5 Tank 2(9,922kl), 内液量 11.788%, Wave 2

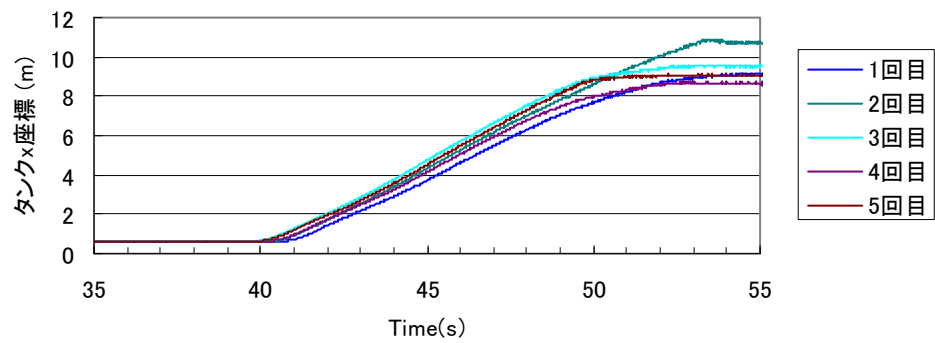


図 4.2-9 タンク漂流挙動（護岸からの距離）の測定結果（Case2-1）

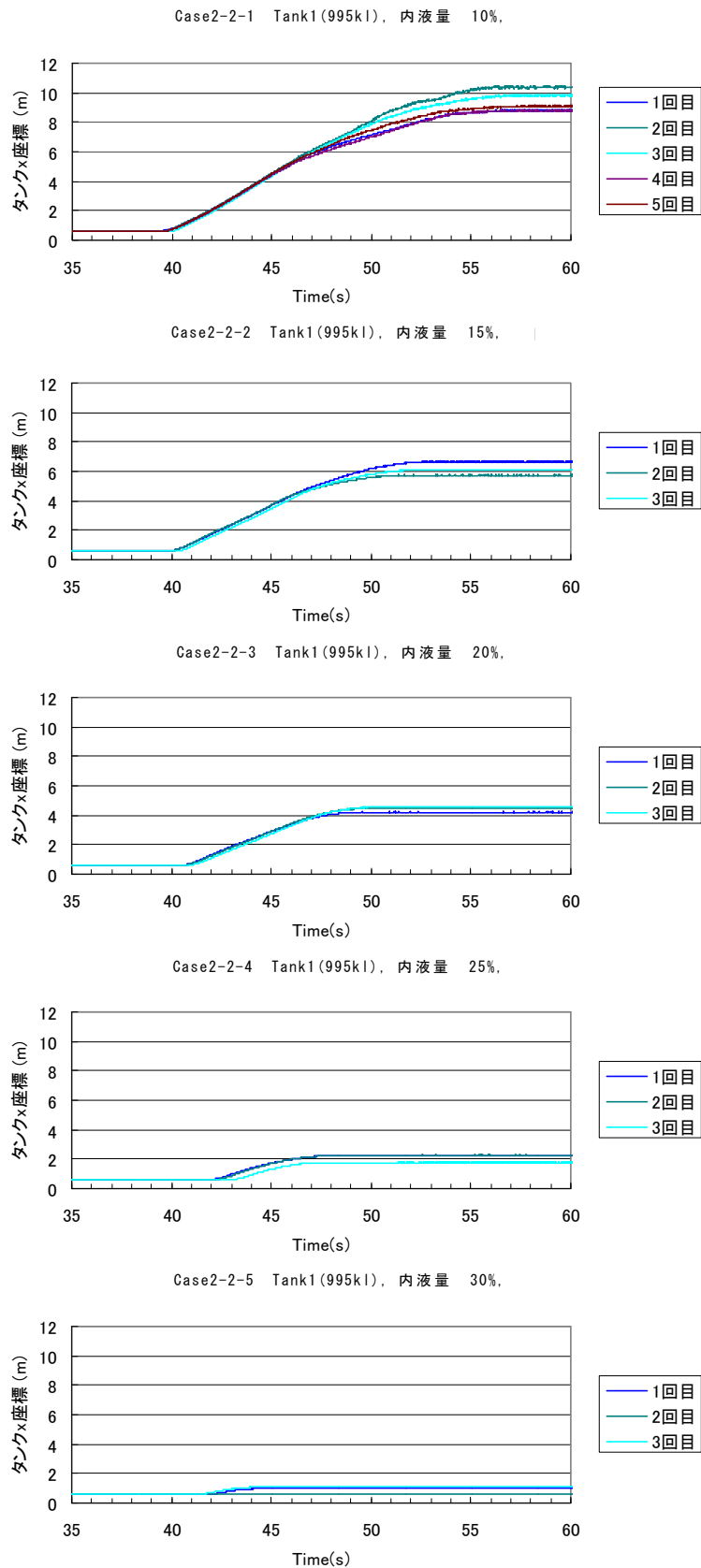


図 4.2-10 タンク漂流挙動（護岸からの距離）の測定結果（Case2-2）

(b) 実験-3 の結果

実験-3 では、タンクも防油堤も置かない状態で、陸上部の水位と流速が計測された。

各波条件 (Wave1、2、3、4、5) の陸上部の水位及び流速測定結果を図 4.2-11～15 に示す。

水位の計測結果と、流速の計測結果を見比べると、各波とも、フロントの通過直後に流速が高くなり、徐々に減速していくことがわかる。

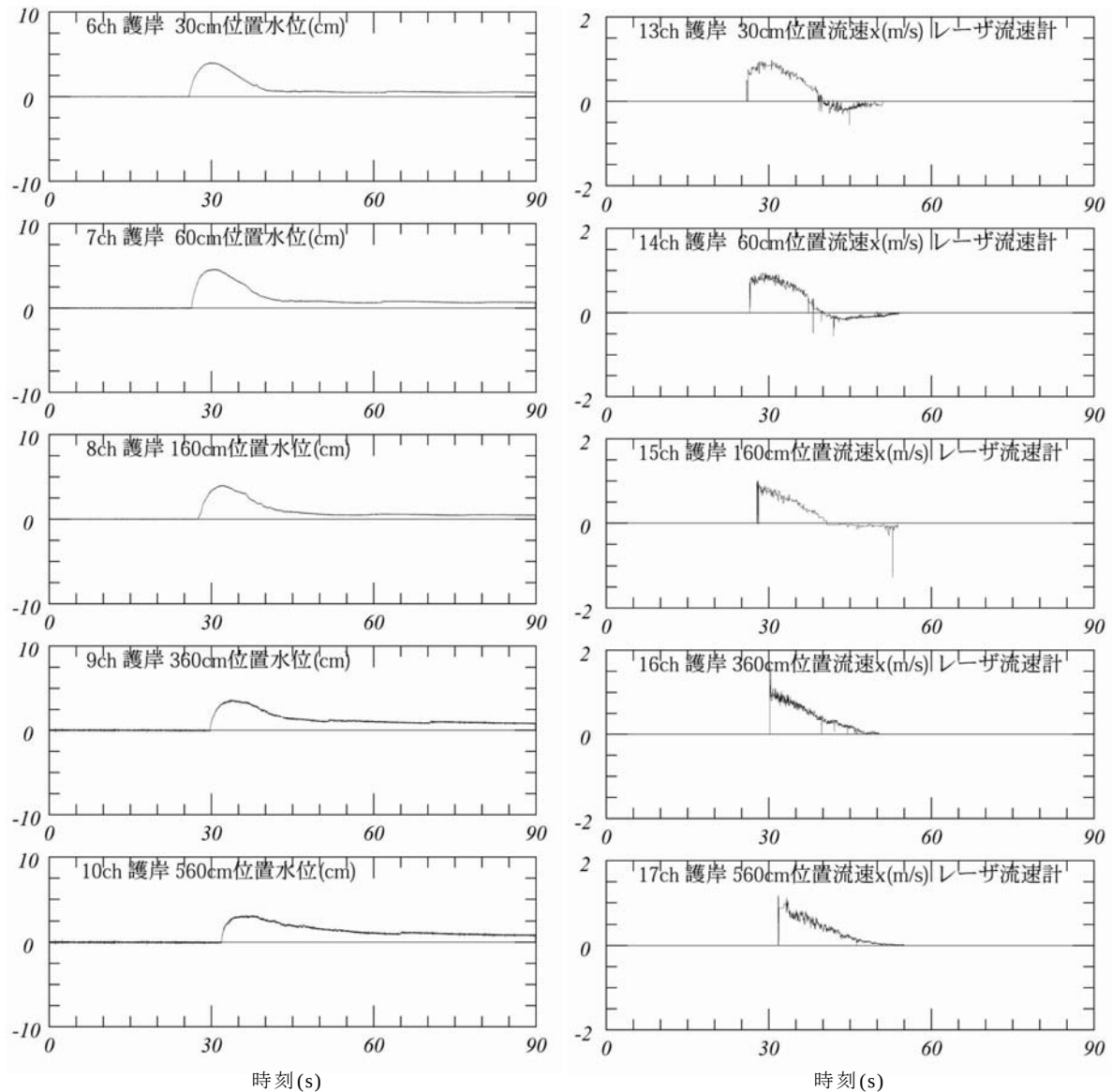


図 4.2-11 陸上部の水位・流速測定結果

(Wave1 : 浸水深 $h=2\text{m}$, 周期 $T=5$ 分 → 実験スケール $h=4\text{cm}$, $T=42.4$ 秒)

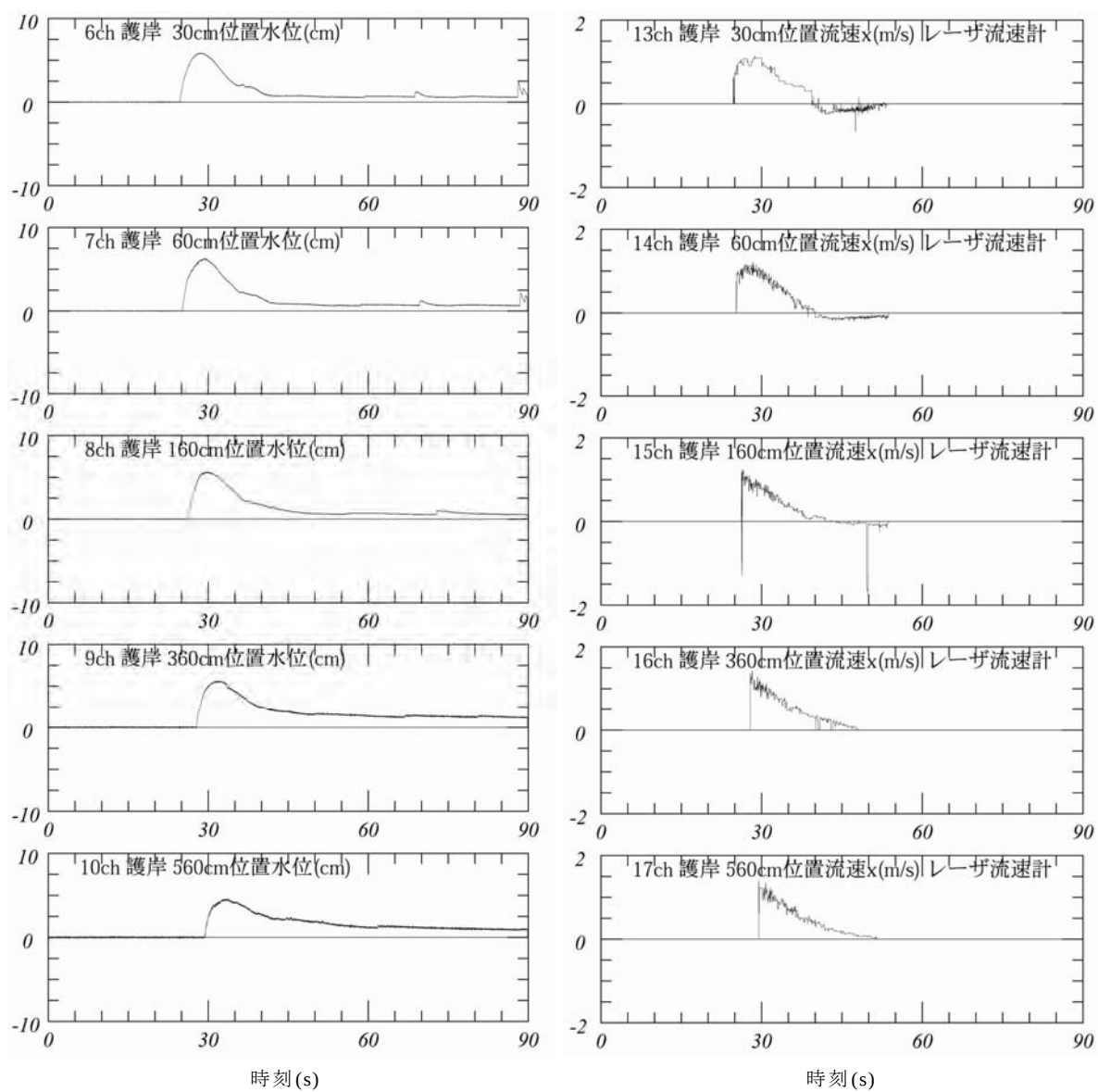


図 4.2-12 陸上部の水位・流速測定結果

(Wave2: 浸水深 $h=3\text{m}$, 周期 $T=5$ 分 → 実験スケール $h=6\text{cm}$, $T=42.4$ 秒)

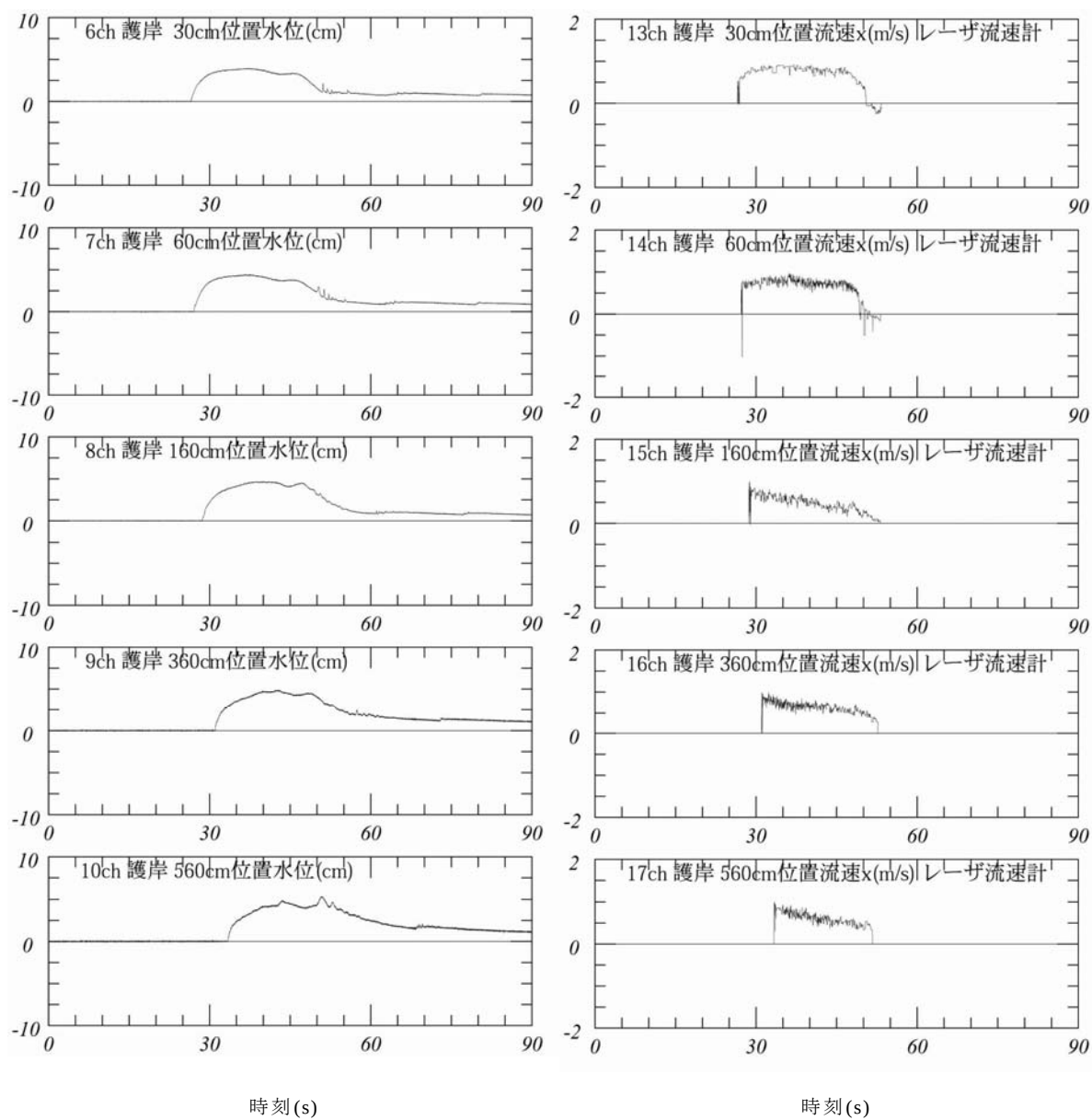


図 4.2-13 陸上部の水位・流速測定結果

(Wave3: 浸水深 $h=2\text{m}$, 周期 $T=10$ 分 → 実験スケール $h=4\text{cm}$, $T=84.8$ 秒)

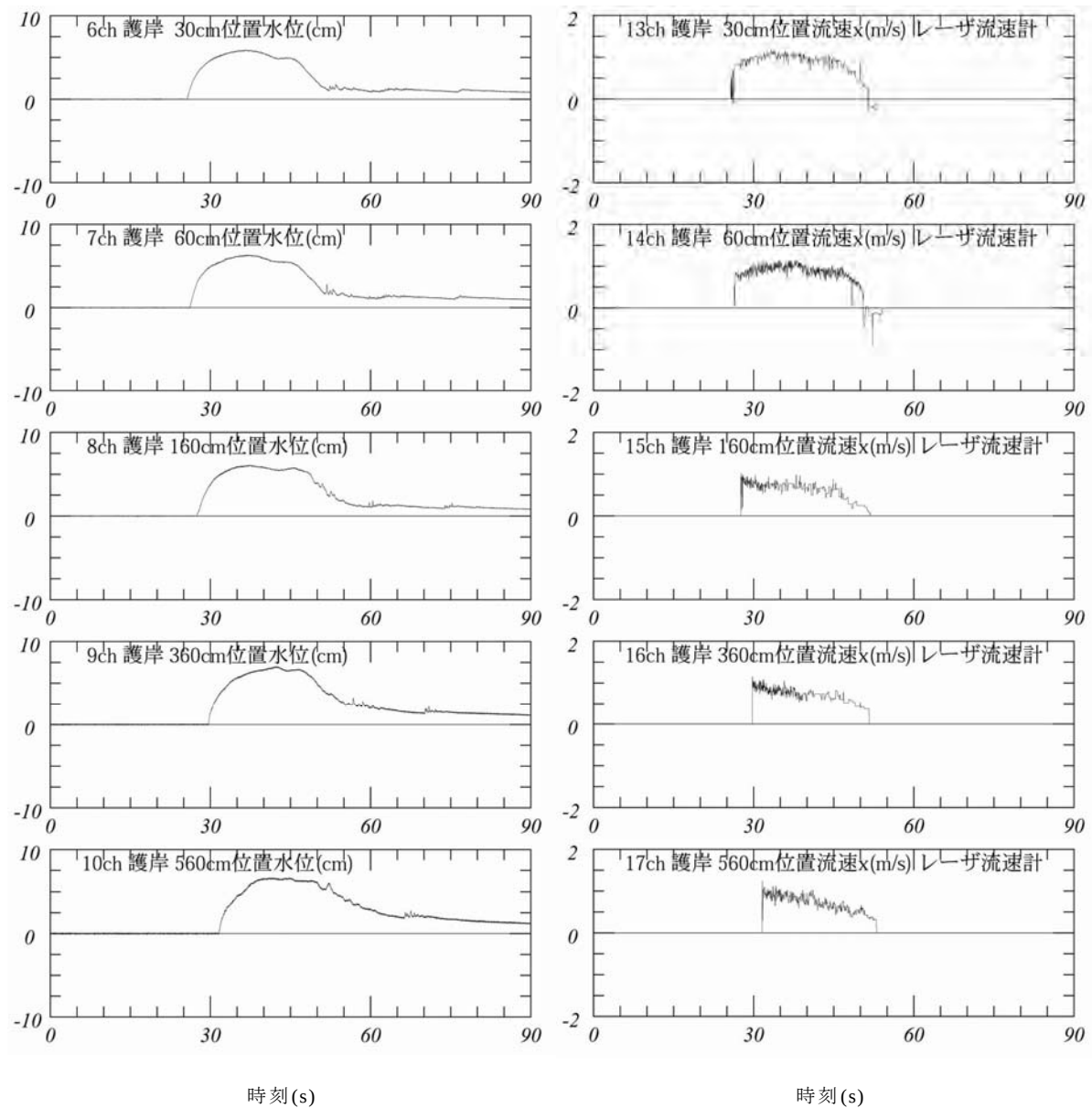


図 4.2-14 陸上部の水位・流速測定結果

(Wave4 : 浸水深 $h=3\text{m}$, 周期 $T=10$ 分 $\rightarrow$ 実験スケール $h=6\text{cm}$, $T=84.8$ 秒)

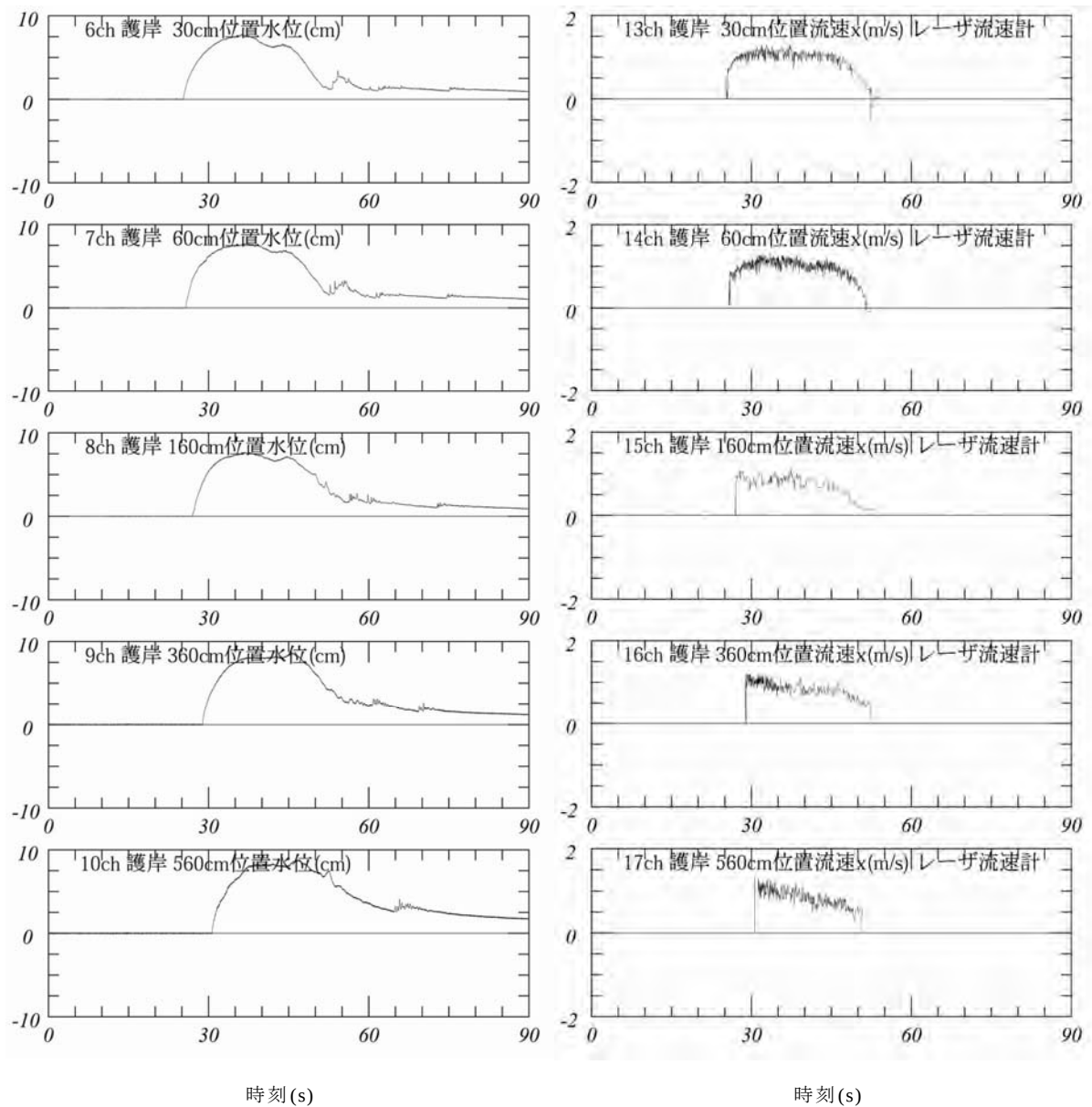


図 4.2-15 陸上部の水位・流速測定結果

(Wave5 : 浸水深 $h=4\text{m}$, 周期 $T=10$ 分 → 実験スケール $h=8\text{cm}$, $T=84.8$ 秒)

(c) 実験-5 の結果

実験-5 では、防油堤を置いた場合のタンクの挙動が調べられた。
各ケースでは、表 4.2-6 に掲げるようなタンクの挙動が観察された。

表 4.2-6 実験-5 におけるタンク挙動

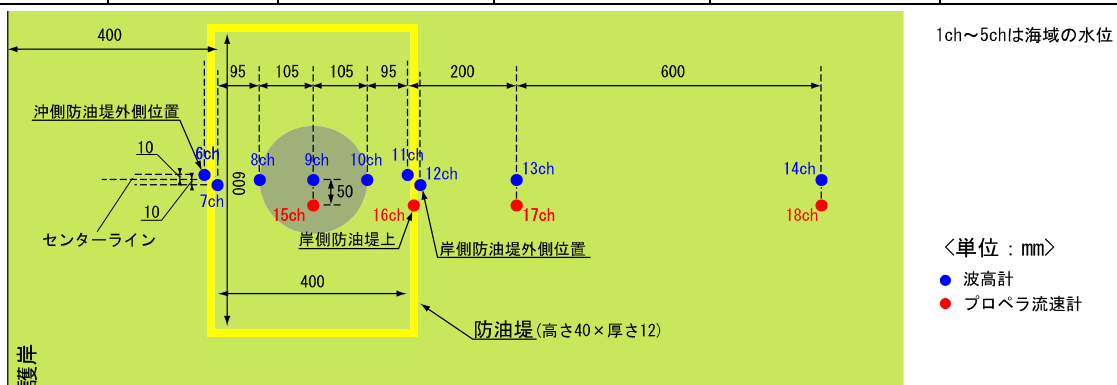
ケース番号	波条件	内液量	タンク挙動
Case5-1-1	Wave1	10%	防油堤を跨いで停止（写真 4.2-12）
Case5-1-2		20%	防油堤を越えない（写真 4.2-13）
Case5-2-1	Wave2	10%	防油堤を越えて漂流（写真 4.2-14）
Case5-2-2		20%	防油堤を越えて漂流
Case5-3-1	Wave3	10%	防油堤に乗って停止（写真 4.2-15）
Case5-3-2		20%	防油堤を越えない
Case5-4-1	Wave4	10%	防油堤で転倒した後漂流（写真 4.2-16）または越えて漂流
Case5-4-2		20%	防油堤を越えて漂流

実験-6 での計測による防油堤内外の最高水位および防油堤越流水深は、表 4.2-7 のようになる。なお、ノイズ分は除かれている。防油堤の高さは模型スケールで 4cm である。

表 4.2-7 各波条件における最高水位と防油堤越流水深

（模型スケール、単位 cm）

波条件	防油堤が無い時の最高水位	防油堤内水位(下図 10ch)	防油堤水位(内側、11ch) (①)	防油堤水位(外側、12ch)	越流水深 (①－4cm)
Wave1	4.0	6.8	6.6	5.8	2.6
Wave2	6.0	9.6	9.6	9.6	5.6
Wave3	4.0	6.8	6.6	5.7	2.6
Wave4	6.0	9.8	9.8	9.6	5.8



防油堤内の水深は、防油堤が無いときに比べ、Wave1 と 3 で約 3cm、Wave2 と 4 で約 4cm 上昇しており、防油堤が無いときに比べて、ほぼ防油堤の高さ(4cm)に近い量の水位上昇になっている。

表 4.2-8 実験-5 における浮上時の喫水と越流水深

ケース番号	波条件	内液量	浮上時の喫水(cm)	越流水深(cm)
Case5-1-1	Wave1	10%	2.60	2.60
Case5-1-2		20%	4.85	2.60
Case5-2-1	Wave2	10%	2.60	5.60
Case5-2-2		20%	4.85	5.60
Case5-3-1	Wave3	10%	2.60	2.60
Case5-3-2		20%	4.85	2.60
Case5-4-1	Wave4	10%	2.60	5.80
Case5-4-2		20%	4.85	5.80

内液量 10%タンクの浮上時の喫水は 2.60cm であり、内液量 20%タンクの浮上時の喫水は 4.85cm である。

このことから、表 4.2-8 に示すように、津波時にタンクが防油堤を乗り越えるかは、タンクの喫水が越流水深より大きいかな否かでほぼ判断できることがわかる。すなわち喫水より越流水深が大きいときはタンクが防油堤を乗り越えて漂流し、小さいときは防油堤内に留まる。Wave1,3 のように内液量 10%のタンク喫水と越流水深がほぼ同じ場合には、タンクは防油堤上で止まるなど、その中間の現象が観察された。

なお、Case5-4-1 では、タンクが防油堤につまずくように転倒するケースが見られた。実験-5 は、内容液の重さの調整を重りで行ったが、試しにタンクに水を入れて実験したところ、Case5-2-2 に相当する内液量 20%で Wave2 の場合でも、タンクが転倒する様子が見られた(写真 4.2-17)。内容液を本物と同様に液体にすると、タンクが傾き始めると中の水が動くため、重りのときより転倒しやすくなると考えられる。タンクが転倒するか否かについては、より平たい形のタンクでは転倒しにくいと考えられるなど、タンクの形状にも影響されると思われる。

以上で見てきたように、防油堤が津波を受けたり、タンクが衝突したりしても健全であるということを前提とすれば、タンクの挙動に対する防油堤の寄与は、次のようにまとめられる。

- ① 防油堤は、防油堤の越流水深がタンクの浮上時の喫水より小さい程度の津波であれば、タンクの移動を止めることができ漂流防止に寄与する。
- ② タンク喫水以上に越流水深が大きくなると、タンクは防油堤を乗り越えて漂流するか、乗り越えるときにタンクが転倒するなどのリスクが生じる。

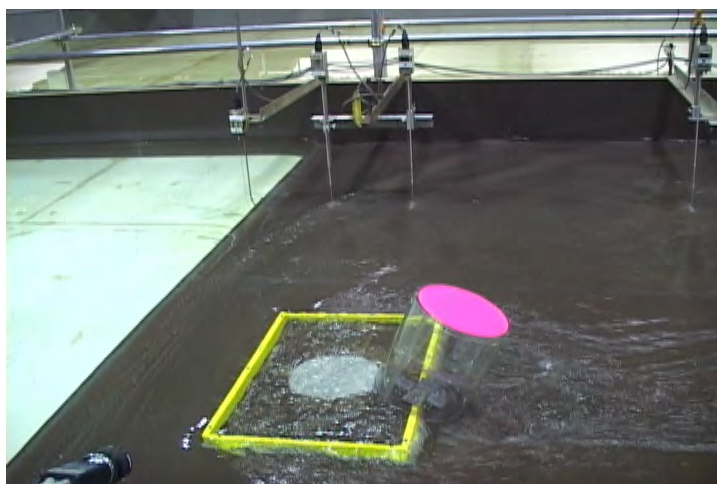


写真 4.2-12 Case5-1-1 防油堤を跨いで停止したタンク

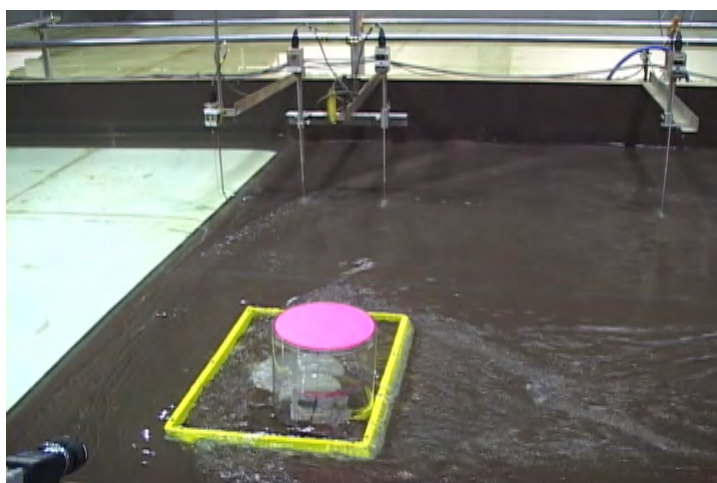


写真 4.2-13 Case5-1-2 防油堤を越えないタンク

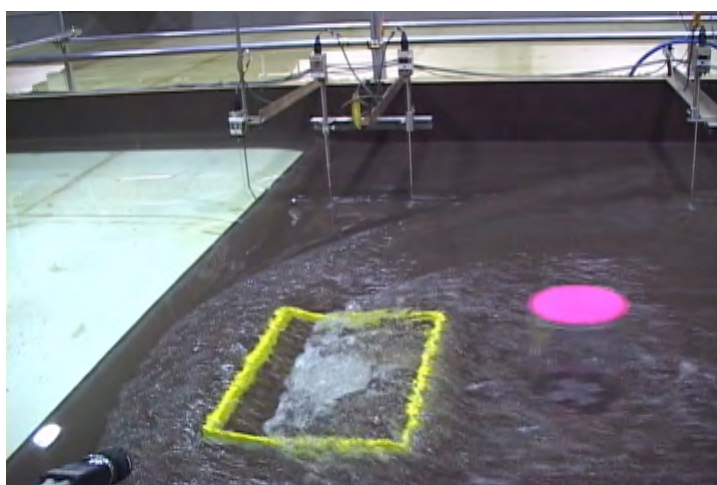


写真 4.2-14 Case5-2-1 防油堤を越えて漂流するタンク

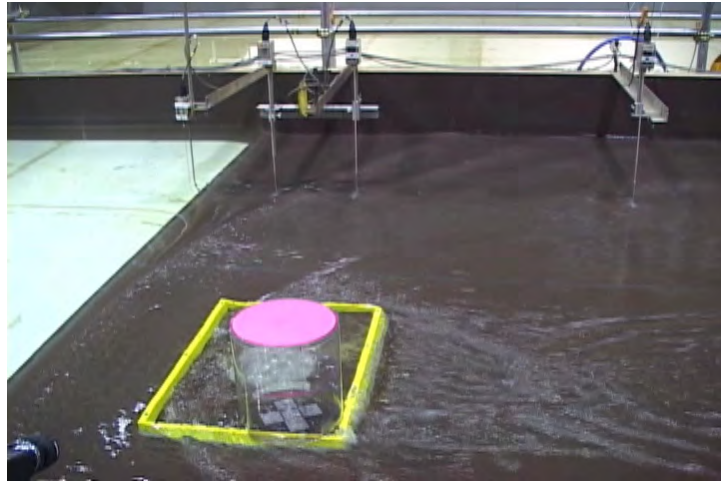


写真 4.2-15 Case5-3-1 防油堤に乗って停止したタンク

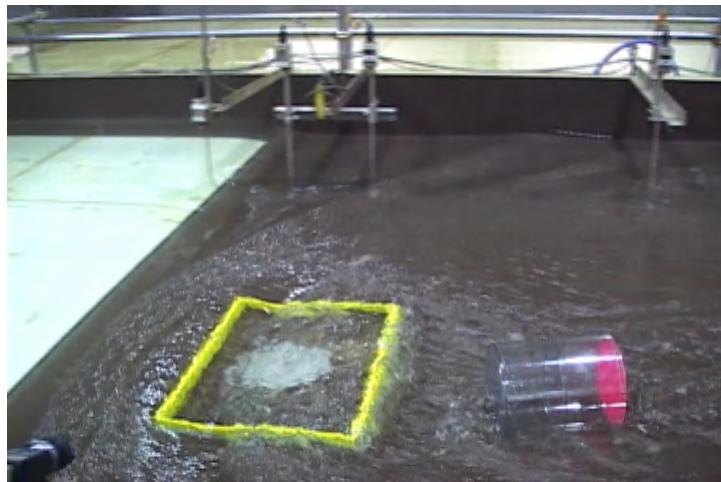


写真 4.2-16 Case5-4-1 防油堤で転倒した後漂流したタンク

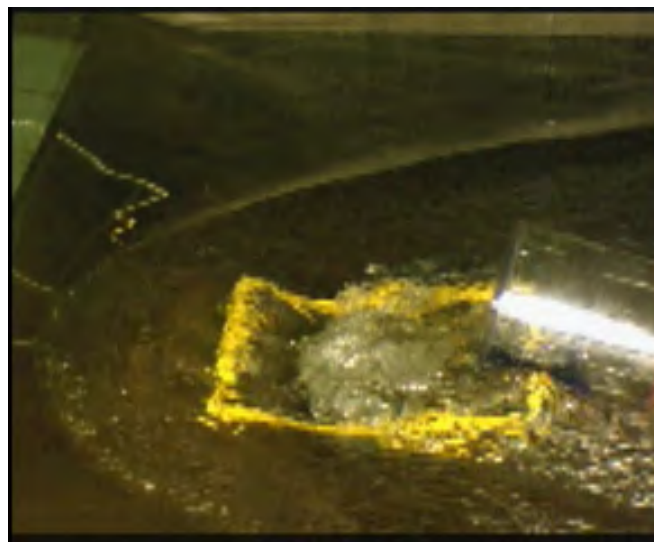
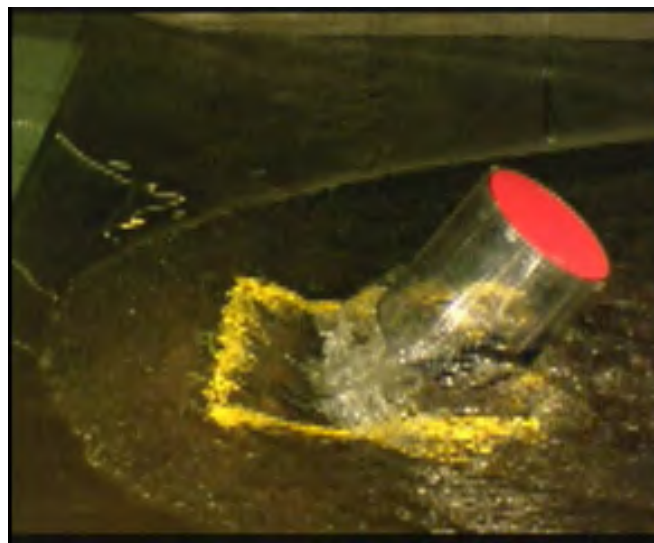
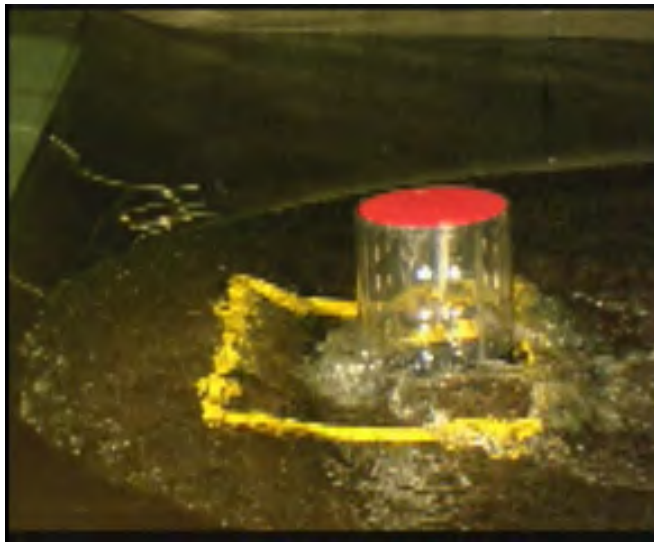


写真 4.2-17 Wave2, タンク内液量 20%相当分の水を入れた場合の
タンク転倒の様子（連続写真）

3. 屋外貯蔵タンクの漂流軌跡予測手法の提案

(1) 運動方程式による評価手法

(a) 運動方程式の基礎式（一次元）

ここでは、タンク漂流軌跡を予測する手法として、津波による流体力などを外力とするタンクの運動方程式を解く方法を考えることとする。ここで、タンクは1質点として取り扱うこととする。また、外力場に関する情報として、津波の水位と流速の時空間分布が得られているものとする。

解こうとする運動方程式は、タンクの移動による付加質量および付加減衰項を考慮した(資-式 4.3-1)^{2), 3)}である。(資-式 4.3-1)の解である x_G がタンクの位置である。 x_G を時々刻々求めることにより、津波によりタンクがどこまで移動するかを予想できる。

$$\underbrace{(M + m_a) \cdot \ddot{x}_G}_{\text{加速度項}} + \underbrace{N \cdot \dot{x}_G}_{\text{減衰項}} = \underbrace{F_x}_{\text{外力項}} \quad (\text{資-式 4.3-1})$$

ここで、

- M : タンク重量 (kg)
- m_a : 付加質量 (kg)
- $\ddot{x}_G$: タンクの漂流加速度 (m/s²)
- N : 付加減衰 (kg/s)
- $\dot{x}_G$: タンクの漂流速度 (m/s)
- F_x : 外力

である。

(b) 外力項の評価

右辺の外力項は、以下の式で表される。

$$F_x = F_T - F_D - F_B \quad (\text{資-式 4.3-2})$$

ここで、 F_T は津波による流体力、 F_D は摩擦抵抗力、 F_B は防油堤による反力である。

津波に流体力 F_T は以下のモリソン式²⁾で表されるものとする。

$$F_T = \rho/2 \cdot C_D \cdot (u - \dot{x}_G) \cdot |u - \dot{x}_G| \cdot S\eta + C_M \cdot \rho \cdot A \cdot \eta \cdot \dot{u} \quad (\text{資-式 4.3-3})$$

ρ : 流体密度

C_D : 抗力係数 (=1.2)

C_M : 慣性力係数 (=2.0)

u : タンクの位置の流速 (タンクが無いとき)

$\dot{u}$: タンクの位置の流れ加速度

S : タンク軸直角方向の幅 (=直径 D)

A : タンクの底面積

η : タンク位置の水深 (タンクが無いとき)

抗力係数は、通常円筒形構造物の係数は通常 1.0 とされるが、後述の実験結果との適合性から、ここではやや大きめの 1.2 と設定した。

摩擦抵抗 F_D は、止まっているときの静止摩擦抵抗力 F_{Ds} と動き出した後の動摩擦抵抗力 F_{Dd} からなる。

$$F_D = F_{Ds} + F_{Dd} \quad (\text{資-式 4.3-4})$$

まず、静止摩擦力は、(資-式 4.3-5) のようなバネを考える (図 4.3-1 参照)。

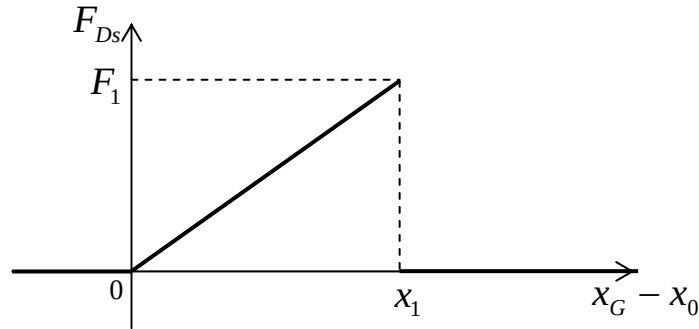


図 4.3-1 静止摩擦力のバネ設定

$$F_{Ds} = \begin{cases} 0 & (x_G - x_0 \leq 0) \\ (F_1 / x_1) \cdot (x_G - x_0) & (0 < x_G - x_0 \leq x_1) \\ 0 & (x_G - x_0 > x_1) \end{cases} \quad (\text{資-式 4.3-5})$$

$$F_1 = \mu_s (Mg - U_s) \quad (\text{資-式 4.3-6})$$

$$U_s = a_s \rho g A \eta \quad (\text{資-式 4.3-7})$$

x_0 : タンク 初期位置

x_1 : タンク 基礎水平バネの最大変位量 (実験時 : 0.2mm)

F_1 : 最大静止摩擦力

μ_s : 静止摩擦係数 (0.4)

M : タンク重量

g : 重力加速度

U_s : 静止摩擦時の作用浮力

a_s : 作用浮力に関する定数 (0.2)

タンク初期位置からの水平変位が、タンク基礎水平バネの最大変位量（変形できる最大の長さ）に達するときには最大の静止摩擦力が発生し、それを超えてタンクが変位すると静止摩擦力は 0、すなわちタンクは移動し出すものとする。

タンク基礎水平バネの最大変位量は、前節の「2. 屋外貯蔵タンクの漂流距離に関する水理模型実験」において使用された発泡ポリエチレンと模型タンクで実験したところ 0.2mm と見込まれた。このため、前節の実験結果を再現しようとする場合には、タンク基礎水平バネの最大変位量は 0.2mm とした。一方、現地の漂流軌跡を予測する場合には、前節の実験の縮尺は実際の 1/50 であるため、実験値 0.2mm を現地換算した値である 10mm を用いることとした。

(資-式 4.3-6)の最大静止摩擦力の計算では、作用浮力を考慮している。これは、津波到来時にタンク底部と基礎の隙間に入り込む水の効果を考慮したものである。写真 4.3-1 は、タンク底部に入り込む水をタンクの真上から撮影した写真である。これは、Tank2（中規模タンク）で内液量 10%の場合に、Wave2 を当てたときのものである。隙間に入り込む水は青く着色しており、タンク移動前に底面のある程度の部分に水が入り込んでいることがわかる。この入り込む水による作用浮力は、(資-式 4.3-7)で示されているように、周辺水位の静水圧積分値の 2 割 ($a_s = 0.2$) と仮定した。

(資-式 4.3-4)のタンクが動き出した後の動摩擦力 F_{Dd} は、次の式で表す。基本的な形は、動摩擦力の一般的な定義である（動摩擦係数）×（重さ）とした。

$$F_{Dd} = \mu_d (Mg - U_d) \frac{\dot{x}_G}{|\dot{x}_G|} \quad (\text{資-式 4.3-8})$$

$$U_d = \begin{cases} \rho g A \eta & (\eta < a_d) \\ \rho g A \{ad + (1-a)/(b-a) \cdot (\eta - ad)\} & (a_d d \leq \eta < b_d d) \\ \rho g Ad = Mg & (\eta \geq b_d d) \end{cases} \quad (\text{資-式 4.3-9})$$

μ_d : 動摩擦係数 (0.2)

U_d : 動摩擦力作用時の作用浮力

a_d, b_d : 定数 ($a_d = 0.8$ 、 $b_d = 1.2$)

d : タンク浮上時の喫水

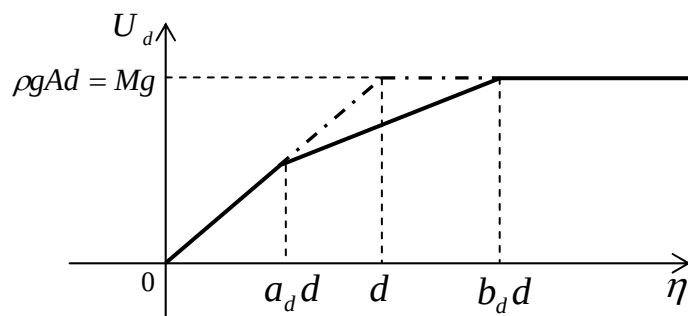
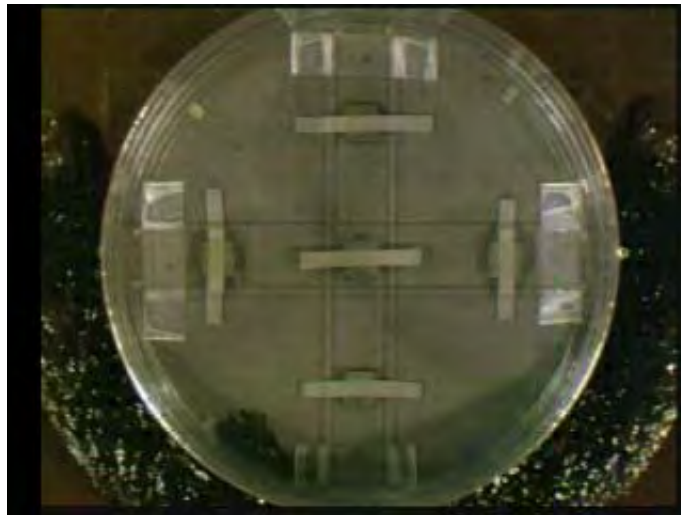


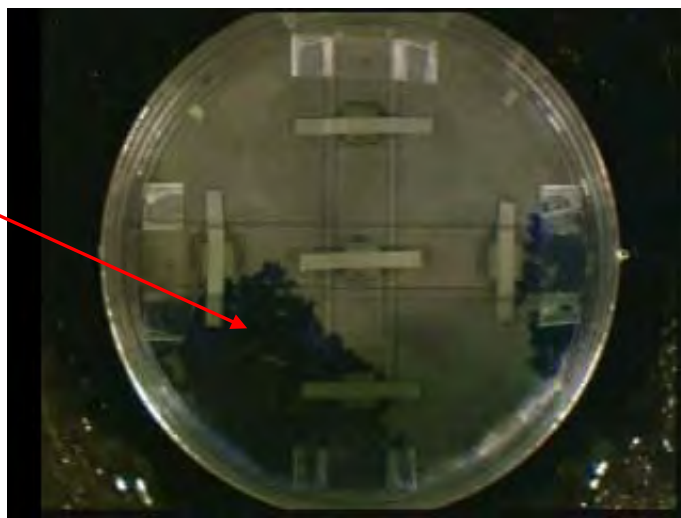
図 4.3-2 動摩擦力計算時の作用浮力の設定



← 津波のフロント
(先端部)

↑ 津波進行方向

(a) 津波フロント通過直後



タンク底部の隙間
に入り込んだ水

(b) タンクが動き出す直前



(c) タンクが動き出した直後

写真 4.3-1 タンク底部とタンク基礎の隙間に入り込む水の様子
(Tank2、内液量 10%のタンクが Wave2 の波で動き出す直前の様子)

単純には、動摩擦作用時にタンクが受ける作用浮力は、タンク底部に十分に水が入り込むとすると、周囲水位がタンクの喫水に達するまでは周囲水位による静水圧の積分値が作用すると考えられる。さらに、周囲水位が喫水を上回ればタンクが浮上し、動摩擦力は 0 となるので、作用浮力は喫水分の静水圧、すなわち、タンク重量（内容液含む）より増えないものと考えられる。この考え方によれば、作用浮力は図 4.3-2 の一点鎖線のように仮定される（ $a_d = b_d = 1.0$ ）。しかし、実際のタンクは、喫水以下の水深でもタンクの端が持ち上がって傾き、動摩擦力が減ることが考えられる。また逆に水深が喫水を上回る状態でも、タンクが傾くことによって地面に接触し動摩擦力を受けることがある様子が実験で観察された。これらの影響を考慮するため、（資-式 4.3-9）のように、定数 a_d, b_d を用いて、作用浮力を途中で切り替えるように設定した（図 4.3-2 の実線）。水理模型実験の再現計算では、 $a_d = 0.8$ 、 $b_d = 1.2$ とすると、実験結果と運動方程式の解が整合した。

防油堤による反力 F_B は、実験-5 の成果を活用すると、浮上したタンクが防油堤のところまで来たとき、タンクの喫水が防油堤の越流水深を下回る（タンクが防油堤に引っ掛かる）場合に、タンクを止めるように作用させればよいとした。

$$F_B = \begin{cases} 0 & (x_G < x_2 \text{ or } x_G > x_2 + \Delta x) \\ 0 & (x_2 < x_G < x_2 + \Delta x \text{ and } \eta \geq d + h_B) \\ k(x_G - x_1) & (x_2 < x_G < x_2 + \Delta x \text{ and } \eta < d + h_B) \end{cases} \quad (\text{資-式 4.3-10})$$

$$x_2 = x_B - D/2 \quad (\text{資-式 4.3-11})$$

x_B : 防油堤位置

d : タンク喫水

D : タンク直径

Δx : 微小変位

h_B : 防油堤高さ

k : バネ定数

k はタンクを止めるのに十分大きな（硬い）ばね定数である。

(c) 付加質量と付加減衰係数について

付加質量と付加減衰は、ともにタンクが水の中を動くとき、水から受ける力に由来する量である。付加質量は、水中をタンクが加速度運動するとき、タンクに付着してともに動く水の量である。付加減衰（造波減衰）は、タンクが水から受ける抵抗の係数であり、タンクの動きが周りの水に波を起こすため、その分タンクの動きが減衰する量を表す。

しかし、今回の運動方程式の解と実験結果を照合したところ、例えば、付加質量はタンク自重と同じとするなど、付加質量や付加減衰を考慮すると、タンクの動きが鈍くなり、実験結果と合わなくなった。タンクの高さに対して津波の浸水深の比が小さいため、これらの量は小さいものと考えられる。よって、ここでは、付加質量はタンク自重の1割、付加減衰係数は0とすることとした。

(2) 水理模型実験結果との比較

(資-式 4.3-1)の運動方程式の適用性を調べるため、実験-2 におけるタンクの滑動、漂流、停止を(資-式 4.3-1)により計算し、実験結果と照合した。計算に使用したパラメータを表 4.3-1 に示す。

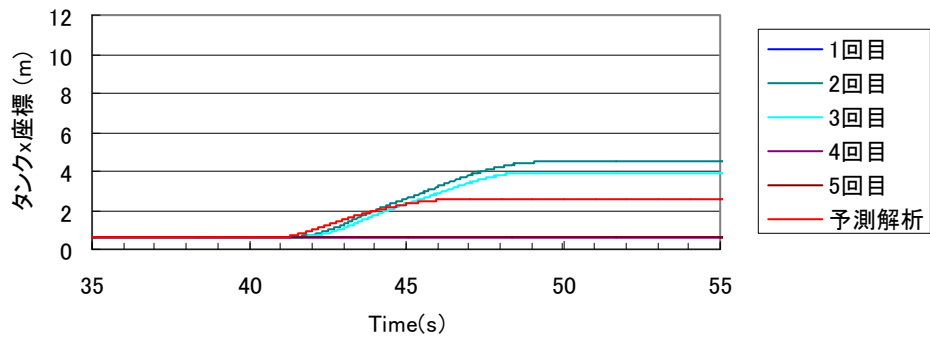
表 4.3-1 実験-2 の再現に使用した計算パラメータ

項目	記号	設定値
津波水位・流速場	η, u	実験-3 で計測した値
計算時間刻み	Δt	0.005s
計算時間		90s
タンク重量（自重＋内容液重量）	M	ケースにより変化
タンク半径	R	0.1064m(Tank1), 0.2906m(Tank2)
静止摩擦係数	μ_s	0.4
動摩擦係数	μ_d	0.2
抗力係数	C_D	1.2
慣性力係数	C_M	2.0
タンク付加質量	m_a	0.1M
タンク付加減衰	N	0
静止摩擦時の作用浮力に関する定数	a_s	0.2
動摩擦時の作用浮力に関する定数	a_d, b_d	0.8, 1.2

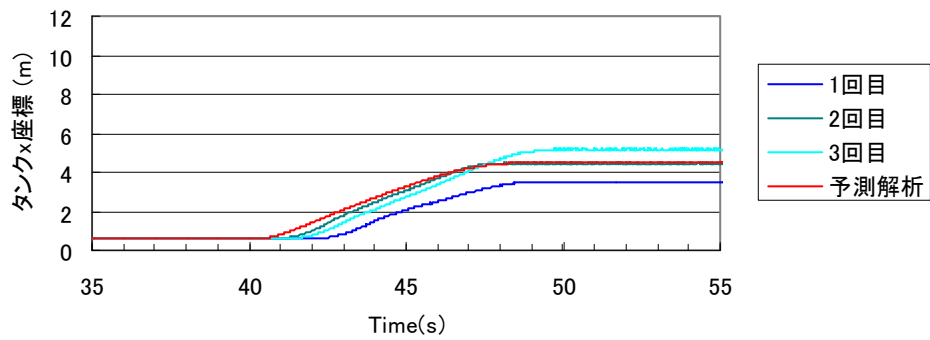
Case2-1 の実験、すなわち、Tank2 の内液量を少しずつ増やしながら Wave2 の津波を当てる実験に対する(資-式 4.3-1)の解と実験結果の比較を図 4.3-1 に示す。また、図 4.3-2 には、Case2-2 の実験、すなわち、Tank1 の内液量を少しずつ減らしながら Wave1 の津波を当てる実験についての比較を示す。これらの図で、赤線が(資-式 4.3-1)の解、それ以外の色の線が実験での計測結果である。

(資-式 4.3-1)の解は、タンクの動き出しのタイミング及びタンクの移動距離について、実験結果のばらつきの中にほぼ収まる結果となっており、実験結果と良く合っていると言える。このことから、タンクの一次元的な漂流挙動は、運動方程式(資-式 4.3-1)を解くことによって、予測可能であると考えられる。

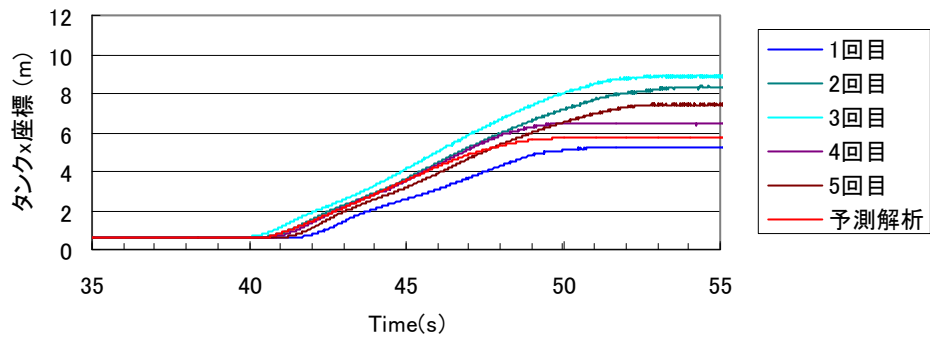
Case2-1-2 Tank2 (9,922kl), 内液量 17.153%,



Case2-1-3 Tank2 (9,922kl), 内液量 15.364%,



Case2-1-4 Tank2 (9,922kl), 内液量 13.576%,



Case2-1-5 Tank2 (9,922kl), 内液量 11.788%,

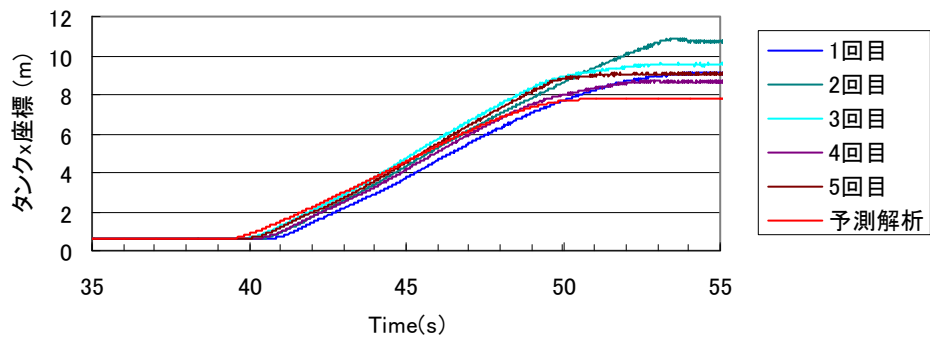


図 4.3-1 タンク移動位置に関する実験結果 (Case2-1) と予測結果の比較

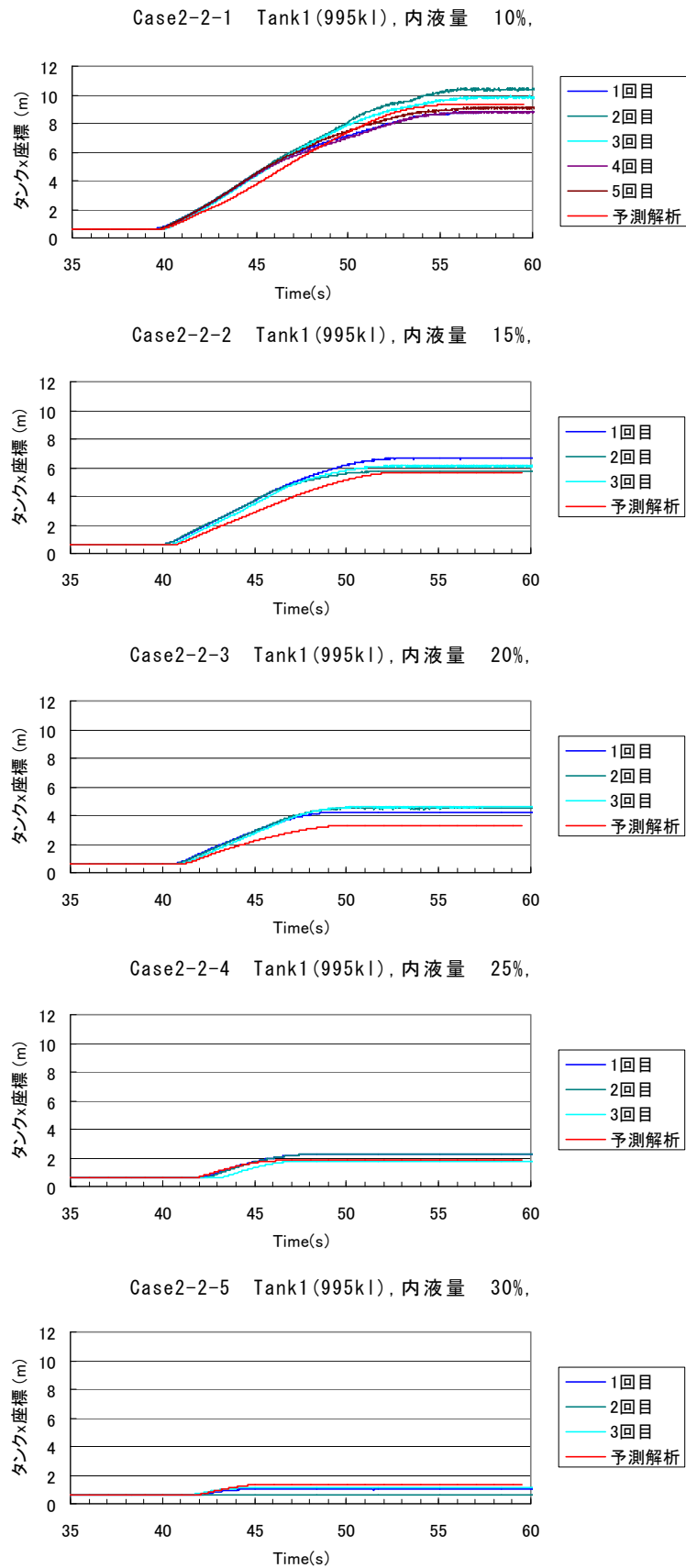


図 4.3-2 タンク移動位置に関する実験結果 (Case2-2) と予測結果の比較

(3) 運動方程式の二次元化

運動方程式(資-式 4.3-1)は、タンクの一次元的な運動を記述している。しかし、実際のタンクの漂流は 2 次元的な運動となるものと考えられる。そこで、運動方程式(資-式 4.3-1)を 2 次元に拡張する必要がある。

ここでは、(資-式 4.3-1)及び(資-式 4.3-2)の 2 次元化は、(資-式 4.3-12)及び(資-式 4.3-13)のようにすることができるものとした。

$$\begin{cases} (M + m_a) \cdot \ddot{x}_G + N \cdot \dot{x}_G = F_x \\ (M + m_a) \cdot \ddot{y}_G + N \cdot \dot{y}_G = F_y \end{cases} \quad (\text{資-式 4.3-12})$$

$$\begin{cases} F_x = F_{T_x} - F_{D_x} - F_{B_x} \\ F_y = F_{T_y} - F_{D_y} - F_{B_y} \end{cases} \quad (\text{資-式 4.3-13})$$

y_G : y 方向重心位置

各項の評価については、基本的に合成流速を用いた作用力の x 方向分力又は y 方向分力を与えることとした。また、静的摩擦力についても、合力はタンクが移動した方向に作用するとして、その分力を与えることとした。ただし、流体力は、今村ら¹⁾により、次式で評価することとした。

$$\begin{cases} F_{T_x} = \rho/2 \cdot C_D \cdot (u - \dot{x}_G) \cdot \sqrt{(u - \dot{x}_G)^2 + (v - \dot{y}_G)^2} \cdot S\eta + C_M \cdot \rho \cdot A\eta \cdot \dot{u} \\ F_{T_y} = \rho/2 \cdot C_D \cdot (v - \dot{y}_G) \cdot \sqrt{(u - \dot{x}_G)^2 + (v - \dot{y}_G)^2} \cdot S\eta + C_M \cdot \rho \cdot A\eta \cdot \dot{v} \end{cases} \quad (\text{資-式 4.3-14})$$

v : タンク位置の流速の y 成分

(4) 漂流距離の簡易予測手法について

これまで述べてきた運動方程式による漂流軌跡の予測には、大きな労力等を必要とする。そこで、より簡便な方法による漂流距離の予測手法について考察する。

今回の実験-2などの結果を見直してみると、津波を受けたタンクは、内液量が多いときは動かず、内液量が少ないときは、現地スケールで数百メートル以上の長距離を移動していることがわかる。もちろん実験-2のCase2-1-2やCase2-2-5の場合など、タンクが動くか動かないかの境目の内液量である場合には、短い距離の移動も起こりうるが、これらは津波高さと内液量の組み合わせを考えると、まれなケースと考えられる。また、それらも現地スケール（模型スケールの50倍）に換算すると、Case2-1-2では約200m、Case2-2-5で約30mは移動していることになる。

今回の実験で得られた水位と流速の時間変化を模式的に表すと、図4.3-3のような関係にあり、タンクの移動距離が長距離となる傾向は、この図に示した津波の水位と流速の時間変化の特徴を考えても理解できる。津波による水平波力は、水位と流速が最大のところに最大となるが①、ここまで動かなかったタンクは、その後は作用する力が落ちるので、動く可能性は小さくなる。とすると、逆に動くタンクは津波による水平波力が最大となる以前の②のタイミングで動き出すことになり、その後長時間流れの作用を受けることになる③。動き出した後は大きな浮力も受け、浮かばない場合でも、タンクの周囲は浸水によって摩擦が小さい状況となっているから、比喩的に言えば、高速道路のハイドロプレーン現象と似た状況となって、タンクは長距離を漂流することになる。このようなメカニズムで、タンクは移動し始めると長距離を漂流するものと考えられる。

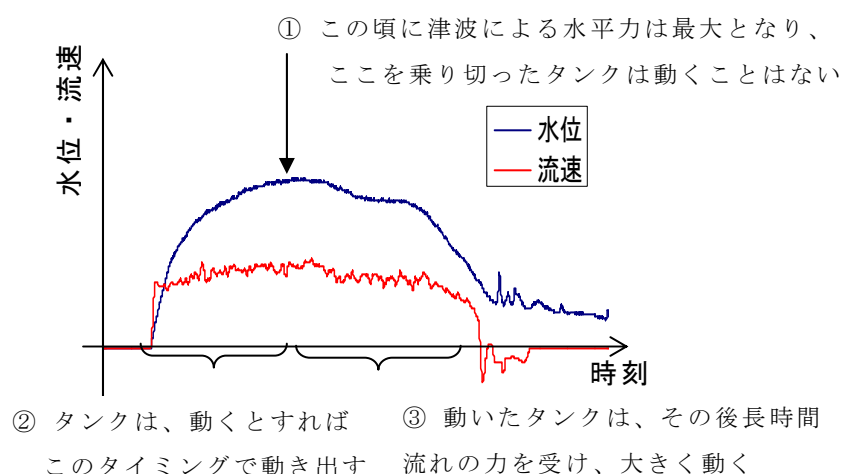


図 4.3-3 タンクに作用する水位・流速変化の模式図

ここで、タンクの漂流距離を簡易に予測する手法の予測目標を、漂流距離のオーダーを予測する程度、すなわち、漂流距離は何メートルであるか、何十メートルであるか、何百メートルであるかを予測する程度の精度を目指すこととすると、以上の考察から、津波時にタンクが数メートル～数十メートルのみ動くことはまれであり、仮にタンクの周囲に構造物等がないとすると、タンクの漂流距離は、おおまかには、

「津波を受けたタンクは、静止摩擦力によりその場に留まるか、動き出した場合は数百メートル以上動くかのどちらかである」

と予測することができる。ただし、我が国のタンク設置場所の状況を考えるとタンクから数百メートル以内に他の構造物がないことは考えにくいので、このことを考慮すると、
「津波を受けたタンクは、静止摩擦力によりその場に留まるか、何かに衝突するまで動くかのどちらかである」、と予測することができる。

4. まとめ

ここでは、タンクの津波による滑動、浮き上がり、漂流の挙動を明らかにするために実施した水理模型実験の結果を報告するとともに、その結果に基づいて、タンク漂流軌跡の予測手法を提案した。主な結果は次のとおりである。

(1) 水理模型実験結果

- ・ 水理模型実験の結果、津波を受けたタンクの滑動及び漂流は、次のように発生することが観察された。
 - ① 津波が当たりはじめた当初は、静止摩擦力でタンクは基礎上に留まっている。タンク底部下面への水の入り込みは、少しずつ発生する。
 - ② 静止摩擦力が津波の水平力に抗し切れなくなると、タンクは動き出す。この瞬間、タンク底部に多量の水が入り込み、タンクは浮力を受けて大きく動き出す。
 - ③ 水深がタンクの喫水より十分大きいときは、タンクは浮かびながら漂流する。
 - ④ タンク周辺の水位が下がったとき、タンクは動摩擦力を受けて減速を始め、最終的にタンクが停止する。
- ・ タンクの内液量が増えるにつれて、タンクの動き出すタイミングが遅くなり、停止するまでの距離が短くなる傾向にあった。
- ・ タンク周囲に防油堤を設置した場合には、タンクは防油堤で止まるケースと、防油堤を乗り越えるケースがあった。防油堤の越流水深がタンクの浮上時の喫水より小さいときにタンクは防油堤で止まり、越流水深が喫水より大きいときは防油堤を乗り越えることがわかった。また、防油堤を乗り越える際にタンクが防油堤に躓いて転倒するケースも見られた。

(2) 屋外貯蔵タンクの漂流軌跡予測手法の提案

- ・ 津波を受けたタンクの 1 次元的な漂流軌跡を予測する方法として、運動方程式(資-式 4.3-1)を解く方法を提案した。この運動方程式の外力は、(資-式 4.3-2)により与えられるものとした。(資-式 4.3-2)の各項は、津波伝播シミュレーション等から得られる津波の水位と流速の時空間分布から計算されるものである。運動方程式(資-式 4.3-1)の解は、水理模型実験結果を良く再現できたことから、タンクの一次元的な漂流挙動は、運動方程式(資-式 4.3-1)を解くことによって、予測可能であると考えられる。実際のタンクの漂流は 2 次元的な運動となるものと考えられるため、運動方程式(資-式 4.3-1)を 2 次元化したものを提案した。タンクの漂流距離は、おおまかには、「津波を受けたタンクは、静止摩擦力によりその場に留まるか、動き出した場合には、障害物に衝突して停

止するまで、又は仮に障害物がないとすると、数百メートル以上動くかのどちらかである」と予測することができる。

<参考文献>

- 1) 今村文彦・吉田功・アンドリュー・ムーア：沖縄県石垣島における 1771 年明和大津波と津波石移動の数値解析，海岸工学論文集、第 48 巻，pp.346-350，2001.
- 2) Morison, J.R., M.P. O'Brien, J.W. Johnson, S.A. Schaaf: The force exerted by surface waves on piles, Petroleum Trans., 189, TP2846, 1950, pp.149～154

資料―5 屋外タンク貯蔵所の津波対策に関する特許情報調査

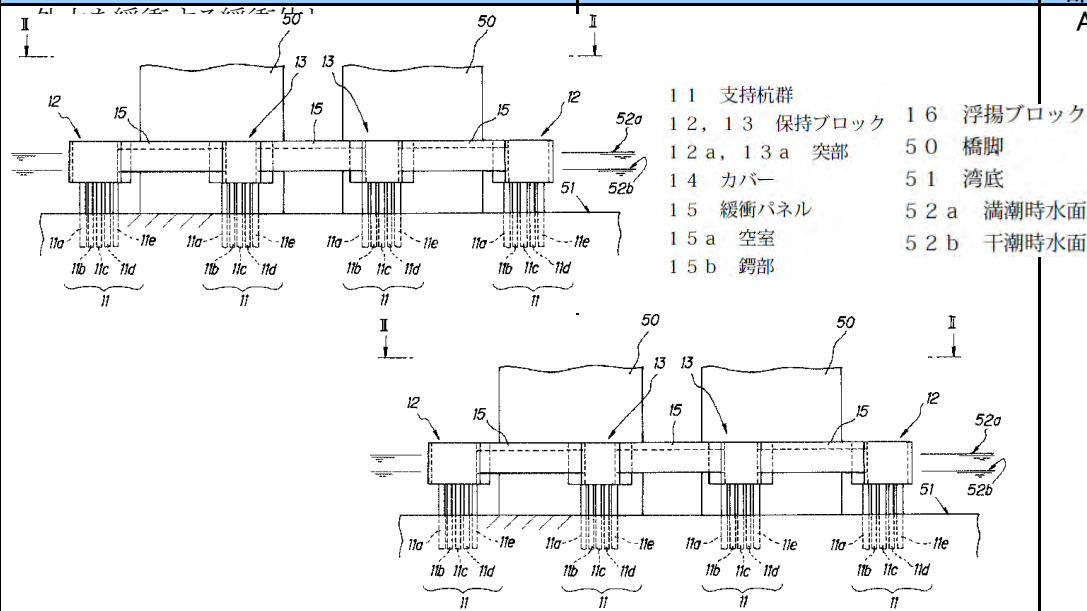
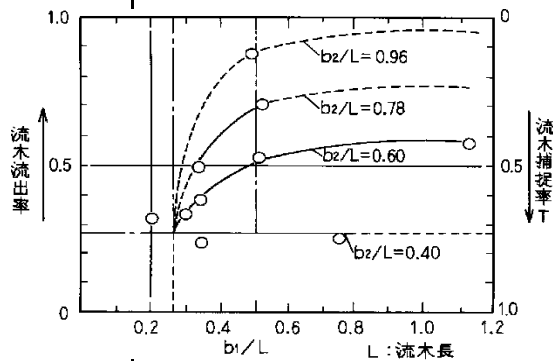
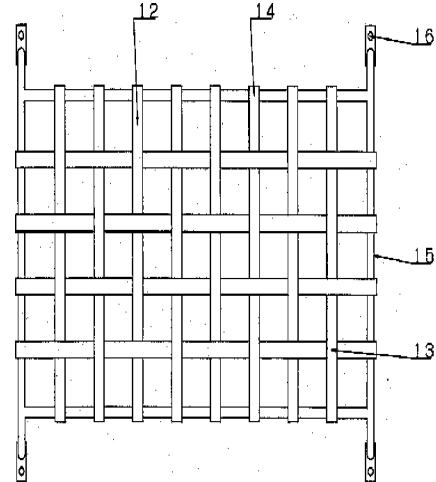
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求有	査定種別登録	権利抹消年金不納による抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開昭52-149617	防油堤の補強方法	特願昭51-66308	ビー・エス・コンクリート	1976.06.07					石油基地等の既存の防油堤を高くするとともに、その強度を増強させる防油堤の補強方法において、 上記防油堤の基礎の一方縁部より適宜間隔を隔て、基礎に沿って多数のコンクリート矢板を互いに連接させて打ち込みし、矢板の上端に枕コンクリートを打設して補強擁壁を形成し、補強擁壁の各矢板より上記基礎と略同高さ位置に鉄筋を突出させ、鉄筋を埋設させて上記基礎と矢板間にコンクリートを打設して底板を形成した後上記補強擁壁と防油堤との間に裏込め材を充填することを特徴とする防油堤の補強方法		A	固定	E02D 29/02 、B65D 90/24 、 B65D 87/00	2D048 AA45 、 3E070 AA02 AB03 BH01 KC08 MA02 JA10
特開昭58-11691	タンクの高防液堤構造	特願昭56-100639	川崎重工業	1981.06.30	未			周知の如く、貯油タンク、或は、低温タンク、それらがサービスタンクであれ、備蓄タンクであれ、大型化して来ると地震等の災害による不測の貯液漏出が二次災害、公害を惹起するため、所謂、防液堤が設けられる様になつて来ている。 例えば、第1図に示す様に平底円筒ドーム屋根式貯油タンク1の周囲に広面積の漏液プール域2を形成するべく設定距離該タンク1の側面2と離隔して低防液堤3を形成する様にされている。 さりながら、上述の如く、貯油容量が大きいと災害の程度が大きい場合、漏液動圧が大きく、A示の様に防液堤4を溢流したり、或は、B示の如く、該防液堤4を破壊してプール域2外に流出して二次災害をおこすおそれがあり、又、プール域	タンクの周囲に漏出液プール域を介して周設植立した高防液堤構造において、 防液堤とタンク側面とを連結材で連結し、 連結材は上記漏出液プール域にて周方向に所定間隔を介して設けたことを特徴とする タンクの高防液堤構造	 1 0・・・防火壁用ブロック 2 0・・・基板 2 2・・・基板の表面 2 3・・・基板の裏面 2 4・・・基板の凹み 2 5・・・脚 3 0・・・壁	A	固定	B65D 90/24 、 F17C 13/12 、F17C 13/12	3E073 AA01 AB02 BA02 BA11 BA32 BA41 BB04 BB05 BA28 、 3E070 AA03 AA06 AA08 AB03 AB32 BH01 BH05 BH10 DA02 KC03
特開平8-177273	防壁用ブロックおよび防壁の施工方法	特願平6-324992	オーイケ	1994.12.27	未			【産業上の利用分野】防火壁や、 <u>防油堤</u> などの防壁を構成するユニット式の防壁用ブロック及びこれを用いた防壁の施工方法に関するもの。 【目的】防火壁などを構成する、ほぼ鉛直方向に伸びたコンクリート製の防壁を、ユニット化された防壁用ブロックを用いて簡単に、また短期間に施工できるようにする。このために、運搬や、ハンドリングの容易な軽量化された防壁用ブロックを提供する。 【構成】水平に延びた基板20と、この基板の一端21からほぼ鉛直に立ち上がった壁30とによって防壁用ブロック10を形成し、基板のほぼ中央にほぼ長方形の凹み24を設ける。この凹みは、基板に埋設された鉄筋を薄いコンクリートで挟んだ状態となっており、現場ではつれば鉄筋を露出できる。露出した鉄筋と、現場施工した基礎コンクリートから立ち上げた鉄筋とを結束することによって防壁用の基礎を簡単に施工できるので、基板は軽量で良く、防壁用ブロックの軽量化を図	ほぼ水平に延びたコンクリート製の基板部と、この基板部からほぼ鉛直に立ち上がったコンクリート製の壁部とを有する防壁用ブロックにおいて、 基板部は、その少なくとも1部にこの基板部の補強部材が露出した開口を備えていることを特徴とする防壁用ブロック。		A	固定	E04H 17/14 、E04H 17/14 101A	2E142 AA05 EE09 FF15 JJ05

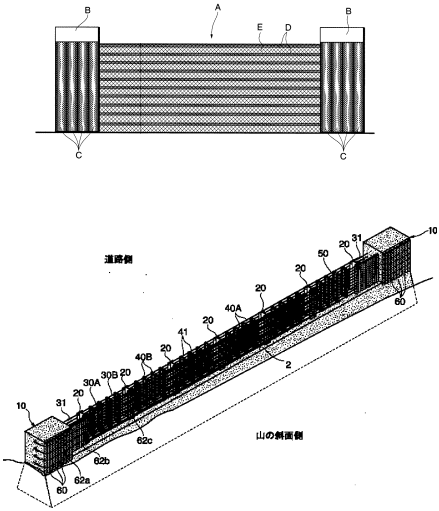
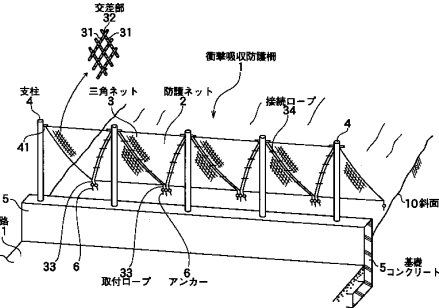
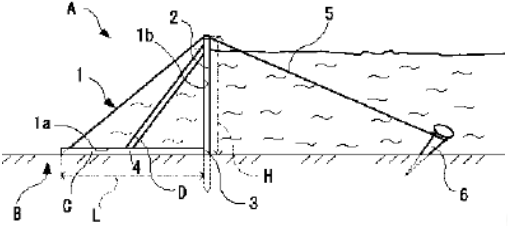
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特許－3586816 特開平9－12089	タンク防液堤の保護構造	特願平7－183289	石井鐵工所	1995.06.28	有	登録	本権利は抹消されていない	【目的】地震発生時のタンクヤード地盤の液状化現象によって防液堤が沈下や傾斜、転倒、若しくは亀裂等損傷が生じて、タンクより漏洩した貯蔵液を外部に流出させないタンク防液堤の保護構造にする。 【構成】リング状のフロートとフロートから上方に向かって設けた壁材とで防護堤を形成し、防護堤を防液堤の内側全周に隔接して非固定状態で地盤に据え置いて設け、かつ上記防護堤を、タンクから漏れた貯蔵液に対しては上記壁材であふれさせることなく受け止めた状態で沈み、水又は液状化した水を含む土砂等の流体に対しては浮かぶ浮力を生じるフロートの体積と防護堤の重量で形成する。	リング状のフロートとフロートから上方に向かって設けた壁材とで防護堤を形成し、防護堤を防液堤の内側全周に隔接して非固定状態で地盤に据え置いて設け、かつ上記防護堤を、タンクから漏れた貯蔵液に対しては上記壁材であふれさせることなく受け止めた状態で沈み、水又は液状化した水を含む土砂等の流体に対しては浮かぶ浮力を生じるフロートの体積と防護堤の重量で形成したことを特徴とするタンク防液堤の保護構造。		A	可動	E04H 7/00 、B65D 90/24	3E070 AB03 AB32 BH03
特許－3584415 特開平9－328771	地下構造物の浮き防止構造	特願平8－146301	清水建設	1996.06.07	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】地下構造物の浮き上がりを防止するための有効な浮き防止構造を提供する。 【解決手段】地下構造物1の底盤にアンカー4を設置するとともに、地盤2から地下構造物1の内側に地下水を矢印20の方向に導入することのできる水抜き孔を有する貫通孔部3を設け、この水抜き孔に地下水の流通、遮断を行うバルブを設ける。貫通孔部3は二重管構造とし、その内側中空部には、アンカー4の基端部を設置し、外側の中空部を水抜き孔とすることが好適である。また、アンカーに緊張力を測定するセンサーを設置し、そのセンサーの出力に基づきバルブの開閉の制御を行う制御装置を設けてもよい。	地下構造物の底盤からその下方の地盤に向けてアンカーが打設され、底盤に底盤下方の地盤中の地下水を地下構造物内側の空間部に導入可能とする水抜き孔を有する貫通孔部が設けられ、水抜き孔を通る地下水の流通、遮断を行うバルブが設けられ、貫通孔部が、内側に配置された内部貫通孔と、その外側に配置された外部貫通孔とに区画された二重管構造とされ、内部貫通孔内にアンカーの基端部が固定され、外部貫通孔が水抜き孔とされていることを特徴とする地下構造物の浮き防止構造。		A	固定	E02D 5/80 、E02D 27/34 、E02D 31/10 、E02D 5/80 Z 、E02D 27/34 Z 、E02D 31/10	2D041 BA52 GA01 GC12 GC13 、2D046 DA17
特許－4136030 特開平10－332099	低温液化ガス貯槽の防液堤の施工方法	特願平9－161842	大成建設	1997.06.04	有	登録	本権利は抹消されていない	【発明の属する技術分野】本発明は、LNG地上式タンクの防液堤壁断熱構造物の施工方法に関する。 【課題】簡単な構成で、高品質の防液堤を、効率良く、経済的に構築する方法を提供する。 【解決手段】低温液化ガス貯槽の防液堤の施工方法であって、地組みした大型枠と、地組みした大型枠に断熱材パネルを取付けた大型枠を、対向して組み立て、対向した大型枠間に、足場を設置し、対向面内部にコンクリートを打設したことを特徴とする、低温液化ガス貯槽の防液堤施工方法である。	低温液化ガス貯槽の防液堤の施工方法であって、地組みした大型枠と、地組みした大型枠に、発泡スチロールを骨材とした軽量気泡コンクリートを使用した断熱材パネルを取付けた大型枠を対向し、対向した大型枠の上下方向に、所定間隔をあけてセパレータを穿設し、連結治具と押え金物により一体化して組み立て、一体化した大型枠を建起こし、対向面内部にコンクリートを打設したことを特徴とする、低温液化ガス貯槽の防液堤の施工方法。		A	固定	F17C 13/12 、E04G 3/00 、E04G 5/08 、F17C 13/12 302B、 E04G 3/04 、E04G 5/08 F 、E04G 3/00 Q、E04G 5/08 D	3E073 AB02 、3E172 AA03 AA06 AB04 BA06 BD05 CA27 DA03 DA12 DA23 DA44

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2002-80091	地上タンクの防液堤	特願2000-272164 (P2000-272164)	清水建設	2000.09.07	未			【発明の属する技術分野】本発明は、原油や各種液体石油製品などを貯蔵する地上タンクが破損して地上タンク内の貯蔵液が漏れ出たときにその拡散を抑えるための防液堤に関するものである。 【課題】壁ブロックに代えて円周方向に一体に連続している堤部で、地上タンクが破壊されて流れ出てくる貯蔵液を受け止めるようにして杭基礎による支持をなくし、防液堤の構築に係るコストを下げる。 【解決手段】地上タンクの周囲に配置して地上タンクを囲む防液堤1の堤部2の全周の平面配置形状を略円状にし、かつ全周の堤部2を一体に形成して連続させた。	地上タンクの周囲に配置して地上タンクを囲む防液堤において、地上タンクを囲む堤部の全周の平面配置形状を略円状にし、かつ全周の堤部が一体に形成されて連続していることを特徴とする地上タンクの防液堤。		A	固定	E02D 31/00、B65D 90/24、E02D 31/00 Z	3E070 AA03 AB03 BH01 SA02 SA05
特開2004-44712	地上タンクの補強構造	特願2002-204052 (P2002-204052)	清水建設	2002.07.12	未			【課題】本発明は、安価でかつ簡略な構成で、地上タンクを改築もしくは耐震補強できる、安全性の高い地上タンクの補強構造を提供する。 【解決手段】地上タンク1は、地上タンク本体2と、基礎構造体7とを備えてなり、基礎構造体7は、複数の基礎杭8、及び断熱型基礎底板9により構成される。増し杭12は、断熱型基礎底板9の外周部に沿って、所定の間隔をもって地盤中に離間配置され、補強底板13は、増し杭12に支持されて地盤面に配置される。その形状は、基礎底板9の外周部を取り囲むだけでなく、地上タンク本体2の側壁3の下部を覆うように形成される。断熱型基礎底板9の外周縁は、全周にわたりはつられて、粗面状に形成されるはつり面9aに補強底板13のコンクリートが精度良く定着するとともに、露出された鉄筋がこのコンクリートに内包され、断熱型基礎底板9と補強底板13とが強固に一体化する。	地盤中に埋設される複数の基礎杭、及び基礎杭に支持されるようにして地盤面に構築され、底部加温装置が内蔵される鉄筋コンクリート造の断熱型基礎底板よりなる基礎構造体と、基礎構造体の上部に設置されて鋼製の地上タンク本体とによりなる地上タンクの補強構造であって、基礎構造体の外周部に沿って、所定の間隔をもって打設される複数の増し杭と、増し杭に支持されるとともに、基礎構造体を構成する断熱型基礎底板を取り囲むように配置される補強底板により構成されることを特徴とする地上タンクの補強構造。		A	固定	E02D 27/12、B65D 90/12、B65D 90/24、E02D 27/38、E04H 7/06、F17C 13/08、F17C 13/12、F17C 13/08 302E、B65D 90/12 B、E02D 27/12 Z、E02D 27/38 Z、E04H 7/06 303、F17C 13/12 302B、F17C	2D046 CA01、3E070 AA03 AB32 BH01 EA01 EB03 QA04 SA02 SA20 VA22、3E073 AA01 AB01 BB00、3E172 AA03 AA06 BA06 BB04
特開2006-266068	浮上建築物とその建造方法	特願2005-221170 (P2005-221170)	林 武	2005.07.29	未			【課題】津波や台風高潮が発生しても建物が浮上して、浸水しない浮上建築物及びその建造方法を提供する。 【解決手段】大部分が地中に埋設され上面が開口し側壁および底面を備えた容器構造プール型基礎を備え、その基礎底面上に台船型浮体を乗せ置き、台船形浮体と一体で浮体底部から鉛直下方に伸びるアンカーポールを備え、基礎底面に基礎と一体に係止部材を備えてアンカーポールと係止部材が結合し一体となるように構成する。基礎内部に連通し上部が開口する高潮の流入口を備え、高潮浸水が流入口から浸水し浸水状態となった時浮体は鉛直上方に浮上するが、アンカーポールが係止部材との結合固定により、浮体の流水による流動を阻止するように構成した。	津波や台風及び河川氾濫等の高潮水難に対し、建築物の浸水を防止する浮体構造の台船型建築物で浮体上に人が居住するように構成し、以下1ないし6の条件を具備したことを特徴とする浮上建築物。 1、大部分が地中に埋設され上面が開口し側壁および底面を備えた容器構造プール型基礎を備える。 2、プール型基礎底面上に台船型浮体を乗せ置く。 3、プール型基礎内部に連通し上部が開口する高潮浸水の流入口を開口する。 4、台船型浮体と一体で、浮体より見て鉛直下方に伸縮するアンカーポールを備える。 5、プール型基礎底面に基礎と一体に係止部材を備え、アンカーポールと係止部材が結合し一体となるように構成する。 6、浸水状態となった時浮体は鉛直上方に浮上するが、アンカーポールが係止部材との結合固定により、浮体の流水による流動を阻止するように構成した。		A	受動	E04H 9/14、A62B 37/00、B63B 35/44、E04H 9/14 Z、A62B 37/00 Z、B63B 35/44 A	2E184 AA20、2E139 AA07 AB13 AB23 AC02 AC06 AC08

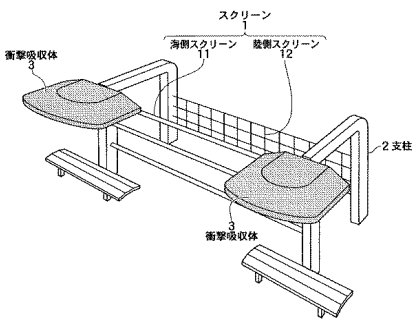
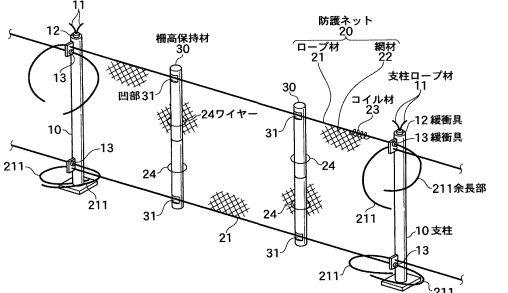
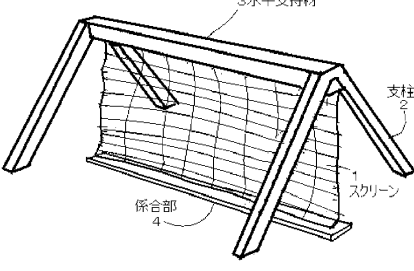
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2006-291691	水害浮上建築物とその建造方法	特願2005-235964 (P2005-235964)	林 武	2005.08.16	未			【課題】津波や台風高潮が発生しても建物が浮上して、浸水しない水害浮上建築物及びその建造方法を提供する。 【解決手段】大部分が地中に埋設され上面が開口し側壁および底面を備えた容器構造プール型基礎(7)を備え、その基礎底面上に台船型浮体(1)を乗せ置き、台船形浮体と一体で浮体底部から鉛直下方に伸びるアンカーポール(2)を備え、基礎底面に基礎と一体に係止部材(24)を備えてアンカーポールに係止部材が結合し一体となるように構成する。基礎内部に連通し上部が開口する高潮の流入口である開口(27)を備え、高潮浸水が流入口から浸水し浸水状態となった時浮体は鉛直上方に浮上するが、アンカーポールに係止部材との結合固定により、浮体の流水による流動を阻止するように構成した。	津波や台風及び河川氾濫等の高潮水難に対し、建築物の浸水を防止する浮体構造の台船型建築物で浮体上に人が居住するように構成し、以下1ないし7の条件を具備したことを特徴とする水害浮上建築物。 1、大部分が地中に埋設され上面が開口し側壁および底面を備えた容器構造プール型基礎を備える。2、プール型基礎底面上に台船型浮体を乗せ置く。3、台船形浮体を構成する素材が、少なくとも浮体底面および側面が合成樹脂素材により構成する。4、プール型基礎内部に連通し上部が開口する高潮浸水の流入口を開口する。5、台船型浮体と一体で、浮体より見て鉛直下方に伸縮するアンカーポールを備える。6、プール型基礎底面に基礎と一体に係止部材を備え、アンカーポールに係止部材が結合し一体となるように構成する。7、浸水状態となった時浮体は鉛直上方に浮上するが、アンカーポールに係止部材との結合固定により、浮体の流水による流動を阻止するように構成した。		A	受動	E04H 9/14、A62B 37/00、E04B 1/34、E04H 9/14 Z、A62B 37/00 Z、E04B 1/34 Z	2E184 JA10 LC01、2E139 AA07 AB03 AB13 AB23 AC02 AC06 AC08
特開2006-266070	高潮水害浮上建築物とその建造方法	特願2005-289916 (P2005-289916)	林 武	2005.10.03	有			【課題】津波や台風高潮が発生しても建物が浮上して、浸水しない高潮水害浮上建築物及びその建造方法を提供する。 【解決手段】地中に埋設され上面が開口し側壁および底面を備えた容器構造プール型基礎を備え、その基礎底面上に台船型浮体を乗せ置き、台船形浮体と一体で浮体底部から鉛直下方に伸びるアンカーポールを備え、基礎底面に基礎と一体に係止部材を備えてアンカーポールに係止部材が結合し一体となるように構成する。基礎内部に連通する高潮の流入口を備え、高潮浸水が流入口から浸水し浸水状態となった時浮体は鉛直上方に浮上するが、アンカーポールに係止部材との結合固定により、浮体の流水による流動を阻止するように構成した。	津波や台風及び河川氾濫等の高潮水難に対し、建築物の浸水を防止する浮体構造の台船型建築物で浮体上に人が居住するように構成し、以下1ないし6の条件を具備したことを特徴とする高潮水害浮上建築物。 1、地中に埋設され上面が開口し側壁および底面を備えた容器構造プール型基礎を備える。2、プール型基礎底面上に台船型浮体を乗せ置く。3、プール型基礎内部に連通する高潮浸水の流入口を開口する。4、台船型浮体と一体で、浮体より見て鉛直下方に伸縮するアンカーポールを備える。5、プール型基礎底面に基礎と一体に係止部材を備え、アンカーポールに係止部材が結合し一体となるように構成する。6、浸水状態となった時浮体は鉛直上方に浮上するが、アンカーポールに係止部材との結合固定により、浮体の流水による流動を阻止するように構成した。		A	受動	E04H 9/14、A62B 37/00、E04B 1/35、E04H 9/14 Z、A62B 37/00 Z、E04B 1/35 A	2E184 JA10 LC01、2E139 AA07 AB03 AB13 AB23 AC02 AC06 AC08
特開2007-302281	地上構造物の津波対策工	特願2006-131283 (P2006-131283)	清水建設	2006.05.10	未			【課題】タンク等の地上構造物自体に対して津波対策がなされて地上構造物の津波被害を防止することができ、且つ、当津波対策工のために広い用地が確保できない場合でも構築することができ、簡単に構築することができる地上構造物の津波対策工を提供することを目的としている。 【解決手段】地上に設置された構造物1の津波対策工であって、構造物1の外側に、自立式の津波防護柵2が設置されており、津波防護柵2の高さH1が、想定される津波の遡上高さH2とほぼ同等に設定されている。	地上に設置された構造物の津波対策工であって、構造物の外側に、自立式の津波防護柵が設置されており、津波防護柵の高さが、想定される津波の遡上高さとはほぼ同等に設定されていることを特徴とする地上構造物の津波対策工。 1 タンク（地上構造物） 2、2' 津波防護柵 7 グランドアンカー 16 補強リブ H1 津波防護柵の高さ H2 想定される津波の遡上高さ G 地盤		A	固定	B65D 90/22、E02D 27/38、B65D 90/22 D、E02D 27/38 Z	2D046 DA21、3E070 AA03 AB03 RA02 RA04 VA09 VA22

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求有	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2008-184760	波浪防護構造物	特願2007-17346 (P2007-17346)	清水建設シバタ工業	2007.01.29	有			【課題】鋼材重量等を過度に大きくすることなく効率的に波浪等のエネルギーを吸収できる波浪防護構造物を提供する。 【解決手段】波浪防護構造物21は、コンクリート土台23を介して基礎地盤27に所定間隔で打ち込まれ、垂直方向に立設する複数の柱状体28と、柱状体28のうち、隣接する柱状体28の各々の間を塞ぐように設置される壁体29とから構成されている。柱状体28はH型鋼よりなり、壁体29は一枚の鋼板よりなる板材より構成される。板材の外側には全面にシート状の緩衝材が脱着自在に設置されている。波浪等の衝撃が緩衝材に加わると、その緩衝効果によって衝撃が低減され、壁体及び柱状体に伝達される。	基礎地盤上に設置される波浪防護構造物であって、基礎地盤に所定間隔で打ち込まれ、垂直方向に立設する複数の柱状体と、柱状体のうち、隣接する柱状体の各々の間を塞ぐように設置される壁体と、壁体の外面のうち、少なくとも波浪を受ける面を覆うように設置される緩衝材とを備えた、波浪防護構造物。		A	固定	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D118 AA11 AA12 BA05 BA07 BA09 CA04 DA08 GA07 JA24 JA07 JA11 JA13
特開2008-231768	構造物の地震・津波対策構造	特願2007-72590 (P2007-72590)	鹿島建設	2007.03.20	未			【課題】地震や津波による構造物の地盤の液状化、構造物の他の構造物への衝突、漂流物の構造物への衝突、および構造物内の液体のスロッシングを防ぐことが可能な、構造物の地震・津波対策構造を提供する。 【解決手段】タンク3の周囲の地盤2には、複数の矢板5および鋼管矢板が打設されており、鋼管矢板の端部は地上に露出している。地震の際には、矢板5と鋼管矢板が地盤の液状化を防止する。また、鋼管矢板の剛性は鋼矢板よりも大きいため、タンク3内の液体の振動の固有周期の振動を軽減し、液体のスロッシングを緩和することができる。また、タンク3が津波により漂流した場合でも、鋼管矢板の地上に露出した部分にタンクが接触し、タンク3の移動が阻止される。さらに、漂流物が流れてきても、鋼管矢板の地上に露出した部分に衝突するので、漂流物がタンク3に衝突するのを防ぐことができる。	構造物の周囲の地盤に打設され、構造物を囲むようにリング状に連結された複数の矢板を有し、複数の矢板のうち、少なくとも一部の矢板は端部が地上に露出していることを特徴とする構造物の地震・津波対策構造。		A	固定	E02D 27/38	2D046 CA05 DA11 DA21
特開昭55-25631	浮体構造物の漂流防止方法	特願昭53-97682	日立造船	1978.08.09	未				浮体構造物が漂流を始める時点で、浮体構造物の長手方向の一侧端部における浮体部を浸水させることにより、一侧端部を沈降させて着礁させ、他側端部の振れ廻りをシーアンカーにより阻止して浮体構造物を係留させることを特徴とする浮体構造物の漂流防止方法		A'	可動	B63B 21/50、B63B 21/50	

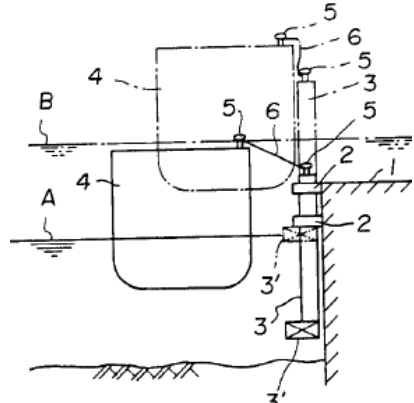
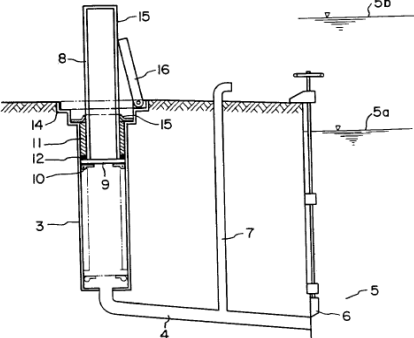
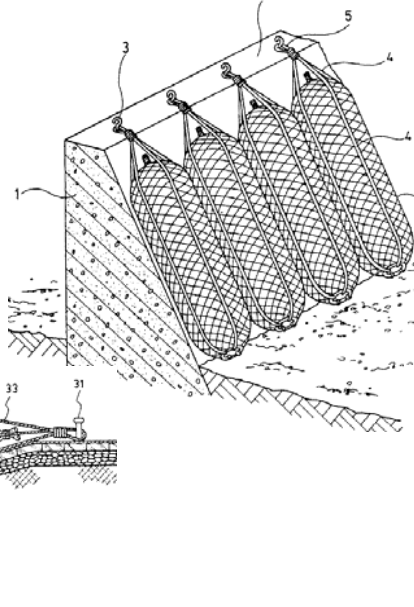
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求有	査定種別登録	権利抹消年金不納による抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特許－3372353 特開平8－20933	衝突防護設備	特願平6－157120	三菱重工業	1994.07.08				【目的】緩衝体の交換が容易でサイズの小さい緩衝防護設備を提供する。 【構成】湾底51に立設された橋脚50の近傍に支持杭群11を橋脚50の配設方向に沿って複数立設し、これら支持杭群11の上端に保持ブロック12、13を満潮時の水面52aと干潮時の水面52bとを跨ぐようにそれぞれ設け、これら保持ブロック12、13の間に塑性変形により外力を緩衝する緩衝パネル15を上下動可能となるように保持ブロック12、14の上方からそれぞれ差し込み、これら緩衝パネル15の橋脚50側の壁面に水よりも比重の軽い材料からなる浮揚ブロック16をそれぞれ設けてなる。		A'	固定	E02B 3/26、E01D 19/02、E02B 3/26 Z	2D059 AA03 GG34	
特開平9－105122	流木止め工	特願平8－254237	財団法人砂防・地すべり技術センター 神戸製鋼所	1990.04.24	有	拒絶		【課題】河川の上流域における洪水流や土砂礫の氾濫等の災害の主原因となる流木を確実に捕捉し得る流木止め工を提供する。 【解決手段】流木止め工の模型と流木模型とによる流木捕捉試験結果、および流木長分布図に示されている最も多い流木長Lが1m～4mであるというデータから、河川を横断する方向に所定の間隔で立設された複数の支柱を備えてなる流木止め工の流木捕捉率Tに顕著な影響を与える支柱同志の間の純間隔b2を0.4m(0.40×1m)～2.4m(0.60×4m)の範囲に設定する。	河川を横断する方向に所定の間隔で立設されてなる複数の支柱を備えた流木止め工において、支柱同志の間の純間隔が0.4m以上、かつ2.4m以下であることを特徴とする流木止め工。 	B	固定	E02B 7/02、E02B 7/02 B		
特開2000－154513	小型船舶等浸入防護柵	特願平10－365998	前田工織	1998.11.18	未			【課題】軽量で施工性がよく、耐久性があり、フレキシブルで小型船舶や漂流物の衝撃エネルギー吸収性に優れた小型船舶、漂流物、人間の消波ブロック岸壁開口部へのもぐり込み及び消波ブロック岸壁開口部の消波能力の低下防止を目的とした防護柵を提供することを目的とする。 【解決手段】繊維補強した熱可塑性樹脂ベルトを一定の間隔をあけて平行に並べ、更にベルトに直角に一定の間隔で同じ素材のベルトを平行に並べ、交差部分を溶着またはかしめて作製したネットを、鋼管枠に取り付けた。	小型船舶、漂流物、人間の消波ブロック岸壁開口部へのもぐり込み及び消波ブロック岸壁開口部の消波能力の低下防止を目的とした防護柵であって、幅及び長さ方向に繊維強化されたプラスチックベルトを適度な間隔をあけて格子状にし、交差部分を溶着した構造の防護柵。 	B	固定	E02B 3/06、E02B 1/00、E02B 1/00 Z、E02B 3/06 301	2D018 BA11、2D118 AA02 AA11 AA28 BA05 BA07 BA14 BA20 CA03 FB03 GA31	

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特許－3844970 特開2002－250010	落石、土砂、流木、雪崩等の防止施設およびその保護方法	特願2001－51116 (P2001－51116)	東京製綱	2001.02.26	有	登録	本権利は抹消されていない	【目的】防止施設の支柱等の保護を図る。 【構成】落石、土砂、流木、または雪崩等を防止すべき箇所に沿って複数本の支柱10、20が間隔をおいて立設され、支柱10、20間に、ガード部が設られ、金網を巻回してなる緩衝体60が、少なくとも落石等を受ける側において、少なくとも支柱10、20の前に設置されている。	落石、土砂、流木または雪崩等を防止すべき箇所に沿って複数本の支柱が間隔をおいて立設され、支柱間に、ガード部が設けられ、金網を巻回してなる複数の緩衝体60が、少なくとも落石等を受ける側において、少なくとも上記支柱の前に縦又は横に並べて設置され、これら複数の緩衝体60が、ロープ、ワイヤ等の線状体により上記支柱に縛ることにより固定されている、落石、土砂、流木、雪崩等の防止施設。		B	固定	E01F 7/04、E01F 7/04	2D001 PA06 PC03 PD05
特開2003－3425	衝撃吸収防護柵	特願2001－187282 (P2001－187282)	有限会社吉田構造デザイン	2001.06.20	有	拒絶		【課題】落石等の衝突時に、山側方向の水平力と擁壁の転倒方向とは逆方向のモーメントを擁壁天端に作用させ、既存の防護柵をより大型の防護柵に取り替えた場合でも、従来よりさらに擁壁の安定性を増大させることが可能な衝撃吸収防護柵を提供することを目的とする。 【解決手段】支柱4の下端を基礎コンクリート5に埋め込んで固定し、支柱4の上部に防護ネット2を懸架し、下端を斜面10山側に固定する。防護ネット2のネット面が支柱4より斜面10山側に位置するように張設する。また、防護ネット2は落石13などの衝突物が衝突したときの変形時においても、ネット面が支柱4より斜面10山側に位置する。	所定の間隔を隔てて立設した支柱間に防護ネットを張り巡らした衝撃吸収防護柵において、支柱の下端をコンクリートに埋め込んで固定し、支柱の上部に防護ネットを懸架し、防護ネットの下端を斜面山側に固定し、防護ネットのネット面が支柱より斜面山側に位置するように、防護ネットを張設したことを特徴とする、衝撃吸収防護柵。		B	固定	E01F 7/04	2D001 PA05 PA06 PB04 PC03 PD06 PD11
特開2003－55945	水防壁用袋体、水防壁及び水防壁の形成方法	特願2001－246009 (P2001－246009)	藤森工業	2001.08.14	未			【解決手段】可撓性シートにより形成された袋体1であって、取水口1cと空気抜け口1dとを備えた水防壁用袋体1内に止水する水を取水口1cから取り込み、重しとして利用することによって、浸水などを防ぐ水防壁を形成する。 【効果】水防壁を形成する際に、予め重し、重量物となる水、土などを用意しておく必要がないので、緊急水害時に土、水等の重し、重量物を確保しなくてもよく、また、水防壁の形成材料が軽量で折り畳み可能なため、止水場所を選ばず、迅速に止水処置が可能となり、更に、水防壁の撤退作業も容易となる。	浸水などを防ぐ水防壁を形成するための袋体であって、可撓性シートにより形成されてなり、袋体内に水を取り込む取水口を備えたことを特徴とする水防壁用袋体。		B	固定	E02B 7/20、E02B 7/20 103A、E02B 7/20 103	2D019 AA35

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2004-300742	防護柵、防護柵の保護体および防護柵の保護方法	特願2003-94258 (P2003-94258)	日本植生	2003.03.31	有	拒絶		【発明の属する技術分野】 本発明は、防護柵、防護柵の保護体および防護柵の保護方法に関するものである。 【課題】間伐材や伐採木を有効に利用すると共に、低コストにて景観保護を達成できる防護柵、防護柵の保護体および防護柵の保護方法を提供する。 【解決手段】間隔L1 をおいて設けられた複数の支柱2と、支柱2間を渡すように設けられたワイヤ3と、木材のワイヤ3を通す程度のスリット5を形成してなり、このスリット5内にワイヤ3を嵌入させた状態でワイヤ3を被覆可能とする保護体4とを備えた。	間隔をおいて設けられた複数の支柱と、支柱間を渡すように設けられたワイヤと、木材にワイヤを通す程度のスリットを形成してなり、このスリット内にワイヤを嵌入させた状態でワイヤを被覆可能とする保護体とを備えたことを特徴とする防護柵。		B	固定	E01F 15/06、E01F 15/02、E01F 15/04	2D101 CA06 CB05 DA00 DA04 FA13 FA21 FA22 FA27 FA32 FA35
特許-4072146 特開2006-83659	津波による漂流物を捕捉する構造物	特願2004-271737 (P2004-271737)	東急建設 社団法人 寒地港湾 技術研究 センター	2004.09.17	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】津波そのものを阻止するのではなく、津波による漂流物を捕捉する。 【解決手段】支柱と、支柱間に配置したスクリーンとより構成する。スクリーンは、緩衝機能と捕捉機能を具えるように構成する。さらにスクリーンは水が透過することが可能な透過機能を具える。	津波の影響を受ける可能性のある陸上に設置する構造物であって、支柱と、支柱間に配置したスクリーンとよりなり、スクリーンは、緩衝機能と捕捉機能、および水が透過することが可能な透過機能を具えるように構成し、スクリーンは、海側からの漂流物を捕捉する海側スクリーンと、陸側からの漂流物を捕捉する陸側スクリーンとより構成しかつ海側スクリーンと、陸側スクリーンの透過空間を相違させて構成した、津波による漂流物を捕捉する構造物。		B	固定	E02B 15/00、E02B 15/00 Z	2D025 AA00
特開2007-77672	衝撃吸収柵	特願2005-266874 (P2005-266874)	有限会社 吉田構造 デザイン	2005.09.14	有			【課題】雪崩防止柵と落石防護柵を兼用できる衝撃吸収柵を提供すること。 【解決手段】ロープ材20a、20bを支柱10bに対して衝突物の進入側と反対側に配置し、ロープ材20bに一定以上の横力が作用したときにロープ材20bの保持が解除される保持解除装置50を介してロープ材20bを支柱10bに取り付けた。	間隔をおいて立設した支柱間にロープ材を横架して構成する衝撃吸収柵において、ロープ材を支柱に対して衝突物の進入側と反対側に配置し、ロープ材に一定以上の横力が作用したときにロープ材の保持が解除される保持解除装置を介してロープ材を支柱に取り付けたことを特徴とする、衝撃吸収柵。		B	固定	E01F 7/04	2D001 PA05 PA06 PB04 PC03 PD06

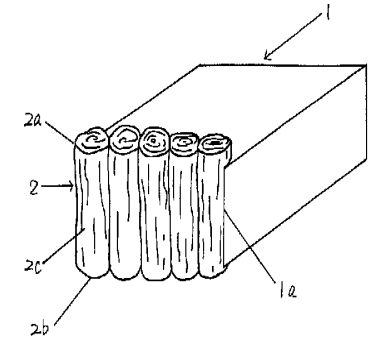
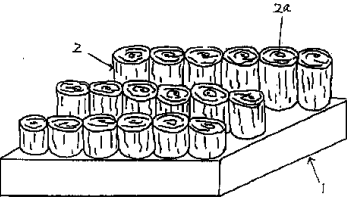
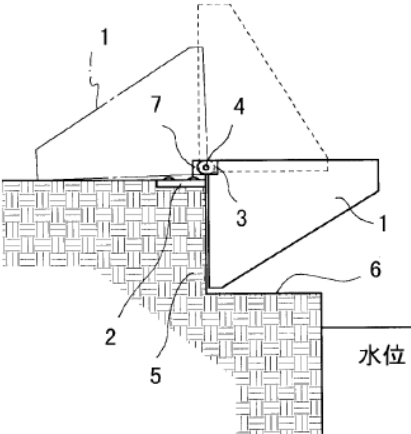
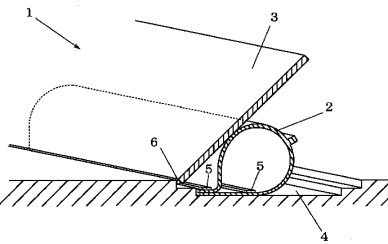
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2007-211559	津波による漂流物を捕捉する構造物	特願2006-35513 (P2006-35513)	東急建設	2006.02.13	未			【課題】津波そのものを阻止するのではなく、津波による漂流物を捕捉する。 【解決手段】支柱と、支柱間に配置したスクリーンとより構成する。スクリーンは、海側スクリーンと陸側スクリーンとによって構成する。海側スクリーンよりも海側に衝撃吸収体を設ける。	津波の影響を受ける可能性のある陸上に設置する構造物であって、支柱と、支柱間に配置したスクリーンとよりなり、スクリーンは、緩衝機能と捕捉機能、および水が透過することが可能な透過機能をもつように構成し、スクリーンの海側には、衝撃吸収体を位置させて構成した、津波による漂流物を捕捉する構造物。		B	固定	E02B 15/00、E02B 15/00 Z	2D025 AA00
特開2008-163596	衝撃吸収防護柵	特願2006-352376 (P2006-352376)	プロテックエンジニアリング	2006.12.27	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】柵高を確保できると共に、衝撃エネルギーの減衰効率の大きな、衝撃吸収防護柵を提供すること。 【解決手段】所定の間隔を隔てて立設した支柱間に防護ネットを張設した衝撃吸収防護柵において、防護ネットの縦断方向に沿って柵高保持材を配設し、衝撃力が作用したときに、柵高保持材が防護ネットから離脱することを特徴とする、衝撃吸収防護柵。	所定の間隔を隔てて立設した支柱間に防護ネットを張設した衝撃吸収防護柵において、防護ネットの縦断方向に沿って柵高保持材を配設し、衝撃力が作用したときに、柵高保持材が防護ネットから離脱することを特徴とする、衝撃吸収防護柵。		B	固定	E01F 7/04	2D001 PA05 PA06 PB04 PC03 PD05 PD10 PD11
特開2008-202339	津波による漂流物を捕捉する構造物	特願2007-40980 (P2007-40980)	東急建設	2007.02.21	未			【課題】津波そのものを阻止するのではなく、津波による漂流物を捕捉する。 【解決手段】水平支持材と水平支持材に取り付けたスクリーンとより構成する。スクリーンを水平支持材から吊り下げ、引き出し、あるいは引き上げて展開することによって津波による海側の漂流物、および津波が戻るときの陸側からの漂流物を捕捉する。	津波の影響を受ける可能性のある陸上に設置する構造物であって、支柱で支持した水平支持材と、水平支持材から吊り下げ可能に設置したスクリーンとよりなり、スクリーンは、漂流物の衝撃を緩衝する緩衝機能、漂流物を捕捉する捕捉機能、および水が透過する透過機能をもつように構成した、津波による漂流物を捕捉する構造物。	 	B	固定	E02B 3/06、E02B 3/14	2D118 BA03 BA05 BA12 BA14 CA02 DA08 FB03 FB33 GA15 GA16 GA18 GA24

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2008-208635	津波による漂流物の捕捉用構造物および構造物	特願2007-46992 (P2007-46992)	JFE建材	2007.02.27	未			【課題】津波による漂流物の衝突による衝撃を緩衝する。 【解決手段】捕捉用構造物1は、支柱3と、支柱3と所定間隔をあけて配され、取付け部材5によって固定されている衝撃緩衝管4とからなる。衝撃緩衝管4が漂流物と衝突することにより衝撃が緩衝される。	津波による漂流物を捕捉する構造物において、 陸上に立設される支柱と、 支柱の所定の高さ位置において支柱の外側に配された、漂流物との衝突による衝撃を緩衝するための緩衝体とを備えることを特徴とする 津波による漂流物の捕捉用構造物。	 1 捕捉用構造物 2 陸上 3 支柱 4 衝撃緩衝管 5、5 a、5 b 取付け部材	B	固定	E02B 3/00	
特開昭51-141447	浮沈式防油及び防波堤	特願昭50-65377	三菱重工業					本発明は岸壁に接して浮沈可能なブイ、同ブイを岸壁端より所定の高さに保持するように構成されたブイ浮沈制御装置、及び前記ブイと岸壁頂面との間に着脱自在に張設された膜よりなることを特徴とする浮沈式防油及び防波堤に係り、その目的とする処は、簡単な構成で貯蔵部からの海上、湖上への油等の液体の流出を防止し、高波時の波の侵入を防止しうる新規有用な浮沈式防油及び防波堤を供する点にある。	岸壁に接して浮沈可能なブイ、同ブイを岸壁端より所定の高さに保持するように構成されたブイ浮沈制御装置、及びブイと岸壁頂面との間に着脱自在に張設された膜よりなることを特徴とする浮沈式防油及び防波堤	 (1)…ブイ、(2)…揺擺膜、(4)(5)…フレキシブルパイプ、(6)…中空回転軸、(7)…ブーリ、(8)…ロータリジョイント、(9)(10)…パイプ、(11)…ブーリ、(12)…ワイヤ、(A)…岸壁	C	可動	E02B 15/06、E02B 15/04	2D025 BA08
特公昭55-28287 特開昭52-67136	起伏式堰堤	特願昭50-143460	太陽工業	1975.12.02	有	登録	年金不納による抹消	本発明にとれば簡単な構成で、しかも迅速に、人手を要せず、水密その他が完全で、オイルの流出拡大の防止、あるいは高潮除け等として大きな効果がある。	高潮除け又は防油場所に溝体を配設するとともに、 その上に蓋体を設け、一方溝体内には注排水できるようにした可撓性、水密筒状袋体を収納し、 その注水による膨満袋体により蓋体を回動立設させて袋体の保護を行わしめるようにした起伏式堰堤	 1…溝体、2…タンク、3…袋体、4…注入口、 5…排出口、6…ポンプ、7…蓋体	C	可動	E02B 7/20、B65D 90/24、B65D 87/08、E02B 7/20 /、E02B 7/40	3E070 AA03 AB03 BH10 GB01 GB04 GB20 PA01 VA13 BH01 BH02

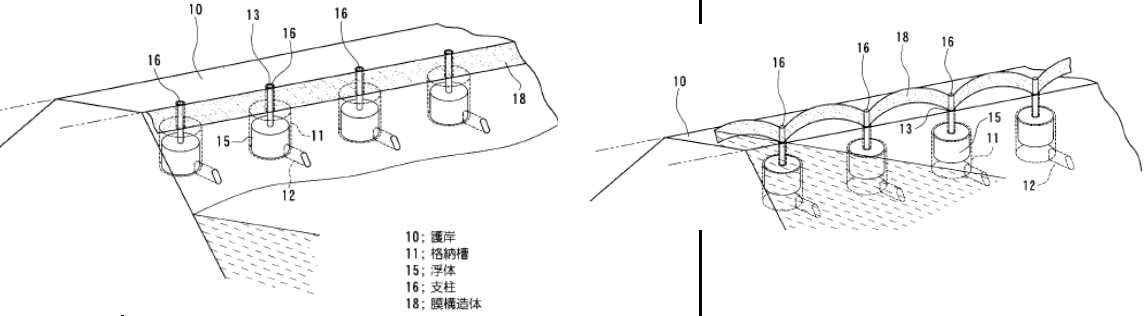
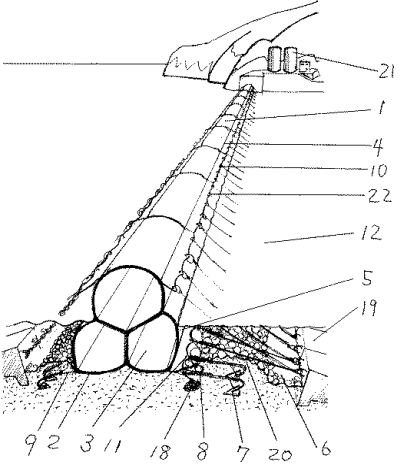
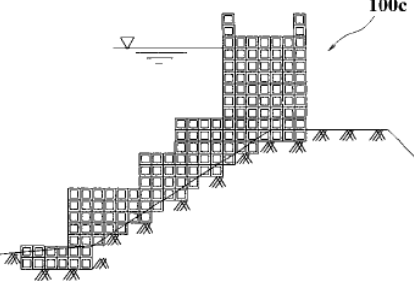
資料－5														
陸上の対象構造物位置での津波の減勢に効果があると思われる先行出願リスト(11/35)														
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特公昭59-43603 特開昭56-120480	津波、高潮による海上浮上構造物の陸上への移動防止装置	特願昭55-22183	日本鋼管	1980.02.26	有	登録	年金不納による抹消	この発明は、津波や台風による高潮が発生した場合、港湾内に停泊している船舶等の海上浮上構造物が陸上に移動してしまうことを防止するための防止装置に関するものである。	岸壁にガイド部を設け、ガイド部に浮体を有する防護体を上下動のみ移動自在に挿入し、水位の上昇に伴って防護体が増昇するようにしてなることを特徴とする 津波、高潮による海上浮上構造物の陸上への移動防止装置		C	可動	E02B 3/20 、B63B 21/00 、B63B 21/50 /、E02B 3/20 /、B63B 21/00	2D022 FA01
特開昭61-49013	浮函式防潮水門	特願昭59-168898	西田鉄工	1984.08.14	有	拒絶		【目的】陸閘は開閉に手数を要する上に両側に水圧荷重を受ける支柱が必要であり、更に引戸式門扉の場合各は門扉の格納スペースが必要で、これを道路部分に設ければ交通の妨げとなるし、構造も複雑で、建設費、維持費が嵩むという種々の欠点を解決する 【効果】建設費を大幅に軽減することができる上に、常時は浮函を地中埋設函内に収納し、地表上に格納設備はないから、土地の使用面積が最小で地積上の制約を受けることがなく、設置が容易である 【産業上の利用分野】高潮時に外水の水位を利用して自動的に開閉する浮函式防潮水門に関する	下端が外水に対し出入自由に連通する地中埋設函内に、水圧により地表上に突出する浮函を水密に案内挿入し、外水の水位増昇により浮函を地表上に突出させて外水を遮断する 浮函式防潮水門		C	可動		
特開平1-230808	保護緩衝体	特願昭63-59384	ブリヂストン	1988.03.15	未			【目的】海、湖沼、河川における各種堤防、護岸または水中施設を、経済的に有利な手法で船舶、浮遊物等の接触、あるいは波浪、水流による影響から保護し、それ等の修復に要する費用の節減を計るとともに災害発生を未然に防ぐことを目的とする 【効果】船舶、木材の如き浮遊物、あるいは土石流中の岩、大木等が衝突しても、その衝突のエネルギーが緩衝材に吸収され、堤体、護岸あるいは水中施設の破損を防ぐことができる 【産業上の利用分野】各種堤防の堤体または護岸を、保護するための緩衝体に関する	網、網状体または布で形成された袋状体または籠状体の内部に緩衝材を充填してなり、海、湖沼または河川における各種堤防の堤体表面、護岸表面または水中施設の表面に沿ってその複数個が整列して配設される保護緩衝体		C	固定	E02B 7/02 、E02B 7/02 B	

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求有	査定種別登録	権利抹消年金不納による抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特許－2601912 特開平3－36306	海洋構造物用衝突エネルギー吸収装置	特願平1－171466	三菱重工業	1989.07.03				【目的】自然にある海水／水の浮力抵抗及び摩擦抵抗を利用してくり返し使用することのできる経済的な海洋構造物用衝突エネルギー吸収装置を提供する 【効果】衝突板及び浮力タンクよりなる回動部は水面に浮遊させてもよく、また海洋構造物に突設された支持腕に枢支することもできる 【産業上の利用分野】海洋構造物用衝突エネルギー吸収装置に関する	海洋構造物の外側に固着された横水平部材又は海洋構造物の外側に適宜間隔を存して平行的に水面に浮遊する横水平部材の左右端から左右の等長腕がそれぞれ前方へ延びてなる水平コ字状支持枠と、上記左右の腕の前端対向部にそれぞれ横ピンを介して央部支点が枢支され水平に延びる後部腕及び斜上方乃至上方へ延びる前部腕を有する左右1対の側端部材と、 上記左右1対の後部腕に両端が支持され上記央部支点を中心とする扇形の断面を有する浮力タンクと、 上記左右1対の前部腕に両端が支持された衝突板とを具えたことを特徴とする 海洋構造物用衝突エネルギー吸収装置。		C	可動	E02B 3/26 、E02B 3/26 H	2D022 GA12 GA22 GA25
特開平5－280056	築堤及びその造成方法	特願平4－77695	前田建設工業	1992.03.31	未			【目的】表面を覆う客土の流出が防止できる築堤を提供する。 【構成】砂を所定幅に連続して盛り、その表面を客土2で覆うことにより形成した築堤において、その斜面6に、この築堤に沿って、横断面がL字形である長尺状のアングル材7を立設状態で一定間隔をおいて複数埋設し、客土を保持するネット4をアングル材に固定して張設した。	砂を所定幅に連続して盛り、その表面を客土で覆うことにより形成した築堤において、その斜面に、この築堤に沿って、横断面がL字形である長尺状のアングル材を立設状態で一定間隔をおいて複数埋設し、客土を保持するネットをアングル材に固定して張設したことを特徴とする築堤。		C	固定	B65D 90/24 、 E02D 17/18 、E02D 17/20 、 E02D 17/18 Z 、E02D 17/20 103G	2D044 CA01 DB41 、 3E070 AA02 AB03 BH01 BH10
特開平7－113217	陸上導流堤	特願平5－281902	清水建設	1993.10.15	未			【産業上の利用分野】本発明は陸上導流堤に係り、特に津波の遡上のおそれのある海岸線陸上部に構築され、津波の流れを偏向し、津波の遡上による被害を最小限にする陸上導流堤に関する。 【目的】陸上に遡上した津波の被害を最小限にする。 【構成】津波の到達が予想される海岸線11の陸上部分に海岸線11に沿って堤体10を延設し、遡上した津波の陸上波を堤体10に沿って偏流させて再び海上部に戻すように誘導させる。	津波の到達が予想される海岸線の陸上部分に海岸線に沿って堤体を延設し、遡上した津波の陸上波を堤体に沿って偏流させて再び海上部に戻すように誘導させるようにしたことを特徴とする陸上導流堤。	1 0 陸上導流堤 1 1 海岸線 1 2 集落 1 3 突堤 2 0 粗度面 2 1、2 2 突起	C	固定	E02B 3/06	2D018 AA01 BA11 、 2D118 AA05 AA07 AA11 BA03 CA02 CA03 HD01 JA01 JA17

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査 請求	査定 種別	権利 抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用 部位	形式	IPC	Fターム
特開平8-284139	自動昇降式堤体	特願平7-109007	新日本製鐵	1995.04.10	有	拒絶		【目的】堤防または護岸に設置され、洪水時に作動する自動昇降式の堤体を提供する。 【構成】浮力を有する可動壁と可動壁を内設する躯体とで構成される堤体を堤防または護岸に設置し、堤外水位の上昇時における堤外水の躯体内への流入によって可動壁を上昇させて、堤内への侵水を防止する。また、水位低下時には躯体内の水を排出することによって、可動壁を躯体内に収納する。	水際線付近に設置された堤体において、浮力を有する可動壁と、上部にスリット状の開口部ならびに堤外側の側壁に導水孔を設けた内腔を有する躯体とで構成され、堤外の水位の上下に伴って躯体上部のスリット状の開口部から可動壁が昇降するように、躯体に可動壁を内設したことを特徴とする自動昇降式堤体。		C	可動	E02B 7/20、E02B 7/50、E02B 7/20 B	
特開平10-183584	堤体における越流防止構造	特願平8-341453	大林道路	1996.12.20	有	拒絶		【課題】長大な堤体に沿って必要箇所に予め容易に設置しておくことができるとともに、作業員等による手間のかかる作業を必要とすることなく、効果的な越流防止を図ることのできる堤体における越流防止構造を提供する。 【解決手段】河川堤11の上端部分に設けられて、堤内13の河川水が堤外14に越流するのを防止するための越流防止構造10であって、河川堤11の上端部分に沿って延長設置されたU字溝15と、このU字溝15に沿ってこれの内部に収容されたホース部材16と、このホース部材16の下端部分をU字溝15の下端内面に連結するバンド部材17とからなり、収容されているホース部材16に河川水を注入して膨張させ、ホース部材16の下端部分を除いてホース部材16をU字溝15の上方に膨張突出させることにより、当膨張突出したホース部材16によって、河川堤11の上端部分に越流防止帯を形成する。	河川堤や防潮堤等の堤体の上端部分に設けられて、堤内の河川水等の流体が堤外に越流するのを防止するための越流防止構造であって、堤体の上端部分に沿って延長設置されたU形溝部材と、U形溝部材に沿ってこれの内部に収容されたホース部材と、ホース部材の下端部分をU形溝部材の内面に連結するバンド部材とからなり、収容されているホース部材に流体を注入して膨張させ、ホース部材の下端部分を除いてホース部材をU形溝部材の上方に膨張突出させることにより、膨張突出したホース部材によって、堤体の上端部分に越流防止帯を形成することを特徴とする堤体における越流防止構造。	(a) 	C	可動	E02B 7/16	
特開平11-222829	津波反転型防潮堤	特願平10-67588	松田 清輝	1998.02.09	未			【目的】本発明は、掛替えのない尊い人命、財産、文化教育、人々の安らぎのある生活を、津波から守ると共に産業発展の妨げになっている津波の恐怖を解消する為の防潮堤の提供を目的とする。 【構成】津波反転装置1と、主力波消装置7とからなる津波反転型防潮堤において、半円形の津波反転装置1の中心点を基準とし、横向きに津波誘導板2を設け斜め上向きに津波吹上誘導板3を設け、津波反転用橋脚6で固定し津波反転装置1と津波誘導板2の空間を津波吸水口4とし、津波反転装置1と津波吹上誘導板3の空間を津波吹上口5とし、その前方に主力波消装置7を設け、その上に補助波消装置8を設け、波消用橋脚9で固定したものである。	津波反転装置(1)と、主力波消装置(7)とからなる津波反転型防潮堤において、半円形の津波反転装置(1)の中心点を基準とし、横向きに津波誘導板(2)を設け、斜め上向きに津波吹上誘導板(3)設け、津波反転用橋脚(6)で固定し津波反転装置(1)と津波吹上誘導板(2)の空間を津波吸水口(4)とし津波反転装置(1)と津波吹上誘導板(3)の空間を津波吹上口(5)とし、その前方に主力波消装置(7)を設け、その上に補助波消装置(8)を設け、波消用橋脚(9)で固定した。津波反転型防潮堤。		C	固定	E02B 3/06	2D018 BA11、 2D118 AA12 BA03 BA05 JA03 JA06 JA17

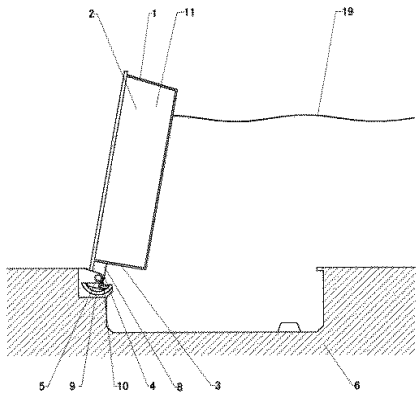
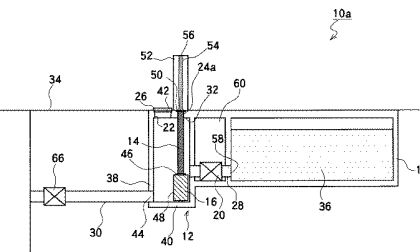
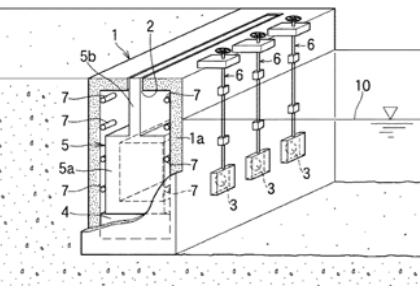
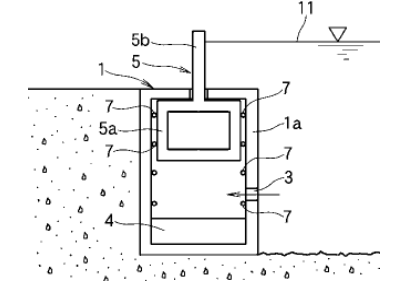
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特許-3393335 特開2000-120211	木材を利用したコンクリート製品	特願平10-328782	中矢 親	1998.10.13	有		登録 本権利は抹消されていない	【発明の属する技術分野】本発明は、コンクリート製品、特にコンクリートブロックの化粧面の露出度を最小限にとどめるために木材のうち特に加工する前の自然木材を有効利用して隠蔽し、自然環境の維持に適切なコンクリート製品に関するものである。 〔課題〕コンクリートブロックに確実に固着され、而も自然環境を破壊することなく外観的にも優れたコンクリート製品を提供する。 〔解決手段〕任意形状のコンクリートブロック面に露出度を加減させて木材の一部を埋設し、木材により化粧手段を備えたことを特徴とする。	任意形状のコンクリートブロック面に露出度を加減させて木材により化粧手段を備えた木材を利用したコンクリート製品において、複数の木材を、上端面が階段的に表れるようにコンクリートブロック平面に立設したことを特徴とする 木材を利用したコンクリート製品。	 	C	固定	E04C 1/40 、B32B 13/10 、 E04C 2/26 、E04C 2/26 P 、 E04C 1/40 U	2E162 CA11 CC01 、 4F100 AE01B AP01A BA02 BA07 DC24A EJ98 GB90 JC00
特開2000-204527	遮水壁体を有する構造体	特願平11-8680	林 和志郎	1999.01.18	有	拒絶		【課題】この発明は、水位が上昇した場合に、これに応じて遮水壁体を上昇させることができる構造体に関する。 【解決手段】浮力を有する遮水壁体の基端側を、水の浸入方向と反対側に連結し、水の浸入に際して遮水壁体を起立状に変位させて水の浸入を防ぐ壁体として機能させることができる。	浮力を有する遮水壁体の基端側を、水の浸入方向と反対側に連結し、水の浸入に際して遮水壁体を起立状に変位させて水の浸入を防ぐ壁体として機能させることを特徴とする 遮水壁体を有する構造体。		C	可動		
特開2001-20261	可撓性膜起伏ゲート	特願平11-194346	讃岐鐵工ブリヂストン	1999.07.08	未			【課題】可撓性膜を使用したゲートであっても、倒伏時における上面への車両等の通行を可能とし、耐久性を向上させた可撓性膜起伏ゲートを提供する。 【解決手段】地盤に回動可能に設置された剛性板と、内部に流体を封入可能な可撓性部材とからなる可撓性膜起伏ゲートであって、可撓性部材を、剛性板の下側で、かつ、剛性板の回動部と間隔を設けて地盤に固定し、可撓性部材の内部に流体を供給または排出することで、剛性板を起立および倒伏させるようにした可撓性膜起伏ゲート。1・・可撓性膜起伏ゲート、2・・可撓性部材、3・・剛性板、4・・設置地盤、5・・取付部6・・ヒンジ	地盤に回動可能に設置された剛性板と、内部に流体を封入可能な可撓性部材とからなる可撓性膜起伏ゲートであって、可撓性部材を、剛性板の下側で、かつ、剛性板の回動部と間隔を設けて地盤に固定し、可撓性部材の内部に流体を供給または排出することで、剛性板を起立および倒伏させるようにしたことを特徴とする 可撓性膜起伏ゲート。		C	可動	E02B 7/20 、E02B 7/20 103Z 、E02B 7/20 103	2D019 AA31

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2001-59212	蛇行防止板付津波反転型防潮堤	特願平11-279823	松田 清輝	1999.08.24	未			【課題】本発明は、掛替えのない尊い人命、財産、文化教育人々の安らぎのある生活を、津波から守ると共に産業発展の妨げになっている津波の恐怖を解消する為の防潮堤の提供を目的とする。 【解決手段】半円形の津波反転装置1の中心点を基準とし、横向きに津波誘導板2、斜め上向きに45° 津波吹上誘導板3を津波反転用橋脚6で固定し、津波反転用橋脚6同しの間に津波反転用蛇行防止板10を固定し、津波反転装置1と津波誘導板2の空間を津波吸水口4津波反転装置1と津波吹上誘導板3の空間を津波吹上口5とし、その前方に流線形の主力波消装置7を斜め上向き23° としその上に流線形の補助波消装置8を斜め上向き30° とし波消用橋脚9で固定し波消用橋脚9同しの間に波消用蛇行防止板11を固定した。	半円形の津波反転装置(1)の中心点を基準とし横向きに津波誘導板(2)を設け、斜め上向き45° で津波吹上誘導板(3)を設け、津波反転用橋脚(6)で固定し、津波反転用橋脚(6)同しの間に津波反転用蛇行防止板(10)を固定し津波反転装置(1)と、津波誘導板(2)の空間を津波吸水口(4)とし、津波反転装置(1)と、津波吹上誘導板(3)の空間を津波吹上口(5)とし、その前方に流線形の主力波消装置(7)を斜め上向23° としその上に流線形の補助波消装置(8)を斜め上向き30° とし、波消用橋脚(9)で固定し、波消用橋脚(9)同しの間に波消用蛇行防止板(11)を固定した蛇行防止板付津波反転型防潮堤。		C	固定	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D018 BA11 BA18、 2D118 AA11 AA12 BA03 CA02 DA05 JA03 JA06 JA17
特開2002-227165	流れの減少や砂の飛散防止する防護工及び方法	特願2001-22614	田原 康司	2001.01.31	未			【課題】津波の流れや暴風時に飛散する飛砂等に対応するための防護工は強度・消波効果・経済的・施工難易・管理等の課題点を重視する必要がある。 【解決手段】鉄製の強靱な金網を金属性の枠の内側に溶接する、その2個の枠の一边を連結して三角の斜面状に組み合わせて流れや砂の飛散を金網で消波し弱めると共に、三角斜面内で乱流を起こさせて弱める、さらに、前後・左右に設置して流れ・激突波の減少、暴風による飛砂減少を求める防護工である。	長方形の強靱な金網二枚の長辺上部を組み合わせて三角斜面状とする、流れの直角の方向に金網を据え付け斜面及び斜面内で乱流を起こして流れの減少や、強風による砂の飛散を防止する防護工及び方法である。		C	固定		
特開2002-332622	堤構造、及び、既設堤の嵩上げ方法	特願2001-137637	三菱重工業	2001.05.08	未			【課題】容易かつ短期間のうちに、重量増を抑制しつつ、既設堤を嵩上げすることを目的とする。 【解決手段】堤構造1は、河川や海岸等の水域Sに設置された既設堤2を含むと共に、内部に河川水や海水といった流体を導入することができる中空の箱状体3を備える。箱状体3は、既設堤2上に設置され、押え部5と位置決め部6からなる固定部材4によって既設堤2に対して固定されている。そして、箱状体3の内部には、注水ポンプ7により、河川水や海水といった流体を導入することができる。	河川や海岸等の各種水域に設置された既設堤を含む堤構造であって、既設堤上に設置され、内部に流体を導入することができる中空箱状体と、中空箱状体を既設堤に固定するための固定部材とを備えることを特徴とする堤構造。		C	可動		2D018 DA00、 2D118 AA12 BA05 CA02 CA07 FA06

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査 請求	査定 種別	権利 抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用 部位	形式	IPC	Fターム
特開2004-76528	堤体	特願2002-242098	三菱重工 業	2002.08.22	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】工費を抑え、かつ護岸の強度低下を防ぐことができる堤体を提供すること 【解決手段】護岸10の上に、護岸10の長手方向に沿って、支柱16が間隔を隔てて複数配置され、これら支柱16間に膜構造体18が張られている。支柱16は護岸10中に収納可能とすることができる。	護岸の上に、護岸の長手方向に沿って、支柱が間隔を隔てて複数配置され、これら支柱間に膜構造体が張られ、支柱は昇降することにより護岸中に収納可能であり、膜構造体はその上端部が各支柱の上部に固定され、支柱を収納した状態では膜構造体の下部は護岸の外に位置することの特徴とすることの特徴とする堤体。		C	可動	E02B 3/10 、E02B 3/10	2D118 AA11 AA12 AA28 CA07 DA04 FA04 FA06 DA01 GA14 GA18
特開2004-100231	津波防波堤、および津波防波堤の建設方法。	特願2002-262190 (P2002-262190)	尾崎 憲正	2002.09.09	有	拒絶		【課題】建設に長い期間や多額の費用がかからず、船舶の航行や、自然環境や漁業に深刻な影響を与えることなく、入り江や湾口、港口の全てを閉鎖できる津波防波堤を提供することを課題とし、また、設計の基準となる津波の規模を大きく想定しても極端に建設費用が増加せず、地震による衝撃や地盤の変動の影響を受けにくい津波防波堤を提供すること。 【解決手段】耐水性を有し、気体を透過させない、あるいは、気体の透過が少ない性質の可撓性膜で一個あるいは、複数の気室を持つ袋を形成し、袋の下部を海底に固定し、この袋の他の部分を海底や陸上の適当な個所に繋ぎ止めることで、気室を持つ袋が堤体となる津波防波堤とする。また、この津波防波堤を用いる津波防波堤の建設方法を採用する。	耐水性を有し、気体を透過させない、あるいは、気体の透過が少ない性質の可撓性膜で、一個あるいは、複数の気室を持つ袋を形成し、袋の下部を海底に固定し、この袋の他の部分を海底や陸上の適当な個所に繋ぎ止めることで、気室を持つ袋が堤体となる津波防波堤。		C	固定	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D018 BA17、 2D118 AA11 AA12 BA03 BA05 CA03 DA05 FA02 GA18 JA12
特開2004-257150	鋼製中空立方体ブロックを備えた防災構造物およびその構築方法	特願2003-50290 (P2003-50290)	JST	2003.02.27	未			【課題】山岳地帯に適した防災構造物および工法を提供し、防災設備の建設費の低減および建設期間の短縮、並びに被災後の早期復旧を図ること。 【解決手段】鋼製中空立方体ブロックを備えた防災構造物は鋼製枠部材からなる鋼製中空立方体ブロックと高力ボルトと鋼製支持板とPC棒鋼と継手部材とからなる。鋼製枠部材が鋼製中空立方体ブロックの各稜線を構成するように互いに溶接される。防災構造物の構築方法は、建設用地に均しコンクリートを流して基礎を形成すること、その基礎の上に鋼製中空立方体ブロックを並べること、最下段鋼製中空立方体ブロック上に順次鋼製中空立方体ブロックを複数段積み重ねて所要の防災構造物を形成すること、各段の水平・垂直方向隣接ブロックを高力ボルトおよび継手部材によって相互に連結すること、設計上強度を必要とする部位にPC棒鋼を通し、支持板によって支持することからなる。	鋼製枠部材からなる鋼製中空立方体ブロックと、高力ボルトと、鋼製支持板と、PC棒鋼と、鋼製継手部材とからなり、鋼製枠部材は直交L字形断面を有し、長手方向両端が斜め45度に切り落とされ、長手方向の所定箇所にボルト穴が設けられ、鋼製枠部材が鋼製中空立方体ブロックの各稜線を構成するように互いに溶接され、複数の鋼製中空立方体ブロックが高力ボルト、継手部材、鋼製支持板、PC棒鋼によって相互に連結されるようにした、鋼製中空立方体ブロックを備えた防災構造物。		C	固定	E02B 3/06 、E02B 3/14、 E02B 7/02 、E02D 17/20、 E02D 29/02 、E02D 29/02 308 、E02B 3/14 303、 E02B 7/02 B、E02D 17/20 103G 、E02D 17/20 103	2D018 BA11 EA24、 2D044 DB45、 2D048 AA72、 2D118 CA08 FB18 HD10 BA04 CA07 CA02 HA12 HA35 AA01 FB02 BA03 HA04 BA01

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2004-360304	水上緩衝構造物	特願2003-160288	三菱重工業	2003.06.05	未			【課題】漂流物が衝突した際の衝撃力を効果的に緩衝する。 【解決手段】筒部材2は柔軟で水を透過させない膜材により形成されており、内部に注入水6が注入される。このとき、水面6bは、設置場所である海などの水面5bよりも上方になるようにしている。筒部材2の形状は、形状保持支柱3と、剛性を有するケーブル4により筒形に保持されている。漂流物等が筒部材2に衝突すると、筒部材2は撓んで凹み衝撃力を緩衝する。筒部材2が凹むと、注入水6の水位が上昇して水圧が高くなり、高くなった水圧により凹んだ部分が外側に押し戻されて、筒部材2は筒形状に回復する。	水を透過させない柔軟な膜材により、有底の筒形状に形成されており、内部に注入される注入水の水面が、設置場所である河川や湖沼や海の水面よりも高くなるまで、注入水が注入される筒部材を有することを特徴とする 水上緩衝構造物。		C	固定	E02B 3/26、B63B 59/02、E02B 3/26 B、B63B 59/02 J	
特開2005-105775	津波防波堤、および津波防波堤の建設方法。	特願2003-344415 (P2003-344415)	尾崎 憲正	2003.10.02	有	拒絶		【課題】建設のための費用や時間が節約でき、立地上の制約の少ない津波防波堤の提供、既存の堤防などを活用できる津波防波堤の提供を課題とする。また、既存の津波防波堤について、少ない費用と時間で津波災害を防止する能力を高めることのできる津波防波堤の提供や、景観や生物の生育環境に与える悪影響を抑えることのでき、経済性にも優れた津波防波堤の提供を課題とする。 【解決手段】耐水性を有し、気体を透過させない、あるいは、気体の透過が少ない性質の可撓性膜で、一個あるいは、複数の気室1を持つ袋2を形成し、袋の下部3を陸上に固定することで、気室を持つ袋が堤体4となる、また、袋を強靱な外皮で覆い外皮の下部を陸上に固定することで、外皮に覆われた袋が堤体となる、専ら陸上に設置する形式の津波防波堤とし、これを用いた津波防波堤の建設方法とした。	耐水性を有し、気体を透過させない、あるいは、気体の透過が少ない性質の可撓性膜で、一個あるいは、複数の気室を持つ袋を形成し、袋の下部を陸上に固定することで、気室を持つ袋が堤体となる、専ら陸上に設置する形式の津波防波堤。		C	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D018 BA17、2D118 AA02 AA11 AA12 AA23 AA25 AA28 BA03 BA07 BA14 CA02 CA04 DA05 FA02 FA06 GA19 JA12 JA15
特開2006-70536	津波・高潮対策用可動式防波堤	特願2004-254156	五洋建設 IHI	2004.09.01	有			【課題】正常時には景観を阻害しないように全高が低く、津波や高潮などの異常潮位時に上昇して防波機能を発揮でき、かつ数百メートル以上にもわたって隣接して設置することができ、その連結部に必要な水密性及び耐圧性を有し、全体の作動がスムーズであり、補修の必要性が少ない津波・高潮対策用の可動式防波堤を提供する。 【解決手段】護岸に沿って設置され鉛直の第1内壁面12aを有する護岸外壁12と、護岸外壁に隣接して平行に設置され第1内壁面からほぼ一定の間隔を隔てた第2内壁面14aを有する護岸内壁14と、護岸外壁と護岸内壁を護岸に沿って所定の間隔を隔てて連結する複数の護岸連結部材16と、第1内壁面、第2内壁面、および隣接する護岸連結部材で囲まれる矩形空間11に收容され第1内壁面と第2内壁面の間に貯まる水の浮力で護岸外壁より上方まで浮上可能な複数の防波フロート18と、隣接する防波フロート間に設けられその隙間からの漏水を低減する漏水低減装置20とを備える。	護岸に沿って設置され鉛直の第1内壁面を有する護岸外壁と、護岸外壁に隣接して平行に設置され第1内壁面からほぼ一定の間隔を隔てた第2内壁面を有する護岸内壁と、護岸外壁と護岸内壁を護岸に沿って所定の間隔を隔てて連結する複数の護岸連結部材と、第1内壁面、第2内壁面、および隣接する護岸連結部材で囲まれる矩形空間に收容され第1内壁面と第2内壁面の間に貯まる水の浮力で護岸外壁より上方まで浮上可能な複数の防波フロートと、隣接する防波フロート間に設けられその隙間からの漏水を低減する漏水低減装置とを備えたことを特徴とする 津波・高潮対策用可動式防波堤。		C	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 302	2D118 AA12 CA03 DA08 FA04 FA06

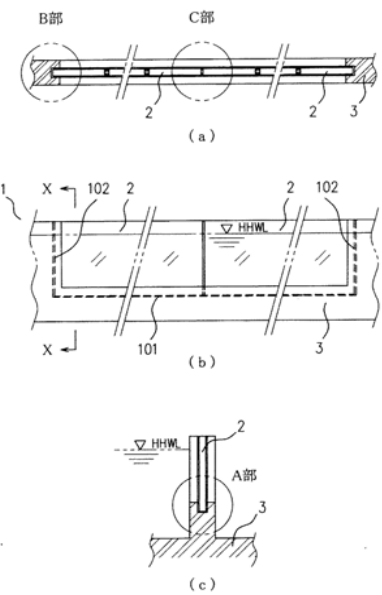
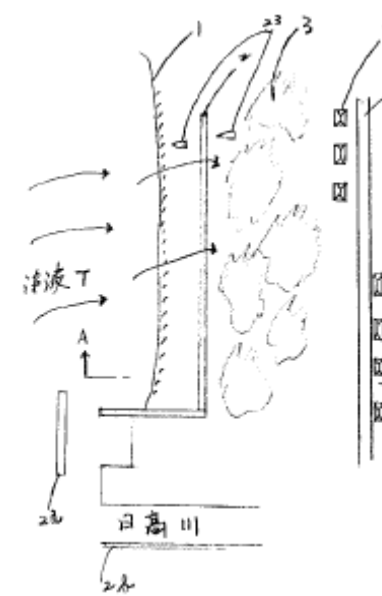
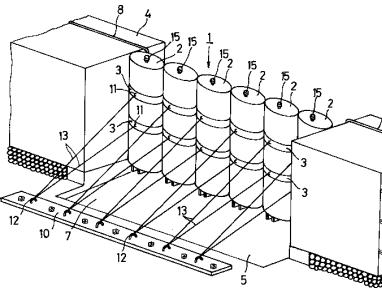
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求有	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2005-315058	非常用防護装置	特願2005-47906 (P2005-47906)	有限会社 フジカ	2005.01.25	有			【技術分野】 本発明は、海岸域や河川域などに固定して設置され津波などの非常事態時により有効に機能するようにした非常用防護装置に関する。 【課題】乗用車などの保護すべき対象物を水害から護るための水害対策装置を提供すること。 【解決手段】乗用車や自動二輪車、各種農機などの車両をガレージ内に収容した際に水害から護るための水害対策装置であって、ガレージは、底側壁・左右側壁および背側壁の4面を少なくとも有するもので、その前面の開口に、防水戸を水密式に装備可能にしたことを特徴とする。	海域、川域、陸上などに固定して設置されて津波や高潮などのために機能するようにした堤防本体に、同本体よりも上方に向けて突出する補助防護手段を付加してなる非常用防護装置。		C	固定	E02B 3/06、E02B 7/22、E02B 3/06 301	2D019 AA71、2D118 AA12 CA07 GA09 JA03
特開2006-241954	津波防御水防板	特願2005-96035 (P2005-96035)	小田原 勉	2005.03.01	未			【課題】世界的に津波対策は遅れています。主に津波の危険がある地域ほど都市開発・観光開発が進んでいます。極くまれに来る津波に対して実際の生活上からは堤防の高さは低く押さえざるを得ません。しかし、津波の危険は、益々重大な被害をもたらします。本発明による回転立ち上がり式の堤防は、それらの問題を解決します。 【解決手段】堤防は実際の生活上の限度の高さに押さえ、津波の力、水位上昇に追随してセットしたブイの浮力で上昇もする本津波防御水防板の設置により、それらの問題は解決します。眺望の妨げとならず、且つ、高ざが必要な堤防の解決は、普段は水平にし、津波の際は津波の力と水位上昇の浮力を借りて上昇・回転立ち上がるパネルによる解決策が妥当です。	堤防と一体化し津波を受けて、回転立ち上がる津波防御水防板で、堤防(2)から突き出たブラケット(3)の上に回転立ち上がりパネル(1)を回転ヒンジ(4)とパネル(1)中間の荷重受け足(5)でセットする。 パネル(1)下端には、単なる水位上昇に備え浮力ブイ(6)をセットする。 パネル(1)が回転立ち上がった際の受け柱(10)をパネル両端に立上げる。 その上部にショックアブソーバー(11)を取り付ける。 パネル(1)は津波の水圧を軽減する為に、その場での津波の予測値でパネル(1)の強度との相関関係で斜めになって津波を受ける為、受け柱(10)にテーパを付ける。 パネル(1)先端は津波の力をより上向きに回転させる為に斜めにする。回転パネル(1)と堤防との間はヒンジ付スライドパネル(8)を取り付ける。浮力ブイ(6)は衝撃低減化の為に複層型クッション材とする。クッションの構成は水に浮く比重のボードと弾性体材料の並べられたチュウブとのサンドウィッチ化した複層構成とする。		C	可動	E02B 3/06	2D118 AA11 CA02 FA01 FA06 FB03
特開2006-283505	越水防止装置および越水防止工法	特願2005-108204	新妻組	2005.04.05	有			【課題】簡単且つ軽量で耐久性のある越水防止装置を用いて堤防の上などに設置して河川の氾濫や洪水などを防止する。 【解決手段】本発明の越水防止装置は、垂直方向に延在する壁で構成される四角い枠体(10)を複数連設して構成されており、その前側フレーム下端部からは底シート(14)が延在している。枠体の角部にはアンカーピンを打ち付けるガイド帯(11)が設けられており、装置の両端部には他の装置との連結手段(12)が設けられている。この装置は折り畳み式として平常時には自治体の倉庫などに小さく収納することができる。河川の増水時などに必要な場所に拡げて設置し、底シートの上に土砂や土嚢などを積載して使用する。	河川や海岸の増水時に設置される越水防止装置であって、垂直方向に延在する壁で構成される四角い枠体を複数連設した構成を具えることを特徴とする越水防止装置。		C	固定	E02B 3/04	2D118 AA20 BA01 BA07 CA02 CA07 FB03 FB17 FB33 GA41

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2006-299574	止水扉	特願2005-120405	尾崎 憲正	2005.04.18	未			【課題】特別な保管場所を必要とせず、水位が上昇する異常時に、外部からの動力を必要とせずに自律的に起立展開でき、水流封止能力に優れた止水扉を実現する。 【解決手段】止水板に浮力体を取り付け、止水板が起立状態にある時に下辺となる側に揺動支点を設け、この止水板を止水板側揺動支点と結合する揺動支点を設けた基礎上に置き、止水板両側部および止水板下部の間隙を封止する止水板間隙封止機構を持つ止水扉とする。また、浮力体を止水板内部に収容する発泡体、あるいは、止水板内部に設ける気室とし、止水板を起立状態に保持する止水板起立保持機構を備え、止水板側方に側方からの水流を遮蔽する側方水流遮蔽壁を設け、基礎上の止水板の前方となる高水位の押し寄せて来る側と止水板下方に水流導入空隙を設ける。	水位の上昇を伴う異常時に起伏式の止水板を立てる形式の止水扉において、止水板に浮力体を取り付け、止水板が起立状態にある時に下辺となる側に揺動支点を設け、この止水板を止水板側の揺動支点と結合する揺動支点を設けた基礎上に置き、止水板両側部および止水板下部の間隙を封止する止水板間隙封止機構を持つ止水扉。		C	可動	E06B 5/00、E02B 7/22、E02B 7/44、E06B 5/00 Z	2D019 AA71、CA00、2E039 AC04
特開2006-348571	防潮装置および防潮構造	特願2005-175478	スペーステック	2005.06.15	有			【課題】本発明は、このような現状に鑑み、人力や電気などの動力に頼ることなく、冠水時などに自動的に防潮板を設置して、冠水時に水を確実に堰き止めることができるとともに、さらに地震における津波や堤防決壊などの際に多量の水がいつぱんに流れて来ても事前に防潮板を設置して、冠水時に水を確実に堰き止めることのできる防潮装置を提供する。 【解決手段】地中ピットに接続され、常時一定の水を貯留する貯留槽と、地中ピットと貯留槽との間を接続する接続配管と、接続配管の途中に地震による揺れを感知し貯留槽内に貯留された水を地中ピット内へ開放する感震開放装置とを備え、地震の際に感震開放装置を作動させ、貯留槽内の水を接続配管を介して地中ピット内に流入させることにより、防潮板が地盤面より上方に突出自在となるように構成した防潮装置を備える。	地盤面より下方に地中ピットを形成するとともに、地中ピットの天井壁に上下に貫通する水の流入口と防潮板作動用開口と、地中ピットの内部に、下端に浮き部材を連結して水の浮力によって浮き部材とともに浮き上がるようにした防潮板とを設け、天井壁の流入口を介して地中ピット内に水を流入することによって、防潮板が防潮板作動用開口の内部を挿通して地盤面より上方に突出自在に構成した防潮装置であって、防潮装置が、地中ピットに接続され、常時一定の水を貯留する貯留槽と、地中ピットと貯留槽との間を接続する接続配管と、接続配管の途中に地震による揺れを感知し貯留槽内に貯留された水を地中ピット内へ開放する感震開放装置とを備え、地震の際に感震開放装置を作動させ、貯留槽内の水を接続配管を介して地中ピット内に流入させることにより、防潮板が地盤面より上方に突出自在となるように構成したことを特徴とする防潮装置。		C	可動	E02B 7/22	2D019 AA71
特開2007-126945	可動壁式堤体	特願2005-322608 (P2005-322608)	神戸製鋼所	2005.11.07	有			【課題】水際に設置され、躯体内に堤外水を導入して可動壁をこれに浮力を与えて躯体より上方へ突出させる可動壁式堤体において、高潮、津波などの来襲時に確実に堤内への浸水を阻止することができる可動壁式堤体を提供すること。 【解決手段】水際に設置される可動壁式堤体において、箱状をなし、かつ、上部にスリット状開口部2が設けられるとともに、堤外の側の側壁部1aに堤外水の平常時水位よりも下方に位置して平常時は閉じられている取水孔3が設けられた躯体1と、躯体1内に収納され、中空体5aに壁体5bを立設してなる可動壁5とを備え、堤外水の異常水位上昇の危険が予測されたとき取水孔3を開き、取水孔3から堤外水を躯体1内に導入して可動壁5に浮力を与えて可動壁5を上昇させ、開口部2から壁体5bを起立姿勢にて突出させることを特徴とする可動壁式堤体である。	水際に設置される可動壁式堤体において、箱状をなし、かつ、上部にスリット状開口部が設けられるとともに、堤外の側の側壁部に堤外水の平常時水位よりも下方に位置して平常時は閉じられている取水孔が設けられた躯体と、躯体内に収納され、中空体に壁体を立設してなる可動壁とを備え、堤外水の異常水位上昇の危険が予測されたとき取水孔を開き、取水孔から堤外水を躯体内に導入して可動壁に浮力を与えて可動壁を上昇させ、スリット状開口部から壁体を起立姿勢にて突出させることを特徴とする可動壁式堤体。	 	C	可動	E02B 7/50、E02B 7/20、E02B 7/20 B	

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査 請求	査定 種別	権利 抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用 部位	形式	IPC	Fターム
特開2007-186963	防潮施設	特願2006-7837 (P2006-7837)	東急建設	2006.01.16	有			【課題】巨大な支持部材を必要とせず、経済的に設置することができ、目隠しとはならず、人々が水辺へおりて水と親しむ環境を作り出すことができる防潮施設を提供する。 【解決手段】高潮の来る方向に向けて設置したエネルギー吸収面体1と、エネルギー吸収面体1よりも内陸側に、高潮の来る方向に向けて設置した止水面体2とより構成する。エネルギー吸収面体1は、分散した貫通孔を開設した有孔体で構成する。止水面体2は、貫通孔の存在しない無孔体で構成する。	高潮などによる災害を防止するための施設であって、高潮の来る方向に向けて設置したエネルギー吸収面体と、エネルギー吸収面体よりも内陸側に、高潮の来る方向に向けて設置した止水面体とより構成し、エネルギー吸収面体は、分散した貫通孔を開設した有孔体で構成し、止水面体は、貫通孔の存在しない無孔体で構成した、防潮施設。		C	固定	E02B 3/06	2D118 AA12 BA03 BA05 BA07 CA03 FA02 FB03 GA12
特開2007-224598	防潮施設	特願2006-46959	東急建設	2006.02.23	未			【課題】通常は目隠しとはならず、人々が水辺へおりて水と親しむ環境を作り出すことができ、非常時には水の上陸を阻止することができる防潮施設を提供する。 【解決手段】陸側支柱と、海側支柱を設ける。陸側支柱に支点を介して回転自在に屋根兼止水面体を取り付ける。海側支柱に回転自在に屋根兼エネルギー吸収面体を取り付ける。屋根兼止水面体、あるいは屋根兼エネルギー吸収面体を回転させる回転力付与装置を設ける。	高潮などによる災害を防止するための施設であって、陸上に設置した支柱と、支柱に支点を介して回転自在に取り付けた屋根兼止水面体と、支柱の支点を中心に屋根兼止水面体を回転させる回転力付与装置とで構成し、屋根兼止水面体を、支点を中心に回転させて高潮の来る方向に向けて設置し得るように構成した、防潮施設。		C	可動	E02B 3/06 、E02B 7/22 、E02B 7/44 、E02B 3/06 301	2D019 AA71 CA02 CA05 、2D118 AA12 BA01 BA03 BA05 CA02 GA41 GA48
特開2007-239233	津波対策構造	特願2006-60395 (P2006-60395)	鹿島建設	2006.03.07	未			【課題】常時に人の動きを制限することなく、メンテナンスが容易で、かつ津波の発生時に速やかに作動する津波対策構造を提供する。 【解決手段】津波対策構造1は砂浜3に設けられており、防波堤5を有している。防波堤5の内部には垂直方向に設けられた孔であるピット11aが設けられている。ピット11a内には移動柱体27aが移動可能に設けられている。ピット11aにはサイフォン9が接続されており、サイフォン9には管状の流路7が設けられている。流路7は砂浜3内を貫通し、端部が取水口8として海21内に露出している。津波が接近し、取水口8付近の水位がサイフォン高さ33を越えると、海水がサイフォン9に流入し、ピット11aに流入する。そして、移動柱体27aが海水の浮力を受けてA2方向に移動し、防波堤5の外部に露出し、津波のエネルギーを減衰させる。	堤内、または地中に設けられたピットと、ピット内に鉛直方向に移動可能に設けられた柱体と、ピットに接続されたサイフォンと、サイフォンに接続され、水底、もしくは水中に設けられた第1の流路と、第1の流路の端部に設けられた第1の取水口と、からなり、水の水位がサイフォンの高さを超えると、第1の取水口から取水した水が第1の流路およびサイフォンを介してピット内に流入し、柱体が水の浮力で鉛直方向に浮上して堤体の外部に露出することを特徴とする津波対策構造。		C	可動	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D118 AA11 CA02 JA06 JA11

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2007-262791	防潮施設	特願2006-91225	東急建設	2006.03.29	未			【課題】巨大な支持部材を必要とせず、経済的に設置することができ、目隠しとはならず、人々が水辺へおりて水と親しむ環境を作り出すことができる防潮施設を提供する。 【解決手段】陸上に設置した支柱と、支柱の海側にむけて支点を介して回転自在に取り付けた海側腕材と、海側腕材の自由端に取り付けた空中エネルギー吸収面体と、支柱の陸側に向けて支点を介して回転自在に取り付けた陸側腕材と、陸側腕材の自由端に取り付けた空中止水面体と、支柱の支点を中心に海側腕材、あるいは陸側腕材を回転させる回転力付与装置とで構成する。	高潮などによる災害を防止するための施設であって、陸上に設置した支柱と、支柱の海側にむけて支点を介して回転自在に取り付けた海側腕材と、海側腕材の自由端に取り付けた空中エネルギー吸収面体と、支柱の陸側に向けて支点を介して回転自在に取り付けた陸側腕材と、陸側腕材の自由端に取り付けた空中止水面体と、支柱の支点を中心に海側腕材、あるいは陸側腕材を回転させる回転力付与装置とで構成し、空中エネルギー吸収面体も、空中止水面体も、上昇させた場合、空中に収納でき、空中にある空中エネルギー吸収面体を、海側腕材の支点を中心に回転させて降ろした場合、想定される高潮の水位まで設置でき、空中にある空中止水面体を、陸側腕材の支点を中心に回転させて降ろした場合、想定される高潮の水位まで設置できるように構成した、防潮施設。		C	可動	E02B 7/22	2D019 AA71
特開2008-38451	波浪防護構造物	特願2006-213743 (P2006-213743)	清水建設	2006.08.04	未			【課題】低コストで短期間に構築可能であり、且つ用地の確保が比較的容易であり、迅速に整備することができ、また、津波被害を十分に防止することができる波浪防護構造物および波浪防護構造物を提供することを目的としている。 【解決手段】上部が地盤から突出した自立杭2…と、自立杭2…の上部を挿通させる孔3a…が形成された複数のブロック3…とが備えられ、ブロック3の孔3a、3aに自立杭2、2の上部を差し込ませつつブロック3を配置することで構築される波浪防護構造物1において、複数のブロック3…が間隔をあけて並べられ、隣り合うブロック3、3間に、押し波が衝突する正面側からその反対の背面側に向かうに従い幅が先窄まりになったスリットSが形成されている。	上部が地盤から突出した自立杭と、自立杭の上部を挿通させる孔が形成された複数のブロックとが備えられ、ブロックの孔に自立杭の上部を差し込ませつつブロックを配置することで構築される波浪防護構造物において、複数のブロックが間隔をあけて並べられ、隣り合うブロック間に、押し波が衝突する正面側からその反対の背面側に向かうに従い幅が先窄まりになったスリットが形成されていることを特徴とする波浪防護構造物。		C	固定	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D118 AA11 AA12 CA02 DA08 HD01 JA05 JA17
特開2008-81960	波浪防護構造物	特願2006-260892 (P2006-260892)	清水建設	2006.09.26	未			【技術分野】 本発明は、海岸や湾岸、湖岸、河岸等にある護岸又は堤防に築造される波浪防護構造物に関する。 【課題】護岸や堤防の耐震補強工事と併せて、当護岸や堤防の上に新たに波浪防護体を構築することができ、低コストで護岸や堤防の耐震強化と波浪災害対策を行うことができる波浪防護構造物を提供することを目的としている。 【解決手段】護岸A又は堤防の中に下部2aが埋設されて上部2bが護岸A又は堤防の上方に突出する連続壁体2が、間隔をあけて複数並列に設けられ、連続壁体2、2間のうちの少なくとも上部2b、2b間に、硬化材又は改良材からなる中詰材3が中詰めされている。	護岸又は堤防の中に下部が埋設されて上部が護岸又は堤防の上方に突出する連続壁体が、間隔をあけて複数並列に設けられ、連続壁体間のうちの少なくとも上部間には、硬化材又は改良材からなる中詰材が中詰めされていることを特徴とする波浪防護構造物。		C	固定	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D118 AA11 AA12 BA01 BA02 BA03 DA01 FA06 FB11 FB31

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2008-115588	津波防災構造物	特願2006-299065	五洋建設	2006.11.02	未			【課題】低天端で、かつ景観にも影響を与えない津波防災構造物を提供することである。 【解決手段】津波防災構造物1は、堤体2の上面に前壁5と後壁9と上壁7とからなる中空堤体3が形成され、中空堤体3内にはフロート10の上面に立設された昇降板4が内蔵され、長周期の波のみを中空堤体3内に流入させるための大きさが開口率と高さによって決定された流入用スリット6が前壁5に開口され、流入用スリット6からの波の流入によって昇降板4を上昇させて上壁7から突出させる昇降口8が上壁7に開口されてなる。	堤体の上面に前壁と後壁と上壁とからなる中空堤体が形成され、中空堤体内にはフロートの上面に立設された昇降板が内蔵され、長周期の波のみを中空堤体内に流入させるための大きさが開口率と高さによって決定された流入用スリットが前壁に開口され、流入用スリットからの波の流入によって昇降板を上昇させて上壁から突出させる昇降口が上壁に開口されたことを特徴とする津波防災構造物。		C	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 302	2D118 AA11 AA12 AA23 BA20 DA01 FA06 HD03 JA07 JA14 JA18
特開2008-115585	津波高潮防災構造物	特願2006-298812 (P2006-298812)	五洋建設	2006.11.02	未			【課題】低天端で景観にも影響を与えない津波高潮防災構造物を提供することである。 【解決手段】津波高潮防災構造物1は、護岸2の下側に津波の越流水18を貯水する貯水空間3を形成し、貯水空間3の上面に開口した越流水用取込口4には透水蓋10が設置され、護岸2の海側の面には排水口5が開口され、排水口5が回転自在な排水蓋15で閉塞されている。	護岸の下側に津波の越流水を貯水する貯水空間を形成し、貯水空間の上面に、透水蓋が設置された越流水用取込口が開口され、護岸の海側面には排水口が開口されたことを特徴とする津波高潮防災構造物。		C	固定	E02B 3/06	2D118 AA11 AA12 CA02 DA08 JA14 JA15
特開2008-190200	プレキャスト擁壁およびプレキャスト擁壁の構築方法	特願2007-25188 (P2007-25188)	鹿島建設	2007.02.05	未			【課題】構造が簡易で確実に嵩上げが可能な擁壁を提供する。 【解決手段】堤防5上にはプレキャスト擁壁1が設けられている。プレキャスト擁壁1の最小構成単位は基礎プレキャスト版9と、基礎プレキャスト版9の上面に連結された擁壁プレキャスト版11からなる。また、基礎プレキャスト版9と擁壁プレキャスト版11を連結するようにして設けられた控えブロック13をさらに有している。基礎プレキャスト版9の本体15の上面には溝部17が設けられており、擁壁プレキャスト版11の本体25の端面には、凸部27が設けられている。凸部27の形状は基礎プレキャスト版9の溝部17の形状に対応しており、溝部17に擁壁プレキャスト版11の凸部27が係合されることにより、プレキャスト擁壁1が構築される。	護岸または堤防上に敷設され、上面に第1の係合部を有する基礎プレキャスト版と、端面に第1の係合部に係合する第2の係合部を有する擁壁プレキャスト版と、を有することを特徴とするプレキャスト擁壁。		C	固定	E02B 3/10	2D118 AA05 AA11 AA12 BA03 BA06 CA03 DA01 FA06 FB03 HA02 HA10 HA31 HB09 HD01 HD03 HD10

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査 請求	査定 種別	権利 抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用 部位	形式	IPC	Fターム
特許- 4134242 特開2008- 57311	防潮壁	特願2007- 103914 (P2007- 103914)	エステック	2007.04.11	有		本権利は抹消されていない	【課題】平常時は設置場所の景観が損なわれないという特徴を有し、洪水等においては、人手や動力がなくても海水や雨水の流入を防ぐことができる防潮壁を提供する。 【解決手段】透明樹脂板よりなる防潮壁であって、樹脂板の底部及び長尺方向の両端部が基礎枠体の把持溝に嵌入された状態で保持されている。また、樹脂板の複数個が横列に配列され、樹脂板の端部が対向する空間には、地盤面下に地中ピットを形成すると共に、地中ピット内部に、フロート材を内包した扉体を設置し、水の浮力により扉体を浮き上がるようにした、フロート式防潮装置が設けられている。	洪水・高潮等の災害を防止するための防潮壁であって、透明樹脂板で形成されていて、その樹脂板の底部が、地盤上に設置された基礎枠体の把持溝に嵌入された状態で保持されていること、および、樹脂板が複数配列されていて、二つの樹脂板の端部同士が間隔をおいて対向する空間に、水の進入を防ぐことができる高さから、その上を人や車両が通行することができる高さまで扉体上昇および下降する構造の防潮装置が設けられていることを特徴とする防潮壁。		C	可動	E02B 7/20 、E02B 7/50 、E02B 7/20 Z	
	津波防波堤	特願2005- 41494			未			【課題】遠い過去より現在に到るまで低地帯の人家、田畑は幾度となく津波の被害を蒙っている。この災禍を完全に防ぎ、後顧の憂いを絶つため、我々は新しい近代的価値観のもとに最新技術を駆使し環境に優しく、美しい巨大堤防を築くべきだ。 【解決手段】大津波の越波を防ぐ充分なる天端高を有し、防潮堤底面幅を30m以上にして、高速で襲来する大津波エネルギーの瞬間圧力に対抗しうる強固な防潮堤を陸地部、或いは海岸に設置し、防潮堤海側の胸壁を高さ20m以上にし、堤体天端には一般道に接続する自動車道を設け、築堤作業効率の便を計ると共に、陸側法面には複数互いに連結した植樹用長方形枠体状コンクリート製ブロックを階段状に並べて堤体法面の土砂流失を防ぐと共に、塩害に強い樹木や植物を植え、周囲の景観に配慮した。【	海辺の低地帯にある街道沿いの人家を津波から護る防潮堤を、陸地部又は海岸部に築堤するについて、該防潮堤は、大津波の越波を許さざる充分なる高さの堤体天端高と胸壁を有し、堤体法面の土砂流失を防ぐため、複数互いに連結した植樹用長方形枠体状コンクリート製ブロック(後部上面凹型前部下面凸型)を階段状に設置し、該ブロック内の中空部に土砂を盛り、塩害に強い樹木や植物を植え、周囲の景観に配慮したことを特徴とする津波防潮堤。		C	固定	E02B 3/06 、E02B 3/14 、E02B 3/06 301、E02B 3/14 301	
特開平8- 226116	浮沈自在堰	特願平7- 55196	カイモン	1995.02.21	有	登録		【目的】本発明の浮沈自在堰は、いずれかの縦型の筒状体が損傷を受け海水が浸入しても、他の筒状体には影響を及ぼすことなく、堰全体が沈下して津波防止機能が損われない。 【構成】それぞれが気密性を有する複数の筒状体2を一連にかつ一体的に相互連結し、一連に連結した複数の筒状体2を港口の両端堤壁間の床部7に、その港口の開口部において、開口部巾方向に延長する横軸6により枢着するとともに、港口外方に付設したシンカー10に港口内方への倒屈防止用引張材13を介して連結し、各筒状体2の内部を外部に配置された気体圧送装置に連通させる。	それぞれが気密性を有する複数の筒状体2を一連にかつ一体的に相互連結し、一連に連結した複数の筒状体2を港口の両端堤壁間の床部7に、その港口の開口部において、開口部巾方向に延長する横軸6により枢着するとともに、港口外方に付設したシンカー10に港口内方への倒屈防止用引張材13を介して連結し、各筒状体2の内部を外部に配置された気体圧送装置に連通させたことを特徴とする浮沈自在堰。		D	可動	E02B 7/20 、E02B 7/20 103Z 、E02B 7/20 103	2D019 AA31 AA35 AA38

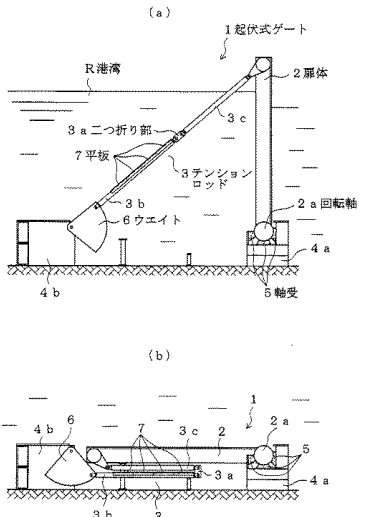
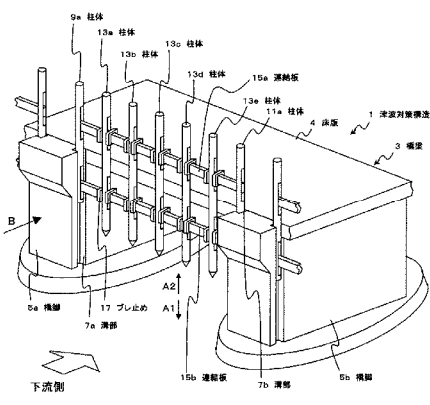
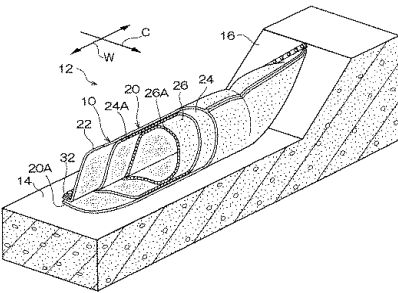
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求有	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開平8-226110	浮沈自在堰	特願平7-56804	カイモン	1995.02.22	有	拒絶		【目的】不使用時においては沈下した状態になり、かつ津波来襲時等の使用時には、浮上した状態になる浮沈自在な堰を提供する。 【構成】外部に配置された気体圧送装置に連通させた筒状体1を、筒状体1内の気体を排気した不使用時には、港口の両端堤壁間の床部16に形成された凹所4内に沈下収容され、気体圧送装置により筒状体1内に気体を送入した使用時には、凹所4から浮上して両端堤壁間を閉鎖するように港口近傍の海底に係留具を介して係止する。	外部に配置された気体圧送装置に連通させた筒状体1を、筒状体1内の気体を排気した不使用時には、 港口の両端堤壁間の床部16に形成された凹所4内に沈下収容され、気体圧送装置により筒状体1内に気体を送入した使用時には、凹所4から浮上して両端堤壁間を閉鎖するように港口近傍の海底に係留具を介して係止したことを特徴とする 浮沈自在堰。		D	可動	E02B 3/06	2D018 BA17 BA21、 2D118 AA01 AA02 AA12 BA03 BA05 BA07 BA14 BA15 CA03 DA04 FA01 FA04 FB33 GA07 JA12
特開平10-152820	津波用防波装置	特願平8-327721	大石 正一	1996.11.22	未			【課題】津波発生時に港湾等の沿岸部を津波の被害から効果的に保護する。 【解決手段】海中における海岸の近傍に堰状体(1)を配設し、堰状体は陸側縁部(1a)を回転中心として上下方向に回転自在となすと共に堰状体が略直立状態になったときに堰状体を固定する固定手段(3)を設け、堰状体は陸側縁部を重くすると共に残部を中空部(5)となし、中空部における陸側縁部の近傍には外部に通ずる透孔(9)を形成し、透孔は堰状体が伏臥した状態にあるときに中空部の底部に位置するようになし、中空部における海側縁部(1b)には堰状体が所定の角度まで上方に回転したときに開く開閉蓋(11)を取り付ける。	海中における海岸の近傍に堰状体を配設し、堰状体は陸側縁部を回転中心として上下方向に回転自在となすと共に堰状体が略直立状態になったときに堰状体を固定する固定手段を設け、堰状体は陸側縁部を重くすると共に残部を中空部となし、堰状体は常時は中空部内に海水が満たされた状態で海底に伏臥し、中空部における陸側縁部の近傍には外部に通ずる透孔を形成し、透孔は堰状体が伏臥した状態にあるときに中空部の底部に位置するようになし、中空部における海側縁部には堰状体が所定の角度まで上方に回転したときに開く開閉蓋を取り付けたことを特徴とする津波用防波装置。		D	可動	E02B 3/04 、E02B 7/40	2D018 BA11、 2D019 CA01、 2D118 AA11 AA23 CA03 DA05 FA06 JA07
特許-3813283 特開平10-204851	可撓性膜構造物の起伏制御装置	特願平9-10365	ブリヂストン 清水建設	1997.01.23	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】緊急時に可撓性膜構造物の起伏を遠隔操作により迅速かつ確実に制御する可撓性膜構造物の起伏装置を提供する。 【解決手段】河川を横切って敷設されたゴム堰本体10は流体の供給により起立し、排出により倒伏する。緊急時に電話機20等から識別番号が含まれる緊急信号が電話回線網18を経て電話機14へ供給される。マイコン12は電話機14とゴム堰本体10のコンプレッサ26とに接続され、電話機14の緊急信号によりコンプレッサ26が駆動し、ゴム堰本体10を起伏させる。従って、電話回線網を利用した遠隔操作により制御されるので、大雨等の緊急時に作業者がマイコン12を備える制御装置まで出向く必要がなくなり、迅速かつ確実に制御できる。また、作業者が崖崩れ等のおそれがある現場に近づく必要がなくなるので、作業者自身の危険が事前に回避される。	河川又は海岸に敷設され、流体の供給によって起立し、排出によって倒伏する可撓性膜構造物と、可撓性膜構造物へ流体を給排する給排手段と、緊急時に有線通信又は無線通信により電話回線網を経て供給される識別番号が含まれた緊急信号を受信する受信手段と、受信手段に接続され、予め記録された識別番号と緊急信号の識別番号とを照合し一致した場合に受信手段で受信された受信信号に基づき給排手段を駆動し、可撓性膜構造物を起立又は倒伏させる制御手段と、を有し、受信手段で複数の受信信号が受信された場合に、受信信号で指示された状態と現在の可撓性膜構造物の状態が同じか否かを判断し、同じ場合にはその旨を報知し、異なる場合には、複数の受信信号に対応する複数の作業者に予め付された優先順位に基づき、この優先順位が上位の作業者からの既になされた指示による可撓性膜構造物の状態が継続している場合に下位の作業者の制御を禁止することを特徴とする可撓性膜構造物の起伏制御装置。		D	可動	E02B 7/20 、E02B 7/20 103B 、E02B 7/20	2D019 AA36

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査 請求	査定 種別	権利 抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用 部位	形式	IPC	Fターム
特開2000-282434	津波防波堤	特願平11-90996	日立造船	1999.03.31	未			【課題】航路を妨害することなく、津波が来たときに、防波堤の開口を封鎖することができる津波防波堤を提供することを目的とする。 【解決手段】本発明の津波防波堤1は、津波が湾内に入ることを防止するために、船が行き来する防波堤P、Pの開口P1に設けられ、津波が来たときに海面に浮上させる浮力体2と、この浮力体2に一端が設けられ、他端が海底部に固定された膜状部材4と、浮力体2を通常時は海底部に沈降させた状態を維持し、津波が来たときに海面に浮上させる沈降浮上機構3とを備えたものである。	船が行き来する防波堤の開口に設けられ、津波が湾内に入ることを防止する津波防波堤であって、津波が来たときに海面に浮上させる浮力体と、この浮力体に一端が設けられ、他端が海底部に固定された膜状部材と、浮力体を通常時は海底部に沈降させた状態を維持し、津波が来たときに海面に浮上させる沈降浮上機構とを備えたことを特徴とする津波防波堤。		D	可動	E02B 3/06	2D018 BA11、 2D118 AA11 AA14 BA14 DA04 DA05 FA01 FA04 FB33 GA15 JA13 JA18
特許-4180213 特開2001-182042	流木止め	特願平11-370469	JFE建材	1999.12.27	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】流木止めの構築に際しては、樹木の伐採や山の切り崩しを行なう必要はほとんどなく、しかも、流木止めの構築後は、捕捉体と基台上の浮体が現われるだけなので、自然破壊や景観を損ねる恐れは極めて少ない。更に、副ダムを構築する場合に比べて工費が格段に安価に済む。 【解決手段】洪水時に流木の発生が予想される谷5の底部6に固定される基台4と、谷5間に張り渡される捕捉体7と、捕捉体7に固定される浮体9とを備えている。常時において、浮体9は、捕捉体7を介して基台4に收容される。一方、洪水時において、浮体9は、その浮力により基台4から離れて捕捉体7と共に流水上に浮く。かくして、捕捉体7が谷5間に張り渡され、もって、洪水時に谷5に自然に流木止めが設置される。	洪水時に谷の上流から流れてくる流木を捕捉するための流木止めにおいて、谷の底部に固定される基台と、谷の両側部間に張り渡される捕捉体と、捕捉体に固定される浮体とを備え、常時において、浮体は、浮体が捕捉体に取り付けられた状態で基台に收容され、一方、洪水時において、浮体は、その浮力により基台から離れて捕捉体と共に流水上に浮き、かくして、捕捉体が谷の両側部間に張り渡され、もって、洪水時に谷に自然に流木止めが設置されることを特徴とする流木止め。		D	可動	E02B 8/00	
特許-4000513 特開2004-3238	高潮防止用水門	特願2002-195240 (P2002-195240)	不動テトラ	2002.05.31	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】航路、湾口、河口部等を横断する大型の高潮防止用水門。 【手段】海底沈設の台座1と、台座1に起伏自在に取り付けた鋼殻構造のゲート本体2と、ゲート本体2の鋼殻内への給・排水と給・排気を行う陸上設置の動力設備とを備え、ゲート本体2の前側には、水平伏倒位置から起立したゲート本体2を所定の前屈み姿勢に保持する2つ折り構造のタイバー4と、ゲート本体2の下方への漂流物の侵入を防ぐ巻取り・収納式の漂流物防止網6を設け、また、タイバー4には、ゲート本体2の急激な起立を防止し、かつ、タイバー4を伸長状態に固定する伸縮式の緩衝装置5を付設した。	海底沈設の台座と、台座に起伏自在に取り付けられた鋼殻構造のゲート本体と、ゲート本体の鋼殻内への給・排水と給・排気を行う陸上設置の動力設備とを備え、ゲート本体の前側には、水平伏倒状態から起立したゲート本体を所定の前屈み姿勢に保持する2つ折り構造のタイバーと、ゲート本体の下方への漂流物の侵入を防ぐ巻取り・収納式の漂流物防止網が設けられ、また、タイバーには、ゲート本体の急激な起立を防止するとともに、タイバーを伸長状態に固定する伸縮式の緩衝装置が付設されていることを特徴とする高潮防止用水門。		D	可動	E02B 7/40	2D019 CA05

資料－5														
陸上の対象構造物位置での津波の減勢に効果があると思われる先行出願リスト(26/35)														
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特許－3958170	堤体及び構造物の保護設備	特願2002-280852 (P2002-280852)	三菱重工業	2002.09.26	有	登録	本権利は抹消されていない	【課題】常時は没水された状態であって、水路や景観の障害にならずとも、急激な水位上昇に即応して水の浸入領域内への水の浸入を遮断するとともに、メンテナンスや再使用が容易となる堤体及び構造物の保護設備を得ること。 【解決手段】港湾入口位置の海底にあって上下方向に延在し、間隔を隔てて埋設されている複数の鞘管15と、これら各鞘管15の中空部16を上下方向移動可能となるように収納されている鋼管17と、隣接する鋼管17間に配設されている膜体18と、空気供給装置から供給される空気を鋼管17内部に流通させる配管20と、膜体18の海底側端部を海底に固定するアンカー21とから構成されて、鋼管17は、その海面側端部に閉止壁24と弁体28とを備えている堤体及び構造物保護設備。	水位が上昇したときの水の浸入を阻止する堤体であって、水の浸入領域内に間隔をおいて設置され、その内部にそれぞれ中空部を有する複数の支柱と、これら支柱間に渡って張られた膜体と、水の浸入領域内に水が浸入したときに各支柱の中空部に気体を供給して、これら支柱を気体の浮力によって浮上させる気体供給装置とを備え、支柱は、常時は中空部に水が充填されて水底近傍位置まで水没した状態であって、気体供給装置から供給される気体が中空部の水と置換されることにより、支柱が水上に向けて浮上することを特徴とする堤体。		D	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D018 BA11、2D118 AA11 AA12 BA05 CA03 FA02 FA04 GA18 JA13
特開2006-46027	遮水型可動式防波堤	特願2004-232387	大林組	2004.08.09	有			【課題】港口閉鎖時には開放水域の完全閉鎖を可能とする遮水型可動式防波堤を提供する。 【解決手段】海底面に設けた基礎コンクリート2を貫通して海底地盤E内に鉛直に挿通され、かつ密集状態で基礎コンクリート2の表面に上面を開口させて配列された複数の下部鋼管4と、下部鋼管4に摺動可能に挿通され、かつ下面4が開口し上部が閉塞された上部鋼管6と、各上部鋼管6を下部鋼管4に沿って昇降させる駆動機構と、遮水マット10とを備え、上部鋼管6の上昇により遮水マット10が連動して上昇し、海面上WLに突出して、港内外を仕切る。港口閉鎖時には開放水域の完全閉鎖を可能とする遮水型可動式防波堤を提供する	海底面に設けたコンクリート基礎を貫通して海底地盤内に鉛直に挿通され、かつ密集状態でコンクリート基礎の表面に上面を開口させて配列された複数の下部鋼管と、下部鋼管に摺動可能に挿通され、かつ下面が開口し上部が閉塞された上部鋼管と、各上部鋼管を下部鋼管に沿って昇降させる駆動機構とを備えた可動式防波堤において、上昇位置にある上部鋼管間の隙間を閉塞する遮水マットを備えることを特徴とする遮水型可動式防波堤。		D	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D118 AA11 BA05 CA03 JA07
特開2006-89912	津波防波堤	特願2004-272647 (P2004-272647)	尾崎 憲正	2004.09.21	有	拒絶		【課題】費用や時間を削減でき、船舶の航行や、自然環境に影響を与えず、景観も損なわない津波防波堤を提供する。 【解決手段】防災上必要とされる高さを持ち、水上に浮上できる缶体1を成型しこれを堤体2とし、堤体の端部の一方3に堤体が軸垂直に海面4に沿って回転でき、軸方向もしくは、ほぼ軸方向に移動可能な回転支点5を設けるとともに、陸地部にこれと組み合わせることで堤体を軸垂直に海面に沿って回転でき、軸方向もしくは、ほぼ軸方向に移動可能な回転支点6を設け、堤体の他方の端部に近い位置の下より7に堤体を軸垂直に海面に沿って回転させることのできる推進装置8と堤体の内部あるいは外部に推進装置に動力を供給する原動機9を備え、堤体内に空気タンクを兼ね、水面下に開口10を持つ水タンク11、操作の容易な任意の位置に空気タンクに通じる排気弁12を持つ津波防波堤にする。	津波の衝撃に対して十分な強度を確保できる材料を用いて、防災上必要とされる高さを持ち、水上に浮上できる缶体1を成型しこれを堤体2とし、堤体の端部の一方3に堤体が軸垂直に海面4に沿って回転でき、軸方向もしくは、ほぼ軸方向に移動可能な回転支点5を設けるとともに、陸地部にこれと組み合わせることで堤体を軸垂直に海面に沿って回転でき、軸方向もしくは、ほぼ軸方向に移動可能な回転支点6を設け、堤体の他方の端部に近い位置の下より7に堤体を軸垂直に海面に沿って回転させることのできる推進装置8と堤体の内部あるいは外部に推進装置に動力を供給する原動機9を備え、堤体内に空気タンクを兼ね、水面下に開口10を持つ水タンク11、操作の容易な任意の位置に空気タンクに通じる排気弁12を持つことを特徴とする津波防波堤。		D	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 302	2D118 AA11 AA17 AA23 BA03 BA05 CA03 DA05 FA04 FB17 GA05 JA07

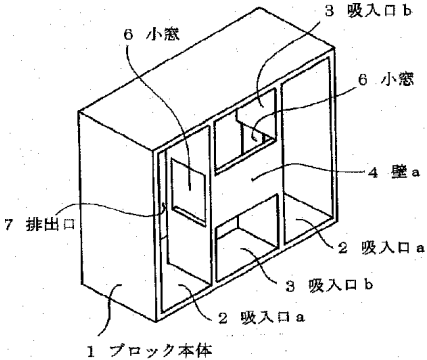
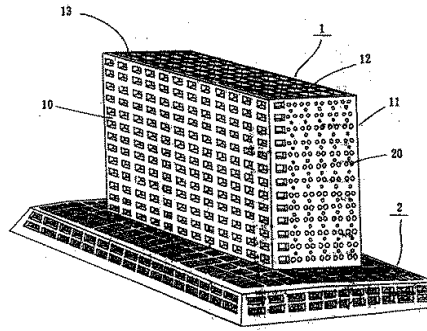
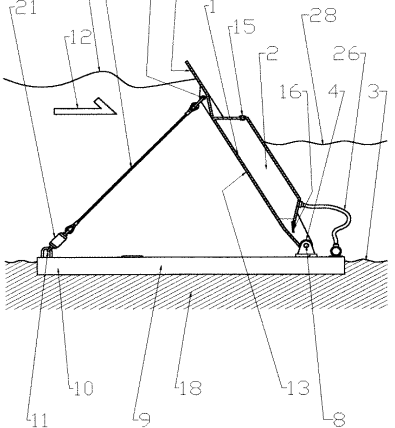
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2006-97418	起伏式ゲート	特願2004-287402 (P2004-287402)	日立造船	2004.09.30	有			【課題】テンションロッドによって扉体の転倒を防止する起伏式ゲートにおいて、扉体の起立時、テンションロッドに衝撃力を作用させず、かつ、最も短いテンションロッドに荷重を集中させないこと。 【解決手段】浮力の増減によって起伏する扉体2と、起立時、扉体2に大きな水圧荷重が作用した際に、扉体2の転倒を防止する複数のテンションロッド3を備える。複数のテンションロッド3のうち、適数のテンションロッド3と基台4との連結部にウェイト6を介在させる。このウェイト6が、扉体2の浮上後に、基台4との連結部を支点として回転すべく、このウェイト6と基台4及びテンションロッド3とをそれぞれ回転が自在なように枢支する。 【効果】扉体の起立時、テンションロッドに作用する張力を自動的に制御できることになって、テンションロッドに作用する衝撃力を緩和できる。	浮力の増減によって起伏する扉体と、起立時、扉体に大きな水圧荷重が作用した際に、扉体の転倒を防止する複数のテンションロッドを備え、複数のテンションロッドのうち、適数のテンションロッドと基台との連結部にウェイトを介在させると共に、このウェイトが、扉体の浮上後に、基台との連結部を支点として回転すべく、このウェイトと基台及びテンションロッドとをそれぞれ回転が自在なように枢支したことを特徴とする起伏式ゲート。		D	可動	E02B 7/44 、E02B 7/44	
特開2006-118299	横引式ゲートの開閉装置	特願2004-309440 (P2004-309440)	豊国工業	2004.10.25	有			【課題】構造を簡易にして、設置及びメンテナンス等を容易にすると共に、緊急時には自動でゲートをスライドさせる横引式ゲートの開閉装置を提供する。 【解決手段】横引式ゲートの開閉装置は、横方向にスライド可能で出入口11を開閉するゲート1と、このゲート1をスライドさせるテレスコープ型シリンダ2と、このテレスコープ型シリンダ2を駆動させるため圧力を供給するガス容器8と、テレスコープ型シリンダ2の駆動に連動してゲート1のロックを解除させるロック解除機構3とを少なくとも備え、テレスコープ型シリンダ2を駆動させると、これと同時に、ロック解除機構3が解除されて、ゲート1が自動でスライドして出入口11が全開できる構成であるので、構造を簡易にでき、設置及びメンテナンス等が容易となる。	横方向にスライド可能で出入口を開閉するゲートと、ゲートをスライドさせるテレスコープ型シリンダと、テレスコープ型シリンダを駆動させるため圧力を供給する圧力供給装置と、テレスコープ型シリンダの駆動に連動してゲートのロックを自動で解除させるロック解除機構とを少なくとも備えることを特徴とする横引式ゲートの開閉装置。		D	可動	E05F 15/06 、E02B 7/20 、E06B 5/00 、E02B 7/20 102 、E06B 5/00 Z	2D019 AA21 AA55 、2E039 AC04 、2E052 AA02 BA04 CA03 DA02 DB02 EA15 EB01 EC01 FA01 GA05 GB00 GB01 GC02 GC06 KA01
特開2006-257716	ゲートおよび水門	特願2005-75293 (P2005-75293)	西松建設	2005.03.16	有	拒絶		【課題】安価で、軽量で、かつ所定強度を有し、メンテナンスを不要とするゲートおよびゲートを備える水門を提供する。 【解決手段】本発明のゲートは、港口および河口に設けられる水門に用いられ、海水の流入方向に対向して突出するようにアーチ状に形成し、長手方向の中央部分の応力を低減させた鉄筋コンクリート構造物からなる。	港口および河口に設けられる水門に用いられるゲートであって、海水の流入方向に対向して突出するようにアーチ状に形成し、長手方向の中央部分の応力を低減させた鉄筋コンクリート構造物からなる扉体を備える、ゲート。		D	可動	E02B 7/34 、E02B 7/26 、E02B 7/26 Z	2D019 BA01

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2006-257841	津波水門	特願2005-80764 (P2005-80764)	尾崎 憲正	2005.03.18	未			【課題】費用や時間が節約でき、立地上の制約が少なく、確実に機能でき、操作する者に危険が及ぶことがなく、河川流や産業活動、また、景観や生物の生育環境に与える悪影響を抑えた津波水門を提供する。 【解決手段】河口附近の河床を平滑に成型し津波水門の基礎とし、河床に置いた基礎の上流側に設ける揺動支持部とこれと組み合わせる揺動支持部を備える止水板を川の流れに交差する方向に複数並列させ、止水板起立時に止水板の安定をはかる止水板起立姿勢保持機構および、隣り合う止水板相互を緩く結合する止水板連結機構を持つ津波水門とする。	水位の上昇を伴う異常時に起伏式の止水板を連ねて立てることにより水門とする形式の津波水門において、津波の溯上を阻止しようとする地点の河床を平滑に成型して津波水門の基礎とし、河床に置いた基礎の上流側に設ける軸水平に揺動できる揺動支持部と、これと組み合わせる揺動支持部を備える止水板を揺動支持部のある側を上流側とし、川の流れに交差する方向に複数並列させ、止水板起立時に止水板の安定をはかる止水板起立姿勢保持機構および、隣り合う止水板相互を緩く結合する止水板連結機構を持つ津波水門。		D	可動	E02B 7/22 、E02B 7/40	2D019 AA71 CA01 CA05
特開2006-257842	津波水門	特願2005-80765 (P2005-80765)	尾崎 憲正	2005.03.18	未			【課題】費用や時間が節約でき、立地上の制約が少なく、確実に機能でき、操作する者に危険が及ぶことがなく、河川流、生活や産業活動、また、景観や生物の生育環境に与える悪影響を抑えた津波水門を提供する。 【解決手段】河床を平滑に成型して津波水門の基礎とし、必要な流量を確保できる水位時の水面上に、基盤を河川の水流を横切る方向に設け、基盤に下層津波流止水板を河川の流れを横切る方向に取り付け、基盤に浮力体を取り付けた上層津波流止水板を揺動自在に取り付け、下層津波流止水板駆動機構を装備し、起立時の上層津波流止水板の起立姿勢を保持する上層津波流止水板起立姿勢保持機構を備えた津波水門とする。	水位の上昇を伴う異常時に、起伏式の止水板を立てて堤体とする形式の津波水門において、水門を設けようとする地点の河床を平滑に成型して津波水門の基礎とし、基礎上の河川や水路として必要な流量を確保できる水位時の水面上に、平行な2列の水平軸からなる揺動支持部を備える基盤を河川の水流を横切る方向に設け、基盤に備えた2列の揺動支持部のうちの1列に、上辺近傍に揺動支点を設けた下層津波流止水板を下層津波流止水板が最下位置にある状態で下辺が基礎に接触するようにして河川の流れを横切る方向に取り付け、基盤に備えた2列の揺動支持部のうちの残りに、浮力体を取り付けた上層津波流止水板を立てた状態で下端部となる付近に揺動支持部を設け揺動自在に取り付け、これらの下層津波流止水板と上層津波流止水板の揺動支持部近傍のそれぞれに、上層津波流止水板と下層津波流止水板との揺動方向を逆向きとし、上層津波流止水板の揺動が下層津波流止水板の揺動の動力となるように連結した下層津波流止水板駆動機構を装備し、起立時の上層津波流止水板の起立姿勢を保持する上層津波流止水板		D	可動	E02B 7/22 、E02B 7/40	2D019 AA71 CA01 CA05
特開2006-348611	可動式防波堤及び可動式防波堤の作動方法	特願2005-176968	大林組 新日鉄エンジニアリング 東亜建設工業 三菱重工 鉄構エンジニアリング株式会社	2005.06.16	有			【課題】風等の平穏時の海底に埋伏させた状態から荒天時や津波警報発令時等の異常時の海上に突出させた状態への上昇時、及び異常時の海上へ突出させた状態から平穏時の海底に埋伏させた状態への下降時の堤体の昇降速度を調整可能とし、かつ維持管理の容易な可動式防波堤を提供する。 【解決手段】港の内外を仕切る可動式防波堤1の海底地盤E内に外部鋼管4が直線上に埋設される。各外部鋼管4の上部側は基礎コンクリート2の表面側に開口され、各外部鋼管4内に内部鋼管6が昇降可能に挿通される。各内部鋼管6の底面は開口されるとともに、頂部は閉塞され、鋼管内部に中空部が形成される。外部鋼管4の内周上端部には、内部鋼管6の外周と外部鋼管4の内周との間に形成される隙間の開口率を調整して内部鋼管6の昇降速度を調整する開口率調整材7が脱着可能に設けられる。	港の内外を仕切る位置の海底面に設けた基礎コンクリートを貫通して海底地盤内に鉛直に挿通され、基礎コンクリートの表面に上面を開口させて直線配列された複数の外部鋼管と、各外部鋼管に昇降可能に挿通され、かつ下面が開口して上部が閉塞された内部鋼管と、各外部鋼管の底部に接続された給気用管と、給気用管を通じて各内部鋼管に給気するための給気装置とを備え、内部鋼管内への給気により内部鋼管に浮力を生じさせて海面上に突出させることにより港内外を仕切る可動式防波堤において、内部鋼管の外周と外部鋼管の内周との間に形成される隙間の開口率を調整するための開口率調整材を外部鋼管の内周に設けたことを特徴とする可動式防波堤。		D	可動	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D118 AA11 BA05 CA02 DA03 FB21 JA11

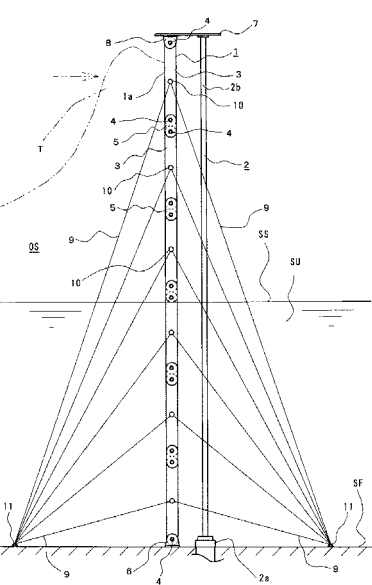
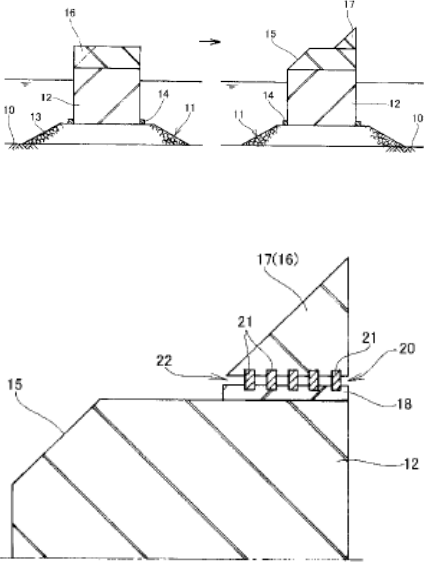
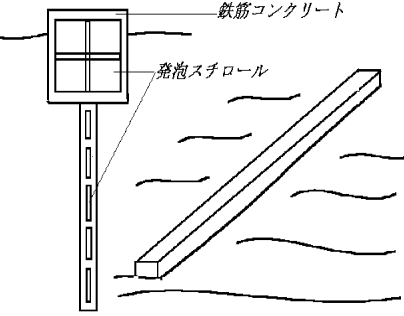
文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2007-211457	起伏式ゲート	特願2006-31311 (P2006-31311)	日立造船	2006.02.08	未			【課題】潮位の変動が比較的短周期の風波の場合も、その進入を効果的に防止すること。 【解決手段】起立時に外力を受けて揺動する扉体2に、外力による扉体2の転倒を防止するための、中間で二つ以上に折り曲げが自在なテンションロッド3を複数本備えさせた起伏式ゲート1である。複数のテンションロッド3に、波力によって発生する波圧を受ける平板7を設ける。 【効果】波高伝達率を低減することができる。また、起伏式ゲートの津波に対する耐久性も向上する。	起立時に外力を受けて揺動する扉体に、外力による扉体の転倒を防止するための、中間で二つ以上に折り曲げが自在なテンションロッドを複数本備えさせた起伏式ゲートであって、複数のテンションロッドに、波力によって発生する波圧を受ける平板を設けたことを特徴とする起伏式ゲート。		D	可動	E02B 7/40	2D019 CA05
特開2007-239234	津波対策構造	特願2006-60397 (P2006-60397)	鹿島建設	2006.03.07	未			【課題】小規模で津波来襲時に素早く作動する津波対策構造を提供する。 【解決手段】橋梁3の橋脚5a、5bは鉛直方向に溝部7a、7bを有し、溝部には柱体9a、11aがA1、A2方向に移動可能に設けられている。柱体9aと柱体11aの間には柱体13a、13b、13c、13d、13eが設けられており、柱体13a、13b、13c、13d、13eを挿通して連結板15a、15bが設けられている。連結板15a、15bの両端は柱体9a、11aに固定されている。津波来襲時は、柱体9a、11aをA1方向に移動させると、連結板15a、15bは柱体9a、11aと一体になってA1方向に移動し、水面下に沈降する。柱体13a、13b、13c、13d、13eは連結板15a、15bに拘束されているため、A1方向に移動して水面下に沈降する。	水上に設けられた橋梁に設けられ、鉛直方向に移動可能な一对の第1の柱体と、一对の第1の柱体の間に設けられ、スリットを有する第2の柱体と、第2の柱体のスリットを挿通して設けられ、両端が一对の第1の柱体に固定された連結板と、からなり、一对の第1の柱体を下降させることにより、第2の柱体および連結板を水中に沈降させることを特徴とする津波対策構造。		D	可動	E02B 3/04 、E01D 19/02	2D059 GG00 、2D118 AA11 BA03 BA05 CA02 CA06 DA08 FA06 FB03 FB19 JA05 JA07 JA11
特開2008-50767	可撓性膜堰及び可撓性膜堰の製造方法	特願2006-225269 (P2006-225269)	ブリヂストン	2006.08.22	未			【課題】従来よりも信頼性に優れる可撓性膜堰を提供すること。 【解決手段】河床14及び法面16に取り付けられ、内部に流体を供給することで起立し、内部の流体を排出することで倒伏する袋状のゴムシート20を有するゴム堰10であって、ゴムシート20が、河川の流れ方向に連続して延びる複数本の第1補強コード24Aを被覆ゴムに埋設した第1補強ゴム層24と、河川の流れ方向と直交する方向に連続して延びる複数本の第2補強コード26Aを被覆ゴムに埋設した第2補強ゴム層26と、最外層に配置される外皮ゴム層22と、を備えたことで、従来よりも損傷がする可能性が低くなり、信頼性に優れる。	底面及び底面の両側に位置する法面に取り付けられ、一方の法面から他方の法面に向かって横断し、内部に流体を供給することで起立し、内部の流体を排出することで倒伏する袋状の可撓性膜を有する可撓性膜堰であって、可撓性膜が、第1の方向に連続して延びる複数本の第1の補強コードを被覆ゴムに埋設した第1の補強ゴム層と、第1の補強ゴム層に重ねられ、第1の方向と交差する第2の方向に連続して延びる複数本の第2の補強コードを被覆ゴムに埋設した第2の補強ゴム層と、最外層に配置される外皮ゴム層と、を備えることを特徴とする可撓性膜堰。		D	可動	E02B 7/20 、E02B 7/20 103Z	2D019 AA31

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2008-133602	昇降式波浪防護構造物	特願2006-318828 (P2006-318828)	清水建設	2006.11.27	未			【課題】大掛かりな設備を用いることなく昇降させることができ、且つ昇降の制御を容易に行うことができる昇降式波浪防護構造物を提供することを目的とする。 【解決手段】地中に鉛直に設けられた複数の収納孔2の中に柱状体3が昇降可能にそれぞれ挿装された構成からなり、柱状体3を昇降手段4により昇降させることで、柱状体3の上部が収納孔2の上端から突出され、或いは、収納孔2の中に収納される昇降式波浪防護構造物1において、昇降手段4には、収納孔2の底部と柱状体3の下端部との間に設けられた鉛直方向に膨縮可能な袋体10と、袋体10の中に流体を圧入して袋体10を鉛直方向に膨張させ、また、袋体10の中の流体を排出して袋体10を鉛直方向に収縮させる膨縮手段11と、が備えられている。	地中に鉛直に設けられた複数の収納孔の中に柱状体が昇降可能にそれぞれ挿装された構成からなり、柱状体を昇降手段により昇降させることで、柱状体の上部が収納孔の上端から突出され、或いは、収納孔の中に収納される昇降式波浪防護構造物において、昇降手段には、収納孔の底部と柱状体の下端部との間に設けられた鉛直方向に膨縮可能な袋体と、袋体の中に流体を圧入して袋体を鉛直方向に膨張させ、また、袋体の中の流体を排出して袋体を鉛直方向に収縮させる膨縮手段と、が備えられていることを特徴とする昇降式波浪防護構造物。		D	可動	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D118 AA11 BA03 BA05 CA03 CA04 DA05 GA19 JA07 JA11
特公平6-63210 特開昭61-294009	エネルギー消散素子を備えている越流タイプの堤防	特願昭61-126261	ペドウロ スアレツ ボレス	1986.05.31	有	登録	年金 不納 による抹 消	【目的】大きな短寿命の波(大波、航跡等)の波作用のエネルギーを完全に消散できるエネルギー消散用オーバーフロー型保護装置を提供する 【効果】所定の高さの全ての波をオーバーフローさせ得るから、垂直または防波堤型のいずれにおいても、装置の安定性は従来の通常の装置に比べて大である。プラットフォームおよびエネルギー消散装置の頂端が海より余り高くなく、視野が遮ぎられることがない 【産業上の利用分野】堤防用エネルギー消散オーバーフロー型保護装置に関する	岸から離れた位置に配置され、岸側の内部ゾーンと外部側の外部ゾーンに水を区画する堤防であって、その上面には、平均的高さが平均的水面に近い高さのプラットフォームを形成して大きな波はその上を越流させるようにしてある越流タイプの堤防において、上記プラットフォーム上には、上記の越流する波の衝突する領域が鉛直面の場合に比較して広くなり、かつ波が衝突している時間が鉛直面に接する場合より永くになって、上記外部ゾーンから越流して内部ゾーンへ向う上記の波の衝突作用を減少させるように水平断面幅を変化させたエネルギー消散素子を相互に間隔を取って多数配置して、上記多数のエネルギー消散素子相互間に夫々形成される水平断面幅が変化している各空間においては、上記外部ゾーンから内部ゾーンに向けて流れる波が通過する過程でエネルギーが消散されるようにしてあることを特徴とするエネルギー消散素子を備えている越流タイプの堤防。		E	固定	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D018 BA11、 2D118 CA02 AA11 JA11 GA01 FB12 JA07 FB01
特許-2842955 特開平4-336105	防波堤または護岸のかさ上げ方法	特願平3-137217	熊谷組	1991.05.13	有	登録	年金 不納 による抹 消	【目的】簡易な方法より防波堤や護岸を拡幅すると同時にその天端をかさ上げする方法を提供する。 【構成】堤体1の天端と沖側の壁面とに跨がって、断面形状がL字形のプレキャスト板2がアンカーボルト3等の定着手投により、堤体1に固定される。プレキャスト板2は、重量増加により滑動に対して抵抗力を有し、また、転倒に対しても重量増加の他に、L型形状のため重心位置が波力を受ける側に寄るため抵抗力が大きいから、外力に対する安定度が高まる。 【産業上の利用分野】本発明は、年月の経過により沈下した防波堤や護岸の機能を回復させるために、或いは、地球の温暖化により海面が上昇すると予想されるときに、防波堤や護岸をかさ上げする方法に関するものである。	既存の防波堤または護岸に、当防波堤または護岸の天端と水中側となる壁面とに跨がって一体的に成形されたプレキャスト板であって、水中側に位置するプレキャスト板の長さが防波堤または護岸の天端から底面近傍までの長さを有するプレキャスト板を、防波堤または護岸に定着することを特徴とする防波堤または護岸のかさ上げ方法。		E	固定	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D018 BA11、 2D118 AA11 AA28 BA03 BA07 FA06 FB12 FB39 GA01 HA48

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特許－ 3199928	カーテン ウォール壁体	特願平5－ 243368	新日本製 鐵	1993.09.29	有	登録	年金 不納 による抹 消	【目的】防波堤や護岸等に用いられるカー テンウォール壁体ユニットを簡単な作業で確 実に固定する。 【構成】法線方向に所定間隔を隔てて設け られた杵材1の溝内面間Bに嵌挿可能な厚 さB1 で、かつ片側の上下の角をテーパ ー状に形成した複数の壁体ユニット3を、テー パー面4を対向させて杵材1間に落とし込んだ壁体。	法線方向に所定間隔を隔てて設けられた溝を 有する杵材に、杵材の溝内面間に嵌挿可能な 厚さで、かつ片側の上下の角をテーパ ー状に形成した複数の壁体ユニットを、テー パー面を対向させて杵材間に落とし込んで壁体を構築 した事の特徴とする カーテンウォール壁体。		E	固定	E02B 3/06	2D018 BA11、 2D118 AA11 AA28 BA03 BA05 CA02 CA03 DA05 FA06 FB02
特開平7－ 113216	津波防波堤	特願平5－ 281900	清水建設	1993.10.15	未			【目的】浅海域において、津波のエネル ギーを有効に減衰させる。 【構成】堤体10の天端面のほぼ中央位置を 切欠いて津波の一部を越波させる越流開口 20を設ける。このとき越流開口20の底部に 鋸歯状の粗度面21を形成し、堤体10を津 波来襲のおそれのある湾部の浅海域に設置 する。	堤体天端面の所定位置を切欠いて津波の一部 を越波させる越流開口を設け、 越流開口の周面の少なくとも一部に粗度面を 形成し、 堤体を津波来襲のおそれのある湾部の浅海 域に設置するようにしたことを特徴とする 津波防波堤。		E	固定	E02B 3/06	2D018 BA11、 2D118 AA07 AA11 BA01 BA03 BA05 CA03 FB12 GA01 HD01 JA01
特開平10－ 298952	防波堤およ び波エネル ギーの減衰 方法	特願平9－ 120291	大成建設	1997.04.23	未			【課題】浮力を利用して堤高を変更させるこ とにより、景観を損ねることのない、防波堤を 提供する。 【解決手段】波エネルギーを減衰させる堤 体よりなる防波堤において、堤体に、浮力を 付与した昇降防波板を昇降自在に設けたこ とを特徴とする、防波堤およびこれを用いた 波エネルギーの減衰方法である。	波エネルギーを減衰させる堤体よりなる防波堤 において、 堤体に、浮力を付与した昇降防波板を昇降自 在に設けたことを特徴とする、防波堤。		E	可動	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D018 BA11、 2D118 AA11 AA23 CA02 CA03 FA06 JA07

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2002-61151	津波ブロック	特願2000-291225 (P2000-291225)	谷口 允宏	2000.08.21	未			【課題】従来の技術にあっては高波や津波に対して具体的な対策案がなく、大災害を引き起こしていた。堤防や海岸線に積み上げて高波や津波のエネルギーを慣性の法則により波の威力を落とし、多量の水が堤防や海岸線を越えないようにするための構造物からなるブロックを提供するものである。 【解決手段】ブロック本体は、波を受ける吸入口と吸入口から入った波が衝突する壁を設け、壁に衝突した波は空間を通過すると同時に排出口から排出される構造としたことを特徴とする津波ブロック。	ブロック本体(1)の正面両側に間口の大きい吸入口a(2)(2)と背面部に壁b(5)(5)を設け、ブロック本体(1)の背面中央部に排出口(7)を設け、ブロック本体(1)の中空柱を設けて中空柱正面に間口の小さい吸入口b(3)(3)と壁a(4)を設け、中空柱の両側面に小窓(6)(6)を設け、中空柱背面部と壁b(5)(5)との間に空間(A)を設けた構造からなることを特徴とする津波ブロック。		E	固定	E02B 3/14、E02B 3/14 302	2D018 EA24、2D118 AA11 AA18 CA04 GA01 HA12 HD01 HD04 CA02
特開2005-201026	津波エネルギー減殺用等の構造物	特願2004-39013 (P2004-39013)	西内 昭夫	2004.01.15	未			【課題】近年、予測される津波発生に対し、避難施設や住民への避難方法の指導などが実施されているが、このことは人命救助面から重要な対策である。一方、津波防御対策として、捨石や消波ブロックなどを積上げるなどして海岸防波堤や離岸堤の設置なども行われている。しかし、このような対策だけでは、津波の上陸を防ぐことは困難で、住民の生命を危うくしたり、また、住民や公共の財産を破壊し地域に重大な損害を及ぼすことになりかねない。 【解決手段】そこで、図1に示すように、この発明では、海岸線とほぼ平行にその一定距離の沖合に基礎マウンド部2を設け、その上に予想される連続波にも対応できる高さの直立堤体部1を設置し、さらに、この壁面に入射波通過窓を開け、津波エネルギーの概ね70%以上を減殺させ、初期の目的を達成させる。またこの構造物は、人工魚礁として、魚介類の食物連鎖及び棲み分けをも促進させるものである。	海岸線とほぼ平行に、同海岸線より一定距離沖合にマウンド部を設置し、その上に直立堤体部を設け、この直立堤体部は、入射波が透過可能なように、各壁面に四角型や丸型の開口窓を設け、各壁面に対する開口窓の面積割合は、一定割合を設定して、原則として外洋側壁面から海岸側壁面へと、そして、左右端側壁面から中央部へ移動するにしたがって面積割合は小さくなる傾向を有し、また、直立堤体部の天端面までの高さ、外洋側壁面の左右長さ、奥行き長さなどは、津波エネルギーの減殺効果、海底地形、海岸までの距離などにより決まり、天端面の高さは、予測される津波に耐えられる高さが必要であり、この直立堤体部間の設置間隔は、船等の航行が可能なことなどを特徴とする津波エネルギー減殺用等の構造物。		E	固定	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D018 BA12
特開2005-207220	津波防波堤	特願2004-263556 (P2004-263556)	尾崎 憲正	2004.09.10	有	拒絶		【課題】費用や時間を削減でき、船舶の航行や、自然環境や漁業に深刻な影響を与えず、景観も損なわない津波防波堤を提供する。 【解決手段】波受け板1に気体の浮力により海中で波受け板の重量を支えて起立することのできる容積を持つ気室2を設け、波受け板を海底3から起立させた際に下側となる辺の端部付近に、波受け板を揺動させる波受け板側の支点4と、波受け板を海底から起立させた際に上側に位置する辺の端部5付近に、波受け板姿勢保持索、もしくは、波受け板姿勢保持網6取り付け支点7を配置するとともに、波受け板側の波受け板を揺動させる支点4に対応する位置に支点8を持つ堅固な波受け板支持基盤9と波受け板を揺動自在に組み合わせ、波受け板姿勢保持索、もしくは、波受け板姿勢保持網6で波受け板支持基盤9の沖側10に寄った地点に置く支点11と波受け板側の取り付け支点7とを結び、海中に沈設する。	津波の衝撃に対して十分な強度を確保した波受け板1に、外部からの操作により気体の供給が受けられ、気体の浮力により海中で波受け板の重量を支えて起立することのできる容積を持つ気室2を設け、波受け板を海底3から起立させた際に下側となる辺の端部付近に、波受け板を揺動させる波受け板側の支点4と、波受け板を海底から起立させた際に上側に位置する辺の端部5付近に、後述する波受け板姿勢保持索、もしくは、波受け板姿勢保持網6取り付け支点7を配置するとともに、波受け板側の波受け板を揺動させる支点4に対応する位置に支点8を持つ堅固な波受け板支持基盤9から成り、波受け板支持基盤9上の支点8と波受け板1上の支点4を揺動自在に組み合わせ、ワイヤーロープ製、鎖、繊維ロープ製あるいは、金属棒製の波受け板姿勢保持索、もしくは、ワイヤーロープ、鎖、繊維ロープから成る波受け板姿勢保持網6で波受け板支持基盤9の沖側10に寄った地点に置く支点11と波受け板側の取り付け支点7とを結び、波受け板の揺動軸を津波の進行方向12に対し鉛直もしくは、略鉛直、かつ水平に向け、波受け板面13を下方に傾斜させ、波受け板姿勢保持索、もしくは、波受け板姿勢保持網6のある側を沖に向けて海中に沈設し、平時には、波受け板1を波受け板支持基盤9上に畳んだ状態で格納する津波防波堤。		E	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 302	2D118 AA11 AA23 AA26 BA03 BA04 BA14 CA03 CA07 JA11 JA15

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2006-124910	津波防波堤	特願2004-296698 (P2004-296698)	尾崎 憲正	2004.10.08	未			【課題】費用や時間が節約でき、立地上の制約が少なく、災害防止効果が優れ、生活や産業活動、また、景観や生物の生育環境に与える悪影響を抑えることのできる津波防波堤を提供すること 【解決手段】堤体と平行かつ水平となる軸4を持つ支点5を備えた揺動自在な止水板1を設け、止水板下方には基礎36を設け、基礎の側縁部7附近に止水板上の支点5に対応して止水板が揺動できる支点8を設置し、止水板起立用シリンダー9を備え、止水板起立用シリンダーの上部10を止水板裏側11または止水板上辺部37に取り付け、他方、止水板起立用シリンダーの下部12を基礎凹部38内に取り付ける。	水位の上昇が予測される異常時に、流体の圧力を用いて可動式の止水板1を連ねて立てることにより堤体2とする形式の津波防波堤において、堤体の展開時に下側に位置する辺部附近3に堤体と平行かつ水平となる軸4を持つ支点5を備えた揺動自在な止水板1を設け、止水板下方には中央部附近に凹部を持ち、止水板の重量と津波の衝撃を受け止めることのできる基礎36を設け、基礎の側縁部7附近に止水板上の支点5に対応して止水板が揺動できる支点8を配置し、流体の圧力で止水板を支えて伸縮できる止水板起立用シリンダー9を止水板起立用シリンダーの上部10が止水板裏側11または止水板上辺部37に、止水板起立用シリンダーの下部12が基礎凹部38内に位置する関係に取り付けた津波防波堤。		E	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D118 AA11 AA12 AA23 AA25 CA03 CA06 JA06 JA11
特開2006-241912	津波防波堤。	特願2005-61708 (P2005-61708)	佐伯 譲一 佐伯 政之	2005.03.07	未			【課題】現在の低い防波堤では、台風時に高潮強風波浪のため簡単に越波するし、或いは防波堤開口部からの波浪侵入も港内に停泊する漁船には危険過ぎるので、この状態を改善するために防波堤開口部の効果的な封鎖設備を提供する。 【解決手段】平時には漁港防波堤開口部に於ける漁船の出入航行の自由を確保すると共に、津波、台風時には防波堤開口部を閉鎖し、津波の越波を許さず、波浪の侵入をも防ぐ津波防波堤を開口部に設置する。	船が出入りする漁港防波堤開口部に設けられ、津波や台風の高潮などが港内に入ることを防ぐ津波防波堤について、堤防先端部に設置されたる起重機、又は、クレーンにて開口部が封鎖出来るように加工されたH鋼を海底部に沈降さし、重層的に積み上げて堤防開口部を封鎖し、津波、高潮など波浪の港内侵入や越波を防ぎ、平常時にはH鋼を開口部海底より撤去し、船出入の航行自由が保障されたることを特徴とする津波防波堤。		E	可動	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D118 AA11 AA28 CA03 JA07
特開2006-249914	津波防波堤	特願2006-5293 (P2006-5293)	尾崎 憲正	2006.01.12	未			【課題】費用や時間を削減でき、船舶の航行や、自然環境に影響を与えず、景観も損なわない高性能な津波防波堤を提供する。 【解決手段】海面に浮上させる浮体から不透水性の幕体を垂らして膜体の下縁部を海底に固定するとともに、浮体の沖側海底に置く固着点と浮体とを複数の繫留索で結び、浮体中心を幕体下縁部海底固着点の直上海面より平時の満潮時水深の50パーセントに相当する距離以上沖側に位置するように配置し、浮体中心から海底に垂らす幕体の下縁部海底固着点までの寸法を津波襲来時に想定する水深に加えて水深の50パーセント以上長くしたものとすることを特徴とし、浮体の浮上沈降機構を持ち、平時は海底附近に沈設格納して津波の来る前に浮上展開させる津波防波堤とする。また、浮体を可撓性膜製の気嚢や硬質の気体容器にしたり、浮体の浮上に化学変化により発生するガス体を利用する。	海面に浮上させる浮体から不透水性の幕体を垂らして膜体の下縁部を海底に固定するとともに、浮体の沖側海底に置く固着点と浮体とを複数の繫留索で結び、浮体中心を幕体下縁部海底固着点の直上海面より平時の満潮時水深の50パーセントに相当する距離以上沖側に位置するように配置し、浮体中心から海底に垂らす幕体の下縁部海底固着点までの寸法を津波襲来時に想定する水深に加えて水深の50パーセント以上長くしたものとすることを特徴とし、浮体の浮上沈降機構を持ち、平時は海底附近に沈設格納し、津波の来る前に浮上展開させる津波防波堤。		E	可動	E02B 3/06、E02B 3/06、E02B 3/06 302	2D118 AA11 AA23 AA25 AA28 BA20 CA03 DA04 FA01 FA04 FB33 GA18 JA18

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2007-247250	津波防波装置	特願2006-71911 (P2006-71911)	石川 明	2006.03.16	未			【課題】設置や構造が比較的簡単な津波防波装置を提供する。 【解決手段】海中SUに折り畳み状態で沈設され、海底SFより海面SS上方へわたって展開可能な障壁1を、障壁1の折り畳み状態及び展開状態に対応して上下に伸縮する障壁変形操作手段2に連動させたものであり、津波T等の発生時に、障壁変形操作手段2にて展開させた障壁1により津波T等の衝撃を受け止め、陸上への津波T等による海水の侵入を阻止する。	海中に折り畳み状態で沈設され、海底より海面上方へわたって展開可能な障壁を、障壁の折り畳み状態及び展開状態に対応して上下に伸縮する障壁変形操作手段に連動させたことを特徴とする津波防波装置。		E	可動	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D118 AA11 CA02 DA03 FB01 JA05 JA11 JA15
特開2008-106428	既存防波堤の嵩上げ方法	特願2006-287192	五洋建設	2006.10.23	未			【課題】防波堤などの堤体について、津波や高潮に対して防波機能に優れ、かつ構造安定性に優れた既存防波堤の嵩上げ方法を提供する。 【解決手段】直立した前面を有する既存防波堤の堤体前面上部を斜めに切断除去することにより上側が堤体天端後部側に傾斜した堤体前部傾斜面を形成し、該既存防波堤の堤体上に、複数の柱状連結部材を介して嵩上げ部を設置することにより、上記堤体上に空隙を介在させて嵩上げ部を一体化させる。	直立した前面を有する既存防波堤の堤体前面上部を斜めに切断除去することにより上側が堤体天端後部側に傾斜した堤体前部傾斜面を形成し、既存防波堤の堤体上に、複数の柱状連結部材を介して嵩上げ部を設置することにより、上記堤体上に空隙を介在させて嵩上げ部を一体化させることを特徴とする既存防波堤の嵩上げ方法。		E	固定	E02B 3/06 、E02B 3/06 301	2D118 AA11 AA12 BA03 DA05 FB12 GA02
特開2003-27443	防波ブイ	特願2001-217241 (P2001-217241)	梶山 浩嗣	2001.07.17	未			【課題】波による海岸の浸食で道路や土地が侵されて国民生活や経済活動が危険にさらされ造っては浸食され造っては浸食され万年工事をしている個所が多々見受けられます。多額の建設費用を削減する為に考案した構造物です。 【解決手段】コンクリート、鉄筋、発泡スチロール、を使用した構造で体積比重0.7位に作ります。海岸から1-2キロメートル沖合いに鎖で固定して設置すれば波は弱まり海岸の浸食は防げられると思われます。地震の津波に対しても弱体化することが出来る可能性があります。海水浴場などでも高波防止に役立ち安心して遊べると思います。	コンクリート、鉄筋、発泡スチロール、を使用した構造で体積比重0.7位に作ります。海上に浮かび波や津波のエネルギーを減少し海岸や人命を守ります。		F	可動	E02B 3/06 、E02B 3/06 302	2D018 BA23 、 2D118 AA11 BA03 BA05 BA07 CA02 DA04 FA04 FB03 JA07

文献番号	名称	出願番号	出願人	出願日	審査請求	査定種別	権利抹消	要約	請求の範囲(請求項1)	代表図	適用部位	形式	IPC	Fターム
特開2008-63826	水流の運動エネルギー低減方法、水流の運動エネルギー低減装置、被害軽減システム及び湧昇流発生システム	特願2006-242901 (P2006-242901)	三井造船 昭島研究所	2006.09.07	未			【課題】海底地震等により発生した津波等の運動エネルギーを、比較的沖合で展張したネット等の通水性部材で減少させることにより、沿岸部に到達する津波エネルギーを低減させて、波高を小さくし、陸岸における被害を軽減させること等ができる水流の運動エネルギー低減方法及び水流の運動エネルギー低減装置等を提供する。 【解決手段】対象とする水域に、通過する水流の流速Vaを低減する通水性部材2を水底10又は水底近傍又は水中に配設し、水域内の水流の流速Vaが増加した時にのみ通水性部材2を水流が通過するように水中に展開して、水流を通水性部材2を通過させることにより水流の流速Vaを低減する。	対象とする水域に、通過する水流の流速を低減する通水性部材を水流が通過するように水中に展開して、水流を通水性部材を通過させることにより水流の流速を低減することを特徴とする水流の運動エネルギー低減方法。		F	可動	E02B 3/06、E02B 3/02、E02B 3/06 301、E02B 3/02 C	2D118 AA11 AA12 CA02 DA06 JA05 JA13
特開2008-106433	津波防災構造物	特願2006-287319 (P2006-287319)	五洋建設	2006.10.23	未			【課題】沿岸部における防護すべき地域、例えば港湾などへ進入する津波エネルギーを低減するとともに、景観にも影響を与えない津波防災構造物を提供することである。 【解決手段】津波防災構造物1は、沿岸部2の防護すべき地域3の沖合を除く海底5に沿岸部2に沿って人工浅瀬4を築造したことがある。	沿岸部の防護すべき地域の沖合を除く海底に沿岸部に沿って人工浅瀬を築造して、水深の浅い海域部と水深の深い海域部とを形成したことを特徴とする津波防災構造物。		F	固定	E02B 3/06、E02B 3/06 301	2D118 AA11 AA12 AA23 BA01 BA20 CA02 CA04 FB31