旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討

報告書

(案)

平成26年3月

総務省消防庁危険物保安室

昭和 49 年に岡山県倉敷市において発生した屋外タンク貯蔵所の重油流出事故を契機に、 一定期間ごとにタンクを開放し、タンク内部を検査する保安検査の制度が創設された。保 安検査の時期については、タンクの技術基準に応じて定められた基本開放周期に加え、保 安のための措置を講じたものに対して開放周期を延長することができる制度が設けられて おり、最近では、昭和 52 年以降に設置された特定屋外タンク貯蔵所を対象とし、連続板厚 測定法を用いた新たな保安検査の時期を決定する方法について検討を行い、平成 23 年 4 月 より制度化されているところである。一方、昭和 52 年以前に設置された特定屋外タンク貯 蔵所(以下「旧法タンク」という。)についても、保安検査の検査周期のあり方について総 合的に検討することが求められているところである(規制・制度改革に係る対処方針(平 成 22 年 6 月 18 日閣議決定))。このような状況を踏まえ、消防庁危険物保安室では平成 23 年度に「旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討会」を発足させ、旧法 タンクの保安検査の検査周期のあり方について検討を開始した。

旧法タンクの保安検査の検査周期のあり方を検討するにあたっては、タンクの基礎地盤 の堅固さ、タンク底板の溶接構造及びタンク底板の板厚の影響をそれぞれ評価する必要が あることが指摘されており、平成23年度は、基礎地盤の堅固さに関する評価手法について 調査検討を実施し、有限要素法を用いた基礎地盤の解析手法についての提案を行った。ま た、平成24年度は、基礎地盤の堅固さの評価手法の妥当性を検証し、提案した有限要素法 を用いた解析手法が地盤の物性を考慮したタンクの底部沈下量をマクロ的に評価する手法 として妥当であることを確認するとともに、旧法タンク底板に主に適用されている重ねす み肉溶接に関する疲労強度解析を実施し、すみ肉溶接部の構造的要因が疲労強度に及ぼす 影響度を確認し、それぞれいくつかの有益な知見と課題が得られた。

平成25年度は、タンク底板の板厚の影響を確認するため、旧法タンクの保安検査時にお ける補修の実施実績や事故情報の収集及び分析を行ったほか、基本となる保安検査周期7 年を延長した場合に安全性へ及ぼす影響の評価を過去の板厚データを用いて実施し、一定 の仮定をおいたものではあるが、定量的な評価結果が得られたところである。

調査検討会の委員各位には、ご多忙中にも関わらず、熱心なご議論をいただいた。本報 告書がとりまとめられたのは、委員各位の熱意とご協力によるところが大きく、深く感謝 申し上げる次第である。

> 平成26年3月 旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査の あり方に係る調査検討会

> > 座 長 亀井 浅道

旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討

報告書目次

第1章 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5	調査検討会の概要 調査検討の目的 1 調査検討事項 1 調査検討体制 3 調査検討経過 4 調査検討事項に対する検討概要 5
第2章 2.1 2.2 2.3 2.4	現状の分析 旧法タンクと新法タンクの比較
第3章 3.1 3.2 3.3	基礎・地盤に関する影響 基礎・地盤の影響評価の方法
第4章 4.1 4.2 4.3	底部溶接構造に関する影響 底部溶接構造の影響評価の方法
第5章 5.1 5.2 5.3 5.4	タンク底部の板厚に関する影響 内面腐食の分析
第6章 6.1 6.2 6.3 6.4	保安検査周期のあり方に関するまとめ 旧法タンクの現状分析に係るまとめ

1.1 調査検討の目的

容量1万キロリットル以上の液体の危険物を貯蔵する屋外タンク貯蔵所については消防 法令の規定により、一定の周期ごとに市町村長等による保安検査を受けることとされている が、平成21年11月27日に行われた行政刷新会議による「国家備蓄石油管理等委託費」の 事業仕分けにおいて、消防法におけるタンク検査間隔について、安全性は十分に検証しなが ら規制緩和の可能性を探ることが求められた。これを受けて平成22年度に「屋外タンク貯 蔵所の保安検査の周期に係る調査検討会」を開催し、昭和52年政令第10号の施行後に設置 許可の申請がなされた特定屋外貯蔵タンク(以下「新法タンク」という。)に関する保安検 査周期を延長した場合の安全性について検討し、保安のための措置が講じられたタンクにお いて連続板厚測定法を活用して得られた1年当たりの板の腐食量と最小板厚に基づいて計 算された結果から8年以上15年以下の保安検査周期を定めることができる制度を確立した。

また、規制・制度改革に係る対処方針(平成22年6月18日閣議決定)においても、新法 タンクの保安検査周期の延長を検討し結論を得る(平成23年4月より制度化)とともに、 特定屋外貯蔵タンク全体について保安検査の検査周期のあり方について総合的に検討する こととされた。このような状況を踏まえ、昭和52年以前に設置された特定屋外貯蔵タンク (以下「旧法タンク」という。)について保安検査の周期に係る調査検討を行うために「旧 法屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る調査検討会」を設置する。

1. 2 調查檢討事項

第3章から第5章で述べる通り、タンクの主な劣化機構は、腐食による板厚の減少、溶 接部の劣化及び基礎の不等沈下であるが、旧法タンクについては、一般的に使用されてい る板厚が薄いことのほか、タンクの溶接部の信頼性が劣るものがあること、タンクの基礎 地盤の堅固さについて工学的指標により確認されていないことから、新法タンクにおいて 実施したように、板厚の減少による劣化機構のみで安全性を検討することができない。

一方で、従来、屋外タンク貯蔵所のタンク本体(以下「タンク」という。)の底部につい ては、超音波厚さ計を用いた定点測定法(以下「定点測定法」という。)による板厚管理が 一般的であったが、最近では底部の板厚を連続的に効率よく測定する機器を使用した板厚 管理(以下「連続板厚測定法」という。)も実施されるようになってきた。ただし、連続板 厚測定法で健全性を確認できるのは底部の板厚の減少による劣化機構のみであり、その他 の劣化機構については確認ができない。

このため、事故の発生状況、要因分析、腐食の進行による流出事故発生の可能性等の分 析も含め、以下の事項について調査検討を行い、総合的に保安検査のあり方について検討 する。

- (1) 基礎・地盤に関する事項
- (2) 底部溶接構造に関する事項
- (3) 底部板厚の腐食量に関する事項
- (4)保安検査周期のあり方に関する事項
- (5) その他必要な事項

1

※ 本検討会で使用する略語は以下のとおり

- ・消防法(昭和23年法律第186号)・・・法
- ・危険物の規制に関する政令(昭和34年政令第306号)・・・政令
- ・危険物の規制に関する規則(昭和34年総理府令第55号)・・・規則
- ・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(昭和 49 年自治省告示第 99 号)・・・告示
- ・屋外タンク貯蔵所のタンク本体・・・タンク本体
- ・屋外タンク貯蔵所の基礎・地盤・・・基礎・地盤
- ・危険物の規制に関する政令及び消防法施行令の一部を改正する政令(昭和52年政令第10 号)の施行後に設置許可の申請がなされた特定屋外タンク貯蔵所・・・新法タンク
- ・危険物の規制に関する政令及び消防法施行令の一部を改正する政令(昭和52年政令第10号)の施行の際、現に法第11条第1項前段の規定による設置に係る許可を受け、又は当該許可の申請がされていた特定屋外タンク貯蔵所で、その構造及び設備が政令第11条第1項第3号の2又は第4号に定める技術上の基準に適合していなかったもののうち、その構造及び設備が昭和52年政令第10号附則第3項各号に定める技術基準に適合しているもの・・・旧法タンク
- ・危険物の規制に関する政令及び消防法施行令の一部を改正する政令(昭和52年政令第10号)の施行の際、現に法第11条第1項前段の規定による設置に係る許可を受け、又は当該許可の申請がされていた特定屋外タンク貯蔵所で、その構造及び設備が政令第11条第1項第3号の2又は第4号に定める技術上の基準に適合していなかったもののうち、その構造及び設備が平成6年政令第214号附則第3項第1号の総務省令で定める技術基準に適合しているもの・・・旧法第一段階基準タンク

1. 3 調查検討体制

旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査のあり方に係る調査検討会(五十音順敬称略) ※())は前任者

- 座 長 亀井 浅道 元横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター 特任教授
- 委 員 大谷 英雄 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 教授
 - 笠井 尚哉 横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター准教授(平成 25 年度)
 - 国松 直 独立行政法人産業技術総合研究所 地圈資源環境研究部門 主任研究員(平成23年度)
 - 高橋 俊勝 川崎市消防局 予防部 危険物課長(平成 25 年度)
 - (越谷 成一 川崎市消防局 予防部 危険物課長(平成24年度まで))
 - 龍岡 文夫 東京理科大学 理工学部土木工学科 嘱託教授
 - 龍川 恒 石油化学工業協会
 - 田中 敏 社団法人日本建設業連合会 安全部 参事(平成23年度)
 - 富樫 清英 石油連盟 設備管理専門委員会 タンク部会長(平成24年度から)
 - (村上 沢 石油連盟(平成23年度))
 - 永野 日出登 仙台市消防局 予防部 危険物保安課長(平成 25 年度)
 - (車塚 和彦 仙台市消防局 予防部 危険物保安課長(平成24年度))
 - 野本 敏治 東京大学名誉教授(平成24年度から)
 - 西浦 教之 堺市消防局 予防部 指導課長(平成23年度)
 - 森 修一 倉敷市消防局 副参事兼危険物保安課長事務取扱(平成23年度)
 - 八木 高志 危険物保安技術協会 土木審査部次長
 - 柳澤 大樹 危険物保安技術協会 タンク審査部長(平成24年度から)
 - 山内 芳彦 一般社団法人日本産業機械工業会 タンク部会 技術分科会長
 - 山田 實 消防庁消防研究センター 研究統括官
- 事務局 鈴木 康幸 消防庁危険物保安室長

大嶋 文彦 消防庁危険物保安室課長補佐(平成25年度)

- (永友 義夫 消防庁危険物保安室課長補佐(平成24年度まで))
- 工藤 守 消防庁危険物保安室パイプライン係長(平成25年度)
- (宮内 孝 消防庁危険物保安室パイプライン係長(平成 24 年度まで))
- 和賀 研太 消防庁危険物保安室総務事務官(平成24年度から)
- (宮本 紳利 消防庁危険物保安室総務事務官(平成23年度))

1. 4 調査検討経過

検討の経過は以下のとおりである。

○平成 23 年度

第1回検討会	平成 23 年 9 月 13 日
第2回検討会	平成 24 年 2 月 10 日
第3回検討会	平成24年3月7日

○平成 24 年度

第1回検討会	平成 24 年 8 月 24 日
第2回検討会	平成 24 年 12 月 18 日
第3回検討会	平成 25 年 2 月 21 日
第4回検討会	平成 25 年 3 月 11 日

○平成 25 年度

第1回検討会	平成 25 年 5 月 21 日
第2回検討会	平成 25 年 10 月 4 日
第3回検討会	平成26年3月4日

- 1.5 調査検討事項に対する検討概要
- (1) 基礎・地盤に関する影響について



課題

旧法タンクの地盤・基礎においては、空隙の影響が懸念されることが判明したが、空隙の範囲や深さに ついては中性子を用い非破壊的に確認する方法があるものの一般的ではないこと、個々のタンクにおい て状況が異なること等から、タンク底板の沈下に及ぼす空隙等の影響を評価することは現時点では困難 である。

また、有限要素法を用いた底部沈下量の評価についても、地盤物性を詳細に設定した場合はタンク外 周部の沈下量は計測結果と解析結果は良好な一致を示したが、タンク内部の評価などに課題があること から、より多くの基礎・地盤データの収集と解析を実施する必要がある。 (2) 底部溶接構造に関する影響について





課題

重ねすみ肉溶接部におけるのど厚及び初層部欠陥の有無が疲労強度に影響を及ぼすことが確認 されたが、タンクの貯蔵油の入出荷の際に重ねられる繰り返し液荷重履歴の把握やタンク底板の沈 下に及ぼす空隙の影響等を評価することが現時点では困難である。

重ねすみ肉溶接部に係るのど厚及び初層部欠陥の有無の評価が可能となる検査が可能となった時点で改めて検討することが必要である。

(3) タンク底部の板厚に関する影響について



(4) まとめ

旧法タンクについては、底部の板厚の影響評価のみではなく、基礎・地盤や溶接部の評価を 行うことが必要であるが、上記(1)~(3)の結果から、現時点においては、旧法タンクの 開放周期を延長することは適当ではないと考えられる。 今後、改めて旧法タンクの保安検査周期の延長を検討する場合は、少なくとも上記の課題を 解決していく必要がある。

2.1 旧法タンクと新法タンクの比較

旧法タンクと新法タンクの基礎・地盤及び底板部(側板部等を除く)に係る技術基準の相違の概要 を、図 2.1.1 に示す。



*容量1万kl以上のタンクに適用される基準(休止中のタンクを除く)

*新法タンク及び旧法タンクともにアニュラ部については保有水平耐力の規定を満足することが必要

* 供用中タンクの底板の板厚に関する維持管理基準として、新法タンクはΔC が、旧法タンクは t 値がそれぞれ示されている

図 2.1.1 新法タンクと旧法タンクの基礎・地盤及び底板部に係る技術基準の相違の概要

2.2 保安検査の現状

2.2.1 保安検査の対象と周期

液体の危険物を貯蔵する屋外タンク貯蔵所のうち、容量が1万キロリットル以上のものの所有者等 は、当該屋外タンク貯蔵所の構造・設備が技術上の基準(以下、「技術基準」という。)に従って維持 されているかどうかについて、一定期間ごとに市町村長等が行う保安に関する検査(以下、「保安検 査」という。)を受けなければならないこととされている[政令第8条の4第1項]。また、保安検 査は、次に掲げる事項が技術基準に適合していることについて検査することとされている[政令 第8条の4第3項、第6項]。

- ・タンク本体の底部に係る板の厚さに関する事項
- ・タンク本体の底部に係る溶接部に関する事項

現在の保安検査周期(旧法タンク)を表 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 旧法タンクに係る保安検査の周期

	÷ • •	
保安のための措置	周期	保安のための措置の内容
	7年	_
	(基本周期)	
腐食防止等の状況	10 年 ^{※1}	コーティングによる内面腐食防止、底部板厚が適正
の措置	8年**2	であること、共通する措置項目 ^{※3}
		水等腐食成分の適切な管理がされていること、腐食
貯蔵管理笙の出況		性の危険物を貯蔵しないこと、貯蔵条件の変更がな
り蔵自生寺の状況の世景	9年	いこと、底部腐食率が小さいこと(0.05mm/年以下)、
♥21日回		次回開放時の板厚推定値が適正であること、共通す
		る措置項目**3

※1 コーティングの種類が、ガラスフレークコーティング又はガラス繊維強化プラスチック ライニングの場合

- ※2 コーティングの種類が、エポキシ系塗装又はタールエポキシ系塗装の場合
- ※3 基本周期以外の周期に係る共通する措置項目
 - ・外面腐食防止措置が講じられていること
 - ・構造上の影響をあたえるおそれのある補修又は変形がないこと
 - ・不等沈下量が直径の 300 分の1以下(地層が水平成層である場合は 100 分の1以下) であること
 - ・地盤沈下量が年間1cm以下であること
 - ・維持管理体制が適切であること

2.2.2 保安検査周期の変遷

旧法タンクの保安検査の周期の変遷を図 2.2.1 に示す。

(1)保安検査制度の創設(昭和52年)

昭和49年岡山県倉敷市における屋外タンク貯蔵所からの重油流出事故の原因調査報告¹⁾において、 屋外タンク貯蔵所の基礎の堅固さの確保、タンク本体に用いる材料が保有すべき性能、溶接の適切な 施工管理と非破壊検査の実施、消防機関による保安検査の必要性が提案された。これを受け、屋外タ ンク貯蔵所の基礎・地盤及びタンク本体に関する技術基準が大幅に強化されるとともに、タンクを5 年ごとに開放し、保安検査と内部点検(自主点検)を交互に実施する制度が作られた。

(2)保安検査の基本周期7年及び個別延長の周期8年、9年又は10年を規定(平成6年)²⁾

昭和52年以降屋外タンク貯蔵所の事故率が低下し、不等沈下の発生も減少したこと、容量1万キ ロリットル未満の特定屋外タンク貯蔵所において10年ごとに開放(内部点検)された実績等を踏ま え、内面保護コーティングの高い腐食防止性能の確認を行った上で、屋外タンク貯蔵所の所有者、学 識経験者、消防関係者により検討がなされ、旧法タンクの基本周期を7年とした。その中で腐食防止 措置等が講じられた屋外タンク貯蔵所及び貯蔵管理等が行われている屋外タンク貯蔵所にあっては 周期を8年、9年又は10年とされた。この際、容量1万キロリットル以上の屋外タンク貯蔵所は容 量1万キロリットル未満のものより側板に発生する応力が高く、容量も大きなことから甚大な被害が 生ずるおそれがあることも念頭に置かれ検討されたものである。



2.3 屋外タンク貯蔵所の現状

2.3.1 屋外タンク貯蔵所の年度別設置許可基数

容量1万キロリットル以上の旧法タンクの年度別設置許可基数を図2.3.1に示す。消防庁で把握し ている旧法タンクの基数は、平成8年度には 2.170 基であったが、年々減少してきており、平成 25 年3月末現在においては、1,709基である。



図 2.3.1 容量1万キロリットル以上の旧法タンクの年度別設置許可基数

注 平成7年以前のタンクの設置許可基数は、新法タンクと旧法タンクの合算の基数のデータのみで あるため、平成8年以降の基数を表示している。

2.3.2 保安検査時の補修状況

旧法タンクについて平成 22 年度から平成 24 年度に行われた保安検査時の補修内容を調べた。表 2.3.1に示すとおり補修の全くなかったものは2又は3基であり、ほとんどのものにおいて補修がさ

れている。これらのものの補修の概要について表 2.3.2、表 2.3.3 にまとめた。タンク本体の底部に おいて大きい応力が生じるなど厳しい変形条件にさらされる構造上重要な部位であるアニュラ板の 一部又は全部取替が約 18~21%で行われている。また、底板についても同じく約 18~21%のもので 一部又は全部取り替えが行われている。溶接部の補修についてみると、大きい応力が生じる側板とア ニュラ部の溶接線では、全線補修が過去3年間に9基見られるとともに、約8割以上のもので部分補 修がされている。その他の部位でも約8割以上、部位によっては、ほぼ全タンクで補修がされている。

容量が1万キロリットル以上の屋外タンク貯蔵所は、容易に建て替え等を行えないため、これらの 部分的な補修によって次の開放までの安全性が確保されているのが実情であり、ほとんどのタンクで、 保安検査時に補修を実施していることからも、タンク本体の経年劣化が進行していることが見受けら れる。

表 2.3.1 平成 22 年~24 年度保安検査時の補修概要

	保安検査 基数	取替・当て板 実施基数	肉盛り補修 実施基数	溶接部補修 実施基数	補修がなかった 基数		
平成24年度	160	61 (38%)	91 (57%)	155 (97%)	2 (1%)		
平成23年度	169	63 (37%)	99 (59%)	163 (96%)	3 (2%)		
平成22年度	186	76 (41%)	120 (65%)	183 (98%)	2 (1%)		

注:補修内容が複数あるものは、当該内容をそれぞれ計上している。

補修部位 年度			アニュラ板				保安検査	
		全取替	部分取替	当て板	全取替	部分取替	当て板	基数
亚成24年度	基	12	21	1	4	30	26	160
十成24千度	%	7.5	13.1	0.6	2.5	18.8	16.3	100
亚式22年度	基	6	25	2	5	26	35	160
十成23年度	%	3.6	14.8	1.2	3.0	15.4	20.7	109
亚式20年度	基	8	30	2	5	34	49	196
十成22年度	%	4.3	16.1	1.1	2.7	18.3	26.3	180

表 2.3.2 底部板の補修概要

注:補修内容が複数あるものは、当該内容をそれぞれ計上している。

表 2.3.3 底部溶接線の補修概要

補修部位年度		側板・アニ 溶打	ニュラ板間 妾線	アニュラ [;] 溶打	扳相互間 _{妾線}	アニュラ 溶打	反∙底板間 _{妾線}	底板木 溶打	保安検査	
		全線補修	部分補修	全線補修	部分補修	全線補修	部分補修	全線補修	部分補修	基数
亚古纳左南	基	2	124	0	116	0	128	0	144	160
平成24年度	%	1.3	77.5	0.0	72.5	0.0	80.0	0.0	90.0	160
亚式202年度	基	3	150	0	142	0	154	0	168	160
平成23年度	%	1.8	88.8	0.0	84.0	0.0	91.1	0.0	99.4	169
平成22年度	基	4	160	0	140	0	165	0	181	106
	%	2.2	86.0	0.0	75.3	0.0	88.7	0.0	97.3	180

注:補修内容が複数あるものは、当該内容をそれぞれ計上している。

2.3.3 1周期及び2周期前の保安検査時の補修状況

旧法タンクは、昭和52年以前に設置され、最低でも36年以上使用されており、保安検査時の補修

状況の変化から、経年劣化の度合いを推測することができる。表 2.3.1 で調査した屋外タンク貯蔵所 のおおむね前回の検査時期(基本周期である7年前)にあたる平成15年から平成17年の補修概要、 さらにその前回の検査時期(同様に7年前)にあたる平成8年から平成10年の補修概要について調 べた。表 2.3.4 及び表 2.3.5 に示すとおり過去における保安検査時にも多くの旧法タンクで補修が行 われている。表 2.3.6 は表 2.3.1、表 2.3.4 及び表 2.3.5 の3年間をそれぞれ平均したものである。

取替・当て板という比較的大規模な補修の実施率は、どの時期でも、タンク全体の4割から5割を 占めている。一方、比較的小規模な補修である肉盛り補修では、タンク全体の約6割を、溶接部補修 では8割以上となり、なかでも平成15年から平成17年及び平成22年から平成24年では、肉盛り補 修の実施率が9割以上にのぼり、最低でも36年以上使用されている旧法タンクについては、大規模 な補修等により、基準が維持されている状況が分かる。

さらに、図 2.3.2のグラフは保安検査時期の違いによるタンクの底部の補修基数及び補修実施割合 だが、平成 15年から平成 17年の取替・当て板補修を除いて、全ての補修で増加傾向を示している。 なお、どの時期でも補修率が高いことから、同一タンクにおいて保安検査のたびに、補修が繰り返さ れていることが読み取れ、経年劣化の進行が推測される。

	×						
	保安検査	取替・当て板	肉盛り補修	溶接部補修	補修がなかった		
	基数	実施基数	実施基数	実施基数	基数		
平成17年度	194	70 (36%)	118 (61%)	177 (91%)	5 (3%)		
平成16年度	200	64 (32%)	130 (65%)	185 (93%)	8 (4%)		
平成15年度	213	77 (36%)	127 (60%)	195 (92%)	6 (3%)		

表 2.3.4 平成 15 年~17 年度保安検査時の補修概要

注:補修内容が複数あるものは、当該内容をそれぞれ計上している。

表 2.3.5 平成 8 年~10 年度保安検査時の補修概要

	保安検査	取替・当て板	肉盛り補修	溶接部補修	補修がなかった			
	基数	実施基数	実施基数	実施基数	基数			
平成10年度	255	115 (45%)	149 (58%)	221 (87%)	6 (2%)			
平成9年度	267	123 (46%)	126 (47%)	190 (71%)	15 (6%)			
平成8年度	278	153 (55%)	172 (62%)	228 (82%)	6 (2%)			

注:補修内容が複数あるものは、当該内容をそれぞれ計上している。

表 2.3.6 平成 22~24 年度、平成 15~17 年度及び平成 8 年度~10 年度の 保安検査時の補修概要(3年間の平均)

	保安検査 基数	取替・当て板 実施基数			肉盛り補修 実施基数			溶接部補修 実施基数			補修がなかった 基数				
平成8~ 10年度	267	130	(49%)	149	(56%)	213	(80%)	9	(39	%)
平成15~ 17年度	202	70	(35%)	125	(62%)	186	(92%)	6	(39	%)
平成22~ 24年度	172	67	(39%)	103	(60%)	167	(97%)	2	(19	%)

注:補修内容が複数あるものは、当該内容をそれぞれ計上している。



対象タンク数 平成8~10年度: 800基、平成15~17年度: 607基、平成22~24年度: 515基

図 2.3.2 保安検査時に補修があったタンク基数及び実施割合 (平成 8~10 年度、平成 15~17 年度、平成 22~24 年度の各平均)

引用文献

- 1) 三菱石油水島製油所タンク事故原因調査委員会: 三菱石油水島製油所タンク事故原因調査報告書、 昭和 50 年 12 月 18 日
- 2)消防庁危険物技術基準委員会:旧法タンクの構造上の安全確保及び特定屋外タンク貯蔵所の開放 周期に関する報告書、平成6年3月

2. 4 屋外貯蔵タンクからの危険物流出事故の発生状況

2.4.1 屋外タンク貯蔵所の事故統計

消防庁が全国の消防機関を通じて調査を行っている「危険物に係る事故事例」や消防庁消防研究センターによる地震被害の調査報告書を基に、1974年(昭和49年)から2012年(平成24年)までの間に発生した屋外タンク貯蔵所におけるタンク底部及び側板からの危険物流出事故の概要を、表2.4.1(通常運転時)及び表2.4.2(地震時の事故)に列挙するとともに、2.4.2以降に事故の傾向について分析した。

N		許可	貯蔵	発生	箇所	动圈ケロロ	経過		流出量
No.	光 生牛月日	容量	油種	箇所	詳細	設直年月日	年		(k1)
1	1974/04/15	不明	重油	不明	不明	不明	不明	防油堤内	160
2	1974/06/12	不明	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	防油堤内	0.1
3	1974/08/08	不明	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	防油堤内	不明
4	1974/10/31	不明	硫酸	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	防油堤内	0.0001
5	1974/12/17	50,000	ミナス 重油	不明	不明	不明	不明	不明	0.5
6	1974/12/18	50, 000	C 重油	底板 溶接部	き裂部	1973/12/15	1.0	海上	42, 888
7	1974/12/28	1,000	A重油	不明	不明	不明	不明	防油堤内	0.5
8	1975/02/20	不明	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	不明
9	1975/04/01	3, 350	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.1
10	1975/04/22	10	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1964/04/01	11.1	付近水田 ・ハス田	3.5
11	1975/05/30	不明	粗タール	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	防油堤内	192
12	1975/08/29	不明	クロールス ルホン酸	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.01
13	1975/09/12	不明	塩酸	側板 母材部	腐食 開孔部	1973/06/25	2.2	敷地内	0.1
14	1975/09/20	1,084	A 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	防油堤内	0.2

表 2.4.1 通常時の危険物流出事故事例

NT	≫ 牛 ケ 日 日	許可	貯蔵	発生	箇所		経過		流出量
No.	光 生年月日	容量	油種	箇所	詳細	設 直 年月日	年	<u> </u>	(k1)
15	1976/05/14	30, 000	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1969/07/31	6.8	防油堤内	0.2
16	1976/09/28	44	ミナス 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1961/12/07	14.8	防油堤内	0.8
17	1976/10/8	不明	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.1
18	1977/01/31	30, 000	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1971/09/16	5.4	防油堤内	85
19	1977/02/07	不明	 廃液、トルエ ン及び塩素 化炭化水素 の混合物 	底板 母材部	腐食 開孔部	1975/05/22	1.7	防油堤内	0. 1
20	1977/03/17	241	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	公共下水管	9
21	1977/11/07	不明	JET A-1	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	海上	0.5
22	1977/12/08	4, 700	軽油	底板 溶接部	き裂部	1958/04/28	19.6	防油堤内	不明
23	1978/02/27	988	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1968/03/27	9.9	ドレンボッ クス下部	0.0005
24	1978/05/15	4, 740	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.04
25	1978/06/16	24, 000	原油	底板 母材部	腐食 開孔部	1973/09/17	4.7	防油堤内	49.7
26	1978/07/29	3, 000	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1968/02/02	10.5	敷地内	1.2
27	1979/01/08	300	B 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	構内排水溝	2.7
28	1979/02/04	50,000	原油	底板 溶接部	き裂部	1964/02/27	14.9	構内排水溝	50
29	1979/02/13	7, 350	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1968/02/02	11.0	敷地内	1.2
30	1979/04/22	22, 855	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.02
31	1979/08/08	160	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	22

NT	▼ 牛 左 日 口	許可	貯蔵	発生	箇所	机墨左日日	経過	地中於国	流出量
NO.	光 生平月日	容量	油種	箇所	詳細	议 直午月日	年	攸苦軋囲	(k1)
32	1979/11/24	不明	第1石油類	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.2
33	1979/12/21	不明	ミナス 重油	底板 母材部	き裂部	不明	不明	防油堤内	0.5
34	1980/02/06	99, 000	原油	底板 溶接部	き裂部	1971/09/14	8.4	敷地内	0.07
35	1980/02/23	4,000	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1958/04/01	21.9	防油堤内	10.9
36	1980/05/12	30	酢酸エチル とジクロル メタンの混 合液	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.003
37	1980/06/12	不明	ポリブ テン	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	防油堤内	不明
38	1980/06/16	390	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	3
39	1980/06/26	30, 000	灯油	底板 母材部	腐食 開孔部	1959/02/10	21.4	敷地内	16
40	1980/08/01	不明	ガソリン	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	不明
41	1980/08/09	不明	ミナス 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	1.6
42	1980/09/28	不明	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	防油堤内	2
43	1980/12/06	3, 180	ナフサ	底板 母材部	腐食 開孔部	1972/01/17	8.9	敷地内	不明
44	1980/12/22	10, 926	軽油	底板 母材部	腐食 開孔部	1972/03/04	8.8	敷地内	不明
45	1981/03/20	不明	アセトン	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.2
46	1981/06/22	不明	C 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	敷地内	0.0002
47	1981/08/06	28	A重油	側板 溶接部	腐食 開孔部	1978/03/18	3.4	敷地内	0.001
48	1981/09/01	4, 655	C 重油	側板 溶接部	腐食 開孔部	1972/02/21	9.5	敷地内	0.0195

NT	▼ 牛 左 日 口	許可	貯蔵	発生	箇所	<u> </u>	経過	地中於国	流出量
NO.	光 生平月日	容量	油種	箇所	詳細		年	攸吉範囲	(k1)
49	1981/12/02	150	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	隣接田	5
50	1982/02/05	3	灯油	底板 母材部	腐食 開孔部	1970/10/27	11.3	構外河川	0.1
51	1982/07/01	140	メタノ ール	側板 母材部	腐食 開孔部	1970/07/22	12.0	敷地内	不明
52	1982/08/10	1,024	ガソリン	底板 母材部	腐食 開孔部	1964/01/24	18.6	構外畑地	46.1
53	1982/09/29	2,000	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1969/05/01	13.4	敷地内	0.8
54	1982/10/21	995	大豆油	底板 母材部	腐食 開孔部	1970/05/09	12.5	敷地内	不明
55	1982/12/09	500	重油	底板 溶接部	き裂部	1961/11/18	21.1	防油堤内	0.003
56	1982/12/22	31	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1971/10/19	11.2	防油堤内	0.2
57	1982/12/24	120	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1968/05/23	14.6	海上	60
58	1984/04/23	10	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	不明	不明	構外河川	0.1
59	1984/05/15	510	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1963/11/01	20.6	敷地内	17.8
60	1984/11/22	300	C 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1971/06/28	13.4	敷地内	0.3
61	1984/12/10	1, 500	B 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1952/06/12	32.5	敷地内	0.6
62	1985/06/11	109, 817	原油	底板 母材部	腐食 開孔部	1972/10/03	12.7	防油堤内	0.1
63	1985/08/23	2,000	クレオソ ート油	側板 母材部	腐食 開孔部	1980/05/07	5.3	防油堤内	1
64	1985/10/04	145	灯油	底板 溶接部	き裂部	1973/10/25	12.0	隣接水田	0.2
65	1985/10/29	106	濃硫酸	底板 母材部	腐食 開孔部	1976/12/02	8.9	防油堤内	1.9
66	1985/11/29	500	軽油	底板 母材部	腐食 開孔部	1966/04/04	19.7	防油堤内	5

NT	▼ 4 左 日 日	許可	貯蔵	発生	箇所	机墨左口口	経過	地中於国	流出量
NO.	光 生平月日	容量	油種	箇所	詳細		年	攸吉軋囲	(k1)
67	1986/01/06	600	エピクロル	底板	腐食	1967/12/16	18.1	防油堤内	4.5
			ヒドリン	母材部	開北部				
68	1986/08/30	15	B重油	低极	腐食	1974/03/27	12.4	防油堤内	0.1
				母材部	開北部				
69	1986/11/07	107	灯油	低极	腐食	1974/02/04	12.8	犬走り部	不明
				母材部	開北部				
70	1987/06/11	50	潤滑油	低极	腐食	1973/03/28	14.2	防油堤内	不明
				母材部	開北部				
71	1987/09/08	20	脱硫 C 重油	側板	腐食	1970/10/07	16.9	防油堤内	10.4
				母材部	開孔部				
72	1987/09/09	145	A 重油	底板	き裂部	1971/06/29	16.2	海上	9.7
				母材部					
73	1988/07/05	82,641	原油	底板	き裂部	1975/03/06	13.3	敷地内	0.4
				溶接部					
74	1988/08/26	2,000	重油	底板	腐食	1968/07/18	20.1	防油堤内	0.2
		,		母材部	開孔部				
75	1989/12/17	84, 548	原油	底板	腐食	1973/08/03	16.4	防油堤内	0.8
	1000, 12, 11	,		母材部	開孔部	20.0, 00, 00			
76	1991/02/24	15	重油	底板	腐食	1969/03/03	22.0	敷地内	2
	1001/01/01/01			母材部	開孔部	2000, 00, 00			_
77	1991/09/06	4 000	溶融硫昔	側板	腐食	1969/09/10	22 0	載地内	0.3
	1001/00/00	1,000		母材部	開孔部	1000/00/10	22.0	从2011	0.0
78	1991/10/04	2 400	溶融硫	側板	腐食	1976/11/18	14 9	防油堤内	43 7
.0	1001/10/01	2, 100	黄	母材部	開孔部	1010/11/10	11.0	1971 ACT 1	10. 1
79	1992/07/29	40	重油	側板	腐食	1979/03/28	13-3	防油堤内	0.001
	1002/01/20	10	五 1 円	母材部	開孔部	1010/00/20	10.0	1971 ACT 1	0.001
80	1992/08/21	995	重油	底板	腐食	1961/03/23	31 4	防油堤内	5
00	1332/ 00/ 21	550	王山	母材部	開孔部	1301/ 00/ 20	01. 1	PJIL ZEI J	0
81	1992/11/24	1 750	ガソリン	側板	キ刻邨	1961/12/06	31 0	防油垾内	0.2
01	1332/11/24	1,700	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	母材部	明なつ	1301/12/00	51.0	PJILL VEP 1	0.2
00	1004/07/01	50	志 文 小山	側板	腐食	1072/11/20	20 6	十十日立	0,0005
02	1994/01/01	50	牲佃	母材部	開孔部	1973/11/29	20.0	八疋り印	0.0003
Q.2	1001/09/10	195	调温冲	底板	腐食	1064/10/05	20.0	卡書の部	0.0
00	1994/00/10	120	们判计目门	母材部	開孔部	1904/10/00	29. Y	八足り印	0.9
Q /		500	小小	側板	腐食	1072/10/02	20.0	+ キ い 立	0.001
84	1994/08/25	900	入」(田	母材部	開孔部	1913/10/03	20.9	入定り部	0.001

N -	☆ ⊬左日口	許可	貯蔵	発生	箇所		経過	地宝然田	流出量
NO.	先生千月日	容量	油種	箇所	詳細	议 但十月日	年	恢 音軋囲	(k1)
85	1995/01/07	420	A 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1967/12/22	27.1	被害なし	不明
86	1995/01/13	28, 970	軽油	底板 溶接部	き裂部	1968/05/15	26.7	防油堤内	142.6
87	1995/03/27	192	A 重油	底板 溶接部	き裂部	1966/06/05	28.8	海上	0.2
88	1995/05/18	10	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1973/07/06	21.9	構外河川	8.5
89	1996/02/29	30	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1969/04/23	26.9	海上	1.2
90	1997/04/13	110,000	原油	底板 母材部	腐食 開孔部	1972/09/28	24.6	防油堤内	1.3
91	1997/05/09	300	ガソリン	底板 母材部	腐食 開孔部	1970/11/02	26.5	構外河川	不明
92	1997/05/28	200	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1971/06/02	26.0	海上	26
93	1997/07/10	670	軽油	底板 母材部	腐食 開孔部	1976/11/16	20.7	防油堤内	0.1
94	1997/11/13	20	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1973/02/03	24.8	構外河川	0.2
95	1998/03/04	500	灯油	底板 母材部	腐食 開孔部	1971/11/19	26.3	海上	不明
96	1998/05/23	200	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1972/03/28	26.2	防油堤内	20
97	1998/07/04	30	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1971/08/30	26.9	構外河川	0.5
98	1999/01/09	12	重油	底板 母材部	き裂部	1970/07/30	28.5	防油堤内	0.7
99	1999/01/15	54	軽油	側板 母材部	腐食 開孔部	1972/09/02	26.4	海上	1
100	1999/05/21	1, 450	ガソリン	側板 母材部	腐食 開孔部	1972/11/13	26.5	防油堤内	0.003
101	1999/06/11	4	軽油	底板 母材部	腐食 開孔部	1976/12/08	22.5	犬走り部	不明
102	1999/08/12	481	C 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1963/10/24	35.8	防油堤内	0. 02

N -	☆ ⊬左日口	許可	貯蔵	発生	箇所		経過	地 宝然田	流出量
NO.	光 生平月日	容量	油種	箇所	詳細		年	攸吉軋囲	(k1)
103	1999/10/11	2, 160	C 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1972/10/05	27.0	敷地内	0.5
104	1999/10/20	880	A 重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1980/12/15	18.9	海上	6.3
105	2001/06/01	4, 880	ガソリン	側板 母材部	腐食 開孔部	1970/09/29	30.7	防油堤内	不明
106	2001/06/27	50, 000	原油	底板 母材部	腐食 開孔部	1970/12/04	30.6	防油堤内	8
107	2001/08/15	15	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1966/02/23	35.5	防油堤内	0.3
108	2001/07/31	2, 050	JET A-1	側板 母材部	腐食 開孔部	1970/11/19	30.7	防油堤内	0.1
109	2001/12/29	35, 000	原油	側板 母材部	腐食 開孔部	1969/04/10	32.7	防油堤内	0.002
110	2002/04/01	455	FCC ボト ム油	底板 母材部	腐食 開孔部	1957/02/05	45.2	海上	不明
111	2002/06/07	1, 255	C 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1975/12/09	26.5	敷地内	0.005
112	2002/07/02	40, 000	原油	側板 母材部	腐食 開孔部	1971/05/26	31.1	敷地内	不明
113	2002/09/05	500	C 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1970/10/27	31.9	防油堤内	2
114	2003/01/25	9, 800	原油	底板 母材部	腐食 開孔部	1967/12/26	35.1	敷地内	0.03
115	2003/02/07	995	軽油	底板 母材部	腐食 開孔部	1962/01/18	41.1	敷地内	0.1
116	2003/02/24	700	キシレン	底板 母材部	腐食 開孔部	1965/12/28	37.2	海上	不明
117	2003/03/15	50, 000	原油	底板 母材部	腐食 開孔部	1970/03/15	33.0	敷地内	0.13
118	2003/03/20	57	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1976/04/15	26.9	敷地内	0.2
119	2003/03/27	8	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1992/09/04	10.6	敷地内	0.1
120	2003/06/11	100	重油	底板 溶接部	き裂部	1971/06/11	32.0	構外河川	不明

NT	▼ 4 左 日 日	許可	貯蔵	発生	箇所		経過	地中於国	流出量
NO.	光 生平月日	容量	油種	箇所	詳細		年	攸吉軋囲	(k1)
121	2003/07/07	2,000	スチレン	底板 母材部	腐食 開孔部	1981/11/04	21.7	敷地内	0.2
122	2003/10/23	40	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1967/10/12	36.1	防油堤内	0.1
123	2003/12/15	2, 330	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1968/09/18	35.3	防油堤内	0.04
124	2004/06/01	130	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1973/07/25	30. 9	防油堤内	0.4
125	2004/07/22	7, 830	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1980/10/21	23.8	防油堤内	0.045
126	2005/01/06	28	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1968/12/27	36.1	防油堤内	0.4
127	2005/05/26	10	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1976/11/02	28.6	防油堤内	0.001
128	2005/07/01	1,680	重油	側板 溶接部	腐食 開孔部	1969/03/27	36.3	防油堤内	0.1
129	2005/09/15	12, 000	軽油	側板 母材部	腐食 開孔部	1972/12/27	32. 7	防油堤内	0.2
130	2005/09/21	7,000	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1959/04/03	46.5	防油堤内	0.1
131	2005/11/14	620	メチルイソブ チルケトン	側板 母材部	腐食 開孔部	1970/02/12	35.8	防油堤内	0.003
132	2005/11/22	620	酢酸ブ チル	側板 母材部	腐食 開孔部	1970/01/27	35.8	防油堤内	不明
133	2005/12/07	3, 400	ナフサ	底板 母材部	腐食 開孔部	1973/09/17	32.2	構外河川	80
134	2006/03/01	10	灯油	底板 母材部	腐食 開孔部	1974/11/09	31.3	水路	不明
135	2006/04/08	20	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1975/07/16	30.8	構内排水溝	不明
136	2006/06/08	234	硝酸	底板 溶接部	き裂部	1968/06/11	38.0	防油堤内	0.0002
137	2006/07/01	15	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1977/02/18	29.4	構外水田	1.2
138	2006/07/06	24, 250	軽油	側板 母材部	腐食 開孔部	1971/12/27	34.5	防油堤内	不明

NT	▼ 4 左 日 日	許可	貯蔵	発生	箇所	机墨左耳口	経過	地中於国	流出量
NO.	光 生平月日	容量	油種	箇所	詳細		年	攸吉軋囲	(k1)
139	2006/07/16	20	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1981/07/11	25.0	防油堤内	1
140	2006/08/01	9, 950	重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1972/03/04	34.4	防油堤内	不明
141	2006/08/10	5,060	ガソリン	側板 母材部	腐食 開孔部	1972/03/04	34.5	敷地内	不明
142	2007/03/15	740	重油	底板 母材部	腐食 開孔部	1973/09/06	33. 5	敷地内	50
143	2007/04/01	200	重油	底板 溶接部	腐食 開孔部	1978/06/19	28.8	防油堤内	0.002
144	2007/05/13	200	スラッジ	側板 母材部	腐食 開孔部	1973/12/17	33.4	防油堤内	不明
145	2007/11/26	53, 620	ガソリン	側板 母材部	腐食 開孔部	1974/10/15	33.1	防油堤内	0.012
146	2008/08/20	6	エチレンジ クロライド	底板 母材部	腐食 開孔部	1971/12/11	36.7	防油堤内	0.04
147	2008/04/30	176	ポリエ ーテル	側板 母材部	腐食 開孔部	1970/11/20	37.5	防油堤内	1.02
148	2008/06/13	14	アタブロ ン乳剤	底板 母材部	腐食 開孔部	1975/11/14	32.6	防油堤内	0.002
149	2009/08/31	1, 730	C 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1960/05/20	49.3	防油堤内	0.006
150	2009/09/17	2	軽油	側板 母材部	腐食 開孔部	1974/07/10	35.2	防油堤内	若干
151	2009/01/16	520	メタクリル 酸メチル	底板 母材部	腐食 開孔部	1974/10/03	34. 3	防油堤内	0.045
152	2009/12/24	40	1.4-ブタン ジオール	底板 母材部	き裂部	1986/01/30	23.9	防油堤内	0.4
153	2009/12/22	900	再生油	底板 母材部	腐食 開孔部	1977/07/07	32.5	防油堤内	30
154	2010/01/24	51, 252	ジェット 燃料	底板 溶接部	き裂部	1968/05/25	41.7	防油堤内	0.14
155	2010/04/02	100	A 重油	側板 母材部	腐食 開孔部	1981/01/08	29.2	防油堤内	0.02
156	2010/04/05	4, 900	潤滑油 原料	底板 母材部	腐食 開孔部	1963/02/11	47.2	防油堤内	0.04

N -	<u> 秋</u> 中 左 日 口	許可	貯蔵	発生	箇所		経過	地宝然田	流出量
NO.	先生十月日	容量	油種	箇所	詳細	议 但十月口	年	恢 音軋囲	(k1)
157	2010/05/21	405	香油	側板	腐食	1070/19/19	30 5	防油坦内	0.4
107	2010/03/31	495	里但	母材部	開孔部	1979/12/12	50.5	PIIIVEPJ	0.4
158	2010/06/07	3 997	(重油	底板	腐食	1969/09/29	40.7	防油垾内	0.01
100	2010/00/01	5, 221	し重加	母材部	開孔部	1303/03/23	10.1	PJILL VEP 1	0.01
159	2010/06/15	25	C重油	底板	腐食	1973/09/15	36.8	防油堤内	0.02
100	2010/ 00/ 10	20		母材部	開孔部	1010/00/10	00.0		0.02
160	2010/07/11	25, 463	重油	側板	腐食	1970/06/11	40. 1	防油堤内	0.03
100		20, 100	- Z IM	母材部	開孔部	1010/00/11	10.1		
161	2010/09/07	50	重油	側板	腐食	1984/08/29	26.0	防油堤内	0.2
				母材部	開孔部				
162	2010/10/03	997	重油	側板	腐食	1967/10/13	43.0	防油堤内	0.03
				母材部	開孔部				
163	2011/01/05	20, 171	ナフサ	底板	き裂部	1968/11/12	42.1	防油堤内	4
				溶接部					
164	2011/04/14	500	灯油	側板	腐食	1975/12/26	35.3	防油堤内	若干
				母材部	開孔部				
165	2011/06/06	150	重油	底板	腐食	1967/06/07	44.0	防油堤内	0.2
				母材部	開孔部				
166	2011/10/12	2, 785	軽油	側板	腐食	1980/09/29	31.0	防油堤内	0.01
				母材部	開孔部				
167	2012/01/20	9	灯油	底板	腐食	1975/09/20	36.4	防油堤内	0.2
				浴接部	開北部				
168	2012/05/02	10	重油	側板	腐食	1984/03/21	28.1	防油堤内	0.001
				母材部	開扎部 座 &				
169	2012/07/16	150	重油	広 板	腐食	1970/6/15	42.1	防油堤内	0.05
				西 村部	用扎部 				
170	2012/08/23	1998	ガソリン	1則収	腐良	1970/12/11	41.8	犬走り部	0.0001
				四七日	用11部 				
171	2012/08/30	960	C 重油	间仅	「版 良 問 ご 立7	1969/12/26	42.8	防油堤内	0.02
				<u>中村前</u>	田 北 前				
172	2012/10/04	300	潤滑油	広 収 次 応 如		1961/08/18	51.1	防油堤内	若干
				俗孩前	用九即				

Ne	改开在日口	許可	貯蔵	発生	- 乳墨年日日	経過	加索約田	流出量
NO.	光生千月日	容量	油種	箇所	 过 回 一 月 日	年	恢 吉軋囲	(k1)
1	1978/06/12	31, 421	灯油	底部隅角部	1972/08/15	5.8	宮城県沖地震	滲み
2	1978/06/12	31, 470	重油	底部き裂	1972/11/08	5.6	宮城県沖地震	26, 798
3	1978/06/12	31, 508	重油	底部き裂	1972/12/18	5.5	宮城県沖地震	23, 705
4	1978/06/12	23, 608	減圧軽油	底部き裂	1973/01/25	5.4	宮城県沖地震	45
5	1978/06/12	23, 588	減圧軽油	底部き裂	1973/01/25	5.4	宮城県沖地震	17,644
6	1983/05/26	2,000	軽油	底部隅角部	不明	12.7	日本海中部地震	滲み
7	1983/05/26	1,000	軽油	底部ドレン部	不明	11.6	日本海中部地震	滲み
8	1993/01/15	1 035	アスファ	側板应屇部	1972/07/29	20.5	釧跤油地震	900+
0	1993/01/13	1,035	ルト	阿伋庄市	1972/07/29	20.0	则떠行地辰	3001
9	1993/01/15	5,000	重油	側板座屈部	不明	不明	釧路沖地震	不明
10	1995/01/17	420	A重油	側板	1967/12/22	27.1	兵庫県南部地震	滲み
11	1005/01/17	000	エチルア	间据应量率	1073/00/21	01 2	戶 唐 個 南 部 地 雪	Q
11	1995/01/17	990	ルコール	<u></u>	1913/09/21	21.0	六座尓旧即地辰	3
12	2011/03/11	4 920	∆重油	库 郊	1073/07/16	37 7	東北地方太平洋	滅乙
12	2011/03/11	4, 920	八里田	心叩伯攻叩	1913/01/10	51.1	沖地震	じの

表 2.4.2 地震時の危険物流出事故事例

2.4.2 屋外タンクの底部からの危険物流出事故の件数

表 2.4.1を基に、通常運転時における屋外タンクの底部及び側板からの危険物流出事故の推移を、 図 2.4.1、図 2.4.2 及び図 2.4.3 に容量別に示す。また、特定屋外タンク貯蔵所からの部位別流出件 数を、図 2.4.4 に示すとともに、底部及び側板からの流出件数における新法及び旧法別の内訳を、図 2.4.5 及び図 2.4.6 に示す。

屋外タンクの底部からの危険物流出事故件数は、1980 年以降容量1千キロリットル以上の屋外タンクの底部からの危険物流出事故件数は減少しているが、これは1977 年(昭和52年) に開放検査が 義務付けられ、1977 年以降順次屋外タンクの開放検査が実施された効果が出ているものと考えられ る。また、容量1万キロリットル以上の屋外タンクは保安検査が実施されているにもかかわらず危険 物流出事故の発生が続いている。

なお、特定屋外タンク貯蔵所の新法旧法別基数(平成25年3月31日現在)を表2.4.3に示す。屋 外タンク貯蔵所の施設数(平成25年3月31日現在)の内訳を、表2.4.4に示す。







図 2.4.3 タンク本体からの危険物流出事故件数(1974~2012年) (1974年の不明1件を除く)(対象:特定屋外タンク貯蔵所(容量1万キロリットル以上))



図 2.4.4 特定屋外タンク貯蔵所からの部位別流出件数(1974~2012 年)



図 2.4.5 底板からの流出件数(新法旧法別) 図 2.4.6 側板からの流出件数(新法旧法別) (1974~2012年)

(1974~2012年)

表 2.4.3 特定屋外タンク貯蔵所の基数(平成 25 年 3 月 31 日現在)

	新法タンク	旧法タンク	合計
甘粉	1,800	5, 761	7 561
革剱	(24%)	(76%)	7, 001

2.4.3 屋外タンクの底部からの危険物流出事故の分析

通常運転時の屋外タンク底部及び側板からの危険物流出事故(対象:172件)について分析した結 果を図 2.4.7 に示す。対象とした全ての屋外タンク貯蔵所において、底部からの危険物流出事故に着 目して整理すると、底部の腐食によるものが 51%、底部のき裂によるものが 10%を占める結果とな った。内部開放検査や保安検査において底部の板厚及び溶接部の検査が義務付けられている特定屋外 貯蔵タンクに限定すると(対象:62件)、底部の腐食によるものが37%、底部のき裂によるものが 13%を占めている。底部の腐食による危険物流出事故の割合はき裂による割合よりも大きいものの、 特定屋外貯蔵タンクでは開放時の板厚確認が一定の効果を果たしているものと考えることができる。 一方、底部のき裂による危険物流出事故は特定屋外貯蔵タンクにおいてもその割合が減少していない ことから、き裂に対する安全性については慎重に検討する必要がある。



図 2.4.7 危険物流出事故の発生部位

特定屋外タンク貯蔵所の底部からの危険物流出事故のうち、旧法タンクについて、部位及び要因別 に着目すると、底部母材部の腐食からが 72%、底部溶接部のき裂からが 28%の割合(図 2.4.8)とな り、容量1万キロリットル以上で限定すると、底部母材部の腐食からが 59%、底部溶接部のき裂か らが 41%となっている。新法タンクについて同様にみると、特定屋外貯蔵タンクで底部母材部の腐 食からの流出の1件であるが、容量1万キロリットル以上では流出事故は起きていない。



図 2.4.8 旧法タンクの発生部位及び要因別のタンク底部からの流出件数

新法タンクに比べ、旧法タンクでは一般的にタンク本体に使用されている板厚が薄く、溶接施工方 法も突き合わせ溶接と比較して強度の弱い重ねすみ肉溶接が多く採用されていることやタンク底板 と基礎表面との空隙によるたわみなどが、底部母材部及び底部溶接部ともに危険物流出事故が多く発 生する原因と考えられる。

旧法タンクの底部板溶接部の破断による危険物流出事故事例を以下に示す。

(1)局部沈下及び溶接部内部の欠陥の相乗効果による割れ(表 2.4.1 事故事例No.28)

①事故概要

横浜市内の製油所のタンクで底板相互の重ね継手溶接部が破断し、原油が排水溝に 50 キロリットル流出した。

②発生日時 1979年2月4日 12時30分ごろ

③タンク概要

・形式 浮き屋根式

・寸法 直径 69.765m×高さ 15.29m

・容量 50,000 キロリットル

·内容物 原油

・アニュラ板:材質HT60 板厚12.0mm 底板;材質SS41 板厚8.0mm

④事故原因

基礎の局部沈下、溶着金属の腐食及び溶接部内部の欠陥の相乗効果によって底板相互溶接部の重 ね継手が破断したもの。(図 2.4.9 参照)



図 2.4.9 底部板溶接部の破断部概略

(2)低サイクル疲労による底部板溶接部の割れ(表 2.4.1 事故事例No.154)

①事故概要

千葉県市原市の製油所の旧法新基準適合タンクの底部板溶接部が割れ、ジェット燃料が流出した もの。流出量は 0.14 キロリットルと算定されている。

②発生日時 2010年1月24日 16時50分ごろ

(直近の保安検査から約5か月後)

③タンク概要

- ・形式 浮き屋根式
- ・寸法 直径 67.37m×高さ 18.24m
- ・容量 51,252 キロリットル
- ・内容物 ジェット燃料

・アニュラ板:材質 SM50C 板厚 15.0 mm 底板;材質 SS41 板厚 6.0 mm
 ④事故原因

タンクを開放して危険物流出箇所を特定したところ、ルーフサポート用当板近傍のタンク底板の 重ね溶接の溶接線に長さ約350mmのコーティング及び底板の割れが発見された。低サイクル疲労に よる割れと事業所では推定している。(図2.4.10参照)



図 2.4.10 底部板溶接部の破断部概略

(3)溶接部内部に欠陥があり、繰り返し荷重による底部板溶接部の割れ(表 2.4.1 事故事例No.163) ①事故概要

横浜市内の製油所の旧法新基準適合タンクで底板相互の重ね継手溶接部が破断し、ガソリンが流 出した。

②発生日時 2011年1月5日 11時15分ごろ

(直近の保安検査から約3年5か月後)

③タンク概要

- ・形式 浮き屋根式
- ・寸法 直径 46.500m×高さ 15.275m
- ·容量 20,171 キロリットル
- ・内容物 ガソリン
- ・アニュラ板:材質 SS41 板厚 8.0 mm 底板;材質 SS41 板厚 8.0 mm

④事故原因

タンクを開放して危険物流出箇所を特定したところ、ルーフサポート用当板近傍のタンク底板の
重ね溶接の溶接線に長さ約450mmのコーティング及び底部溶接部の割れが発見された。溶接部内部 に欠陥があり、液面変動による繰り返し荷重による底部板溶接部の割れと事業所では推定している。 (図 2.4.11 参照)



図 2.4.11 底部板溶接部の破断部概略

屋外タンクでは、タンク本体の底部の腐食による危険物流出事故が大きな割合を占めてはいるが、 屋外タンク貯蔵所全体に比べ、特定屋外貯蔵タンクではその割合が減少していることからも、内部開 放点検時等の底部板厚確認が一定の効果を果たしているものと考えることができる。一方、底部のき 裂による危険物流出事故は、特定屋外貯蔵タンクにおいてもその割合が減少していないことから、底 部のき裂に対する安全性については慎重な対応が必要であると考えられる。

2.4.4 屋外タンク貯蔵所の設置経過年別危険物流出事故の件数

表 2.4.1 を基に設置経過年別の通常運転時の流出事故件数を図 2.4.12 に示す。設置経過年が 10 年以上になると危険物流出事故が増加している傾向にある。なお、設置経過年が 35 年以上で事故件 数が少なくなっているのは、母数が少ないためと考えられる。

旧法タンクでは、設置経過年が10年以上15年未満のもので、危険物流出事故が多く発生している が、これらの屋外タンクについて設置年による要因を分析したところ、昭和36年から51年の間に設 置されており、建設時期が特定の年に偏ってはいなかった。

旧法タンクでは、全般的に危険物流出事故が多く、新法タンクと比較して使用される板厚や溶接施 工方法が異なることが主な要因と考えられる。また、設置経過年が短い期間では、底部からの危険物 流出事故が多く、設置経過年が長くなると、側部からの危険物流出事故が多いことが分かる。



* ()内は合計件数

図 2.4.12 屋外タンク貯蔵所の設置経過年別危険物流出事故件数

2.4.6 屋外タンクの底部からの危険物流出事故の流出量

表 2.4.1 及び表 2.4.2 を基にタンクの容量別流出事故件数と流出量の関係を通常運転時の事故に ついて表 2.4.4、地震時の事故について表 2.4.5 に示す。屋外タンクの容量が1万キロリットル以上 のものの平均流出量は、1万キロリットル未満のものと比べてかなり多く、特に地震時の流出量が多 いことが分かる。これは、容量が大きい屋外タンクで万が一危険物流出事故が起こると、その流出を 止めることが非常に困難であるとともに、周辺環境等への影響も甚大であることを意味している。

タンク容量	施設件数 (H24 年度統計)	流出事故件数 < >内は流出量不 明の件数	平均流出量 (不明除く) (キロリットル)
1千キロリットル未満	57, 474	62 < 11 >	5. 71
1千キロリットル以上 1万キロリットル未満	5,240	13 < 2 >	12.82
1万キロリットル以上	2, 321	18 < 1 >	2543.90

表 2.4.4 タンクの底部からの流出事故(通常運転時)の平均流出量

表 2.4.5 タンクの底部からの地震時流出事故の平均流出量

タンク容量	施設件数 (H24 年度統計)	流出事故件数	平均流出量 (キロリットル)
1千キロリットル未満	57, 474	0	0.0
1千キロリットル以上 1万キロリットル未満	5, 240	3	0.0
1万キロリットル以上	2, 321	5	13638.4

2. 5 現状の分析のまとめ

2.5.1 旧法タンクの補修状況

旧法タンクの補修状況の変化から、経年劣化の度合いを推測することができた。旧法タンクについ て、過去における保安検査時に多くの補修が行われており、取替・当て板という比較的大規模な補修 の実施率は、分析を実施した期間において、タンク全体の4割から5割を占めていた。一方、比較的 小規模な補修である肉盛り補修では、タンク全体の約6割を、溶接部補修では8割以上となり、近年 では、肉盛り補修の実施率が9割以上にのぼることが分かった。旧法タンクについては、大規模な補 修等により、基準が維持されていると推測される。なお、分析を実施した期間において、どの時期で も補修率が高いことから、同一タンクにおいて保安検査のたびに補修が繰り返されていることが読み 取れ、経年劣化の進行が推測される。

2.5.2 旧法タンクの事故状況

屋外タンク貯蔵所の底部からの危険物流出事故の9割以上は旧法タンクで発生している。流出事故 件数を発生年でみると、1980年以降、容量1千キロリットル以上の屋外タンク貯蔵所については減 少しているが、これは1977年(昭和52年)に内部開放検査が義務付けられ、1977年以降順次屋外 タンク貯蔵所の内部開放検査が実施された効果が出ているものと考えられる。しかしながら、容量1 万キロリットル以上の旧法タンクについては危険物流出事故の発生が続いている。

容量1万キロリットル以上の旧法タンクにおいて、底部からの危険物流出事故に限定してその部位 別に整理すると、底部母材部の腐食が59%(10基)、底部溶接部のき裂が41%(7基)となってい る。一方、容量1万キロリットル以上の新法タンクについて同様にみると、流出事故は起きていない。 新法タンクに比べ旧法タンクは、一般的に板厚が薄く、溶接施工方法も突き合わせ溶接と比較して強度の弱い重ねすみ肉溶接を多く採用しているため、底部母材部及び底部溶接部ともに流出事故が発生していると考えられる。

屋外タンク貯蔵所の底部からの危険物流出事故について要因別に整理すると、腐食による事故が大 きな割合を占めているのが分かるが、屋外タンク貯蔵所全体に比べ、特定屋外タンク貯蔵所ではその 割合が減少している。このことから、内部開放点検時等の底部板厚確認が一定の効果を果たしている ものと考えることができる。一方、底部のき裂による危険物流出事故は特定屋外貯蔵タンクにおいて もその割合が減少していないことから、底部のき裂に対する安全性については慎重に検討する必要が ある。

屋外タンク貯蔵所の危険物流出事故に伴う流出量について、通常運転時と地震時に分けて整理した ところ、危険物の平均流出量は、容量1万キロリットル以上の屋外タンク貯蔵所がそれ未満のものと 比べてかなり多く、特に地震時の平均流出量が多いことが分かった。これは、容量が大きい屋外タン クで危険物流出事故が起こると、その流出を止めることが非常に困難であることを意味しており、周 辺環境等への影響も甚大であることが想像される。

第3章 基礎・地盤に関する影響

3.1 基礎・地盤の影響評価の方法

旧法屋外タンク貯蔵所の基礎・地盤の堅固さが底部板の強度に及ぼす影響について評価 するために、比較としての新法屋外タンク貯蔵所も含めて、実タンクによる水張試験時に おける沈下量計測及び有限要素法を用いた沈下量解析を実施した。

3.1.1 基礎・地盤の堅固さについて

屋外タンク貯蔵所の基礎・地盤の技術基準のうち、新法タンクの地盤についてまとめた ものを図 3.1.1 に示す。地盤はタンク荷重によって生じる応力に対して安全なものとする ほか、標準貫入試験、平板載荷試験、圧密度試験等によって得られた地盤の工学的指標に より堅固さを確認していることがわかる。



図 3.1.1 新法タンクの地盤に係る技術基準

一方、旧法タンクの地盤については、設置されてから貯蔵液を含んだタンク荷重により 地盤が締め固められていることが期待されるため、技術基準としては液状化の項目がある のみとなっている。すなわち、旧法タンクの地盤の物性は工学的指標により確認されてい ないことから、ここでは旧法タンクの基礎・地盤が受ける荷重と変位の関係を分析した。

3.1.2 不等沈下の点検によるタンク沈下量測定

屋外貯蔵タンクの不等沈下の測定は、定期点検により実施することとなっており、その 測定方法は、レベル計等を用いてタンク側板下部の沈下量を全周にわたって計測し、沈下 量の最大と最小の差をタンク内径で除した値を不等沈下率と定義している。不等沈下率が 1/100 を超えた場合には保安検査を実施しタンク底部の板厚と溶接部の健全性を確認する とともに、基礎の不陸修正を行わなければならない。

不等沈下の測定によりタンク外周部における沈下量は把握できるものの、タンク内部が 貯蔵液の荷重等によりどの程度沈下しているかは確認できない。貯蔵液の荷重等によるタ ンクの沈下量がタンク外周部とタンク内部で異なる場合(図 3.1.2 参照)は、沈下による 底部板の相対変位が生じることから応力が発生することとなる。したがって、貯蔵液の荷 重等によるタンク底板全面の沈下量を把握することが、底部板の強度を評価する上で必要 になると考える。



図 3.1.2 荷重によるタンク沈下のイメージ

3.1.3 基礎・地盤の強度に係る影響評価の方法

基礎・地盤がタンク底部板に及ぼす強度上の影響についてまとめると次のようになる。

- (1) 基礎・地盤の堅固さに関する工学的指標を得るために、基礎・地盤に係る荷重とそ れに伴う沈下量との関係を明らかにする必要がある。
- (2) 荷重と沈下量の関係は、タンク外周部の沈下量とタンク内部の沈下量を併せて評価 する必要がある。

以上のことから、屋外タンク貯蔵所の水張試験を利用したタンク外周部及びタンク内部 の底板の沈下量計測及び有限要素法を用いた沈下量解析を実施し、上述した基礎・地盤に 係る荷重とそれに伴う沈下量との関係について整理した。

- 3.1.4 側板外周部及びタンク内底板の沈下量の計測
 - (1)屋外貯蔵タンクの基礎・地盤の堅固さの定量的な評価方法の検討のため、1万キロ リットル以上の屋外貯蔵タンクに対して、水張試験時にタンク外周部とタンク内部の 沈下量計測を行った。
 - 計測対象タンク

旧法タンクを対象として2基の沈下量計測を実施した。また、独立行政法人石油天 然ガス・金属鉱物資源機構の委託を受けて平成18年度から20年度にかけて危険物保 安技術協会が行った「水張り検査の合理化に関する検討業務」において、新法タンク を対象とした2基の沈下量計測が実施されている。これらから、新法、旧法と基準の 異なるタンクの水張荷重と沈下量の関係を比較した。表3.1.1のうち、タンクA及び Bは旧法タンク、タンクC及びDは新法タンクを示す。

				2	<u> </u>
		タンクA	タンク B	タンクC	タンクD
	住 正	卡阪府博士	抽本川圓構近古	青森県上北郡	鹿児島県肝属郡
		八败刑马门	种东川东倾供印	六ヶ所村	東串良町
	適用基準	旧法(新基準)	旧法(新基準)	新法	新法
	≦1-301世1月月	平成 24 年 12 月	平成 23 年 12 月	平成 20 年 9 月	平成 20 年 11 月
計例判同		~平成25年1月	~平成25年1月 ~平成24年1月 ~10月		~12 月
	内径(mm)	29,060	36, 830	81, 500	83, 300
甘卡	側高さ(mm)	16, 455	21,945	24,000	23,000
本 平 十 注	最高液高(mm)	13, 426	21,600	21,600	21, 300
114	底部勾配	1/120	1/120	1/120	1/200
	貯蔵容量(k1)	8,830	19,000	110,000	116,000
底部	底板(mm)	9	8	12	12
板厚	アニュラ板(mm)	12	12	21	21

表 3.1.1 対象とした屋外貯蔵タンクの諸元

②旧法タンクの基礎・地盤

沈下量計測を実施した旧法タンク2基(表 3.1.1 参照)の基礎・地盤は、どちらも新 基準適合済みのものである。タンクAは、軟弱な地盤にサンドドレーン・ウェルポイン ト工法を施しているものであり、タンクBは、基礎形式が直接基礎(盛り土基礎)で側 板直下や盛り土基礎の外周部に RC リングの施工がないものである。

(2) 側板外周部及びタンク内部の沈下量の計測方法

水張試験時の側板外周部及びタンク内部の沈下量計測を以下の方法により行った。

①側板外周部の沈下量計測

側板外周部の沈下量測定は、危険物の規制に関する規則第20条の10第1項第1号側 板最下段の水平度の計測と同様の手法によりタンク外周32点等の沈下量計測を行った。 ②タンク内部の沈下量計測

タンク内に水張りを行った影響によるタンク内部の変形(沈下)量を計測するため、 浮き屋根上に存在するルーフサポート孔等を利用した。計測数は、10箇所等とし、図 3.1.3 にタンク内部の沈下量計測位置例と側板外周部の沈下測量位置例を示す。



No.	А, В	C, D	E, F	$G \sim J$	1~16'
中心からの距離(m)	4.5	7.8	11.5	14.0	18.7

図 3.1.3 タンク内部の沈下量計測位置と側板外周部の沈下測量位置例(タンクB)

計測方法は基準標高からタンク側板の内側に仮 B.M を設置し、以下の3種類で実施した。

- ・ レベル測量による沈下量計測
- ・ レーザーレベル計による沈下量計測
- ・ タンクスケールによる沈下量計測

タンク内部の底板部から浮き屋根上までの計測は、JIS1級の鋼製巻尺を用いた。設置 方法は、浮き屋根上の孔位置に設定した計測位置の直下にあたる底板部に強力な磁力を 有するマグネットホルダ台を取り付け、その上部に鋼製巻尺を固定する方法とした。

③レベル測量による仮 B.M の設置とタンク内部の底板の標高測定

レベル測量による仮 B.M の設置とタンク内部の底板の標高測定のイメージを図 3.1.4 に示す。手順は次のとおりである。

- a. 基準標高の B. M からタンク天端部にあるプラットホームを利用し、仮 B. M を 2 箇所 設置する。この時、タンク側板の外側および内側については鋼製巻尺による直接計 測とした。
- b. タンク側板の内側に設けた仮 B.M を使用しレベル測量を実施した。浮き屋根の仕様 はシングルデッキであり、デッキの変形影響を受けないポンツーン上に器械を設置 した。
- c. タンク内部の底板に設置した鋼製巻尺の読み値から各測定箇所の標高を算出した。



図 3.1.4 レベル測量による仮 B.M 設置とタンク内部の底板の標高測定

④レーザーレベルによるタンク内部の底板の標高測定

レーザーレベルを用いたタンク内部の底板の標高測定のイメージを図 3.1.5 に示す。 測定は、③によるレベル測量で設置したタンク側板の内側の仮 B.M を利用し、レベル 測量器械の代わりにレーザーレベル装置を設置して行った(装置はポンツーン上に設置)。

レーザーレベル装置では、レベル測量時に設定した2点の仮 B.M の標高に差がないこ と、自動水準器によるレーザー水平ライン上の測定結果がレベル測量と相違ないことを 確認した。



図 3.1.5 レーザーレベルを用いたタンク内底板の標高測定

⑤タンクスケールによるタンク内部の底板の沈下量測定

タンクスケールを用いたタンク内部の底板の沈下量測定のイメージを図 3.1.6 に示す。 測定は、タンク内部の底板に設置した鋼製巻尺の読み値により、ルーフサポート孔よ り底板へ降下させたタンクスケール直読位置の標高を算出した。



図 3.1.6 タンクスケールを用いたタンク内部の底板の沈下量測定方法

⑥沈下量計測のタイミング

対象タンク内への水張水位と沈下量計測のタイミングイメージを図 3.1.7 に示す。 試験時の沈下量計測は,水位を増加させる条件(①~⑥)と水位を減少させる条件(⑥~ ①)の計 11 回等実施した。



図 3.1.7 水張試験水位と沈下量計測のタイミングイメージ例(タンクB)

3.1.5 有限要素法を用いた沈下シミュレーション

基礎・地盤に係る荷重とそれに伴う沈下量との関係を定量的及び定性的に評価すること を目的として、表 3.1.1 のタンクA及びタンクBについて、有限要素法を用いた沈下シミ ュレーションを行った。なお、タンクAについては、地盤のサンプリングによる三軸試験 等の結果がないため詳細にデータが設定できなかったが、タンクBは、地盤のサンプリン グによる三軸試験等の結果により詳細にデータが設定できた。

(1) 使用する解析コード

使用する解析コードは、土の弾塑性を示す応力-ひずみ関係が表現でき、離間が表現で きるものが望ましい。汎用プログラムには ABAQUS を利用し、解析 step を細かく刻み、前 stepの結果により剛性を載荷履歴と現在の応力レベルに応じてその stepの解析を実施させ た。

(2) 構造モデル

構造モデルのイメージを図 3.1.8 に示す。解析範囲は石油タンクの径をDとすると、平 面方向には6D、深さ方向には3Dをとる。地盤の境界条件は、底面および外周面はピン ローラーとし、底板と地盤の境界は接触要素で表現する。



図 3.1.8 構造モデルのイメージ

(3) 先行荷重状態の推定

タンク底板直下の地盤の特性について、ブロックサンプリングした試料に対する三軸試 験より求められていたタンクの地盤は、地中部の粘性土に対する圧密試験結果より過去の 地盤に与えられた荷重履歴を推定した。

一方、地盤のサンプリングによる三軸試験や圧密試験が行われていないタンクの地盤は、 当該タンクの局部すべり判定で用いられたものに整合するように設定した。

なお、地盤に与えられた先行荷重状態の荷重 pc は、当該タンクの最高液面高さに相当する水位 13.4m 相当(pc=132kN/m²)と仮定した。

(4) 有限要素法を用いた解析のフロー

有限要素法を用いた解析は3つの PHASE で実施した。その流れを図3.1.9 に示す。



図 3.1.9 有限要素法を用いた解析の流れ

(5) 地盤の要素特性の評価

①破壊基準

地盤の破壊曲面は Mohr-Coulomb で規定した。Mohr-Coulomb のパラメータである土の粘着力 c 及び土の内部摩擦角 φ は、当該地盤から採取された不撹乱試料を用いた三軸試験 から得られるものを用いるのが望ましい。当該地盤の三軸試験結果がないタンクについては、N値等から推定した。

・破壊規準: Mohr-Coulomb c: 土の粘着力 φ: 土の内部摩擦角
 破壊規準に載った場合は一次剛性のα₂₂倍に剛性低下

 $c = 10N, \phi = \sqrt{15N} + 15 E U c.$

・ポアソン比v $v = \frac{1 - sh\phi}{2 - sh\phi}$ ϕ :土の内部摩擦角 ただし $\phi = 0$ の場合、破壊規準に達した時 v = 0.495 ②地盤の基準剛性

地盤の基準剛性の定め方のフローを図 3.1.10 に示す。基準剛性とそれに対応する拘束 圧は、当該地盤から採取された試料に対する要素試験から得られるものを用いるのが望 ましい。当該地盤の要素試験結果がないタンクについては、N値とVsとの関係より推定し た剛性Eoを基準剛性とし、N値とVsとの関係より推定した基準剛性に対応する拘束圧は pe=180kN/m²とすることとした。



図 3.1.10 地盤の基準剛性の定め方

地盤のせん断弾性波速度から地盤の弾性剛性の基準値は下式で求める。

弾性剛性の基準値 **E₀ = 2(1+ 1)G₀** せん断弾性係数 **G₀ = pV**

ρ:質量密度

Ⅴ: 地盤のせん断弾性波速度

地盤の要素試験結果がないタンクにおいて、標準貫入試験の N 値より地盤の弾性剛性の基準値を推定する場合は図 3.1.11 で求める。



③地盤剛性の初期状態の設定

地盤の剛性はそれまで受けてきた荷重履歴を反映している。このため、地盤の要素試験結果がないタンクにおいては、図 3.1.12 に示すフローのように、弾性剛性の基準値と それに対応する拘束圧を元に、荷重履歴による拘束圧の変化に起因する剛性変化を評価 して地盤の弾性剛性の初期状態を設定した。



図 3.1.12 地盤剛性の初期状態の設定

弾性剛性は、(履歴最大最大主応力/基準拘束圧)の0.5 乗に比例することとした。また、せん断応力によって塑性ひずみが生じたときの全ひずみ増分(弾性ひずみ増分と塑性ひずみ増分の合計)に対する剛性も変化するが、初期せん断応力状態時の塑性ひずみ成分が生じた時の全ひずみ増分に対して定義した接線剛性は DUNCAN-CHANG 式で評価することとした。PHASE1、2 の除荷時には剛性は変化しないものとした。

・地盤の一次剛性 *E*₁₊₄ 弾性剛性の基準値*E*₀
 (1+1)step 時の剛性*E*₁₊₄ を、(f)step までの最大主応力*σ*_{1,1+1}より下式で修正する。
 *E*₁₊₄ = *E*₀ × (*σ*_{1,2}/*p*₄)^{0.2} ここで、*p*₆:基準拘束圧

 $\sigma_{1,2} = \max(\sigma_{1,4,-1})$

·降伏規準内剛性

PHASE 1 では、先行荷重状態 pc 相当の荷重履歴を反映させ、先行荷重状態 pc まで地表 面に自重方向へ多 step で載荷することとし、自重に加え先行荷重状態 pc 相当の荷重を 地表面に載荷することにより、それまで受けてきた荷重履歴を考慮することとした。自 重+先行荷重状態 pc まで地表面に自重方向へ多 step で載荷することにより、step 毎の 剛性変化が評価できる。PHASE2 では、水張試験実施前の状態を設定する。先行荷重 pc を 取り除き、自重のみの水張試験実施前の地盤の応力状態を求めた。

④水張試験時の地盤剛性変化

PHASE3 では、水張水位を増減し水張試験をシミュレートした。ここでは、弾性成分の 剛性の拘束圧依存性及びひずみ依存性を考慮することとした。PHASE1、2 で得られた剛性 を初期剛性とし、(++1)step の剛性変化の拘束圧依存性は((のstep の最大主応力/自重 時の最大主応力)の 0.5 乗に比例することとした。剛性変化のひずみ依存性は、除荷、 再載荷の開始時から生じた最大主ひずみの増分に依存することとした。剛性変化のひず み依存性の程度は、当該地盤から採取された試料に対する三軸試験から得られるものを 用いるのが望ましい。当該地盤の三軸試験結果がないタンクについては、既往の研究資 料(木幡行宏、村田修 せん断剛性比のひずみレベル依存性に関する定式化 土木学会第 55 回年次学術講演会)を参考に定めることとした。

・地盤の一次剛性 Ei+1

PHASE2 終了時(水張試験直前)の弾性剛性(i+1)step 時の各要素の剛性 E_{i+1} を、初期 地盤弾性剛性 E_0 と(i)step の最大主応力 σ_{1i} より下式で修正する。

 $E_{t+4} = E_0 \times \left(\sigma_{1,t}/\sigma_{1,0}\right)^{0.8} \qquad \text{til} E_{t+1} \ge E_0$

ここでの」。は PHASE2 終了時(水張試験直前)の最大主応力

・降伏規準内剛性 (1+1)step

接線剛性 $E_{r_i,j+4}$: $E_{r_i,j+4} = E_j \times K$

$$\sum C C K = \frac{B}{A}$$

$$A = 1 + \alpha \cdot (1 + \nu)^{\beta} \cdot (1 - \beta) (\Delta \varepsilon)^{\beta}$$

$$B = (1 + \alpha \cdot (1 + \nu)^{\beta} (\Delta \varepsilon)^{\beta})^{2}$$

▲ε:除荷時 除荷開始点の ε₁ と () step の ε₁ との差の絶対値
 再載荷時 再載荷開始点の ε₁ と () step の ε₁ との差の絶対値
 ここで ε₁ は最大主ひずみ (圧縮側)

なお、🐔 👔は表 3.1.2 に示す。

X 81		in the second se
地盤材料	α	β
沖積粘性土	135.997	0.804
洪積粘性土	270.033	0.824
沖積砂質土	603.053	0.854
洪積砂質土	603.902	0.942

表 3.1.2 ひずみ依存性の 🕵 β

木幡行宏,村田修 せん断剛性比のひずみレベル依存性に関する定式化

(土木学会第55回年次学術講演会)

3.2 基礎・地盤の評価結果

屋外タンク貯蔵所について、実タンクによる水張試験時における沈下量計測を実施し、 タンク底部板の挙動を確認するとともに、当該挙動について、有限要素法を用いた沈下量 の解析が可能であるかを比較検証した。

3.2.1 水張試験時における沈下量計測結果

水張試験を利用したタンク外周部及びタンク内部の底板の沈下量計測を実施した結果を 以下に示す(図 3.2.1 参照)。

- ・水張水位と沈下量の関係は、注水時と排水時において非線形であることが確認された。
- ・同一の水張水位における沈下量は、タンク外周部に比べタンク内部のものが大きいこ とが確認された。
- ・タンク内部においては、沈下率(水位 1m あたりの沈下量)が大きくなる部分があるこ とが確認された。タンク底板と基礎表面との局部的な隙間(空隙)が沈下率に影響し ていることが考えられる(図 3.2.2 参照)。



図 3.2.1 水張試験による旧法タンクの沈下量計測結果



図 3.2.2 タンク底板と基礎表面との局部的な隙間(空隙)イメージ

また、旧法タンクの地盤(タンク A 及びタンク B) は新法タンク(タンク C 及びタンク D) に比べ沈下量が大きくなる状況が伺える。特に、旧法タンクのタンク内部の底板に係る沈 下量は、新法タンク C の約3~6倍、タンク D の約1.5~3倍となっていることに留意する 必要がある(図3.2.3参照)。



図 3.2.3 タンク内径で正規化された沈下量の比較(タンク内部底板平均)

3.2.2 有限要素法を用いた沈下量解析結果

(1) 平板載荷試験の沈下量と解析結果との比較

有限要素法を用いた解析手法等の妥当性を検証するために、既往の平板載荷試験の状況 について沈下量解析を実施した結果を以下に示す(図 3.2.4 参照)。

・有限要素法を用いた解析により、荷重と沈下量の関係の非線形性を表現できた。

・地盤剛性の設定を詳細に行うことができたことにより、解析結果が試験結果と定量的 にも一致した。



図 3.2.4 平板載荷試験の沈下量解析結果

(2) 水張試験のタンク沈下量と解析結果との比較

水張試験時の沈下量計測を実施したタンクを対象とした沈下量解析を行い、計測結果と 解析結果の比較を実施した結果を以下に示す。なお、今回検証した旧法タンクの地盤のう ち比較的地盤物性を詳細に設定できたタンクBの場合の例を図 3.2.5 に、地盤物性を詳細 に設定できなかったタンクAの場合の例を図3.2.6に示す。

- ・地盤物性を詳細に設定できた場合は、タンク外周部の沈下量は、計測結果と解析結果との間に良好な一致を見た。
- ・タンク内部の沈下量及び物性を詳細に設定できなかった地盤におけるタンク外周部の 沈下量は、計測結果に対し解析結果が過小評価する結果となった。



図 3.2.5 地盤物性を詳細に設定できた場合の水張試験のタンク沈下量解析結果



図 3.2.6 地盤物性を詳細に設定できなかった場合の水張試験のタンク沈下量解析結果

3.3 基礎・地盤に関するまとめ

3.3.1 水張試験時の底部鉛直方向計測について

タンク内部の沈下量を測定する方法として、今回仮ベンチマークをタンク側板の内側に 設置し、レベル測量と鋼製巻尺を利用した測定方法を用いた。レベル測量の結果を用いて、 レーザーレベル計やタンクスケールを併用することで、水張試験時のタンク底板の沈下量 を算出し、底板の挙動を分析した。

変位計測結果から、旧法タンクにおいては、水張試験における低水位段階において底板

の変位量が大きく、空液時においてはタンクの底板と地盤基礎面が密着していない部分(空隙)が存在することが予想される。この挙動は底板への応力負担が増大し、タンク貯蔵物 の受け払いによる疲労破壊の原因ともなる。今回実施した沈下量計測は、水張水位の低い 段階での測定を増やすなどの工夫を行ったが、水張水位と地盤の沈下量との関係に対して 空隙量が及ぼす影響について有効に評価することが可能なデータを得るまでには至らなか った。なお、タンク底板と地盤基礎面との空隙量を非破壊的に測定できる可能性のある技 術としては、y線や中性子線を使ったものが現在確認されている。

3.3.2 有限要素法を用いた沈下量解析について

(1) 平板載荷試験の有限要素法を用いた解析

旧法屋外タンク貯蔵所は、設置以来貯蔵液の受入払出しを繰り返している。つまり、荷 重の除荷と再載荷を繰り返しているが、除荷と再載荷における荷重と地盤の沈下量との関 係は非線形的挙動となることが考えられる。今回実施した有限要素法を用いた解析では、 地盤各層の剛性について拘束圧依存性とひずみ依存性の両者を考慮することで、荷重と沈 下量との関係の非線形性を表現することを可能とし、平板載荷試験の有限要素法を用いた 解析については、定量的にも良好な一致を得ることができた。

この結果は、上述した地盤各層の剛性に関する取扱い方法に加え、初期剛性値の設定が 適正であったためと考えられる。平板載荷試験のシミュレーションに用いた初期剛性値は、 三軸試験から得られた等価ヤング率を用いて求められたものである。

(2)実タンクの水張試験の沈下量と有限要素法を用いた沈下シミュレーションとの比較 実タンクの水張試験の沈下量と有限要素法を用いた沈下シミュレーションとの比較について、地盤物性を詳細に設定できた場合のタンク外周部の沈下量に関しては定量的にも良好な一致をみている。沈下シミュレーションの対象となったタンクの地盤は、①粘性土が卓越した地盤であること、②比較的浅い部分に硬い泥岩層が存在したこと及び③粘性土に関する圧密試験結果が存在したことが特徴として挙げられる。旧法タンク全体を沈下シミュレーションの対象とする場合、地盤物性を詳細に設定すれば計測結果をある程度再現することができるが、ボーリング調査におけるN値のみから地盤物性を推定しなくてはならない場合や、堆積層が厚いことから地下水位の影響が大きくなる場合等、今回の解析を実施したタンクと比べて解析条件を詳細に設定できないタンクが多く存在することが考えられる。このため、当該条件のタンクについても沈下量計測結果とシミュレーションの比較 を実施し、データを蓄積していく必要があると考える。

タンク内部の沈下量については、載荷時と除荷時における水位と沈下量の関係について 非線形性を再現することができたが、一方、定量的にみれば、地盤物性を詳細に設定でき た地盤において、計測結果がタンク外周部の沈下量に対して平均して約 2.9 倍であるのに 対して、沈下シミュレーションではそこまでの差異が出ていない。先述したとおり、空液 時にはタンク底板と基礎表面との間に空隙が存在することが予想されるが、沈下シミュレ ーションの初期状態においてはタンク底板と地盤基礎面は密着した状態となっていること から、実タンクにおける空液時の空隙の状況が、計測とシミュレーションの定量的な差に 影響を与えているものと考えられる。こうした空隙の及ぼす影響の定量的な評価について は今後検証が必要と考えられる。外周部に比ベタンク内部の沈下量が大きい結果が得られ ていることを鑑みれば、底板に対して引張応力が発生する可能性があることから、これら の評価に関しては特に注意が必要であると考える。

(3) 旧法タンクの基礎・地盤の堅固さを確認するための課題

有限要素法を用いた解析結果が実タンクによる水張試験の計測結果と比較し過小評価す る結果となった。これはタンクの基礎表面とタンク底板との局所的な空隙等の影響が考え られるが、空隙の範囲や深さについては中性子を用いて非破壊的に確認する方法があるも のの一般的ではないこと、個々のタンクにおいて基礎の表面及び空隙の状態が異なること 等から、タンク底板の沈下に及ぼす空隙等の影響を評価することは現時点では困難である と考えられる。

今後は、水張試験等を利用したタンク底板の沈下量計測の実施と有限要素法を用いた沈 下量解析結果を比較したデータの蓄積及びタンク底板の沈下に空隙等が与える影響につい てのデータ収集により、基礎地盤を統計的に評価するとともに、基礎表面とタンク底板と の空隙測定を実施し空隙の範囲と深さとを詳細にモデル化した解析を行い、液荷重による タンク底板の沈下に関する種々の要因の影響度について評価することで、今後検証が可能 となるものと考える。特に外周部に比べ内部の沈下量が大きいというデータが取れたこと は、底板に対して引張応力が発生する可能性があることから、これらの評価に関しては、 注意を要する。

今回実施した有限要素法を用いたシミュレーション手法を種々の異なる物性の地盤に対 して適用していく必要があり、実際に計測した荷重と沈下量の関係とシミュレーション結 果の定量的な検証の実施が望まれる。一般的に容量が 1 万キロリットル以上の屋外貯蔵タ ンクは、その内径が概ね 30m を超えるものが多いことから、地盤の深さ方向の物性がタン クの沈下に与える影響が大きくなってくると考えられる。従って、タンクの沈下シミュレ ーションを精度よく実施するためには、まずタンク設置位置の原地盤の構造及びその物性 を正確に把握し、沈下シミュレーションのパラメータとして設定する必要があると考えら れる。

この場合において、定量的に精度の高い沈下シミュレーションを実施することを考えた 場合、弾性波探査によって得られる地盤のせん断弾性波速度V₅や孔内載荷試験から得られる 地盤剛性、さらに不撹乱試料を用いた三軸試験から得られる土の剛性、粘着力 c 及び土の 内部摩擦角 φ 等のデータが必要と考えられる。弾性波探査や孔内載荷試験などの原位置試 験と三軸試験のデータを解析して沈下シミュレーションに必要な地盤モデルを構築する場 合、地盤剛性は拘束圧や生じたひずみの大きさによって変化するという非線形性があるこ とを考慮する必要がある。

第4章 底部溶接構造に関する影響

4.1 底部溶接構造の影響評価の方法

旧法屋外タンク底板の重ね継手のすみ肉溶接部においては、のど厚の大きさ、初層部にお ける欠陥の有無、板と板との隙間等の構造的要因により疲労強度が異なることが考えられる ことから、重ねすみ肉溶接のルート部を起点としたき裂が進展した場合を想定した4点曲げ 試験及びき裂進展解析を実施し、上述した構造的要因と疲労強度との関係について整理した。

4.1.1 繰り返し荷重の負荷試験について

(1) 重ねすみ肉溶接部に係る4点曲げ試験

図 4.1.1 に示すように、重ねすみ肉溶接部に係る 4 点曲げ試験(負荷は上スパン 200 mm、 下スパン 300 mm)を実施した。重ねすみ肉により発生する段差は治具で高さを調整した。設 定した変位に対して繰り返し荷重を負荷させる変位制御試験を実施し、設定した変位に到達 した初回負荷の 25%になった時点までの繰り返し回数を計測した。



図 4.1.1 4 点曲げ試験の概要

(2) 試験片の種類

試験片は、のど厚の大きさ、初層部における欠陥の有無及び板と板との隙間の組み合わせ により、表 4.1.1 に示すものとした。

我 F. F. T. 放力的获在关地 , 了快速的安西 ~ 2 种心的 4 2 C						
ケース	のど厚	初層部	隙間	疲労試験		
1	100%	無欠陥	1 mm			
2	50%	無欠陥	1 mm	- 乳-ウ本		
3	100%	無欠陥	5 mm	設正変位: b 種類		
4	50%	無欠陥	5 mm			
5	100%	ブローホールあり	1 mm			
6	50%	ブローホールあり	1 mm	設定変位:4種類		
7	100%	ブローホールあり	5 mm			
8	50%	ブローホールあり	5 mm	試験実施せす		

表 4.1.1 疲労試験を実施する構造的要因の組み合わせ

作成した試験片の断面写真について図 4.1.2~図 4.1.5 に示す。また、参考まで過去に発 生した重ねすみ肉溶接の疲労破壊事例の写真を図 4.1.6 に示す。





図 4.1.6 過去に発生した重ねすみ肉溶接の疲労破壊事例の写真

(3) 溶接施工条件

試験片の溶接は表 4.1.2 に記載した条件に基づいて行われた。なお、初層部に意図的にブ ローホールを発生させた試験片を作成する必要があることから、炭酸ガスアーク溶接を採用 した。

溶接材料	神戸製鋼所製 MG-50T				
棒径	1. 2 mm φ				
パス数	隙間1mm:3 隙間5mm:6				
電流 (A)	190				
電圧 (V)	24				
速度 (cm/min) 約 30					

表 4.1.2 溶接条件

4.1.2 有限要素法を用いたき裂進展解析について

以下に示すような N. E Dowling 他の塑性域におけるき裂進展評価提案式を用いて、所定の き裂進展性解析を行った。

$$\frac{dc}{dN} = C^* (\Delta J_c)^{m^*} \tag{4.1.1}$$

ここで、

- c :き裂深さ (mm)
- N :繰返し回数(cycle)

ΔJ_c: き裂深さを変数とする J 積分範囲(N/mm)

- *C**:き裂進展則の定数
- *m**:き裂進展則の指数

本解析においてき裂進展則の定数C*と指数m*は、以下の値を用いた。

 $C^*=1.014 \times 10^{-5}, m^*=1.75$

(このときの単位系は Δ J が [N /mm]、dc / dN が [mm/cycle]。)

同評価式で用いる初期き裂寸法変化とJ積分範囲の関係は、2次元解析モデル(帯状き裂 を有する重ね継手モデル)により、汎用有限要素法を用いた解析プログラム「ABAQUS」(バ ージョン 6.10)を用いた数値解析により求めた。

(1) 解析条件

4点曲げ試験のモデルと同じ支持条件、負荷位置を考慮した解析モデルの概念図を図 4.1.7 に、隙間及びのど厚不足の2種類の重ねすみ肉溶接部の解析モデルの概念図を図 4.1.8 に示す。



図 4.1.7 重ねすみ肉溶接部の負荷、支持概念図



(2) 隙間+のど厚不足のモデル

図4.1.8 重ねすみ肉溶接部の解析モデルの概念図

(2) 材料特性

弾塑性特性を考慮にいれた2次元平面ひずみモデルによるき裂進展解析(J積分)を実施 した。材料データは2010ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2 (ASME B&PV Code を略称する)に提供される炭素鋼の応力ひずみカーブを使用した。

材料特性は表4.1.3に示す通りである。

			- ,	
材質	ヤング率	ポアソン比	降伏応力	引張強度
	E(Gpa)	v (-)	σ_y (N/mm ²)	$\sigma_{\rm u}$ (N/mm 2)
SS400	200	0. 3	245	415

表 4.1.3 材料特性(JIS B 8257-2008 による)

(3)のど厚

のど厚が $t/\sqrt{2}$ (のど厚 100%モデルと呼ぶ)、 $t/2\sqrt{2}$ (のど厚 50%モデルと呼ぶ)の2 種類とした(図 4.1.9 参照)。なお、溶接部の角度は 45°とした。



図 4.1.9 重ねすみ肉溶接に係るのど厚

(4) 解析パラメータ

解析パラメータとする重ね継手の沈下量(ルート部の鉛直変位)及びひずみの出力位置は 図 4.1.10 に示すとおりである。



図 4.1.10 き裂進展解析時のパラメータ出力位置図

(5) 2次元解析モデル

2次元解析モデルにおける使用要素は、CPE8(8節点、2次、平面ひずみ)要素である。 のど厚の種類により二つの解析モデルを作成した。

①のど厚100%モデル

のど厚 100%のモデルの全体図及び溶接部の拡大図は図 4.1.11(a)及び(b)(板厚 6 mm、 隙間 1 mm)に、 この解析モデルによる解析ケースは表 4.1.4 に示すとおりである。



(b) 溶接部のメッシュ拡大図

図4.1.11 き裂進展解析モデル (のど厚100%モデル)

表4.1.4	重ねすみ肉溶接の2次元モデルによる破壊力学パラメータ	(J積分値)
]	FEM解析ケース(のど厚100%モデル)	

解析番号	隙間	のど厚	初期き裂深さ
			c [mm]
1-1	1.0	4.24	0.0
1-2	1.0	4.24	0.5
1-3	1.0	4.24	1.0
1-4	1.0	4.24	1.5
1-5	1. 0	4.24	2.0
1-6	1.0	4.24	2.5

②のど厚 50%モデル

のど厚 50%のモデルの全体図及び溶接部の拡大図は図 4.1.12(a)と(b)(板厚 6 mm、隙間 1 mm)に、この解析モデルによる解析ケースは表 4.1.5 に示すとおりである。



図4.1.12 き裂進展解析モデル (のど厚50%モデル)

表 4.1.5 重ね継手の 2 次元モデルによる破壊力学パラメータ (J 積分値) **F F M** 解析ケース (のど厚50%モデル)

FEM時初クース (のと) 早30% モリル)					
砌作来早	隙間	のど厚	初期き裂深さ		
	[mm]	[mm]	c [mm]		
2-1	1.0	2.12	0.00		
2-2	1.0	2.12	0.27		
2-3	1.0	2.12	0.53		
2-4	1.0	2.12	0.80		
2-5	1.0	2.12	1.06		
2-6	1.0	2.12	1.33		
2-7	1.0	2.12	1.59		

(6) き裂進展解析手順

き裂進展解析は次の①~③の手順によって実施した。

- J積分の解析結果を、設定したき裂寸法における基本解析制御パラメータとされる重ね 継手の沈下量(鉛直変位)δ₀値(き裂なしの場合の値)との関係で整理する。
- ② J 積分値がゼロの場合、すなわち鉛直変位がゼロの場合を基準状態とし、その基準状態 からの変動量として、解析から得られた J 積分値を J 積分範囲 ΔJ_c と見なす。各設定 したき裂深さの最深点における ΔJ_c のみ注目するため、き裂深さ及び重ね継手の鉛直 変位値 $\Delta \delta_0$ (き裂ありの場合の値)の変動による ΔJ_c の変化を、式(4.1.2)に示す関数 **M**(c) と線形補正関数 $f(\Delta \delta_0)$ との積の形で表わす。ここで、関数 **M**(c) は各設定した き裂深さにおける J 積分値を沈下量 $\Delta \delta_0$ で割った値の平均値 (全ステップ)を用いて、 き裂深さとの関係 (式(4.1.3)に示す多項式)が求められる。重ね継手の沈下量と J 積 分値の関係がほぼ線形であるため、式(4.1.4)に示す近似的な線形補正関数 $f(\Delta \delta_0)$ を 用いて沈下量の変動分の補正を行う。

$$\Delta \mathbf{J}_{c} = \mathbf{M}(\mathbf{c}) \times f(\Delta \delta_{0}) \tag{4.1.2}$$

ここには、

$$\mathbf{M}(\mathbf{c}) = \mathbf{x}_1 c + \mathbf{x}_2 c^2 + \mathbf{x}_3 c^3 + \mathbf{x}_4 c^4$$
(4.1.3)

$$f(\Delta\delta_0) = \frac{p_1 \Delta \delta_0}{1 + p_2 / \Delta \delta_0^2}$$
(4.1.4)

③求めた ΔJ_c を式(4.1.1)に示すき裂進展則に代入して、式(4.1.5)に示すように初期 き裂深さcから、設定した限界き裂状態のき裂深さ c_f (のど厚の80%に達したとき貫通

とみなす)まで積分して、想定した繰返し負荷状態における繰返し回数(貫通までの疲労破断回数) N_f を求める。

$$N_f(-) = \int dN = \int_c^{c_f} \frac{1}{C^*} \frac{1}{(\Delta J_c)^{m^*}} dc = \int_c^{c_f} \frac{1}{C^*} \frac{1}{\left(f(\Delta \delta_0)M(c)\right)^{m^*}} dc$$
(4.1.5)

4.2 底板溶接構造の影響評価

4.2.1 繰り返し荷重の負荷試験について

(1) のど厚の影響について

表4.1.1に示すケース1と2の試験結果を比較したものを図4.2.1に示す。また、ケース3と4の試験結果を比較したものを図4.2.2に示す。これらから、のど厚の大小は疲労強度に大きな影響を与える結果が得られた。



図 4.2.2 初層部無欠陥、隙間 5 mmの場合の試験結果

(2) 初層部欠陥の有無の影響について

表4.1.1に示すケース1と5の試験結果を比較したものを図4.2.3に示す。また、ケース 2と6の試験結果を比較したものを図4.2.4に示す。試験片の作成にあたり初層部へ発生さ せたブローホールは意図的に作成したものであるが、ブローホールの大きさや発生位置等に ついて制御を一切行っていないものであることに留意が必要であるが、初層部無欠陥の試験 結果と比較し疲労強度に有意な差が認められる結果となった。



(3) 隙間の影響について

表4.1.1に示すケース1と3の試験結果を比較したものを図4.2.5に示す。また、ケース 2と4の試験結果を比較したものを図4.2.6に示す。これらから、隙間の大小が疲労強度に 与える影響は他の構造的要因に比較して少ない結果が得られた。



4.2.2 2次元解析モデルによるき裂進展解析結果について

(1)のど厚100%モデルのJ積分値解析結果

帯状初期き裂を有するのど厚 100%モデル(2次元解析モデル)による J 積分値解析結 果を表 4.2.1 に示し、重ね継手の沈下量と J 積分値の関係および沈下量と溶接止端部に発 生した底板の半径方向圧縮ひずみの関係をそれぞれ図 4.2.7 と図 4.2.8 に示す。代表的な き裂部の塑性ひずみ分布図の一例を図 4.2.9 に示す。

表 4.2.1 初期き裂を有する重ねすみ肉溶接ルート部のき裂進展解析から求めた J 積分値

δ (2)			各き裂深さ c ごとの J 積分値 $[N/mm]$					
STEP		ε _r (Δ) Γ0/]	c = 0.0	c = 0.5	c = 1.0	c = 1.5	c = 2.0	c = 2.5
		L 70]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	2.85	-0.07	0.58	1.41	2.84	6.57	11.06	12.95
2	6.10	-0.13	6.37	21.34	32.03	37.33	40.28	38.40
3	9.93	-0.15	20.16	57.69	71.04	75.15	74.75	68.20
4	13.70	-0.20	32.91	93.90	112.09	115.80	112.63	101.26
5	17.22	-0.23	42.83	126.44	154.35	158.95	153.10	137.11
6	20.61	-0.27	50.56	155.94	196.53	202.66	194.89	174.85
7	23.88	-0.31	56.65	179.63	235.08	245.25	238.18	214.41
8	26.75	-0.33	60.07	197.96	271.21	287.90	280.40	254.87
9	29.58	-0.35	62.95	209.07	306.51	328.90	322.11	295.17
10	32.56	-0.37	66.37	221.84	335.97	367.01	361.33	335.13





図 4.2.7 重ねすみ肉溶接部の沈下量と J 積分値の関係 (のど厚 100%モデル)



図 4.2.8 重ねすみ肉溶接部の沈下量と溶接止端部に発生した圧縮ひずみの関係 (のど厚 100%モデル)



図4.2.9 き裂部の相当塑性ひずみの分布図の一例(初期き裂深さc = 2.0 mm)

なお、き裂進展解析の際に、以下の関数M(c)(図4.2.10参照)と線形補正関数 $f(\Delta \delta_0)$ (図4.2.11参照)を用いて、式(4.1.2)より J 積分範囲 ΔJ_c を求める。

 $M(c) = 1.943 + 10.590c - 8.693c^2 + 3.255c^3 - 0.489c^4$

 $f(\Delta\delta_0) = \frac{1.203\Delta\delta_0}{1+30.299/\Delta\delta_0^2}$



図 4.2.10 のど厚 100%モデルのM(c) 関数



図 4.2.11 のど厚 100%モデルの線形補正関数 $f(\Delta \delta_0)$

(2) のど厚 50%モデルの J 積分値の解析結果

帯状初期き裂を有するのど厚 50%モデル(2次元解析モデル)による J 積分値解析結果 を表 4.2.2 に示し、重ね継手の沈下量と J 積分値の関係および沈下量と溶接止端部に発生 した底板の半径方向圧縮ひずみの関係をそれぞれ図 4.2.12 と図 4.2.13 に示す。代表的な き裂部の塑性ひずみ分布図の一例を図 4.2.14 に示す。

表 4.2.2 初期き裂を有する重ねすみ肉溶接ルート部のき裂進展解析から求めた J 積分値 (板厚・6 mm、有害隙間・1 mm、のど厚 50%)

STEP	δ _o [mm]	ε _r (2) [%]	各き裂深さ c ごとの J 積分値 [N/mm]					
			c = 0.00	c = 0.27	c = 0.53	c = 0.80	c = 1.06	c = 1.33
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	2.85	-0.033	3.82	7.64	8.76	8.81	8.11	6.62
2	6.38	-0.038	14.41	25.51	26.43	24.42	21.10	16.60
3	9.98	-0.042	26.66	46.08	46.57	42.26	36.04	28.17
4	13.64	-0.045	40.39	68.91	68.66	62.12	52.74	41.20
5	17.35	-0.047	55.44	93.49	92.33	83.48	70.95	55.61
6	21.12	-0.049	71.58	119.49	117.13	106.15	90.53	71.34
7	24.95	-0.051	88.65	146.69	143.16	129.97	111.24	88.21
8	28.80	-0.052	106.19	174.56	170.13	154.84	133.05	1
9	32.72	-0.053	124.27	203.16	197.86	180.57	-	_
10	36.71	-0.054	142.58	231.84	226.14	207.19	-	-



図 4.2.12 重ねすみ肉溶接部の沈下量と J 積分値の関係 (のど厚 50%モデル)


図 4.2.13 重ねすみ肉溶接部の沈下量と溶接止端部に発生した圧縮ひずみの関係 (のど厚 50%モデル)



図4.2.14 き裂部の相当塑性ひずみの分布図の一例(初期き裂深さc = 1.6mm)

なお、き裂進展解析の際に、以下の関数M(c)(図4.2.15参照)と線形補正関数 $f(\Delta \delta_0)$ (図4.2.16参照)を用いて、式(4.1.2)より J 積分範囲 ΔJ_c を求める。

 $M(c) = 3.091 + 12.521c - 23.397c^{2} + 15.295c^{3} - 3.696c^{4}$

 $f(\Delta \delta_0) = \frac{1.244 \Delta \delta_0}{1 + 42.967 / \Delta \delta_0^2}$



図 4.2.15 のど厚 50%モデルのM(c) 関数



図 4.2.16 のど厚 50%モデルの線形補正関数 $f(\Delta \delta_0)$

(3) 疲労寿命カーブ作成と沈下量に対応する許容き裂深さの推定

き裂成長評価式を用いて、2次元解析モデルのき裂進展解析結果を評価することにより、 初期き裂深さを設定した重ね継手溶接部のルート部の最終限界き裂深さ(のど厚の 80%と設 定)までの到達回数を式(4.1.5)の数値積分より算定し、沈下量と疲労破断回数の関係を示す 疲労寿命カーブを作成する。

① のど厚 100%モデルの疲労寿命カーブ

初期き裂深さを設定した重ね継手溶接部のルート部の最終限界き裂深さまでの到達回数と疲労寿命カーブを表4.2.3と図4.2.17に示す。

表4.2.3 のど厚100%モデルのき裂進展解析による最終限界き裂(のど厚の80%)への到達回数

解析	初期き裂	最終き裂	STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
番号	c [mm]	cf [mm]	δ0[mm]	2	4	6	8	10	15	20	25	35
1-1	0.0	3.4	Nf [回]	501623	22283	4970	2033	1110	428	236	153	81
1-2	0.5	3.4	Nf [回]	451751.9	20068	4476	1831	999	386	212	137	73
1-3	1.0	3.4	Nf [回]	432633.3	19219	4287	1754	957	370	203	132	70
1-4	1.5	3.4	Nf [回]	416470	18500	4127	1688	921	356	196	127	68
1-5	2.0	3.4	Nf [回]	400163	17776	3965	1622	885	342	188	122	65
1-6	2.5	3.4	Nf [回]	381896.1	16965	3784	1548	845	326	180	116	62



図4.2.17 のど厚100%モデルの疲労寿命カーブ

②のど厚 50%モデルの疲労寿命カーブ

初期き裂深さを設定した重ね継手溶接部のルート部の最終限界き裂深さまでの到達回数と疲労寿命カーブを表 4.2.4 と図 4.2.18 に示す。

			_									
解析	初期き裂	最終き裂	STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
番号	c [mm]	cf [mm]	δ0[mm]	2	4	6	8	10	15	20	25	35
2-1	0.00	1.7	Nf [回]	356195	13938	2765	1039	535	191	102	65	34
2-2	0.27	1.7	Nf [回]	323126	12644	2508	942	485	173	92	59	31
2-3	0.53	1.7	Nf [回]	301413	11795	2340	879	452	162	86	55	29
2-4	0.80	1.7	Nf [回]	275717	10789	2140	804	414	148	79	50	26
2-5	1.06	1.7	Nf [回]	241730	9459	1876	705	363	130	69	44	23
2-6	1.33	1.7	Nf [回]	188544	7378	1464	550	283	101	54	34	18
2-7	1.59	1.7	Nf [回]	93029	3640	722	271	140	50	27	17	9

表 4.2.4 のど厚 50%モデルのき裂進展解析による最終限界き裂(板厚の 80%)への到達回数



図 4.2.18 のど厚 50%モデルの疲労寿命カーブ

(4) 4点曲げ試験結果とき裂進展解析結果との比較

①静荷重試験による計測ひずみと解析ひずみとの比較

4点曲げによる静的負荷試験を実施し、初層部無欠陥、のど厚 100%、隙間 1 mmの試験 片に対し図 4.2.19 に示す位置にひずみゲージを取り付けデータを採取した。溶接止端部 の計測値(ひずみ 1)と解析から得られたひずみとの比較を図 4.2.20、溶接表面(ひず み 2)の比較を図 4.2.21 に示す。

図4.2.20 に示す止端部のひずみとの比較結果では、沈下量の20mm以下の範囲において 両者にはそれほど大きな差はないものの、図4.2.21 に示す溶接表面のひずみの比較結果 では、両者の差が存在することがわかる。試験片によるひずみ計測結果について、溶接表 面のひずみ2は止端部のひずみ1に比べひずみの値が20倍程度大きく、さらに同一条件 の試験片におけるひずみ2の計測値はばらつきが大きい結果となっている。ひずみゲージ で得られた値はゲージレングス(2mm)の範囲における平均的な値であることや、解析に使 用した物性値と実際の試験片の物性値に比べて柔らかい傾向にあること等が影響してい るものと推察される。



図 4.2.19 ひずみ計測位置



図 4.2.20 のど厚 100%モデルの溶接止端部に発生した圧縮ひずみと試験計測値との比較



図 4.2.21 のど厚 100%モデルの溶接部表面に発生した圧縮ひずみと試験計測値との比較

②曲げ疲労試験から得られた破断回数とき裂進展解析から得られた破断回数との比較

き裂進展解析から得られた溶接部の疲労破断回数及び曲げ疲労試験結果を比較するに あたり、曲げ疲労試験の結果としてすみ肉溶接部の変位 δ_0 は得られていないことから、 両者を直接比較することは出来ない。このため、図 4.2.22 に示す静的荷重を作用させた 有限要素法を用いた解析によって得られた δ_p と δ_0 との関係から 4 点曲げ試験における 強制変位 δ_p を与えた試験片の δ_0 を求め、き裂進展解析から得られた疲労寿命カーブに試 験結果をプロットしたものを図 4.2.23 及び図 4.2.24 に示す。

のど厚の大小や初期欠陥の有無等の構造的要因が疲労強度に及ぼす影響について、本検 討結果から定量的な考察を行うことは困難であるが、どのような構造的要因が疲労強度に 影響を及ぼすかについて定性的な評価を行うことはできたと考える。

試験片の荷重作用点において繰り返し δ_P という強制変位を与えた場合、すみ肉溶接部の変位 δ_0 は、応力集中箇所の塑性化やき裂の進展により次第に大きくなることが予想されることから、試験片の δ_0 を小さく見積もっているといえる。この点は、試験結果と解析結果との間に定量的な差が生じている一因と推察される。

72



図 4.2.22 有限要素法を用いた解析によって得られた δ_{P} と δ_{0} との関係



図 4.2.23 のど厚 100%モデルの解析結果と試験結果との比較



図 4.2.24 のど厚 50%モデルの解析結果と試験結果との比較

4.3 底部溶接構造に関するまとめ

旧法タンクの底板に適用されている重ねすみ肉溶接を対象とした4点曲げ試験及びき裂 進展解析を実施した結果、重ねすみ肉溶接部の構造的要因のうち、初層部欠陥の有無及びの ど厚の大小が疲労強度に影響を及ぼすことが分かった。このため、底板のゆがみによる重ね すみ肉溶接部の疲労強度を定量的に評価するためには、実際のタンクにおいて局所的に撓み が発生する範囲、その範囲における撓み量、重ねすみ肉溶接初層部の欠陥の有無、重ねすみ 肉溶接に係るのど厚について把握することが重要になるが、現状の技術ではそれらを把握す ることは困難であると考えられる。今後、重ねすみ肉溶接初層部の欠陥の有無や重ねすみ肉 溶接に係るのど厚の評価が可能となる検査手法やタンクの液圧の増減等の影響による疲労 強度の評価手法が確立されることで、溶接部の疲労強度を評価することが可能になるものと 考える。なお、空隙による溶接部の評価において重要なポイントとしては次の点が挙げられ る。

①空隙の形態(基礎表面の沈下、タンク底板の浮き上がり)の整理②空隙量が測定した沈下量と液圧の関係から逆算した地盤剛性に与える影響の把握

③空隙量がタンク底板の疲労強度に与える影響の把握

74

第5章 タンク底部の板厚に関する影響

5.1 内面腐食の分析

屋外タンクの劣化要因の一つである内面腐食による減肉の進行の実態を把握するため、 過去の保安検査に係る旧法タンクにおける内面腐食に係るデータの整理・分析を行った。

5.1.1 内面腐食速度の実態調査

図 5.1.1 は、底部の内面腐食による板厚の減少から流出事故が発生した屋外タンクのうち、事故原因報告書^{1)~4)}から腐食履歴が判明したものについて、内面腐食による最小板厚の変化を屋外タンクの設置からの経過年で整理したものである(事故番号は、表 2.4.1 の番号(No.)に対応)。縦軸は屋外タンク底部の内面腐食による最小板厚を表す(設置時は設計板厚とした)。開放検査時に測定された板厚の最小板厚とその1回前の開放検査時に測定された板厚の最小板厚の最小板厚を直線で結び、傾きを腐食速度とした。この際、板厚の測定後に補修工事があったものについては、「補修を実施する最小腐食深さ(屋外タンクの所有者等が補修工事の仕様として設定する値)より 0.1mm 少ない腐食深さ」が当該補修工事後において存在していたと仮定し、設計板厚から当該腐食深さを引いた値を補修後の最小板厚とした。また、開放検査時に測定された最小板厚がその1回前の開放点検時にどの程度の板厚であったかについては記録がないため、次の2つの方法で求めた推定値を腐食速度とした。

- A:1回前の開放検査時の補修後には設計板厚であった箇所で今回の開放検査時の最大 内面腐食が生じたとして求めた推定腐食上限値
- B:1回前の開放検査時の補修後の最小板厚であった箇所で今回の開放検査時の最大内 面腐食が生じたとして求めた推定腐食下限値





①事例 62:2.2~2.6mm/年(前回開放時 0.70mm/年)
②事例 90:1.7~2.1mm/年(前回開放時 0.46~0.84年)
③事例 106:1.3~1.7mm/年(前回開放時:0.33~0.84mm/年)
④事例 117:1.3~1.5mm/年(前回開放時:0.14~0.56mm/年)

図 5.1.1 内面腐食による事故のあったタンクの内面腐食履歴

図 5.1.1 より、内面腐食速度が急激に増加することにより流出事故が発生しており、腐 食速度には変動があり、3~4倍程度の変動は十分に起こりうることが分かる。

図 5.1.2 は、旧法タンクの開放検査時に得られたタンクごとの最大内面腐食速度を、開 放検査の回数ごとにデータの得られたタンク数(表 5.1.1 参照)について平均したもので ある。平均値の算出にあたっては、内面腐食深さを測定せずに板替えされた場合*や補修内 容が不明で腐食速度が求められないものは除いている。なお、腐食履歴データは危険物保 安技術協会から提供を受けたもので、同協会が保存しているもののうち各タンクの最も古 いデータを1回目(過去に開放検査3回分のデータが得られた場合は1回目が最も古いデ ータで3回目が最も新しいデータ、過去に開放検査1回分のデータしか得られなかった場 合は1回目のデータとする。以降において同様とする。)とした。なお、上述Bによる推定 腐食下限値を用いて腐食速度を算出したため、2回目以降の腐食速度は小さめに算出され ている。

*ある回の開放検査時に腐食が激しかった板について、次の開放検査時に板厚を測定 せずに当該板を交換してしまうことがある。この場合腐食深さが分からない。このよ うに補修を要する程度の大きな腐食があったにもかかわらず調査・記録されていない 事例が一定数有り、実態を把握しデータ分析を行う上での障害となっている。

図 5.1.2 及び表 5.1.2 に内面腐食速度の平均値とその変化の程度(平均値の最小値に対 する各回の平均値の比率)を記したが、開放回数、部位によって腐食速度に差が生じてい ることが分かる。これらのデータを見る限り、アニュラ板より底板の方が内面腐食速度が 大きいこと、アニュラ板で最大約 1.7 倍、底板で最大約 1.3 倍程度に腐食速度が変化して いることが分かる。これらの結果には、内面腐食深さを測定せずに板替えした等の理由で 腐食速度が求められなかった屋外タンクのデータが除かれていることも考慮したうえで、 内面腐食の進行に十分な注意を払う必要がある。なお、図 5.1.2 及び表 5.1.2 の横に、新 法タンクにおける同様の分析結果⁵⁾を示した。内面腐食速度の平均値については、旧法タン クと新法タンクに差異は認められなかった。なお、旧法タンクの底板では、2回目の腐食 速度の平均値が若干減少しているものの、腐食速度の平均値については、開放検査を重ね るごとに増加傾向がみられる。

1回	目	2 旦	目	3 回目		
アニュラ板	底板	アニュラ板	底板	アニュラ板	底板	
1318	1471	797	1001	306	396	

表 5.1.1 内面腐食速度データの得られたタンク数



図 5.1.2 旧法タンクにおける開放検査回数に対する最大内面腐食速度の平均値

開放回数	アニュラ板	底板
1回目	0.068 (1.01)	0. 104 (1. 15)
2回目	0.067 (1.00)	0.090 (1.00)
3回目	0. 116 (1. 72)	0. 114 (1. 26)

開放回数	アニュラ板	底板						
1回目	0.072 (1.00)	0.096 (1.00)						
2回目	0.086 (1.19)	0.097 (1.01)						
3回目	0. 125 (1. 74)	0. 134 (1. 40)						
新法タンクにおける内面腐食速度の平均値(mm/年) とその変化の程度 ⁵⁾								

図 5.1.3 は、内面腐食速度のデータが得られた旧法タンクのうち、1 回目から3 回目 までのいずれかにおいて大きな内面腐食が報告されたものについて、開放検査回数の違 いによる内面腐食速度をタンクごとに表示したものである。なお、腐食環境が異なると 経年による分析が困難となるため、腐食要因が1回目から3回目まで変更されていない タンクについて分析を実施した。また、腐食速度は、タンク個々により、各回において 変動があるため、結果的に腐食速度が小さいタンクのデータ(縦軸及び横軸ともに 0.0 mm/年付近の点)も採用されている。図 5.1.3 から内面腐食速度は各回の変動がきわめ て大きいことが分かるほか、各回ごとの内面腐食速度の出現状況に、一定の傾向はなく、 変動の上限を求めることも困難である。本資料には内面腐食深さが小さかったもの及び 内面腐食深さを測定せずに板替えされたものは含まれていないため、全てのタンクの傾 向を表しているとは限らないこと、最大の内面腐食速度を表しているとは限らないことに も留意する必要がある。内面腐食の要因としては、コーティングの有無、内容物の種類、 貯蔵温度の違いなどが考えられる。

表 5.1.2 旧法タンクにおける内面腐食速度の平均値(mm/年)とその変化の程度 (平均値の最小に対する各回の平均値の比率(括弧内))



*内面腐食深さが小さかったもの及び内面腐食深さを測定せずに板替えされたものは含 まれていない。

5.1.2 内面腐食の要因別分析

内面腐食について、影響をあたえると想定される要因について分析を行った。 内面腐食は、コーティングにより防止することが可能であるが、コーティングの効果に ついて確認するために、図 5.1.3 について、コーティングの有無で分類して再度プロット したものを図 5.1.4 に示すとともに、タンク基数の内訳を表 5.1.3 に示す。



*内面腐食深さが小さかったもの及び内面腐食深さを測定せずに板替えされたものは含ま れていない。

図 5.1.4 コーティングの有無で分類した内面腐食深さが大きかった履歴のあるタンクの1 回目開放検査時の内面腐食速度と2回目開放検査時の内面腐食速度(左)及び2回目 開放検査時の内面腐食速度と3回目開放検査時の内面腐食速度(右)

図 5.1.3 内面腐食深さが大きかった履歴のあるタンクの1回目開放検査時の内面腐食 速度と2回目開放検査時の内面腐食速度(左)及び2回目開放検査時の内面腐 食速度と3回目開放検査時の内面腐食速度(右)

	1	可目			2 回	目		3 回目				
アニュラ板 底板			アニュラ板		底板		アニュラ板		底板			
1318		1471		797		1001		306		396		
コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無	コ有	コ無	
898	420	420 965 506		621	176	763	238	265	41	334	62	

表 5.1.3 内面腐食速度データの得られたタンク数(コーティングの有無含む)

コーティングが施工されているものは、その耐用年数の間は腐食速度が0となることが 期待されるが、図 5.1.4 からは、コーティングが施工されているものでも腐食速度のばら つきが多く、コーティングがあるにもかかわらず腐食速度が高いものが散見される。これ は、コーティングの経年劣化等によりその効果が低下したものが増え、その中に孔食等が 発生し、大きな腐食速度を示したものと考えられることから、コーティングの劣化につい ても留意する必要がある。

なお、このほか、油種の違いや加温の有無、設置された地域別による分析を行ったが、 明確な傾向はみられなかった。

引用文献

- 1) 危険物保安技術協会:N石油基地(株)K基地屋外タンク貯蔵所における漏洩事故の 原因に関する調査検討報告書、昭和 60 年 10 月
- 2) 危険物保安技術協会:コーティングタンクの底部腐食に関する調査研究会報告書、平 成9年11月
- 3) 危険物保安技術協会:屋外タンク貯蔵所からの原油漏洩事故の原因に関する調査検討 委員会報告書、平成13年11月
- 4) S株式会社O製油所事故対策特別委員会: O製油所#003 原油タンク分離水漏洩事故報告書、平成15年6月17日
- 5)総務省消防庁危険物保安室:屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る調査検討会報 告書、平成22年12月

5.2 裏面腐食の分析

屋外タンクの劣化要因の一つである裏面(地盤側)腐食の進行の実態を把握するため、 詳細に裏面腐食を測定できる新しい技術による測定(「連続板厚測定法」)の結果(図 5.2.1 参照)を収集し分析した。



連続板厚測定状況



測定結果 青色分は元板厚の 90%以上の板厚 の領域。緑色は 80~90%、黄色は 70~80%、 赤色は 70%以下の領域

図 5.2.1 タンクの底部全面を連続板厚測定した例

5.2.1 裏面腐食の分布と形状

図 5.2.2 は3基の旧法タンクに対する連続板厚測定法による板厚測定結果である。青色 は腐食が殆ど進行していない領域を表し、比較的腐食が進んでいる領域は黄色や赤色で示 してある(顕著なものは矩形内に見られる)。白色は浮き屋根の支柱保護板などによる欠測 箇所を示す。この図から、底部板の腐食状況はタンクごとに異なり、一部に深い腐食(孔 食)が認められるものや、孔食による腐食が広く分布しているものがあることが分かる。



図 5.2.2 連続板厚測定による旧法タンク底部板の板厚分布の例

図 5.2.3 のグラフは図 5.2.2 の中央の屋外タンクの底板について、連続板厚測定法で測 定された全ての板厚から作成したヒストグラムである。横軸は測定された板厚を示し、縦 軸は測定点数(おおよそ面積に比例)を示す。この図から次のことが分かる。

- ①屋外タンク底板の板厚の大半は 6.7mm から 9.8mm の範囲内にある。(当該範囲内の測定点数:約5千万点)
- ②分布割合は小さいが、板厚が 1.8mm から 4.0mm の範囲内にある部位も存在する。(当該範囲内の測定点数:約450点)
- ③屋外タンク底部からの流出事故は、②のように局所的に腐食が進んで貫通孔が開くこと によって発生するが、この場合でも底部板の大半は、それほど腐食していない可能性が ある。



図 5.2.3 連続板厚測定によるタンク底部板の板厚のヒストグラムの例(設計板厚は9.0mm)

図 5.2.4 は連続板厚測定法による板厚測定データから屋外タンク底部板の腐食形状を表 したものである。面積約1m²における板厚測定データからも、腐食の広がりや深さ、分布 は、局所的に進行するものや比較的広い範囲に孔食による腐食が認められるなど、腐食の 進行の形態は様々であることがわかり、板厚の管理にあたっては、腐食の進行に関して違 いがあることに留意が必要である。



図 5.2.4 連続板厚測定データに基づく屋外タンク底部板の腐食形状の例

5.2.2 裏面腐食速度の実態調査

図 5.2.5 及び表 5.2.1 は、旧法タンクの開放点検時に得られた屋外タンクごとの最大裏 面腐食深さから求めた最大裏面腐食速度を、開放検査回数ごとにデータの得られた旧法タ ンク数について平均したものである。内面腐食と同様に、開放回数、部位によって腐食速 度に差が生じていることが分かる。また、裏面腐食は内面腐食速度とは異なり、底板より アニュラ板で裏面腐食速度が大きい傾向がみられ、アニュラ板及び底板で最大約 1.4 倍程 度に腐食速度が変化している。

これらの結果には、裏面腐食深さを測定せずに板替えした等の理由で腐食速度が求めら れなかった屋外タンクのデータが除かれていることも考慮したうえで、裏面腐食の進行に 十分な注意を払う必要がある。

また、図 5.2.5 及び表 5.2.1 の横に、新法タンクにおける同様の分析結果¹⁾を示した。これらの結果から、新法タンクに比べて旧法タンクは、裏面腐食速度が大きい傾向が認められた。



図 5.2.5 旧法タンクの開放検査回に対する最大裏面腐食速度の平均値

表 5.2.1 旧法タンクの開放検査回に対する裏面腐食速度の

部位	開放回	1回目	2回目	3回目
	平均値(mm/年)	0.081	0.077	0.107
アニュラ板	最大値(mm/年)	1.167	1.100	0.800
	タンク基数	1277	902	328
	平均値(mm/年)	0.064	0.056	0.080
底 板	最大値(mm/年)	0.913	1.540	0.875
	タンク基数	1431	1067	427

平均值及	び最大	値並び	に対象	Þ	ン	ク	基数
一行匹风		同日 上 し			~	/	土沙

部位	開放回	1 回目	2回目	3回目
	平均值 (mm/年)	0.055	0.056	0.069
アニュラ板	最大値 (mm/年)	1.30	0.56	0.56
	タンク基数	571	448	246
	平均值 (mm/年)	0.056	0.040	0.057
底 板	最大値 (mm/年)	1.20	0.90	1.10
	タンク基数	531	425	275

新法タンクにおける裏面腐食速度の平均値 (mm/年) とその変化の程度¹⁾

(データ算出の条件)

・板替えや補修内容不明で裏面腐食速度が求められないものを除いた。

- ・開放検査時に見つかった最大裏面腐食箇所が、前回開放検査時の補修後の最大裏面 腐食箇所であったと仮定し、開放間隔年数により腐食速度を求めた。
- ・使用したデータは定点測定法を実施した旧法タンクのみを抽出した。
- ・裏面腐食履歴データは危険物保安技術協会が保存しているもので各タンクの過去に 開放検査3回分のデータが得られた場合は1回目が最も古いデータで3回目が最も 新しいデータ、過去に開放検査1回分のデータしか得られなかった場合は1回目の データとした。

図 5.2.6 は、裏面腐食速度データが得られた旧法タンクのうち、1回目から3回目ま でのいずれかにおいて大きな裏面腐食が報告されたものについて、開放検査回数の違い による裏面腐食速度を個々のタンクごとに表示したものである。定点測定法による腐食 深さを元に、前回開放検査時の最大腐食箇所が今回開放検査時にも最大腐食箇所であった ものと仮定して前回開放検査と今回開放検査の期間における腐食深さを求め、当該期間で 除して腐食速度とした。なお、腐食環境が異なると経年による分析が困難となるため、 腐食要因が1回目から3回目まで変更されていないタンクについて分析を実施した。ま た、腐食速度は、タンク個々により、各回において変動があるため、結果的に腐食速度 が小さいタンクのデータ(縦軸及び横軸ともに0.0 mm/年付近の点)も採用されている。 図 5.2.6 から裏面腐食速度は各回の変動がきわめて大きいことが分かるほか、各回ごと の裏面腐食速度の出現状況に、一定の傾向はなく、変動の上限を求めることも困難である。 本資料には裏面腐食深さが小さかったもの及び裏面腐食深さを測定せずに板替えされ たもの*は含まれていないため、全てのタンクの傾向を表しているとは限らないこと、最 大の裏面腐食速度を表しているとは限らないことにも留意する必要がある。

*腐食が激しい板について板厚を測定せずに底板を交換してしまうものが一定数有り、旧 法タンクの底部腐食の実態を把握し、データ分析を行う上での障害となっている。

図 5.2.6 から、各回ごとの裏面腐食速度の出現状況に一定の傾向は見られず、また、変動の上限を求めることも困難である。なお、定点測定法による測定結果に基づいて算出した裏面腐食速度であることから、上記と同様に最大の裏面腐食速度を表しているとは限らないことにも留意する必要がある。裏面腐食の要因としては、裏面防食措置の劣化、雨水

浸入防止措置の劣化、貯蔵温度の変化、基礎と底部板との接触状況の違いなどが考えられる。



^{*}腐食深さが小さかったもの及び腐食深さを測定せずに板替えされたものは含まれていない。 *定点測定法による腐食率である。

- 図 5.2.6 裏面腐食深さが大きかった履歴のあるタンクの1回目開放検査時の裏面腐食 速度と2回目開放検査時の裏面腐食速度(左)及び2回目開放検査時の裏面腐 食速度と3回目開放検査時の裏面腐食速度(右)
- 5.2.3 裏面腐食の要因別分析

図 5.2.7 は、内面腐食と同様に裏面腐食の要因と考えられる裏面防食措置の種類で分類 してプロットしたものである。オイルサンドが全体(125 基)の 80%弱(97 基)を占めて おり、次いでアスファルトサンド(アスファルトモルタル)が 15%弱(18 基)となってい る。母数に違いがあるものの、オイルサンドについて腐食速度が大きい傾向がみられる。 オイルサンドは、経年等でその油分が抜けてしまう可能性があり、相対的にアスファルト サンド等と比較すると、裏面防食効果が劣ることが考えられる。



1回目腐食速度(mm/年)

2回目腐食速度(mm/年)

*腐食深さが小さかったもの及び腐食深さが測定されずに板替えされたものは含まれていない。 *定点測定法による腐食率である。

図 5.2.7 裏面防食措置の種別で分類した裏面腐食深さが大きかった履歴のあるタンクの1 回目開放検査時の裏面腐食速度と2回目開放検査時の裏面腐食速度(左)及び2回目 開放検査時の裏面腐食速度と3回目開放検査時の裏面腐食速度(右)

なお、裏面防食措置の種類のほか、加温の有無や旧法タンクの設置された地域別による 分析を行ったが、明確な傾向はみられなかった。

引用文献

1)総務省消防庁危険物保安室:屋外タンク貯蔵所の保安検査の周期に係る調査検討会報 告書、平成22年12月 5.3 内面腐食及び裏面腐食についての影響評価

旧法屋外タンク貯蔵所の保安検査の検査周期の間隔に、内面腐食及び裏面腐食が及ぼす 影響を評価するため、内面腐食及び裏面腐食により流出事故がどの程度増加するか、タン クの安全性がどの程度影響を受けるかについて、過去のデータを用いて検証した。

5.3.1 保安検査周期を延長した場合の影響評価(内面腐食)

保安検査周期を延長した場合に、内面腐食によりタンク本体の底部板に貫通孔が生じる ことによる流出事故がどの程度増加するかについて、容量1万キロリットル以上の旧法タ ンクにおいて過去の開放検査時に測定された腐食深さのデータを用いて模擬的に検討する。 ここでいう流出事故とは、内面腐食が一定速度で進行し底部板に貫通が生じることが予測 されることと定義する。なお、実際の屋外タンクでは、液圧、残留応力、基礎からの底板 の浮き上がりなどがあり、底部板厚が腐食により0.0 mmとなるよりも厚い条件(早い段階) で流出事故が発生すると考えられ、また腐食速度は経年的に変化する可能性があるが、こ こではあくまで仮想的な検討のため、楽観的ではあるが単純な仮定をとり、事故の発生条 件を板厚0.0 mmとし腐食速度を一定とした(図5.3.1参照)。もっとも、実際の管理にあた ってこのような考え方は大規模流出事故を容認することになってしまうため適当ではなく、 安全のための余裕を設定する必要があることに十分留意すべきである。

5.3.1.1 内面腐食により底部板が貫通する年数を推定するために使用するデータ

- ・各開放検査時における最大内面腐食深さ
- ・各開放検査時における内面腐食に対する補修基準(内面腐食深さが何mm以上の場合に肉 盛り補修を実施するか)から推定される補修後の内面腐食による最小残板厚
- · 各開放検査期間
- ・タンクの底部設計板厚(実際のタンクでは設計板厚を上回るプラス公差や設計板厚を下 回るマイナス公差の板が使用されるケースがあるが、本検討では、公差は考慮しない。)

5.3.1.2 内面腐食により底部板が貫通する年数を推定する方法

保安検査周期を延長した場合に内面腐食により旧法タンクの底部板が貫通する年数を以 下の方法により推定する。なお、最大内面腐食箇所の裏面側には腐食がないものと仮定す る。

- (1) 危険物保安技術協会が保存している 1471 基の容量 1 万キロリットル以上の旧法タン ク(廃止されたものも含む)のデータから 5.3.1.1 のデータを収集する。
- (2) そのうち、大きな内面腐食深さが測定されたことが報告されたものを 170 基分抽出 する。
- (3)アニュラ板、底板に対して各開放検査時に検出された内面腐食深さと補修基準から 各開放検査時の補修後の内面腐食による最小残板厚(補修後の推定最小残板厚)を求

める。

- (4)前回開放検査時の補修後推定最小残板厚又は設計板厚と今回開放検査時に検出された内面腐食による残板厚から腐食速度を求める。求めた腐食速度で腐食が進行した場合、保安検査周期が何年で残板厚が0.0mmになるかを計算する。
- (5) ある開放検査時に最大の内面腐食が見つかった箇所が、前回開放検査時の補修後推 定最小残板厚の箇所であったとは限らない。このことから、前回開放検査と今回開放 検査の間の内面腐食速度は次の2つの値で算定した(図 5.3.2 参照)。
 - A:前回開放検査時の補修後には設計板厚であった箇所で今回開放検査時の最大内 面腐食箇所が生じた(図 5.3.2 点線)として求めた推定下限値(予測貫通年数 が短くなる方向の算定方法)。
 - B:前回開放検査時の補修後推定最小残板厚の箇所で今回開放検査時の最大内面腐 食箇所が生じた(図 5.3.2 実線)として求めた推定上限値(予測貫通年数が長 くなる方向の算定方法)。
- (6) 一つのタンクに対して、開放検査ごとに残板厚が 0.0 mmになる推定年数を計算し、 最も年数が短いものを当該タンクの底部板の内面腐食による貫通年とする(図 5.3.4 参照)。



内面腐食による底部板の貫通年数推定のための留意事項

①底部板の腐食速度は変化することが考えられ、設計板厚と1回目の開放検査時の最小板厚を直線で結んだ場合(青の実線)より大きくなるおそれがある。そのため、実際の管理にあっては、将来の腐食速度は 直線で結んだ腐食速度(青の実線)に対して大きくなる可能性を考慮した上で、安全余裕を考える必要が ある(赤の点線)。

②実際のタンクでは、液圧、残留応力、基礎からの底板の浮き上がりなどがあり、底部板厚が 0.0 mmより も厚い板厚で流出が発生すると考えられるため、実際の管理にあたっては一定の管理板厚が必要である。 ③本検討では腐食速度の変化を考慮することが困難なため、腐食速度は一定と仮定して、底部板厚が 0.0 mmとなる年数を推測するが、この推測方法は、実際の管理方法とは異なることに留意が必要である。

図 5.3.1 腐食速度の変化例イメージ図

内面(ア	ニュラ板)	設計板厚 (mm)	経過年	開放周期 (年)	最大内面 腐食量 (mm)	開放時 最小板厚 (mm)	肉盛基準 (mm)	補修後 最大腐食 (mm)	補修後 最小板厚 (mm)	腐食速度 (mm/年)	貫通推定年数	板取替 割合(%)	コーティング 有無	内面腐食 の変動率 場合の貫	速度 に し し し に し に の に り に の の に の ろ に り の の の の の の の の の の の の の の の の の の	こ一定 載した 定年数
完成検査	S44. 9. 24	12.0											有:1、無:0			
	S61. 8. 21		16	-	4.3	7.7	6.0	4.3	7.7			0	1			-
胆拔检木	H9.4.9		27	10.6	4.3	7.7	6.0	4.3	7.7	~ 0.41	29.2 ~	0	1	17.0	~	
用瓜便宜	H17.7.20		35	8.3	9.8	2.2	1.8	1.7	10.3	0.67 ~ 1.19	10.0 ~ 11.4	0	1	5.8	\sim	6.6
	H24.12.26		43	7.4	5.0	7.0	1.8	1.7	10.3	$0.45 \sim 0.68$	17.6 ~ 22.8	0	1	10.2	\sim	13.3



図 5.3.2 旧法タンクの開放検査ごとの内面腐食の履歴の例

(7)腐食速度は各開放検査ごとに異なり、貫通予測にあたっては腐食速度の変動幅を考慮する必要がある。その幅として、各開放検査ごとに求まるタンクごとの最大腐食速度をタンク数に対して平均したもの(表 5.1.2 参照)の、最小値に対する最大値の率(底板 1.26、アニュラ板 1.72)を仮定する。今回の貫通予測はあくまで仮想的な検討であるため、より実態に近いと考えられる上記仮定を用いたが、現実の制度上考慮すべき変動幅を示したものではないことに注意が必要である。なお、結果として算出される腐食速度は、事故が発生していないもので最も高い事例(図 5.3.3 参照)であっても 1.33 mm/年であり、急激に内面腐食が進行し流出事故に至った事例の腐食速度(1.5~2.6 mm/年:図 5.1.1 参照)以下であった。



図 5.3.3 収集し分析に用いたデータ中で内面腐食速度の大きな事例

底板設計板厚:8.0mm

		経過年	開放 周期 (年)	開放時内 面最大腐 食深さ (mm)	開放時最 小残板厚 (mm) ※1	肉盛り補 修基準 (mm)※2	補修後推 定最小残 板厚(mm) ※3	腐食速度 (mm/年) ※4	貫通推定年数 (年)※5
第1回目開放検査	平成3年4月	16	_	2.3	5.7	1.5	6.6	_	_
第2回目開放検査	平成10年9月	24	7.4	7.2	0.8	1.5	6.6	0.79~0.97	8.2~8.3
第3回目開放検査	平成18年8月	31	7.9	5.7	2.3	1.5	6.6	0.55~0.72	11.1~12.0
第4回目開放検査	平成25年7月	38	6.9	3.8	4.2	1.5	6.6	0.35~0.55	14.5~18.8

※1 開放検査時最小残板厚=設計板厚-開放検査時内面最大腐食深さ

- ※2 肉盛り補修基準:開放点検時に所有者等が設定した補修をする内面腐食深さの基準
- ※3 補修後推定最小残板厚=(設計板厚一肉盛り補修基準)+0.1
- ※4 内面腐食速度=(前回開放検査時の補修後推定最小残板厚―開放検査時最小残板厚)÷開放周期又は(設計板厚―開放検査時最小残板厚)÷開放周期
- ※5 貫通推定年数(年):各開放検査時の最小残板厚が今までと同じ腐食速度で腐食したと仮定して、残板厚が0.0mmまでの年数(点線矢印が貫通する年数を示す。) を推定。
 - 上記の結果より、本タンクは最短で、8.2年(1回目~2回目の開放点検時のデータから外挿したもの)で貫通するものと推定される。



図 5.3.4 過去のデータから内面腐食による底部板貫通年を推定する方法

5.3.1.3 内面腐食による貫通年の推定結果

前項の方法により容量1万キロリットル以上の旧法タンクについて、内面腐食の履歴デ ータから、各タンクの腐食履歴において最も早く板厚が0.0mmになるまでの年を計算した。 腐食速度が一定と仮定し内面腐食による貫通の推定年を表5.3.1に示す。

なお、結果については、次の点については推定年を長くする(危険性を小さく評価する) 仮定を用いたことに留意する必要がある。

・板厚が 0.0 mmとなった年数を算定したこと。

・最大内面腐食箇所の裏面側には腐食はないものと仮定して算定したこと。

・内面腐食速度が平均より大きく変化すること(加速すること)は考慮していないこと。

年	内面腐	食速度の推定 を用いた推定	上限值	内面腐	食速度の推定 を用いた推定	下限值
'			-			-
	アニュラ板	底板	累計	アニュラ板	底板	累計
7以下	0	2	2	0	0	0
~ 8	0	3	5	0	0	0
~ 9	0	3	8	0	4	4
$\sim 1 \ 0$	1	2	11	0	1	5
$\sim 1 \ 1$	2	5	18	0	1	6
$\sim 1 \ 2$	0	6	24	1	3	10
$\sim 1 3$	1	8	33	0	1	11
$\sim 1 4$	2	11	46	0	3	14
$\sim 1 5$	1	9	56	0	1	15
$\sim 1 6$	2	8	66	0	3	18

表 5.3.1 腐食速度が一定と仮定した場合の内面腐食による貫通の推定年

5.3.2 保安検査周期を延長した場合の影響評価(裏面腐食)

保安検査周期を延長した場合に、裏面腐食によりタンク本体の底部板に貫通孔が生じる ことによる流出事故がどの程度増加するかについて、容量1万キロリットル以上の旧法タ ンクにおいて過去の開放検査時に測定された腐食深さのデータを用いて模擬的に検討する。 ここでいう流出事故とは、裏面腐食が一定速度で進行し底部板に貫通が生じることが予測 されることと定義する。なお、実際の屋外タンクでは、液圧、残留応力、基礎からの底板 の浮き上がりなどがあり、底部板厚が腐食により0.0 mmとなるよりも厚い条件(早い段階) で流出事故が発生すると考えられ、また腐食速度は経年的に変化する可能性があるが、こ こではあくまで仮想的な検討のため、楽観的ではあるが単純な仮定をとり、事故の発生条 件を板厚0.0 mmとし腐食速度を一定とした(図5.3.1参照)。もっとも、実際の管理にあた ってこのような考え方は大規模流出事故を容認することになってしまうため適当ではなく、 安全のための余裕を設定する必要があることに十分留意すべきである。

5.3.2.1 裏面腐食により底部板が貫通する年数を推定するために使用するデータ ・各開放検査時における定点測定法により検出された最大裏面腐食箇所の残板厚

- ・定点測定法により検出された最大裏面腐食深さと実際の最大裏面腐食深さの比率 (5.3.2.2 参照)
- 各開放検査時の補修後の最小残板厚
- 各開放検査期間
- ・タンクの底部設計板厚(実際のタンクでは設計板厚を上回るプラス公差や設計板厚を 下回るマイナス公差の板が使用されるケースがあるが、本検討では、公差は考慮しない。)
- 5.3.2.2 定点測定法により検出された最大裏面腐食深さと実際の最大裏面腐食深さの比 較

特定屋外タンク貯蔵所のタンク底部の板厚の測定方法には、定点測定法と連続板厚測定 法がある。定点測定法は、「危険物の規制に関する政令及び消防法施行令の一部を改正する 政令等の施工について」(昭和 52 年 3 月 30 日付け消防危第 56 号通知(以下「56 号通知」 という。))に示された測定方法と「屋外タンク貯蔵所の地震対策について」(昭和 54 年 12 月 25 日付け消防危第 169 号通知(以下「169 号通知」という。))に示された 2 通りの測定 方法(表 5.3.2 参照)がある。これらの測定方法は、屋外タンク底部の裏面腐食を傾向的 に管理することを目的として、離散的に板厚測定する方法である。

	56号通知	169号通知
アニュラ板	側板から500mmの範囲を2mの千鳥の点	①側板から500mmの範囲を100mmの千鳥の点 ③その他箇所を1mの間隔の点 ②内面腐食のみられる箇所の点
底板	板1枚あたり3点	1mの間隔の点
その他	腐食の認められる箇所、アース・ドレン部分を 300mmの間隔の点	アース・ドレン部分を100mmの間隔の点

表 5.3.2 定点測定法の通知別板厚測定箇所

一方、新たな技術としてタンク底部の板の厚さを広範囲にわたり連続的に測定できる技術が開発され、一部の事業者ではこの技術を活用した板厚測定方法により底部裏面腐食に対する管理が実施されるようになってきた。この測定方法は、「連続板厚測定方法による特定屋外貯蔵タンク底部の板厚測定に関する運用について」(平成15年3月28日付け消防危第27号)に示されており、測定間隔は30.0mm以下となっているが、現在運用されている連続板厚測定装置では、装置走行方向に5.0mm間隔、走行と直交する方向に30.0mm間隔での板厚測定が可能となっている。

タンク底部の裏面腐食は 5.2.1 で示したように、一般的に局部的に発生するものがある ことが分かった。また、内面腐食とは異なり腐食箇所が視認できないため、定点測定法に おける離散的な測定間隔では、局部腐食を見逃していることも考えられることから、実際 のタンク底部板に発生している最大裏面腐食深さは、定点測定法で検出される最大裏面腐 食深さよりも大きい可能性がある。一方、過去の保安検査においては定点測定法による測 定が多数であることから、裏面腐食による貫通年を推定するためには、定点測定法による 結果から実際の最大裏面腐食深さを算出する必要がある。

そこで、同一のタンクについて、定点測定法により検出される最大裏面腐食深さと連続 板厚測定法による板厚測定結果から得られる最大裏面腐食深さを比較分析し、測定方法の 違いによる最大裏面腐食深さの比率を求め、過去の保安検査時の定点測定法により検出さ れた最大裏面腐食深さに当該比率を乗じることで、実際の最大裏面腐食深さを算出するこ ととした。

推定最大裏面腐食深さ=(定点測定法により検出された最大裏面腐食深さ)×(測定方法の違いによる比率) なお、測定方法の違いによる比率を求めるうえで、実際の最大裏面腐食深さとして連続 板厚測定法により検出された板厚最小値を用いた。

(1) 測定方法の違いによる比率の算出方法

- ①超音波を用いた底部全面に対して連続板厚測定法で測定された容量1万キロリットル以上の旧法タンクの底部板厚データ(以下「連続板厚データ」という。)128 基の最大裏面腐食深さを整理し、当該腐食量の重みに応じて40基分を収集した。
- ②連続板厚データから、アニュラ板、底板それぞれに対して 56 号通知及び 169 号通知で 示された箇所の測定データを抽出し、抽出されたデータから各々の測定方法によって 測定したと想定した場合の板厚最小値を算出する。
- ③連続板厚データから定点測定箇所のデータを抽出するにあたって、定点の設定におい て測定位置がずれることを想定して、板ごとに抽出箇所を5通り設定した(抽出箇所 の設定方法は、図5.3.5、図5.3.6参照)。

④設計板厚の公差を考慮し、腐食する前の初期板厚を、連続板厚データの最頻値とした。
 ⑤連続板厚データから算出した最大裏面腐食深さと、56 号通知及び 169 号通知のそれぞれの測定方法による最大裏面腐食深さを、タンクごとに求める。

⑥上記⑤で求めた連続板厚測定法と定点測定法による裏面最大腐食深さから、アニュラ板、底板それぞれについて、横軸に連続板厚測定データの裏面最大腐食深さ、縦軸に定点測定法で示された箇所の裏面最大腐食深さをとり、40 基分のデータについて回帰直線を求め、測定方法の違いによる最大裏面腐食深さの比率を算出する。

アニュラ板では、起点を円周方向へ100mm ずつ4回ずらした^{※1}。
 ・底板では、起点をX方向、Y方向にそれぞれ±150mm ずらした^{※2}。



屋外貯蔵タンクの昭和52年消防危第56号に基づく測定方法

図 5.3.5 データ抽出箇所の設定方法(56 号通知を模擬した場合)

- ・アニュラ板の側板から 500mm 範囲では、起点を隣接する測定点との間隔を5等分した各位置にずらした^{*1}。 500mm 以外の範囲では、起点を円周方向へ100mm ずつ4回ずらした^{*2}。
- ・底板では、起点をX方向、Y方向へそれぞれ±150mm ずらした^{※3}。



屋外貯蔵タンクの昭和54年消防危第169号に基づく測定方法

図 5.3.6 データ抽出箇所の設定方法(169 号通知を模擬した場合)

(2) 測定方法の違いによる裏面腐食深さの回帰分析結果

図 5.3.7、図 5.3.8 に分析の結果を示す(図中◆は1タンクあたり5通り設定した定点設 定方法の平均値であり、垂直の線分は定点設定方法によるばらつきを示す)。両図において、 左は 169 号通知を模擬した場合、右は 56 号通知を模擬した場合の結果である。定点設定方 法に対する平均値を用いて定点測定法により検出される裏面腐食深さと連続板厚測定法に よる裏面腐食深さの関係を回帰直線で表し、その傾きにより、定点測定法による最大腐食 深さから、平均的に見て、実際には何倍の腐食深さが想定されるかという比率を算出した。





169 号最大腐食量の比較結果:アニュラ板 40 基

図 5.3.7 アニュラ板の定点測定結果と連続板厚測定結果の相関分析結果(5通りの抽出箇 所設定方法による平均を◆で、結果の幅を垂直の線分で示す。)

56 号最大腐食量の比較結果:底板板 40 基

169 号最大腐食量の比較結果:底板 40 基



図 5.3.8 底板の定点測定結果と連続板厚測定結果の相関分析結果(5通りの抽出箇所設定 方法による平均を◆で、結果の幅を垂直の線分で示す。)

平均的に見て、タンク底部に実際に発生していると想定される最大裏面腐食深さは、定 点測定法で発見される最大裏面腐食深さに表 5.3.3 の係数(回帰直線の傾きの逆数)を乗 じたものであると考えられる。

	56 号通知による定点測定	169 号通知による定点測定
アニュラ板	2.405	1.272
底板	2. 488	1.934

表 5.3.3 定点測定法による裏面腐食深さから想定される最大裏面腐食深さの算出係数

5.3.2.3 裏面腐食により底部板が貫通する年数を推定する方法

保安検査周期を延長した場合に裏面腐食により旧法タンクの底部板が貫通する年数を以 下の方法により推定する。なお、最大裏面腐食箇所の内面側には腐食がないものと仮定す る。

- (1) 危険物保安技術協会が保存している 1431 基の容量1万キロリットル以上の旧法タン ク(廃止されたもの含む)のデータから 5.3.2.1のデータを収集する。
- (2) そのうち、大きな裏面腐食深さが測定されたことが報告されたものを170 基分抽出 する。
- (3)アニュラ板、底板に対して各開放検査時に検出された最小板厚と補修基準から各開 放検査時の補修後の最小板厚(補修後の推定最小残板厚)を求める。
- (4)上記(3)で求めた最小板厚から最大裏面腐食深さを決定し、表 5.3.3の比率を乗じる(開放検査時に連続板厚測定法により板厚測定されていた場合は、比率を 1.000とした)ことにより、連続板厚測定法を実施した場合に想定される最大裏面腐食深さを算出する。
- (5)前回開放検査時の補修後推定最小板厚又は設計板厚と今回開放検査時に検出された 最小板厚から腐食速度を求める。求めた腐食速度で腐食が進行した場合、保安検査周 期が何年で残板厚が 0.0 mmになるかを計算する。
- (6)上記(4)のデータから、前回開放検査時に連続板厚測定法を実施した場合を想定した最小板厚と今回開放検査時に連続板厚測定法を実施した場合を想定した最小板厚から腐食速度を求め、この腐食速度で腐食が進行した場合、保安検査周期が何年で残板厚が0.0mmになるかを計算する。
- (7)(5)、(6)により、以下の二つの推定結果を得る。
 ①定点測定法により最大腐食深さが計測されていたと想定した場合(図 5.3.9 実線): "定点測定による推定"
 - ②定点測定法による測定結果から統計的に期待される最大腐食深さにより推定した場合(図 5.3.9 点線): "連続板厚測定想定による推定"

(8) 一つの旧法タンクに対して、開放検査ごとに残板厚が 0.0 mmになる推定年数を計算 し、それぞれの推定方法について、最も年数が短いものを当該タンクの底部板の裏面 腐食による貫通年とする(検討の手順は図 5.3.10 参照)。

裏面(ア	ニュラ板)	設計板厚 (mm)	経過年	開放周期 (年)	定点測定によ る最大裏面腐 食量(mm)	定点測定最 小板厚(mm)	補修後最小 板厚(mm)	連続板厚測 定を想定し た補正係数	連続板厚測 定による予 測値(mm)	定点測定に よる貫通推 定年数	連続板厚測 定による貫 通推定年数	板厚測定方法	板の取替 割合(%)
完成検査	\$49. 4. 23	12.0						169号:1.28 56号:2.41					
	S62. 9. 25		13	-	0.0	12.0	12.0	1.28	12.0			169号	0
問诉於本	H9.9.12		23	10.0	3.3	8.7	8.7	2.41	4.0	36.3	15.0	56号	0
囲瓜便宜	H17.1.17		30	7.4	3.5	8.5	8.5	2.41	3.5	319.9	58.8	56号	0
	H24.12.21		38	7.9	4.0	8.0	8.0	2.41	2.3	134.8	23.1	56号	0



図 5.3.9 タンクの開放ごとの裏面腐食の履歴の例

底板設計板厚:9.0mm

		経過年 (年)	定点測定 最小値 (mm) ※1	定 点 測 定 よ る 裏 面 最 天 腐 食 深 さ (mm) ※2	補修後最 小板厚 (mm) ※3	連続板厚 測定を想 定した補 正係数 ^{※4}	連続板厚 測定によ る推定値 (mm) ※5	定点測定 による貫 通推定年 ※6	連続板厚 測定によ る貫通推 定年数※6
第1回目開放検査	昭和63年5月	18	7.5	1.5	7.5	1.9	6.0		
第2回目開放検査	平成5年6月	23	6.0	3.0	6.0	1.9	3.1	25.2	10.4
第3回目開放検査	平成12年8月	30	5.9	3.1	5.9	1.9	2.9	433.6	112.0
第4回目開放検査	平成20年6月	38	5.8	3.2	5.8	2.5	1.0	461.8	11.9

※1 定点測定最小値:開放点検時に底部板厚を離散的に測定した超音波板厚計による底部の板厚

※2 定点測定による裏面最大腐食深さ=設計板厚--定点測定最小値

※3 補修後最小板厚:開放点検を実施し、補修が実施された後に現存する底部の最小板厚

※4 連続板厚測定を想定した補正係数:定点測定による裏面最大腐食深さから、連続板厚測定をした場合に推定される裏面腐食深さを算出する係数。

※5 連続板厚測定による推定値:定点測定最小値から、連続板厚測定を実施した場合に推定される最小値 設計板厚---{(定点測定による裏面最大腐食深さ)×(連続板厚測定を想定した補正係数)}

※6 貫通推定年数:各開放検査時の最小板厚から今までと同じ腐食速度で腐食を進行させて、残板厚が 0.0 mmになるまでの年数(連続板厚測定による貫通推定年数は、 ← → の部分を示す。)

上記結果より、本タンクの最低貫通年数は、定点測定法による推定で25.2年(第1回~第2回開放検査時のデータの外挿値)、連続板厚測定法による推定で10.4年(第1回~第2回開放検査時のデータの外挿値)と推測される。



・左記グラフは、仮想的な検討のための方 法を示したものであり、実際の板厚管理方 法を示すものではない。(内面腐食速度の推 定下限値の仮定が含まれている。)

図 5.3.10 過去のデータから裏面腐食による底部板貫通年を推定する方法の手順

66

5.3.2.4 裏面腐食による貫通年の推定結果

前項の方法により容量1万キロリットル以上の旧法タンクについて、裏面腐食の履歴デ ータから、各タンクの腐食履歴において最も早く板厚が0.0mmになるまでの年を計算した。 定点測定法による腐食速度の算定精度を考慮し、腐食速度は一定と仮定し、5.3.2.3で得ら れた、定点測定法による推定、連続板厚測定想定による推定のそれぞれによる裏面腐食に よる貫通の推定年を表 5.3.4 に示す。

なお、結果については、次の点については推定年を長くする(危険性を小さく評価する) 仮定を用いたことに留意する必要がある。

- ・板厚が 0.0 mmとなった年数を算定したこと。
- ・最大裏面腐食箇所の内面側には腐食はないものと仮定して算定したこと。
- ・裏面腐食速度が平均より大きく変化すること(加速すること)は考慮していないこと。

年	定点測定 (一定の見逃し ³	による腐食を想定 ^{率がある可能性は考慮}	Eした場合 ^{蠢されていない)}	連続板厚測定を実施した場合を想定した場合						
	アニュラ板	底板	累計	アニュラ板	底板	累計				
7 以下	0	0	0	2	19	21				
~ 8	0	0	0	1	6	28				
~ 9	0 1		1	1	3	32				
$\sim 1 \ 0$	0	1	2	0	6	38				
$\sim 1 \ 1$	1	1	4	3	8	49				
$\sim 1 \ 2$	0	2	6	2	4	55				
$\sim 1 3$	0	3	9	2	3	60				
$\sim 1 4$	0	3	12	1	5	66				
$\sim 1 5$	2	2 5		6	4	76				
~ 1.6	2	4	25	5	0	81				

表 5.3.4 腐食速度が一定と仮定した場合の裏面腐食による貫通の推定年

※連続板厚測定を実施した場合の想定を行った理由

実際に屋外タンクの底部板に発生している最大裏面腐食深さに近い連続板厚測定法によって測定される最大裏面腐食深さは、定点測定法によって測定される最大裏面腐食深さに対して、平均的にみて表 5.3.3 に示した比率分大きいことが明らかになったことから、定点測定法により測定された最大裏面腐食深さをそのまま用いて裏面腐食による底部板の貫通年を評価することは、不安全側に過大な評価となる(保安検査周期を延長した場合にタンク底部板に貫通が生じる件数を過小評価することとなる。)。本検討では、より実際に近い評価を行うため、表 5.3.3 の結果を用いて、連続板厚測定法を実施した場合の腐食を想定した場合の評価を行った。

- 5.3.2.5 旧法タンクの保安検査に係る補修基準について
- (1) 容量が1万キロリットル以上の旧法タンクにおける連続板厚測定法による裏面腐食 深さのデータを分析した結果、面的に腐食が進むのではなく、一部に深い腐食(孔食)

が認められるものや、孔食による腐食が広く分布しているものがあることが分かった こと、連続板厚測定法による裏面腐食深さのデータから、定点測定法による測定点を 模擬的に抽出した結果からは、最大腐食深さを一定の算出係数で見逃しているという 結果が判明したこと、また、同じ定点測定法でも、56 号通知及び 169 号通知に基づく 測定法の違いによって、算出係数(表 5.3.3 参照)が異なることから、保安検査に係 る底部板厚に関する補修基準について、算出係数を考慮した板厚管理方法を検討した。

算出係数を用いて、定点測定法(56 号通知及び 169 通知)の違いによる現行の補修 基準(「危険物規制事務に関する執務資料(屋外タンク貯蔵所及び一般取扱所関係)の 送付について」(平成 11 年 6 月 15 日付け消防危第 58 号通知(以下「58 号通知」とい う。)))の妥当性について検証を行った。

(2)現行の旧法タンクの保安検査に係る補修基準(評価方法)について

現行の旧法タンクの保安検査に係る定点測定法に係る補修基準(評価方法)については、58 号通知により、以下の補修基準(評価方法)が示されている(満足しない場合は補修を指導している)。

- a. 設計板厚の 90%以下である箇所の周囲の測定板厚平均値が設計板厚の 80%を超え ること。
- b. 以下の式を満足すること。ここで、 t は 4.5 (t 値) とされている。

(3) 現行の補修基準(評価方法)(t値)の妥当性の検証について

現行の補修基準(評価方法)(t値)について、腐食率に算出係数の違いを考慮し、 (2) b.のt値について、以下の方法で妥当性の検証を行った。検証には、検討会 で裏面腐食量の確認に使用するために収集した旧法タンクの過去7年間分(平成18年 から平成24年の合計1463基分:基本開放検査の年数を考慮)の保安検査結果のデー タ(腐食量、板の使用年数、次回開放予定年数)(以下「実タンクデータ」という。) を用いた。なお、定点測定法の違いによる補修基準(評価方法)の妥当性について検 証を行うことから、実タンクデータには、アニュラ板及び底板について、定点測定法 によらない測定方法(連続板厚測定や面測定等)により測定されたデータは使用して いない。また、過去の検査結果等から板の腐食減肉が明らかであることから板厚を測 定せずに板を取り替えた事例のように、腐食速度が速いと考えられるデータが含まれ ていないことに留意する必要がある。 現行の補修基準における各タンクの次回開放時の腐食量は、A式となる。

次回開放予定年数(年):7

一方、各タンクの定点測定法の違いによる算出係数を考慮した次回開放時の腐食量は、 B式となる。

協会戦(mm)×禁出係数 後の使用年数(年) × 次国初放子定年数(年) ・・・・・B式

次回開放予定年数(年):7

C=B式による値-A式による値

C: 定点測定法の違いによる見逃し率を考慮した余裕代

この計算式に基づいて、実タンクデータを用いて余裕代を計算した結果を図 5.3.11 及 び図 5.3.12 に示す。



図 5.3.11 56 号通知に基づく次回開放までに必要な余裕代(各タンクの計算結果)


図 5.3.12 169 号通知に基づく次回開放までに必要な余裕代(各タンクの計算結果)

これらの結果から、定点測定法の違いにより必要と考えられる余裕代を表 5.3.5 に示す。

	56 号通知により必要となる余裕代	169 号通知により必要となる余裕代
アニュラ板	2.3(192 基)	1.2(528 基)
底板	1.5(232 基)	1.3 (514 基)

表 5.3.5 定点測定法の違いによる必要な余裕代及び分析に使用した実タンクデータ数

過去7年間について、特定屋外タンク貯蔵所の保安検査における底部板厚測定方法別 の割合を図5.3.13に示す。



図 5.3.13 特定屋外タンク貯蔵所の保安検査における底部板厚測定方法別の割合

注1 部分的にでも連続板厚測定を実施したタンクは、「連続板厚測定を含む」とした。

注2 「連続板厚測定を含む」「全面169号」「全面56号」を除いたものを「定点測定+面測定等」とした。

(4)検証結果を踏まえた58号通知による補修基準(評価方法)の見直しについて 検証結果を踏まえた補修基準(評価方法)の見直しについて、過去7年間分の実タ ンクデータを用いて分析を行った。

表 5.3.5 より、169 号通知による見逃し率を考慮した定点測定法で確認される腐食量の評価において、必要な余裕代(C)の値を見込むと、(2) b. に示す考え(t値= 4.5mm)は、過去7年間分の腐食量の分析結果において、タンク底部板厚について次回開放検査までの供用中に技術上の基準である 3.2 mmを維持し続けるために最低限必要な基準であると考えられる。ただし、この場合においても、腐食速度が大きく変化することや分析に用いたデータは板厚を測定せずに取り替えているものが含まれていないなど、次回開放検査時において 3.2 mmを下回る可能性も否定はできないため、過剰に安全性を見込んだものとは考えられない。

一方、56 号通知による見逃し率を考慮した定点測定法で確認される腐食量の評価に おいて、必要な余裕代(C)の値を見込むと、(2) b. に示す考え(t値=4.5mm) では、過去7年間分の腐食量の分析結果を考慮すると、次回開放検査時に最低限必要 な技術上の基準である3.2mmを下回る可能性があると考えられる。

以上の結果を踏まえ、58 号通知による補修基準(評価方法)について、表 5.3.5 に 示した余裕代の値を考慮し、表 5.3.6 のとおり見直すことを提案する。

	現行の補修基準					見直し後の補修基準			
板厚の管 (板厚測	管理方法 定方法)	対象部位	t 値		板厚の管理方法 (板厚測定方法)		対象部位	t 値	備考
169 号通知		アニュラ板	4.5		100 日ご番 作用	アニュラ板	4.5	(現行維持)	
		底板	4.5	$ \rightarrow $	109 万通和		底板	4.5	(現行維持)
56 号	アニュラ板	4.5		1	アニュラ板	5.5	(見直し)		
	万	底板	4.5	56 芳		底板	5.0	(見直し)	

表 5.3.6 検討結果を踏まえた補修基準(評価方法)

5. 4 タンク底部の板厚に関する影響評価のまとめ

開放周期の間隔により、底部板に貫通孔が生じることによる流出事故がどの程度増加す るかについて、容量1万キロリットル以上の旧法タンクにおいて、過去の開放検査時に測 定された腐食深さのデータを用いて模擬的に検討を行った。

- (1) 腐食速度が一定等の仮定をした場合において、内面腐食速度を用いた推定では、一般的な基本開放周期7年の期間で2基に貫通が生じる結果となった。
- (2)裏面腐食による貫通推定件数においては、内面腐食と同様に腐食速度が一定等と仮定した場合において、連続板厚測定を実施したと想定した場合では、基本開放周期7年の期間で21基に貫通が生じる結果となった。

模擬的な検討により、貫通が生じる可能性が確認できたことから、基本開放周期7年は、 過剰に安全余裕を見込んでいるとは考えられない。

これら模擬的な検討には、開放検査時に板厚を測定せずに底板を取替えた場合など腐食 深さが測定されなかったデータが除かれている等の留意点があるほか、裏面最大腐食深さ は定点測定法による測定結果に対して平均的な係数を乗じた深さとしたこと(実際には、 より深いものも考えられる。)、実際の屋外タンクでは、同じ箇所に内面と裏面の両方に腐 食が生じることがあることにも留意が必要である。

また、板厚管理にあたっては、旧法タンクは新法タンクに比べ、平均的な裏面腐食速度 が速いこと、内面腐食防止措置のうち、コーティングの経年劣化等によりその効果が低下 したものが増え、その中に孔食等が発生して大きな腐食速度を示したものと考えられる事 例があること、裏面防食措置のうち、オイルサンドが経年等でその油分が抜けてしまい、 相対的にアスファルトサンド等と比較すると裏面防食効果が劣る可能性があること等にも 留意する必要がある。

腐食状況はタンクごとに異なり、一部に深い腐食(孔食)が認められるものや、孔食に よる腐食が広く分布しているものがあること、屋外タンク底部板に生じる腐食の速度が変 動することや定点測定法による板厚測定で最大腐食量を見逃すこと等により、タンク底部 板に貫通孔が生じることがないように管理するためには、開放検査で連続板厚測定法を採 用すること等が有効的と考える。また、定点測定法による板厚管理を行う場合には、必ず しも最大腐食箇所を把握できるとは限らないことから、定点測定法の違いによる見逃し率 を考慮した板厚管理を提案する。

第6章 保安検査周期のあり方に関するまとめ

6.1 旧法タンクの現状分析に係るまとめ

6.1.1 旧法タンクの補修状況について

旧法タンクの補修状況を分析した結果、旧法タンクは、最低でも設置から 36 年以上が経 過し大規模な補修等により維持されていると推測される。なお、分析を実施した期間にお いて、どの時期でも補修率が高いことから、根本的な対策としての建て替えではなく、同 ータンクにおいて保安検査のたびに補修が繰り返されていることが読み取れ、経年劣化の 進行が推測される。

6.1.2 危険物の流出事故事例の分析結果について

旧法タンクの底部からの危険物の流出事故を分析した結果、旧法タンクでは一般的にタ ンク本体に使用されている板厚が薄く、溶接施工方法に強度の弱い重ねすみ肉溶接が多く 採用されていること、タンク底板と基礎表面との空隙による撓みなどが、底部母材部及び 底部溶接部からの危険物流出事故に影響を及ぼしていることが考えられる。

危険物の流出事故件数の推移から、内部開放点検時等の底部板厚確認が危険物流出事故 防止に一定の効果を果たしていることが見受けられる一方で、底部溶接部のき裂による危 険物流出事故に対しては、安全性の確認について慎重な対応が必要であると考えられる。

6.2 基礎・地盤の堅固さの評価に係るまとめ

旧法タンクの地盤の堅固さを評価するため、水張試験時における実タンクの沈下量計測 及び有限要素法を用いた沈下解析を実施した。当該有限要素法を用いた解析手法は、地盤 物性の持つ非線形性を定性的に表現することが可能であり、かつ、今回検証した旧法タン クの地盤のうち地盤物性を詳細に設定できた地盤の場合は、タンク外周部における沈下量 が計測結果と定量的な一致をみている。なお、より精度をあげるためには、地盤の物性に ついて、三軸試験や圧密試験の正確なデータを用いることが重要であると考えられる。今 回検証した旧法タンクの地盤のうち、三軸試験等の結果がなく、N値から地盤物性を推定 した解析結果については、過少評価する結果となった。

タンク内部の沈下量については、有限要素法を用いた解析結果が計測結果を過小評価す る結果となった。過小評価となる要因としては、空液時に存在する基礎表面とタンク底板 との局所的な空隙等の影響が考えられるが、空隙の範囲や深さについては中性子を用いて 非破壊的に確認する方法があるものの一般的ではないこと、個々のタンクにおいて状況が 異なること等から、タンク底板の沈下に及ぼす空隙等の影響を評価することは現時点では 困難である。 6.3 重ねすみ肉溶接の疲労強度の評価に係るまとめ

旧法タンクの底板に適用されている重ねすみ肉溶接を対象とした4点曲げ試験及びき裂 進展解析を実施した結果、重ねすみ肉溶接部の構造的要因のうち、初層部欠陥の有無及び のど厚の大小が疲労強度に影響を及ぼすことが分かった。また、有限要素法を用いたき裂 進展解析から、タンク底板の沈下量と疲労破断回数の関係を示す疲労寿命カーブを得た。 定量的な評価は困難であるものの、定性的には当該溶接部に係るのど厚の減少や初層部の 欠陥の存在により疲労強度が脆弱になることが確認されている。繰り返し回数の少ない範 囲(概ねN_f<1,000)においては、解析結果が4点曲げ試験から得られた結果に対して非安 全側の結果となっている点にも留意する必要がある。

旧法タンクは新法タンクに比べて地盤の沈下量が大きくなることや、旧法タンクの底板 の板厚は新法タンクに比べて薄いことから、液荷重による旧法タンクの底板の撓み量は大 きくなることが予想される。さらに、旧法タンクは設置から概ね40年以上経過したものが 大半であり、底板の重ねすみ肉溶接部には繰り返し液荷重履歴が重ねられていることを踏 まえると、底板の重ねすみ肉溶接部の疲労強度について慎重な検討が必要である。

6. 4 腐食劣化によるタンク底部板厚の影響について

容量1万キロリットル以上の旧法タンクにおいて、模擬的な検討により一般的な基本開 放周期7年の期間で貫通が生じる可能性が確認できた。なお、これら模擬的な検討には、 開放検査時に板厚を測定せずに底板を取替えた場合など腐食深さが測定されなかった旧法 タンクのデータが除かれている等の留意点があるほか、腐食速度は必ずしも一定とは限ら ず、数倍の倍率で変動することがあること、裏面最大腐食深さは定点測定法による値に対 して平均的な係数を乗じた深さとしたこと(実際には、より深いものも考えられる。)や、 実際のタンクでは、同じ箇所で内面及び裏面の両方に腐食が生じることがあることにも留 意が必要である。

6.5 保安検査周期のあり方に係るまとめ

旧法タンクは、タンク底部板厚について新法と比較し厚さが薄いなどの特性があること、 基礎・地盤の堅固さについて具体的な基準がなく建設されていること、底板の溶接部につ いて信頼性の劣る重ねすみ肉溶接が多く用いられていることから、これらについて総合的 に検討を行ってきた。

腐食劣化によるタンク底部板厚の影響評価については、一定の仮定条件をおいた推定結 果ではあるが、一般的な基本検査周期7年においても内面腐食又は裏面腐食により底部に 貫通が生じる可能性があったことを鑑みれば、基本検査周期7年は合理的な安全性を見込 んだものであり、過剰に安全余裕を見込んでいるとは考えられない。また、基礎・地盤や 溶接部については、現在の技術や知見において、タンクの基礎・地盤の空隙を把握する手 法、空隙がタンクに及ぼす影響の評価手法、溶接部の初層部の欠陥やのど厚の評価が可能 となる検査手法及びタンクの液圧の増減等の影響による疲労強度の評価手法などが確立さ れていない。

以上の結果を鑑みれば、旧法タンクについて、現時点において保安検査周期を延長する ことは適当ではないと考えられる。今後、改めて旧法タンクの保安検査周期の延長を検討 する場合は、最低でも以下の課題等の解決が必要であると考えられる。

○ 基礎・地盤を評価するための課題等

旧法タンクの基礎・地盤を評価するためには、水張試験等を利用したタンク底板の沈下 量計測と有限要素法を用いた沈下解析のデータを蓄積し、タンク底板の沈下に空隙等が与 える影響について統計的に評価するとともに、基礎表面とタンク底板との空隙測定(中性 子を用いた非破壊的に検査する方法等)を実施し空隙の範囲と深さを詳細にモデル化した 解析を行うことにより、液荷重によるタンク底板の沈下に関する種々の要因の影響度につ いて探求することが必要であると考えられる。

○ 底板溶接構造を評価するための課題等

旧法タンクの底板の重ねすみ肉溶接部の撓みによる疲労強度を定量的に評価するために は、重ねすみ肉溶接初層部の欠陥の有無やすみ肉溶接に係るのど厚の評価が可能となる非 破壊検査手法の検討が必要になるほか、タンク液圧の増減等の影響による基礎表面とタン ク底板との空隙等も考慮した疲労強度の評価手法の確立が必要であると考えられる。

○ タンク底部の板厚を評価するための課題等

旧法タンクの底部板厚を評価するためには、開放検査で積極的に連続板厚測定法による 板厚管理を行い、個々のタンクにより大きく異なる可能性のある腐食深さ及び分布等の形 態を詳細に把握し、将来の腐食量を注意深く予測する必要があると考えられる。また、腐 食速度には大きな変動幅が生じる可能性があること、今回、腐食の形態については、局部 的に進行するものや孔食が広い範囲に分布することが分かり、定点測定法による板厚管理 を行う場合には、一定の割合で腐食を見逃す可能性があり、必ずしも最大腐食量を把握で きているとは限らないこと等により、タンク底部に貫通孔を生じさせないためには、腐食 速度の変動幅を考慮した板厚管理を行うことが有効であると考えられる。このため、本報 告書では、定点測定法について、板厚測定方法の見逃し率を考慮した板厚管理方法の見直 しが必要であると整理し、新たな板厚管理方法を提案した。