

(案)

屋外貯蔵タンクの浮き屋根の安全対策に関する  
ワーキンググループの進捗状況と当面の取組について  
(中間まとめ)

屋外貯蔵タンクの浮き屋根の  
安全対策に関するワーキンググループ  
令和元年9月



## 趣旨

平成 15 年十勝沖地震の際に発生した浮き屋根式屋外タンク貯蔵所の全面火災を受け、一定規模以上の浮き屋根に係る耐震性や沈降防止の基準が強化された。

一方、最近の状況として、当該改正基準の対象タンクを含め、浮き屋根の浮き室内部に危険物が漏洩している事故等が散見されることから、その原因を調査分析し、今後の事故発生を未然に防止するための対策を検討するとともに、事故が発生した際の適切な対応方法について検討を行ってきたところである。

今般、これまでの本検討会における調査・検討の進捗状況と、これを踏まえた当面の取組みについて整理した。

課題として抽出された事項については、本検討会において引き続き調査・検討を行っていくこととする。

# 1 調査・検討の進捗状況

## 1. 1 浮き屋根に関するアンケート調査

下記4団体へ協力を依頼し、容量500k1以上の浮屋根を有する屋外貯蔵タンクを所有している事業所にアンケート調査を実施した。

- ・石油連盟
- ・石油化学工業連合会
- ・電気事業連合会
- ・独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

その結果、68の事業所からアンケートの回答が得られた。この数字は、全国の該当する事業所のうち約45%に相当する割合である。

### (1) アンケート結果（定期点検）

タンク供用中に実施する定期点検に関するアンケートの主な結果を図1～3に示す。

法令では年1回以上が義務づけられているものの、それより多くの回数実施している事業所が多い。点検方法は供用中ということもありほぼ全て目視によっているが、ポンツーマンホールを開けていない事業所も一定数存在する。なお、定期点検を日常実施している巡視点検と解釈して回答した事業所もあることには留意する必要がある。

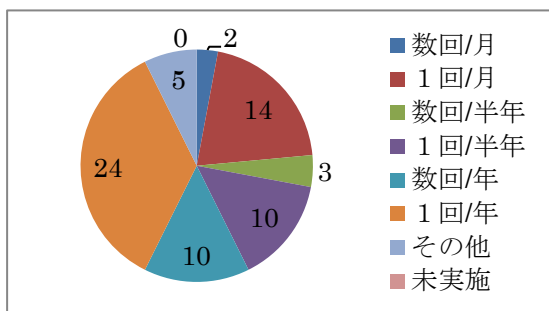


図1 定期点検の頻度

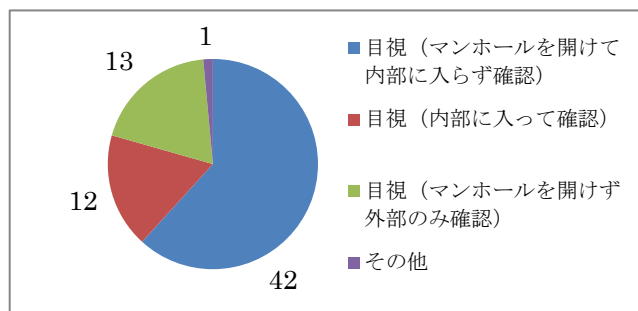


図2 ポンツーン内部の点検方法

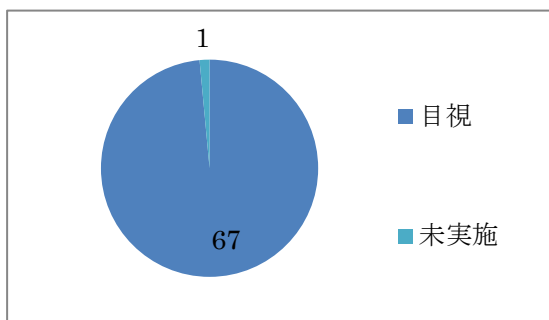


図3 デッキ板（溶接部）の点検方法

### (2) アンケート結果（定期開放点検）

定期開放点検に関するアンケートの主な結果を図4～6に示す。

定期点検と同じく目視検査を主としており、非破壊検査を実施している事業所は少数であ

った。また、非破壊検査を実施すると回答した事業所も、目視検査で異常が発見された際に実施するとの回答であった。

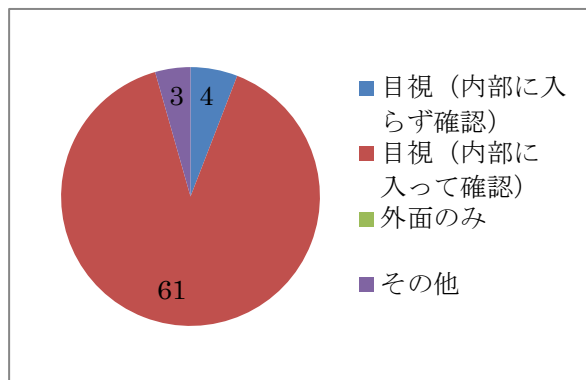


図4 ポンツーン内部の点検方法

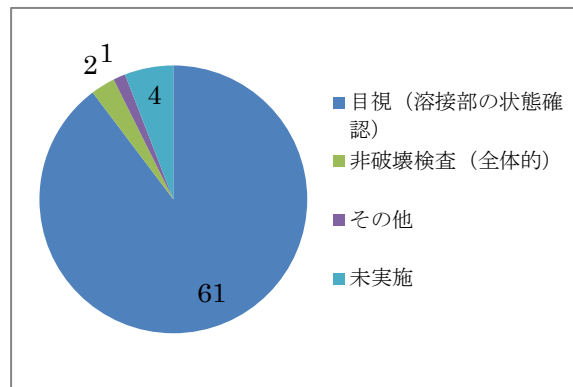


図5 ポンツーン溶接部（接液部）の点検方法

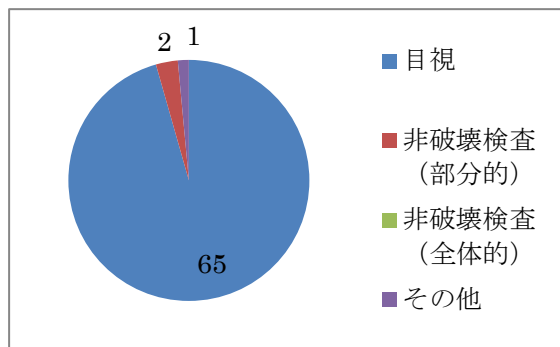


図6 デッキ上面溶接部の点検方法

### (3) アンケート結果（浮き屋根に係る流出事例）

浮き屋根に関するアンケートに対して回答のあった68事業所のうち、27の事業所から計173件の浮き屋根に係る流出事例の回答があった。その結果を図7～10に示す。

漏洩箇所毎の流出件数についてはポンツーンとデッキで4分の3以上となっている。

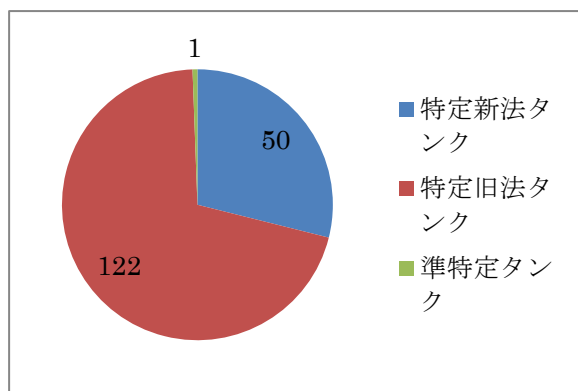


図7 タンク種別毎の流出件数

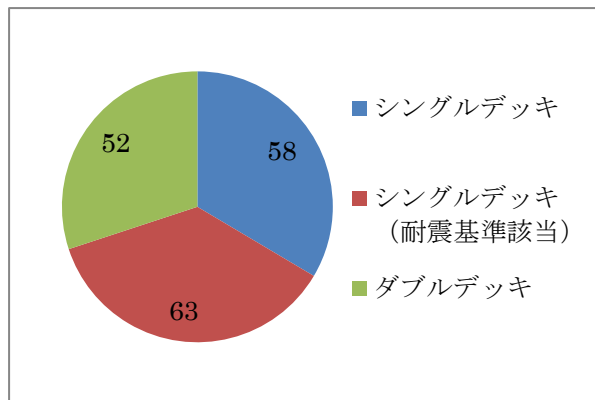


図8 浮き屋根形式毎の流出件数

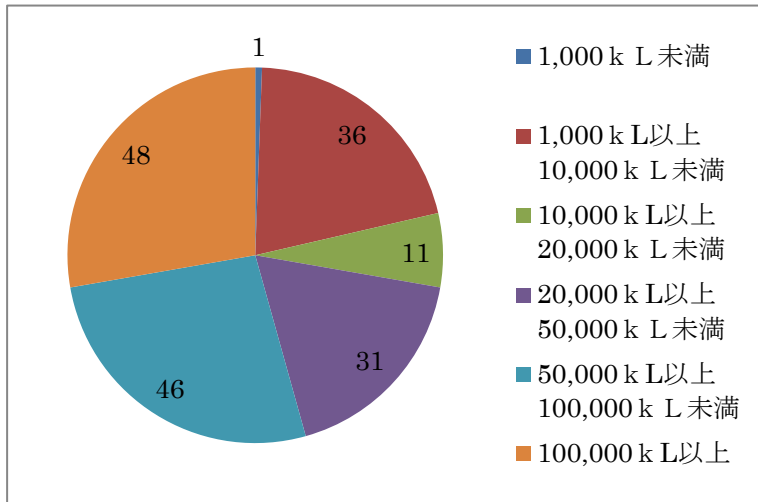


図9 容量毎の流出件数

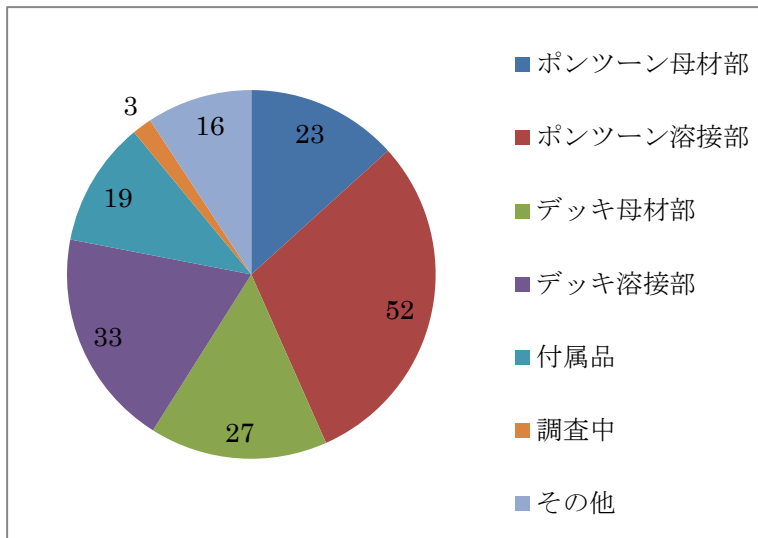


図10 漏洩箇所毎の流出件数

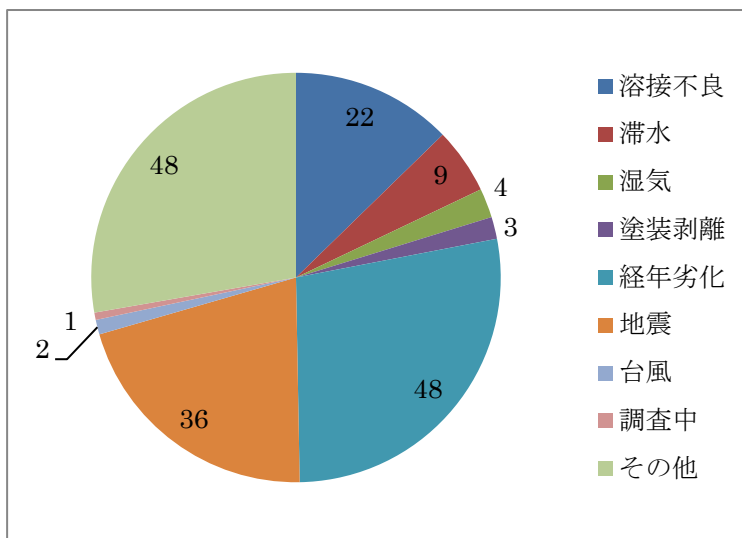


図11 漏洩原因毎の流出件数

また、漏洩発生後に実施した応急措置方法について取り纏めた結果（図 12）、応急措置方法も様々なものがあり、事業所毎に方法も異なる。

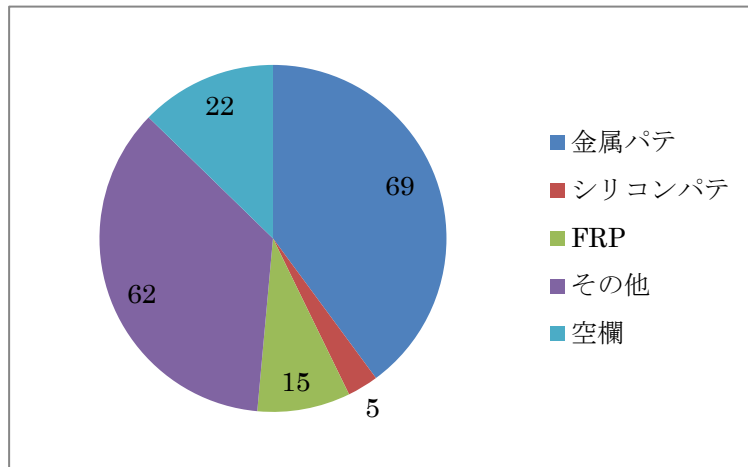


図 12 応急措置に用いられた材料

### 1. 2 浮き屋根の国内外の規格の調査

浮き屋根について国内外の規格を調査した。

以下に国内の適用法規である消防法と、主な規格である JIS B 8501「鋼製石油貯蔵の構造（全溶接製）」及び、JPI-8S-6「屋外貯蔵タンク維持規格」の比較表を示す（表 1）

表 1 消防法と各規格の比較表

消防法		JIS 規格 (JIS B 8501:2013) 鋼製石油貯蔵の構造 (全溶接製)		JPI 規格 (JPI-8S-6-2015) 屋外貯蔵タンク維持規格	
種別 【規則第 20 条の 4】	液面揺動によって損傷を生じない浮き屋根 (耐震浮き屋根)	左欄以外の浮き屋根		記載なし	
構造区分 【告示第 4 条の 21 の 3】	一枚板構造 (シングルデッキ)	一枚板構造 (シングルデッキ)	二枚板構造 (ダブルデッキ)	一枚板構造 (シングルデッキ)	二枚板構造 (ダブルデッキ)
容量等 【告示第 4 条の 21 の 3】	○容量 2 万kl 以上 又は ○容量 2 万kl 未満で Hc* が 2.0m 以上のもの	○容量 1 千kl 以上で左欄に該当しないもの	○容量 1 千kl 以上	記載なし	記載なし
耐震強度 【告示第 4 条の 21 の 4】	○浮き部分に生じる応力が許容値以下 ・円周方向外曲げモーメント ・水平面内曲げモーメント ・円周方向圧縮力	適用外		耐震強度の記載なし ○シングルデッキの浮き屋根強さは、浮力に求める要件 (250mm 降雨滞水時、2 室破損時) の状態によって生じるデッキの発生から発生する半径方向の荷重に対し、ポンツーンが破損してはならない	○消防法及び JIS 規格 (JIS B 8501) を満たしているか確認し、必要であれば補修実施
浮力 【告示第 4 条の 22】	○浮き部分が完全に仕切られたもの	○浮き部分の連続する 3 室に加え回転止め検尺管等が貫通している室及びデッキ部分が破損した場合において沈下しないもの	○浮き部分の連続する 2 室及びデッキ部分が破損した場合において沈下しないもの	○ポンツーンの各室仕切り板は、それぞれ各室が水密となるように、少なくとも片側は、必ず連続すみ肉溶接とする	○条件の最も悪いポンツーン 2 室とデッキが同時に破損した場合において沈下しないもの
				○条件の最も悪い隔室 2 室が破損した場合において沈下しないもの	

	○浮き屋根上に水が250mm滞水した場合において沈下しないもの ○浮力は貯蔵する危険物の比重が 0.7 以上であるときは 0.7 として計算すること。	○貯槽の水平投影面積に対し、250mm に相当する降雨が全てデッキ上にたまったとき沈下しないもの ○浮力は、貯蔵液体の比重 0.7 以上であるときは 0.7 とし、0.7 未満のときはその値を用いる		
最小厚さ 【昭和52年政令第10号附則第3項第2号、告示第4条の17第3号】	3.2mm又は4.5mm	4.5mm	○消防法及び JIS 規格 ( JIS B 8501) を満たしているか確認し、必要であれば補修実施	
溶接方法 【告示第 4 条の 22】	○浮き部分の溶接及び浮き部分と浮き部分以外の溶接は、完全溶け込み溶接又は同等以上の溶接強度を有する溶接方法	○デッキ板は重ね継手とし、板の上面から全厚連続すみ肉溶接、重ね代 25mm以上 ○剛性の大きい部材から300mm以内のデッキ板継手は、板下面からピッチ 250mm、長さ50mm以上の断続全厚すみ肉溶接	○溶接補修は関連法規、規格及びこれらと同等と認められる基準に従う溶接方法	
溶接部の試験 【規則第 20 条の 9】	○浮き屋根の総体に係る溶接部は、真空試験、加圧漏れ試験、浸透液漏れ試験等によって漏れが無いもの	○浮き屋根の溶接部は、空気圧試験、真空試験及びその他適切な方法による漏れ試験によって漏れないもの (空気圧の場合、最低353Paとし、設計圧力を超えてはならない) ○貯槽本体の水張試験の水張り水抜きときに浮き屋根の作動状況、シール部の状態及びデッキの漏れを調べる。ダブルデッキ形の屋根では、下部デッキの上面で漏れを調べる。	○点検時：目視にて異常が認められた場合、非破壊検査 ○溶接線補修後：磁粉探傷試験または浸透探傷試験、必要に応じて漏れ試験	
付属品等 【告示第 4 条の 22】	○各浮き室に危険物や水が浸入しない構造のマンホール ○降水量に応じた排水設備 ○排水能力を超えた場合の非常用排水設備	○各浮き室には、水又は貯蔵液が入らない構造とし、ふた板は風で飛ばされない構造とする ○降水量に応じた排水設備	○消防法及び JIS 規格 ( JIS B 8501) を満たしているか確認し、必要であれば補修実施	
	○排水設備からの危険物の流出防止機能	適用外		記載なし
	○着底時の破損防止用通気管 ○回転を防止する機構 ○外周部はたわみ性、密着性のある材料 ○滑動部分は発火しない材料、構造	○着底時の破損防止用通気管 ○屋根を常に貯槽の中心位置に保持し、かつ、回転を防止するための機構 ○外周部はたわみ性、密着性のあるシール ○滑動部分は発火しない材料及び構造		
定期点検 【規則第 62 条の 4】	○ 1 年に 1 回以上 ○技術上の基準に適合しているかどうかについて	—	○消防法に準拠 ○性能維持の確認のため、1年に1回以上	

また、アメリカをはじめとする各国で参照されている API と EU で主に参照されている BS (BRITISH STANDARD) も近い内容の規格となっているが、一部の抜粋を以下に示す。いずれも一定以上の大きさのシングルデッキについては風荷重による疲労破壊を考慮するよう求めている。

#### API650 Annex C External Floating Roofs C.3.1.5

For tanks greater than 60 m (200 ft) in diameter, the deck portion of single-deck pontoon floating roofs shall be designed to **avoid flexural fatigue failure caused by design wind loads**. Such designs shall be a matter of agreement between the Purchaser and the Manufacturer, using techniques such as underside stitch welding.



#### BS EN(BRITISH STANDARD) D.3.4 Roof stability under wind load

When tanks are to be erected in a region where wind conditions can give rise to fatigue in the roof center deck welds, the roof design and type to be used shall be as specified by the purchaser (see A.1) for tanks 50 m diameter and above. In other cases, **no account shall be taken of wind generated fatigue loads.**

また、ポンツーンの仕切り板について、J I S、A P I、は全周連続隅肉溶接を要求しているのに対して、B Sは底板からリム板上端までは連続隅肉溶接だが、上端の溶接は二つに一つの仕切り板を連続隅肉溶接とするよう要求している。

#### API650 C.3.6 Compartments

Compartment plates are radial or circumferential dividers forming compartments that provide flotation for the roof (see C.3.4). All internal compartment plates (or sheets) shall be single-fillet welded along **all of their edges**, and other welding shall be performed at junctions as required to make each compartment leak tight. Each compartment weld shall be tested for leak tightness using internal pressure or a vacuum box and a soap solution or penetrating oil.

#### BS D.7.3 Bulkheads

All internal bulkhead plates shall be at least **single fillet welded** along their **bottom and vertical edges for liquid tightness**, and the **top edge of alternate bulkheads shall also be provided with a continuous single fillet weld for liquid tightness.**

Bulkhead plate corners trimmed for clearance of longitudinal fillet welds shall be filled by welding to obtain liquid tightness.

### 1. 3 浮き屋根の事故事例と原因分析

2017年度に実施したポンツーンの一斉点検により覚知した、ポンツーン内部漏洩事故について、詳細な分析と原因の推定を実施した。その結果、原因としては母材や付属品の腐食、溶接部近傍の応力集中による割れ、補強材拘束による割れ、溶接不備や欠陥、板材製作不良等が挙げられ、それぞれに対する対策を検討した。

また、アンケート結果や、上記事故事例及び危険物保安技術協会が実施した浮き屋根の漏洩事故調査から、漏洩の主な原因と対策案について取り纏めた(表2)。

この結果、タンクの開放検査時に、ポンツーン全体の気密状況が確認できる加圧漏れ試験、漏洩の原因となった腐食に対する点検や、過度な応力集中を発生させる構造の見直し等が有効とされ、その際の浮き屋根の具体的な点検方法について取り纏めた(「タンク開放時に実施する浮き屋根の点検(案)について」)

表2 浮き屋根の漏洩事故の概要と自主点検状況

表1 浮き屋根漏洩事故の概要と自主点検状況											
許可容量	浮き屋根形式	直近の保安 元前検査	開放時検査	工事後検査	漏洩箇所 工事有無	漏洩を受けて 実施した検査	漏洩発覚時期	漏洩量	漏洩概要	漏洩原因に対して有効な対策	
1	9,610	シングル ハイデッキ	平成24年3月	目視検査(ボンツーン内含む) 肉厚測定(原油タンクは全室) デッキ板は板毎3点測定	加圧漏れ試験 (溶接線補修や、一部板切り 取り等の部分補修であれば、 浸透探傷試験)	有	不明	平成29年7月	0.37KL	ボンツーン貫通附属品取付部溶接線から流 出、ボンツーン下板×貫通部の溶接線一部未 施だったことで、ボンツーンが液密になってい なかった。 設計図面では溶接指示あり。	ボンツーン全体に対しての加圧漏れ試験 (溶接線には石けん水を用いる)
2	9,900	シングル ハイデッキ	平成26年11月	目視検査(ボンツーン内含む) 目視検査で腐食が認められた場 合は肉厚測定 漏水・漏洩(油分の付着)が疑わ れていた場合には加圧漏れ試験を 実施している。	加圧漏れ試験	不明	ボンツーン全室の目視点 検、溶接線全線PT検査また は真空試験を実施。	平成27年12月	3KL	リムベント配管腐食により貫通	不要な構造の見直し
3	40,978	シングル ハイデッキ	平成27年10月			有	不明	平成28年6月	滯油	内リム×補ガセット接合部、内リム母材割れ ピン接合が溶接により剛接合となったため 平成28年発見時コーキング等による応急措置 を実施	過度な応力集中を起こす構造の見直し
4	997	シングル ハイデッキ	—	1、屋根板:目視及び、タンク毎 の腐食状況により、超音波/磁 気飽和渦流探傷法(SLOFECな ど)による定点or連続肉厚測定。 2、ボンツーン:目視検査 目視検査により、漏えい有無の 確認の必要のある溶接線には 浸透液漏れ試験あるいは真空 試験を実施	バキュームテスト又は浸透探 傷試験	不明	漏洩したボンツーンは石け ん水を用いた加圧漏れ試験 とバキューム試験(下板相 互のみ)を実施。漏れは確 認できなかった。 PT検査により溶接部に貫通 孔が発見された。	平成28年5月	滲み	下板相互溶接線より滲み	ボンツーン全体に対しての加圧漏れ試験 (溶接線には石けん水を用いる) 溶接線に対する浸透液漏れ試験
5	27,326	シングル ハイデッキ	平成24年2月			不明	不明	平成26年6月	滯油 (拭き取れ る程度)	ボンツーン溶接部 原因は不明(溶接欠陥の顕在化と事業所は推 定) ※開放検査これから	—
6	9,800	シングル ハイデッキ	平成21年10月			不明	不明	平成29年8月	滲み	ボンツーン下板溶接線に滲み 原因は不明(溶接欠陥の顕在化と事業所は推 定) ※開放検査これから	—
7	2,000	シングル ハイデッキ	平成26年12月			有	全室浸透液漏れ試験を実施 (接液部のみ)	平成28年10月	0.16KL	スラグ巻き込み等溶接欠陥により下板×内リ ム、下板×外リム、下板相互溶接線より漏洩	ボンツーン全体に対しての加圧漏れ試験 (溶接線には石けん水を用いる) 溶接線に対する浸透液漏れ試験
8	108,000	シングル ローデッキ	平成26年4月	目視検査(ボンツーン内含む)	ボンツーンの板を取り替えた 場合は工事箇所に対して加圧 漏れ試験を実施。	無	不明	平成29年10月	満液	ボンツーン下板母材腐食により貫通、漏洩	詳細な目視検査
9	108,000	シングル ハイデッキ	平成28年8月			無	漏れたボンツーンは浸透液 漏れ試験を実施(接液部 のみ) 全室加圧漏れ試験を実施 (上板×リム板、上板相互 は除く)	平成30年6月	21.5KL (1室満液) 4.3KL (1室滯油)	下板×円周リング端部母材割れ (内圧変化による割れ) 4.3KL 下板相互溶接線初期欠陥	ボンツーン全体に対しての加圧漏れ試験 (溶接線には石けん水を用いる) 溶接線に対する浸透液漏れ試験 溶接線に対するPT、MT 過度な応力集中を起こす構造の見直し

## タンク開放時に実施する浮き屋根の点検（案）について

### （１）点検の対象部位

特定屋外タンク貯蔵所の浮き屋根（シングルデッキ、ダブルデッキ）

### （２）点検の内容

#### ア 目視検査

- ・デッキ板の溶接線及び板の腐食等の状況について、デッキ板上から目視検査を実施する。その際脚長・のど厚不足については十分注意を払うこと。
- ・ポンツーン内の溶接線及び板の腐食の状況について、目視検査を実施する

#### イ 加圧漏れ試験

- ・全てのポンツーン室に対して、加圧漏れ試験を実施する
- ・試験圧力は、原則として 353 Pa（36 mmAq）以上とする
- ・加圧漏れ試験は、溶接線全線に発泡液を適用し、漏れないことを確認する。または、圧力変化を測定することで漏れないことを確認する。その際塗装が有る場合には剥離は不要とする。
- ・加圧漏れ試験の実施が困難な箇所に対しては、JISZ2330（非破壊試験－漏れ試験方法の種類及びその選択）に規定する漏れ試験を実施する。  
その際は試験されない溶接部が残らないよう留意する。（断続溶接で取り付けられている当板に覆われた溶接部等）
- ・加圧漏れ試験により漏れが確認された場合は、漏れの箇所を特定する。

#### ウ 超音波板厚測定

- ・ポンツーン底板に対して、超音波板厚測定を実施する  
（浮き屋根耐震基準対象タンクにあつては、このほかに平成 17 年消防危第 295 号通知で定められた箇所に対しても、超音波板厚測定を実施する）

### （３）不具合箇所の対応

- ・加圧漏れ試験等により漏れが認められた箇所に対しては、溶接補修を実施する
- ・目視検査や超音波板厚測定により板の厚さが 3.2mm 未満となった箇所に対しては、溶接補修（肉盛り補修、当板補修、取替補修）を実施する（浮き屋根耐震基準対象タンクにあつては、強度評価を満足する板厚を確保する必要がある）

### （４）補修後の検査

- ・デッキ板に係る溶接補修箇所に対しては、従来通り漏れ試験を実施する
- ・ポンツーンに係る溶接補修箇所に対しては、加圧漏れ試験を実施する。すでに加圧漏れ試験が実施されている場合にあつては、加圧漏れ試験以外の漏れ試験でも差し支えない

### （５）不要な設備や過度に応力が集中する構造の確認等

上記（２）で示した点検内容の他、ポンツーン内への流出事故を引き起こすリスクが高い不要な設備又は過度に応力が集中する構造の有無について確認する。これらの設備又は構造が確認された場合は、当該設備の撤去及び当該構造の見直しを行うことが望ましい。撤去等を実施しない場合にあつては、次回以降の開放検査においても、当該箇所については入念に点検する。

#### 1. 4 浮き屋根に関する文献調査

浮き屋根の安全性に関して、過去に実施された研究の情報収集を行った（参考文献）。いくつかの例と概要を示す。

##### (1) 「不具合溶接を有する重ね継手部の疲労亀裂進展評価」(圧力技術第 50 巻第 2 号、第 5 号)

浮き屋根のデッキ板の溶接継手は重ね継手になっており、一般的に板厚は 4.5mm となっている。この重ね継手部の疲労についての研究として、欠陥を有する重ね継手部を想定し（図 15）、繰り返し荷重をかけた際に、亀裂の疲労寿命（貫通に至るまでの回数）を算出している。その際の継ぎ手形状（図 15）の違い、曲げ・引張り荷重、欠陥の位置、板のギャップの大きさ（図 15 での  $\xi$ ）による疲労寿命の違いをシミュレーションで検証している。

その結果、継手部に曲げ荷重が作用する場合、ルート亀裂 (Root crack face) については隙間  $\xi$  の増大に対する疲労寿命の低下の度合いは、止端側脚長 4.5mm モデル（図 15 右側）が 45 度モデル（図 15 左側）と比べて大きくなった。これは、のど厚の影響が大きいことを示している。また、止端部亀裂 (Toe crack face) は隙間  $\xi$  の影響はあまり見られなかった。

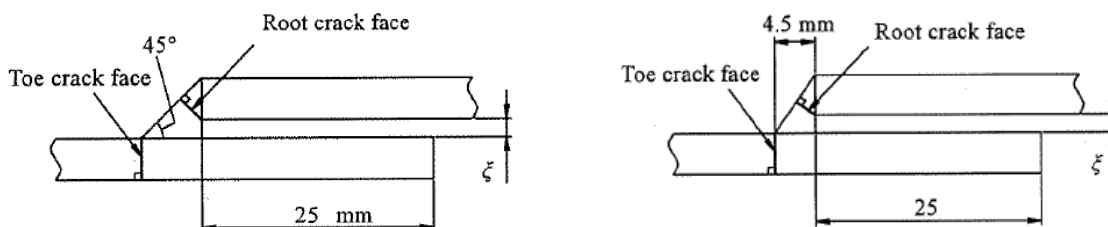


図 15 想定モデル

##### (2) 「風による円筒タンク浮き屋根の挙動シミュレーション」

(日本機械学会論文集 B 編 78 巻 792 号、799 号、80 巻 812 号)

供用中の浮き屋根には、地震、大雨、風等による影響を受けることが想定されるが、日常的な荷重としては主に雨や風が想定される。

ここでは直径約 80m、高さ約 20m の 10 万 k1 級のタンクを想定し、これが一様な風を受けた際に浮き屋根にどのような挙動が生じるかをシミュレーションしている。なお、デッキ板は板厚 4.5mm の一枚板形状としており、継ぎ手形状等は考慮されていない。

その結果、タンク上部に風が吹くことで、浮き屋根直上に圧力分布の差が生じ、浮き屋根のデッキ板に波打ち震動が生じることが確認された。その際の風速とデッキ板に生じる繰り返し曲げ応力範囲（最大標準偏差値）の関係は以下の表 2 のようになり、卓越周期は風速によらず 1 秒～3 秒とされている。

表 2 風速と繰り返し曲げ応力範囲（最大標準偏差値）の関係

風速 (m/s)	10	30	50
曲げ応力範囲 (MPa)	1.48	10.4	22.8

このように、最大 50m/s の強風下においても、最大曲げ応力は 22.8MPa と SS400 の降伏点（約 240MPa）を大幅に下回っていることがわかる。ただし、実際のデッキ板の継ぎ手は重ね継手であることと、あくまでシミュレーションによる数値であることには注意を要する。

また、卓越周期が 1 秒～3 秒ということは、1 時間で 1200 回～3600 回、1 日で 28800 回～86400 回とかなりの回数曲げ荷重がかかるということになり、これによる疲労について配慮す

ることが必要と考えられる。

(3) 「シングルデッキ形浮屋根の疲労損傷評価事例」(産業機械 2001. 11 「特集」 タンク)

実際に溶接部からの漏洩が発生した浮き屋根において、一ヶ月間風速を測定し、また腐食減肉が顕著と認められた継手部を選定・型取りし、応力解析を実施した(図 16)

その結果、高応力はデッキ下板の減肉部の、隅肉溶接ルート部とその表面に集中し、デッキ板一般部の発生応力に比べ約 2.3 倍となった。

また、この状況下において「浮屋根式貯槽の耐風設計についての一考察」から風による圧力変動の振動数を算出し、測定された最大風速 13.2m から疲労強度評価を実施すると、建設後 25 年間でデッキの許容繰り返し回数約 7900 万回に対して、予想繰り返し回数は約 6400 万回と約 8 割に達しており、漏洩原因はデッキ板溶接部の疲労損傷の可能性が高いことを示していた。

同様の検討をデッキ板一般部(溶接部以外の箇所)について行ったが、デッキ一般部ではこの条件下では疲労損傷に至る可能性は皆無であることも判った。

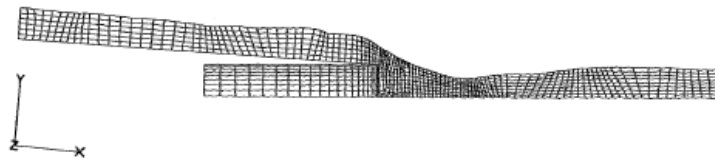


図 16 隅肉溶接継手部の応力解析モデル

1. 5 漏洩の要因まとめ

以上のことから浮き屋根の漏洩の要因については、単純な腐食による貫通を除き、それぞれの要因が単独で漏洩の原因となったというよりは、初期欠陥を有する場合に、経年劣化を経て、そこに疲労を引き起こすような繰り返し荷重が発生するという複数の要因が重なった結果発生しているものと推定される。

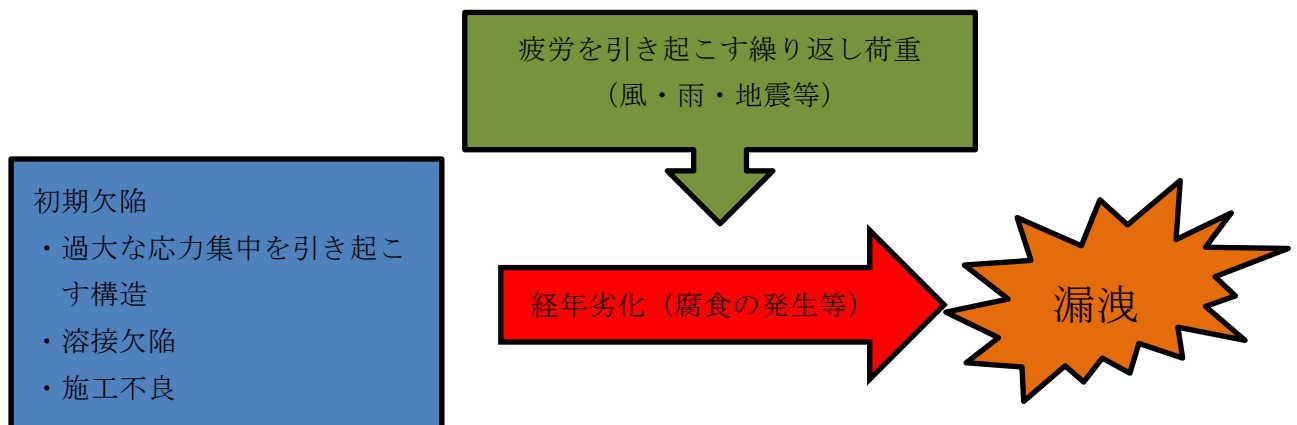


図 17 漏洩発生までのイメージ

## 2 浮き屋根の漏洩発生時の応急措置について

### 2. 1 浮き屋根に対する応急措置の現状調査

1. 1で述べたアンケート調査を実施するとともに、実際の応急措置の実情を調査するため、応急措置を実施している事業所に協力して頂き、現地調査を実施した。



図 13 浮き屋根の現地調査風景





図 14 浮き屋根の応急措置（アクアパテ+ウルトラシール+エラストマー）

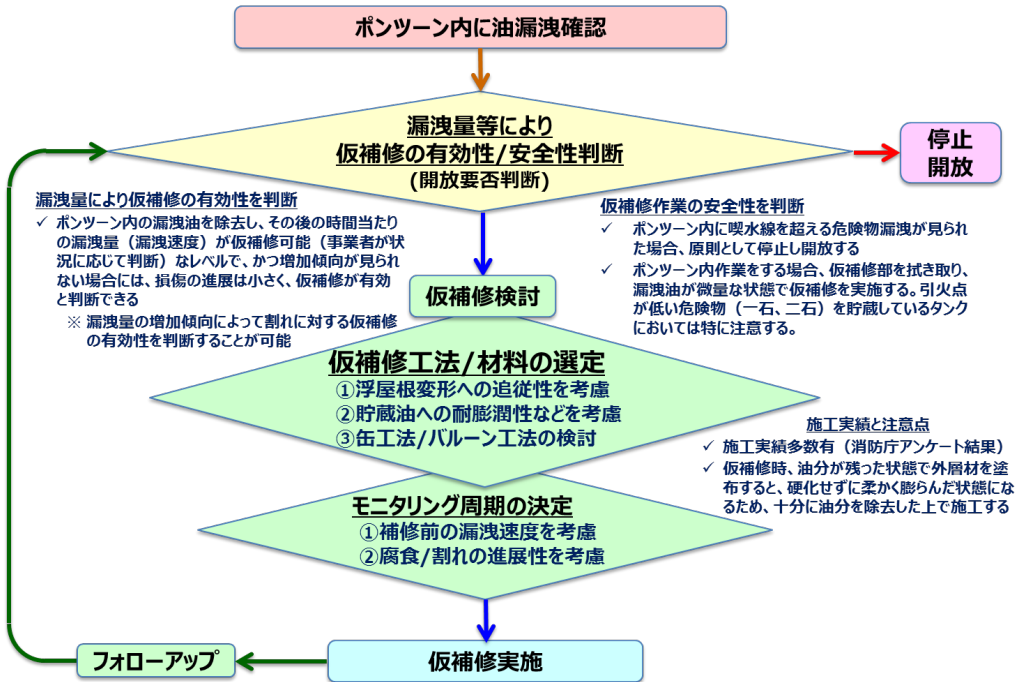
## 2. 2 適切な応急措置の方法

アンケートから抽出した応急措置材料の妥当性を確認するために、JFEテクノリサーチ株式会社にて疲労試験を実施中。1月中旬終了予定。

## 2. 3 漏洩発生時の対応案

漏洩事故が発生した際の対応方法について検討を行った。引き続き詳細について検討を続ける。

### ポンツーン内油漏洩時の対応案



## 3 今後の取り組み

1. 2に示したとおり、タンク開放時に実施する点検方法は取り纏めたが、以下の事項について引き続き検討する。

### 3. 1 定期点検

資料WG 2-1 参照

### 3. 2 タンク開放時の点検・補修

資料WG 2-1, 2-2 参照

### 3. 3 応急措置後の継続使用の要件

資料WG 2-3 ~ 2-〇参照



#### 4 参考文献（著者名は敬称略）

- ・石油タンクの溶接設計  
小倉信和
- ・浮屋根式貯槽の技術課題と提言  
笈勝行
- ・浮屋根式貯槽の耐風設計についての一考察  
山崎将史
- ・シングルデッキ形浮屋根式円筒タンクのスロッシング特性  
吉田聖一、関根和喜、光田 司
- ・石油タンク浮屋根設計の研究動向  
吉田聖一
- ・不具合溶接を有する重ね継手部の疲労亀裂進展評価：影響関数法を用いた疲労き裂進展解析  
森影康、伊木聡、若狭勝、吉田聖一、白鳥正樹、関根和喜、土田智彦、岩田克己
- ・不具合溶接を有する重ね継手部の疲労亀裂進展評価：仮想き裂面の応力解析  
若狭勝、伊木聡、関根和喜、土田智彦、岩田克己
- ・風荷重による浮屋根損傷に起因した石油タンク全面火災事故  
若狭勝
- ・風による円筒タンク浮屋根の挙動シミュレーション（CFD解析）  
黒田眞一、上島秀作、石田和雄、吉田聖一、白鳥正樹、関根和喜、土田智彦、岩田克己
- ・風による円筒タンク浮屋根の挙動シミュレーション（スロッシング応答解析）  
黒田眞一、上島秀作、石田和雄、吉田聖一、白鳥正樹、関根和喜、土田智彦、岩田克己
- ・風による円筒タンク浮屋根の挙動シミュレーション（スロッシングへの風速の影響）  
黒田眞一、上島秀作、石田和雄、吉田聖一、白鳥正樹、関根和喜、土田智彦
- ・シングルデッキ形浮き屋根の疲労損傷評価事例  
山内芳彦、富谷真