

屋外貯蔵タンクの浮き屋根の安全対策に関する  
検討報告書（案）

令和2年1月

消防庁危険物保安室

## はじめに

現在、我が国の屋外貯蔵タンクについては、設置後 30 年以上が経過したものが多く、この経年劣化による漏えい危険が高まっている。特に、底板と異なり具体的な点検基準が定められていない浮き屋根に関しては、腐食劣化による漏えい危険は高まりつつあることから、これまで、屋外貯蔵タンク浮き屋根の安全性を担保するための様々な検討がなされてきたところである。

その中では、漏えい事故の要因分析、漏えい事故の発生を低減させるための方策の提言がなされており、また屋外貯蔵タンク浮き屋根に関する腐食状況、補修状況等のデータ、屋外貯蔵タンク浮き屋根部からの具体的な漏えい事故を整理分析した屋外貯蔵タンク浮き屋根の効果的な点検に資する資料等が取りまとめられている。

本検討会では、これまでに検討された屋外貯蔵タンク浮き屋根の点検方法や、補修工事を実施する際の注意点について再整理を行うとともに、漏えいが発生した際の適切な対応方法についても検討を行った。

本報告書の作成にあたり、ご多忙中にも関わらず検討会に参画され、多くの貴重なご意見をいただいた検討会の委員各位、並びに資料等をご提供頂いた関係各位に対し深く感謝申し上げます次第である。

令和 2 年 3 月

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

座 長 辻 裕 一

第1章 調査検討の概要	1
1. 1 調査検討の目的	3
1. 2 調査検討事項	3
1. 3 調査検討体制	3
1. 4 調査検討経過	3
第2章 浮き屋根の事故原因の調査と対策	5
2. 1 浮き屋根の事故事例と原因分析	7
2. 2 浮き屋根に関するアンケート調査	7
2.2.1 アンケート結果（定期点検）	7
2.2.2 アンケート結果（定期開放点検）	8
2.2.3 アンケート結果（浮き屋根に係る流出事例）	8
2. 3 浮き屋根の国内外の規格の調査	10
2.3.1 国内の規格の比較	10
2.3.2 国外の規格との比較	11
2. 4 第三者機関による事故調査に基づく分析	12
2. 5 浮き屋根に関する文献調査	14
2.5.1 「不具合溶接を有する重ね継手部の疲労亀裂進展評価」	14
2.5.2 「風による円筒タンク浮き屋根の挙動シミュレーション」	14
2.5.3 「シングルデッキ形浮き屋根の疲労損傷評価事例」	15
2. 6 漏えいの要因まとめ	15
2. 7 対策	15
2.7.1 漏えいの発生防止	16
2.7.2 ポンツーンにおける漏えいの拡大防止	16
2.7.3 漏えいが発生した際の早期発見	17
2.7.4 その他	17
第3章 浮き屋根の漏えい発生時の対応	19
3. 1 浮き屋根に対する仮補修の現状調査	21
3.1.1 現地調査	21
3.1.2 仮補修に関する追加調査	23
3.1.3 大規模地震で損傷を受けた浮き屋根の事故調査	23
3. 2 仮補修を実施した試験片に対する疲労試験	24
3.2.1 疲労試験の概要	24
3.2.2 疲労試験結果	25
3. 3 適切な仮補修の方法	27
3.3.1 仮補修材の選定	27
3.3.2 施工の際の手順	27
3.3.3 フォローアップ	27
3. 4 仮補修後のタンク継続使用の要件	27
3. 5 恒久補修	28
第4章 まとめ	29
4. 1 浮き屋根の安全対策	30
4. 2 浮き屋根の漏えい発生時の対応	30
4. 3 今後の課題	31
参考文献	32

## 参考資料

- 1-1 浮き屋根の技術基準の概要
- 2-1 浮き屋根式タンクのポンツーン内部漏えいの推定原因と対策
- 2-2 アンケート集計結果
- 2-3 喫水線上昇に伴うルーフサポートやエマージェンシードレンからの逆流防止対策
- 3-1 仮補修に関する追加調査結果
- 3-2 仕様書「令和元年度 仮補修を実施した溶接継ぎ手の疲労試験業務」
- 3-3 報告書「令和元年度 仮補修を実施した溶接継ぎ手の疲労試験業務」
- 3-4 仮補修材油種別使用実績調査結果
- 3-5 仮補修材施工時の注意点事例

## 第 1 章 調査検討の概要



## 第1章 調査検討の概要

### 1. 1 調査検討の目的

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、浮き屋根の浮き部分（以下「ポンツーン」という）内部に危険物が漏えいしている事故等が散見されることから、平成29年11月に、消防機関を通じ、全国の浮き屋根式タンク（2,281基）を対象として、直近の点検記録におけるポンツーン内部の異状に関する調査を実施した。その結果、48基のタンクにおいて、ポンツーン内部への貯蔵危険物の漏えいが確認された。今回把握した48基については、直ちに浮き屋根沈降につながるようなポンツーンへの漏えいは確認されなかったものの、ポンツーン内への貯蔵危険物の流出は、浮き屋根を沈下させるおそれがあることから、その原因の調査及び対策の検討を行う。

また、浮き屋根における漏えい事故が発生した場合には、消防法第16条の3第1項に規定する応急措置を実施することとなっているが、その際の対応方法は、各消防本部により判断が異なることから、その実態を調査し、漏えいが発生した際の適切な対応方法についても検討することを目的とする。

### 1. 2 調査検討事項

- (1) 浮き屋根の漏えい事故の原因の調査と対策（第2章）
- (2) 浮き屋根の漏えい発生時の対応方法（第3章）

### 1. 3 調査検討体制

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委員名簿

（五十音順 敬称略）※()は前任者

座長	辻 裕一	東京電機大学 工学部 機械工学科 教授
委員	秋吉 隆雄	石油連盟 設備管理専門委員会
	小川 晶	川崎市消防局 予防部 危険物課長
	谷内 恒平	一般社団法人 日本産業機械工業会
	中井 宏治	石油化学工業協会
	中本 敦也	危険物保安技術協会 タンク審査部長
	西 晴樹	消防庁消防研究センター 火災災害調査部長
	美藤 貴之	一般社団法人 日本非破壊検査工業会 開発委員会
事務局	渡辺 剛英	消防庁危険物保安室長
	内藤 浩由	消防庁危険物保安室課長補佐
	迫田 知明	消防庁危険物保安室パイプライン係長（平成31年度から）
	(清野 昇亨	消防庁危険物保安室パイプライン係長（平成30年度）
	門前 祐児	消防庁危険物保安室総務事務官

### 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30年度

- 第1回検討会 平成30年8月22日
- 第2回検討会 平成31年2月27日

#### ○令和元年度（平成31年度）

- 第1回検討会 平成31年5月30日
- 第2回検討会 令和元年9月26日

第3回検討会 令和元年11月21日  
第4回検討会 令和2年1月27日

※ 本報告書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
- 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

## 第2章 浮き屋根の事故原因の調査と対策



## 第2章 浮き屋根の事故原因の調査と対策

### 2.1 浮き屋根の事故事例と原因分析

平成29年度に実施したポンツーンの一斉点検により覚知した、ポンツーン内部漏えい事故について、事業者からの申告に基づいた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。（参考資料2-1）

その結果、原因は主に腐食減肉と溶接施工不良の2つに起因しているものと考えられ、タンク開放時のポンツーン内部検査において、錆や汚れの除去や検査範囲が不十分であったこと、溶接の品質に対する注意が十分でなかったことが挙げられた。

### 2.2 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以上の浮き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。（参考資料2-2）

- ・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。

#### 2.2.1 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2-1～3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、ポンツーン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。

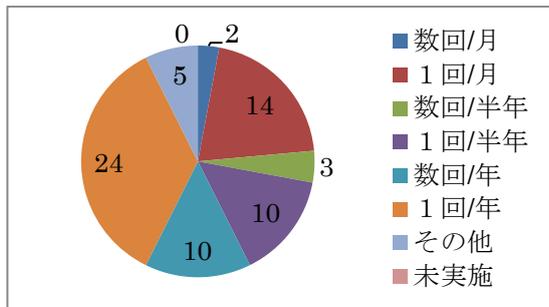


図2-1 定期点検の頻度

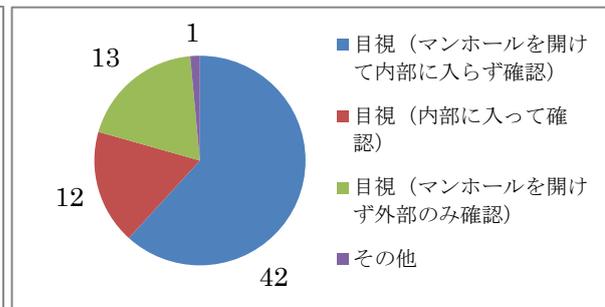


図2-2 ポンツーン内部の点検方法

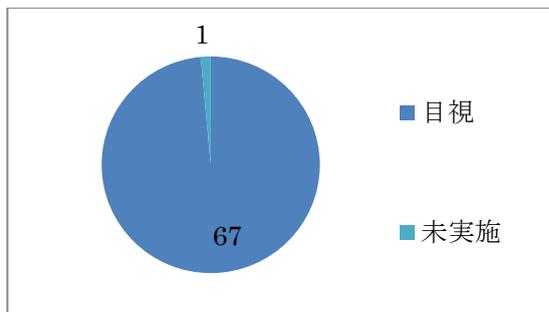


図2-3 デッキ板（溶接部）の点検方法

### 2.2.2 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2-4～6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。

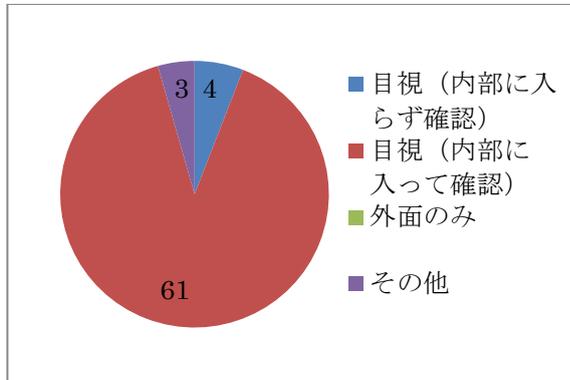


図2-4 ポンツーン内部の点検方法

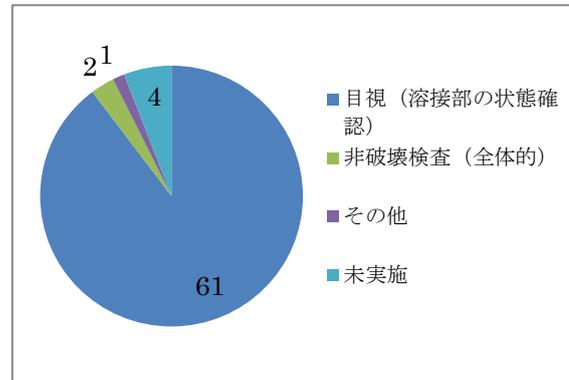


図2-5 ポンツーン溶接部（接液部）の点検方法

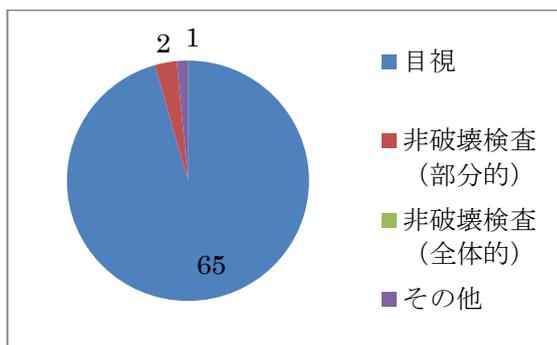


図2-6 デッキ上面溶接部の点検方法

### 2.2.3 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2-7～10に示す。

漏えい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。

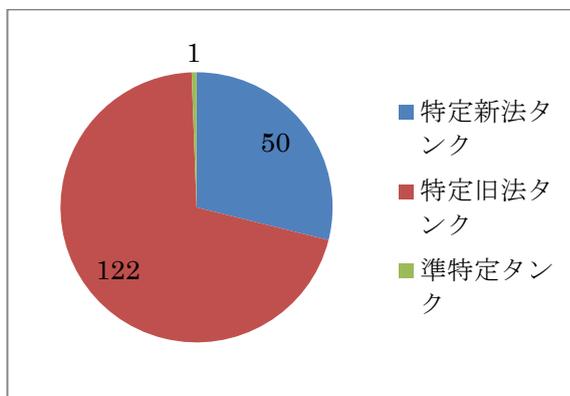


図2-7 タンク種別毎の流出件数

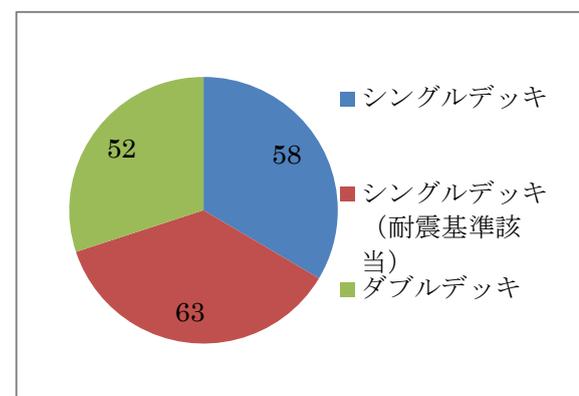


図2-8 浮き屋根形式毎の流出件数

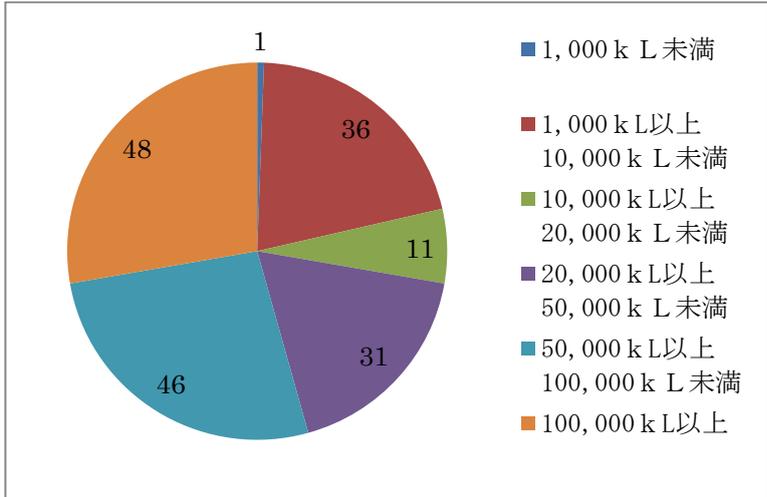


図 2-9 容量毎の流出件数

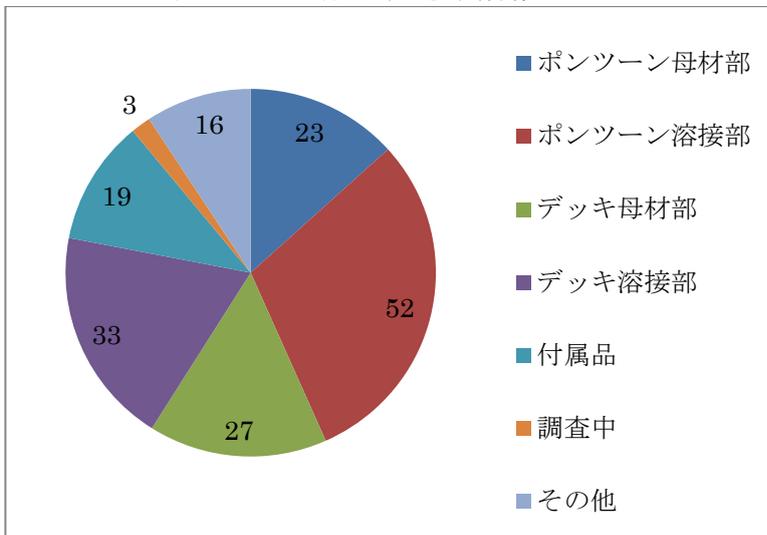


図 2-10 漏えい箇所毎の流出件数

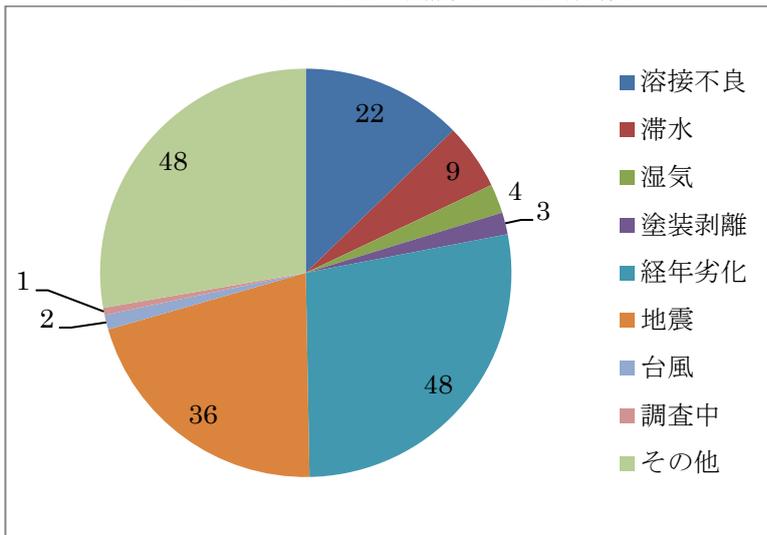


図 2-11 漏えい原因毎の流出件数

また、漏えい発生後に実施した仮補修方法について取り纏めた結果（図 2-12）、仮補修方法も様々なものがあり、事業所毎に方法も異なる。

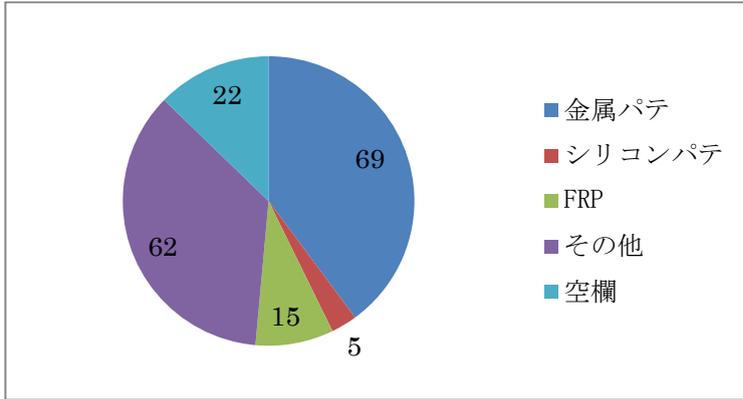


図 2-12 仮補修に用いられた材料

## 2. 3 浮き屋根の国内外の規格の調査

### 2.3.1 国内の規格の比較

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）」（以下「JIS」という。）及び、JPI-8S-6「屋外貯蔵タンク維持規格」の比較表を示す（表 2-1）

表 2-1 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 k1 以上 又は ○容量 2 万 k1 未満で Hc*が 2.0m 以上のもの	○容量 1 千 k1 以上で左欄に該当しないもの	○容量 1 千 k1 以上	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 ・円周方向面外曲げモーメント ・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、ボ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			○ボ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		——
	○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	○浮き部分の連続する 2 室が破損した場合において沈下しないもの	○条件の最も悪いボンツーン 2 室とデッキが同時において沈下しないもの	○条件の最も悪い隔壁 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がないもの（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の際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】	○各浮き部分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	○各浮き部分には、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 ○降雨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	

### 2.3.2 国外の規格との比較

アメリカをはじめとする各国で参照されている API (American petroleum Institute) 規格と 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.

## 2. 4 第三者機関による事故調査に基づく分析

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えい事故調査から、漏えいの主な原因と対策案について取り纏めた（表2-2）。

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、漏えいの原因となった腐食に対する点検、及び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た。

表2-2 浮き屋根の漏えい事故の概要と自主点検状況

表1 浮き屋根漏れ事故の概要と自主点検状況											
許可容量	浮き屋根形式	直近の保安完前検査	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	しみ	下板相互溶接線よりしみ	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	しみ	ボンツーン下板溶接線にしみ 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) 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

## 2. 5 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。  
いくつかの例と概要を示す。

### 2.5.1 「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 2-13)、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 2-13) 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 2-13 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 2-13 右側) が 45 度モデル (図 2-13 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。

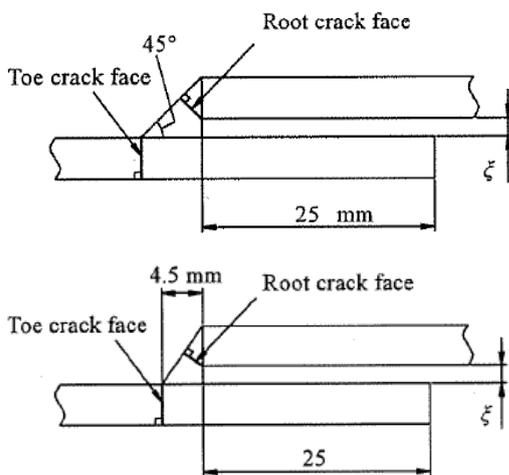


図 2-13 想定モデル

### 2.5.2 「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、台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 2-3 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 2-3 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や、また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 1,200 回～3,600 回、1 日で 28,800 回～86,400 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である。

### 2.5.3 「シングルデッキ形浮き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えい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2-14)

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「浮き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7,900万回に対して、予想繰り返し回数は約6,400万回と約8割に達しており、漏えい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。

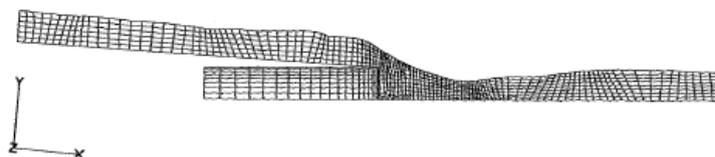


図2-14 隅肉溶接継手部の応力解析モデル

### 2.6 漏えいの要因まとめ

漏えい発生までのイメージを図2-15に示す。浮き屋根の漏えいの要因については、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えい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(腐食の発生等)を経て、そこに疲労を引き起こすような繰り返し荷重(風・雨・地震等)が発生し、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。

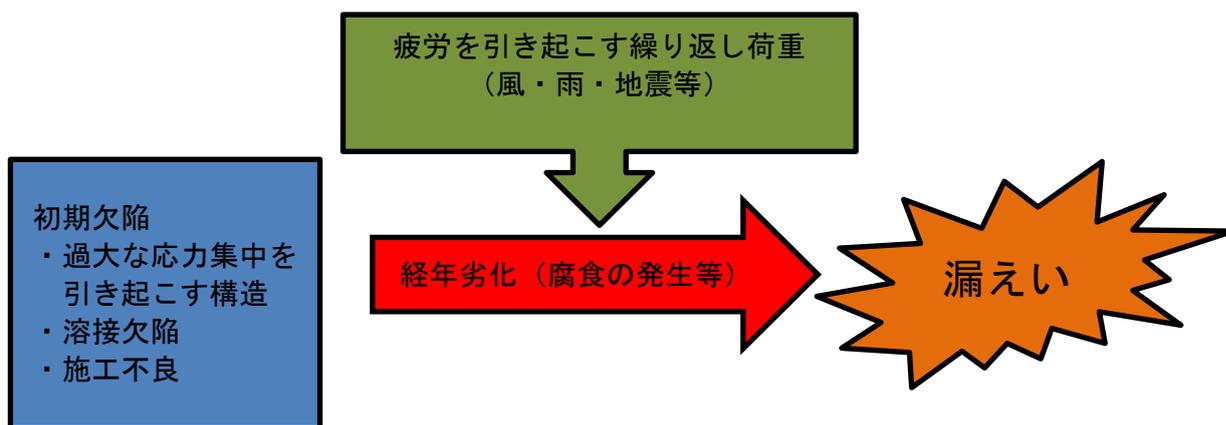


図2-15 漏えい発生までのイメージ

### 2.7 対策

漏えい発生までのイメージは、2.6で示したとおりではあるが、浮き屋根式タンクの大半は建設から30年以上経過しており、経年劣化が進む中、浮き屋根の沈没による全面火災という最悪のシナリオを未然に防止するためには、漏えいの発生を防止し、漏えいが発生した際の早期発見、浮き屋根における漏えい拡大防止を図ることが必要である。

## 2.7.1 漏えいの発生防止

### (1) タンク開放時に実施する点検

浮き屋根は、既存の欠陥を確実に発見するために、ポンツーンにおいては、開放検査時においても、建設時に実施した際と同様に漏れ試験を実施する。また、その際には、検査できなかった溶接部が生じないように、ポンツーン全体を加圧する加圧漏れ試験を実施することが望ましい。加圧漏れ試験を実施する際には、塗装が健全であれば塗装を剥離せずに実施しても差し支えない。

また、過去に事故が発生した事例と同様の、過大な応力集中の生じる可能性のある構造については、改修することが望ましい。しかしながら改修することが困難な場合であっても、入念な点検を実施するとともに、次回開放検査時においても同様に点検を実施する。

#### 【過大な応力集中が生じる構造の例】

- ① 拘束された内リムに3枚以上の板が溶接されている箇所
- ② トラス、サポートが下板に直接溶接されている箇所

点検の具体的な実施方法を別添1「タンク開放時に実施する浮き屋根の点検について」に示す。

### (2) 溶接欠陥の発生防止

溶接部の欠陥の発生を防止するためには、適切な溶接施工が重要となる。具体的には2.4.1に示したように、重ね継手の溶接施工時においては、のど厚の確保が重要となることから、新設時や板の取替工事を実施する際には、板同士の肌合わせを十分に行うとともに、適切な溶接材料、溶接条件、溶接士の技量、溶接後の検査等を盛り込んだ、溶接施工要領書を事業者と施工会社の間で取り交わし、施工会社の現場監督はそれが確実に遵守されるよう現場を管理する必要がある。

また、J I Sではデッキ板についてガーダ、支柱及びその他の剛性の大きい部材から300mm以内のデッキ板の継手は、板の下面からピッチ250mm、長さ50mm以上の断続全厚隅肉溶接を行うこととしており、デッキ板の更新等を実施する際には、このような構造に改修することが望ましい。

## 2.7.2 ポンツーン内に漏えいが発生した際の影響拡大の防止

### (1) 仕切り板の構造の確認

浮き屋根は法令により相隣接する2室（告示第4条の21の3に規定するタンクにあっては連続する3の室及び回転止め、検尺管等が貫通している室）及びポンツーン以外の部分が破損した場合においても沈下しないものであることが要求されており、一定の損傷に対して安全性を有している構造となっている。しかしながら、これは仕切り板の溶接に漏れ等がなく健全であり、ある1室へ漏えいした内容物が隣の室に流出しないことが前提となっている。

また、過去の浮き屋根の沈没事故では、ある1室に漏えいした内容物が浮き屋根の沈下に伴い、喫水線が内リムの上端を超えたことにより、断続溶接となっていた仕切り板上部から隣の室に内容物が流出したことが沈没の一因になっている。

そのことから、現行のJ I SやA P I規格が規定しているとおり、仕切り板の溶接は、連続隅肉溶接等で完全に仕切られていることが望ましい。しかしながら、既存の浮き屋根の仕切り板を全て改修することは、コスト的にも工期的にも現実的ではないため、完全に仕切られていない場合には、法令で想定している破損パターンが生じた際に、仕切り板の断続溶接部から隣接する室に流出するおそれのないことを確認することが必要である（図2-16）。これに当たり、沈下傾斜量については、平成19年消防危第242号通知によるとともに（想定破損室は告示第4条の21の3による）、ポンツーンが破損した場合の浮き屋根の浮力と傾斜角の確認を行い、傾斜が生じることで、雨水が通常の排水設備から有効に排水されずに浮き屋根上に滞留することが想定される場合（平成25年7月31日付け消防危第141号の2）には、その滞水重量を加え計算する。

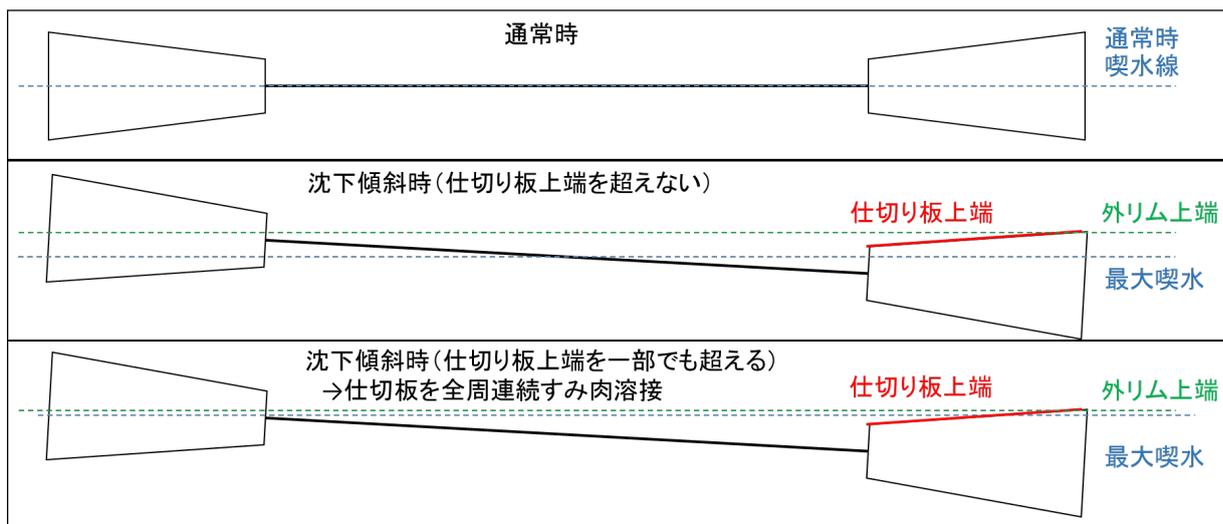


図 2-16 仕切り板の連続溶接化の要否の検討方法 (ダブルデッキも同様)

## (2) 過去の補修履歴等を踏まえた浮力の確認

浮き屋根は、危険物の規制に関する技術上の細目を定める告示第4条の22に適合するように設計されているが、その後、使用期間が長引くに従い、当板補修等が行われ、建設時から、重量が増加していることも多い。通常、重量の変更を伴う工事が行われた場合には、工事後の重量で浮力計算を実施することになっている。過去に行われた改修工事等で、形状が当初設計から変更されていたにもかかわらず、正確な形状を事業者が把握していなかったケースもあったことから、正確な重量を算出するため、また適切な点検を実施するためにも、現状を表現する図面と実物が一致しているかの確認を行い、現状の正確な重量に基づいた浮力計算を実施する。

### 2.7.3 漏えいが発生した際の早期発見

浮き屋根での漏えい事故は、漏えい箇所がデッキ部であれば、日常行われている定期的な巡視点検等で知覚されることが多いが、ポンツーン内部の場合、漏えいしていることに気がつかないまま漏えい量が増大していく可能性がある。年に1回以上実施することを義務づけている定期点検等の機会に、浮き屋根についても、年に1回以上ポンツーン内部まで含めた点検を実施する。その際は、滲み等の軽微な漏れについても発見できるように入念な目視検査等を実施する。また、それに加え、浮き屋根に損傷が生じる可能性のある地震・大雨・台風等の自然災害発生直後においても、安全を確保した上でポンツーン内部まで含めた浮き屋根の点検を実施する。

### 2.7.4 その他

漏えいの形態として、腐食や溶接部の破損等以外にも、設備自体に不具合がないにもかかわらず、ルーフトレンやエマージェンシードレンから内容物が逆流し、デッキ板上に漏えいした事例がある。

これを防止するための具体的な検討方法について、参考資料2-3「喫水線上昇に伴うルーフトレンやエマージェンシードレンからの逆流防止対策」に示す。

これについては、実際のタンク内容物に浮き屋根が浮揚した状態で確認する必要があるため、オイルイン後、事業者にて著しい局所的な変形等が生じていないことを確認する。

## タンク開放時に実施する浮き屋根の点検について

### (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）を対象とする。

### (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、塗装が健全である場合には塗装の剥離は不要とする。
- ・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っては、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っては、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っては、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っては、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。

### 第3章 浮き屋根の漏えい発生時の対応



### 第3章 浮き屋根の漏えい発生時の対応について

タンク供用中に、ポンツーン内部及びデッキ部を含め、浮き屋根に危険物の漏えいが発生した場合、漏えいが滲み程度であっても消防法第16条の3第1項に規定する事故に該当するものであり、そのような事故が発生した場合にあっては、直ちに、引き続く危険物の流出及び拡散の防止、流出した危険物の除去や、その他の災害発生防止のための応急措置を講じる必要がある。その上で、タンクを速やかに開放し、恒久的な補修を行うことが原則である。

しかしながら、タンクの緊急開放は事業所の運営に多大な影響とコストが発生することから、金属パテ等を用いて、漏えい箇所を塞ぎ（以下「仮補修」という）、漏えいを停止させた上で、タンクの使用を継続している運用例もある。

そこで、適切な仮補修の方法と、タンクを継続的に使用する際の注意点について調査・検討を実施した。

#### 3. 1 浮き屋根に対する仮補修の現状調査

##### 3.1.1 現地調査

2. 1で述べたアンケート調査を実施するとともに、実際の仮補修の実情を調査するため、仮補修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。

以下に当該事業所における仮補修の取り組みの一例を示す。

##### (1) 仮補修材

1層目：アクアパテ（エポキシ樹脂）

漏れを一時的に止める。速乾性あり。屋根の変形に対する追従性なし。

2層目：ウルトラシール（アクリル樹脂）

漏れを止める。密着性と速乾性あり。屋根の変形に対する追従性なし。

3層目：MMエラストマー（ポリマー）

1、2層目が割れた際に漏れを止める。屋根の変形に対する追従性あり。

##### (2) 施工手順

①下地処理として屋根板の塗装を剥離し、鉄面まで下地を出す。

②一層目は不具合部をポイントでアクアパテを施工。

③アクアパテの初期硬化を確認後（30分程度が目安）、2層目のウルトラシールを施工。

④ウルトラシールの初期硬化を確認後（30分程度が目安）、完全硬化させる（24時間）。

⑤ウルトラシールの完全硬化後、3層目のエラストマーを施工。

注意点：2層目以降、屋根板表面に油分が残った状態で塗布すると、硬化せずに柔らかく膨らんだ状態になるため、十分に油分を除去した上で施工する。

##### (3) 仮補修後の点検

①最初の4日間は、2回/日の点検。問題なければ以降は、1回/日の点検。

②降雨時や降雨後は、対象タンクのルーフトレンを確認し、油膜の有無を調べる。

③地震（震度3以上）、台風、大雨（50mm/H以上）が発生した場合は、安全が確保できたことを確認の上、仮補修部に異常のないことを確認する。

##### (4) 仮補修後の管理

①半年ごとに仮補修の再補修を実施。

②危険物が屋根上に流出した場合に備え、あらかじめ移送先タンクを決定しておく。

③消防本部に日常点検結果を報告する（1回/週）

④仮補修箇所に再度滲み等の漏えいが発見された場合は、消防本部に報告し対応を仰ぐ。



図3-1 浮き屋根の現地調査風景



図3-2 浮き屋根の仮補修（アクアパテ+ウルトラシール+エラストマー）

### 3.1.2 仮補修に関する追加調査

仮補修に関して実態を詳細に調査するため、当初実施したアンケートの際に、仮補修を実施したと回答した事業書に対して、仮補修の不具合事例等について追加で調査を実施した(参考資料3-1)。その結果の概要を表3-1に示す。

また、仮補修材を選定する際に注意している点として、耐油性、耐候性、追従性、硬化時間、内容物との相性を考慮している回答が主であった他、層ごとに注意点を設け、所内で手順書を作成し、仮補修技術の蓄積がされている事業所もあった。

仮補修材として実績のあるものは、いずれも台風や地震等の影響がなければ、概ね数ヶ月程度はもつ傾向がある。これは適切な応急措置材を選定し、適切に施工していれば、さらに長期間維持できるものと推定される。また、2層構造にしており、1層目が割れ、2層目が膨らみ、再度の漏えいに至る前に不具合を発見することのできた事例もあった。

表3-1 仮補修の不具合事例

施工箇所	不具合発生までの期間	推定原因
デッキ板	2週間	施工不良・台風
デッキ板	2ヶ月	追従性の不足
デッキ板	6ヶ月	追従性の不足
デッキ板	10ヶ月	変形に対する追従性の不足
ポンツーン	2ヶ月	施工不具合
ポンツーン	数日~3.5ヶ月で計8回	施工不良・地震

### 3.1.3 大規模地震で損傷を受けた浮き屋根の事故調査

平成30年に発生した北海道胆振東部地震において、特定屋外タンクの浮き屋根(ダブルデッキ型)において危険物の漏えいが発生しており、当該タンクが開放されたことから、現地調査を実施した。被害の概要を図3-3に示す。

損傷箇所の仕切り板が大きく座屈しており、地震動によって大きな圧縮荷重がかかったことが推定される。また、損傷箇所が仕切り板直下であり、また、溶接線の損傷も合わせて発生したことから、一箇所の貫通傷から3室に危険物が漏えいする結果となった。

当該タンクはダブルデッキ形の浮き屋根であるが、損傷が発生したのは中央付近のポンツーンであり、最外周のポンツーンのみで最低限の浮力は確保できるように設計されており、仮補修で漏えいを一時的には食い止めることができたものの、漏えいの再発が頻発することから、タンク開放予定を前倒し、地震発生から約1年後に浮き屋根の恒久補修を実施した。

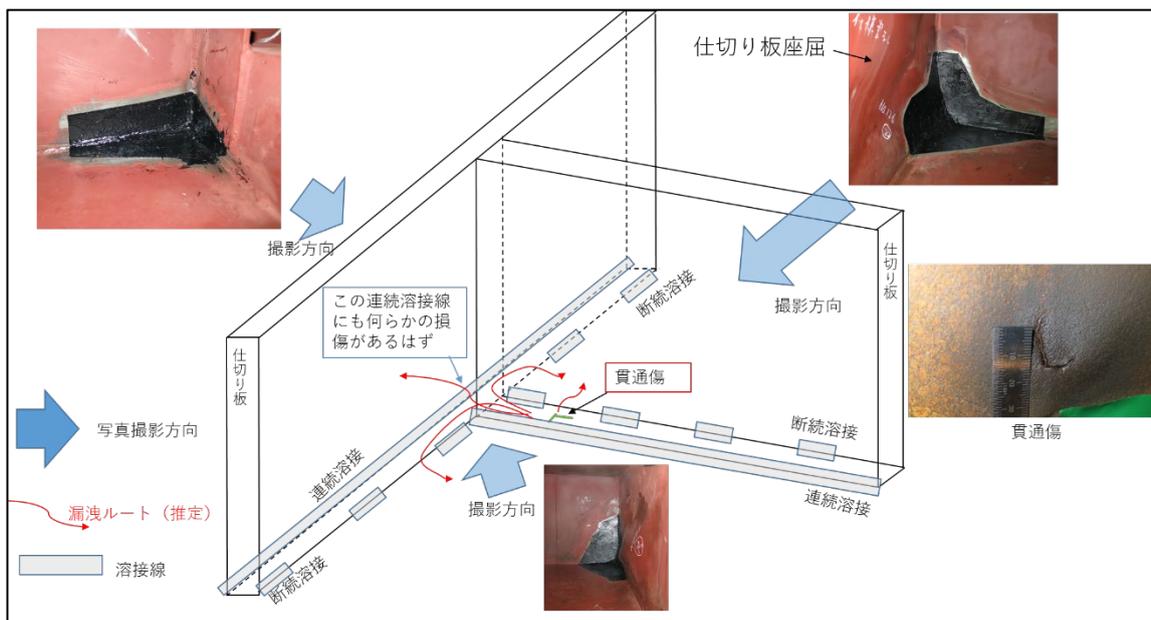


図3-3 損傷状況の概要

### 3. 2 仮補修を実施した試験片に対する疲労試験

アンケートから抽出した実績のある仮補修材の妥当性を確認するために、疲労試験を実施した。

#### 3.2.1 疲労試験の概要

浮き屋根のデッキ板の一部を模した、重ね継手を有する厚さ 4.5mm の試験片に仮補修を施し、曲げ疲労試験を実施することで、適切な仮補修材や施工範囲を把握する。詳細は参考資料 3-2 を参照。

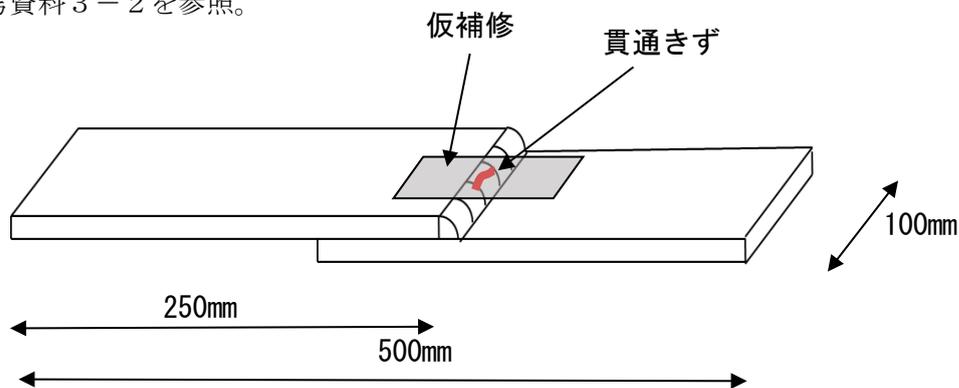


図 3-4 疲労試験片

#### (1) 仮補修の仕様

仮補修材は、次の 7 種類とし、それぞれ施工範囲 (A : 貫通きず周囲の溶接線を埋める程度、B : 50mm×100mm) を変えて実施する。

措置 1 : FRP3 層 (MC450 チョップストランドマット+WR570 ローピングクロス + #30P サーフェイス)

措置 2 : ベロメタル

措置 3 : デブコン

措置 4 : レクターシール

措置 5 : マルチメタル oL-スチールセラミック

措置 6 : エラストマー

措置 7 : マルチメタル (1 層目) + エラストマー (2 層目)

表 3-2 仮補修毎の施工範囲と試験片数量

	施工範囲 A : 貫通きず周囲の溶接線を埋める程度	施工範囲 B : 50mm (溶接線方向) × 100mm (試験片長手方向) 程度
措置 1	—	3
措置 2	3	3
措置 3	3	3
措置 4	3	3
措置 5	3	3
措置 6	3	3
措置 7	—	3 1 層目 : 施工範囲 A 2 層目 : 施工範囲 B
小計	15	21
合計	36	

#### (2) 疲労試験の詳細

##### ① 試験の種類

溶接部を中心とした四点曲げ 曲げの向きは上下方向

## ②曲げ量

溶接部近傍母材において、母材が降伏する直前の歪みが発生するまでとする。

※試験の経過によっては途中で減じる可能性がある（後述）。

## ③繰返し数

1,000回

### (3) 疲労試験後の試験

#### ①真空試験

目的：仮補修の気密性の確認。

実施時期：仮補修を実施した上で疲労試験前後。

対象試験片：全て。

合格基準：漏れがないこと（疲労試験前の試験で漏れが見つかった場合は仮補修をやり直すこと。その際の費用は請負者の負担とする。）。

#### ②亀裂の進展観察

目的：疲労試験による亀裂の進展確認。

実施時期：仮補修実施前と疲労試験後。

対象試験片：施工範囲Bの試験片のうち措置毎に1ピース（計7ピース）。

### 3.2.2 疲労試験結果

疲労試験結果の概要を表3-3に示す。詳細は参考資料3-3を参照。

施工範囲の狭いもの1つを除き、いずれも剥離等は認められなかったが、施工範囲の広いものの中には、全面あるいは一部剥離したものがあつた。剥離の原因としては、試験片の変形に対して、硬化した仮補修材が追随できなかったものと推定される。

しかしながら、今回の疲労試験は、母材が降伏する直前までの大きな変位を与えており、実際の浮き屋根の変位を模したものではないことに留意する必要がある。

仮補修材が全面剥離したにもかかわらず、漏れが発生しなかったものは、仮補修材が貫通せずの中にまで入り込んだことで、表層の仮補修材が剥離しても、気密性を確保できたものと推定される。

また、亀裂の進展観察を実施した試験片は、いずれも疲労試験後に亀裂の進展は観察されなかった。

表 3-3 疲労試験結果一覧表

識別	施工範囲	試験片符号	試験前	試験後	疲労試験後の補修材
措置①	B	①-B-1	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		①-B-2	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		①-B-3	漏れなし	漏れなし	一部剥離
措置②	A	②-A-1	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		②-A-2	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		②-A-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
	B	②-B-1	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		②-B-2	漏れなし	漏れあり	全面剥離
		②-B-3	漏れなし	漏れなし	一部剥離
措置③	A	③-A-1	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		③-A-2	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		③-A-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
	B	③-B-1	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		③-B-2	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		③-B-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
措置④	A	④-A-1	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		④-A-2	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		④-A-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
	B	④-B-1	漏れなし	漏れなし	全面剥離
		④-B-2	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		④-B-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
措置⑤	A	⑤-A-1	漏れなし	漏れあり	剥離なし
		⑤-A-2	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		⑤-A-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
	B	⑤-B-1	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		⑤-B-2	漏れなし	漏れなし	一部剥離
		⑤-B-3	漏れなし	漏れなし	一部剥離
措置⑥	A	⑥-A-1	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		⑥-A-2	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		⑥-A-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
	B	⑥-B-1	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		⑥-B-2	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		⑥-B-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし
措置⑦	B	⑦-B-1	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		⑦-B-2	漏れなし	漏れなし	剥離なし
		⑦-B-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし

### 3. 3 適切な仮補修の方法

#### 3.3.1 仮補修材の選定

仮補修材の選定にあたっては、以下の事項に注意する必要がある。

- ・貯蔵物との相性（貯蔵物への耐膨潤性等）
- ・変形に対する追従性
- ・硬化時間
- ・耐候性

#### 3.3.2 施工の際の手順

- ①作業者の安全に留意して作業を開始する。狭隘部となるポンツーン室内での作業は特に注意する。
- ②漏えい箇所周囲の油分を除去し、漏えい箇所の観察を行い、可能な限り貫通孔又はきずの大きさを測定する。
- ③漏えい量から技術的に仮補修の可否を事業者が判断し、割れの場合には割れの状況から進展性有無を事業者が判断し、所轄消防と協議する。
- ④漏えい箇所周辺の油分が可能な限り少ない状態で、仮補修を実施する。
- ⑤仮補修の具体的な方法は、仮補修材のメーカー指定の方法に従い、必要に応じてメーカーと協議する。
- ⑥硬化仮補修材の施工にあたっては、デッキ板等の変形が予想される箇所については、必要最小限の範囲に施工する。
- ⑦仮補修は2層以上とすることが望ましい。
  - 1層目に求められる特性：内容物との相性、硬化性
  - 2層目に求められる特性：変形に対する追従性、耐候性※2層目の施工の際には再度十分に油分を除去した上で実施する。  
施工事例や注意点を参考資料3-4、3-5に示す。

#### 3.3.3 フォローアップ

- ①仮補修が適切に維持されているかを確認するため、定期的な点検を実施する。特に施工直後1週間程度は頻繁な点検を実施する。その際、特に端部において剥離が発生していないか注意深く観察する必要がある。
- ②地震・大雨・台風等の直後にも点検を実施する。
- ③仮補修材は、定期的に交換することが望ましい。その際に、貫通孔又はきずの大きさが著しく拡大していないことを確認する。
- ④具体的な内容を消防本部と協議の上、計画書を作成し、消防本部に提出すること。その際に盛り込む事項としては、以下のとおり。
  - ・仮補修箇所に対する点検要領
  - ・点検頻度
  - ・応急措置の交換頻度
  - ・漏えいが再発した際の対処方法
  - ・次回開放予定日（恒久補修）
  - ・その他所轄消防が必要と認める事項
- ⑤仮補修後に漏えいの再発が頻発する場合には、仮補修の方法や、上記④の計画書の内容を再検討する必要がある。

### 3. 4 仮補修後のタンク継続使用の要件

仮補修は、あくまで一時的に漏えいを停止させるための措置であり、恒久的な補修方法としては認められない。また、追加調査を実施した結果からも、地震・大雨・台風等により、浮き屋根に大きな外力が作用した場合、仮補修を実施した箇所から、漏えいが再発する可能性がある。

よって、仮補修後にタンクを継続使用する場合には、下記事項を全て満足しており、浮き屋根が一定の安全性を有していることが消防本部等により確認されている必要がある。

- イ) 直近の開放検査において、2.7.1(1)に示す点検を実施していること。
  - ロ) 2.7.2(1)に示すポンツーン内の仕切り板の健全性の確認を実施していること。
  - ハ) 2.7.2(2)に示す過去の補修履歴を踏まえた浮力の確認を実施していること。
- ニ) 漏えい箇所がポンツーン室内の場合には、漏えい発覚時の室内への滞油量が喫水線を超えておらず、かつ、漏えいした室が破損した場合においても浮き屋根が沈下しないものであること。

### 3. 5 恒久補修

タンクを開放した際には、溶接等で恒久的な補修を実施する。仮補修を実施した状態での再使用は認められない。

事故原因が過大な応力集中等の構造にある場合、破損部の補修だけでは、再び同様の事故が発生することが予想されるため、恒久補修を実施する際には第2章2.7及び参考資料2-1を参考に、適切な対策を合わせて実施する必要がある。

ルーフドレンやルーフサポートからの逆流が認められた場合には、タンク開放の際に、歪みの解消等を図り、エアーポンプの設置等の応急対応を実施しなくとも、逆流が発生しないような工事を実施する必要がある。

## 第4章 まとめ

#### 4. 1 浮き屋根の安全対策

全国の浮き屋根式タンクを対象とした、直近の点検記録におけるポンツーン内部の異状に関する調査を実施し、さらに浮き屋根式タンクを所持している全ての事業所に追加でアンケートを取り（64件）、定期点検やタンク開放時の点検方法、過去の漏えい発生時の具体的な対応方法について実態を調査し、それを踏まえた対策を検討した。

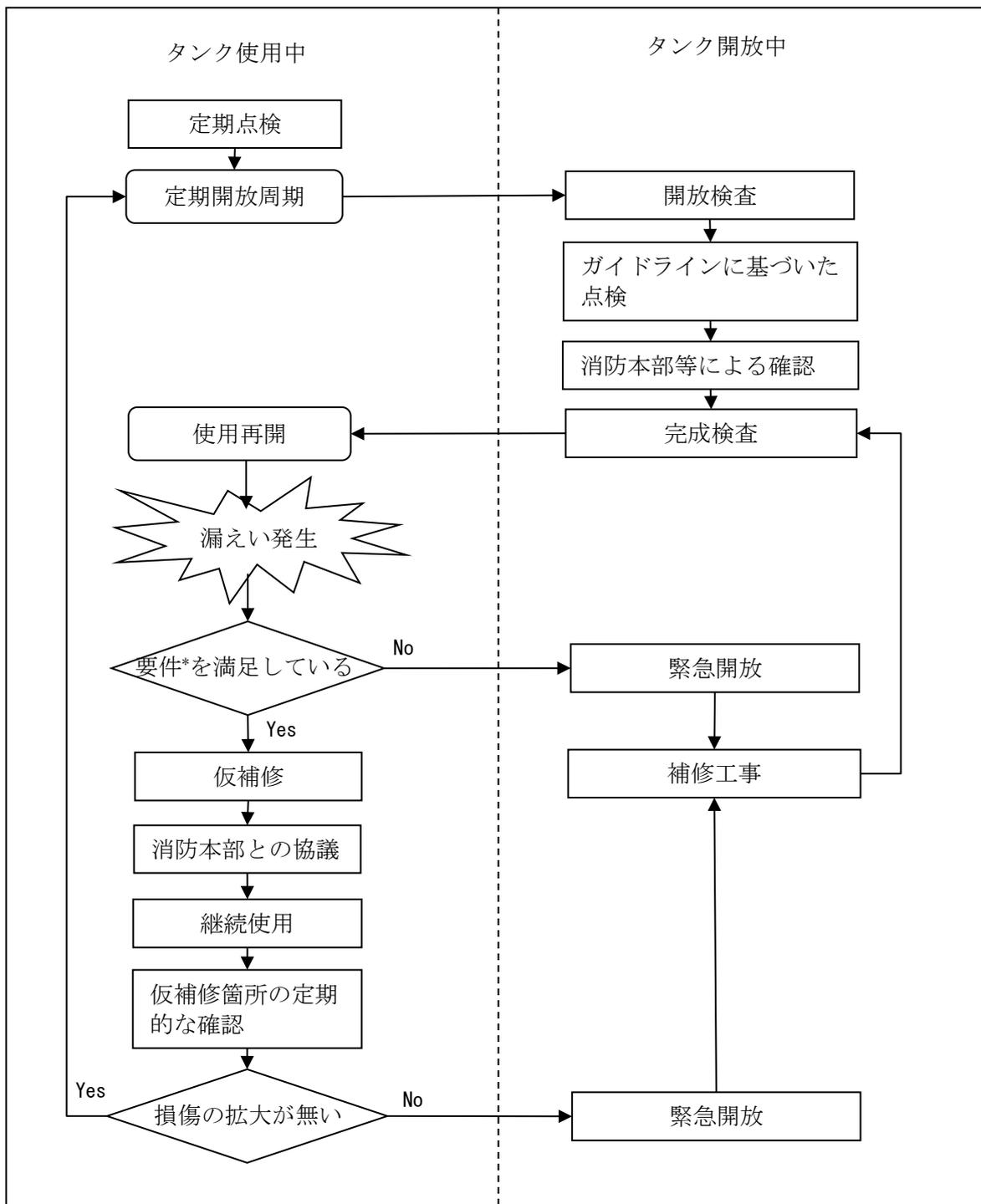
従来、各事業者において、目視を中心とした点検は実施されていましたが、事故の主な原因（腐食減肉・溶接欠陥）及び上記アンケート結果を踏まえ、具体的な漏えいの発生防止対策をとりまとめた。

また、事故が発生した際の影響拡大の防止、漏えいが発生した際の早期発見のための対策をとりまとめた。

#### 4. 2 浮き屋根の漏えい発生時の対応

浮き屋根が直近の開放検査において適切な点検を実施している等、一定の安全性を有していると確認されているものについては、仮補修を実施した上で、安全に継続使用できるとされた。

検討事項を踏まえた仮補修後の継続使用のフローチャートを図4-1に示す。



\* 3章3. 4に示すイ～ニの各要件

図4-1 仮補修後の継続使用に関するイメージ

#### 4. 3 今後の課題

本報告書は現時点において収集可能な情報に基づいて、対策を検討したものである。

今後も事象事例を収集・共有し、新技術を積極的に活用しつつ、事故防止の取り組みを継続していくことが引き続き重要となる。

## 参考文献（著者名は敬称略）

- ・石油タンクの溶接設計（圧力技術第 15 巻第 2 号）  
小倉信和
- ・浮屋根式貯槽の技術課題と提言（圧力技術第 32 巻第 3 号）  
寛勝行
- ・浮屋根式貯槽の耐風設計についての一考察（圧力技術第 32 巻第 4 号）  
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  
（日本機械学会論文集（C 編）75 巻 750 号（2009-2））  
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（圧力技術第 47 巻第 4 号）  
吉田聖一
- ・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（圧力技術第 48 巻第 6 号）  
若狭勝
- ・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  
（圧力技術第 50 巻第 2 号）  
若狭勝、伊木聡、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：影響関数法を用いた疲労き裂進展解析  
（圧力技術第 50 巻第 5 号）  
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
- ・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）  
（日本機械学会論文集（B 編）78 巻 792 号（2012-8））  
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）  
（日本機械学会論文集（C 編）79 巻 799 号（2013-3））  
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）  
（日本機械学会論文集 80 巻 812 号（2014））  
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
- ・シングルデッキ型浮き屋根の疲労損傷評価事例（産業機械 2001. 11 特集「タンク」）  
山内芳彦、富谷真