



# 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について

消防庁危険物保安室 パイプライン係  
岸 京介

## 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ました。

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ました。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ました。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いました。

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項に規定する措置を実施することとなっていますが、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しました。

## 2 浮き屋根の漏えい事故の原因の調査と対策

### 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ました。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ました。

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ました。

### 2.2 浮き屋根に関するアンケート調査

関係団体へ協力を依頼し、容量500kL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ました。

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

タンク使用中に実施する定期点検におけるポンツーン内部点検方法の結果は図2-1のとおりです。

法令では年1回以上の点検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くありました。点検方法は使用中ということもありほぼ全て目視によるものですが、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していました。

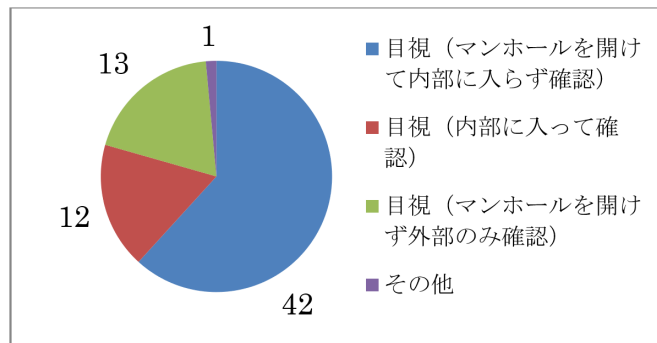


図2-1 ポンツーン内部の点検方法

定期開放点検におけるポンツーン内部点検方法の結果は図2-2のとおりです。

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した。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した。

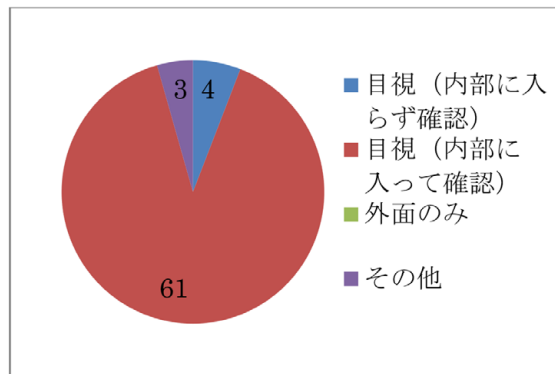


図2-2 ポンツーン内部の点検方法

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りました。その結果は図2-3、4のとおりです。

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以上となっています。

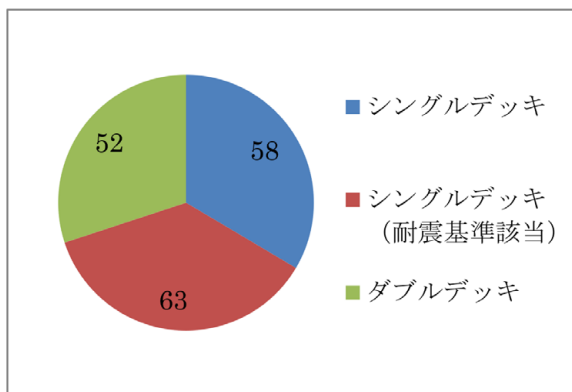


図2-3 浮き屋根形式毎の流出件数

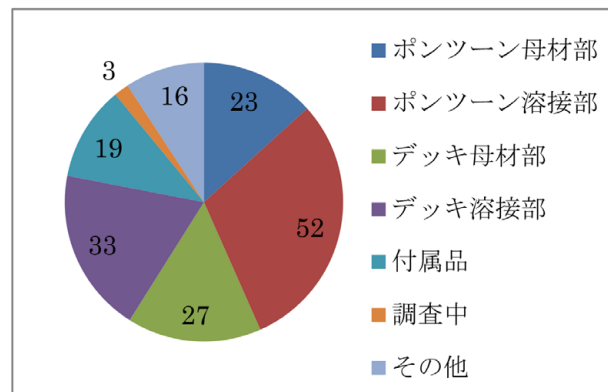


図2-4 漏えい箇所毎の流出件数

## 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「鋼製石油貯槽の構造（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」の比較を行いました（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） 鋼製石油貯槽の構造（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He*が2.0m以上のもの	○容量1kL以上で左欄に該当しないもの	○容量1kL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降雨滯水時、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
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 ○浮き屋根上に水が250mm滯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。	○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	○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 ○条件の最も悪いボンツーン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
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入り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 ○排水設備からの危険物の流出防止機能	適用外	記載なし	○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
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	○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		○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ますが、一部の抜粋を以下に示します。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ます。

#### 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、JIS、API、は全周連続すみ肉溶接を要求しているのに対して、BSは底板からリム板上端までは連続すみ肉溶接だが、上端の溶接は2つに1つの仕切り板を連続すみ肉溶接とするよう要求しています。

#### 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まとめました(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ました。

表2-2 浮き屋根の漏えい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	漏えい 箇所 工事 有無	漏えいを 受けて 実施した検査	漏えい発覚時期	漏えい量	漏えい概要	漏えい原因に対して有効な対策
1	9,810 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) 内厚測定(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加ったこと 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 (溶接線には発泡液を用いる)
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 られた場合は内厚測定 漏水・漏えい(油分の付 着)が疑われた場合 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	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(SLOPEC など)による定点 or 連 続内厚測定。 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	有	不明	平成28年6月	滲油	内リム×補材セット接合部 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	—			不明	漏えいしたボンツ ーンは発泡液を 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 (溶接線には発泡液を用いる) 溶接線に対する浸透液漏れ試験
5	27,328 シングル ハイデッキ	平成24年2月	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	不明	平成26年6月	滲油 (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えい	ボンツーン全体に対しての加圧漏 れ試験 (溶接線には発泡液を用いる) 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。 漏えい事故との関連 は不明。但し定期開 放点検等に「所内事 故の水平展開検査」 の記載あり。	無	不明	平成29年10月	滴液	ボンツーン下板母材腐食により貫 通、漏えい	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室滲油)	下板×円周リム端部母材割れ (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 (溶接線には発泡液を用いる) 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いました。  
いくつかの例と概要を示します。

### 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 となっています。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 2-5)、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)を算出しています。その際の継ぎ手形状の違い、曲げ・引張り荷重、欠陥の位置、板のギャップの大きさ(図 2-5 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ます。

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 2-5 右側)が 45 度モデル(図 2-5 左側)と比べて大きくなりました。これは、のど厚の影響が大きいことを示しています。また、止端部亀裂(Toe crack face)は、隙間  $\xi$  の影響はあまり見られませんでした。

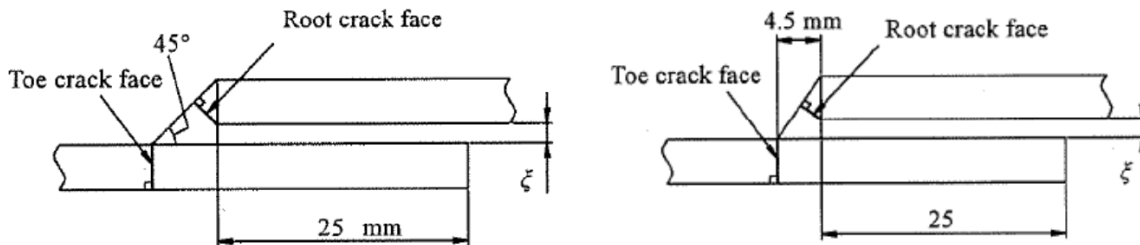


図 2-5 想定モデル

### 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)

使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ますが、日常的な荷重としては、主に雨や風が想定されます。

ここでは直径約 80m、高さ約 20m の 10 万 kL 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ます。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ません。

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ました。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 秒とされています。

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ります。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します。

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す。

### 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、1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、応力解析を実施しました(図2-6)。

その結果、高応力はデッキ下板の減肉部の、すみ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倍となりました。

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/s 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返し回数約 7,900 万回に対して、予想繰返し回数は約 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ました。

同様の検討をデッキ板一般部(溶接部以外の箇所)について行いましたが、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りました。

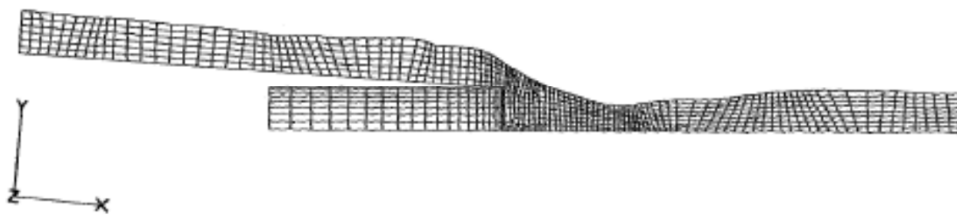


図2-6 すみ肉溶接継手部の応力解析モデル

### 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2-7に示します。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ます。

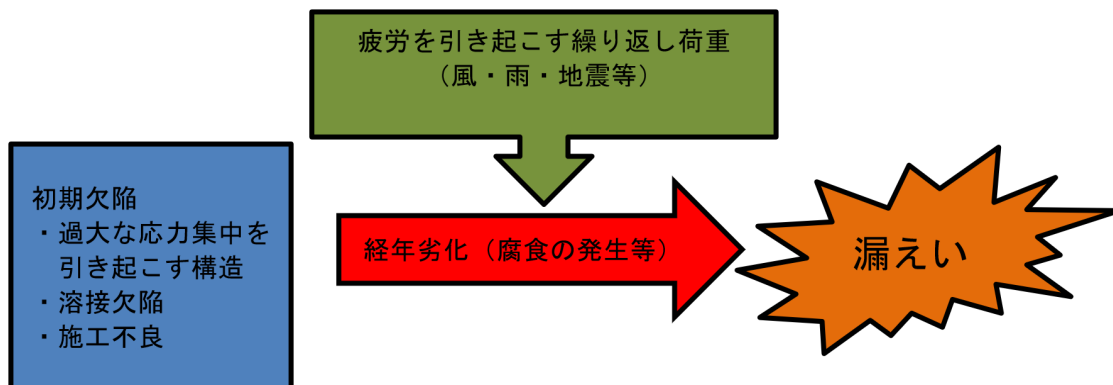


図2-7 漏えい発生までのイメージ

### 2.7 対策

漏えい発生までのイメージは、図2-7で示したとおりですが、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す。

### 2.7.1 タンク開放時に実施する点検

タンク開放時に実施する内部点検の際に、浮き屋根における腐食減肉部を検出するため、詳細な点検を実施します。点検の内容は次の通りです。

#### (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) 点検内容

- ・目視検査：デッキ板、ポンツーン内の溶接線及び板の腐食状況
- ・加圧漏れ試験：全てのポンツーン室（ダブルデッキについては浮力確保に必要なポンツーン室）
- ・超音波板厚測定：ポンツーン底板

#### (3) 不具合箇所の対応

- ・漏れの生じている箇所、板厚 3.2mm 未満の箇所の溶接補修実施

#### (4) 溶接補修後の検査

- ・デッキ板：漏れ試験
- ・ポンツーン：加圧漏れ試験

#### (5) 不要な設備や過度に応力が集中する構造の確認等

- ・事故の原因になる可能性のある構造の有無の確認

### 2.7.2 溶接欠陥の発生の防止

浮き屋根の敷設や板の取替工事を実施する際には、次の点に注意が必要です。

- ・板同士の十分な肌あわせ
- ・溶接施工要領書の取り交わし（事業者、施工会社間）
- ・施工会社現場監督の溶接施工要領に基づく現場管理と事業者による実施状況の確認
- ・JIS B 8501 に基づく施工が望ましい

### 2.7.3 仕切り板の構造の確認

仕切り板の溶接は、連続すみ肉溶接等で完全に仕切られていることを確認する必要があります。完全に仕切られていない場合には、仕切り板の連続溶接化の要否の検討が必要です。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漏えいするおそれのないことを確認する必要があります。

### 2.7.4 過去の補修履歴等を踏まえた浮力の確認

過去の補修・改修工事等を反映した、現状の正確な重量に基づいた浮力計算を実施する必要があります。

### 2.7.5 漏えいが発生した際の早期発見体制

年 1 回以上のポンツーン内部まで含めた点検を実施してください。加えて、浮き屋根に損傷が生じる可能性のある自然災害発生直後においても同様に点検を実施する必要があります。

## 3 浮き屋根の漏えい発生時の対応方法

タンク使用中に、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、引き続き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ります。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となります。

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ります。

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・検討を実施しました。



### 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. 2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、現地調査を実施しました（図3-1、2）。

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します。

##### (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仮補修箇所再度滲み等の漏えいが見られた場合は、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所に対して、仮補修の不具合事例等について追加で調査を実施しました。その結果の概要を表3-1に示します。

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りました。

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ります。これは適切な仮補修材を選定し、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ます。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りました。

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 (平成30年北海道胆振東部地震)

### 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、疲労試験を実施しました。

#### 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(図3-3)、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しました。

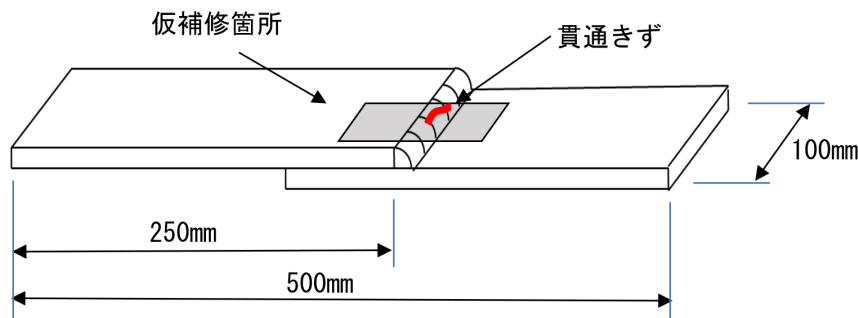


図3-3 疲労試験片

#### (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:貫通せず周囲の溶接線を埋める程度、B:50mm×100mm)を変えて実施しました(表3-2)。

- 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とする

### 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に示します。

施工範囲Aは⑤-A-1に漏れが認められたものの、いずれも剥離は認められませんでした。施工範囲Bは、②-B-2に漏れが認められ、全面あるいは一部剥離したものがありませんでした。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従できなかったものと推定されます。

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、仮補修材が貫通き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ます。

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ませんでした。

この結果を踏まえると、デッキ板のように大きな変位が発生することが想定される箇所に対しては、硬化する仮補修材を必要以上に広い範囲に施工することは不相当と考えられます。しかしながら、ポンツーン内の補強材近傍等の大きな変

位が発生しにくい箇所では、変位に対する追従性はそれほど必要ではないと考えられます。

また、試験体の変位に追従できる比較的やわらかいものについては、広い範囲に施工しても剥離は発生していないが、硬化するものに比べ、機械的強度は劣るため、仮にタンク内から圧力がかかった際には、膨れ等が発生する可能性があります。

なお、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ないことに留意する必要があります。

表3-3 疲労試験結果一覧表

仮補修材	施工範囲	試験片符号	試験前	試験後	疲労試験後の補修材	剥離箇所剥離した回数
措置① (FRP)	B	①-B-1	漏れなし	漏れなし	一部剥離	端部 回数不明*1
		①-B-2	漏れなし	漏れなし	一部剥離	端部 約150回
		①-B-3	漏れなし	漏れなし	一部剥離	端部 0回*2
措置② (ベロメタル)	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	溶接部近傍 回数不明*1
		②-B-2	漏れなし	漏れあり	全面剥離	端部 0回*2
		②-B-3	漏れなし	漏れなし	一部剥離	端部 0回*2
措置③ (デブコン)	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	全面剥離	100回で溶接部近傍剥離→全面剥離
		③-B-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし	
措置④ (レクターシール)	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	片側全面剥離	50回で端部剥離 →片側全面剥離
		④-B-3	漏れなし	漏れなし	剥離なし	
措置⑤ (マルチメタルoL-スチールセラミック)	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	端部 回数不明*1
		⑤-B-2	漏れなし	漏れなし	一部剥離	端部 0回*2
		⑤-B-3	漏れなし	漏れなし	一部剥離	端部 0回*2
措置⑥ (エラストマー)	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 (措置⑤+⑥)	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	

\*1 施工範囲Bの1回目は途中観察を実施していないため

\*2 最初の荷重をかける際に剥離したものの。



### 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ります。

- ・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

仮補修の施工にあたっては、手順毎に次の点に留意してください。

- (1) 作業者の安全の確保
- (2) 破損部分の大きさの確認
- (3) 破損部分の割れの進展性の確認
- (4) 漏えい箇所周辺の十分な油分の除去
- (5) 仮補修材の取扱方法の遵守
- (6) 変形が予想される箇所については必要最小限の施工範囲とする
- (7) 2層以上の施工が望ましい

#### 3.3.3 フォローアップ

仮補修部分については、継続的にその状況を確認する必要があります。次の点について適切なフォローアップを行ってください。

- ・仮補修部分の定期的な点検（施工直後 1 週間程度は頻繁な点検）
- ・地震・大雨・台風等の直後も点検を実施
- ・仮補修材は定期的な交換が望ましい
- ・仮補修箇所に対する点検要領等を盛り込んだ計画書の提出（管轄消防本部）
- ・仮補修後に漏えいの再発が頻発する場合は、仮補修の方法や、上記計画書の内容を再検討する

#### 3.3.4 仮補修後のタンク継続使用の要件

仮補修後のタンクの継続使用については、次の事項を全て満足していることが要件となります。

- ・直近の開放検査において、2.7.1「タンク開放時に実施する点検」に示す点検を実施していること。
- ・2.7.3「仕切り板の構造の確認」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。
- ・2.7.4「過去の補修履歴等を踏まえた浮力の確認」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。
- ・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浮力を失っ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。

## 4 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（回答数 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ました。

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ました。

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ました。

#### 4. 2 浮き屋根の漏えい発生時の対応

ポンツーン内及び浮き屋根上に危険物が流出した際には、原則タンクを開放し、溶接等で恒久補修を実施する必要がありますが、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、金属パテ等を用いた仮補修を実施し、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りました。

そのため、仮補修の実態を調査するとともに、仮補修を施工した溶接試験体に対する疲労試験を実施しました。

その結果を踏まえ、浮き屋根を安全に使用し続けるための、適切なタンクの要件を整理し、適切な仮補修の方法をとりまとめました。

仮補修後の継続使用のフローチャートを図4-1に示します。

#### 4. 3 今後の課題

本検討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す。

今後も事故事例を収集・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ります。

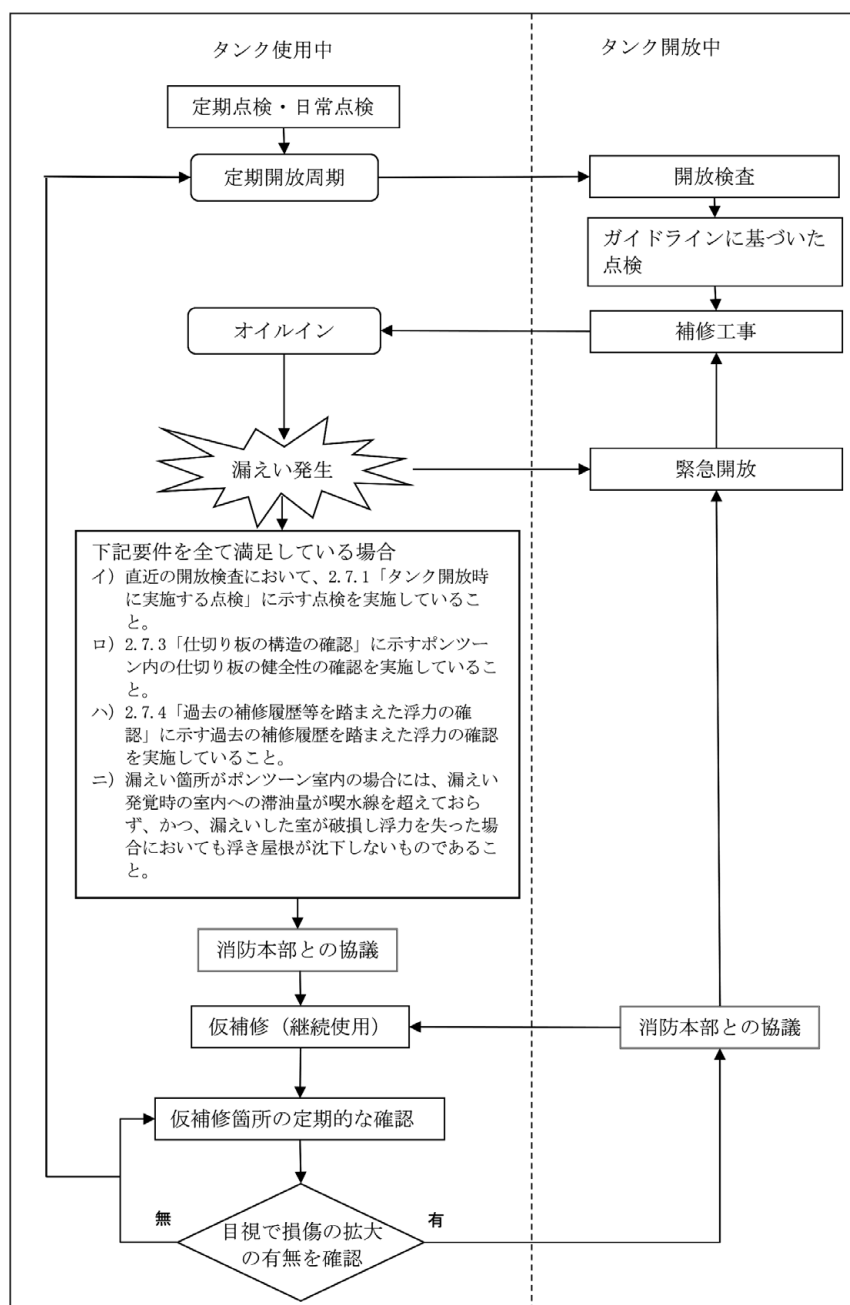


図4-1 仮補修後の継続使用に関するイメージ

#### 4.4 おわりに

消防庁では、本検討結果を受けて、「屋外貯蔵タンクの浮き屋根の安全対策について」（令和 2 年 3 月 27 日付け消防危第 84 号）を発出しました。

本通知は、平時における「浮き屋根の事故防止に関するガイドライン」及び緊急時における「浮き屋根の漏えい発生時の仮補修に関するガイドライン」を骨子としており、前者については適切な点検を実施することで、事故を未然に防止することを目的としています。また、万一の事故発生時においては、緊急開放し、補修工事を行うことが原則となりますが、後者のガイドラインにより、一定の安全性が確認されているタンクであれば、仮補修した上で継続使用できることが明確になりました。

なお、「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」については、消防庁ホームページから閲覧できます。

「消防庁トップページ」→「消防庁について」→「審議会・検討会等」→「検討会」→「令和元年度 / 平成 31 年度開催の検討会等」→「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」

（ [https://www.fdma.go.jp/singi\\_kento/kento/post-45.html](https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-45.html) ）