

浮き屋根式屋外タンク貯蔵所における流出事故について

堺市消防局予防部危険物保安課 主査 宮下 裕司

当消防局管内の石油コンビナートにおいて、一の事業所で発生した浮き屋根式屋外タンク貯蔵所における流出事故について2事例紹介する。

第1 浮き屋根式屋外タンク貯蔵所における非常排水設備からのガソリン流出事故

1 事故の概要

- (1) 発生日時 平成29年7月1日 時刻不明
- (2) 覚知日時 平成29年7月1日 14時04分
- (3) 発生箇所 非常用排水設備 (図1)
- (4) 流出量 ガソリン 約78KL※

※浮き屋根上に流出したガソリンの最大滞油量は約78KLであるが、ルーフドレンを通じて回収した油回収量は約754KL (ルーフドレンからガソリンを継続して回収したが、回収で減った分だけタンク内から浮き屋根上にガソリンが逆流したため。)

- (5) 流出範囲 浮き屋根上 (ルーフドレン弁を閉止していたため、防油堤内への流出はなし。)
- (6) 事故発生時の運転状況 貯蔵・保管中
- (7) 被害状況 人的・物的とも被害なし
- (8) 事故発見時の状況

隣接タンクで作業をしていた協力会社の作業員からガソリンの臭気がするとの連絡があり、事業所従業員が発災タンクに上り調査したところ、浮き屋根上の非常排水設備付近からボコボコとガソリンが湧き出ているのを発見した。

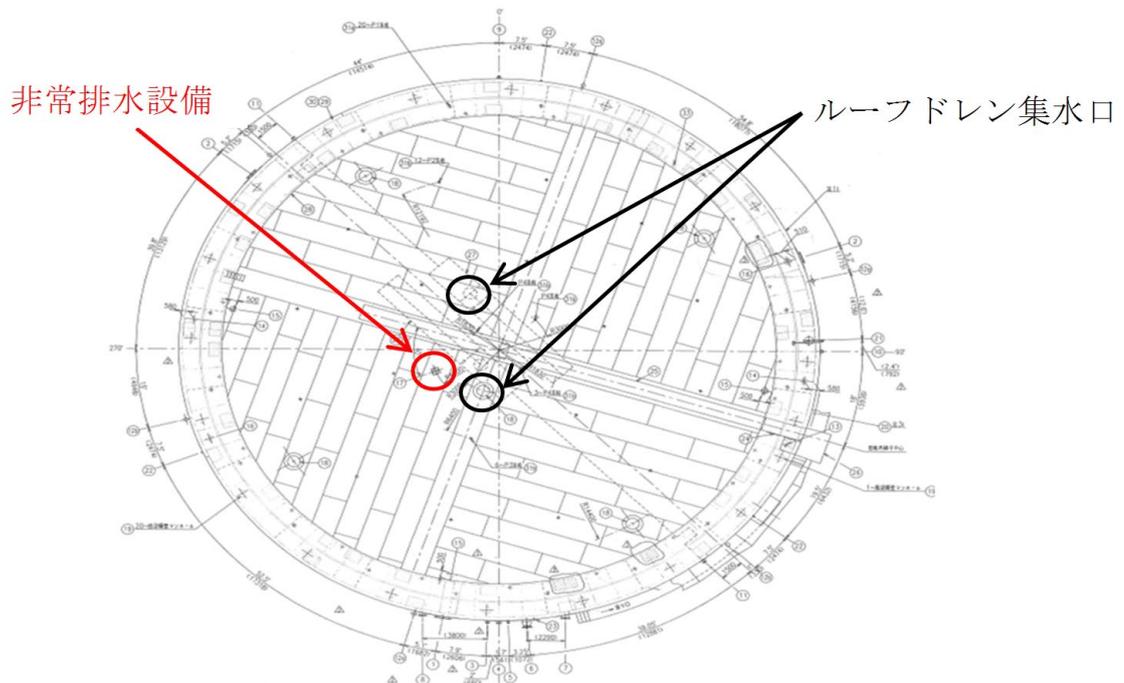


図1 発災タンクの図面

2 発災タンクの概要

- (1) 施設区分 屋外タンク貯蔵所
- (2) 屋根形状 浮き屋根式 (シングルデッキ型)
- (3) 設置許可 昭和39年8月
- (4) 完成検査 昭和40年4月
- (5) タンク高さ 16.16m
- (6) タンク内径 37.76m
- (7) 許可品名 第4類第1石油類 ガソリン (液比重 0.73)
- (8) 許可容量 15,000KL (発災時の貯蔵量 13,500KL)
- (9) タンク用途 ジェットノズル※を用いて様々なガソリン基材を注入し、タンク内で攪拌することで、ガソリンを精製し、貯蔵を行うタンクである。
※ジェットノズルとは、製品あるいは半製品を調合するため、タンク内に落油する流速を上げ、タンク内を攪拌させることにより、タンク内の製品を均一化させるためのノズルをいう。
- (10) その他 当該タンクは、平成29年3月に浮き屋根新基準適合化工事に係る完成検査を受けたタンクである。

3 事故発生時の時系列

○平成29年7月1日

- 13時40分頃 協会社員から発災タンク付近でガソリン臭がするとの連絡あり
- 13時50分頃 事業所従業員が浮き屋根上にガソリンが溢れているのを発見
- 14時04分 119通報
- 14時11分 公設消防隊が到着
- 14時52分 発災タンクの残油を別タンクへ移送開始
- 16時52分 残油移送を中止
- 17時22分 発災タンクの東西にあるルーフトレン弁2箇所から仮設ポンプを用いて、浮き屋根上に流出したガソリンの回収開始
- 19時00分 大容量泡放射システムの設置開始
- 19時35分 残油移送を再開

○平成29年7月2日

- 1時56分 大容量泡放射システムの放水準備完了
- 13時09分 高所作業車が現場到着
- 13時42分 高所作業車より非常排水設備からガソリン噴出を確認 (写真1)
- 14時37分 残油移送を停止 (浮き屋根が着床)
- 15時12分 非常排水設備からのガソリン噴出停止を確認
- 19時00分 東側ルーフトレン弁の仮設ポンプを停止
- 19時27分 西側ルーフトレン弁の仮設ポンプを停止

○平成29年7月3日

- 7時10分 ウィンドガーター周辺にて、ガス検の濃度0%を確認
- 7時15分 浮き屋根ポンツーン外リム付近にて、ガス検の濃度0%を確認
- 8時57分 公設消防隊が現場引き上げ
- 10時10分 大容量泡放射システムの撤収開始
- 17時30分 浮き屋根デッキ上の液溜まり付近にて、ガス検の濃度0%を確認

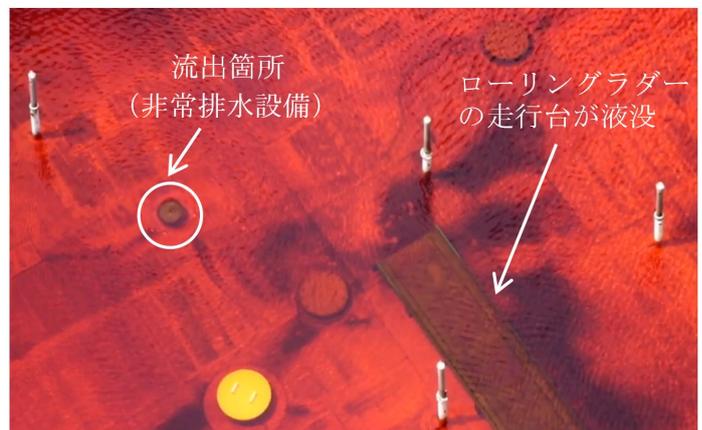


写真1 非常排水設備からのガソリン噴出状況

4 流出箇所の調査

(1) 調査方法

表1により、浮き屋根上に油が流出する可能性がある原因を洗い出し、それぞれの推定原因に対して評価を行い、流出が考えられる部位に対して、実況見分を実施した。



表1 調査方法

(2) 第1回実況見分(平成29年7月4日)

タンク内にはガソリンが残液しているため、浮き屋根上を中心に見分を実施した。屋根板の凹み部分に揮発したガソリンが確認されるも、屋根板自体に穿孔等は見られなかった。ボンツーン及び浮き屋根の付属設備であるローリングラダー、ルーフサポート、オートマチックブリーダーベント、ルーフドレン集水口等についても変形、損傷等は見られなかったが、浮き屋根外周部の約5分の1に渡ってウェザーシールドが取り外されており、その付近のボンツーン上に変形したウェザーシールドが数枚積み重ねられていた。

非常排水設備を見分すると、外観上は変形、損傷等は見られないが、タンクスケールにガソリン用検出ペーストを塗布し、非常排水設備内に滞留している液体に入れると、ペーストの色がピンク色から赤色に変色した。さらに、検尺棒に水用検出ペーストを塗布して同様に見分したところ、ペーストの色は変色しなかった。このことから、非常排水設備内は封水がされておらず、油で満たされていることが判明した。

(3) 第2回実況見分(7月25日)

タンクの内部開放後、タンク内を中心に見分を実施したところ、ルーフドレンの集水口及び配管、屋根板、ボンツーン、非常排水設備の封水箱及びセンターパイプ等に変形、損傷等は見られなかった。

(4) 流出箇所の特定

発災時の目撃証言及び2回にわたる実況見分の結果から、流出箇所を非常排水設備と特定し、さらに、表1から流出原因を非常排水設備の「封水圧バランスが崩れて油噴出」と推定し、事故の原因調査を進めた。

5 事故原因の推定

(1) 直接原因

事故発生日の2日前(6月29日)における浮き屋根上の滞水状況(図2)及び事故発生日における事業所内の風速計の観測記録から、浮き屋根上東側に溜まった雨水が事故直前の強風(最大瞬間風速13m/s)により、浮き屋根中央部に移動し、浮き屋根の撓みが増加したことで、非常排水設備の封水と喫水線のバランス※が崩れ、当該非常排水設備から内容物が浮き屋根上に逆流してきたものと推定する。

なお、事故当日において、当該タンクの受払い作業がなかったことから、液面変動におけるタンク内圧の変化による逆流は考えられない。

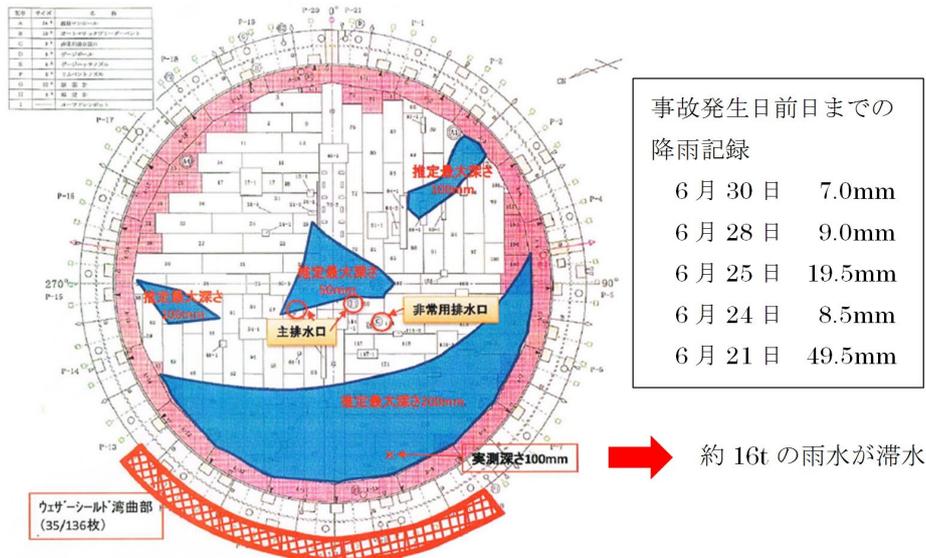


図2 浮き屋根上の滞水状況(6月29日)

※封水と喫水線のバランスについて

計算によると、非常排水設備の封水量が満水の場合、浮き屋根が510mm撓むとタンク内容物の逆流が発生する。

(図3)

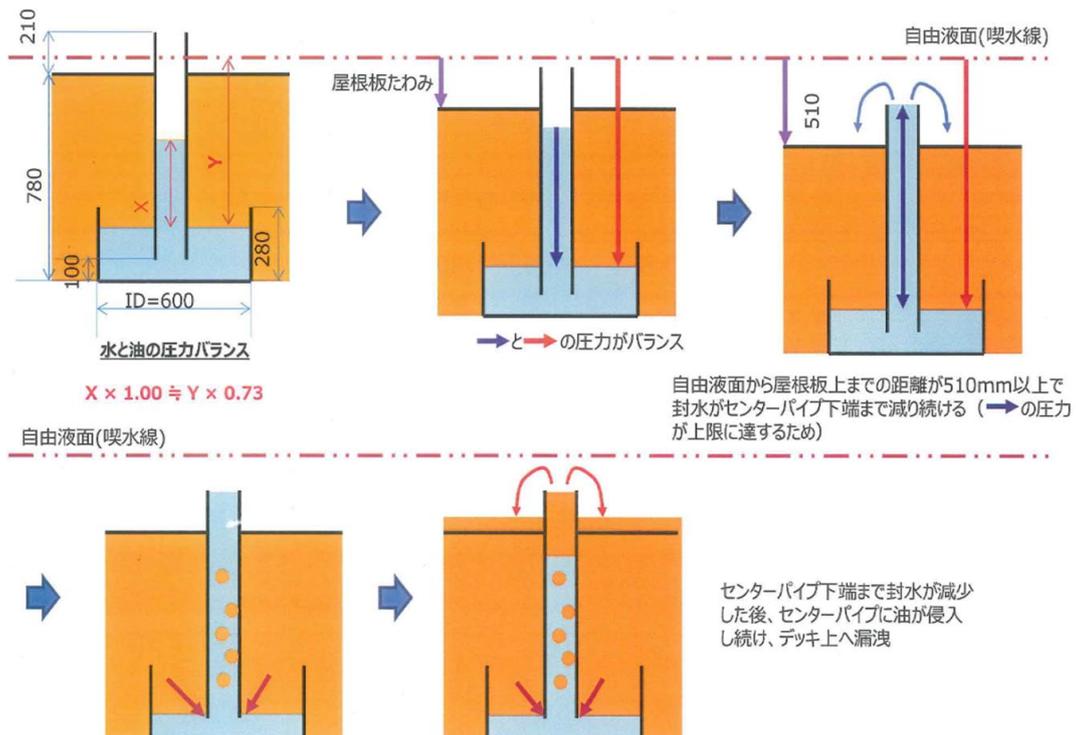
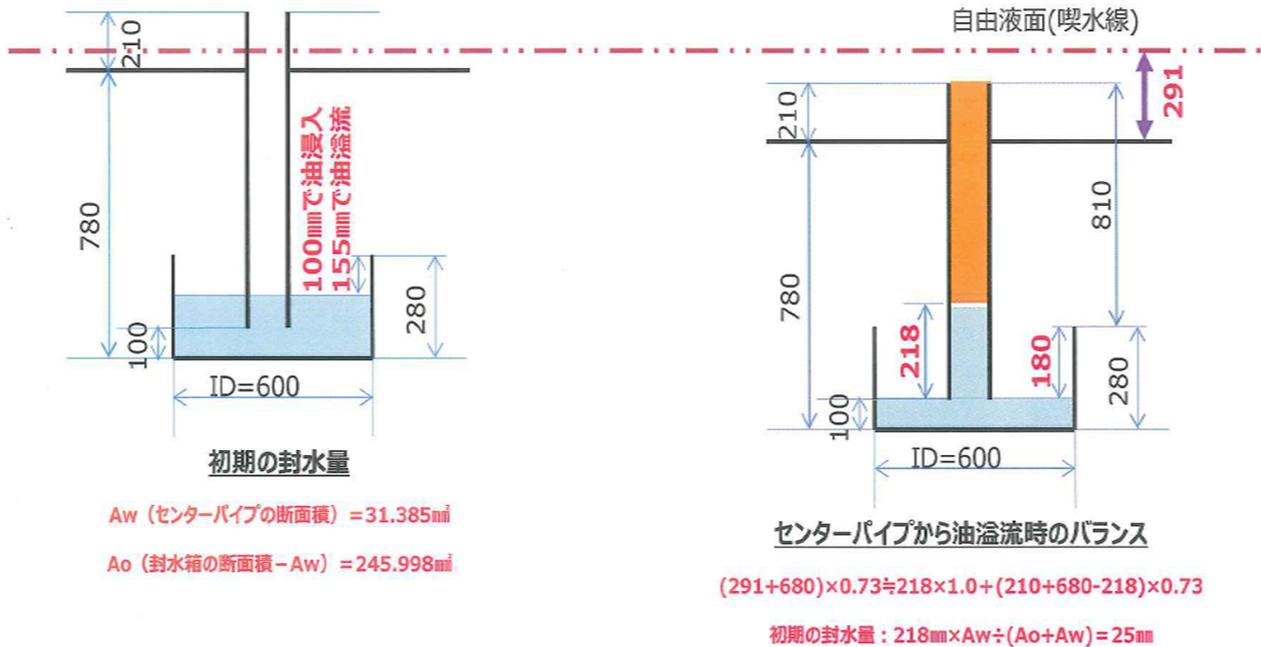


図3 非常排水設備の封水と喫水線のバランス

封水量が全体の45%の場合、浮き屋根が291mm以上撓むとタンク内容物が逆流する。(図4)



初期封水量が $(25\text{mm} + 100\text{mm}) \div 280\text{mm} = 45\%$ 以下で、かつ、非常排水設備周りで屋根デッキからの自由液面(喫水面)高さが約300mm(291mm)以上の時、非常排水設備のセンターパイプから内容物が逆流する。

図4 非常排水設備の封水量が減少時における封水と喫水線のバランス

(2) 根本原因

非常排水設備の封水量減少について、次の2点が根本原因として考えられる。

ア ジェットノズルによる封水量の減少

過去に非常排水設備の封水がガソリン作り込み時のジェットノズルの圧力によりタンク内の油が攪拌されることで、封水箱の水面が揺動され、封水量が減少したことがあった。また、今回の事故発生後に所内タンク(ジェットノズルを設置しているタンク)を調査した結果、他のタンクにおいても非常排水設備の封水量の減少を確認した。

イ 封水の維持管理不十分

非常排水設備の封水の有無は、3カ月に一度の定期自主点検時に水用検出ペーストを使用して封水の有無を確認しているが、封水の水量測定や定期的な水の補給は行われておらず、また、具体的な基準も定められていなかった。

(3) 間接原因

6月29日にタンクへの油受入れが完了したため、本タンクの浮き屋根上に異常が無い点検したところ、ポンツーン周囲に設けられているウェザーシールドが数枚変形しているのを発見したため、6月30日(事故前日)にウェザーシールドを取り外す作業を実施した。その作業中に、ウェザーシールド1枚をタンク内に落下したことに伴い、ルーフドレン弁を一時的に閉止する運用に変更した。これにより、強風によって、浮き屋根上東側に滞水していた雨水が浮き屋根中央部に移動し、滞水した雨水が排出されず、その雨水の重量により浮き屋根が撓む原因になったと推定される。

6 再発防止対策

(1) 直接原因に対する対策

非常排水設備の封水の水量減少時における浮き屋根の撓み裕度を確保するため、非常排水設備のセンターパイプを延長し、嵩上げ※する。(写真2)

※センターパイプの嵩上げを行うと、非常排水設備の排水能力が不足するため、非常排水設備を現在の1基から2基に増設する。

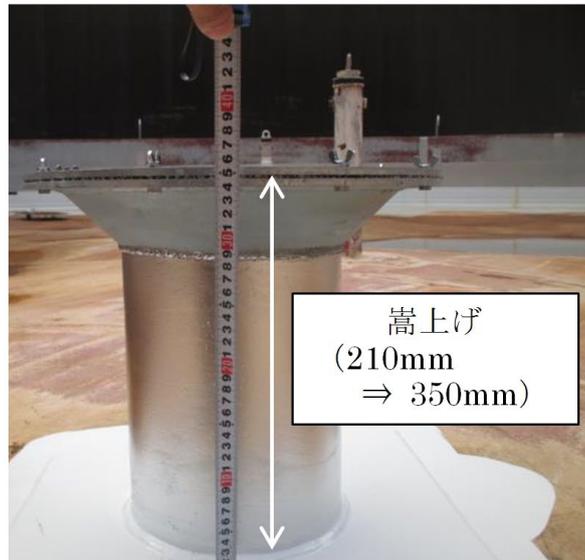


写真2 非常排水設備センターパイプの嵩上げ

(2) 根本原因に対する対策

ア 封水量の減少対策

ジェットノズルのタンク内攪拌等による封水の水量減少防止のため、非常排水設備の封水箱に蓋を設ける。(写真3)

イ 非常排水設備の点検・管理手順書の制定

非常排水設備に対する点検・管理手順書の制定し、3か月に一度の点検時には、封水の水量減少の有無に関わらず、タンク毎に定められた最大給水量を補給し、給水量を記録する。また、消防法第14条の3の2に定める定期点検の記録表にも、上記点検方法を明記する。



写真3 非常排水設備の封水箱への蓋の設置

(3) 他のタンクへの水平展開

他の浮き屋根式屋外タンク貯蔵所にあつては、個別に設計を確認し、非常排水設備の改造が必要な場合は、次回開放時に前(1)及び(2).アの改造を実施する。

第2 浮き屋根式屋外タンク貯蔵所におけるポンツーン内へのナフサ流出事故

1 事故の概要

- (1) 発生日時 不 明
- (2) 発見日時 平成29年7月8日 9時15分
- (3) 発生箇所 浮き屋根ポンツーン内
- (4) 流出量 ナフサ 約370L
- (5) 流出範囲 ポンツーン内
- (6) 事故発生時の運転状況 貯蔵・保管中
- (7) 被害状況 人的・物的とも被害なし
- (8) 事故発見時の状況

前第1の浮き屋根式屋外タンク貯蔵所における非常排水設備からのガソリン流出事故を受けて、他の浮き屋根式タンクを点検したところ、本タンクのポンツーン（1箇所）内にナフサが滯油しているのを発見した。

2 発災タンクの概要

- (1) 施設区分 屋外タンク貯蔵所
- (2) 屋根形状 浮き屋根式（シングルデッキ型）
- (3) 設置許可 昭和43年10月
- (4) 完成検査 昭和44年4月
- (5) タンク高さ 20.98m
- (6) タンク内径 26.45m
- (7) 許可品名 第4類第1石油類 ナフサ
- (8) 許可容量 9,610KL（発災時の貯蔵量 約6,900KL）
- (9) その他 当該タンクは、平成24年4月に浮き屋根新基準適合化工事（ポンツーン全更新）に係る完成検査を受けたタンクである。

3 流出箇所の調査

(1) 流出箇所

事故発見後、ポンツーン内に流出したナフサを回収し、ポンツーン内を観察すると、ポンツーンを貫通している液面計ノズルとポンツーン外リムの間に取付けられているトラスとポンツーン下板の隙間（タック溶接間の隙間）から、ナフサが滲み出ているのを確認した。（写真4）

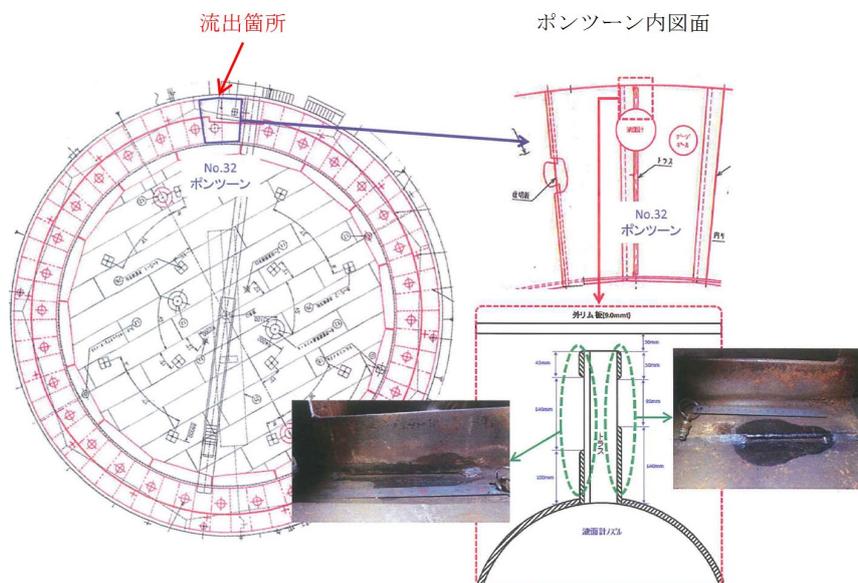


写真4 ナフサ流出箇所

(2) ポンツーンの調査結果

タンクの内部開放後、ポンツーン接液側及びポンツーン内側を目視検査した結果、ポンツーン下板等に変形、損傷等はなく、各溶接線にも異常は認められなかった。

次に、ポンツーン各部について浸透探傷試験による非破壊検査を実施したところ、ポンツーン下板母材及び液面計ノズル母材には欠陥、指示模様等は見られなかったが、液面計ノズルとポンツーン下板の取合い部について、トラス側から浸透液を流すと、取合い部から接液側に浸透液の漏出を確認した。(写真5)

なお、液面計ノズルとトラスの干渉部以外の液面計ノズルとポンツーン下板との溶接線には欠陥、指示模様等の異常は見られなかった。

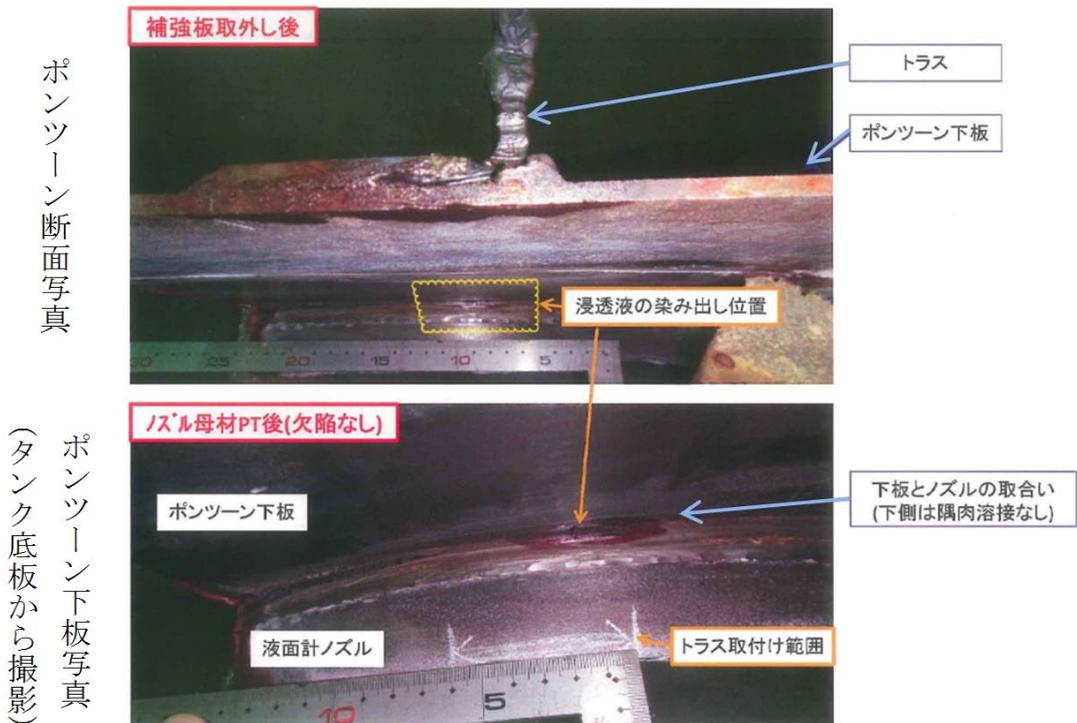


写真5 浸透液による漏れ試験

(3) ポンツーン内への油流出経路

液面計ノズルとポンツーン下板の取合い部をサンプルカットした後の観察で、トラスと液面計ノズルの干渉部において、液面計ノズルとポンツーン下板の取合い部に本来あるべき隅肉溶接が施工されていないことが確認された。(写真6)

上記により、以下の順序でタンク内のナフサがポンツーン内に流出したものと推定する。(図5、6)

- ① ポンツーン下板継ぎ目(接液側)のタック溶接隙間より油が浸入
- ② ポンツーン下板継ぎ目を伝って、ノズル補強板とポンツーン下板の隙間に油が浸入
- ③ 液面計ノズルと下板の接合部の隙間を通して、ポンツーン側へ油が浸入
(トラスが干渉する位置に、本来あるべき隅肉溶接が施工されていないため)
- ④ トラスとポンツーン下板の隙間を通してポンツーン内部に油が流出

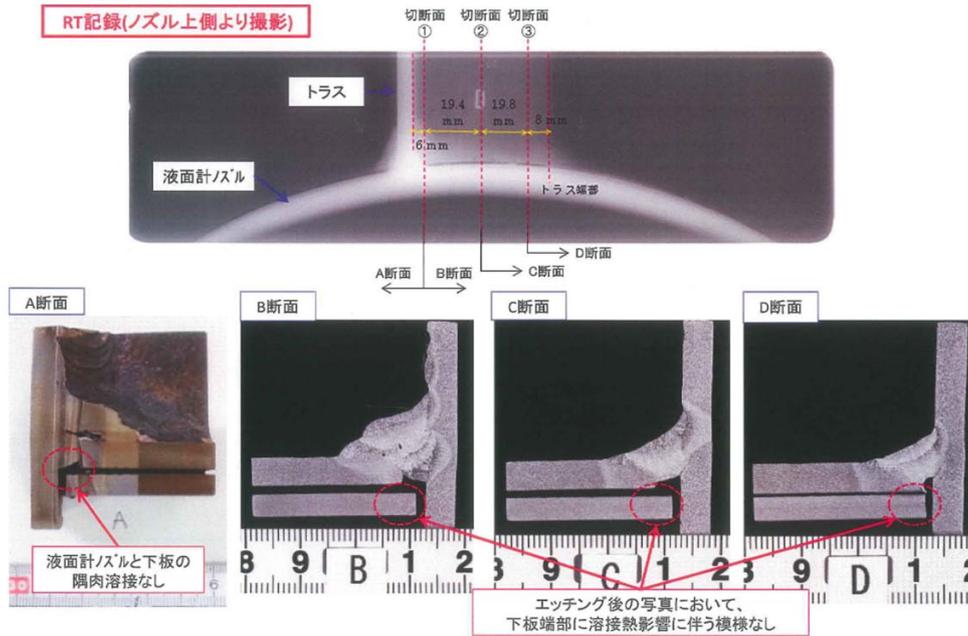


写真6 サンプルカット後の観察結果

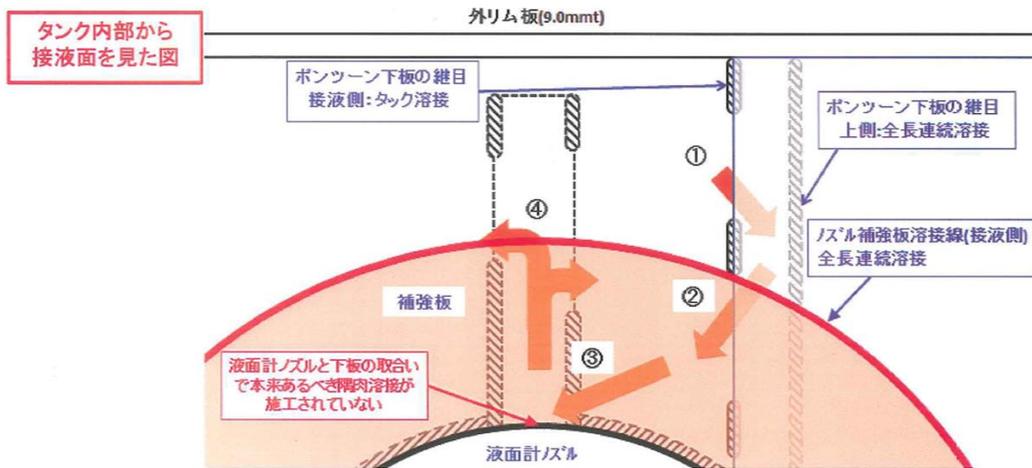


図5 ポンツーン内への油流出経路 (平面図)

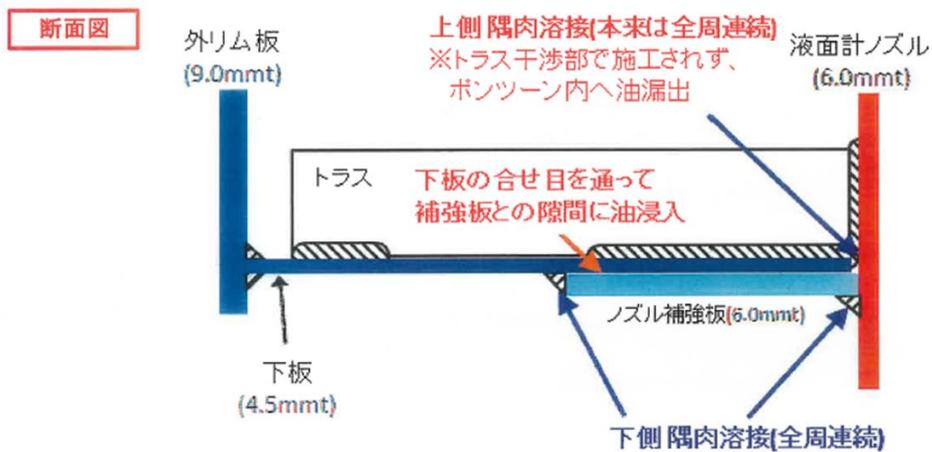


図6 ポンツーン内への油流出経路 (断面図)

4 原因の推定

(1) 直接原因

液面計ノズルとポンツーン下板の取合い部は、本来、ポンツーン内側から全周連続隅肉溶接を施工する設計であったが、前3により、トラス干渉部において隅肉溶接が施工されていなかった。

本事業所におけるポンツーン改修工事の標準的な作業手順は、以下のとおりであった。

- ① ポンツーン組立て、各部材の溶接（内部部品を含む）
- ② ノズル取付け位置の決定、補強板の取付け
- ③ ポンツーンにノズル挿入穴を開口
- ④ 上記開口部に干渉する範囲のトラス加工（切断、取外し等）
- ⑤ ノズル挿入、ノズルとポンツーン下板との取合いの溶接（全周連続隅肉溶接）
- ⑥ トラス復旧（ノズルとトラス及びトラス間を溶接）

本事案では、上記手順④において、ノズルとポンツーン下板を全周溶接することを考慮したトラスの切断、取外し等の加工が行われず、手順⑤で液面計ノズルとトラスが干渉する部分において、ポンツーン下板と液面計ノズルとの取合い部に、隅肉溶接がされなかったことが事故の直接原因であると推定する。

なお、正しく溶接施工されたポンツーンは、写真7のとおり、上記手順④でトラスの切断、加工等が行われ、手順⑤のノズルとポンツーン下板との取合い部の全周連続隅肉溶接をした後、手順⑥にてノズルとトラス及びトラス間が溶接施工されている。

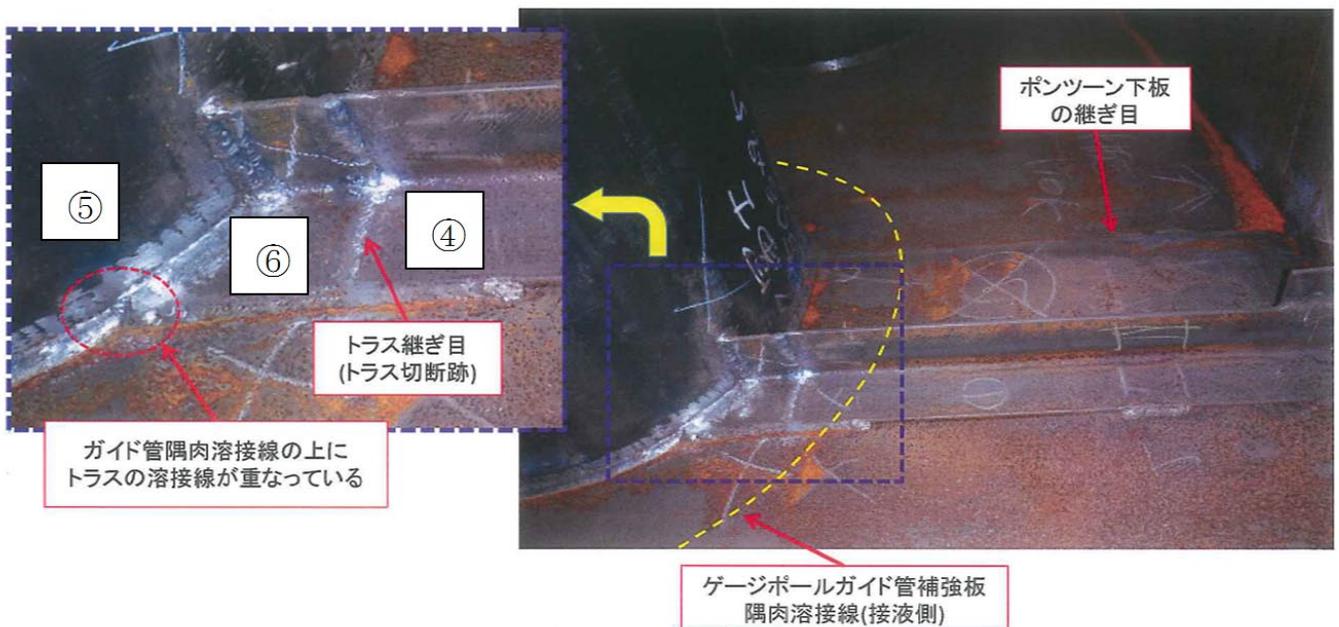


写真7 正しく溶接施工されたポンツーンの例

(2) 根本原因

ポンツーンの溶接施工の不備について、次の2点が根本原因として考えられる。

ア 施工手順書の未作成

ポンツーンの改修工事について、共通の施工要領書があったが、当該箇所の施工に関して文書化された手順書がなかった。なお、具体的な施工手順は、現場の状況に応じて現場監督及び作業員が打合せの上、決定することが標準となっていた。

そのため、現場監督・作業員がノズルの構造及び各溶接線の役割を十分に理解していない場合、施工手順の間違いや施工抜けが発生し得る。

イ 施工記録、溶接線検査記録の不備

ポンツーンの溶接に関する施工記録を残していなかった。また、トラス干渉部の溶接施工抜けがあったにも

関わらず、液面計ノズルとポンツーン下板の取合い部の溶接線に対する浸透探傷試験の検査記録は「合格」となっていた。これは、トラスと液面計ノズルの溶接後に、浸透探傷試験を行った可能性が高いと思われる。

5 再発防止対策

類似事故の再発防止対策として、次の2点を実施する。

ア 施工手順書について

ポンツーンの溶接施工に係る施工手順書を作成する。

イ 施工記録、溶接線検査記録について

施工記録を作成するとともに、トラス等が干渉する溶接線はトラス等を取り付ける前に溶接線検査を実施し、溶接線が隠れる部位毎に検査記録を作成するよう社内マニュアルを改定する。

おわりに、1つ目の事例は、当消防局管内において過去例をみない浮き屋根上への危険物の大量流出事故であり、また、浮き屋根全面火災に発展するおそれがあったことから、事故対応に大変苦慮した事例であった。

2事例目は、流出の発見が遅れていれば、ポンツーン内が満液状態となることで、浮力が低下状態となり、万が一、その状態で台風等強風を受けると屋根が揺動し、満液状態となったポンツーン側が傾斜し、1事例目のように封水と喫水線のバランスが崩れ、非常排出設備から内容物の逆流が発生するおそれがあったほか、近年発生が危惧されている南海トラフ地震が発生すると、浮き屋根が沈降するといった重大事故につながりかねない事案であった。

この2つの事例に共通することは、なぜ非常排水設備の封水が必要か、なぜトラスの切断、取外しを行うのか、いわゆるknow-why、原理・原則が十分に理解されていなかったこと、そして、非常排水設備の維持管理に係る具体的な方法、ポンツーンの溶接施工に係る施工手順等が明文化されていなかったことが、共通事項であったと思われる。

これらの事故を踏まえて、今後、消防局としては、立入検査等の機会を捉えて、原理・原則の重要性や手順書作成等明文化することの必要性を周知し、引き続き、石油コンビナートの安全に努めていく所存である。