

2019 年 11 月 21 日

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

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(石油連盟案)**(1) 背景**

令和元年第 1 回 WG において、消防庁殿より WG の進め方（WG 資料 1 - 1）が以下の通り提案され、この中で「喫水線の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の危険性」に対する対策として石油連盟案を策定して WG において提示することとなった。

【WG 資料 1 - 1 抜粋】**1. 漏洩を未然に防止する方法****1 - 1 原因分析**

- (1) 過去の事例の詳細な分析（WG 資料 1 - 3）
- (2) 流出事例の収集（H30 年第 2 回）

1 - 2 対策**(1) 適切な点検の実施****① 定期点検（今年度第 2 回）**

課題：ポンツーン内の目視点検頻度等

② 開放点検（WG 資料 1 - 2）**(2) 点検の結果に基づく適切な補修（恒久補修）の実施****① 恒久補修の注意点（今年度第 2 回）**

課題

- ・重ね補修等で重量が増加した場合の浮力計算の実施
- ・喫水線の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の危険性
- ・重ね補修等の重量増加部分に著しく雨水がたまることによる腐食の危険性
- ・補修工事の施工管理方法
- ・過度に応力集中が発生する構造の見直し 等

2. 漏洩発生時の対応**2 - 1 応急措置の可否の要件****2 - 2 適切な応急措置の方法****2 - 3 応急措置後のタンク使用継続可能な期間****2 - 4 応急措置後の対応・点検頻度****(2) 石油連盟案**

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を考慮すべき状況

- 浮屋根上のルーフサポートやエマージェンシードレンの設置位置において、デッキの局部的なひずみが発生し、相対的にデッキ面からの喫水線の上昇が見られた場合、ルーフサポートのピン孔やエマージェンシードレンからの貯蔵油の逆流の危険性について評価を行う。

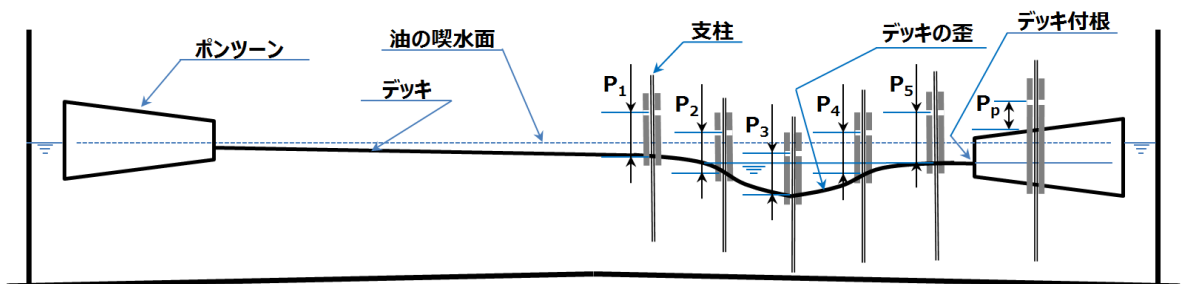
(2-1) ルーフサポートのピン孔からの貯蔵油の逆流の危険性について

- 適切に設計されたルーフサポートであっても、タンク開放時に浮屋根の工事を行った際には浮屋根デッキのひずみをチェックし、その結果、浮屋根上のルーフサポート部にデッキの局部的なひずみが発生し、相対的にデッキ面からの喫水線の上昇が見られた場合には、貯蔵油の逆流の危険性が無い事を確認する。この時、貯蔵液比重は実液比重（最小値）を適用する。
- なお、スリーブより上にピン孔があるタイプ（スリーブ自体にピン孔が無い構造）の場合、下記「ピン孔高さ」を「スリーブ上端」と読み換える。

【ガイドライン】

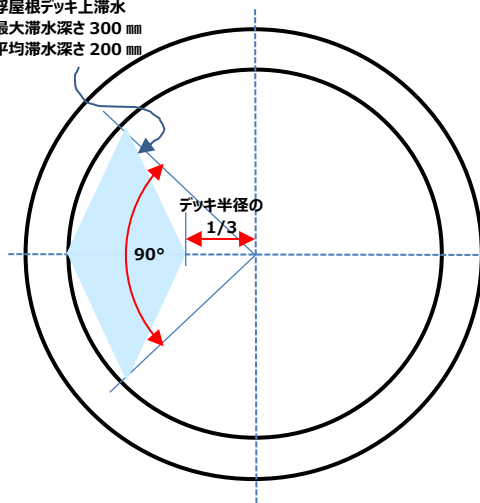
【支柱のデッキ上ピン孔高さ P_X 】 > 【各支柱位置における喫水線高さ*】 + 【局部歪深さ】 + 余裕代 50 mm**

注) ここで「喫水線高さ*」はデッキ付根からの高さ、「局部歪深さ**」はデッキ付根と支柱付根の最大高低差



【目安値】

浮屋根デッキ上滞水
最大滞水深さ 300 mm
平均滞水深さ 200 mm



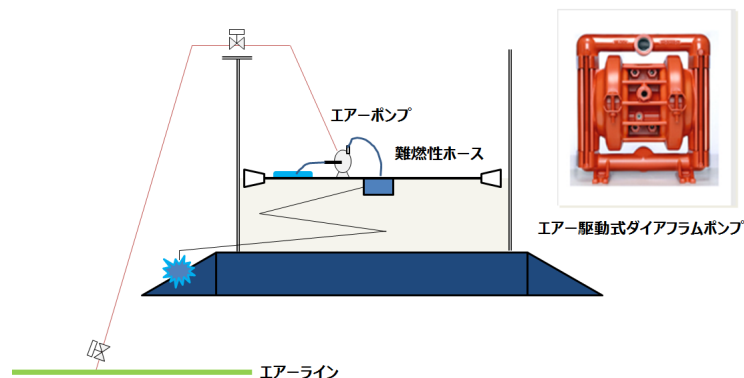
最小液比重	タンク径	ハイデッキ P_X^*	ローデッキ P_X^*
0.65	20m	604 mm	636 mm
0.65	40-80m	595 mm	632 mm
0.70	20-80m	582 mm	614 mm
0.75	20-80m	569 mm	596 mm
0.80	20-80m	556 mm	578 mm
0.85	20-80m	543 mm	560 mm
0.90	20-80m	530 mm	542 mm

注) 上表において P_X^* は左図滞水範囲内の最大滞水深さ (300 mm) 部における支柱のデッキ上必要ピン孔高さを示す

- 左図滞水による浮屋根沈降/傾斜を評価
- 歪深さはデッキ付根のレベルを基点として測定する
- 左図の平均 200 mm 滞水重量はデッキ平均 38 mm 滞水に相当

- 対策例：ルーフサポートのピン孔から貯蔵油の逆流の危険性有りと判断された場合、浮屋根上の滞水を仮設エアポンプなどで排水する、などの仮設対応を取る。

仮設エアポンプ設置による対策例



(2-2) エマージェンシードレンからの貯蔵油の逆流の危険性について

- 対象：シングルデッキの水封式非常用排水設備（以下、「エマージェンシードレン」と称する）
- エマージェンシードレンは、適切に設計され、適切な周期による封水量の点検と、定期的な注水により逆流を防止できるが、適切に設計・管理されたエマージェンシードレンであっても、タンク開放時に浮屋根の工事を行った際には浮屋根デッキのひずみをチェックし、その結果、エマージェンシードレンの設置位置においてデッキの局部的なひずみが発生し、相対的にデッキ面からの喫水線の上昇が見られた場合には、エマージェンシードレンからの貯蔵油の逆流の危険性について評価を行う。
- エマージェンシードレン周辺の局部的なひずみ部に滞水している場合には想定よりも少量の滞水時点でタンク内に排水されるだけであるが、エマージェンシードレン周辺の局部的なひずみ部に滞水が少ない場合で、かつ当該再計算結果で NG だった場合には貯蔵油の浮き屋根上への逆流の危険性が考えられる。

【ガイドライン】

- ✓ エマージェンシードレン設置部が局部歪で凹んでいて、かつ滞水が少ない状況において、更なる歪進行あるいは滞水が発生して最終的にエマージェンシードレンから排水されるまでのデッキ沈降に対する余裕代を見込む（余裕代は状況に応じて事業者が設定することとし、設定された余裕代が確保されているか測定する）

デッキ沈降/歪余裕代* = 今後見込むべき更なる喫水線上昇 Δh + 更なる局部歪増大 $\Delta\sigma$ の合計値

*デッキ沈降/局部歪を確認した時点以降、エマージェンシードレン設置部周辺が滞水し、最終的に滞水がエマージェンシードレンからタンク内に排出されるまでに見込むべき更なる喫水線上昇 Δh + 更なる局部歪増大 $\Delta\sigma$ は、状況に応じて事業者が設定

- ✓ 測定要領：デッキ沈降/歪余裕代は計算で確認できるが、他の方法として、浮屋根上からエマージェンシードレンに注水して封水箱を満水にした時点で、封水面高さ（エマージェンシードレンノズル内の封水面高さ）を測定することで以下の通り確認できる。計算および測定は貯蔵液の実液比重が最大値を適用する。

封水レベル余裕代* = $X_L - X_2 \geq \rho \times (b + \Delta h + \Delta\sigma) - b$ [mm]

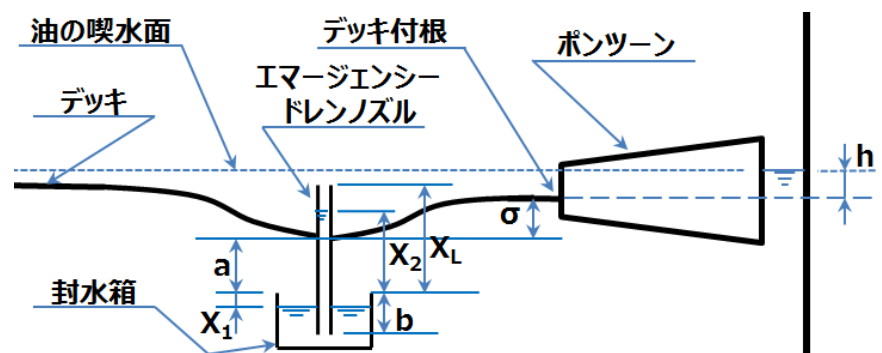
*封水レベル余裕代とは、エマージェンシードレンノズル先端から封水面までのレベル差

※液比重が最大でない時に測定した場合、次式で評価してもよい（但しコンサバティブな値となる）・・・【評価に用いる X_2 】=【測定時の X_2 】×【最大比重】／【測定時比重】

【目安値】

- ✓ 更なるデッキ沈降/歪に対する余裕代を 200 mmとした時、貯蔵油が逆流しないための封水レベル余裕代

封水レベル余裕代 $X_L - X_2$	下図 b の寸法	実液比重の最大値 ρ	デッキ沈降/歪に対する余裕代 $\Delta h + \Delta\sigma$
140 mm	b=400 mm	$\rho=0.9$	200 mm
80 mm	b=400 mm	$\rho=0.8$	200 mm
20 mm	b=400 mm	$\rho=0.7$	200 mm



対策：エマージェンシードレンから貯蔵油の逆流の危険性有りと判断された場合、エマージェンシードレンのセンターパイプを運転中に嵩上げるなどの仮設対応を取る。

【測定時の液比重による封水レベル余裕代の補正計算】

測定時の液比重におけるバランス】

$$(h_i + \sigma_i + a) \times \rho_i = X_{2i} \times 1.0$$

$$(h_i + \sigma_i + a) = X_{2i} / \rho_i$$

最大液比重時におけるバランス

$$(h_x + \sigma_x + a) \times \rho_x = X_{2x} \times 1.0$$

$$(h_x + \sigma_x + a) = X_{2x} / \rho_x$$

$$X_{2x} = X_{2i} \times \rho_x / \rho_i \times (h_x + \sigma_x + a) / (h_i + \sigma_i + a)$$

ここで、 $(h_x + \sigma_x + a) / (h_i + \sigma_i + a) \leq 1$ のため、コンサバティブな値でも良ければ $X_{2x} = X_{2i} \times \rho_x / \rho_i$ を採用し、

$$XL - X_{2x} = XL - (X_{2i} \times \rho_x / \rho_i)$$

により評価してもよい

【封水レベル余裕代の計算】

エマージェンシードレンの封水箱を満水にした時のノズル内側と外側の水圧バランス式

$$X_2 + b = \rho \times (h + \sigma + a + X_1) + (b - X_1)$$

$$X_1 + X_2 = \rho \times (h + \sigma + a + X_1)$$

… 式①

封水箱が満水にした時なので、 $X_1 = 0$ とすると

$$X_2 = \rho \times (h + \sigma + a)$$

… 式②

ここで、封水箱を満水にした時のノズル先端からノズル内部の封水面の高低差を「封水レベル余裕代」と呼ぶ

$$\text{封水レベル余裕代} = XL - X_2$$

その後、更なる喫水線上昇および局部歪増大が発生し、エマージェンシードレンのノズル外側の封水レベルがノズル下端まで下がった時の水圧バランス式（この時の X_1 、 X_2 、 h 、 σ を X_1' 、 X_2' 、 h' 、 σ' と表記する）

$$X_1' + X_2' = \rho \times (h' + \sigma' + a + X_1')$$

… 式③

封水レベルがノズル下端まで下がった時なので、 $X_1' = b$ とすると

$$b + X_2' = \rho \times (h' + \sigma' + a + b)$$

$$X_2' = \rho \times (h' + \sigma' + a + b) - b$$

… 式④

ここで、今後見込むべき更なる喫水線上昇 Δh + 更なる局部歪増大 $\Delta \sigma$ の合計値（デッキ沈降/歪の余裕代）

が 100 mm～200 mm となるように目標を設定する

$$\Delta h = h' - h$$

$$\Delta \sigma = \sigma' - \sigma$$

$$\Delta h + \Delta \sigma = 100 \text{ mm} \sim 200 \text{ mm} \text{ を目標として設定}$$

式②と式④の両辺の差を取る

$$X_2' - X_2 = \rho \times (h' - h + \sigma' - \sigma + b) - b$$

$$= \rho \times (\Delta h + \Delta \sigma + b) - b$$

… 式⑤

【デッキ沈降/歪の余裕代 $\Delta h + \Delta \sigma = 100$ mmのケース】

式⑤において、目標値 $\Delta h + \Delta \sigma = 100$ mmの時、ノズル内の封水レベルがノズル内でバランスする $XL \geq X2'$ とすると

$$X2' - X2 = \rho \times (b + 100) - b \quad \dots \text{式⑥}$$

$$X2' \leq XL \quad \dots \text{式⑦}$$

式⑥と式⑦より

$$XL - X2 \geq \rho \times (b + 100) - b \text{ であれば封水がバランスする}$$

$$\text{封水レベル余裕代} = XL - X2 \geq \rho \times (b + 100) - b \text{ が必要となる}$$

b=400 mm、封水レベル余裕代が 50 mmの時に上記の目標を達成する液比重を求める

$$\text{封水レベル余裕代} \quad 50 \text{ mm} \geq \rho \times (400 + 100) - 400$$

$$\text{液比重} \quad \rho \leq (400 + 50) \div (400 + 100) = 0.9$$

b=400 mm、封水レベル余裕代が 0 mmの時に上記の目標を達成する液比重を求める

$$\text{封水レベル余裕代} \quad 0 \text{ mm} \geq \rho \times (400 + 100) - 400$$

$$\text{液比重} \quad \rho \leq (400 + 0) \div (400 + 100) = 0.8$$

b=400 mm、液比重が 0.7 で、封水レベル余裕代が 0 mmの時に許容できる $\Delta h + \Delta \sigma$ を求める

式⑤と式⑦より

$$XL - X2 = \rho \times (\Delta h + \Delta \sigma + b) - b$$

$$\Delta h + \Delta \sigma = (XL - X2 + b) \div \rho - b$$

封水レベル余裕代が 0 mmなので $XL - X2 = 0$ mmとなり、次に b=400 mm、 $\rho=0.7$ を代入する

$$\Delta h + \Delta \sigma = b \div \rho - b$$

$$= 400 \div 0.7 - 400 = 171$$

【デッキ沈降/歪の余裕代 $\Delta h + \Delta \sigma = 200$ mmのケース】

式⑤において、目標値 $\Delta h + \Delta \sigma = 200$ mmの時、ノズル内の封水レベルがノズル内でバランスする $XL \geq X2'$ とすると

$$X2' - X2 = \rho \times (b + 200) - b \quad \dots \text{式⑥'}$$

$$X2' \leq XL \quad \dots \text{式⑦'}$$

式⑥'と式⑦'より

$$XL - X2 \geq \rho \times (b + 200) - b \text{ であれば封水がバランスする}$$

$$\text{封水レベル余裕代} = XL - X2 \geq \rho \times (b + 200) - b \text{ が必要となる}$$

b=400 mm、封水レベル余裕代が 140 mmの時に上記の目標を達成する液比重を求める

$$\text{封水レベル余裕代} \quad 140 \text{ mm} \geq \rho \times (400 + 200) - 400$$

$$\text{液比重} \quad \rho \leq (400 + 140) \div (400 + 200) = 0.9$$

b=400 mm、封水レベル余裕代が 80 mmの時に上記の目標を達成する液比重を求める

$$\text{封水レベル余裕代} \quad 80 \text{ mm} \geq \rho \times (400 + 200) - 400$$

$$\text{液比重} \quad \rho \leq (400 + 80) \div (400 + 200) = 0.8$$

b=400 mm、封水レベル余裕代が 20 mmの時に上記の目標を達成する液比重を求める

$$\text{封水レベル余裕代} \quad 20 \text{ mm} \geq \rho \times (400 + 200) - 400$$

$$\text{液比重} \quad \rho \leq (400 + 20) \div (400 + 200) = 0.7$$

【封水バランス計算】

封水箱を満水にした時点で封水のバランスが取れます。

例えば、 $h=100$, $\sigma=300$, $a=600$, $p=0.8$, $X_1=0$ の場合、 $X_2=p \times (h + \sigma + a) - X_1 = 800$

この時、 $X_2 - a = 200$ となります。

ノズル長さ $XL = 880$ mm であれば、 $XL - X_2 = 80$ mm となります。

その後 $h + \sigma$ が増加した場合、封水レベル X_2 が上昇し、ノズル先端から封水が溢れて次のバランスを保ちます

例えば、 $h=200$, $\sigma=400$, $a=600$, $p=0.8$ の場合、 $X_1 + X_2 = 960$

この時、 $X_2 - a = 360 - X_1$ となり、ノズル先端から封水が溢れて次のバランスを保ちます

ノズル高さ $XL = 880$ mm であれば、 $X_2 = XL = 880$ mm、 $X_1 = 80$ mm でバランスを保ちます

更に $h + \sigma$ が増加して、 $X_1 = b = 400$ となった時に貯蔵油の逆流が始まります

例えば、 $h=400$, $\sigma=600$, $a=600$, $p=0.8$ の場合、 $X_1 + X_2 = 1280$

この時、 $X_1 = 400$ であれば、 $X_2 - a = 280$ mm となります。

ノズル高さ $XL = 880$ mm であれば、 $XL - X_2 = 0$ mm となります。

以上