

内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの安全対策に関する検討について

消防庁危険物保安室

1 はじめに

揮発性の高い内容物を貯蔵する屋外貯蔵タンクのなかには、内容物の蒸発の低減、内容物の品質保持及び環境対策等のために固定屋根式屋外貯蔵タンクの内部に図1のような浮き蓋を設置するものがあります（以下「内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンク」という）。内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクは引火点の低い危険物を貯蔵することが多く、内部浮き蓋に異常が発生し、液面シール機能が損なわれた場合には、タンク内部の空間に可燃性蒸気が滞留し、その構造上の特徴から、内部浮き蓋上部に爆発範囲内の濃度の可燃性蒸気が滞留するおそれがあります。屋外タンク貯蔵所は、消防法令上様々な技術上の基準が規定されていますが、現在内部浮き蓋については基準がありません。

近年、内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクにおいて、内部浮き蓋の損傷、内部浮き蓋上への内容物の溢流、内部浮き蓋の傾斜又は沈没等の事例が報告されています。平成15年に発生した十勝沖地震では、34基の内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクで内部浮き蓋の損傷が報告されています。近い将来に発生が指摘されている東海地震や東南海・南海地震を考慮すると、長周期地震動に起因する液面揺動によって内部浮き蓋が損傷することを防止することは重要な課題となります。

このような状況をふまえ、消防庁では平成20年度から、内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの技術基準を策定することを目的とし、「内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの安全対策に関する検討

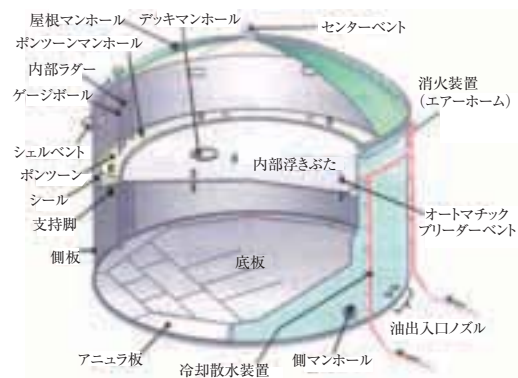


図1 内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンク概略図

会」（座長：大谷英雄（横浜国立大学大学院環境情報研究院教授））を開催し、内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの実態調査、過去の事象事例の調査、簡易フロート型内部浮き蓋の揺動実験、液面揺動時の内部浮き蓋の耐震性評価の数値解析等を実施し、内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクに必要な安全対策についてとりまとめました。ここにその概要を紹介します。







2 内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの実態調査

内部浮き蓋に関する消防法令上の技術基準は規定されていないため様々な型式の内部浮き蓋が使用されています。国内で使用されている内部浮き蓋の実態を把握するために、消防庁危険物保安室が行った実態調査（平成19年10月1日現在）の結果を以下に整理しました。

(1) 内部浮き蓋の型式

国内で一般的に使用されている内部浮き蓋の代表的な型式（表1）ごとの特徴は以下のとおりです。

表1 国内で使用されている内部浮き蓋の型式

<p>①パン型</p> 	<p>②バルクヘッド型</p> 
<p>③ポンツーン型</p> 	<p>④ダブルデッキ型</p> 
<p>⑤簡易フロート型 (浮き室パイプ型)</p> 	<p>⑥ハニカム型</p> 

① パン型 (鋼製)

アウターリムとデッキ板からなる単純な皿型のもの。浮き室がないため、デッキ板の損傷や傾斜による内容物の乗り上げが起きると沈没する。

② バルクヘッド型 (鋼製)

パン型にインナーリムと隔壁 (バルクヘッド) を設けて内容物の乗り上げによる沈没に対する性能の向上を図ったもの。パン型と同様に浮き室がないため傾斜による内容物の乗り上げがおきると沈没の危険性がある。

③ ポンツーン型 (鋼製)

ポンツーンとデッキ板から構成されており、通常の浮き屋根と同様の構造である。ポンツーンに浮力があり、一定の損傷が生じても沈まない構造となっている。

④ ダブルデッキ型 (鋼製)

二枚のデッキ板の間を隔壁により区分して浮き室としたもので、浮き性能及び耐震性に優れている。

⑤ 簡易フロート型 (アルミ製、ステンレス製)

デッキシート (厚さ1 mm 以下) の下

に浮き室を取付けたもので、デッキシートと内溶液の間に空間を有する。浮き室はパイプ状のものと枕状のものがある。

⑥ ハニカム型 (アルミ製、ステンレス製)

ハニカム構造のアルミ合金製パネル (標準寸法1,500mm × 3,000mm) をつなぎ合わせて製作されるもので、個々のパネルが独立した浮き室となっている。

(2) 内部浮き蓋の設置状況

内部浮き蓋付き屋外タンク貯蔵所の内部浮き蓋の型式、容量別の設置基数を表2にまとめました。内部浮き蓋付き屋外タンク貯蔵所は合計で1,077基が設置されており、特定屋外タンク貯蔵所の中でも1,000~5,000キロリットルの小規模なものに多い傾向が分かります。

3 内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクにおける事故の概要

(1) 昭和58年日本海中部地震による事故

昭和58年に発生した日本海中部地震により内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクで発生した事故の概要は表3のとおり。被害のあった内部浮き蓋は全てパン型でした。

表2 内部浮き蓋付き屋外タンク貯蔵所設置基数

型式	容量(kl)						
	500未満	500以上 1,000未満	1,000以上 5,000未満	5,000以上 10,000未満	10,000以上 20,000未満	20,000以上	合計
パン型	4	3	13	3	0	1	24
バルクヘッド型	10	5	45	9	5	7	81
ボンツーン型	36	46	148	70	20	13	333
ダブルデッキ型	8	5	18	2	2	0	35
簡易フロート型 (タイプ1)	61	142	297	41	15	19	575
簡易フロート型 (タイプ2)	0	8	11	1	0	1	21
ハニカム型	2	0	0	2	0	0	4
不明	1	3	0	0	0	0	4
合計	122	212	532	128	42	41	1,077

参考：屋外タンク貯蔵所の設置基数（平成22年3月31日現在）
 特定屋外タンク貯蔵所：7,859基
 準特定屋外タンク貯蔵所：3,740基
 特定および準特定屋外タンク貯蔵所以外の屋外タンク貯蔵所：56,607基

表3 昭和58年日本海中部地震による内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの事故(青森地区)

	油種	容量(kl)	直径(m)	高さ(m)	地震時液高(m)	液面揺動1次固有周期(s)	被害状況
1	軽油	1,000	10.60	12.18	7.31	3.43	内部浮き蓋沈没
2	ガソリン	1,000	10.64	12.18	6.53	3.46	内部浮き蓋沈没
3	ガソリン	2,000	15.5	12.18	10.22	4.13	内部浮き蓋沈没、シェルベントよりガソリンが霧状に噴出

表4 平成15年十勝沖地震で被害を受けたタンク基数

(「平成15年十勝沖地震危険物施設の被害記録」(危険物保安技術協会)より)

消防本部名	タンク区分	パン型	ボンツーン型	ダブルデッキ型	アルミ製簡易フロート型	計
苫小牧市消防本部	特定タンク	1(2)	24(27)	0(0)	6(9)	31(38)
	準特定タンク	0(3)	2(5)	0(0)	0(0)	2(8)
胆振東部消防組合消防本部	準特定タンク	0(0)	0(0)	0(2)	0(0)	0(2)
石狩北部地区消防事務組合消防本部	特定タンク	0(0)	0(0)	0(0)	1(4)	0(4)
計		1(5)	26(32)	0(2)	7(13)	34(52)

*括弧内の数値は当時の内部浮き蓋付き屋外タンク貯蔵所の設置基数を示す。
 (参考：バルクヘッド型は、この地域に無かった。)

(2) 平成15年十勝沖地震による事故
 平成15年に発生した十勝沖地震により、3つの消防本部管轄の内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンク52基のうち34基で被害がありました(表4)。強いやや長周期地震動が発生したため、多くの内部浮き蓋付き屋外タンク貯蔵所に被害が発生したことが分かり

ます。主な被害の状況は以下のとおりです。

- ・簡易フロート型:フロートパイプ破損(図2)、タンク内部梯子折損、内部浮き蓋上への滞油、内部浮き蓋亀裂、変形、液面計テープ破断、デッキスキン破損
- ・ボンツーン型:ボンツーン内油浸入、ゲー



図2 折損したフロートチューブ

ジポール変形、ガイドローラー破断、ポ
ンツーン変形、開口

(3) 地震時以外の内部浮き蓋付き屋外タンク
貯蔵所の事故

内部浮き蓋付き屋外タンク貯蔵所の事故
は、地震時以外にも発生しており、その詳
細を表5にまとめました。浮き性能が脆弱
なパン型及びバルクヘッド型の沈没・傾斜
や簡易フロート型内部浮き蓋のデッキシ
ートの破損及びシールゴムの脱落などが発生
しています。

4 タンク内の可燃性蒸気分布に関する検討

内部浮き蓋が沈没・傾斜・損傷した場合や内
部浮き蓋のシールゴムの劣化・脱落によって内
部浮き蓋の液面シール機能が低下した場合、タ
ンク内部の固定屋根と内部浮き蓋の間の空間に
可燃性蒸気が滞留し、爆発範囲の濃度となる危
険性があることは定性的には指摘されているも
の、その危険性は必ずしも定量的に評価され
ていませんでした。そこで、内部浮き蓋にこれ
らの異常が発生した場合のタンク内部の固定屋
根と内部浮き蓋の空間における可燃性蒸気濃度
の時空間分布を数値解析により定量的に評価し
ました。その結果、内容物の引火点が40度未満
の屋外貯蔵タンクでは、内部浮き蓋が傾斜・沈
没した場合又は簡易フロート型内部浮き蓋の
シールゴムが脱落した場合に、気相部もしくは
特別通気口付近に爆発範囲の濃度の可燃性蒸気
が滞留するおそれがあること、内容物の引火点
が40度以上の場合には、内部浮き蓋が沈没しても
液面上に爆発範囲の濃度の可燃性蒸気が層状に
薄く滞留する条件にならないことが明らかとな
りました。また、内部浮き蓋に異常がなくても
受け払い時には気相部に爆発範囲の濃度の可燃

表5 地震時以外の内部浮き蓋付き屋外タンク貯蔵所の事故事例

	年月日	市町村	直径 (m) 高さ (m)	許容量 (kl)	油種	内部浮き蓋 型式	事故内容
1	平成14年 11月23日	横浜市	15.2 12.165	2,000	ハイオク ガソリン	アルミ製簡易 フロート型	タンカーより油受入直後、 爆発・炎上
2	平成16年 2月14日	稚内市	10.64 12.18	980	ガソリン	パン型	内部浮き蓋沈没（デッキ 溶接部に貫通欠陥）
3	平成18年 8月8日	室蘭市	40.7 19.515	23,437	ナフサ	バルクヘッド 型	内部浮き蓋沈没（内部浮 き蓋上への油噴き上げの 繰り返しにより沈没）
4	平成19年 3月8日	秋田市	15.4 11.98	2,000	ガソリン	アルミ製簡易 フロート型	デッキシート破損（タン カーから受入直後）
5	平成19年 3月20日	秋田市	13.5 7.64	950	ガソリン	アルミ製簡易 フロート型	デッキシート破損（定期 月次点検時発見）
6	平成19年 3月25日	金沢市	29.02 16.44	9,600	ガソリン	アルミ製簡易 フロート型	シールゴム脱落（能登半 島地震直後の点検により 発見）
7	平成19年 8月29日	上越市	18.10 15.20	3,342	ナフサ	バルクヘッド 型	内部浮き蓋沈没
8	平成22年 6月29日	横浜市	9.00 11.00	600	ガソリン	アルミ製簡易 フロート型	シールゴム脱落

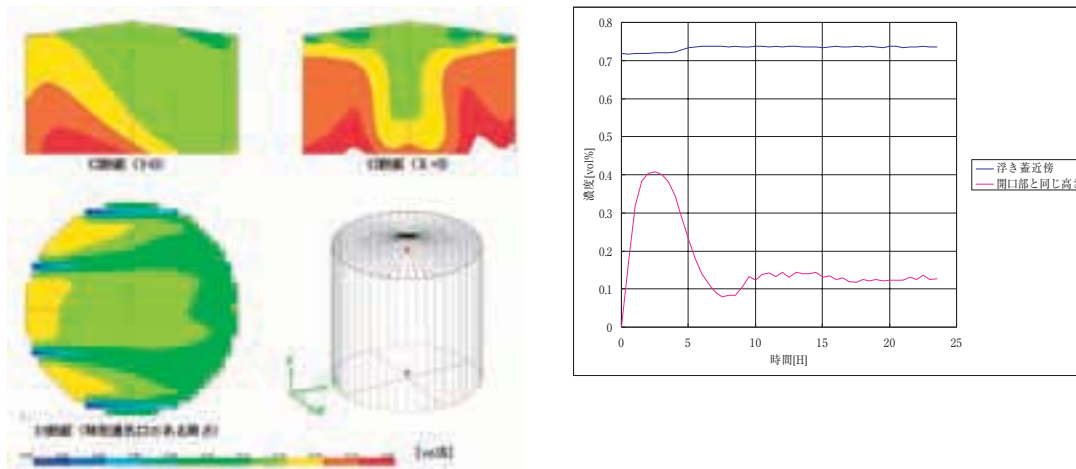


図3 灯油タンクにおける内部浮き蓋沈没時の可燃性蒸気濃度の解析結果

性蒸気が滞留するおそれがあることが明らかになりました。

5 簡易フロート型内部浮き蓋のシールゴムの耐久性

簡易フロート型内部浮き蓋のシールゴムの内部浮き蓋上の気相部に可燃性蒸気が滞留することを防止するため内部浮き蓋の外周部に設置されていますが、4の検討の結果、シールゴムが脱落すると特別通気口付近で可燃性蒸気が爆発範囲の濃度となる危険性があることが明らかになりました。表5にあるとおり経年劣化によりシールゴムが全周脱落する事故などが発生していることから、シールゴムはタンク開放までの期間はシール機能が維持される耐久性が必要となります。国内で使用実績が高いシールゴムの成分分析や劣化試験等によりシールゴムの耐久性を検討した結果、純ゴムの耐油性評価は基本的には油種と純ゴムとの溶解度パラメータ（SP値）で行うが、加工方法により耐油性を向上させることも可能でありゴム材料の油種に対する耐油性の評価は単純ではないこと、ゴム材料は一般的に大変形（100%以上）で使用されることを想定して材料設計が行われることが多いが、

内部浮き蓋のシールゴムのタンク内における最大ひずみは10%以下と評価され、シールゴムの劣化要因は塑性変形による疲労よりも素材の化学的劣化による影響が大きいと考えられること、シールゴムには可塑剤や老化防止剤が含まれており、これらがゴムの変形性能など諸物性維持に役立っているが、これらの薬剤は一般的には耐油性が低く使用期間中にシールゴムから油中に溶け出す可能性があり20年程度使用したNBR系のシールゴムの可塑剤はほぼ消失しているということが明らかになりました。

これらの結果から、シールゴムの選定にあたってはメーカーに油種との適合性を確認するとともに開放時に点検を行うなど一定の配慮が必要であるとされました。劣化状況を推察する簡便方法として手による硬度変化と目視による曲げ変形を加えた場合のクラックの発生状況を観察することによりシールゴムに起因する事故を防止することが重要であるとされました。

6 鋼製バルクヘッド型内部浮き蓋の浮き性能

パン型、バルクヘッド型の内部浮き蓋は、密閉された浮き室を持たない構造であり内部浮き蓋上に内容物が溢流することにより、内部浮き



図4 模型実験における内部浮き蓋上への液体の乗り上げ状況

- (左) 1 mタンク、アウターリム高さ10mm、振動台振幅3 mm の場合。溢流した液体はインナーリム周辺に留まっている。全てのバルクヘッドに液体が溢流している。
- (右) 1 mタンク、アウターリム高さ10mm、振動台振幅4 mm の場合。加振終了後、アウターリム及びインナーリムが喫水線以下になり、内容物の溢流が継続し、加振終了後約5分で内部浮き蓋は沈没した。

蓋が沈没・傾斜する事故が発生しています。模型実験と数値解析により、パン型、バルクヘッド型の内部浮き蓋が消防法令で定める大きさの液面揺動に見舞われた場合に、依然として浮いていられるものであるかについて評価しました。

0.3m～2 m の模型タンクを用いた揺動実験(図4に例を示す)を行いスロッシング高さと同内部浮き蓋上への内容物の溢流量の関係を求めました。その結果を用いて内部浮き蓋の内容積で無次元化した無次元換算溢流量は、直径46mタンクについては3～12%、直径22mタンクについては0.6～3.6%、直径14mタンクについては0.1～1.8%となりました。これらの溢流量に相当する荷重をバルクヘッド型の内部浮き蓋の有限要素モデルに負荷し、内部浮き蓋上への溢流を想定した場合の内部浮き蓋の変形状況及び内部浮き蓋の沈没の可能性について検討しました。ただし、溢流量によっては内部浮き蓋のアウターリムが座屈する条件となるので、当該条件が発生しないように縦弾性率を調整して解析を行いました。その結果、直径14m及び直径22mの内部浮き蓋では、想定した溢流量においては、バルクヘッド及びデッキ全体への溢流の

拡大は起こらないものと判断されました。直径31mの内部浮き蓋では、バルクヘッド及びデッキ上への溢流量を想定した場合、想定する溢流量の上限程度でバルクヘッドのインナーリム上端の鉛直方向変位が喫水線以下となり、デッキ上への溢流が内部浮き蓋沈没まで継続すると判断されました。これより直径が大きな内部浮き蓋では、想定する溢流量の上限に達する前にバルクヘッドのインナーリムが喫水線以下となり、デッキ上への溢流が、内部浮き蓋沈没まで継続すると判断されました。

以上のことから、液面揺動時に内部浮き蓋が全く損傷せず、かつ、溢流により座屈を生じないと仮定した場合であっても、比較的大きな直径の内部浮き蓋の場合、内容積の5%程度の溢流量でも内部浮き蓋が沈没する可能性があると考えられました。

7 鋼製内部浮き蓋の耐震強度

平成15年十勝沖地震の際、鋼製ポンツーン型の内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクでは、スロッシングに伴う内部浮き蓋の液面揺動の影響により、ポンツーンの溶接部の開口、ポンツーン内への内容物の浸入などが発生しました。こうし

たスロッシングの影響による構造上の被害（変形、き裂等）は、ポンツーンを持たないパン型、バルクヘッド型の内部浮き蓋にも起こりうるものと考えられることから、一般的に使用されている鋼製内部浮き蓋が、消防法令上で定める大きさの液面揺動に見舞われた場合に、強度上耐えうるものであるかどうか、強度上耐えうるものでないと考えられる場合には、どのような補強方法がありうるかを把握するため、数値解析による検討を行いました。

(1) パン型

消防法令で定める大きさの液面揺動に対しては、数値解析・計算によって耐震強度を有するかどうかの確認ができず、このことは、パン型内部浮き蓋は、消防法令で定める大きさの液面揺動に見舞われた後でも、依然として液面をシールする機能を維持できるものであるかどうかの見極めが困難なものとされました。

(2) バルクヘッド型

評価対象とした代表的な形状のバルクヘッド型内部浮き蓋は、消防法令で定める液面揺動のうち最小のものに対しては強度上耐えられますが、消防法令で定める液面揺動のうち最大のものに対しては強度上耐えられませんでした。また、バルクヘッド型内部浮き蓋が液面揺動に対して強度上耐えられない場合に、当該内部浮き蓋に対する有効な補強方法を見出すことは困難であるとされました。

(3) ポンツーン型

ポンツーン型内部浮き蓋は、一枚板構造の浮き屋根と基本的な構造は同じであり、ポンツーン型内部浮き蓋に対する構造上の安全対策は、以下の一枚板構造の浮き屋根に対してとられているものとはほぼ同様とすることが適当であるとされました。

ア 特定屋外貯蔵タンクの内部浮き蓋に

あっては、消防法令の技術基準上の想定破損状態（告示第4条の22第1号イ）において沈下しないこと。

イ 容量2万キロリットル以上、又は側板最上端までの空間高さ（告示第2条の2のHc）が2 m以上に該当する特定屋外貯蔵タンクの一枚板構造の内部浮き蓋は、必要な溶接強度と耐震強度を有すること。

ウ ポンツーン型内部浮き蓋の液面揺動に対する耐震強度及び浮き性能は、浮き屋根と同様な手法により評価することが可能であること。

8 簡易フロート型内部浮き蓋の耐震強度の検討

消防法令で定める液面揺動に見舞われた場合、曲げを受けるフロートチューブに降伏歪み（0.2%耐力）を超える負荷が作用することも予想されるが、フロートチューブに多少の損傷（残留変形）が生じて破断に至るような歪（数%程度）に達しなければ、スロッシング後に内部浮き蓋は浮き性能を確保していると考えて、模型実験や数値解析により簡易フロート型内部浮き蓋の耐震強度について検討しました。具体的には、直径7.6mの屋外貯蔵タンク模型にアルミニウム製の簡易フロート内部浮き蓋を設け、振動台により屋外貯蔵タンク模型を加振することによって屋外貯蔵タンクに液面揺動を発生させ液面揺動が内部浮き蓋に与える影響を把握し、その結果を反映させて図5の手順により、内部浮き蓋の主要構成部材であるフロートチューブ及びクランプビームの曲げ変形特性を考慮した内部浮き蓋全体の三次元梁モデルによりFEM解析（非弾性解析）を実施し、内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの代表的な大きさである3,000キロリットル級のタンク及び十勝沖地震で破損した5,000キロリットル級のタンクを

モデルとして、フロートチューブ及びクランプビームに許容される歪等を検討しました。

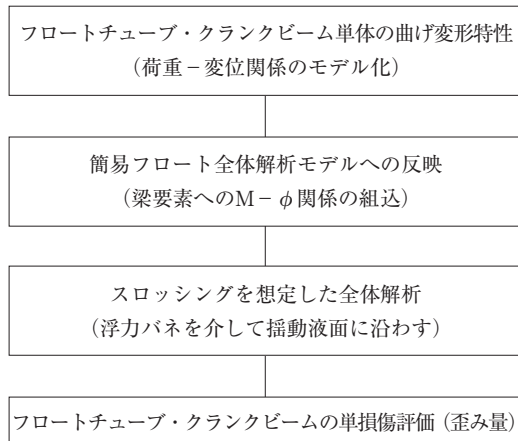


図5 内部浮き蓋の終局強度解析の手順
(非弾性解析)

その結果、以下のことが明らかになりました。

- (1) フロートチューブ間の接合部に回転性をもたせることにより、液面揺動時にフロートチューブに発生する応力を軽減させることができること。
- (2) 液面揺動がフロートチューブの軸方向及び直角方向に発生した場合を比較すると、軸方向の液面揺動の方が厳しい条件となること。
- (3) タンク中央に配列されたフロートチューブに応力負担・歪みが集中する傾向にあり、フロートチューブが無欠陥で溶接継ぎ手が無いことを前提として評価した結果、解析した内部浮き蓋（最長フロートチューブ長5.2m）は消防法令で定める液面揺動のうち最大のものによって塑性変形を生じるものの、疲労損傷評価を行った結果では破断に至る可能性は小さいこと。
- (4) アルミ製フロートチューブを溶接して継ぎ合わせて使用する場合、溶接部に軟化域（溶接中心線から夫々25mmの範囲）が生

訂正(2011/11/18):
図6

じて強度が母材の半分程度まで下がる場合があり、液面揺動高さが大きくなるとフロートチューブ中央部に曲げモーメントが作用し、長尺のフロートチューブでは溶接継手部で折損することが危惧されること。

続いて、簡易フロート型内部浮き蓋の構造上の特徴から、液面シール機能を維持するために重要な役割を担うフロートチューブに着目し、フロートチューブについて図4のような二次元モデルに簡略化した解析を行い、フロートチューブの長さとの耐震強度の関係について解析しました。解析にあたり内容液の比重は安全側の取り扱いとして1.0と仮定し、強度検討では解析モデルの単純化を図り、検討対象のフロートチューブがタンク中央に配列されると想定しました。

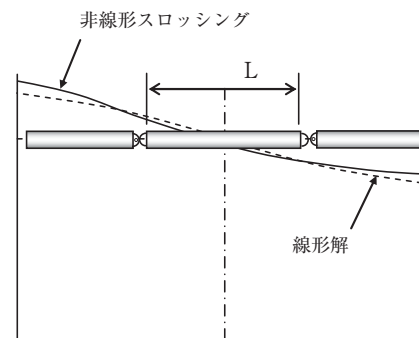


図6 フロートチューブ解析モデル

その結果、補正係数 $\nu_5=1.0$ のタンクに設置された簡易フロート型内部浮き蓋は、液面揺動時にフロートチューブに発生する歪みが小さく、タンク内径の大きさに関わらず消防法令が想定する液面揺動に対する安全性が担保されていると評価されました。また、補正係数 $\nu_5>1$ であるタンクに設置されたものについては、解析条件や実際にフロートチューブ破断事例があることを考慮し、アルミ製簡易フロート型内部浮き蓋で、タンク内径が30m未満と小さい場

合には、6 m を越える長尺のフロートチューブでは一定の安全性が確保できないと評価することが適切であると評価されました。なお、材質が SUS304 の場合は、比較的長尺でも問題は無いとされました。

9 内部浮き蓋の浮き性能に関する検討

内部浮き蓋は浮き屋根と異なり、消防法令上の技術基準が規定されていないため、現存する内部浮き蓋の浮き性能がどのように設計されているか調査し、過去の事故の発生状況から必要な浮き性能について検討しました。その結果、パン型及びバルクヘッド型内部浮き蓋は、密閉された浮き室を有していないため浮き性能に脆弱性が見られ、通常運転時及び地震時に内部浮き蓋上に内容物が乗る上げることによる沈没事故が発生しており、バルクヘッド型の場合、66 基の設置に対して 2 例の報告があります。これらのことから、パン型及びバルクヘッド型内部浮き蓋は、消防法令が浮き屋根に求めているレベルの浮き性能を期待することは困難であるとされました。

ポンツーン型内部浮き蓋及びダブルデッキ型内部浮き部は、現行の消防法令で規定されている浮き屋根と同等な強度及び浮き性能を有していれば、液面のシール機能を維持することが可能であり、かつ内部浮き蓋の浮力が減少して内部浮き蓋が沈降することは考えにくいいため、内部浮き蓋付屋外貯蔵タンクの安全性は確保できます。

国内で使用されている簡易フロート型内部浮き蓋の多くは API650 に準じて設計されており、その実績として地震時に内部浮き蓋が沈没した事例がないこと、また内部浮き蓋重量に対する浮き室浮力が十分（2 倍以上）にあるため、万一浮き室が破損しても内部浮き蓋が傾斜して液面シール機能が低下するおそれが少ないとされました。以上のことから、簡易フロート型内

部浮き蓋が API650 H.4.2.1「浮力に関する要求」を満足し、かつ浮き室が液面揺動時に破損しない長さであれば、液面のシール機能を維持することが可能であり、かつ内部浮き蓋の浮力が減少して内部浮き蓋が沈降することは考えにくいいため、内部浮き蓋付屋外貯蔵タンクの安全性は確保できるとされました。

10 噴き上げ防止に関する検討

内部浮き蓋の地震時以外の事故事例（表 5）8 件のうち受け入れ配管からの気泡の噴き上げが直接の事故要因と推定されているものが 3 件（事故事例 3～5）、間接的な事故要因となったと推定されているものが 3 件（事故事例 1、7、8）と高い割合となっています。内部浮き蓋付屋外貯蔵タンクにおいて噴き上げが発生した場合に安全性に与える影響は次のとおりです。

- ・内部浮き蓋上に内容物が乗る上げることにより、内部浮き蓋の傾斜し沈没するおそれが生じる。
- ・内部浮き蓋上に内容物の乗る上げることにより、上部空間に可燃性ガスが長期間高濃度で滞留する。
- ・噴き上げによって作用する力により簡易フロート型内部浮き蓋のデッキシートが破損する。
- ・簡易フロート型内部浮き蓋のシールゴムが内容物に触れることによりシールゴムの劣化が促進される。

一方、事故事例 7 の事業所では、事故タンク以外の内部浮き蓋付屋外貯蔵タンクの配管も窒素パージされていましたが、当該タンクにはディフューザーが設置されていたため、事故に至らなかったものと推定されました。このことから、噴き上げを防止することは内部浮き蓋付屋外貯蔵タンクの安全上有効であると考えられ、効果的な噴き上げ防止措置がどのようなものであるかを調査検討しました。その結果、空

訂正(2011/11/18): が

訂正(2011/11/18): が

気分離器や空気抜き弁などの配管から気体を抜く装置は実態調査の回答があったタンクのうち約半数に設置されていました。しかしながら、設置されていても作動されていないものも見受けられました。気体が混入するおそれのある配管では、気体を抜く装置を適切に作動させることが必要です。また、噴き上げ防止対策としてディフューザーが設置されているタンクも多くありました。しかしながら、中には噴き上げ防止機能が十分に発揮されない形状のものもあることが分かりました。一方、模型実験や実タンクの改造事例では、適切に設計されたディフューザーが高い噴き上げ防止機能を発揮することが確認されています。当該機能を発揮するためには、ディフューザーに設ける穴の配置、穴の総面積のパイプ断面積に対する比率、ディフューザーと内部浮き蓋の空気抜口の位置関係などを考慮する必要があります。なお、タンカーからの荷上げ開始時の流速を1 m/s程度で実施していたにもかかわらず噴き上げにより発生した事故があることから、流速を遅くすることは（静電気防止対策にはきわめて有効であるものの）噴き上げ防止には寄与しないとされました。

11 内部浮き蓋の液面シール機能の異常覚知に関する検討

内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクは内部浮き蓋の状況を外部から確認しにくく、内部浮き蓋に異常が発生しても覚知が遅れやすいため、異常を迅速かつ確実に覚知するための措置があれば安全対策上有効なことから、内部浮き蓋に沈没等の異常が発生した場合の覚知方法について検討しました。実態調査では、ほとんどのタンクに点検口は設置されているものの、1個のものが半数近くを占めていました。暗いタンクの中で1箇所の点検口から内部浮き蓋全体を確認することは困難であり、実際の事故対応でもこのことが障害となった事例があることから、内部浮き蓋全体が視認できるよう、点検口を固定屋根上に複数設置することが必要とされました。

また、ガス検知装置を設け、測定されたガス濃度に基づき内部浮き蓋の異常を覚知する方法について検討しました。その結果、以下の点に留意して設置・運用すれば、内部浮き蓋に異常が発生した場合の有効な覚知方法とされました。

- (1) 検知部の位置、センサーの感度により、装置全体としての可燃性ガスの検知能力が大きく変わるため、検知部の設置場所の選



図7 ディフューザーの効果に関する実験。

右：直接気体を吹き込んだ場合。気泡が大きな塊のまま上昇し、内部浮き蓋上に液体が大量に噴き上げる。
左：ディフューザーを用いた場合。気泡が分散され、液体の吹き上げ量が減少する。

定及び検知器の選定は内容物にあわせて適切に行う。(揮発性の低い危険物の場合には内部浮き蓋の近く及び側板の近くに設置する等。)

- (2) ガス検知装置が可燃性ガスを検知した場合には、運転状況、通常時の濃度との比較、その他の状況を勘案し、内部浮き蓋のシール機能が失われたか否かを判断する。

12 おわりに

以上の検討結果を基に、内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの安全性を確保するために必要な対策として図8のとおりまとめられました。消防

庁では、本検討会の検討結果を踏まえたうえで、所要の政省令改正を行う予定です。

内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクの安全対策に関する検討は、平成20年度から3か年にわたり行われてきました。内部浮き蓋にはいくつかの型式があり、それぞれ独自の考え方で作られていることから、調査検討すべき課題が多く、かつ技術的に難しい課題がいくつかありました。このたび結果をとりまとめ安全対策として提案できたのは、大谷座長をはじめご多忙中にもかかわらず調査検討に積極的に参画され、貴重な御意見をいただいた委員の方々のおかげです。この場を借りてお礼を申し上げます。

内部浮き蓋付き特定屋外貯蔵タンクにおける安全対策

●内部浮き蓋の型式別に必要な安全対策

事故事例	パン型	バルクヘッド型	ボンゾーン型	ダブルデッキ型	簡易フロート型
通常時の沈降事故1、日本海中部地震での沈降事故3	通常時の沈降事故2	十勝沖地震でボンゾーン型浮き屋根6基が沈降。浮き蓋では、ボンゾーン開口4、ボンゾーン内への内容物浸入5。	沈没に至る損傷は浮き屋根も含めて報告されていない。	十勝沖地震によるチューブ破損2、デッキ亀裂3、通常時デッキシート破損2、火災1、シールゴム不具合	
特定タンク設置数	17	66	251	22	372
耐震性能	耐震性は有していない。	耐震性を有していないものがある。浮き屋根の評価式は適用できない。有効な補修方法なし。	浮き屋根の評価式を適用して耐震性を評価できる。現在、内部浮き蓋に対して強度計算はされていない。	十分な耐震性を有している。	現在規定無し。 チューブ長とタンク径、液面揺動高さとの関係でチューブが破損しやすい条件が求められた。
浮き性能	平常時及び液面揺動時に沈没しつながらおそれが高い。	消防法令で想定する最大の液面揺動に対しては、損傷がない状態でも大きなタンクでは沈没するおそれ。	浮き屋根の評価式を適用して浮き性能を評価できる。現在、浮き蓋に対して浮き性能は確認されていない。	現在、内部浮き蓋に対して浮き性能は確認されていない。	自重の2倍以上の浮力及び2チューブ破損時に浮力が自重を上回る。
安全対策	事故のおそれが高いため、一定期間を定めて安全性の確認できる型式への変更を進める必要がある。	耐震性の確認が難しいこと、浮き性能が脆弱であり通常時でも事故が発生しており、一定期間を定めて安全性の確認できる型式への変更を進める必要がある。	次の全てが必要 ・浮き屋根と同じ耐震性能及び浮き性能。 ・浮き屋根の基準と同じ浮き室の溶接方法。 ・浮き屋根の基準と同じ浮き室マンホールの液密性。	次の全てが必要 ・上記浮き性能。 ・チューブ相互接合部が回転性を有すること。 ・アルミ製の場合、チューブに周方向の溶接接合がないこと。 ・アルミ製の場合、タンク径及び液面揺動高さに対して安全なチューブ長さであること。 ・気体が浸入するおそれのある配管に対して噴き上げを防止する措置が必要。	
特別な特定屋外貯蔵タンク					

●内部浮き蓋の型式に共通した必要な安全対策
溶接部の濡れ試験 浮力計算の液比重 浮き蓋の通気管 浮き蓋の回転止め シールゴム 滑動部分の発火防止 アースの設置 特別通気口* センターベント* 内部浮き蓋の点検口* (*は不燃性ガスにより常時ガスシールされているには不要なもの)

図 8 内部浮き蓋付き屋外貯蔵タンクに必要な安全対策