

平成 21 年度ものづくり中小企業製品開発等支援補助金  
(実証支援事業)

「浮き屋根式タンクのスロッシング対策としてのバッファ  
ー施工性評価手法の確立と施工性確認」評価報告書

平成 22 年 3 月

中央大学理工学研究所

(委託研究担当者：中央大学総合政策学部教授 平野廣和)

## 1. はじめに

2003年9月26日に発生した北海道十勝沖地震(M=8.0)は、やや長周期地震動を励起させ、震源から200km以上離れた苫小牧地区の屋外石油貯蔵タンクにおいて、7基のシングルデッキ型浮屋根が沈没に至る甚大な被害を発生させた。その内、1基のナフサタンクで発生した全面火災については、消火に困難を極めるものとなり、大きな社会的関心を集めた。この浮屋根の損傷は、シングルデッキと呼ばれる円形の鉄板の周囲に隔室(ポンツーン)を配した構造形式で生じた。主に、貯蔵液の液面揺動(スロッシング)にポンツーンが座屈し、内溶液がポンツーンの亀裂から浮屋根上面まで達し、浮屋根が沈み火災に発展したと考えられている<sup>1)~3)</sup>。

一方、地震発生が近いと言われている宮城県沖地震、東海地震、東南海地震、南海地震等の海溝型地震、いつ起きても不思議でない直下型の活断層型地震などこれらの地震は2~20秒のやや長周期の地震を強く励起する可能性が高いと予測されている。全国には10,000KL以上の大型屋外タンク貯蔵所は、約2,000機程度存在し、東海地震エリアには150機余り、東南海・南海地震エリアには740機余りあると言われている。

これを受けて浮屋根式屋外貯蔵タンクの浮屋根部分の損傷防止対策と改修措置に対する審査基準の策定に関する検討が行われるようになった<sup>4)</sup>。ここでは浮屋根の強度の評価方法に関する検討が行なわれ、この報告書を元に消防庁から新告知が発行され、浮屋根強度の評価項目が盛り込まれることとなった<sup>5)</sup>。これによると、浮屋根の強度評価に関しては浮屋根の変形を楕円形に変形するオーバリングと一様圧縮変形に分解して検討するとともに、浮屋根にかかる応力評価では圧縮作用面での局所座屈を考慮した有効断面の考え方を取り入れるなど様々な検討がなされている。

しかしながら、液面のスロッシングに伴う浮屋根の挙動の力学的特性については、中規模モデルでの検証が始まったばかりであり、実規模レベルでのタンクによる検証を十分行うことが必要である。特に過去の被害調査から、直径40m程度のタンクでは浮屋根の最大上昇が両振幅で約2m以上に達した場合<sup>5)</sup>、浮屋根に甚大な被害が発生すると

考えられているが、どのような液面形状に至った場合に浮屋根の損傷が生じたかについては、これから検討の余地が残されている。さらに現状では浮屋根の損傷や沈没の原因を検討するためのスロッシング挙動の研究は比較的少ないのが現状である。また、具体的な浮屋根のスロッシング制振手法に関しても研究が始まったばかりである。ここで、タンク内容液のスロッシングを低減する方法としては、浮屋根の剛性を高めることによってそれ自身に制振効果を持たせようとするものやタンク内に制振装置を設置することによって制振効果を得ようとするもの等が考えられている。しかし、これらの方法はその何れについても現在までのところ実用化の段階には至っていないようである。

そこで、株式会社十川ゴムならびに中央大学らの研究グループは、図-1 に示すように

浮屋根の外周部に合成ゴム製の減衰材を設置することで、スロッシングの抑制かつ浮屋根破壊を防ぐことと考案<sup>6)~10)</sup>し、これと並行して流体と構造連成の数値シミュレーション<sup>11)</sup>を行い、浮屋根の挙動を把握

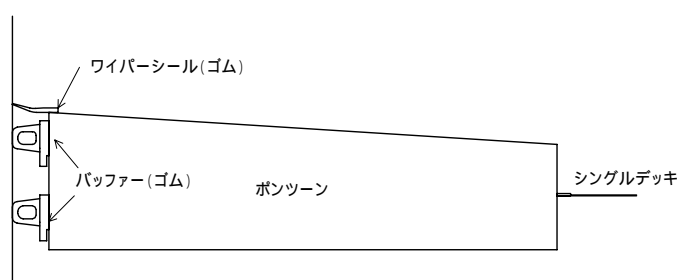


図-1 バッファ設置例

するシステム作りを行ってきている。その結果、浮屋根式タンクのスロッシング対策として高減衰ゴムを用いたバッファを開発し、制振工法としての機能を確立するに至り、地震によるスロッシング現象を1/3程度に抑制できることが実タンク実験結果などから得られている。しかしながら、浮屋根式タンクへの設置方法、浮屋根特にポンツーンに対する強度影響を確認し、最適な施工方法を確立することが課題として残されている。本報告書は以上のような社会的背景により、「平成21年度ものづくり中小企業製品開発等支援補助金(実証等支援事業)」に基づき、株式会社十川ゴムから中央大学理工学研究所が委託を受け、「浮屋根式タンクへのバッファ施工性に関する評価手法の確立とその施工性」(以下、バッファ施工性評価とする。)について評価確認を実施するものである。

## 2. バッファ施工性評価について

浮屋根式タンクにバッファを設置する場合、評価確認しておくべき事項として、浮屋根構造への影響とバッファの温度変化が考えられる。これは、バッファが設置される所が消防法で定められた危険物保安域であり、すべての物が防爆指定となるため、温度変化に関しては、十分なデータを示す必要がある。この項目を評価する必要性については、以下に述べる。

### 2.1 浮屋根構造への影響について

浮屋根は主に図-2 に示すように外周部に浮きの役割を担うポンツーンと厚さ 4.5mm と非常に薄い鋼板のデッキで構成されている。

地震時にスロッシングが発生した場合、貯蔵液の揺動で浮屋根が揺れ動きタンク側壁と衝突することで、浮屋根の損傷が生じる。場合によって、浮屋根の損傷によりポンツーンに貯蔵液が流入し、浮屋根が沈没する可能性も考えられる。そこで、これらの対策として、図-1 に示すようにバッファを設置することで、浮屋根のスロッシングによる揺動でタンク側壁との衝突することを防ぎ、さらにバッファがもつエネルギー吸収・逸散機能によりスロッシングを減衰させることを考案した<sup>12)</sup>。

この際、バッファはスロッシングによって浮屋根が揺動した時の運動エネルギーを

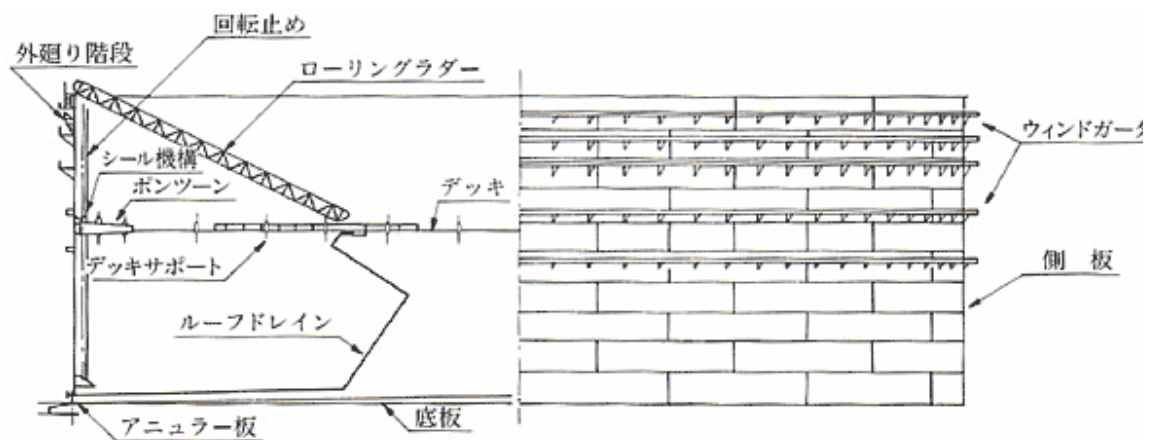


図-2 浮屋根式タンクの概要図

十分に吸収できるだけの吸収エネルギーを有する必要がある。バッファの吸収エネルギーは図-3に示すように、バッファの剛性曲線から求めることができる。(図-3の斜線部分が吸収エネルギー)つまり、浮屋根の運動エネルギーを吸収できるように適切にバッファ剛性および変形量を設定することが必要となる。しかしながら、過度にバッファの吸収エネルギーを設定した場合、バ

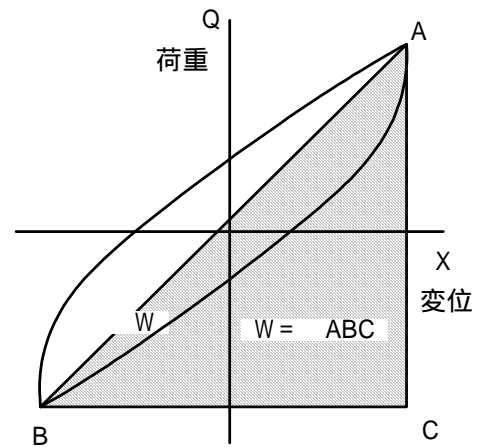


図-3 バッファの剛性曲線

ッファの剛性も高くなるため、スロッシングが発生した際にバッファを設置する部材を介してポンツーンに過度の反力を与えかねない。この場合、ポンツーンの座屈変形等を生じさせる可能性もあり、バッファ剛性とポンツーンに与える反力の関係を把握する必要がある。そこで、バッファの剛性を把握し、バッファ設置部材の反力・変形度について確認する。評価条件としては、まずバッファの静的剛性試験によって、バッファの基本剛性を確認し、次に実際にスロッシングが生じるときの周期に対応させてバッファを動的に载荷した際の影響を動的剛性試験として確認する。

## 2.2 バッファの温度変化

浮屋根式タンクの貯蔵液は通常原油やガソリンなどの石油類が貯蔵されている。したがって、浮屋根式タンクに設定する構造物で過度の発熱や発火を生じるものを設置することは消防法で禁じられている。過去には地震時のスロッシングによって浮屋根が揺動し、金属部材同士が接触することで火花が発生し、貯蔵液が発火する事故も報告されている。これらの事故も受けて、総務省消防庁では「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」の第四条の二二において、「浮屋根の上に設けられている可動はしご、回転止め、検尺管、浮屋根の外周縁の被覆等の滑動部分に用いる材料又は構造は、発火のおそれのないものであること。」と定めている。したがって、バッファは合成

ゴムで構成されているため直接発火することはないが、浮屋根と接触することで変形した際にゴム部材の発熱が生じることは考えられる。これは、浮屋根の運動エネルギーをゴムが吸収し、熱エネルギーとして逸散されることで生じる現象で、スロッシングを抑制させるメカニズムそのものである。通常、ゴムが繰り返し変形させた場合にゴム部材に極度の温度上昇が生じることは考えられないが、バッファーは大変形を伴う部材であることから、ゴム部における過度の温度上昇がないことを確認しておく必要がある。そこで、バッファーの大変形時におけるゴム部の温度変化をサーモグラフィ撮影により評価する。

### 3. バッファー施工性評価方法について

#### 3.1 バッファー評価モデル

特定屋外貯蔵タンク（1,000KL 以上）の中でも特に長周期地震動によるスロッシングが懸念される 20,000KL にも対応可能なバッファーを想定し、実スケールモデルとして図-4 のバッファーを評価する。

#### 3.2 バッファー剛性・反力評価試験方法

図-4 のバッファーモデルのポンツーン部分を写真-1 に示すようにリニアレールに接続し、アクチュエーターでバッファーモデルを押出すことにより、設置した反力壁に押

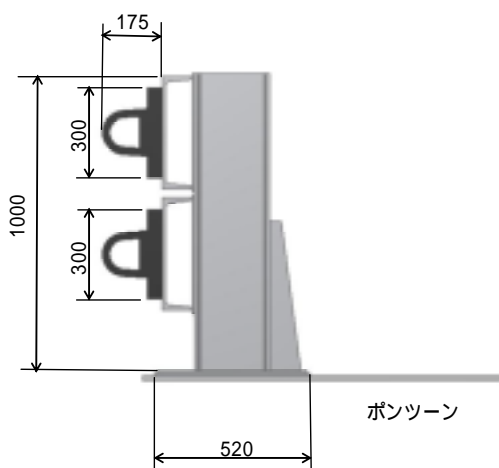


図-4 バッファー施工性評価モデル

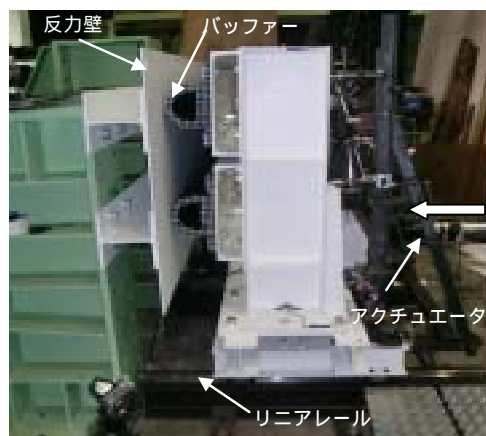


写真-1 バッファー施工性評価試験

し当ててバッファを圧縮载荷する。

データ採取については、図-5 に示すとおりである。バッファを圧縮载荷する際に生じる反力(モーメント)および変位量は、アクチュエーターに設置したロードセルより採取する。また、バッファ取付け部材の変形量の確認については、変位計を図-5 の写真のように設置して確認する。

次にバッファの変形時における挙動確認および温度変化は、図-5 に示すバッファ断面をデジタルビデオカメラおよび赤外線サーモグラフィーを用いて撮影する。図-6 に撮影イメージ図を示す。

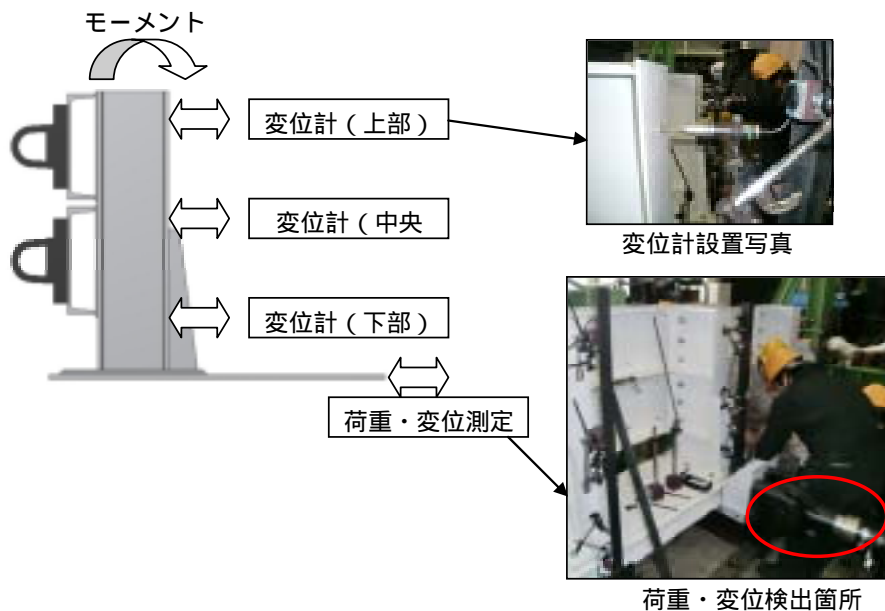


図-5 バッファ施工性評価試験

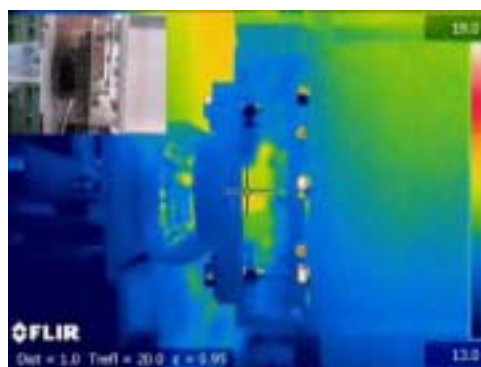


図-6 デジタルビデオカメラおよび赤外線サーモグラフィー撮影イメージ

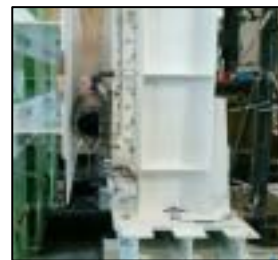
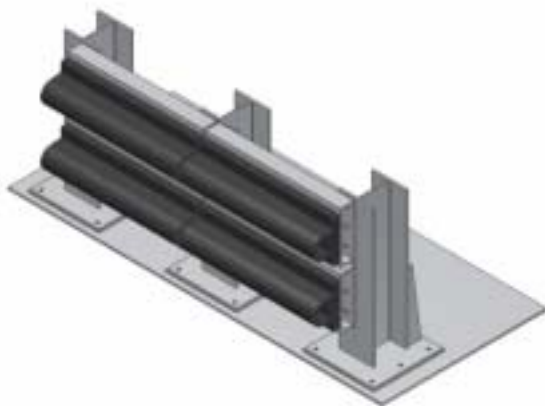
表-1 バッファー剛性・反力評価試験条件

試験項目	圧縮载荷条件	圧縮変位量 (mm)	繰り返し回数
静的試験	20 mm/min	0 ~ 90	5
動的試験	0.1Hz (周期 10 s)	10、25、50、75	20
	0.2Hz (周期 5 s)		
	0.3Hz (周期 3.3 s)		
	0.5Hz (周期 2 s)		
衝突試験	衝突速度 500mm/s	50、65、75	5
限界耐力	20 mm/min	0 ~ 限界まで	1

### 3.3 バッファー剛性・反力評価試験条件

写真-1 に示すバッファー剛性・反力評価試験において、バッファーの圧縮载荷する条件を表-1 に示す。

なお、動的試験において設定した圧縮载荷条件は、特定屋外貯蔵タンクの中で 2 万 KL 前後のタンクで想定される 1 次スロッシングモードの周期が 5 ~ 10s 程度であることによる。また、本試験条件で静的と動的試験条件および圧縮変位量をそれぞれ設定したのは、一般にゴム部材が周波数および変位量に依存して剛性が変化することが考えられ



パターン 1 : 下段のみ (バッファー 2 本)



パターン 2 : 上下段 (バッファー 2 本 × 2)

図-7 バッファー設置条件



るため、各周期における過度の剛性変化がないかを確認するためである。

次にバッファ設置部材が受ける反力(モーメント)影響を評価するため、バッファーの設置する条件としては、図-7 に示すように上段・下段に各 2 本取付けた場合と、下段のみに取付けた場合の 2 パターンでそれぞれ表-1 の評価を行う。

#### 4. バッファー剛性・反力評価試験結果

##### 4.1 静的条件におけるバッファー剛性・反力評価試験結果

表-2 および図-8 に静的条件におけるバッファー剛性と荷重-たわみ曲線を示す。

なお、剛性算出方法は、JISK6385「防振ゴムの試験方法」に準拠し、往復路方式のたわみ指定で算出し、図-8 に示す 5 回目の载荷時におけるたわみ 20mm-50mm と 60mm-80mm の 2 通りで算出した。

表-2 静的条件におけるバッファー剛性

パターン	算出区間	剛性 (N/mm)	バッファー1本あたりの剛性 (N/mm)
1 (下段のみ)	20-50mm	836.7	418.3
	60-80mm	1755.6	877.8
2 (上下段)	20-50mm	1767.5	883.8
	60-80mm	2309.4	1154.7

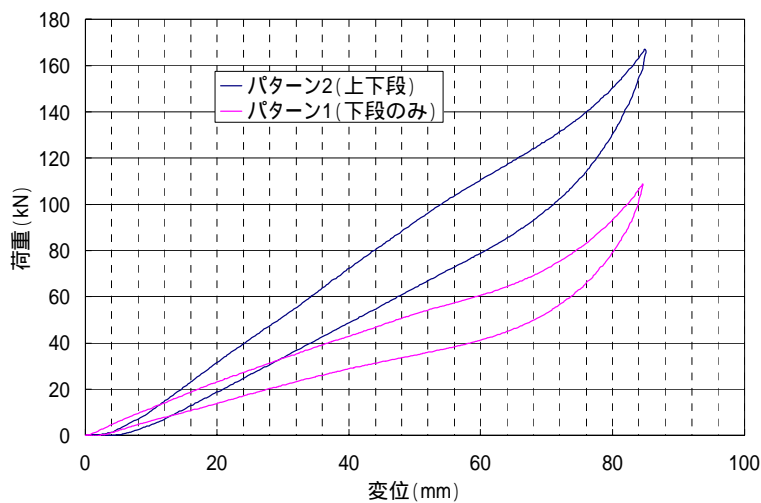


図-8 バッファーの荷重-たわみ(変位)曲線

表-2 および図-8 より、たわみが 60mm 以下では比較的線形な荷重上昇を示すが、たわみが 60mm を超えるとゴムのハードニング現象が生じていることがわかる。この傾向は特にパターン 1 (下段のみ) でのバッファ設置で強く見られる。これは、図-9 に示すバッファ取付け部材に設置した変位計を挙動から説明できる。アクチュエーターで中央部を押すことで、ゴムが圧縮変形され、反力の上昇とともにバッファ取付け部材の上部にはモーメントが生じ、矢印で示すようにアクチュエーターの軸上にある中央部の変位は比較的小さく、両側の部材の変位が大きくなっていることがわかる。これは、パターン 1 および 2 とともに程度の差はあるものの、中央部がアクチュエーターの軸力を直接的に受けやすく、両側はその影響度が小さくなることが原因として考えられる。これが図-9 で示したゴムのたわみとバッファ取付け部材変位の関係である。

ここで、パターン 1 と 2 を比べると、パターン 1 は下段のみにバッファを取り付けているため、比較的反力 (モーメント) が小さい。その結果、ゴムそのものの剛性特性がアクチュエーター側のロードセルで検出されるため、荷重-たわみ曲線でハードニングが生じたものと考えられる。一方で、パターン 2 の場合、上下段にゴムを設置しているため、反力 (モーメント) が大きくなり、それに応じてバッファ取付け部材の変位量が大きくなる。その結果、バッファ取付け部材の変位がゴムのハードニングを吸収する形となり、パターン 1 に比べるとハードニングの出現が小さくなると考えられる。

ここでバッファ取付け部材の支柱ベースに対する強度を検討する。本試験で用いた構

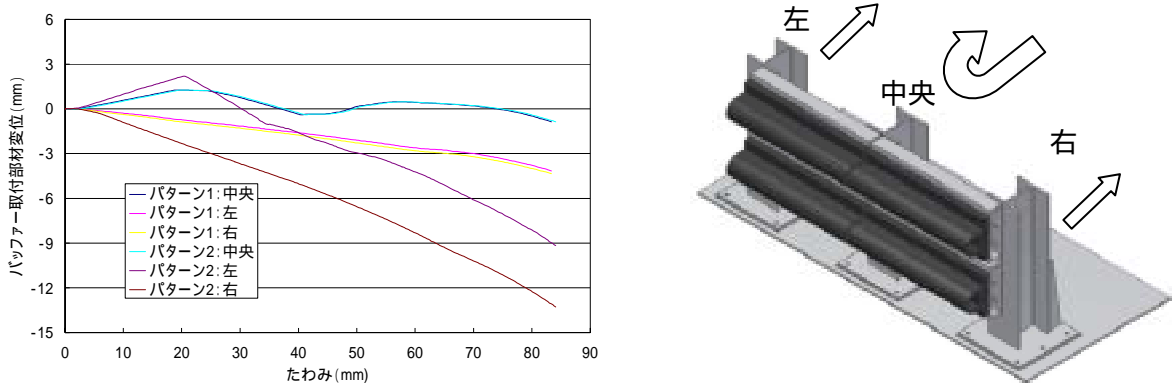


図-9 バッファのたわみとバッファ取付け部材の変位の関係

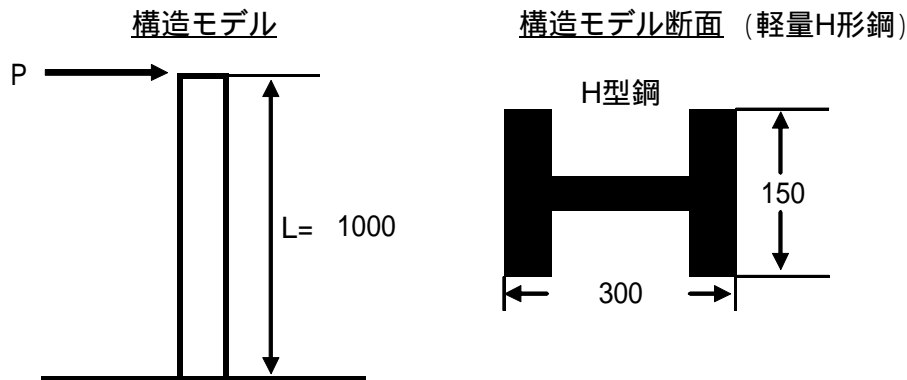


図-10 バッファ取付部材構造モデル

造計算モデル（軽量 H 形鋼）、断面モデルは図-10 とする。

本構造の許容応力度を 140MPa、本構造に生じる荷重 P を 196000N と仮定する。本部材に生じるモーメントは、 $M = P \times L = 196000 \times 1000 = 196000000\text{N}\cdot\text{mm}$  となる。このとき、部材に生じる曲げ応力度は、 $\sigma = M/Z = 196000000/31900 = 61\text{MPa}$  となる。ここで、Z は図-10 に示す軽量 H 形鋼の断面係数。上記計算より、 $61\text{MPa} < 140\text{MPa}$  となることから、支柱ベースに生じる応力度は許容応力度以下であることがわかる。

次にポンツーンに対する影響度を考えると、平成19年3月に総務省消防庁より発行された「やや長周期地震動に係る危険物施設の技術基準に対応した合理的改修方法の開発に関する調査検討報告書」に示された「形鋼によるポンツーン補強例 (P164)」のデータを基に応力レベルを表-3に示し比較する。表-3に示すポンツーンに発生する応力レベルを記号B以下にすることが必要であり、本構造で発生する応力値は最大で61MPaであることから、Cに属することがわかる。仮にAに属するポンツーンがスロッシングによって受ける応力値が240MPaである場合、バッファでは応力値を1/3に低減することが可能なため、バッファ部材がポンツーンの与える最大応力値61MPaとスロッシングで受ける応力値を80MPaを加えたとしても141MPaとなり、Cに属することになる。あくまでもバッファ部材がポンツーンに与える最大応力値は、バッファが限界まで変形した場合に想定される数値であるため、実際には相当量浮屋根の運動エネルギーを吸収し、

表-3 ポンツーンに発生する応力レベル

記号	応力レベル $\alpha (= \sigma / \sigma_y)$	応力値(N/mm <sup>2</sup> )	備考
AAA	2.0以上	490.0～	不可
AA	1.5～2.0	367.5～490.0	不可
A	0.9～1.5	220.5～367.5	不可
B	0.6～0.9	147.0～220.5	許容範囲
C	0.6未満	～147.0	許容範囲

応力レベル：ポンツーンに発生する応力（ $\sigma$ ）を限界条件である材料の降伏応力（ $\sigma_y$ ）で除した応力レベル  $\alpha$  に分類したもの。

逸散していることになるので、現実的にはここまでの応力値が生じることは考えられない。逆にここまでの応力値が発生するということは、バッファのエネルギー吸収能力が若干不足していることも考えられるので、バッファ取付部材の断面係数を上げて、バッファの吸収エネルギー量の上昇に対応させる必要がある。それと同時にポンツーン側の補強を加えることが望ましいと考える。

#### 4.2 動的条件におけるバッファ剛性・反力評価試験結果

動的試験では、バッファを浮き屋根式タンクに実際に設置し、スロッシングの周期に応じた圧縮荷がバッファに生じることを想定した場合、バッファの動的性質による剛性・反力の変化が生じないかを確認するものである。表-1 に示した荷方法でバッファの動的特性を評価する。

表-4 に各動的条件でのバッファ剛性を、そして図-11 および 12 に周波数および変位量に対するバッファ剛性の変化を示す。ここで、バッファの剛性は、20 波目荷時における表-4 に示す算出区間のたわみで算出した。

表-4 および図-11、12 より、周波数の増加によりバッファ剛性が上昇し、変位量の増加によりバッファ剛性が低下する傾向が見られる。

表-4 動的条件でのバッファー剛性

【パターン1(下段のみ)】

周波数(Hz)	変位(mm)	剛性(N/mm)	バッファー1本あたりの剛性(N/mm)	算出区間
0.1	10	1624.7	812.3	4-8mm
	25	1495.0	747.5	10-20mm
	50	1287.5	643.8	20-40mm
	75	1047.1	523.5	30-60mm
0.2	10	1553.1	776.6	4-8mm
	25	1476.3	738.1	10-20mm
	50	1313.1	656.6	20-40mm
	75	1090.0	545.0	30-60mm
0.3	10	1778.1	889.1	4-8mm
	25	1562.5	781.3	10-20mm
	50	1323.8	661.9	20-40mm
	75	1100.0	550.0	30-60mm
0.5	10	1578.1	789.1	4-8mm
	25	1520.0	760.0	10-20mm
	50	1406.9	703.4	20-40mm
	75	1172.5	586.3	30-60mm

【パターン2(上下段)】

周波数(Hz)	変位(mm)	剛性(N/mm)	バッファー1本あたりの剛性(N/mm)	備考
0.1	10	2662.5	1331.3	4-8mm
	25	2620.0	1310.0	10-20mm
	50	2541.3	1270.6	20-40mm
	75	2198.3	1099.2	30-60mm
0.2	10	2693.8	1346.9	4-8mm
	25	2643.8	1321.9	10-20mm
	50	2658.1	1329.1	20-40mm
	75	2267.9	1134.0	30-60mm
0.3	10	2740.6	1370.3	4-8mm
	25	2692.5	1346.3	10-20mm
	50	2730.6	1365.3	20-40mm
	75	2338.8	1169.4	30-60mm
0.5	10	2893.8	1446.9	4-8mm
	25	2848.8	1424.4	10-20mm
	50	2765.6	1382.8	20-40mm
	75	2407.5	1203.8	30-60mm

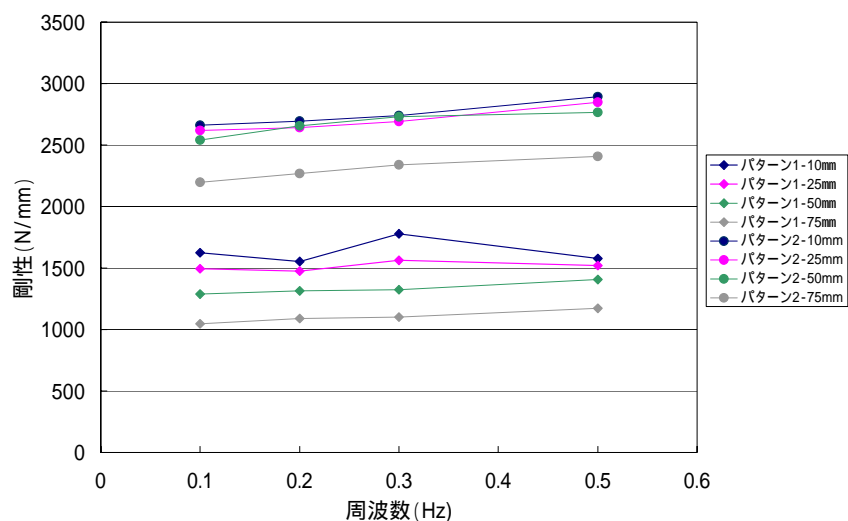


図-11 各周波数におけるバッファー剛性

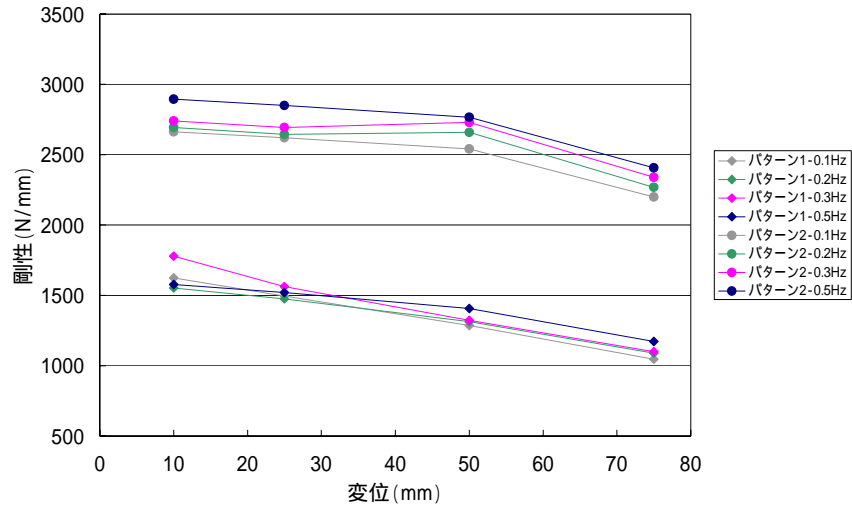


図-12 各変位量におけるバッファ剛性

バッファ剛性に関しては、パターン1ではバッファの圧縮変位量に対する依存性が高く、パターン2では、周波数に対する依存性が比較的高いことがわかる。周波数に対しては、0.1Hzから0.5Hzの変化によりバッファ剛性が最大で8.7%増加し、変位量に対しては、10mmから75mmの変化でバッファ剛性が最大で30%減少していることがわかる。ここで静的試験の結果と比較すると、静的試験ではバッファの圧縮変位量が増加するにつれて、バッファ剛性も上昇することが確認されている。しかしながら、動的試験では圧縮変位量の増加によって、逆にバッファ剛性の低下が見られる。これは図-13に示すように、動的に繰り返し変位（20波）与えてその変位量大きい場合、バッファの応力緩和が生じるため、3~5回程度の繰り返し変位で荷重-変位曲線が安定することがわかる。

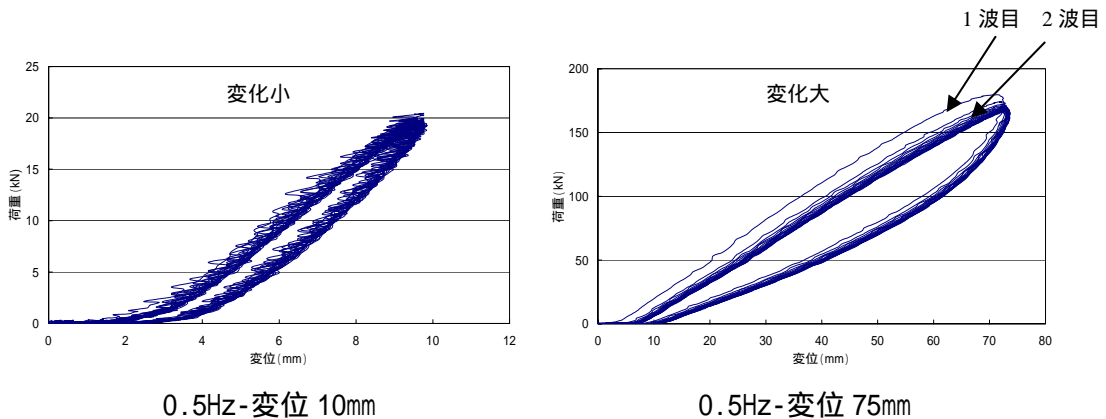


図-13 バッファ取付部材構造モデル

この応力緩和の原因として考えられるのが、ゴムの粘弾性であり、通常バッファーが変形することによって、運動エネルギーを吸収し、それを熱エネルギーに変換することでエネルギー損失を生じさせることを意味する。つまり、これがスロッシングによる浮き屋根の揺動による運動エネルギーを吸収し、逸散させるものと考えられる。一方で、「2.2 バッファーの温度変化」で述べたようにバッファーが極度に発熱することで貯蔵液の引火等の原因となれば大きな問題であり、その程度が温度差で数度以内であることを確認する必要がある。そこで、最も変形量の大きい 75mm と最も変形量の小さい 10mm での温度変化を確認するため、赤外線サーモグラフィーで撮影した結果を図-14 に示す。

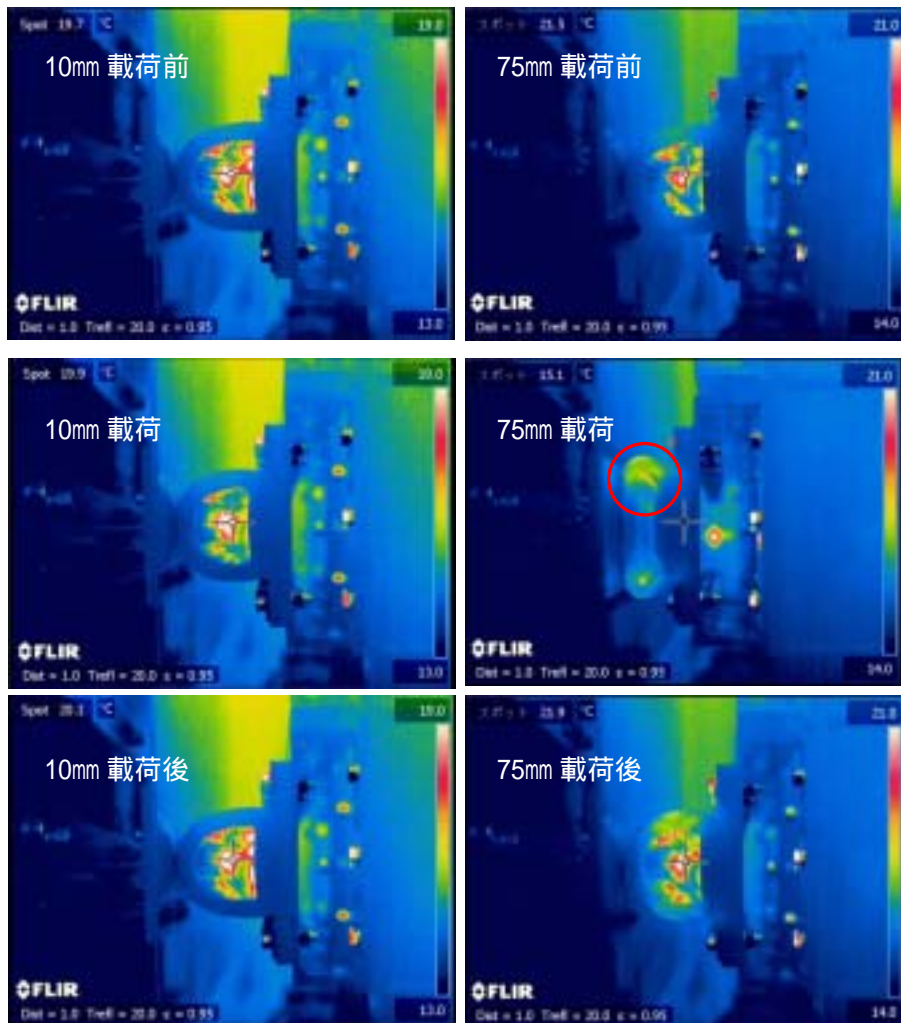


図-14 赤外線サーモグラフィーによるバッファーの温度変化

図-14 より、10mm 荷重では前後での温度変化がほとんど生じていないことがわかる。一方で、75mm 荷重では赤丸で示した変形時に応力集中する部分において約 2 の温度上昇が見られた。この結果から、バッファの変形によって熱エネルギーへの変換が行われていることが確認できるが、その温度上昇度は小さく、危険物を貯蔵する浮き屋根式タンクへの設置に対する懸念ないものと判断する。

#### 4.3 限界耐力試験によるバッファ取付部材の評価

限界耐力試験では、図-4 および写真-1 で示した試験体に対し、バッファ取付部材の破断等が生じるまでアクチュエーターで圧縮荷重する。その際のバッファ取付部材の限界耐力を確認し、実際に浮き屋根に設置する上での設計事項として把握することを目的とする。図-15 に限界耐力試験時の荷重-変位曲線を示す。

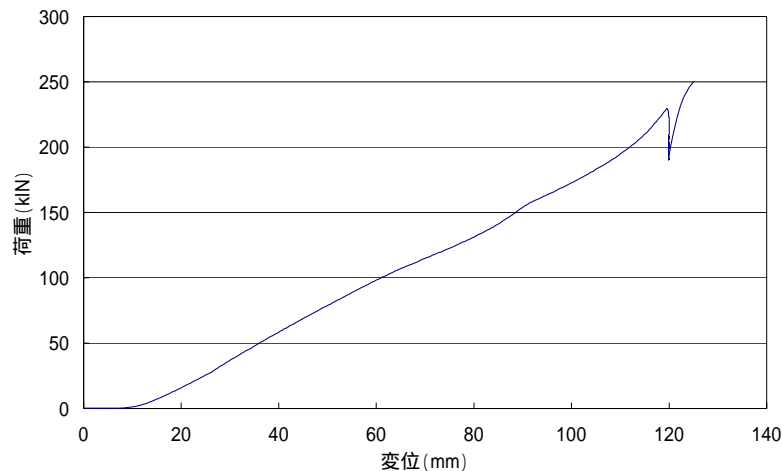


図-15 限界耐力試験でのバッファ取付部材の荷重-変位

図-15 より、220kN 付近でバッファ取付部材の荷重曲線に変化が生じており、確認した結果、写真-2 に示すとおり、バッファ施工部材の H 鋼基部において、フランジの変形と溶接部のき裂が確認された。この限界耐力試験でのバッファ取付部材の変位についても図-16 に示す。





写真-2 バッファ-取付部材の破損状況

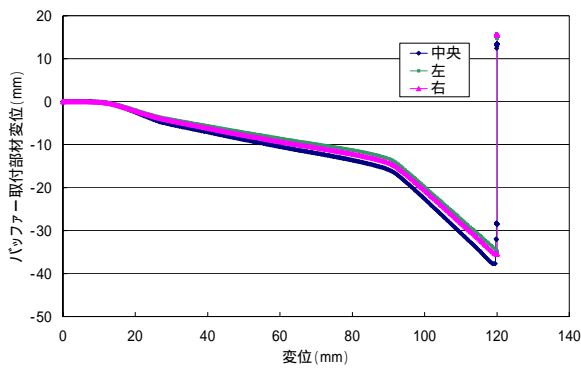


図-16 バッファ-取付部材



写真-3 バッファ-の限界変形状況

図-16 より、バッファの変位とともにバッファ-取付部材も徐々に変形し、バッファ-変位が 90mm を超えたあたりで急激にバッファ-取付部材の変位が増大して最終的には計測レンジを超えていることがわかる。これは写真-3 に示すようにバッファ-の変形量が 90mm を超えると、ゴムの中空部がなくなり、ゴムの非圧縮性で急激に剛性が高くなるため、バッファ-取付部材への反力負荷が急激に増大することが原因として考えられる。したがって、90mm 以上の変位については、バッファ-取付部材側で反力を受けることとなり、120mm を超えたところでバッファ-取付部材の破損が生じたものと推測できる。以上より、バッファ-取付部材の強度としては、バッファ-変形の限界点となる 90mm 以上の変位まで耐力を保持していることが確認できた。

## 5. まとめ

本報告で確認したバッファ施工性評価結果より、スロッシングによって浮き屋根が揺動した場合に、バッファを設置することでスロッシングを効果的に減衰させることができ、かつバッファがポンツーンに与える応力がポンツーンの許容応力内であることを確認し、かつバッファの施工が危険物保安上も悪影響を及ぼさないことを確認することにより、バッファ施工に関する有効性を検証した。以下にて詳細をまとめて示す。

バッファ設計時に想定する静的剛性に対し、スロッシング発生時に応じて変化する動的剛性については、スロッシング周期（周波数）に対する変化は10%以下と小さく、その応答速度による依存性が約30%の変化と大きくなることが考えられる。つまり、地震時に想定されている速度応答に対応させ、バッファ剛性の変化を加味した吸収エネルギーの設計が必要と判断する。

バッファ取付部材の強度については、バッファの変形限界までの耐力を有することが確認できた。バッファを取付ける部材については、軽量H鋼を用いることで軽量化が図られているが、バッファとH鋼を接続する部材に関しても軽量化を図る必要があると判断する。

バッファ取付部材の強度については、バッファの限界変形（90mm）以上での耐力を保持していることが確認できた。ただし、本試験のパターン2のようにバッファを上下段に設置した場合、曲げモーメントが増大し、ポンツーンへの影響も大きくなるため、浮き屋根の運動エネルギーをバッファで十分に吸収できる吸収エネルギーを確保が必要なものの、曲げモーメントの小さいパターン1での検討が望ましい。その対策として、バッファ設置数を増やすなどの検討が望まれる。

バッファがスロッシング時に変形することで生じる温度変化は、本評価結果より最大でも2程度であることが確認でき、「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」にて定められている「浮き屋根の上に設けられている可動はしご、

回転止め、検尺管、浮屋根の外周縁の被覆等の滑動部分に用いる材料又は構造は、発火のおそれのないものであること。」を満足するものと判断する。

#### 参考文献

- 1) 畑山健，座間新作，西晴樹，山田實，廣川幹浩，井上涼介：2003年十勝沖地震による石油タンク被害と長周期地震動，海溝型巨大地震を考える-広帯域強震動の予測-土木学会・日本建築学会 巨大地震災害対応共同研究連絡会地震動部会資料，pp.7-18,2005.1.
- 2) 平成 15 年十勝沖地震危険物施設の被害記録，危険物保安協会, 2004.12.
- 3) 坂井藤一：2003年十勝沖地震における浮屋根式タンクの被害について，日本鋼構造協会, JSSC No.52,2004.4.
- 4) 屋外タンク貯蔵所浮屋根審査基準検討会報告書，危険物保安技術協会，2004.9.
- 5) 石油コンビナート等防災体制検討会屋外タンク貯蔵所における技術基準等検討部会報告書，総務省消防庁，2004.1
- 6) 井田剛史，連重俊，平野廣和，坂東譲：浮屋根式タンクのスロッシング減衰に関する検討実験，第 32 回土木学会関東支部技術研究発表会， -100，2005.3.
- 7) 有田新平，井田剛史，平野廣和，佐藤尚次：浮屋根タンクのスロッシング固有周波数の確認，土木学会第 60 回次学術講演会,I 部門，2005.9.
- 8) 井田剛史，坂東譲,連重俊,平野廣和：浮屋根式タンクのスロッシング減衰方法に関する実験的検討，土木学会第 60 回次学術講演会,I 部門，2005.9.
- 9) 井田剛史，平野廣和，有田新平，佐藤尚次，奥村哲夫：スロッシング発生時の貯槽浮屋根挙動の一考察- 4000 タンクモデルでの振動実験,土木学会論文集 A, Vol.63, No.3, pp.444-453, 2007.6.
- 10) 井田剛史，平野廣和，森川卓保：造波機を用いての実機浮屋根式タンクでのスロッシング実験方法の提案，土木学会論文集 A 編，Vol.65, No.3, pp.568-573, 2009.9.

- 11) 平野廣和，松田宏，長沼寛樹，井田剛史，樽川智一：浮屋根式タンクのスロッシング時の挙動把握のための流れと構造の連成解析，土木学会構造工学論文集 No.53A，pp.605-615, 2007.3.
- 12) 浮屋根式タンクの制振構造，特願 2004-255968