# 浮屋根付タンクにおけるスロッシング挙動把握のための2次元による検討

(財)	電力中央研究所	正会員	○佐藤	雄亮	(財)電力中央研究所	正会員	酒井	理哉
(財)	電力中央研究所	正会員	佐藤	清隆	(財)電力中央研究所		東	貞成

## 1. はじめに

2003年十勝沖地震を契機に、長周期地震動が構造物等へ及ぼす影響が盛んに研究されてきている. 浮屋根を有するタンクのスロッシング問題についても長周期地震動による影響が懸念されており、現在、各種実験や解析的検討が実施されている.本検討では、スロッシング挙動が十分に解明されていないことから、基本的挙動を取得するため対象を2次元とし、観測地震波を用いた実験と汎用有限要素法コードを用いた解析の両面からの検討を実施した.

# 2. 実験概要

図1に実験で用いた矩形タンクの寸法を示す.用いたタンクの寸法は、横2000mm×高さ1500mm×奥行き500mm となっている.計測項目は図1に示すとおり、浮屋根の鉛直変位を測定した.計測箇所は浮屋根の両端と中央部の 計3箇所である.実験に用いた浮屋根模型は2種類で、材質をアルミの平板とし、板厚を0.5mmと1.0mmの2種類

を用いることで曲げ剛性に差を生じさせている. 寸法は矩形タン クとの干渉を考慮し,ともに横1980mm×奥行き490mmとした.また,浮屋根の両脇には浮材となる発泡スチロールをつけてある.

入力波は 2003 年十勝沖地震時に苫小牧地区で観測された観測 波の南北成分を用いた.入力波の加速度波形と速度応答スペクト ルを図 2 に示す.ただし,実験では速度応答スペクトルの卓越周 期がタンクの1次の固有周期と一致するように時間軸を 0.455 倍 に縮尺し,加速度振幅を 0.5 倍として入力した.

#### 3. 実験結果

まず,実験時に計測した固有振動数を表1に示す.同表から,1 次モードの固有振動数は浮屋根の有無によらず一定であるのに対 して,2次モードは浮屋根の剛性が高くなると振動数が大きくな ることが確認できる.

次に、実験結果のうち、図3に浮屋根端部における鉛直方向変 位の時刻歴を示す. 同図から、浮屋根を有する場合、浮屋根が液 体の鉛直方向の動きを抑制するため、波高が全体的に小さくなっ ている. 各データの最大波高を比較すると、自由液面時が168.6mm、 ケースAが163.5mm、ケースBが158.0mmとなっている. また、 減衰については、浮屋根を有する場合の方が大きい. さらに、浮 屋根剛性の差に着目すると、剛性の高いケースBの方が、減衰が 大きいことがわかる.

#### 4. 解析概要

浮屋根付スロッシング実験を有限要素法により再現できるかに ついて検討した.使用した解析コードは汎用有限要素法コード TDAPⅢである.TDAPⅢでは、ポテンシャル理論により定義された 液体要素を用いて流体構造連成解析を行うことができる.この他 に、構造物と液体の境界面を定義する連成面要素、浮屋根に作用 する浮力を定義する浮力要素、液体の表面を定義する液体表面要 素を用いて解析を行う.解析で用いた有限要素モデルのメッシュ 分割状況を図4に示す.浮屋根はシェル要素でモデル化した.各 要素のパラメータは表2の通りである.減衰は振動数比例型とし、 実験時に実施した自由振動実験の結果と解析が一致するように減



	自由液面	ケースA	ケースB
1次	0.61	0.61	0.61
2次	1.08	1.10	1.20

キーワード:長周期地震動,スロッシング,浮屋根式タンク,流体構造連成解析 連絡先:〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL:04-7182-1181 FAX:04-7183-2962 E-mail:satoy@criepi.denken.or.jp



図3 実験時の浮屋根端部における鉛直変位時刻歴

衰定数を設定した.入力波は実験時に計測した振動台の加速度と速 度を用いて,自由液面とケースAについて解析を行った.なお,浮 屋根と側壁との衝突は考慮しておらず,側壁は剛体としている.

#### 5. 解析結果

浮屋根の端部での鉛直方向の変位について解析結果と実験結果 で比較したものを,自由液面とケースAについて,図5と図6にそ れぞれ示す.図5から,自由液面の場合,全時間にわたって解析と 実験の変位応答が概ね一致している.それに対して,浮屋根を有す るケースAでは,50秒付近までは概ね解析により実験時の挙動を 評価できている.しかし,50秒以降は実験値と解析値の差が大き くなっている.自由液面での解析は実験とほぼ一致していることか ら,この差は浮屋根を加えたことによる影響であり,地震波入力に よる変位増加が終わり,変位が減少し始めてからの挙動に差が見ら れることから,振動数比例型の減衰特性を用いているために高次 モードの減衰を大きく評価しすぎていることや,浮屋根と液体間の 連成面要素の減衰などが影響しているものと考えられる.

# 6. まとめ

今回,浮屋根付石油タンクのスロッシング時における浮屋根挙動 に関する基本特性を解明するため,検討対象を2次元とした実験お よび解析による検討を行った.実験結果から浮屋根の有無や剛性の 差により生じる鉛直変位の差や減衰の違いについて明らかにした. また,汎用有限要素法コードを用いた浮屋根付タンクの解析では,

地震波により変位が増加している時間帯は良い結果を与えることが明らかとなった.

## 参考文献

・屋外タンク貯蔵所浮屋根審査基準検討会報告書 危険物保安協会 2004年9月



表2 解析に用いた要素諸元

ſ	シ	ヤング係数(kl	$7 \times 10^{7}$	
	エ	比重		2.7
	ル要	ポアソント	0.3	
	素	減衰定数	0.03	
	汯	比重	1	
	体	水中の音速(	1500	
	要 素	減衰定数	自由液面	0.0013
			ケースA	0.004

