

川崎重工業株式会社 〇正員 坂井 藤一、 竹村 勝之
正員 鬼束 博文、 玉木 利裕

1 まえがき

近年、大型の液体貯槽が次々と建設されて、全国的には相当の数に達しており、その耐震安全性については、非常に大きな関心が寄せられている。最近では、この点に関し研究が大いに進展し、基準の整備も図られつつあるが、一方でまだ解明されていない問題も散見され、地上式平底円筒貯槽におけるタンク本体と基礎（地盤）の相関挙動もそのような問題の例である。本研究は、その中でもタンク本体と基礎の間の滑動を検討したものである。一般に地上式貯槽では、アンカーを設ける場合と設けない場合とがあるが、アンカーは底板周辺の浮上りを防止するのが第一目的であり、滑動防止という観点からはアンカー・ストラップ形式のものでは考えられていない（アンカー・ボルト形式のものは抵抗力があるが）。

本研究は、アンカーによる水平抵抗力のないような状態での平底円筒貯槽の滑動挙動を解析的に検討したものである。大きな地震入力があった場合、タンク本体は滑動する可能性があるが、その一方ではその応答加速度の増幅は抑制され、滑動が生ずることは一種の免震効果の意味を持つことが、当然予想される。したがって、滑動による永久変位が許容できるものであれば、滑動現象それ自身は必しも不利とは限らず、積極的に利用することすら考えられる。本報告では、解析例を通じて、このような点を考察することにする。

2 解析モデル

解析の対象としたモデルは、実機相当の 80,000kl LNG貯槽である（表-1参照）。

解析の手順は、次のように実施した。

① シェル-液体連成振動（バルジング）の有限要素法固有振動解析

高さ方向シェル分割数 18

半径方向液体分割数 10

② 水平・鉛直それぞれの方向に1自由度の質点-ばね置換（図-1参照）

水平方向有効質量率 53.4 %

鉛直方向有効質量率 80.0 %

③ 底部地震波入力による時刻歴解析

減衰比（水平・鉛直ともに） 3 %

摩擦係数（静的・動的ともに） 0.3

入力地震波

El Centro 地震（1940）SOOE波を1倍、
1.5倍、2倍、2.5倍、3倍に増幅

表-2は固有振動解析の結果である。これより水平・鉛直それぞれの1次モードの周期は0.321 secと0.315 secと良く似ていることが分る。解析手法の妥当性は、別途実施した模型実験より確認されている。

表-1 対象実機モデル

内径 (D)	59.5 m	} $H/D = 0.484$
液高さ (H)	28.8 m	
内容液密度 (ρ_f)	4.949 ton/m ³	
シェル板厚	30.5~12.0 mm	
シェル密度 (ρ_s)	0.8010 ton/m ³	
シェル弾性係数 (E)	2.1×10^4 ton/m ²	
ポアソン比 (ν)	0.3	

表-2 固有振動解析の結果

	振 動 数	周 期
水 平 方 向	$f_{h1} = 3.11$ Hz	$T_{h1} = 0.321$ sec
	$f_{h2} = 5.60$	$T_{h2} = 0.179$
	$f_{h3} = 9.06$	$T_{h3} = 0.110$
鉛 直 方 向	$f_{v1} = 3.17$ Hz	$T_{v1} = 0.315$ sec
	$f_{v2} = 5.85$	$T_{v2} = 0.171$
	$f_{v3} = 7.67$	$T_{v3} = 0.130$

3 解析結果

解析結果の一例を図-2に示す。上図は、E1 Centro波の入力波形であり、これによる滑動なしの線形応答加速度倍率（絶対）は2.53である。したがって、1.5倍入力では必然的に滑動を生じ、中図のような最大3.57cmの相対変位歴を描くことになる。一方絶対加速度歴は下図のようになり、滑動に伴って線形解よりも最大値は減少し、むしろ入力の主要動部を過ぎた後で622.6galの最大値を示している。この値は線形解の最大値の48%に相当する。

解析結果を最終的にまとめたものが表-3であるが、これよりすべり変位は入力加速度が大ききほど増加するが、絶対応答加速度は比例的には増加しないことが分る。以下詳細は当日発表する。

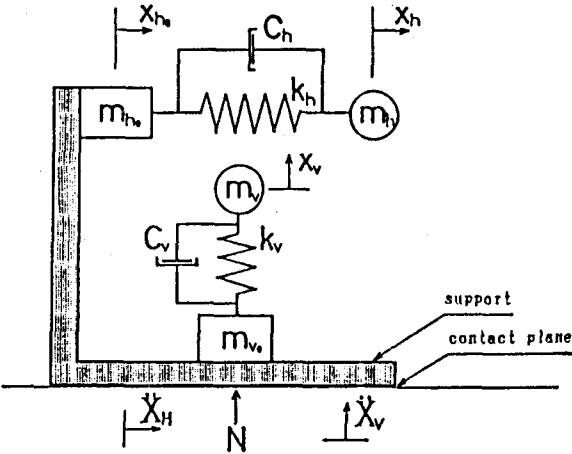


図-1 滑動解析用質点-ばねモデル

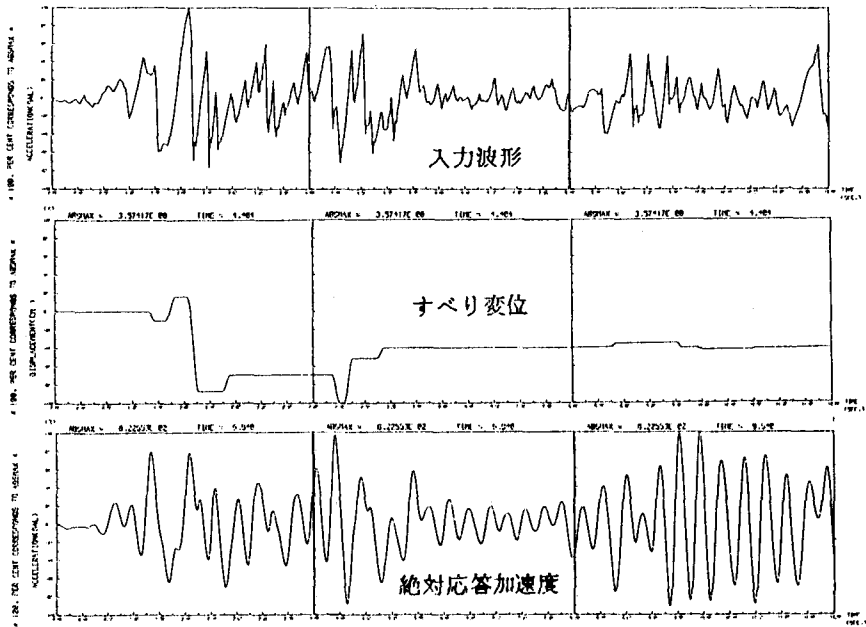


図-2 時刻歴解析結果の一例（水平入力 - 1.5倍のみ）

表-3 水平地震波による応答値

倍率	入力加速度 $\ddot{X}_H$	すべり変位	水平応答加速度 $\ddot{x}_h$		サポート応答加速度 $\ddot{x}_{hs}$	
			相対	絶対	相対	絶対
1.0	341.7 gal	1.48 cm	739.6 gal	608.6 gal	524.9 gal	520.2 gal
1.5	512.6	3.57	695.0	622.6	806.9	509.2
2.0	683.4	7.24	961.4	755.8	1100.0	660.5
2.5	854.3	8.58	1318.0	934.3	1311.0	852.0
3.0	1025.1	9.89	1638.0	1094.0	1543.0	992.6