

電力中央研究所 正〇岩楠淑広 国生剛治
同 上 杉井彰雄

(1) まえがき LMG地下タンクの耐震性の問題点の把握とその解明を目的とし、今までに実地盤上に比較的剛性の柔らかい模型地下タンクを作成し、直接起振実験、間接起振実験を起振機を用いて実施し、タンクおよび周辺地盤の振動挙動を調査し、SH波および表面波(Love波)に近い入力に対する地下タンクの振動特性について検討を行なった。その結果 SH波のような、タンク下方からの入力に対しては、地下タンクは、せん断1次振動主体の振動特性を示すが、表面波(Love波)のような横方向入力に対しては、せん断振動だけでなく、入力の位相差に伴って、オーバリング振動も顕著に示すことが確認された。^(参考文献1) SH波入力に対する地下タンクの振動特性について、さらに検討を進めたもので、振動台による室内振動試験を行ない、主として収下の点を主眼として検討した。(1) 周辺地盤の変形が地下タンクの動特性に及ぼす影響 (2) 地下タンクに作用する動土圧 (3) 地下タンクと周辺地盤の剛性の差が、タンクおよび地盤の変形に及ぼす影響、さらに 実験結果を数値解析で検証するため、解析モデルとして、地下タンク本体を薄肉円筒シェル要素モデル、地盤を回転体要素モデルとし、連続体としての有限要素法による解析を行なった。

(2) 地下タンク模型の振動実験 モデル地盤を底面積 $1.2\text{m} \times 0.8\text{m}$ 、高さ 1.0m のせん断土槽内に標準砂を均等に詰め作成し、この地盤中に地下タンク模型を設置した。(写真1)、そして本地盤を振動台上に設置して種々の水平振動力を加えて試験した。実験装置および方法については文献1、を参照したい。実験に用いた地下タンク模型は、真鍮製の薄肉円筒シェル構造で、寸法の異なる4種類のモデルである。これらの諸元を表1に示した。各モデルに対して実験を行なった。CASE 1は、土槽の底盤にタンクを固定したもので、構造物が基礎岩盤上に固定された場合を想定しており、また CASE 2は、LMG地下タンクのように、表層付近に埋設された場合を想定している。各々の場合、タンクの剛性(板厚)を変えて、実験を進めた。CASE-1では 周辺地盤の変形の影響を受けやすいように、タンクの剛性($k=0.5\text{mm}$)を小さくしており、タンクと地盤の加速度応答その他、タンクに生ずる歪の測定を行なった。また CASE-2では、タンクの剛性を増して($k=1.0\text{mm}$)、主として、タンクに付く動土圧の測定を行なっている。CASE 2についても ほぼ同様である。ここでは、主として CASE-1について報告する。また 本試験と平行して、模型地盤のみの振動試験を実施し、地盤の動的諸特性について検討した。(文献2)

(3) 結果 図1は タンク頂部(測点1)、地盤表面(測点9)および地盤中(測点8)の正弦波入力に対する共振曲線である。タンクと地盤のピークが一致し、 15.76Hz が共振点である。

また、図2は 共振点(16.0Hz)付近の地盤とタンクの加速度応答およびタンクに生ずる軸方向歪(ϵ_x)、円周方向歪(ϵ_y)を示したものである。地盤とタンクの挙動はほぼ一致しており、せん断1次振動が卓越している。また、 ϵ_x 、 ϵ_y は、タンク下端の固定端付近で最も大きくなっている。固有振動数は地盤のみの場合に比べて(15.0Hz)若干上昇する傾向があるが

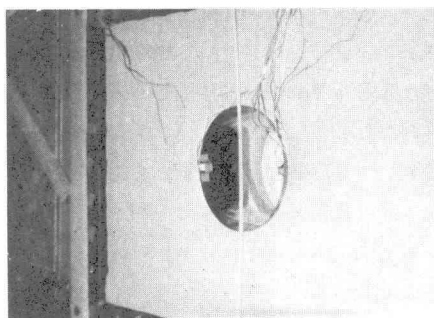


写真1 地下タンク模型

表1 地下タンク模型の諸元

	CASE 1		CASE 2	
	CASE-1	CASE-1-2	CASE2-1	CASE2-2
寸法	直径30cm	30cm	30cm	30cm
	高さ100cm	100cm	60cm	60cm
	板厚0.5mm	1.0mm	0.5mm	1.0mm
境界条件	土槽底盤に固定		土槽底盤に固定せず	

地盤の減衰や振動モードはほとんど変わらない。其の振動線図から正弦波より減衰を求めると5%~8%となった。

CASE 2 の場合

合には、(図3) タンクと地盤は、ほぼ同じ振動挙動を示すが、タンク底盤がタンクの振動特性に大きな影響を及ぼしており、タンク底盤付近の応答が増大し、深さ方向に対しては、せん断1次振動を示していない。この値向は、剛性の大きいタンクの場合 (CASE 2-2) に顕著となった。

(4) 解析手法 地下タンクと周辺地盤を連続体として連成させ、軸対称有限要素法モデル (図4) として固有値解析および、正弦波入力による応答解析を行ない実験結果と比較した。

本モデルは、地下タンクを薄肉円筒シェル要素モデル (105) とし、周辺地盤を回転体要素モデル (700) としたものである。

また、解析に用いた地盤の物性は実験結果より求めたもので剛性は深さ方向に増大傾向があり、また非線形性を示すが、ここでは、単層モデル ($\rho=1.438/\text{cm}^3$) に近似し、線形解析を行った。諸物性を、図4中に示した。1) 固有値解析の結果 1次固有振動数 (f_1) は、地盤のみの場合 17.75 Hz, CASE 1 の場合 18.8 Hz, CASE 1-2 の場合 19.29 Hz となっており、タンクの剛性を増すに従って若干上昇している。これは、実験結果 (地盤のみの場合 15.0 Hz, CASE 1 の場合 15.76 Hz) と良好対応を示している。

また、タンクを剛性の等価な梁に換算し、平面歪モデルとして解析を試みたが、 $f_1=37.5$ Hz となり実験結果よりかなり大きい値を示した。これは、シェルの剛性を大きく評価したためであり、振動モードにもその影響が強く表われタンク付近の応答は小さく、実験値と大きく異なっている。円筒シェルを梁に置換えて平面歪モデルとして解析するとかなり誤差があると考え。固有値解析により、本モデルの妥当性が明らかになったので、タンク下端に正弦波 ($f=16.0$ Hz, 4波長) 地盤の減衰5%として入力させた応答解析を行った。図2に、9.55 gal 入力による計算値と実験値と対比して示した。タンク頂部付近の応答は実験値の方が大きく異なるが、下に行くにしたがってほぼ一致する。地盤の物性を一定としたためこのような差が生じたものと考え。地盤の上部の剛性をやわらかくすれば、若干、上部の応答が増大し実験値に近づくものと考え。今後は、地盤を多層に模擬し、また、非線形性を考慮した解析を行ない検討を進めたい。

参考文献 1 国生, 岩他他「せん断土層による…」第5回関東支部, 2 国生, 岩他他「せん断土層中の…」第13回土質研究発表会 3 岩他, 国生他「LNG 地下タンクの…」第13回土質研究発表会

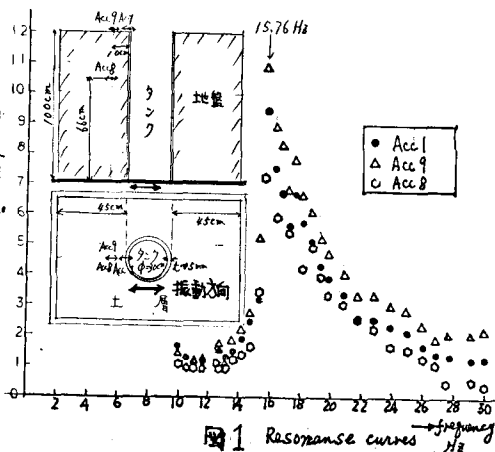


図1 Resonance curves

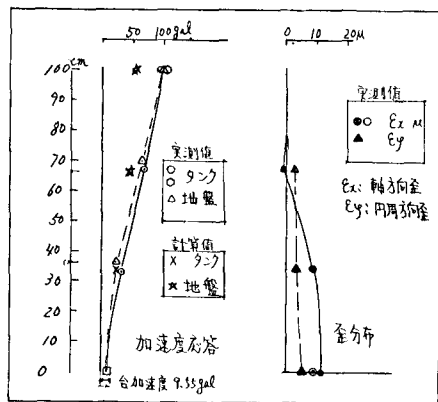


図2 共振点付近 ($f=16.0$ Hz) における地盤およびタンクの挙動 (最大値)

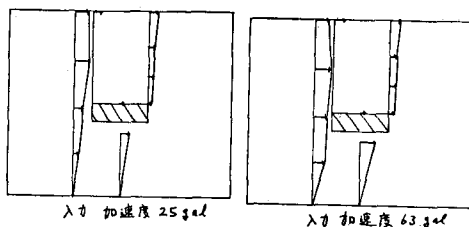


図3 過渡応答試験によるタンクおよび地盤の応答 (CASE 2-1)

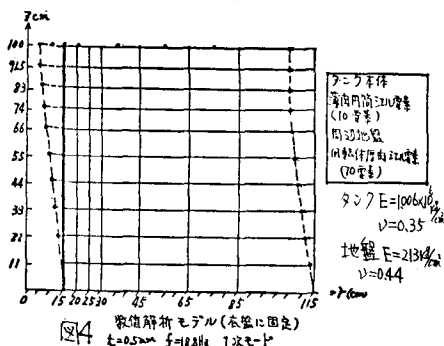


図4 有限要素法モデル (本型に固定)