

電力中央研究所 土木技術研究所の岩楯広
同 上 堀 一

1 はじめに 発電用燃料としての液化天然ガス(LNG)の利用増大に伴い、地上式、半地下式および地下式の大規模なLNGタンクが各地に建設されている。しかし、建設地点が埋立地や軟弱地盤であることが多く、その耐震性を検討する必要がある。本研究は、LNG地下タンクの耐震性の問題点を、現実性のより高い実験手法により追求するため、実際の建設地点に、地下タンクのシミュレーションモデルを作成し起振実験を行ないLNG地下タンクの動特性を把握しその耐震性を検討したもので、前回の報告にひきつづき、解析結果を中心に報告する。

2 試験項目 (1)直接起振実験 地下タンク底盤上に起振機を設置しタンクを直接に起振し動特性の検討を行なった。(2)間接起振実験 地下タンク近傍にコンクリートブロックを打設し、この上に起振機を設置し、ブロックを起振し、ブロックを振源とした水平方向表面波入力によるタンクの動特性の検討を行なった。

3 模型地下タンクおよびコンクリートブロックの寸法と形状 図1にタンクおよびブロックの配置を示した。模型地下タンクの寸法は、直径50cm、高さ2.5m、板厚1.2cmの鋼製タンクで底部に厚さ60cmのコンクリートが打設されている。また、コンクリートブロックの寸法は、50cm×30cm×10cmである。

4 試験結果 1)直接起振実験による地下タンクの動特性 (1)タンクの固有振動数として16.0Hz、18.0Hzおよび20.0Hz～25.0Hzが確認された。また、地盤の固有振動数として、8.5Hz～9.0Hz、11.0Hz～13.0Hzが確認された。(2)地下タンクは、せん断1次振動形主体で振動しており、オーバリング振動のような断面変形を伴うような高次の振動はほとんど生じていない。(3)地下タンク周囲のバネ係数は、表1に示すように実測値と計算値が良く対応している。2)間接起振実験による地下タンクの動特性 (1)間接起振によって、地下タンクに入力される表面波はLove波に近い特性を示す。(2)この波は振動数の変化によって位相速度が異なるため、波の進行方向に直角な互に相対する断面($\theta=0^\circ, 180^\circ$)では、最大で180°の位相差が生じ、このため、地下タンクは、オーバリング振動モードを示すことが確認された。(3)間接起振時には、断面形状の変化を伴うオーバリング振動($f=16.0\text{Hz}\sim 18.0\text{Hz}$)が顕著となった。

5 解析結果 1)解析モデル、地下模型タンクを周囲の地盤とバネで連結した軸対称薄肉円筒シェル構造物および5質点系モデルにモデル化した。(図2) 周囲の地盤のバネ係数($K_{\text{地盤}}$)、地盤係数($K_{\text{地盤}}$)は表1の実測結果を用いた。また、周囲の土の付加質量は考慮していない。2)解析項目 (i)5質点系モデルによる固有値解析、せん断1次振動およびロッキング振動に対する固有値を求めた。(ii)薄肉円筒シェル要素モデルによる静的応答解析。荷重条件、直接起振時に各共振点で実測された最大土圧および最大加速度による慣性力をタンクに静的に作用させた。○境界条件、周囲バネ支承、下端完全固定支承およびピン支承。(iii)薄肉円筒シェル要素モデルによる動的応答解析。荷重条件、正弦波1波長($f=25.0\text{Hz}$)を地下模型タンク底部から単位振巾で入力させた。○境界条件、(ii)の静解析と同じである。

3)解析結果 (a)固有振動数、表2に上述の解析によって得られた固有振動数を示す。5質点系モデルによるせん断1次振動に対する固有振動数は29.4Hzで実測結果より若干大きい。また円筒シェル要素モデルによる固有振動数は、せん断1次振動、オーバリング振動で26.1Hz、21.5Hzで実測結果に近い対応を示した。

(b)変位および応力の分布、図3は $f=20\text{Hz}$ 付近の土圧および加速度を入力させた時の静的応答解析結果(下端完全固定)であるが、下端がピン支承の結果に比べて、実測結果に近い分布を示した。図4は、動的応答解析による計算結果である。せん断1次応答解析による変位および加速度の分布は実測分布に近い分布となって

いる。曲げ応力、hoop応力およびせん断応力とも地下タンク下端付近で最大となる。また、オーバリング振動応答解析では、実験値にも見られるように、タンクの断面変形を伴うため、タンク頂部のhoop応力がかなり大きくなる。

6 あとがき 今後、入力波の位相差に伴う振動挙動、入力波の違いによる動時性等について検討を進め、実物への適用を計りたい。本研究を実施するに当たり、当所、地盤工学部の皆様に多大の御助力を受けました。ここに深く感謝致します。

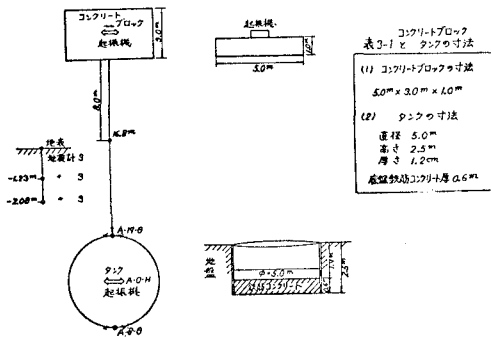


図 1 タンク配置図

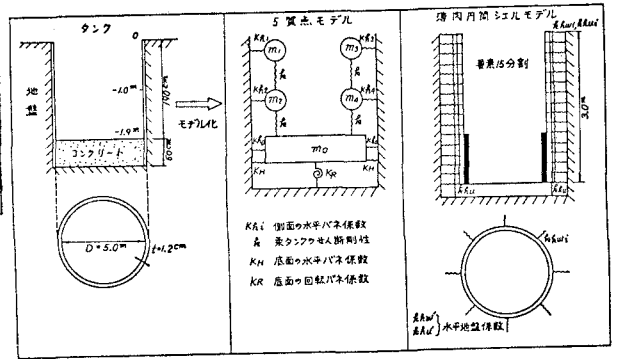


図 2 解析モデル

表 2 固有値解析結果

振動形	実験値	計算値			
		質点モデル	弾性内間シエラモデル	弾性内間シエラモデル	地盤の弾性内間シエラモデル
せん断1次振動 ($m=1, n=1$)	20.0 ~ 25.0 Hz	26.4 Hz	26.1 Hz	220.0 Hz	6.0 Hz (地盤)
オバリング振動 ($m=1, n=2$)	17.6 ~ 18.5 Hz		21.5 Hz	144.0 Hz	
ロッキング振動		18.7 Hz	6.0 Hz		
($m=1, n=0$)			27.9 Hz	264.0 Hz	

表 1

タンク側面の地盤係数 k/c (cm ²)	タンク底面の地盤係数 k/c (cm ²)
実験値 k/c	実験値
1.0 ~ 1.6 * 10 ³ (cm ²)	1.06 ~ 1.75 * 10 ³ (cm ²)
	1.67 ~ 2.2 * 10 ³ (cm ²)
	1.67 ~ 1.59 (一様分布)
	2.09 ~ 2.10 (不均分布)

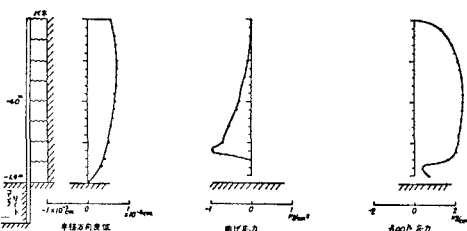


図 3 動的応答解析結果
(せん断1次振動 ($m=1$)
下端の境界条件、変位固定)

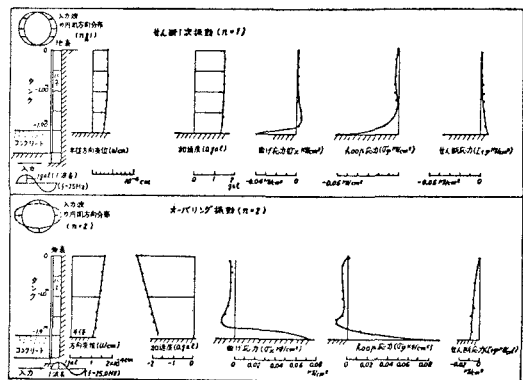


図 4 最大応答値 (変位, 速度, 力)

7 参考文献 岩橋尚弘, 堤 一, : 起振実験による柔構造模型タンクの動特性

第32回土木学会年次学術講演会講演概要集 第3部 P 283 ~ 284