

I-311 LNG地下式貯槽の振動性状に及ぼすタンク埋設深度と
底版の結合方式の影響について

顧問組 技術研究所 正員 山口 靖紀
同 上 ○ 辻田 満
同 上 脇田 和試

1. まえがき

軟弱地盤中に建設される6～9万kℓクラスのLNG地下式貯槽を想定し、模型振動実験を行い、タンクおよび周辺地盤の地震時の挙動に及ぼすタンクの埋設深度と底版の結合方式の影響について検討を行った。

2. 実験概要

(1) 地盤およびタンク

地盤は層厚60mの2層系の沖積地盤($V_s \div 100 \sim 200 \text{ m/sec}$)を想定した。タンクは、タンク径60m、側壁厚3m、底版厚7m、埋設深度27～42m程度の6万kℓと9万kℓの2基を対象とした。

相似則は次元解析の手法により、表-1に示す値とした。実験材料として、地盤モデルにはプラスチック(塩化ビニール+フタル酸ジオクチール)とタンクモデルには硬度90のウレタンゴム(東洋ゴム製)を用いた。また、地盤モデル周辺に粘性境界(油+ウレタンマット)層を設けた。実験モデルの概形を図-1に示し、物性値を表-2に示す。

表-1 相似比

項目	模 型
長 さ	1/300
弾 性 係 数	1/2000
密 度	0.589
時 間	0.1144
加 速 度	0.2547
ひ ず み	1.0
応 力 度	1/2000
ポアソン比	1.0
減衰定数	1.0

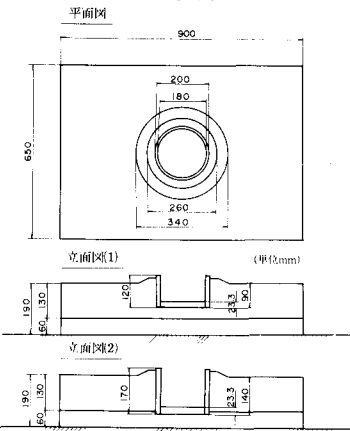


図-1 模型概要

表-2 物性値

	想定構造物	模 型
下層地盤	弾性係数 (kg/cm ²)	2400
	単位体積重量 (g/cm ³)	1.8
	ポアソン比	0.48
	減衰定数	0.15
上層地盤	弾性係数 (kg/cm ²)	940
	単位体積重量 (g/cm ³)	1.8
	ポアソン比	0.48
	減衰定数	0.15
コンクリート	弾性係数 (kg/cm ²)	2.48×10^5
	単位体積重量 (g/cm ³)	2.5
	ポアソン比	0.48
	減衰定数	0.15

(2) 加振条件および測定項目

入力加速度は振動台を基盤と考えて正弦波入力とした。振動台の振幅は平均1mmとし、振動数は0.5～2.5Hzとした。測定は加速度、変位、位相、動ひずみの4つの項目について行い、前者の3つについては地盤部およびタンク躯体部で13点加速度計を取付け測定し、後者についてはタンク躯体部に18点ひずみゲージを取付け測定した。

(3) 実験内容

タンクの埋設深度の影響を知るために、タンクの埋設深さを9cmと14cmの2種類変化させて実験を行った。さらに、底版の結合方式の影響を知るために、各々の埋設深度に対して底版のない状態と底版をタンク側壁に剛結した場合の2種類変化させて実験を行った。前者は地震外力に対するタンク構造を側壁構造だけで考えた場合のフリー結合(かけちがいによる連結構造)、またはピン結合(PG鋼棒による連結構造)を想定したもので、後者は底版と側壁を一体化した剛結合を想定したものである。

実験は全て空液時の状態を想定して行ったが、最後に満液時の状態を想定し、液体に相当する重量の鉛板をタンク側壁に付加して実験を行った。また、その他にタンクのない自然地盤モデルでも実験を行った。

3. 実験結果

(1) 加速度の増幅倍率

加速度の共振曲線を図-2、図-3に示す。地盤の加速度の増幅倍率はいずれのケースも図-2に示すようにタンクに近い地盤ほど小さくなり、タンクによる地盤の拘束効果がうかがえる。

図-3はタンク側壁頂部に着目して加速度の増幅倍率を比較して示したものである。

これによると以下のことが明らかとなる。

- ① 底版がない場合は一次共振ではタンクの埋設深度が深い方が加速度の増幅は大きい、底版のある場合は逆の傾向にある。

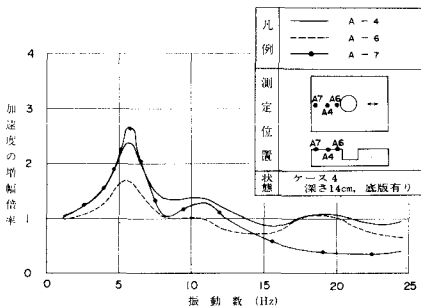


図-2 加速度の共振曲線(地盤)

- ② 底版の有無による差異は、タンクの埋設深度にかかわらず底版のある方がない状態に比べて加速度の増幅は小さく、底版の拘束効果がうかがえる。また、この傾向はタンクの埋設深度が深い方が顕著である。

なお、タンクの埋設深度および底版の有無にかかわらず、地盤-タンク連成系の共振振動数は自然地盤のそれと有意な差は認められなかった。

(2) タンク躯体の動ひずみ

図-4、図-5はタンク上段面および下段面の円周方向の曲げひずみの共振曲線を示すものである。また、図-6にタンク構造の違いと最大ひずみの関係を示す。なお、これらの図は全て基盤加速度を100galに正規化して示したものである。

この結果、次のようなことが言える。

- ① 曲げひずみおよび軸ひずみの底版の有無による違いは、底版の有る方がない場合に比べて小さい。また、この傾向は曲げひずみの方が著しい。

- ② 底版のない場合は、上段と下段の動ひずみにあまり差はないが、底版のある場合は上段に比べて下段の方が約50%程度小さい。

- ③ 軸方向の動ひずみは円周方向の動ひずみに比べて小さい。また、この傾向は底版のない状態の方が著しい。

- ④ タンクの埋設深度の深い方が浅いものに比べて動ひずみが大きい。

- ⑤ 曲げひずみ、軸ひずみとも一次の共振の振動特性に支配されている。

4. まとめ

同一の埋設深度で底版を剛結合した場合は、地震外力に対するタンク構造体を側壁構造だけで考えた場合に比べて加速度の増幅を10~20%程度小さくすることができ、タンク躯体に発生する地震時の動ひずみを約50%程度低減することができる。また、地震外力に対するタンク構造体を側壁構造だけで考えた場合、埋設深度が1.5倍深くなると、タンク躯体に発生する動ひずみは2.0倍程度大きくなるが、底版を剛結合するとその増加の割合が1.5倍程度となる。

なお、本実験では空液時と満液時との実験結果の比較においては有意な差は認められなかった。

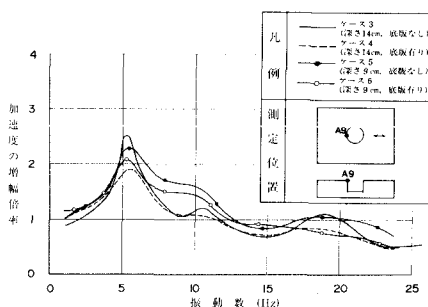


図-3 加速度の共振曲線(タンク躯体)

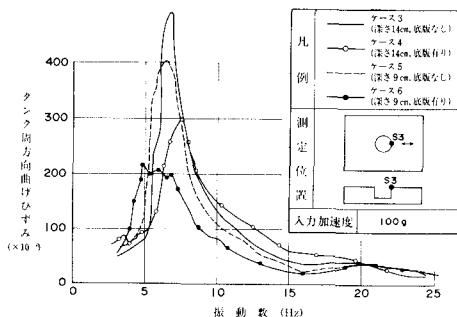


図-4 動ひずみの共振曲線(タンク周方向曲げひずみ)

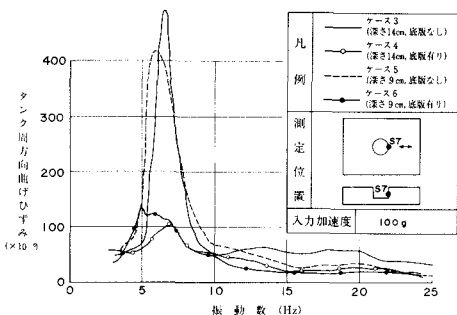


図-5 動ひずみの共振曲線(タンク周方向曲げひずみ)

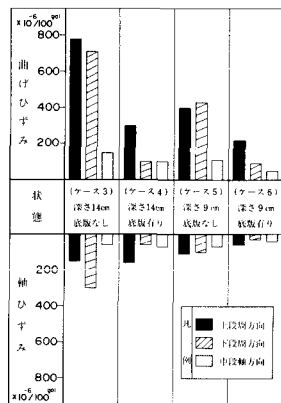


図-6 タンク構造と最大動ひずみの関係