

㈱大林組 土木本部設計部 学生員○鎌田 文男

㈱大林組 技術研究所 正員 後藤 洋三

1. はじめに

LNG, LPG等を大量に貯蔵するための地上式低温貯槽は、ほとんどが臨海埋立地に建設されるため、大規模な群杭基礎が用いられている。これらの貯槽の耐震性を検討するためには、構造物の地震時挙動を正確に理解することが必要となるが、大規模な群杭基礎の振動特性に関しては実測データもほとんどなく、その把握が重要な技術課題となっている。そこで、大規模な群杭基礎をもつ貯槽の減衰特性を明らかにするために、回転体有限要素法による貯槽-群杭-地盤連成系モデルを用いたシミュレーション解析を実施した。この結果について報告する。

2. 解析方法

解析モデル： 地上式貯槽はLNG用6万KL級貯槽、地盤は臨海埋立地の軟質な砂質地盤を考え図-1のようにモデル化した。貯槽部分はバルジングの1次モードを対象として、液体固定液重量と内槽重量を合計した集中質量と内槽の曲げセン断剛性に相当する梁で表現した。基礎スラブは剛な一枚の板で表わし、群杭は、 $\phi 700, \ell 30m$

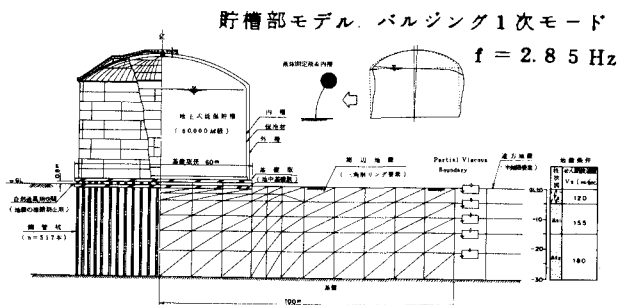


図-1 解析モデル

の鋼管杭517本を、曲げ、セン断および軸力を受けて変形する等価な円筒に置換し、杭群の拡がり consideringして半径が0, 10, 20, 30mの4重円筒にモデル化した。この杭群を表わす円筒要素と地盤とは直接結合せずに、杭のK値に相当するバネ要素を両要素の節点間に挿入した。地盤は貯槽中心から100mまでをモデル化領域とし、遠方地盤との間にPartial Viscous Boundary¹⁾を挿入して側方への逸散減衰を考慮できるものとした。地盤の剛性および杭のK値は大地震時を想定して決定した。材料減衰は、貯槽と杭は5%, 地盤は10%, 杭と地盤を結ぶバネについては歪が特に集中することを考慮して12.5%とした。

解析ケース： 表-1に示す6ケースについて、基盤に地震波(エルセントロNS, ハフNS, タフトEWの3波)を入力した場合と貯槽部分に $P_0 = 1000t$ の正弦波外力を作用させた場合の応答を求めた。

3. 解析結果と考察

基礎に地震波入力した場合の貯槽部の最大応答加速度を遠方地盤地表面のそれとの比で表わし、平均すると表-1の値となる。各解析ケース間に大きな差はないが、傾向としては「一重スラブ型式」>「二重スラブ型式」>「ベタ置杭基礎」となっており、直接基礎は二重スラブ型式とベタ置杭基礎の中間的な値を与えている。変位応答についても同様の結果であった。これらの傾向を貯槽部に正弦波外力を作用させた時の周波数応答特性から考察する。各ケースの周波数応答曲線を重ね書きにしたものを図-2に示すが、ピークの生ずる位置に大きな差は見られない。貯槽部の固有振動数は地盤との連成により低めに移行しているが、高床式の一重スラブ型式では杭が突出部することによる剛性低下も相まって、移行量が最も大きい。応答量は、貯槽の固有振動数付近(2.5^{Hz} 前後)では各ケースともほぼ等しい。強いて言えば、直接基礎が基礎のロッキングの影響で多少大きめの値を与えている。地盤の卓越振動数付近(1.5^{Hz} 前後)では、高床式は底部加温式に比べ重心高さが大きくなり、更に一重スラブ型式では杭突出による剛性低下もあって振幅が大きくなっている。このように構造物の振動特性が各ケースとも似かよっているために、地震入力した場合の応答に大きな差が生じなかったと考えられる。また各ケース間の差は、主として地盤の卓越振動数 1.5^{Hz} 付近での応答量の差に起因していると考えられる。次に、貯槽の見掛けの減衰常数を図-2から $1/\sqrt{2}$ 法で

求めると、表-1、図-4のようになる。群杭基礎をもつ高床式の一重スラブ、二重スラブ型式とベタ置杭基礎の値は16%程度ではほぼ等しく、これに対して直接基礎では12%とそれらに比べ、やや低めの値となっている。これは群杭が仮想ケーソンの効果（すなわち基礎の根入れ効果）を持ち、振動エネルギーの周辺地盤への逸散が大きいことによると考えられる。なお、別途、基盤に正弦波を入力した解析も行ったが、同様の結果であった。比較のために、貯槽の振動数を地盤の卓越振動数より低くしたケースと、貯槽の振動数を変えずに杭本数を約半に減じたケースについて、同様の定常応答を求めたものを図-3に示す。貯槽の振動数を地盤の卓越振動数より低くした場合（地盤の剛性が非常に高くなった場合とも解釈できる）では、見掛けの減衰常数は5.6%と貯槽の材料減衰常数5%程度の値でしかない。次に群杭の本数を半に減じた場合の減衰常数は約9%で、元の杭本数の場合に比べかなり低くなり、杭と地盤との接触度の低下の影響が顕著に表われている。この比較ケースの結果から、先の4ケースの見掛けの減衰量は材料の内部減衰と側方への逸散減衰の和であることがわかる。

4. む す び

以上の解析で得られた貯槽の減衰特性は、最近制定された高圧ガス取締法の耐震設計基準²⁾で規定している平底円筒貯槽の減衰常数（表-2）と調和した傾向となっている。

謝 辞： 本検討を進めるにあたり、大阪瓦斯労働千元次長および労働大林組土木本部設計部宇梶賢一課長から貴重なご助言・ご協力を戴きました。また、数値解析では労働大林組土木設計課桂浩二氏に多大な協力を戴きました。

ここに深く感謝の意を表します。

表-1 解析ケースと解析結果

解 析 ケー ス		地 震 応 答 解 析	定 常 応 答 解 析
		貯槽部の加速度応答係数*	貯槽の減衰常数(%)
高床式 底層加振式	一重スラブ型式 : CASE. 1	1.71	16.6
	二重スラブ型式 : CASE. 2	1.65	16.6
	ベタ置杭基礎 : CASE. 3	1.56	15.6
	直接基礎 : CASE. 4	1.60	12.3
高床式 一重スラブ型式	(貯槽の固有振動数) > (地盤の卓越周期) : CASE. 1-1	—	5.6
	・ 杭本数 1 (上部工重量1) : CASE. 1-2	—	9.0

* 貯槽部の加速度応答係数 = 貯槽部の最大応答加速度 / 3 入力波の平均値
 地力地盤地表面の最大応答加速度

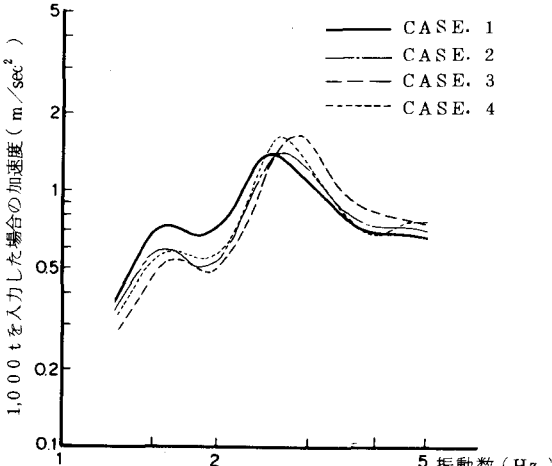


図-2 貯槽部の応答加速度（その1）

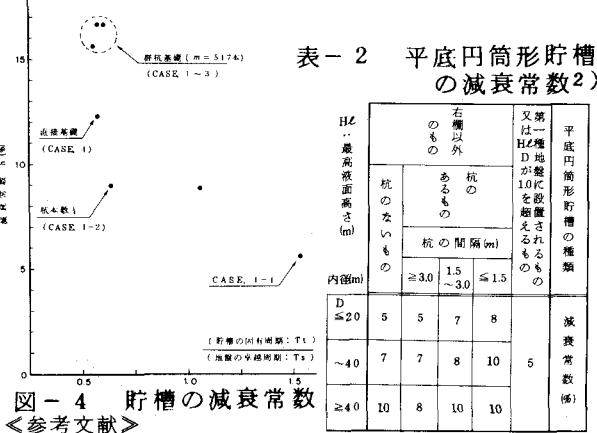


図-4 貯槽の減衰常数
 <参考文献>

表-2 平底円筒形貯槽の減衰常数²⁾

H/E = 最高液面高さ(m)	右欄以外 のもの				第一又は第二H/E値が10に等しいか否かを判断されるもの	平底円筒形貯槽の種類
	杭のないもの	杭のあるもの				
		杭の間隔(m)				
		≧3.0	1.5 ～3.0	≦1.5		
内径(m)						
D ≦20	5	5	7	8	5	減衰常数(%)
～40	7	7	8	10		
≧40	10	8	10	10		

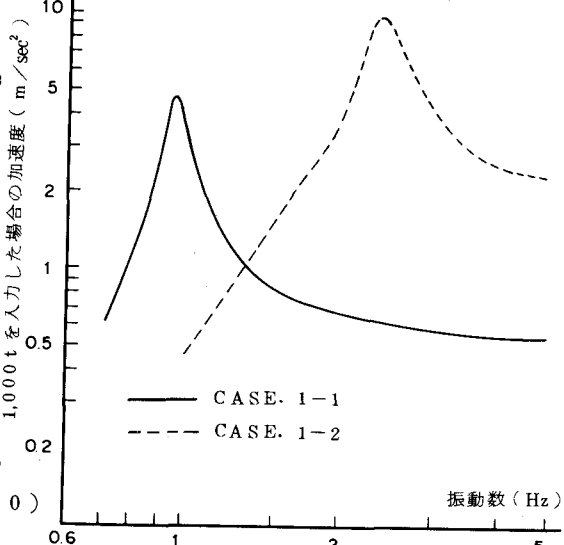


図-3 貯槽部の応答加速度（その2）

- 1) 宇梶, 他2名第4回日本地震シンポジウム(1975)
- 2) 通産省, 「高圧ガス設備等耐震設計基準」(1981.10)