

清水建設(株)	正会員	竹 脇 尚 信
"	"	中 松 新
東京瓦斯(株)		倉 橋 君 夫

1. はじめに

現在までに建設された LNG 地下タンクは、内径 65m、深さ 20m 前後の円筒型 RC 構造物であるが、将来はもっと大型化する傾向にある。このような大型地下構造物が軟弱地盤に建設される場合、その耐震性の検討は設計上重要な位置をしめるものと考えられる。筆者らはこの種の構造物の耐震性の 1 つの検討手段として、以前に FEM による地震応答解析法を提案した⁽¹⁾。しかしながら、この解析法には種々の仮定が含まれているので、実物タンクで地震観測を行なって解析法の妥当性を検討することにした。

2. 地震観測^{(2),(3)}

地震観測を行なっている所は、千葉県の東京ガス(株)袖ヶ浦工場で、地震計の設置されている地下タンクは、図-1 に示すように内径 65m、深さ約 21m、側壁 1.8m、底版 5.5m の円筒型構造物である。観測はす

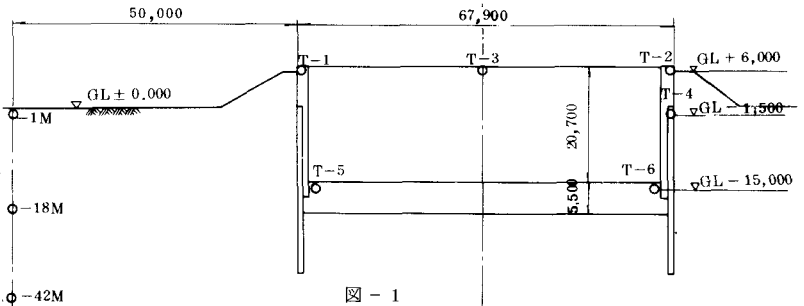


図-1

べて加速度で行なっており、タンク本体については側壁天端に 3 個、側壁中間に 1 個、底版に 2 個、また、側壁から 50m 離れた地盤には GL-1m、GL-18m、GL-42m の 3 個所に加速度計が設置され、合計 20 成分を同時観測している。1976 年 11 月の観測開始以来、約半年間に 8 個の地震が観測されたが、いずれも比較的近距离地震であった。これらの記録の中で最大の加速度を有するものは、1977 年 6 月 4 日の東京湾北部に震源をもつ地震で、タンク天端で最大 20 gal、地表面で 46 gal であった。応答解析にはこの地震を用いることにした。

3. 応答解析

地震観測を行なっている地下タンク建設地点の土質状態は、GL±0 ~ GL-14m 間は埋立土又は沖積層で V_s は 100 ~ 150 m/秒と軟弱であるが、それ以深の V_s は 300 ~ 480 m/秒とかなり良好な砂層である。応答解析用の基盤は V_s が 480 m/秒以上になる GL-39.8m に設定し、地下タンクとその周辺地盤を軸対称 FEM 系にモデル化した。要素分割はタンク側壁を軸対称シェル要素で、底版と相互作用域の地盤を三角形要素で、タンク側壁から 50m 以上離れた地盤は自然地盤と同じ挙動をすると考えて半無限要素で分割し、内部液体は側壁への付加質量、屋根はその重量のみを側壁天端のシェル要素に付加した。

自由度を 30% 程度まで縮合し、50 次までの固有値解析を行なった。この中で、自然地盤の動きを表わすモードは 1, 5, 14, 24 及び 43 次に 1 ~ 5 次が現われて、1 次で約 0.54 秒であった。一方側壁の 1 次と 2 次モードは、4 次 (0.3 秒) と 19 次 (0.11 秒) に現われた。図-2 と図-3 に 1 次と 4 次のモード図を示す。

応答解析はモード合成法で行なった。このとき、自然地盤の動きを表わすモードに対する減衰定数は、側壁から 50m 離れた地盤での観測波のうち、GL-42m に対する GL-1m の伝達関数より計算したが、相互作用域の動きを表わすモードに対してはすべて 5% とした。計算 50 次のモードの中から比較的刺激係数の大きなモード 12 個を選んだ場合 (CASE-1) と低次の方から 26 個のモードを重ね合せた場合 (CASE-2) の 2 ケースについて行なった。

図-2

1 次

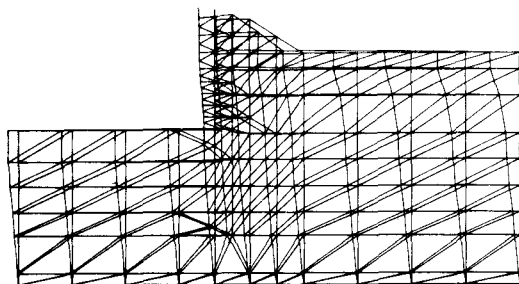
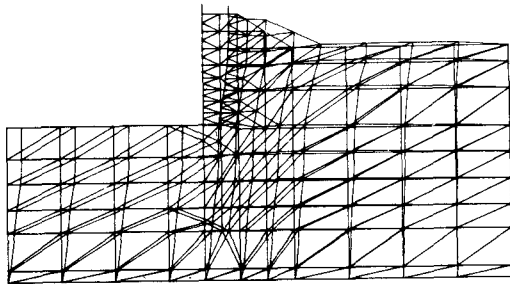


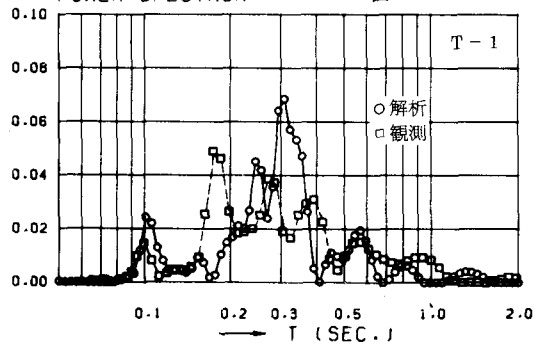
図-3

4 次



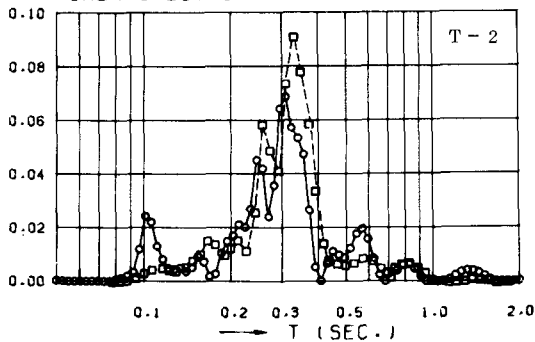
POWER SPECTRUM

図-4



POWER SPECTRUM

図-5



4. 結果及び考察

地盤の物性値は PS 検層での値を用いたが、固有値解析の結果は観測波のパワースペクトルより求めた値とほぼ一致した。最大で 40 gal 程度であるので地盤の剛性低下は殆んどなかったからであろう。又、応答解析では内部の液体はすべて側壁への付加質量と考えたが、固有値解析は液体を無視した場合も行なってみた。結果は 50 次までの固有周期と刺激係数には殆んど差は見られなかった。

応答波形とそのパワースペクトルを観測結果と

比較した。CASE-1 は計算時間が少ないというメリットがあり、地盤に関してはかなりよく一致したが、タンクに関しては余りよくなかった。一方、CASE-2 の方は、波形は短周期成分がずれて長い周期成分はよく合ったが、パワースペクトルは T-1 と T-6 以外はよく一致した(図-4~図-6)。T-1 と T-2 の応答は、円周方向への変位等の変化をフーリエ級数で展開 ($n=1$) するというこで用いた方法では必ず一致する。しかるに、図-4 と図-5 を見れば分る通り、両観測点での観測波にずれがある。これはこの地震が直下型地震だったことが最大の原因と考えられる。一方、T-6 の場合は側壁と底版との接合部のモデル化が原因であろう。図-6 の GL-1m では両者はよく合っており、半無限要素でもって自然地盤の挙動をよく表わし得ることを示している。今後残された問題としては、相互作用域の動きを表わすモードに対する減衰の評価ともっと大きな地震に対する検討などである。

参考文献

- (1) 武川ら「地下構造物 (LNG 地下タンク) の地盤応答解析について」 第 10 回土質工学研究発表会
- (2) 渡辺, 石井, 小山「袖ヶ浦における地中地震観測」 第 33 回土木学会全国大会第 1 部門
- (3) 石井, 小山, 渡辺「LNG 地下タンクの地震観測」 第 33 回土木学会全国大会第 1 部門