

清水建設(株) 正会員 ○ 石 井 清
 東京瓦斯(株) 小 山 和 夫
 清水建設(株) 正会員 渡 辺 弘 之

1. はしがき

地下式タンクの解析法の妥当性を検証することを目的として、千葉県にある東京ガス袖ヶ浦工場において LNG 地下タンクの地震観測を行なっている。本報告では観測データを整理し LNG 地下タンクの地震時の挙動について考察する。検討項目は(1)側壁の動きと地盤の動き、(2)底板の動き、(3)側壁天端の $0^\circ, 180^\circ$ 方向の動きの3点である。(1)はタンクと地盤の相互作用を、(2)はタンク固有の回転動・水平動を、また(3)は側壁天端の平面モードの検討をそれぞれ目的とする。

タンクの外形寸法は直径 68m、深さ約 21m、側壁厚さ 1.8m、底板厚さ 5.5m である。地盤は海岸の埋立地であり、GL-14m を境として上部は埋立土と沖積層で下部は成田層群となる。沖積層は N 値 0 ~ 10 の砂質土層である。地震観測の概要については参考文献(1)を参照されたい。

2. タンク側壁および地盤の動き

タンク側壁と周辺地盤の動きについてまず検討しよう。図 1 では地震データの最大加速度を用い GL-18m を基準として各点の動きを示した。図中の r は半径方向、 θ は円周方向である。図からは(1)地盤の方向性は小さいこと、-18m 以浅の増幅率が著るしいこと。(2)底板への入力に 2 割方小さくなるとともに側壁天端と底板との比も地盤に比して小さいこと。また側壁 θ 方向の天端と底板は一体となっていて動いていることなどがわかる。さらに、周波数領域の特性を示すために周波数応答倍率を図 2, 3 に示す。図 2 は -18m 以浅の地盤の卓越周期が 2.7, 6.0, 10.0 Hz にあることを示す。図 3 からは 2 Hz 以下ではタンクと地盤が同一に動いていること、高い周波数では地盤のピークと対応がつくことを示している。図 4 には底板と側壁天端の周波数応答倍率を示すが 3.0 Hz に明確なピークがあり、4 Hz 以上にはない。この 3.0 Hz のピークは FEM 解析より底板のスウェーイを伴う側壁の 1 次振動モードと考えられる。

以上まとめるとタンクは 2 Hz 以下では地盤と一体となって動き、タンク自体も剛体として挙動する。また、側壁の動きは側面土の動きに大きく支配されるが、底板と側壁天

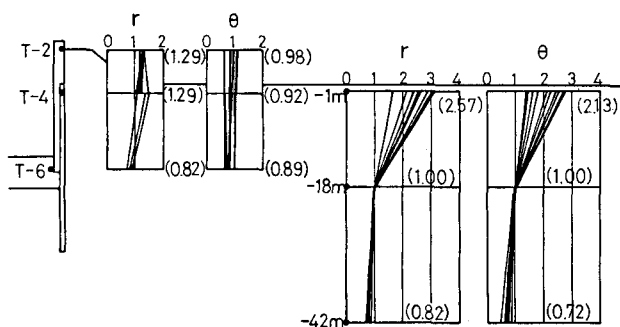
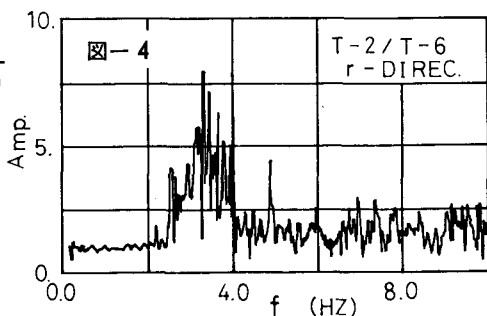
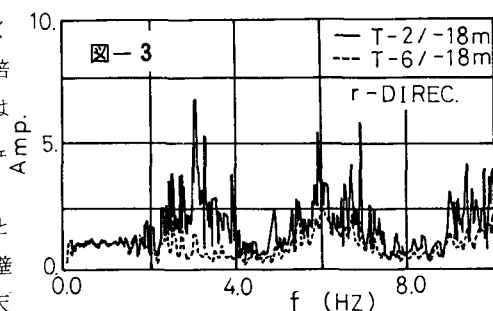
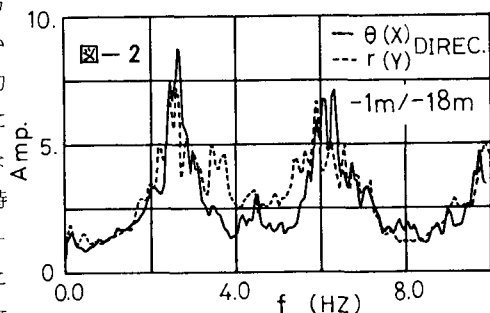


図-1 地盤・タンクの最大加速度の比



端の相対的な動きに限れば固有振動数 3 Hz の側壁 1 次振動モードが大きなウェイトをしめていることがわかる。

上記の傾向を解析モデルにより理解するためには GL-18 m を地震入力基盤として各点の周波数応答倍率を求めればよい。ここでは設計との対応から地震入力基盤を GL-42 m におき軸対称 FEM 解析による各点の応答から周波数応答倍率を求めた。結果を図 5 に示す。図 5 からは 5 Hz 以下においては観測結果とよい対応を示していることがわかる。なお、解析と観測との対応については文献(2)をみられたい。

3. 底板の動き

底板には両端には上下方向の地震計がとりつけられている。これら 2 つの波形の差をとることによって底板両端の逆位相成分が得られる。この成分波を周波数解析すればもしタンク自体の回転動あるいは水平動等があれば識別できる。図 6 には数波を平均したフーリエスペクトルを示す。スペクトルには 3.0 Hz のピークと 4 Hz 付近のなだらかなピークが目につく。3.0 Hz のピークは図 4 のピークと一致し側壁、底板の動きに伴うものと考えられる。4 Hz 付近のピークは気になるがピークの高さも小さく、側壁天端の動きとも関連がない。なお、半無限弾性体上の剛体円形基礎と考えたときの回転動、水平動の固有振動数は 4.3 Hz と 3.0 Hz 程度で、等価粘性減衰定数は大きい。このモデルにはさらに側面土のばねとダンパーの効果が加わる。

4. 側壁天端 0°, 180° の動き

側壁天端の平面モードが地震時に楕円に変形することは容易に予想される。しかし、構造体が剛であること、地下式であること等から他の振動モードを想定することはむずかしく、観測するとすれば測定点を十点近くとる必要がある。この場合も地盤、地形、隣接構造物の影響、地震波の特性、局所的なインパクション等より普遍的な性質を見出すことはむずかしい。

このことから、本研究では側壁天端の 2 点、0° と 180° の半径 r 方向が同位相で動いているかどうかを必須な検討事項と考えた。なお、両地点は 70 m 近く離れており加速度波形には高周波のノイズ成分を多く含む。このことより加速度波形を 5 秒の low cut フィルターと数値積分を組合せ変位波形に変換した。図 7 (a) は遠距離地震 (No. 14) の例、(b) は直下型 (No. 7) の例である。(a) の場合、変位波形は一致している。(b) では加速度波形にかなりの差がみられるとともに変位波形にも 3 Hz 程度の波が存在している。両者には一部逆位相になっていぬところもあるが相対変形は小さく、地表の最大加速度 26 gal で最大 0.5 mm である。

参考文献 (1) 渡辺, 石井, 小山; 袖ヶ浦における地中地震観測, 本大会第 I 部門概要集。

(2) 竹脇, 中松, 倉橋; LNG 地下タンクの地震応答解析と観測結果の比較, 本大会第 I 部門概要集。

