

# 地下タンクの地震観測と数値解析

大成建設 正員 浜田政則  
 同上 正員 ○泉 博允  
 同上 正員 横山正義

## 1. はじめに

著者らは地下タンクの地震時の動特性を求めめるため、1974年10月より地下タンクの地震時の加速度、歪等について実測を継続している<sup>1)</sup>また、得られた観測結果に基づいて周辺地盤の変位差に着目した解析モデルを提案している<sup>2)</sup>本報告ではこの地震観測の結果と数値計算結果を比較することにより、解析法の妥当性について検討を加えた。

## 2. 地震観測より得られた地下タンクの動特性

図-3と図-4は、観測された加速度波形と歪波形の例を示すもので、図-3は1974年11月16日銚子沖に発生した地震(M=6.1,  $\Delta=270\text{Km}$ , Depth=40Km)の記録であり、図-4は同年同月30日鳥島近海に発生した地震(M=7.6,  $\Delta=510\text{Km}$ , Depth=420Km)の記録である。11月30日の記録波形のパワースペクトルを図-5、図-6に示す。これらの地震観測の記録より、加速度および歪の動特性として次の点が指摘される。

- (1) タンク側壁よりタンクの直径だけ離れた地表面の加速度波形(A1)とタンク側壁上の加速度波形(A2)はほぼ同位相であり、タンクと周辺地盤はほぼ一体となって振動している。また、タンク測点の加速度波形のパワースペクトルは、地表面のパワースペクトルとよく類似しており、タンク自体の慣性力に基づくタンクの固有振動は見られない。加速度の振幅の大きさは地表面において最も大きく、タンク天端、タンク底版の順

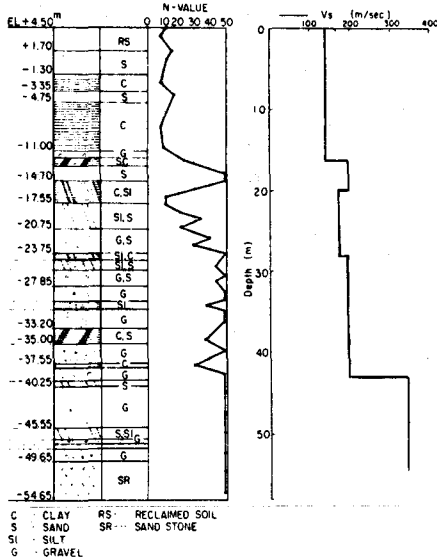
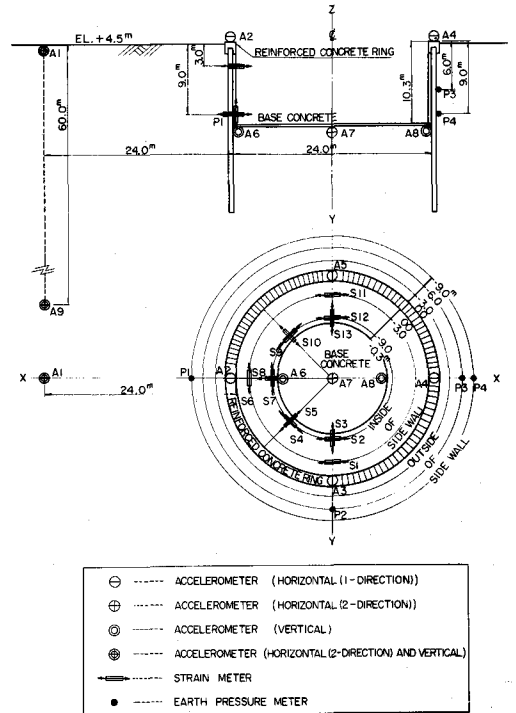


図-1 土質図



- ⊖ --- ACCELEROMETER (HORIZONTAL (1-DIRECTION))
- ⊕ --- ACCELEROMETER (HORIZONTAL (2-DIRECTION))
- ⊙ --- ACCELEROMETER (VERTICAL)
- ⊗ --- ACCELEROMETER (HORIZONTAL (2-DIRECTION) AND VERTICAL)
- STRAIN METER
- --- EARTH PRESSURE METER

図-2 地下タンク構造図・計器設置図

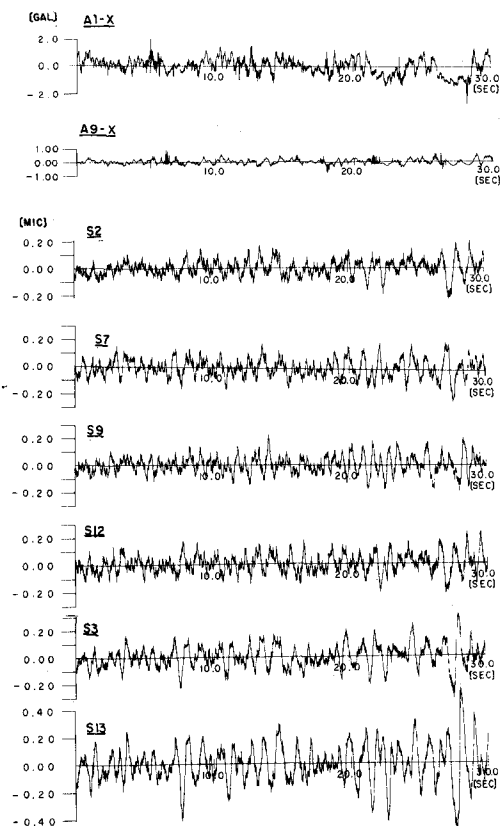


図-3 1974年11月16日の記録  
( $M=6.1$ ,  $\Delta=270\text{km}$ ,  $\text{Depth}=40\text{km}$ )

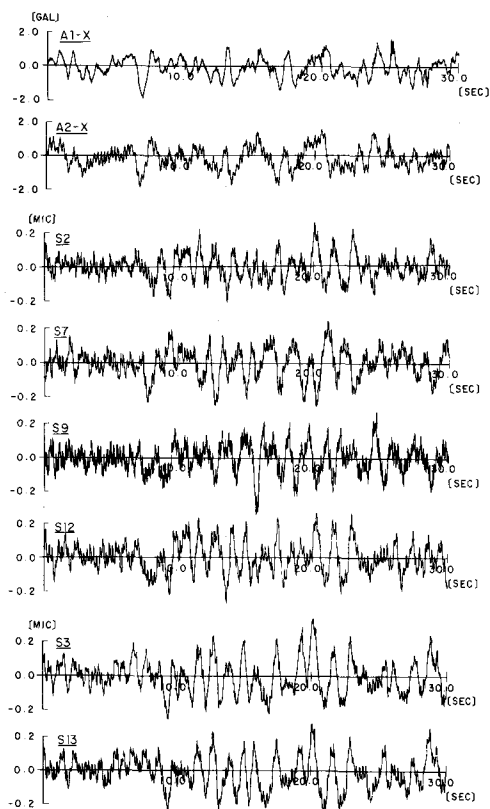


図-4 1974年11月30日の記録  
( $M=7.6$ ,  $\Delta=510\text{km}$ ,  $\text{Depth}=420\text{km}$ )

である。これはタンクの剛性により、加速度振幅が減少するためである。

(2) 歪波形のパワースペクトル図の卓越周期は、地盤加速度波形の卓越周期とほぼ一致しており、地盤の動きがタンクの歪に支配的な影響を及ぼしている。

(3) タンク内壁上の互いに  
向い合った歪波形(S2, S12)  
は同位相であり、これらと90°離れた内壁上の歪波形(S7)は逆位相である。このことから、タンクは楕円状に変形している。本地下タンクが建設されている地盤は埋め立て後、間もない埋立地であり、これに近接して埋立て後10年以上経過した埋立地が存在する。この両地盤の動特性の差から、タンク円周に沿って相対変位が生じタンクに楕円状の変形が生じたものと考えられる。

(4) タンク内壁の鉛直方向の歪は同じ位置での円周方向の歪と比較すると、同程度の振幅かもしくは大きい。

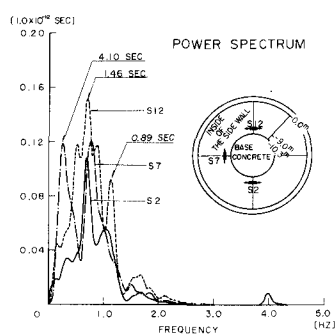


図-5 歪波形パワースペクトル  
(1974年11月30日)

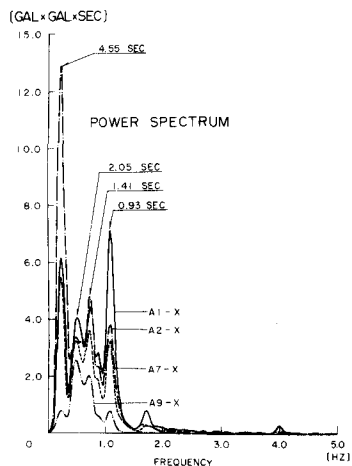


図-6 加速度波形パワースペクトル  
(1974年11月30日)

このことは、従来の地下タンクの設計において一般に行なわれている円周方向の応力検討の他に鉛直方向応力の検討の必要性を示している。

- (5) 11月30日の地震の加速度および歪のパワースペクトルによれば、4.0秒～5.0秒付近に比較的大きいピークが存在する。この卓越周期は地震発生時の水深より算定される貯蔵液の動揺振動の周期にほぼ一致している。

### 3. 数値解析法の概要

地下タンクの地震時歪は、まず空の状態での歪を求めこれに内容液の振動による歪を加算することにより求める。空の状態での地震時歪は次の仮定のもとに算定する。

- (1) 地盤の振動特性は地下タンクの存在により影響を受けないものとする。
- (2) 地下タンクの地震時変形に対するタンク自体の固有振動の影響は小さいので、解析ではタンクに作用する慣性力を無視する。
- (3) 地下タンクの変形はタンクが存在しないと仮定した場合のタンク周辺の地盤変位を地盤パネを介して強制変位として与えることにより求める。
- (4) 地盤の変位としては、表面層のせん断振動による変位のみを考慮する。

### 4. 実測歪と数値計算との対応

図-4に示した11月30日の鳥島沖地震について実測歪と解析値との対応を行った。なお、本地震では内容液の水深はわずか2mであり、これの歪に及ぼす影響は地盤の変位による歪に比較してきわめて小さいので、内容液の影響は無視した。新・旧埋立て地盤における常時微動測定の結果によれば旧埋立て地盤の振動変位振幅は新埋立て地盤のほぼ80%であることが指摘された。そこで、タンク周辺の地盤の変位分布は図-7に示すように、新埋立て地盤の1.0に対して旧埋立て地盤側では常に0.8の比になると仮定し、深さ方向の地盤変位分布は地盤の1次モードより求めた。新埋立て地盤の地震時変位は、GL-5.4mの砂岩層より上の表面層を19質点系モデルに置換することにより求めた。解析に用いた地盤の各層のせん断弾性定数は弾性波探査より得られた値を地震観測時の表層の1次振動周期0.94秒に一致するよう一律に値を補正して求めた。入力地震動はGL-6.0mでの水平2成分の観測加速度波形を用い、地盤の減衰定数を5%と仮定し、1次振動のみを考慮した。タンクについては、図-8に示す円環要素を用いた三次元有限要素法モデルを設定した。地盤反力係数は図-8に示すような2段階の三角形分布とし、タンク天端で $0\text{kg}/\text{cm}^2$ 、側壁下端で $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ とした。試算として地盤反力係数の分布と大きさを変化させタンクの歪を計算したが、図-8に示す分布の場合が最も実測に近い値が得られた。円周方向の歪波形S2, S7, S9, S11, S12についての計算歪波形を実測値と比べて図-9に示す。計算による歪の時刻歴は短周期成分を除くとおおむね実測値と一致している。この短周期成分の生じる原因としてはタンク本体に作用する慣性力や動水圧の影響等が考えられる。

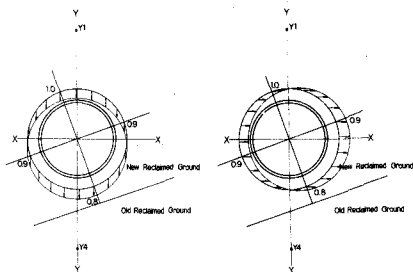


図-7 地盤変位分布図

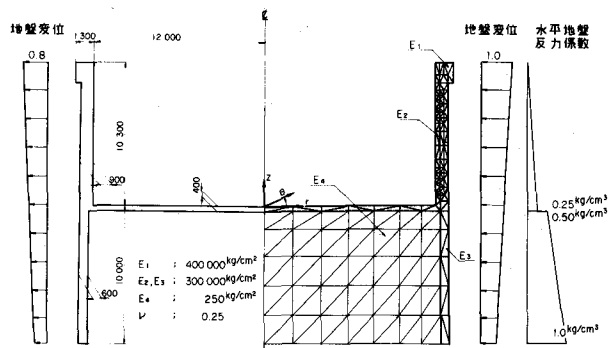


図-8 地下タンク解析モデル・解析条件

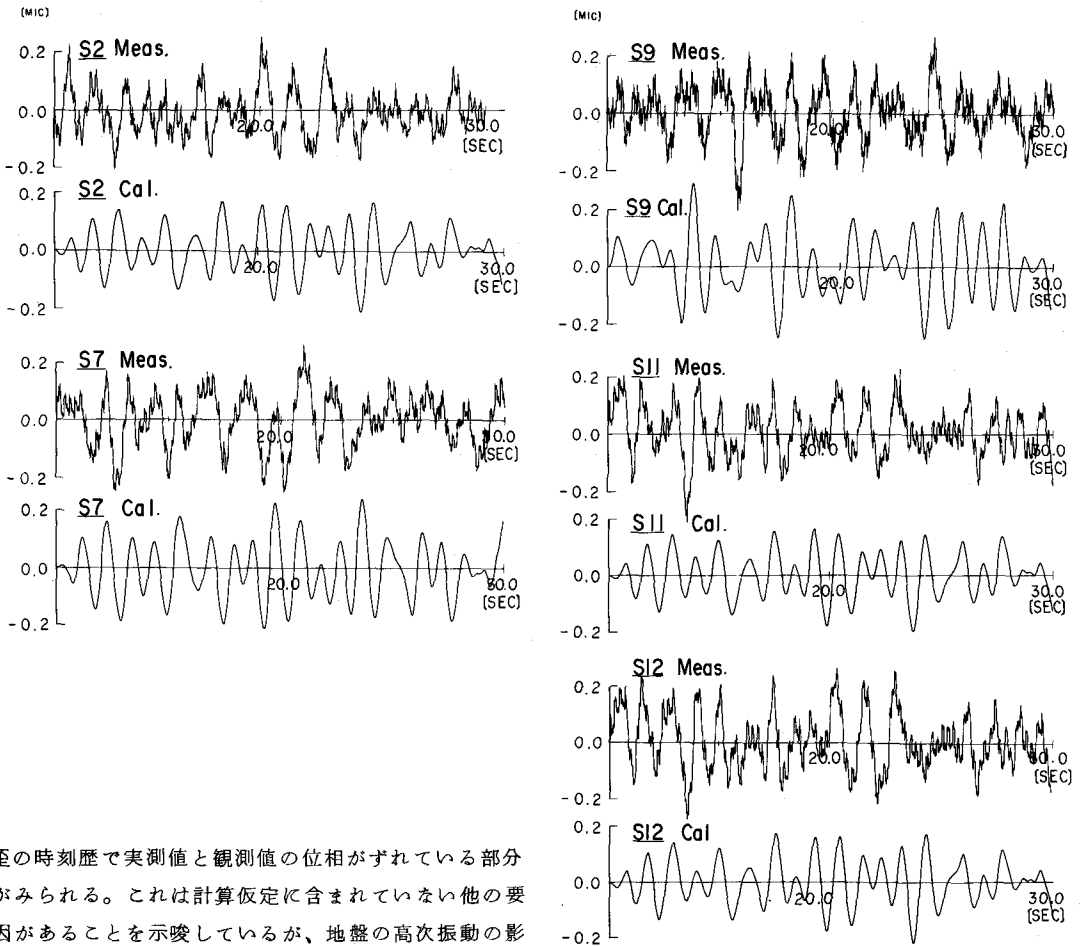


図-9 実測歪波形と解析歪波形(円周方向)

歪の時刻歴で実測値と観測値の位相がずれている部分  
 がみられる。これは計算仮定に含まれていない他の要  
 因があることを示唆しているが、地盤の高次振動の影  
 響や新旧地盤の変位比を一律に80%と仮定したこと  
 にも一因があると考えられる。図-9に示した歪波形  
 の内、S2, S7, S11, S12の4波形はS7が逆位相で  
 あることを除くと波形が非常に類似している。これに対しS9は以上の4波形とは異った波形を示している。  
 これは測点S2, S7, S11, S12の歪がY方向(図-7)の地盤の相対変位により生じ、S9はX方向  
 の相対変位により支配されるためである。解析によって得られたタンクの鉛直方向の歪波形の位相は実測波  
 形とほぼ良好な一致を示したが、その振幅は実測波形の50%程度であり、今後の検討課題と考えている。

図-9 実測歪波形と解析歪波形(円周方向)

- 1) 大森、浜田、泉；地下タンクの地震観測、第29回土木学会年次学術講演会講演集
- 2) 浜田、木村、幕田；地下タンクの地震応答計算法について、同上
- 3) 大森、浜田、佐藤；地下式タンクの地震時応力について、第30回土木学会年次学術講演会講演集
- 4) Hamada, Izumi, Sato; Behavior of underground tanks during earthquake, Proc. 4th Japan earthquake engineering Symposium, 1975