

## (40) 地震観測記録にもとづく大型地下タンクの挙動解析

㈸ 大林組 正員 ○後 藤 洋 三  
㈸ 大林組 白 砂 健

### 1. 序

わが国で昭和40年代後半から建設が始められたLNG地下タンクは徐々に大型化し、最近では直径70m、地表から底盤下面までの深さ48mに及ぶ巨大な地中構造物となっている。

地下タンクについては、旧海軍が燃料備蓄用に多数建設した歴史があるが、耐震工学的な蓄積はほとんど残っていない。一方、LNGの貯蔵には高い安全性が要求され、しかも立地の関係から、タンクは都市近郊の埋立地盤に建設される。そのため、地震観測による地下タンクの挙動解析と、それにもとづく耐震性の照査、設計法の改善が試みられてきた。<sup>1), 2)</sup>

著者等も、1979年から半地下式原油タンクの円筒土留壁を利用して地下タンク側壁の歪に注目した地震観測を行っており、データを蓄積中である。今日までに観測された記録の内最大のもは1980年6月29日に発生した伊豆半島東方沖地震の記録であり、この報告ではその記録からタンクの変形モードを解析した結果について述べる。

### 2. 地下タンクと観測内容

地震観測を実施している地下タンクは横浜市の臨海工業地帯にあり、掘込式の半地下原油タンクである。観測の対象は土留を目的とした円筒型の鉄筋コンクリート壁で、直径68.6m、深さ21.1m、壁厚1.8mの寸法を持つ。この円筒壁はタンク本体と接触していないが、地盤との関係においては通常の地下タンク側壁と同じ機能を有している。

図-2にタンク形状と計器配置を示す。浜田<sup>1)</sup>の研究を参考にして円筒壁に生ずる動的なひずみ12点と、周辺地盤上3点、地中1点各2成分の加速度を観測している。ひずみの測定にはゲージ長0.7mの高感度な計器を使用した。加速度の測定にはサーボ型を使用している。記録装置は12bit AD変換によるデジタル方式である。

図-3に地盤構成を示す。深さ7m位までが軟弱な埋立て層であるが、19mより土丹層となっている。地下タンクはこの土丹層に根入れする型で構築されている。

### 3. 地震観測結果

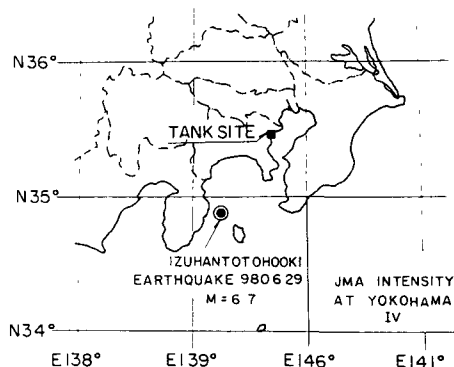
#### 3.1 観測地震

1979年6月に観測を開始して以来、数多くの地震が記録されているが、加速度最大のもは1980年6月29日発生した伊豆半島東方沖地震であり、横浜で震度Ⅳを記録した。マグニチュード6.7、震源深さ10km、観測点との震央距離約75kmである。この地震では約10秒の間隔で2回の主要動が記録されているが、以下の解析ではより大きい2回目を検討の対象とした。

#### 3.2 タンク周辺地盤の応答

図-4Cに地盤での加速度記録を示す。土丹層での最大加速度は16galであるが、地表では2秒から6秒あたりの主要動でY方向の振巾が増大し最大98galを記録した。

図-5には地中と地表の加速度記録のフーリエスペクトルを Fig. 1 Location of epicenter



示す。地中記録のフーリエスペクトルでは比較的低い領域の振動数が卓越している。一方、地表記録のスペクトルでは 2.7 Hz が顕著に卓越しており、表層地盤の増巾特性が現われたものと考えられる。

加速度記録を積分して変位波形を求め、2 測点間の差を取って地盤内の歪とみなした波形を図-4 d に示す。積分は振動数領域で行ない、0.5 Hz 以下の長周期成分を削除している。地表に沿った歪を求めるためには測点間距離が長すぎる嫌いがあるが、地表面水平方向歪より深さ方向の歪が50倍以上大きい結果となる。

### 3.3 地下タンク側壁の応答

ひずみの記録波形を図-4 a に示す。円周方向の壁体表面歪は深さ方向の歪に比べて大きい値を示している。円周方向について壁の外側と内側の歪記録から図-6 の添図に従って曲げ歪と軸歪を求めた。図-4 e, f にその合成波形を、図-6 にその代表点のフーリエスペクトルを示している。

曲げ歪と軸歪を対比すると、地震動の主要部分において軸ひずみの方がより大きな値を示していること、時間的にみて軸歪が先に大きな値を示し、続いて曲げ歪が成長すること、等が特徴としてあげられる。図-6 のスペクトルの特性をみると、歪の波形は地盤の加速度波形と共通した振動数卓越性を持つことがわかる。

### 3.4 地震時における地下タンクの変形

円筒壁体円周方向の軸歪と曲げ歪の波形、図-4 e, f を用いて任意の時刻における歪分布図を作成することができる。これを図-7 に示した。図-7 で選んだ a から h までの時刻は図-4 に記入してある。

図-7 において、a から d までは軸歪の大きいことが特徴で、円筒壁体頂部がその平面形状をほぼ保ったままスウェイするリングモードの変形が現われていると推定される。a と b は地中加速度がピークを示す時刻について、c と d は壁体の軸歪が最大を示す時刻について描いたものである。図中の矢印はその時刻における加速度の作用方向と逆の方向を示したもので、側壁に作用する力の方向を示すと考えることができる。歪計が配置された半円周側において、a と d では地盤が壁体を引き壁円周方向には引張り方向の軸歪が発生している。逆に b と c では地盤が壁体を押すことにより圧縮の軸歪が生じている。

一方、図-7 の e から h は円筒壁体頂部が長円形に変形するオーバリングモードに注目して整理したものである。オーバリングモードでは曲げ歪が卓越する。各図上半の破線はその推定線である。e と g とは 45 度方向のオーバリングモー

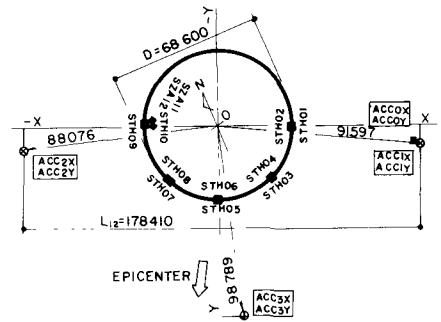


Fig. 2 Plan of underground tanks and locations of measuring meters

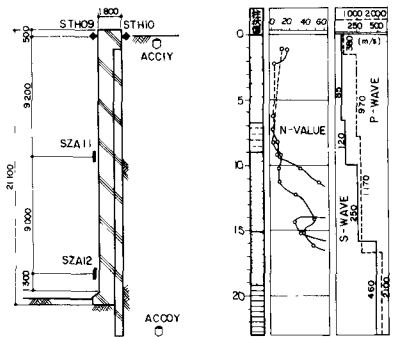


Fig. 3 Section of side wall and soil profile

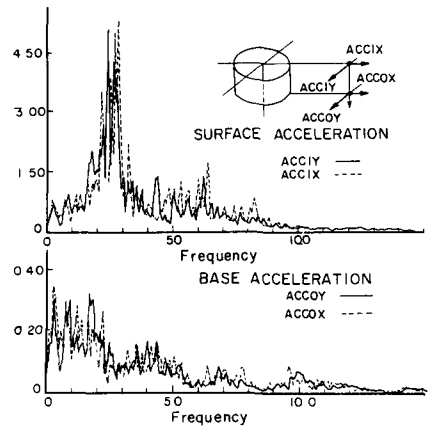


Fig. 5 F.S. of ground acceleration

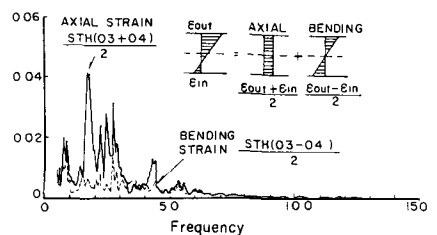
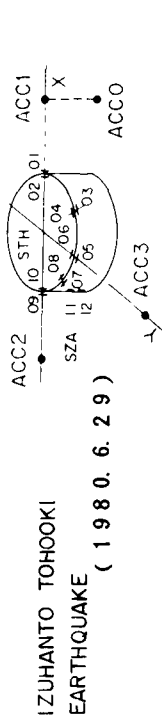


Fig. 6 F.S. of wall strain



IZUHANTO TOHOKI  
EARTHQUAKE  
( 1980.6.29 )

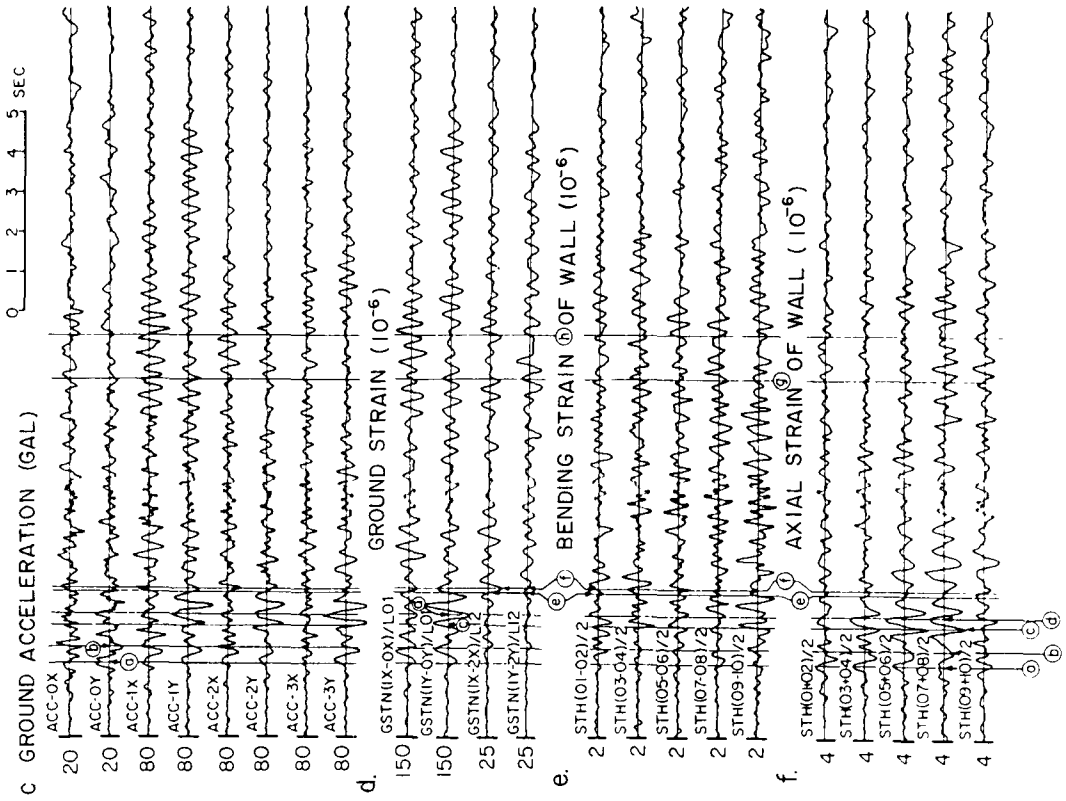
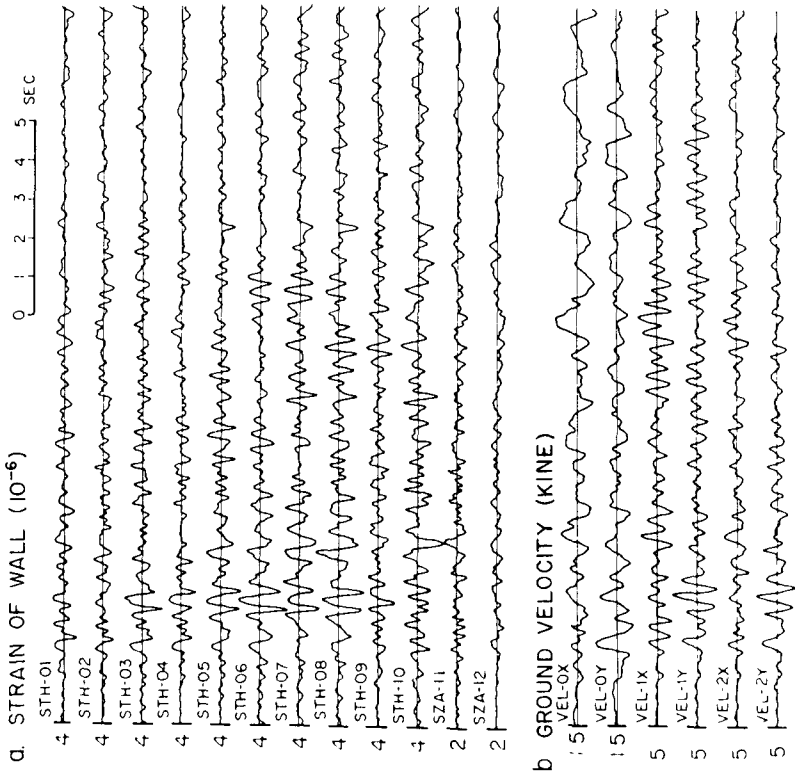


Fig. 4 Recorded wave (a,c) and processed wave (b,d,e,f)

ドであり、この時地盤は地表に沿って図中に示す様なせん断変形を示した。f と h は圧縮型のオーバリングモードを示している。この時の地盤は図中の矢印で示す圧縮変形状態にあり、壁体の変形とよく対応していることが分かる。

しかし、これ等の曲げ歪の値はリングモード a ~ d における軸歪より小さい。また、その歪分布が e ~ h にピックアップした単純なパターンを持続する時間は短かく、応答モードの経時変化を追跡していくことは難かしい作業である。その理由としては、壁体の歪と対応すべき地盤変形の平面的分布が地層構成の局所的变化や周辺構造物の影響によって複雑であること、観測を行なった円筒壁体は平面的には曲げ剛性の小さな構造物であって多くの節を持った高次のオーバリング変形が生じやすいこと、等をあげることができる。

4. まとめ

掘り込み式の半地下タンクに設けられた円筒型の土留壁を地下タンクの側壁とみなして地震観測を行なった。伊豆半島東方沖地震が観測でき、以下の点が明らかになった。

- (1) 地盤歪は深さ方向せん断歪が大きい。
- (2) 円筒壁体の歪波形と地盤速度波形の間に今回は明瞭な相似性が認められなかった。
- (3) 壁体円周方向歪では軸歪が曲げ歪より大きい。また、最大を示す時刻に差がある。
- (4) 地震時における円筒壁のリングモード変形は容易に観察することができるが、オーバリングモード変形は複雑な現象が混在して観測されるようであり、理解が難かしい。

以上の結論はひとつの地震の観測結果から得たものである。今後も観測を継続し、さらに多くの解析を行なって一般的な結論を下すようにしたい。いうまでもなく、地下タンクの地震応答特性は周辺地盤の状況とタンクの形状寸法の影響を受ける。多くのタンクについて同様な観測を行なっていくことが期待される。

参 考 文 献

- 1) 浜田政則：大型地下タンクの地震時挙動の観測と解析，土木学会論文報告集，273号，1978
- 2) 倉橋君夫，後藤貞雄，小山和夫：L N G 地下式貯槽における地震観測，土木学会第35回年次学術講演会講演概要集第1部，pp564 ~ 565，1980

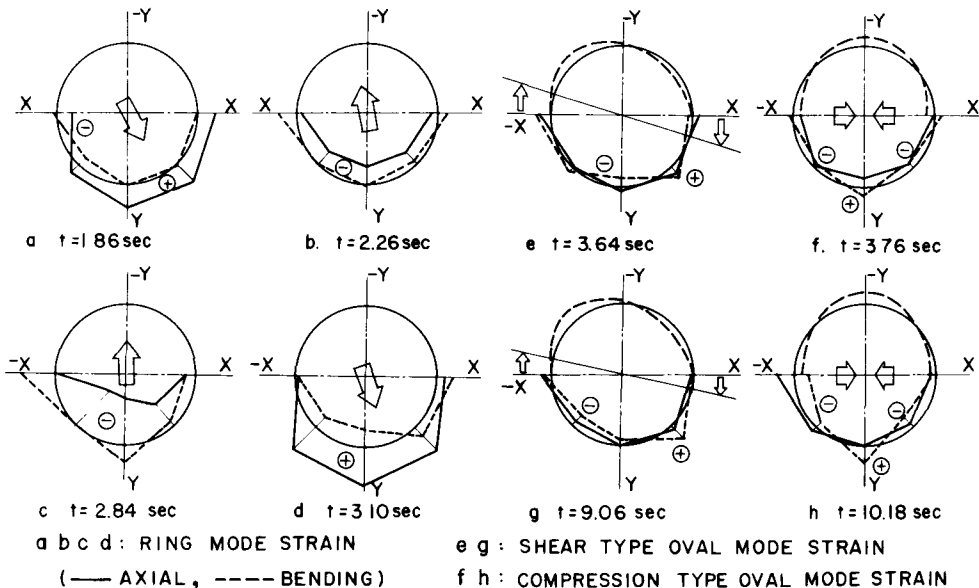


Fig. 7 Deformation of underground cylinder due to earthquake