

# (130) LNG地下式貯槽の地震時挙動について

東京電力(株) 正会員 小淵 康義  
東京電力(株) 正会員 海津 信廣

## 1. まえがき

地中構造物は地上構造物と異なり、地震時には慣性力よりも周辺地盤の変形の影響を強く受ける構造であるため、その耐震性を確保するためには、周辺地盤と構造物の挙動を十分把握する必要がある。LNG地下式貯槽の耐震性の解明にあたっては、模型振動実験、地震応答解析、地震観測などにより研究が進められてきたが、地震時土圧、鉄筋応力を含めた地震観測記録に基づき実貯槽の地震時挙動を検討した例は少ない。本報告は、昭和62年12月17日の千葉県東方沖地震において、富津火力発電所のLNG地下式貯槽で観測された記録をもとに、地盤の変形、地震時土圧、鉄筋応力等の関係について検討したものである。

## 2. 地震観測概要

富津火力発電所では、図-1に示すとおり1~4号貯槽が稼働しており、現在2基が工事中である。本報告では3号貯槽を検討の対象とした。図-2に貯槽の構造、地盤条件、計測計器の配置を示す。

3号貯槽は順巻き工法で施工された、容量9万kl、内径65.0m、液深28.4mの鉄筋コンクリート製の貯槽であり、壁厚1.2mの連続地中壁が貯槽側壁より3m離れた位置に構築されている。貯槽周辺のAP-4.0~12.0mの範囲は埋め戻し土および盛土で覆われている。図-2には3号貯槽側壁部での改良前のN値が示されているが、AP-8mまでの範囲はN値15程度まで地盤改良されている。底版以深はN値50以上の洪積砂層であり、また側壁と連壁の間は砂質土で埋め戻されている。

地震観測には、加速度計、土圧計および鉄筋計を用いた。加速度計はサーボ型であり、図-2に示すようにタンクヤード外・タンクヤード内の地盤および貯槽の側壁頂部・底版内に設置している。このうちタンクヤード外の加速度計はNo.1貯槽から約100m離れた自由地盤(F測点)に埋設されている。また3号と4号貯槽の間(A測点)の加速度計は地表部および貯槽底版とほぼ等しい深さの二箇所に埋設されている。

土圧計は、測定範囲50および100tf/m<sup>2</sup>の差動トランス型、2次ダイヤフラム方式の計測器であり、側壁および連壁頂部の4方向(0°,90°,180°,270°)に配置されている。

鉄筋計は測定範囲±3150kgf/cm<sup>2</sup>の作動トランス型計測器であり、図-2に示すように側壁の3断面に設置されている。側壁頂部では円周方向のみ、他の2断面では円周・鉛直方向の計測を行っている。

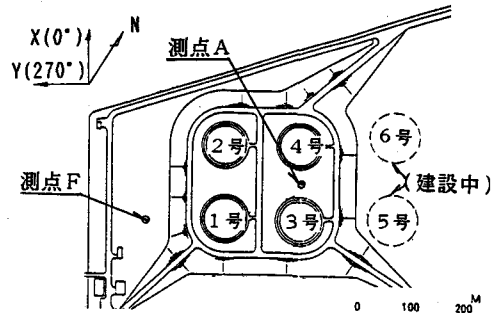


図-1 観測地点平面

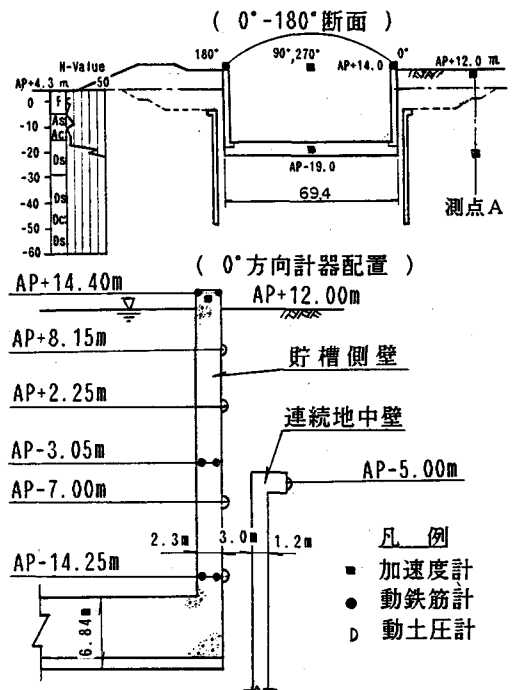


図-2 3号貯槽計器配置

### 3. 観測結果

検討の対象とした昭和62年12月17日の千葉県東方沖地震は、マグニチュード6.7、震源深さ58kmであり、観測地点までの震央距離は80kmであった。ここでは観測記録に基づき、地盤・LNG貯槽の地震時挙動について考察する。

#### (1) 加速度記録

図-3に最大加速度の平面分布を、図-4に観測記録のうちのタンクヤード内外の地表、地中の加速度時刻歴波形を示す。これらのデータは、0.2~25Hzのバンドパスフィルターを通したものである。タンクヤード外地盤の地表最大加速度は83gal(F測点 X方向 AP+3.3m)、タンクヤード内の地表最大加速度は134gal(A測点 X方向 AP+11.0m)であった。

図-3より、タンクヤード内のX方向地盤加速度(A測点 AP+11.0m)はタンクヤード外地盤の加速度(F測点 AP+3.3m)より大きな値を示しているが、貯槽側壁頂部では全てタンクヤード外地盤の加速度より小さな値となっていることが

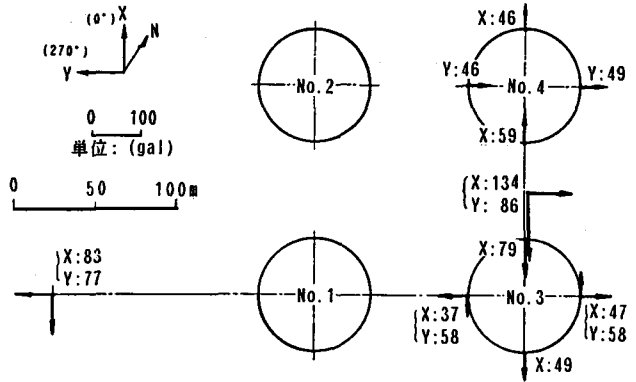


図-3 最大加速度の平面分布

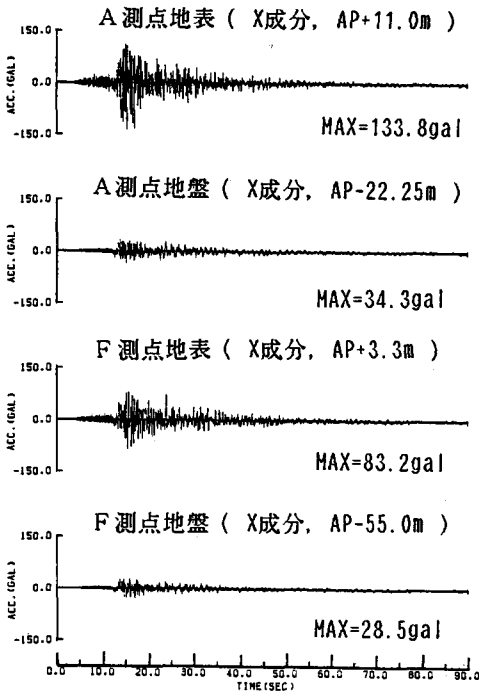


図-4 加速度記録

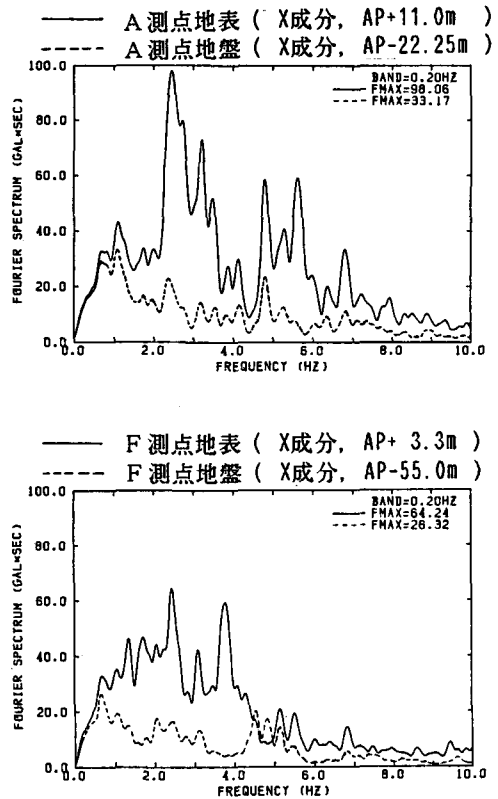


図-5 フーリエスペクトル

わかる。また、最大値の生ずる方向も規則性が認められず複雑なものとなっている。

図-5は図-4に示した加速度記録のフーリエスペクトルを重ね書きしたもので、タンクヤード内外の地盤それぞれについて、地表と地中の記録を比較したものである。タンクヤード外では1~4Hzで地表記録が増幅しているのに対し、タンクヤード内では2~3.5Hz, 4.5~6Hzで地中から地表への加速度の増幅がみられ、タンクヤード外とは異なった増幅特性を示している。

タンクヤード内地盤の地表加速度がタンクヤード外地盤の地表加速度より大きい値を示すことについては、当地点における他の地震観測記録<sup>1)</sup>においても認められ、その理由として、貯槽の群設、貯槽周辺の盛土等がタンクヤード内地盤の振動特性に影響を与えているためと考えられる。

## (2) 地震時土圧・鉄筋応力記録

図-6に3号貯槽側壁頂部における地震時土圧、円周方向鉄筋応力および相対変位の主要動部分の時刻歴記録を示す。相対変位はタンクヤード内のA測点地表と側壁頂部0°のX方向の変位の差として求めた。ここで変位は加速度記録を直接積分して求めている。今回の地震では最大地震時土圧は4.3tf/m<sup>2</sup>、鉄筋応力は最大19kgf/cm<sup>2</sup>であった。

図-6(1)は貯槽の0°, 180°方向と相向かい合う位置に設置した土圧計の記録を比較したものである。13.0秒~19.0秒においては、両波形の位相が逆転しており、地震時土圧の載荷パターンは片押し片引きの関係になっていることがわかる。19.5秒近辺から位相の乱れが認められ両押し両引きの関係も生じている。これは、地盤の加速度波形に含まれる振動数成分が、図-5に示すようにタンクヤード内と外では異なっていることが原因の一つに挙げられる。

図-6(2)は相対変位と側壁上部の地震時土圧を比較したものである。土圧波形は相対変位波形と位相がよく一致していることから、地震時土圧は地盤パネを介して相対変位により生じていることが推定される。また、地震時土圧と側壁頂部外側の円周方向鉄筋応力を比較すると、図-6(3)に示したように両者の位相は逆転しており、土圧が側壁を押し方向に作用した場合に鉄筋に圧縮応力が生じている。

図-6(2)(3)より、相対変位、地震時土圧、鉄筋応力の間には相関関係のあることが推定される。

図-7は3号貯槽0°方向で観測された地震時土圧、円周方向鉄筋応力および相対変位の鉛直方向分布について、主要動付近の1サイクルを0.1秒間隔で比較したものである。ここで地表部の相対変位は図-6(1)に示した値と対応しており、地中部の相対変位は3・4号貯槽間地盤内のAP-22.3mの記録と、貯槽底板中央の記録を用いて算出した。

この図より、連続地中壁の内側の貯槽側壁に作用する地震時土圧が、連続地中壁の影響により小さな値となっていること、このため鉄筋応力も小さな値となっていることが読み取れる。図-6(2)では地表付近の時刻歴記録を用いて地震時土圧と相対変位の関係について考察したが、図-7から鉛直方向についても地震時土圧の作用方向が相対変位とよく対応していることがわかる。

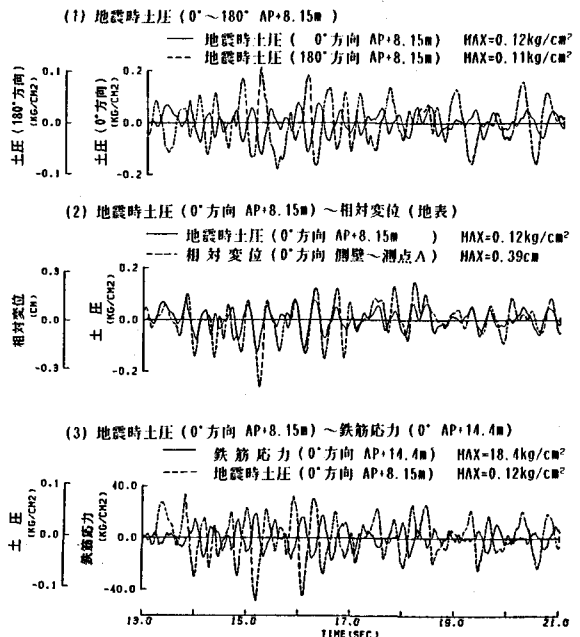


図-6 計測値時刻歴波形

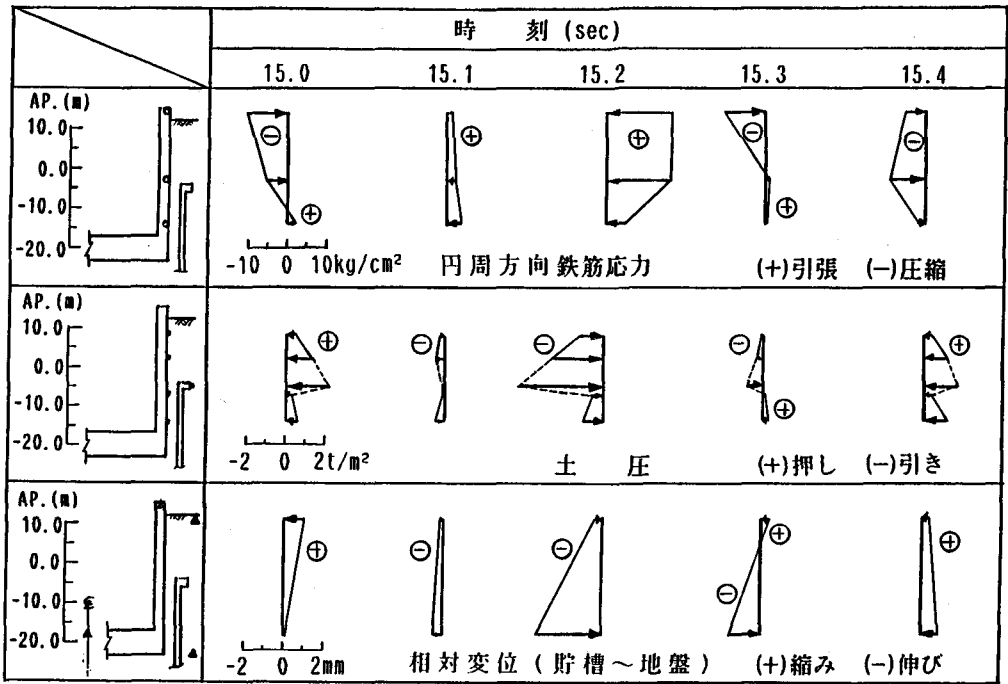


図-7 鉄筋応力、地震時土圧、相対変位の時刻歴鉛直分布

最大地震時土圧が生じている時刻15.2秒における、3号貯槽の各計測値の平面分布を図-8に示す。ただしこの図における相対変位は貯槽底版中心～側壁間の相対変位（内空変位）で、加速度記録を直接積分して求めたものである。この図より、地震時土圧、鉄筋応力および相対変位（内空変位）は鉛直方向と同様に、平面的にもそれぞれよく対応していることがわかる。

#### 4. あとがき

千葉県東方沖地震の記録より、地震時土圧、鉄筋応力、相対変位の関係を調べ、これらは鉛直分布だけでなく、平面的にもよく対応していることを示した。今後は更にデータを蓄積し、LNG地下式貯槽の群設による影響、地震時土圧・鉄筋応力と加速度・速度・相対変位との関係について検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 桑原, 海津: LNG地下式貯槽の地震時挙動の観測と解析, 第7回日本地震工学シンポジウム, (1986).
- 2) Kaizu, N., Sugi, T., Kuwahara, H., Suzuki, H., "Observation and Numerical Analyses of Dynamic Earth-Pressure of In-Ground LNG Tanks," Proc. of 9WCCE, (1988).

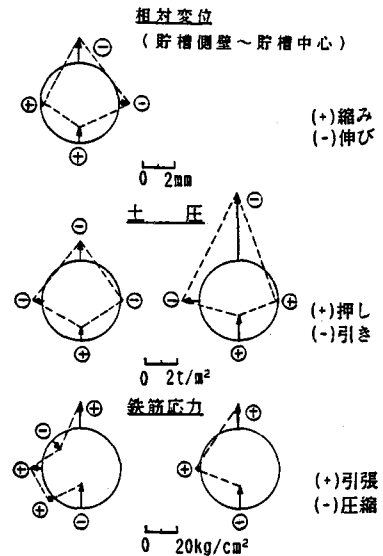


図-8 計測値の平面分布