

(20) 鋼矢板リング工法による液状化対策効果の評価に関する研究

鹿島 鄭 京哲, 鈴木 輝一
大保 直人, 澤内 至武

1. まえがき

比較的小規模な地上式石油タンクの基礎地盤の液状化被害を防ぐ対策として、鋼矢板リング液状化対策工法が提案されている¹⁾。この工法の効果を実証するために、1991年より石油タンクサイトにおいて対策工がある場合とない場合について地震観測が実施されている²⁾。本論文では、2次元有効応力FEMプログラムDYN AFLOW³⁾を用い、まず、石油タンクサイトにおける地震観測結果のシミュレーションから、解析手法の妥当性を検証した。次に大地震時に地盤が液状化した場合の鋼矢板リング対策工法の有効性を確認するために、観測波形の入力レベルを大きくした解析を行い、地盤の過剰間隙水圧および変形に着目した検討を行った。

2. 解析方法

石油タンク-地盤-鋼矢板系を図-1のようにモデル化した。周辺地盤はボーリングとPS検層の結果より厚さが8.5mの軟弱層(N=5)と21.5mの支持層(N>30)の2層地盤モデルとした。地盤物性については、PS検層、物性試験および経験式を用いて定め、ダイレクシーパラメータは観測地点で得られた液状化強度曲線に合うように求めた。その結果を図-2に示す。鋼矢板(N>30の支持層に根入れ)は、リング効果と等価な平面ひずみ要素を用い、地盤要素と重ね合わせることによって表現した。境界条件は、底面を固定、左右両端は同じ挙動をするように拘束した。入力は、タンクから離れた地点のGL-20mで取れた波形を用い、1次元波動論によってGL-30mでの波形を求め、これを図-1に示すモデルの基盤から入力している。

解析を行う際、まず自重解析を行い地盤の初期応力を求め、次に地震応答計算を実施している。

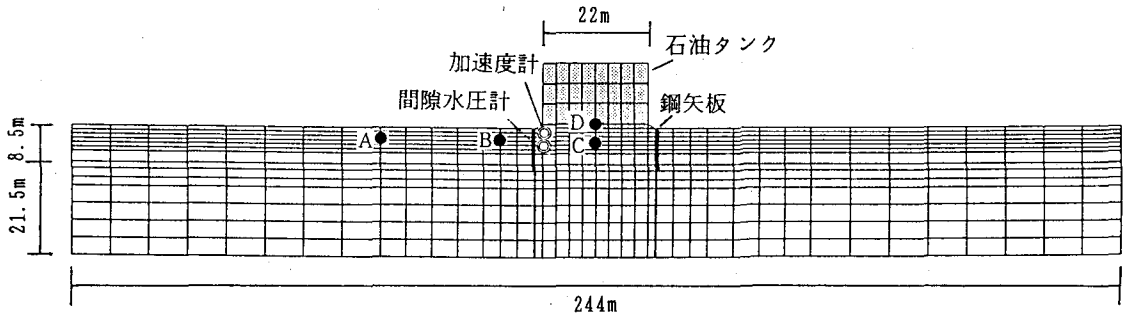


図-1 FEM解析モデル(対策工がある場合)

3. 解析結果および考察

3.1 地震観測のシミュレーション

1992年2月2日に発生した東京湾南部を震源とした地震(自由地盤地表面で観測された最大加速度は158gal)についてシミュレーションを行った。基盤での入力波形を図-3に示す。タンク下の加速度の観測値と計算値の比較を図-4に示す。観測値と計算値とは、主要動の部分で位相、振幅ともよく対応していることがわかる。対策工がある場合の地盤の加速度振幅は、対策工が無い場合に比べて、計算値、実測値も同程度の低減を示しており、これは鋼矢板の拘束効果によるものと思わ

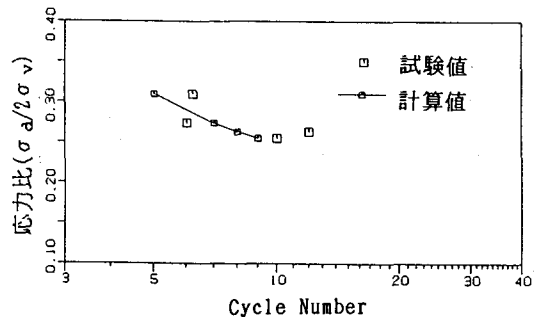


図-2 液状化強度曲線

れる。過剰間隙水圧の観測と計算結果をあわせて図-5に示す。過剰間隙水圧の計算値は、約3.3秒以降において観測値よりやや大きく振動しているが、全体としてはおおむね観測値とよく対応している。また、観測値も計算値も対策工がある場合の過剰間隙水圧は対策工が無い場合に比べて低減していることがわかる。

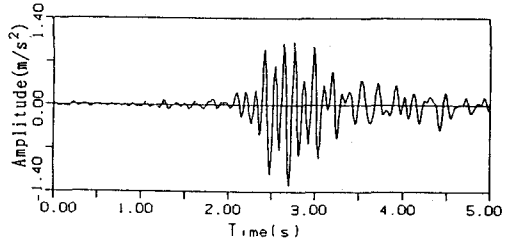
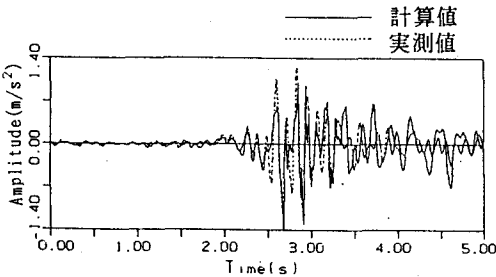
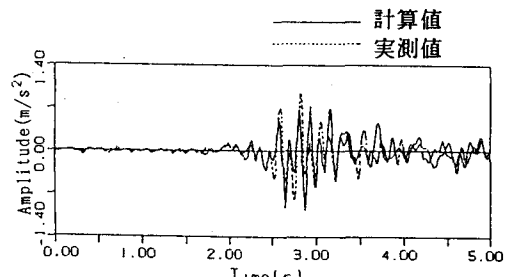


図-3 入力波形

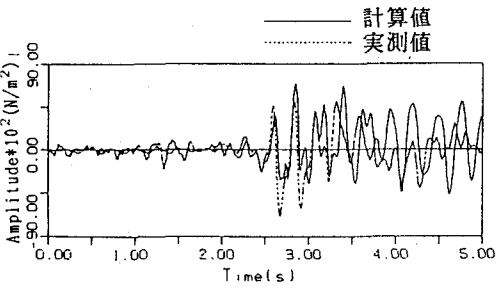


(a)対策無

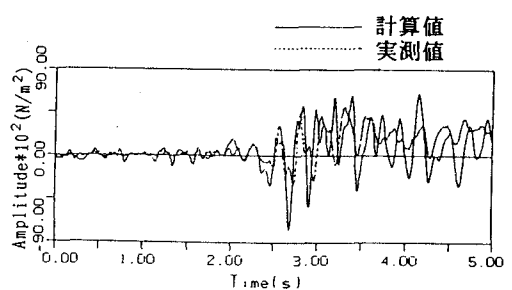


(b)対策有

図-4 加速度応答



(a)対策無



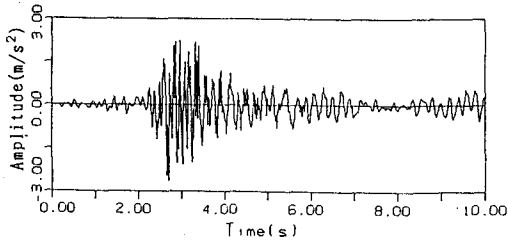
(b)対策有

図-5 過剰間隙水圧

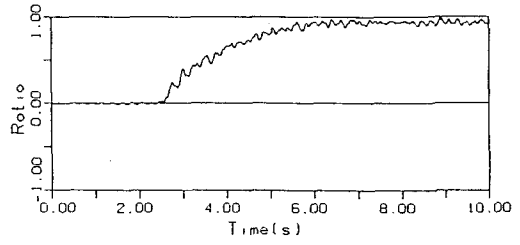
3.2 液状化シミュレーションの結果および考察

地盤が液状化した場合の鋼矢板リング工法の効果を検証するため、図-3に示した波形（10秒間）の最大振幅を240galとし、入力に用いた。そして、対策がある場合とない場合および鋼矢板の剛性を10倍にした場合の3ケースについて解析を実施し、地盤に発生した過剰間隙水圧と地盤の変形に着目し、検討を行った。

タンクから離れたA点の加速度応答と過剰間隙水圧比の時刻歴波形を図-6に示す。過剰間隙水圧は加速度が最大値となってから上昇し始め、6秒前後で地盤はほぼ完全に液状化している。図-7にタンクの下にあるC点および鋼矢板リング外側近傍のB点の過剰間隙水圧比の経時変化を示す。どのケースにおいても、C点は間隙水圧比が約2.5秒から上昇し始め、対策がない場合の最大値は0.32となっている。B点については、タンクの回転の影響によって間隙水圧比の変動が激しい。B点とC点の地盤は液状化に至っていない。対策がない場合と対策がある場合を比較すると、対策がある場合はB点の間隙水圧比が大きくなっているが、タンク下にあるC点の間隙水圧比が7割程度低減していることがわかる。この傾向を確認するため、BとC地点



加速度応答



過剰間隙水圧比

図-6 A点の加速度応答と過剰間隙水圧比

における地盤の最大過剰間隙水圧比の深さ方向分布を図-8に示す。タンクの下にあるC地点は、どの深さにおいても対策がある場合の過剰間隙水圧比が小さく、その値は対策がない場合の半分程度になっている。これは、対策がある場合、タンク下の地盤のせん断変形が抑制されるので、過剰間隙水圧が小さくなると思

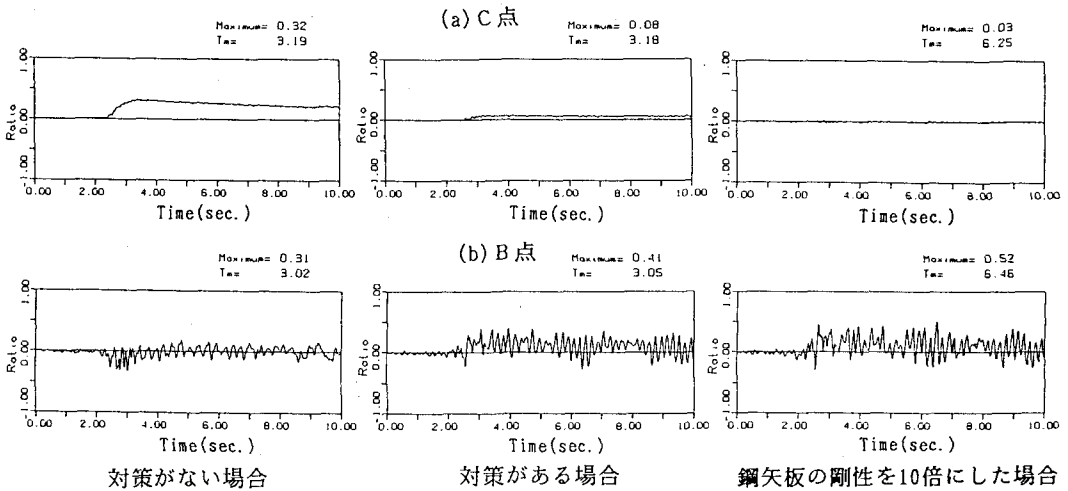


図-7 過剰間隙水圧比

われる。鋼矢板リング外側近傍においては、対策がある場合の過剰間隙水圧比が逆に大きくなっている。これは、対策がある場合、鋼矢板リング内側の地盤と鋼矢板リングからなる基礎の剛性が高くなることから、鋼矢板リング部分に作用する力が大きくなり、対策ない場合よりも過剰間隙水圧比が大きくなっていると考えられるが、更に遠心実験装置などを用いた液状化実験によって、この傾向を確認する必要がある。従って、本工法を用いる場合は、タンク下の地盤の過剰間隙水圧を低いレベルに抑えると同時に、鋼矢板リン

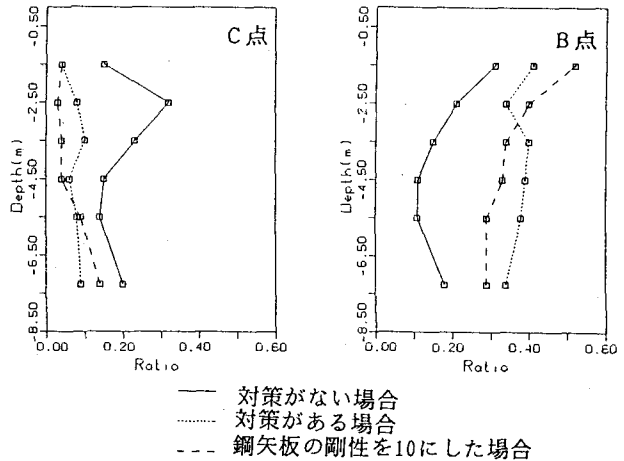
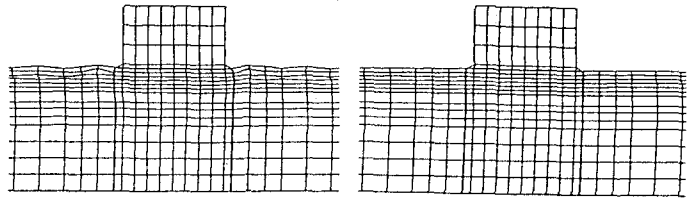


図-8 最大過剰間隙水圧比の深さ方向分布

グ外側の間隙水圧が顕著に大きくなるように鋼矢板リングの剛性を合理的に決めるべきである。いまの例ではほとんど点の最大過剰間隙水圧比は剛性が高い場合の方が小さくなっているが、鋼矢板リング外側の上部地盤については剛性が高い場合の方が大きくなっている。鋼矢板リングの剛性の影響については、今後さらに詳細な検討を行う必要がある。



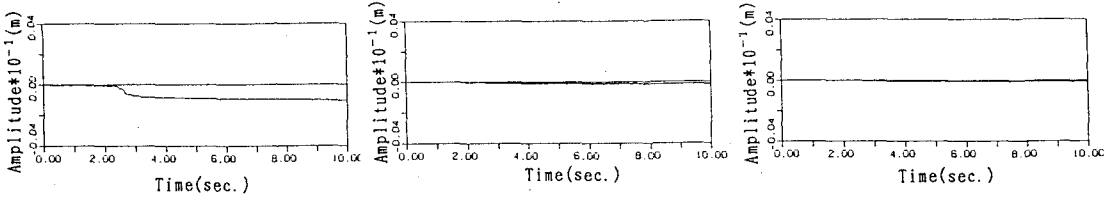
対策がない場合

対策がある場合

図-9 加振後の変形図

10秒加振後の変形を図-9に、タンク

ク下面中央部(D点)の鉛直変位を図-10に示す。対策がある場合は、対策がない場合に比べ、タンクの沈下が9割程度小さくなっており、鋼矢板リングの拘束効果が顕著に現れていると思われる。対策がある場合と鋼矢板リングの剛性を10倍にした場合では、変形量の差は小さい。



対策がない場合

対策がある場合

鋼矢板の剛性を10倍にした場合

図-10 鉛直変位

4. まとめ

有効応力解析プログラムDYNAPLOWを用いて地震観測のシミュレーションを行い、解析手法の妥当性を検証した後、大地震時に地盤が液状化した場合のタンク-鋼矢板-地盤系のシミュレーション解析を実施し、鋼矢板リング液状化対策工法の効果について検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

1)今回示した範囲においては、DYNAPLOWを用いてタンク-鋼矢板-地盤系の実挙動が再現できた。

2)鋼矢板リング液状化対策工法を用いることによってタンク下の地盤の過剰間隙水圧が大幅に低減し、タンク下の地盤の沈下量も大幅に減ることがわかった。鋼矢板リングの剛性をあげれば、タンク下の地盤の間隙水圧比、沈下をさらに低減できるが、鋼矢板リング外側地盤の間隙水圧が増大する可能性があるため、注意する必要がある。

今後、遠心装置などを用いた液状化実験によって液状化現象を確認すると共に、入力地震動の特性やタンクの重量などの要因の影響を解明していきたい。

参考文献：

- 1)澤内他, 液状化対策工法に関する研究(第1報), -鋼矢板リング工法の開発-, 土木学会第47回年次講演概要集, 第3部門, pp280-281, 1992.
- 2)大保他, 鋼矢板リング工法による液状化対策に関する研究(その1 鋼矢板リングで施工された地上式タンクでの地震観測), 土木学会第48回年次学術講演会, 1993
- 3)J.H. Prevost, DYNAPLOW: A nonlinear transient finite element analysis program, Dept. of Civil Eng. and Op. Research, Princeton University, last update 1992.