

鋼矢板工法の液状化抑止効果について

岐阜大学 正会員 八嶋 厚 正会員 岡 二三生
正会員 田口 洋輔
徳倉建設(株) 正会員 須藤 完
日本鋼管(株) 正会員 関口 宏二

1. はじめに

地震時の液状化による被害を抑止、あるいは低減する対策工法には、種々の方法が提案され、実用に供している。しかし、液状化時の挙動は複雑であり、各種対策工法が必ずしも的確にまた経済的に設計されているとはいえない。本研究は、水と土を連成させた2次元有効応力解析手法を用い、鋼矢板工法、あるいはドレーン材をモデル化し、仮想的な地盤においてパラメトリックスタディを実施したものである。本研究においては、液状化に対する矢板およびドレーン材の効果、あるいは対策工法の留意点について考察を行う。

2. 解析手法の概要

本解析手法は、Biotの二相混合体理論に基づいて、固相の変位 u 、液相の間隙水圧 p を未知数とした u - p formulationを用いている。Okaら(1994)の方法にしたがい、つりあい式は有限要素法を用いて、連続式は差分法を用いてそれぞれ空間に対して離散化し、両式はNewmarkの β 法を用いて時間離散化を行っている。解析精度についてはOkaら(1994)によりすでに検証されている。本研究においては、鋼矢板をモデル化するため、弾性梁要素を導入している。

土の有効応力とひずみの関係を記述する構成モデルは、弾塑性理論に基づいており、過圧密境界曲面、非線形移動硬化則、流れ則の一般化などの概念を取り入れた構成モデル(Okaら;1992、Tateishiら;1995)であり、多様な応力状態に対応する実用的な3次元および2次元液状化解析を可能としている。

3. 解析モデルと解析ケース

鋼矢板およびドレーン材の液状化に対する効果を確認するため、仮想の地盤および鋼矢板・ドレーン材をモデル化した。以下に、解析モデルの概要と解析ケースを示す。

(1) 解析モデル

本解析では、解析対象地盤として新潟市川岸町付近の砂地盤を想定し、パラメーターの設定を行った。(井合ら;1991)。解析領域は、幅20m、深さ14mとし、200の平面ひずみ要素に分割している。底面の節点変位は固定、側方は等変位境界とし、また、底面と側面は非排水境界、地下水位面(GL-2m)を排水境界とした。Newmarkの β 法における β 、 γ をそれぞれ0.3025、0.6とし、質量比例型減衰2%を考慮した。モデル地盤と基本的な材料パラメーターを表-1に示す。入力波は、最大加速度50galの正弦波($f = 1Hz$ 、 $\Delta t = 0.03125sec$ 、10波)を加振した。

(2) 解析ケース

表-2、図-1に、行った解析ケースの一部とそのモデル図を示す。鋼矢板は、弾性梁要素を用いてモデル化し、III型($t=13mm$)を想定して剛性を設定した。また、矢板によるせん断変形抑制効果を増加させるため、矢板の頂部はタイロッドを想定した梁材でつないでいる。ドレーン材は埋め戻し砕石としてよく使用される5号砕石を想定したパラメーターの設定を行っている。CASE-1は自由地盤による基本ケースであり、CASE-2.1、CASE-2.2は矢板およびタイロッドのみを想定したケースで、CASE-2.1とCASE-2.2では矢板による締切り範囲が異なる。CASE-3は、一部地盤をドレーン材で改良したケースを想定し、CASE-4は矢板の締切りとドレーン材を併用したケースである。

On the Effect of Sheet Piles as a Countermeasure against Liquefaction

Yashima, A., Oka, F., Taguchi, Y. (Gifu University), Sudo, I. (Tokukura Construction) and Sekiguchi, K. (NKK)

表-1 モデル地盤と基本的パラメータ

深度	土質 (相対密度)	単位体積 重量 (tf/m ³)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (tf/m ²)	変相角 φ _m	破壊角 φ _f	液状化抵抗	
						N=5	N=20
▽ GL-2m	表土	1.8	2200	28°	30°	—	—
▽ GL-5m	中砂 (30~40%)	1.9	2300	28°	31°	0.114	0.090
▽ GL-8m	中砂 (45%)	1.9	4400	28°	35°	0.150	0.110
▽ GL-11m	中砂 (50~55%)	1.9	6600	28°	37°	0.200	0.140
▽ GL-14m	中砂 (50~55%)	1.9	6600	28°	37°	0.200	0.140

表-2 解析ケース

	CASE-1	CASE-2.1	CASE-2.2	CASE-3	CASE-4
矢板締切幅	—	4.0 m	2.0 m	—	4.0 m
矢板長	—	9.5m	9.5m	—	9.5m
ドレーン幅	—	—	—	4.0 m	4.0 m
ドレーン深さ	—	—	—	9.5m	9.5m
備考	無対策	矢板のみ	矢板のみ	ドレーンのみ	矢板+ドレーン

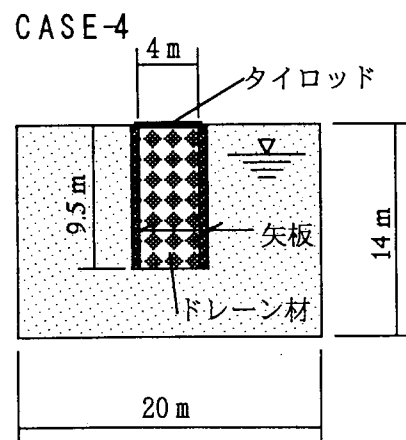
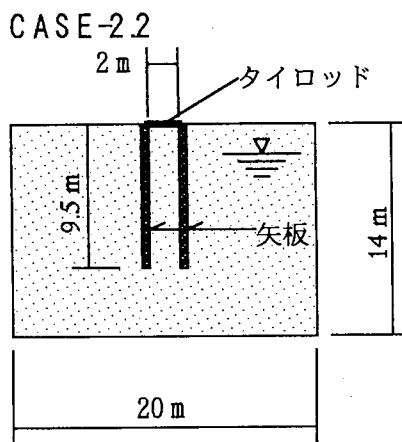
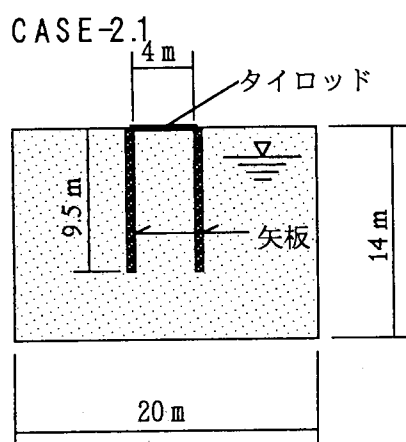
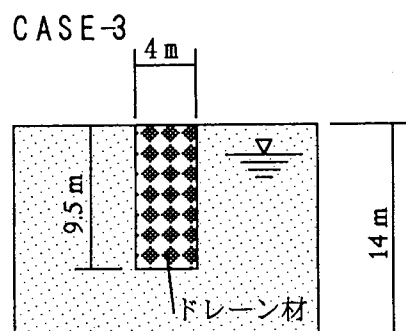


図-1 解析モデル

3. 解析結果と考察

表-2に示した各ケースについて、解析結果を示す。結果は、基本的に過剰間隙水圧の時刻歴によって比較し、考察を行うものとする。図-2は、CASE-1における過剰間隙水圧の時刻歴である。GL-5.75m、-10.25mでは過剰間隙水圧比が0.6程度に達しているのに対して、GL-2.75mでは過剰間隙水圧比は0.5に達せず、加振中であるにもかかわらず水圧が低下している。これは、GL-2.75mが地下水水位面（排水境界面）に近いので消散を生じているためである。

図-3に各種対策工法を想定したCASE-2~4の解析結果を示す。図-3(a)はCASE-2.1の解析結果であるが、CASE-1と比較してほとんど違いがみられなかった。矢板締切りの内側と外側においてもほぼ同様の挙動を示しており、変形拘束による効果はみられなかった。これは、矢板および締切り内外の土要素が同位相で振動しているためと考えられる。図-3(b)はCASE-2.1に対して締切り幅を狭くしたCASE-2.2の解析結果であるが、ほとんど違いは生じなかった。CASE-2.1、2.2以外にも矢板長、タイロッドの拘束条件などを変えて解析を行ったが、自由地盤であるCASE-1とほとんど相違はみられず、矢板の拘束による液状化の抑止効果は確認できなかった。

Okaら(1994)は、同様の手法を用いて、CASE-2.1、2.2のような壁状改良効果について興味深い解析を行っている。石炭灰で埋め立てられた地盤の液状化抑止工法を選定するために行われた大型振動台実験(前田ら; 1994)のシミュレーションである。図-4に示すように土槽内に壁状もしくは格子状のシリコンゴムを設置し、固化改良体の液状化抑止効果が実験的に確かめられた。模型の相似則に基づいてシリコンゴムを用いているが、実地盤のスケールではセメントを用いたかなり剛性の高い改良体である。壁状および格子状の改良体がない場合についても同様の振動台実験が実施されている。基盤入力は5 Hzのサイン波(未改良地盤では最大70 gal、改良地盤では最大100 galを入力)である。図-5に実験結果と解析結果をまとめて示す。これらの図では、模型地盤各深度の液状化に至る繰り返し回数がプロットされている。未改良地盤では、少ない繰り返し回数のもとでほとんどの地盤が液状化に至っていることがわかる。剛性の高い改良体を壁状に配したケースでは、未改良地盤に比べて若干の改良効果はみられるが、図-3(a),(b)と同様に、改良体が地盤とほぼ同位相で振動し、地盤のせん断変形を抑止することはできなかった。解析手法は未改良地盤および壁状改良地盤のそれぞれのケースについて実験結果をほぼ定量的に再現している。以上の結果から、剛性の高い壁状構造物をある程度の間隔で地盤内に配しても、液状化抑止効果はさほど期待できないことがわかる。一方、改良体を格子状に配したケースについては、かなりの改良効果が見られた。したがって、鋼矢板の改良についても格子状またはリング状の改良であれば効果が期待できるのかもしれない。これらの改良構造については3次元的な取り扱いが必要である。

図-3(c)は地盤の一部をドレーン材に置き換えたCASE-3の解析結果である。透水性の良いドレーン材に置き換えたことにより、置き換えた要素に関しては消散速度が大きくなるため間隙水圧の上昇度合いが低下している。しかし、水圧の上昇が抑えられるのはドレーン材要素のみでドレーン材と隣合う原地盤の要素ではもはやほとんど影響を受けていない結果となった。図-3(d)はドレーン材と矢板締切りを併用したCASE-4の解析結果である。両者の併用により、締切り内のドレーン材はCASE-1、CASE-3に比較して過剰間隙水圧の上昇がさらに抑えられており、ドレーンの排水効果と変形拘束効果が現れたものと考えられる。CASE-2.1、2.2に対してCASE-4で変形抑制効果が生じたのは以下のように考えられる。CASE-4は、締切り内外で地盤材料、あるいは液状化強度特性が異なるため、振動により位相差を生じるものと思われる。CASE-1は締切り内外の地盤および矢板が同位相で振動したが、CASE-4では生じた位相差に対して矢板の剛性が抵抗し、多少変形拘束効果が発揮されたものと考えられる。

さらに、ドレーン材による周辺の原地盤への間隙水圧消散効果を確認するために、図-6に示すような解析を行った。図-6では、矢板締切り内をドレーンで置換した締切りを2個想定し、また、矢板を介して水が移動できる、すなわち排水機能を有した矢板をイメージしている。このモデル化により、2個の締切りで挟まれた原地盤は、ある程度の変形拘束と締切り内のドレーン材への水圧の消散が期待できたが、結果は、図-6に示したように原地盤ではほとんど影響を受けず、ドレーン材を用いて原地盤の過剰間隙水圧の低減を確認することは、本研究においては得られなかった。

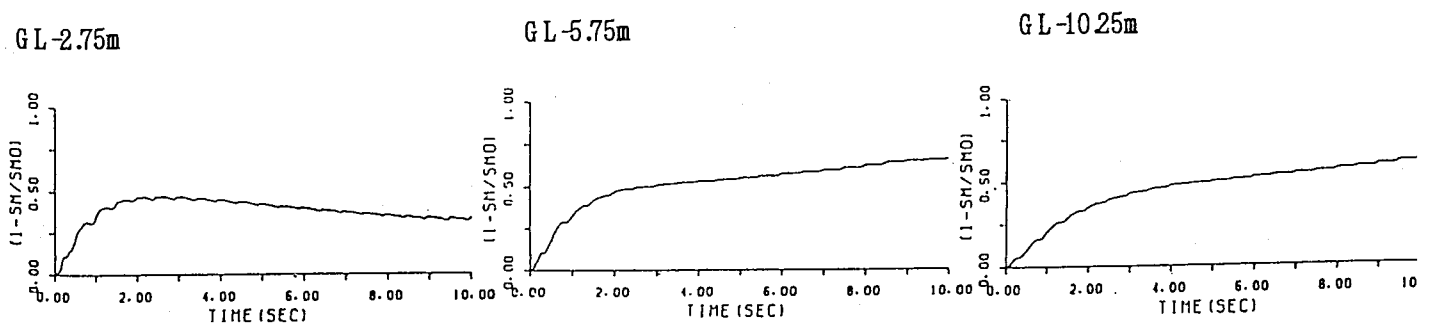


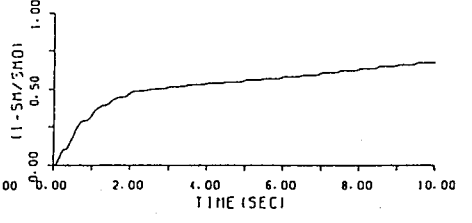
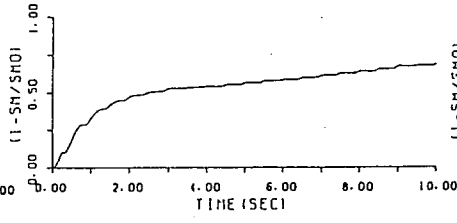
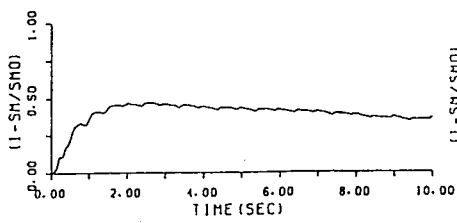
図-2 CASE-1 (自由地盤)における解析結果

(a) CASE-2.1

GL-2.75m (縮切り内)

GL-5.75m (縮切り内)

GL-5.75m (縮切り外)

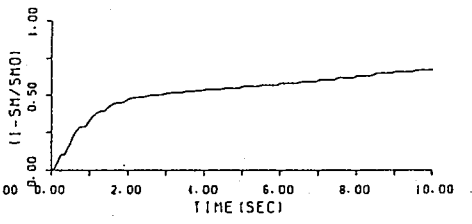
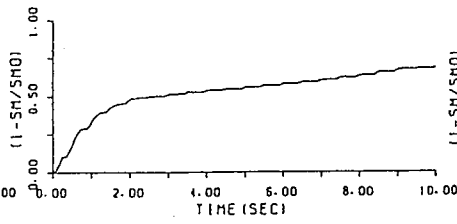
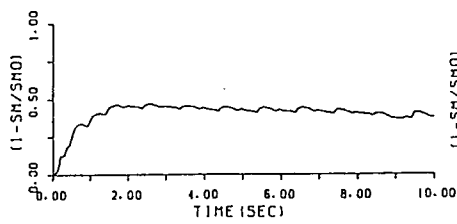


(b) CASE-2.2

GL-2.75m (縮切り内)

GL-5.75m (縮切り内)

GL-5.75m (縮切り外)

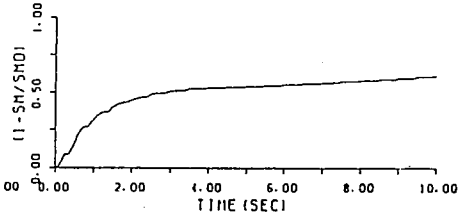
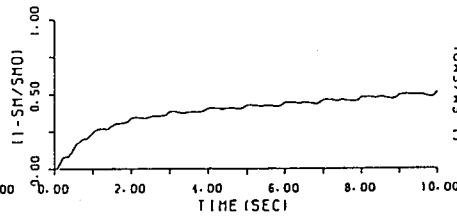
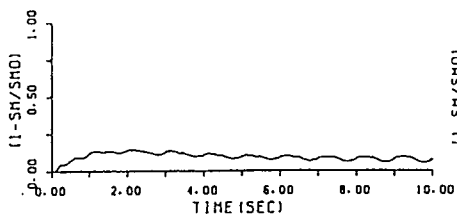


(c) CASE-3

GL-2.75m (ドレーン材)

GL-5.75m (ドレーン材)

GL-5.75m (原地盤)



(d) CASE-4

GL-2.75m (縮切り内、ドレーン材)

GL-5.75m (縮切り内、ドレーン材)

GL-5.75m (縮切り外、原地盤)

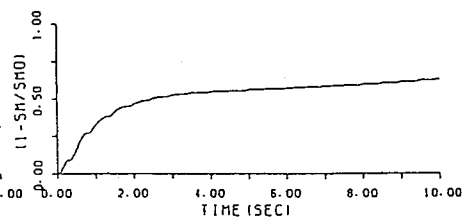
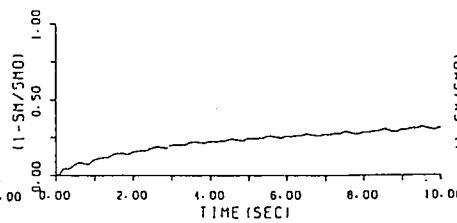
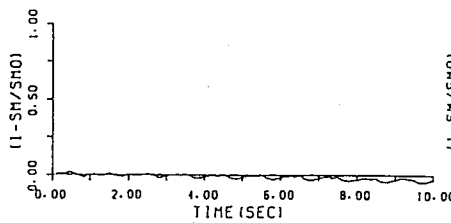


図-3 CASE-2~4における解析結果

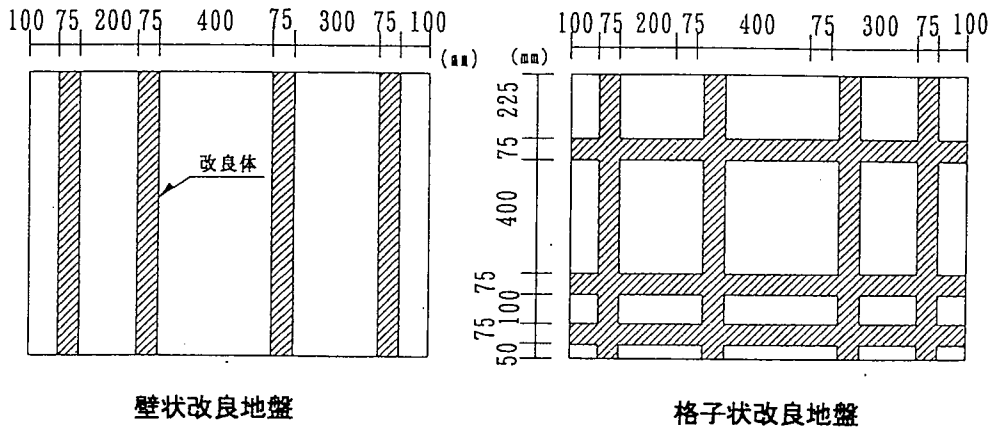


図-4 固化改良体モデル地盤の平面図 (前田ら;1994)

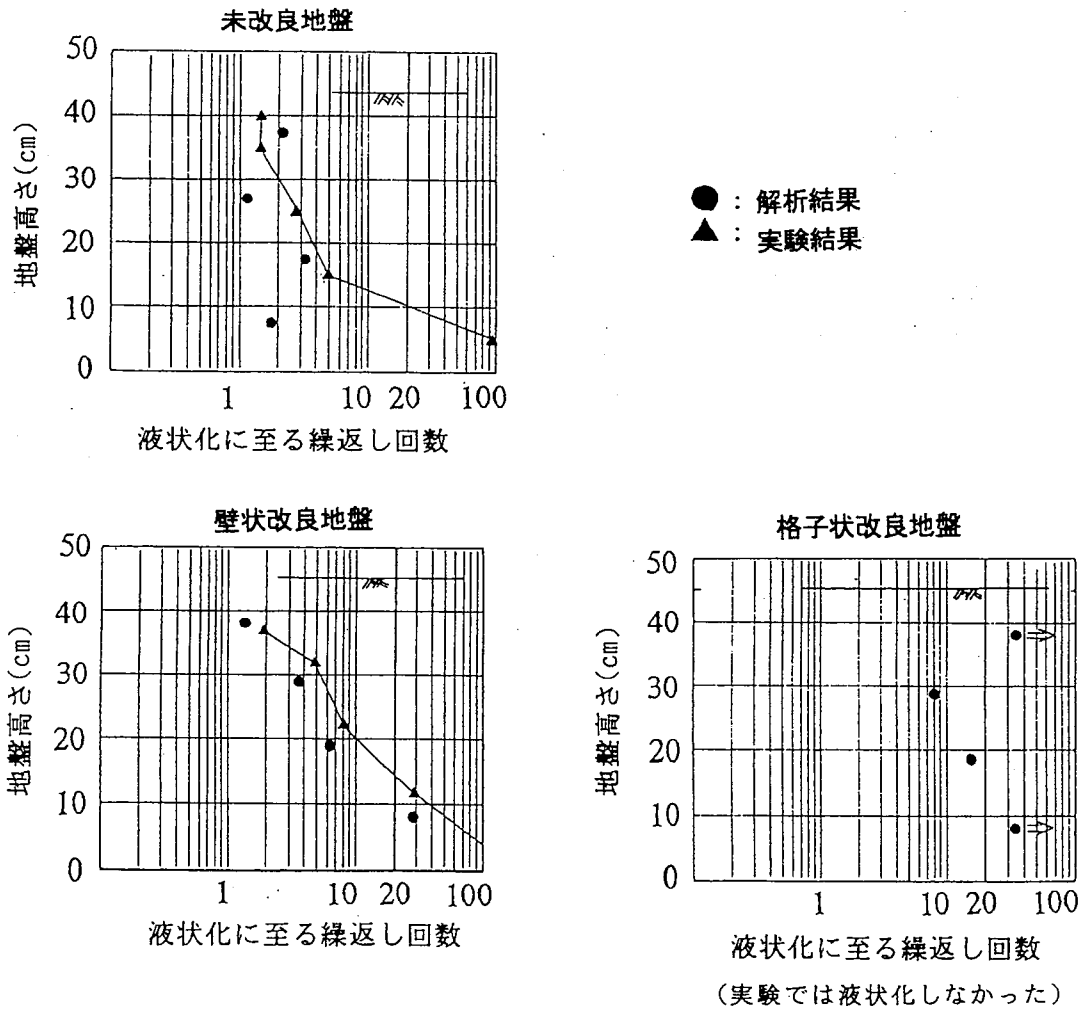


図-5 固化改良体モデルの実験結果と解析結果の比較 (0 kaら;1994)

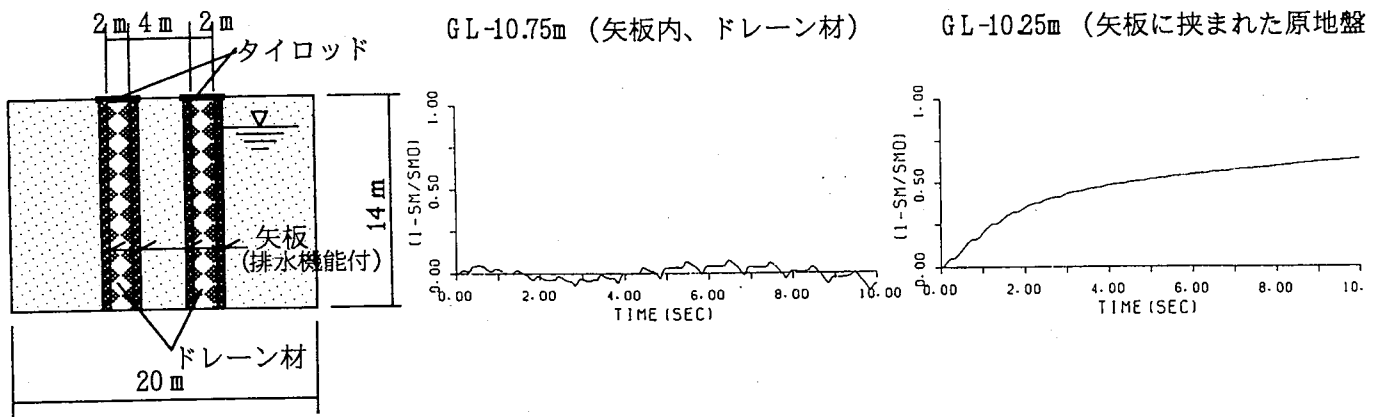


図-6 排水機能付矢板とドレーンを用いた応用解析例

4. まとめ

水と土を連成させた2次元有効応力解析手法を用いて、地震時の液状化に対する矢板締切りおよびドレーン材の効果を確認するパラメータスタディを実施した。その結果、本研究により以下のような結論が得られた。

- (1) 壁状に配した矢板の変形拘束による効果は確認することができなかった。
- (2) ドレーン材の水圧上昇低減効果は置換した部分およびそのごく近傍にのみみられた。
- (3) 矢板とドレーンを併用すると、ドレーン材の効果のほか振動性状が締切り内外で異なるため変形抑制効果もみられた。

本解析はモデル化に際して種々の仮定を行っており、理想化しているため、実際の適用にあたってはさらに詳細な検討が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 井合進・鈴木吉夫・三藤正明(1991): "2.1 解析条件," 土質工学会編, 地盤の液状化対策に関するシンポジウム, pp78-82.
- 2) 前田幸彦・松本正毅・長谷川明生(1994): "石炭灰地盤における液状化対策," エネルギー施設の液状化対策に関するシンポジウム講演概要集, 日本工業技術振興協会.
- 3) Oka, F., Yashima, A., Kato, M. and Sekiguchi, K.(1992): "A constitutive model for sand based on the non-linear kinematic hardening rule and its application," 10th WCEE, pp2529-2534.
- 4) Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M. and Uzuoka, R.(1994): "FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model," Applied Scientific Research 52, pp209-245.
- 5) Tateishi, A., Taguchi, Y., Oka, F. and Yashima, A.(1995): "A cyclic elasto-plastic model for sand and its application under various stress conditions," IS-TOKYO (投稿中).