

(94) 液状化対策としての排水機能付き鋼材の適用に関する振動台実験

住友金属工業(株) ○喜田 浩 田中 宏征  
 才村 幸生 飯田 毅  
 東京電機大学 安田 進 野村 博之

1. まえがき

地震による地盤の液状化対策には地盤の締固めや置換工法などの対象地盤全体を改良する工法の他に盛土法裾でのタイロッドを用いた矢板締切りなど構造物周辺への局所的な対策工が見られる。著者らはその一つとして、地中構造物や盛土等の断面両側に鋼矢板を自立させる締切り工法を取りあげ、間隙水に水を用いた模型振動台実験により矢板の挙動把握、対策効果などを検討している<sup>1)・2)</sup>。ここでは、盛土の法裾に排水機能付き矢板を自立で用いた場合の地盤の液状化の程度と盛土の沈下量の関係および基礎杭への排水機能付き杭の適用性に関し、間隙水にセロース溶液を用いた模型振動台実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 盛土への適用

2.1 実験概要

実験はせん断変形を容易にするため、図1に示す幅120x奥行き45x高さ70cmの両側の壁の下端をピンとし上端をタイロッドで結んだ土槽で行った。模型地盤は目標相対密度が50%の豊浦砂を用いて水中落下法で形成し、間隙水には透水係数を $5 \times 10^{-4}$  cm/secとするため1%のセロース溶液を用いた。盛土は湿潤状態の豊浦砂を締固め、過剰間隙水圧の伝播防止のために模型地盤上に設けたビニールシートの上に作成した。

模型矢板は厚3.2mmの鋼板とし、下端を土槽に固定している。また、柱状ドレーンとして72mm間隔に設けた面積開孔率約16%、直径15mmの樹脂パイプを、板状ドレーンとして樹脂製の格子状(6.8mmピッチ)の板を、それぞれ0.18mmのメッシュで覆い、鋼板に接して設けることにより排水機能を与えている。加振は3Hzで10秒間とし、盛土を置かずに地盤が液状化する150galでの実験を液状化安全率 $F_L=1.0$ とみなし、 $F_L$ 値に応じて入力加速度を調整した。計測項目は間隙水圧、加速度、盛土天端の沈下量、矢板上端の水平変位量、矢板の曲げひずみ歪である。実験の種類を表1に示す。

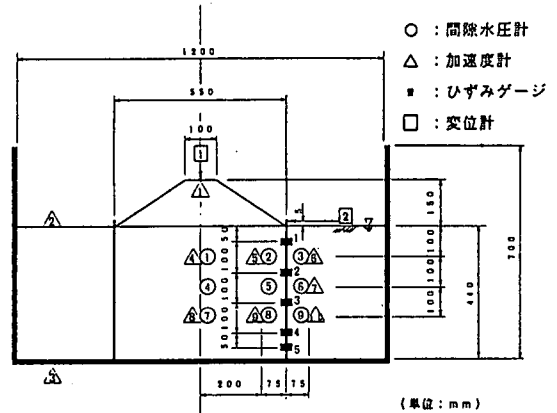


図1 地盤および盛土の模型

2.2 実験結果

測定終了時の盛土沈下量を全ての実験について比較し図2に示す。図2より、盛土の法裾に矢板を設けることにより沈下量は小さくなるが、これは矢板が盛土直下から法裾付近およびその外側への地盤の回り込みを妨げることによる。また、柱状ドレーンの排水矢板(排)では $F_L$ が1近傍で

表1 盛土実験の種類

実験 ケース	模型の種類 ( )内:略号	使用 ドレーン	$F_L$ 値				備 考
			1.1	1.0	0.8	0.6	
C-1	盛土のみ(盛)	-	○	○	○	○	1. タイロッド有り(94)も実施。 2. 板状ドレーン(板)の剛性付きも実施。 3. 貯水・貯水貯付きも実施。
C-2	普通矢板(矢)	-	○	○	○	○	
C-3	排水矢板(排)	柱状	○	○	○	○	
C-3'	排水矢板(板排)	板状			○		
加振条件	台加速度(gal)		135	150	190	250	3Hz, 10秒, 正弦波

普通矢板(矢)よりも沈下量が小さいのに対し、 $F_L$ が0.8付近より小さくなるとこの関係が逆転している。一方、盛土側への排水を防ぐ貯水弁を設けた矢板(排+貯)では普通矢板(矢)より沈下量が小さくなることから、ドレーンからの排水が盛土法掘付近を乱して地盤を緩めると考えられる。板状ドレーンの場合(図中：板排、板排+貯)も同様の傾向を有し、柱状ドレーンよりも盛土の沈下防止に有効であることから、 $F_L$ がより小さい場合でも排水能力を高くして排水水の処理を的確に行くと排水機能付き矢板の方が普通矢板より沈下対策に優れると言える。また、排水機能は矢板の両側に付けるとより効果的である。タイロッドの効果は本結果では明かでないが、 $F_L=1$ 程度では能力の小さな柱状ドレーン付きの排水矢板でもタイロッドより効果的と推測される。

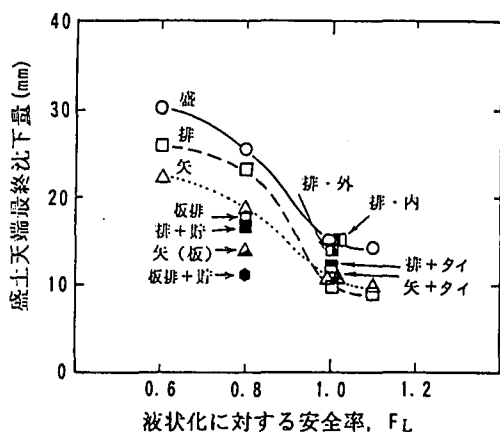


図2 沈下量の比較

### 3. 杭基礎への適用

#### 3.1 実験概要

実験模型を図3に示す。用いた土槽、地盤、加振方法は2.1と同様である。模型杭は $\phi 22$  x t1mm、開孔率5.6%のポリカーボネイト製で、孔部には0.18mmメッシュを施している。計測項目は間隙水圧、杭、フーティング(以下、杭頭と略す)および地盤の加速度、杭頭の水平変位、杭の曲げひずみ、杭への土圧である。実験内容を表2に示すが、杭の曲げ剛性を一定とし、杭の本数、 $F_L$ 値、杭頭重量等の影響を見るものである。

#### 3.2 実験結果

##### (1) 杭の曲げひずみ分布と

##### 各計測項目の経時変化例

一例として、排水4本杭(PD-3)と普通4本杭(PN-3)に関する杭の曲げひずみ(以下、杭ひずみという)の鉛直分布を図4に示す。図は加振レベルが $F_L=0.6$ 、杭ひずみが深さ $z=39$ cmで最大値を示す際の結果である。他の実験に於いても杭ひずみの最大値は同じ計測点で見られるが、これは杭下端が土槽に固定されているためである。排水杭のひずみが普通杭より全体的に小さいことから杭頭変位も同様と推定される。また、図5に示す各計測項目の経時変化例をまとめると次のようである。①杭頭変位の最大値は地盤強度が失われるまでに発現し、排水杭の方がやや小さい。②地盤が液状化した後は変位は定常振動状態となるが、その振幅は排水杭の方がやや大きい。③最も深い計測点No.6での杭ひずみは杭頭の変位とほぼ同様に

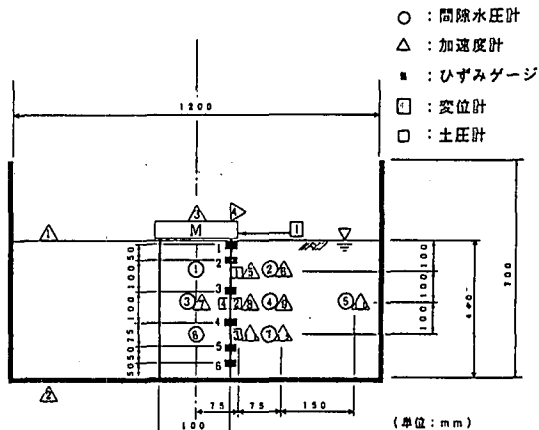


図3 杭基礎の模型

表2 杭基礎実験の種類

実験 ケース	模型の種類	$F_L$ 値	杭頭 重量 kgf	備 考
PN-1	普通4本杭	1.0	4.0	使用杭 ポリカーボネイト製 $\phi 22$ mm 開孔率5.6%  左記のほかに 普通単杭の水平 載荷実験も 実施。
-2		0.6	0.8	
-3		0.6	4.0	
PD-1	排水4本杭	1.0	4.0	
-2		0.6	0.8	
-3		0.6	4.0	
SN-1	普通単独杭	0.6	0.2	
-2		0.6	1.0	
SD-1	排水単独杭	0.6	0.2	
-2		0.6	1.0	

変化し、普通杭の方が数割大きい。④水圧比を見ると、排水杭の場合は普通杭に較べ上昇が遅く滑らかである。⑤基礎外面の土圧は杭頭変位の増減部に振動した後、ほぼ一定値に低減し、同一深度の杭の加速度との対応がよい。⑥水圧、土圧、加速度とも普通杭で振幅が大きく、鍵裂き状の振幅が多く見られる。⑦①～⑥は他の4本杭の実験でも概ね同様であったが、単独杭では(図示していないが)現象の発現が早く、杭頭変位と杭ひずみの最大値の間の位相差が顕著であった。

これらの結果より、排水杭では間隙水圧上昇に伴う地盤の骨格の変化が普通杭に較べ滑らかに進行し、杭近傍での地盤強度をある程度保持するため、杭の曲げ剛性が見かけ上大きくなると考えられる。

(2) 杭頭変位と杭頭重量、杭数、杭種および $F_L$ 値の関係

杭頭最大変位振幅と杭頭重量、杭本数、杭種の間接関係を図6～図8に、液状化発生後の杭頭変位振幅と杭種の間接関係を図9に示す。これらの図より、杭頭変位に与える各要素の影響では $F_L=0.6$ が $F_L=1.0$ に対して約1.7倍と最も大きく、その他の要素では数割程度までである。詳しくは、図6では杭頭重量に応じて杭頭の最大変位振幅が増加するが、振幅値は普通杭の方が大きいのにに対して振幅増加の程度は排水杭の方が大きい。これは普通杭での周辺地盤の応答加速度が大きいと、杭頭重量が排水杭により影響したためと考えられる。

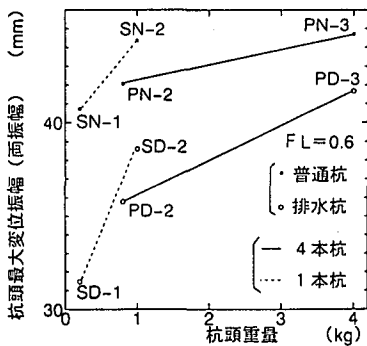


図6 杭頭重量の変化と杭頭最大変位振幅の関係

●—●  $t=2.25\text{sec}$ (+側圧最大時)    —○—○  $t=2.27\text{sec}$ (+側圧最大時)  
 - - -  $t=2.43\text{sec}$ (-側圧最大時)    - - -  $t=2.10\text{sec}$ (-側圧最大時)

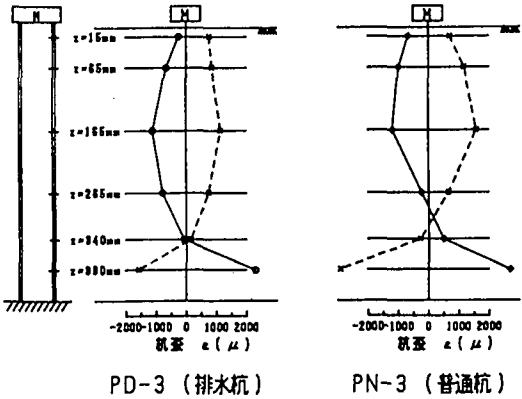


図4 杭の曲げひずみ分布 (最大ひずみ発現時)

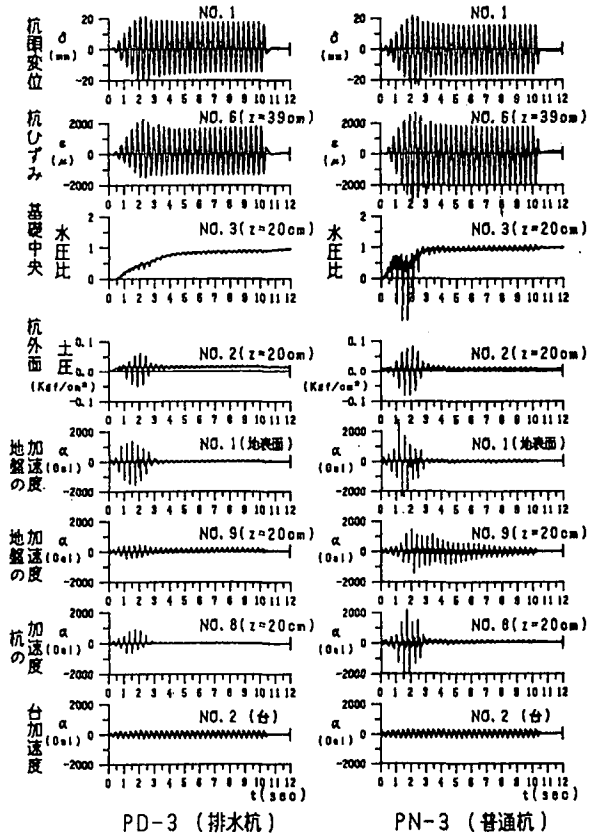


図5 各計測項目の経時変化例

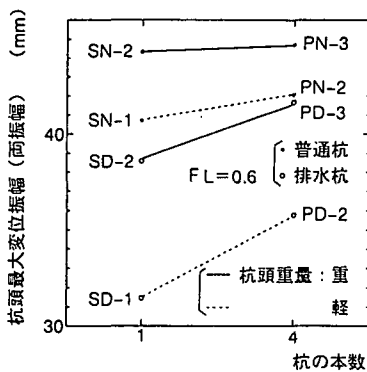


図7 杭本数の変化と杭頭最大変位振幅の関係

通常、単に杭数が増えると基礎の曲げ剛性が増加して変位が小さくなるが、図7では一本あたりの杭頭重量が同一で、杭本数が増えているのに変位振幅が大きい。これは、図示していないが、単独杭での間隙水圧の上昇、杭ひずみ、杭頭変位の発現が4本杭と異なるためである。i-m構造である4本杭の場合が杭で囲まれた地盤をより拘束するのに対し、単独杭では拘束が無く液状化が早く生じて地盤の加速度応答が異なると推測される。

液状化に到るまでに生じる変位振幅の最大値については図8に見られるように排水杭の方が普通杭より小さいが、液状化後の結果を示す図9では排水杭の変位振幅が普通杭より大きい。これは排水杭の見かけ曲げ剛性が高いので地盤加速度増幅時には地盤に抵抗し、液状化時には振動台の動きを杭頭まで伝達し易いためと考えられる。

以上の結果は次のように纏められよう。液状化に至るまでの杭基礎が応答変位的挙動を示す段階では杭の曲げ剛性が高いほど杭ひずみが小さく、液状化後の地盤がほぼ停止する段階では振動台の動きが杭を介して杭頭に伝達される際、杭基礎の曲げ剛性と地盤の抵抗の程度により杭ひずみ、杭頭変位の発現が異なるものと考えられる。

#### 4. あとがき

盛土および杭基礎への排水機能付き鋼材の適用性確認のため、地盤の液状化の程度と対策効果について模型振動台実験を行った結果は次のようである。

- ①盛土の沈下防止を法裾への排水機能付き自立矢板で行う際は的確な排出水の処理が肝要である。
- ②基礎杭に排水機能付き杭を用いると曲げ剛性が見かけ上向上し、杭頭変位、杭ひずみの発現が低減した。

#### 参考文献

- 1) 田中、喜田：鋼矢板による盛土の液状化対策に関する振動台実験、第30回土質工学研究発表会、平成7年7月
- 2) 田中、喜田：鋼矢板締切りによる埋設構造物の液状化対策に関する模型実験、土木学会第50回年次学術講演会、平成7年9月

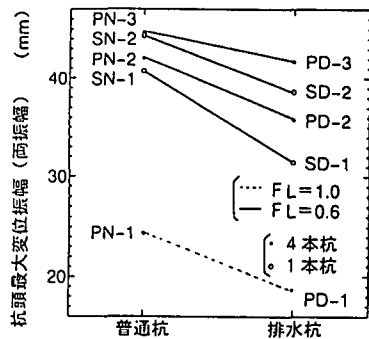


図8 杭種の違いと杭頭最大変位振幅の関係

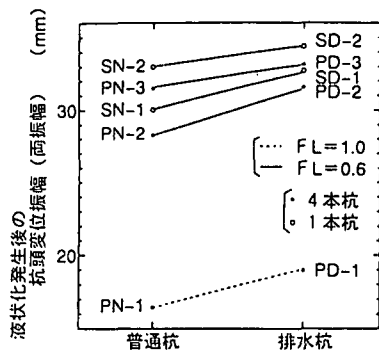


図9 杭種の違いと液状化発生後の杭頭変位振幅の関係