

液状化土槽中の鋼矢板模型に作用する 地盤反力の変化

酒見卓也¹・末岡 徹²・森川孝義³・長山秀昭⁴

¹正会員 博士(工学) 大成建設株式会社 技術研究所 (〒245 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)

²正会員 工博 大成建設株式会社 技術研究所 (〒245 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)

³正会員 工修 川崎製鉄株式会社 建材技術部 (〒100 東京都千代田区内幸町2-2-3)

⁴正会員 工修 日本鋼管株式会社 基盤技術研究所 (〒210 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1-1)

近年の大地震において液状化現象に伴う構造物の被害が多数報告され、対策工の評価や設計法の確立が急務となっている。液状化対策工の一つに鋼矢板を構造物周辺の地盤に打設して支持力を確保する工法があり簡便な対策として着目されているが、液状化地盤中における水平地盤反力挙動が明確でなく、最適な対策工の設計のためにこの問題を解明する必要がある。

本研究では土槽中に鋼矢板模型を設置し振動台により液状化させたときの矢板に作用する地盤反力を矢板の水平変位から求め整理した。また、排水パイプを設置したケースも実施し、それらの違いを実験的に把握し地盤反力の残存程度と矢板の最終変形量を比較した。

Key Words : Coefficient of Subgrade reaction, Model Test, Shaking Table Test, Liquefaction, Sheetpile, Drain Pipe, Excess Pore Water Pressure

1. はじめに

過去の多くの地震で液状化に伴う構造物の支持力低下や地盤の強度低下による基礎の損傷、杭の破壊などが報告されている。地盤の液状化対策・水平支持力の確保の一つの方法として、鋼矢板を用いた地盤拘束工法があり、施工の容易さなどからこれまでも実際に用いられている。しかしながら、本工法を設計する際に水平地盤反力が、特に液状化が発生した場合にどの程度期待できるかが十分に明らかにされていない。ここでは矢板に静的に作用している地盤反力が加振と液状化の発生に伴いどの程度減少するかを実験的に把握することを試みた。

以下に筆者らが実施した振動台実験結果に2, 3の考察を加え報告する。

2. 実験概要

(1) 実験土槽と模型地盤

実験に用いた土槽はせん断土槽で、内法で幅2.5m×奥行1.2m×高さ1.7mである(図-1)。使用

した砂は、全ての実験ケースで均質でバラツキが少なく入手が容易なものとして、市販の6号珪砂とした。6号珪砂の物理定数を表-1に示す。模型地盤の作成手順は以下の順序による。

- (a) 土槽内にあらかじめ水道水を50cm程度満たす、
- (b) クレーンに吊り下げたホップの先端にφ7.5cmのホースを取りつけ、水面から30cmの高さで砂が土槽内に一様に分布するように人力で水中落下させる。
- (c) 砂が水面近くまで達したら、水道水を加えて水深を再び50cm程度にする。
- (d) 再び砂を投入し、所定の位置になるまで作業を繰り返す。

このとき、予備実験としてホップの高さを変化させて目標とする密度になるような砂の落下高さを調べた。以上のようにして得られた模型地盤の相対密度は表-2に示す実験ケース一覧に示した。

(2) 鋼矢板模型と排水パイプ

鋼矢板模型には、実験土槽内地盤の液状化に伴い適当な変形が生じる材質で、かつ弾性変形しゲージの貼付が可能なものという条件から、板厚3mmの

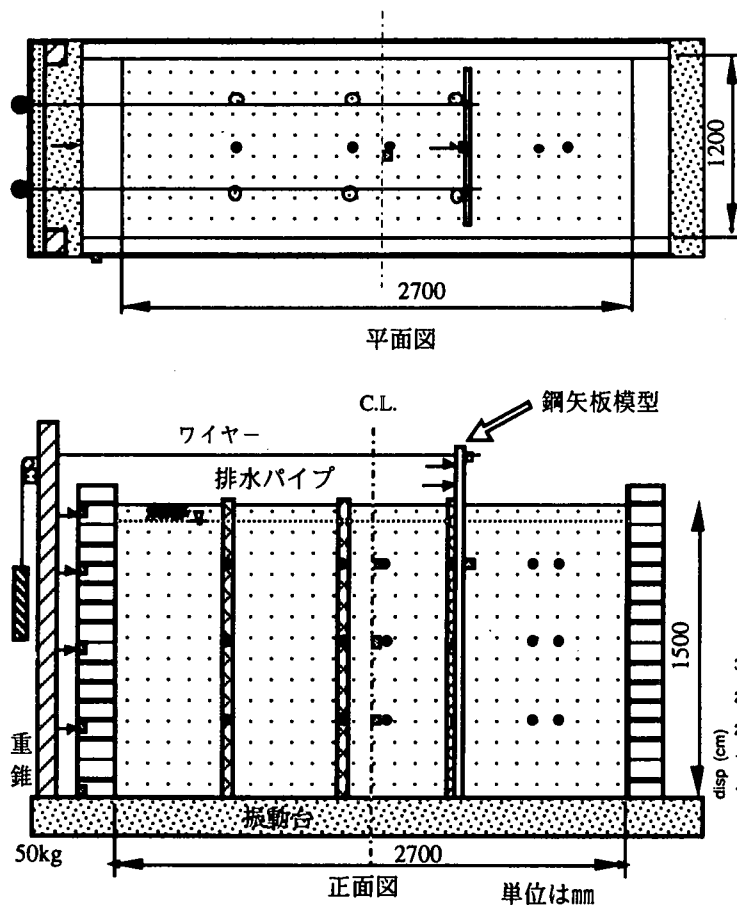


図-1 実験模型概要 (ケース5の例)

表-2 実験ケース一覧

ケース	鋼矢板	排水パイプ	備考
No. 1	なし	なし	予備実験
	相対密度: $Dr=30.8\%$		地盤のみ
No. 2	1枚	なし	基本ケース
	相対密度: $Dr=26.0\%$		矢板のみ
No. 3	1枚	1列	100 galから加振**
	相対密度: $Dr=27.1\%$		
No. 4	1枚	2列	
	相対密度: $Dr=29.3\%$		
No. 5	1枚	3列	
	相対密度: $Dr=28.7\%$		

- ・全ケースとも入力は、正弦波2Hz, 20波
- ・地盤材料: 6号珪砂, 水中落下にて作成
- ・鋼矢板模型: アルミ製, $t=3\text{mm}$, $W=1\text{m}$
- ・入力レベルは、ケース3以外は50, 75, 100, 125 gal のステップ加振

表-1 6号珪砂の物理定数

specific gravity		2.72
max. grain size (mm)		0.85
mean grain size (mm)		0.30
fine gravel content (%)		0.00
coarse sand content (%)		0.70
fine sand content (%)		99.10
silt content (%)		0.20
min. dry density (grf/cm^3)		1.410
max. dry density (grf/cm^3)		1.690

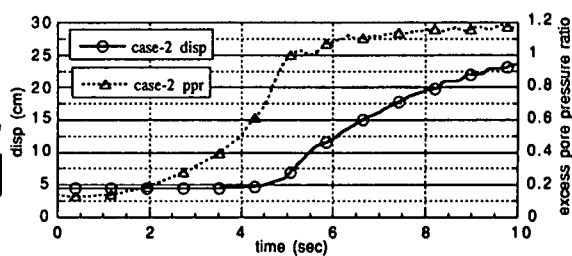


図-2 ケース2 (矢板のみ) の時刻歴

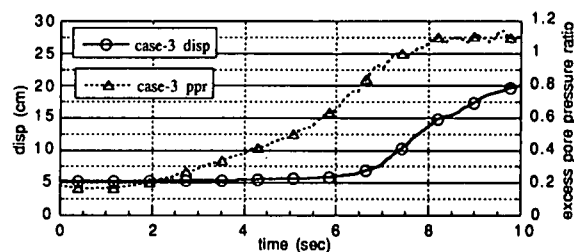


図-3 ケース3 (矢板+パイプ1列) の時刻歴

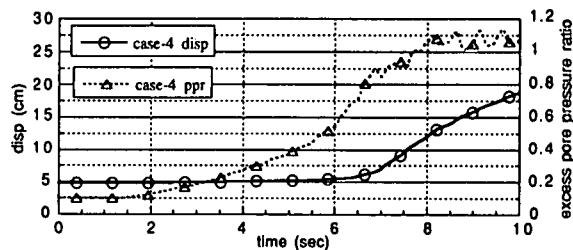


図-4 ケース4 (矢板+パイプ2列) の時刻歴

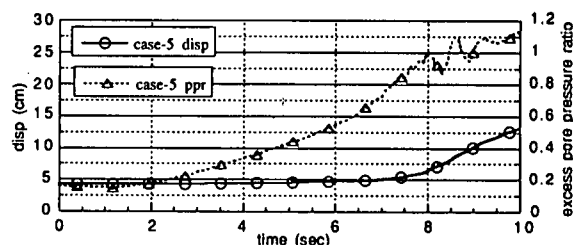


図-5 ケース5 (矢板+パイプ3列) の時刻歴

アルミ板を使用した。このとき、模型矢板に作用する地盤反力の変化を測定するという目的から、矢板模型の相似則については特に寸法との整合は取っていない。尚、矢板下端は土槽底版に固定した。

一方、排水パイプには実物のドレーンパイプのうち細径（φ5cm）のものをを使用した。配置も実際の施工ピッチとほぼ同等とした。ただし、矢板近傍に設置するパイプについては、パイプの剛性が矢板の変形を妨げないように20cm毎に切断して、フィルターを被せて用いた。排水能力については切断による機能低下はほとんどない。

(3) 実験ケースと入力波

実験は、予備実験として実施した地盤だけのケースを含め、表-2の5ケースを実施した。加振は正弦波2Hz、20波入力で、50gal、75gal、100gal、125galのステップ加振を基本とした。

(4) 矢板天端での水平載荷方法と地盤反力の計算

矢板天端には図-1のように50kgの重錐をワイヤーを介して水平に載荷される仕組みとし、この状態のまま静的及び加振時の矢板の水平変位を測定した。矢板天端の変位データを用いて杭基礎に関するChangの計算式¹⁾に当てはめ、深さ方向に一定と仮定した水平地盤反力を時間断面毎に求めた。これより各々のケースで水平地盤反力係数が地盤の液状化に伴いどのように変化するかを調べた。

(5) 計測器

模型内には加速時計、間隙水圧計、変位計、ひずみゲージ、等を設置した。加速時計と間隙水圧計は地盤の液状化により傾斜・沈下が少なくなるよう5cm角の穴開きプレート上に接着して埋設した。

3. 実験結果

(1) 過剰間隙水圧と変位の時刻歴

本実験ケース2～ケース5における入力加速度125 gal時の、矢板天端水平変位と矢板から35cm離れた深さ1.2mでの過剰間隙水圧比の時刻歴を図-2～5に示した。ケース2は4秒、ケース3は5秒、ケース4、5は5.5秒で過剰間隙水圧比(ppr)が0.5に達している。ケース2は過剰間隙水圧比の上昇速度が他のケースより早い。矢板の変形速度はそれ以上に早いことがわかる。排水パイプ設置により過剰間隙水圧の上昇速度が遅くなり、排水パイプが液状化抵抗の増加に寄与していることが分かる。

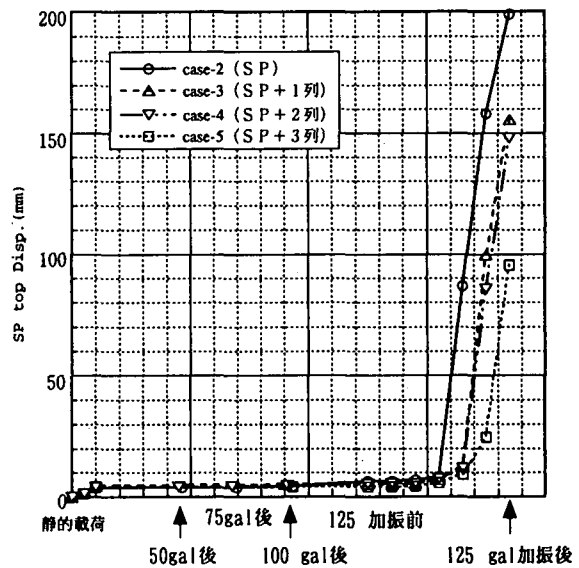


図-6 矢板天端変位の履歴

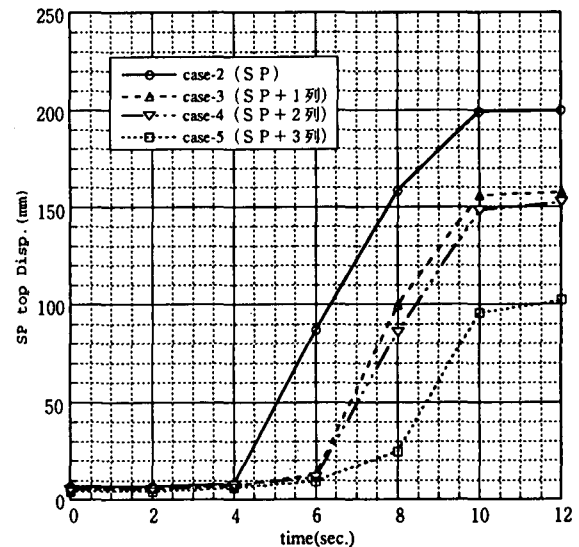


図-7 125 gal加振時の矢板天端水平変位の時刻歴

(2) 矢板天端水平変位

図-6には載荷履歴と矢板天端水平変位の関係を示した。図から100 gal加振までは全てのケースで矢板の大きな変位は生じてなく、125 gal加振での液状化発生に伴い変形していることがわかる。ただし、100 gal加振時でもミリ単位ではケース2の変位が他より若干大きかった。図-7には125 gal加振時の変位の時刻歴を示した。ケース2の変形発生時期が早く、変形量も大きいことがわかる。

(3) 過剰間隙水圧比

図-8は125 galにおける過剰間隙水圧比を加振時刻歴で示した。図では(2)で説明した図-7の矢板変位の関係と同様にケース2の過剰間隙水圧比が早く上昇していることがわかる。また、4秒を過ぎた辺りからの上昇は特に急激であることがわかる。

(4) 矢板の地盤反力係数

図-9には図-6の変位を基に静的载荷後からの地盤反力係数比の変化を载荷履歴で示した。図で、100 gal加振時にケース2が他に比べて地盤反力係数が大きく低下している。これは(2)に記したようにケース2の矢板天端変位が他より若干大きかったことによるもので、ここでは図示していないがこのとき過剰間隙水圧比も0.4程度まで上昇していた。尚、その他のケースでは0.1~0.3程度であった。

図-10は図-9における125 gal加振時の地盤反力係数比の変化を、加振前の地盤反力を初期のK値：K0（厳密にはK0ではない）として加振時刻歴で示したものである。すなわち、同程度の加振エネルギーを受けたときの地盤反力係数比の変化を比較した。図-10からケース2の地盤反力の低下が他のケースより早い時期に生じていることがわかる。

4. まとめ

一連の実験結果から、鋼矢板工法の模型で排水パイプのない場合はパイプを有するケースに比べて同じエネルギーを受けたときの矢板の変形速度と過剰間隙水圧の上昇が極めて速いことがわかり、地盤反力係数比の低下が早い時期に生じることがわかった。また、同一ケースでは矢板天端の変形が水圧上昇速度より遅れて進行することもわかった。

排水パイプを併用した鋼矢板では液状化初期の地盤反力係数の低下抑制効果が確認された。すなわち今回得られた情報を整理すると次のようになる。

- ① 排水パイプと鋼矢板により液状化抵抗が増加し、更に液状化発生時でも地盤反力係数の低下を時間的に遅らせることができた。
- ② 過剰間隙水圧比が1.0に達するような完全液状化状態での地盤反力保持程度は、排水パイプの有無による有意な差は見られない。
- ③ 完全に液状化した後の矢板天端の最終変形量は、排水パイプを有する場合は矢板のみの場合の60%に抑えられていた。

今後、地盤反力係数の初期値の取り方について考察すると共に、通常の鋼矢板を用いた場合と排水機能を有する鋼矢板の違いをより明確にし、設計的な立場からも検討を加えていきたい。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会編、杭の調査設計から施工まで、土質工学会ライブラリー、pp.142~pp.147、1993

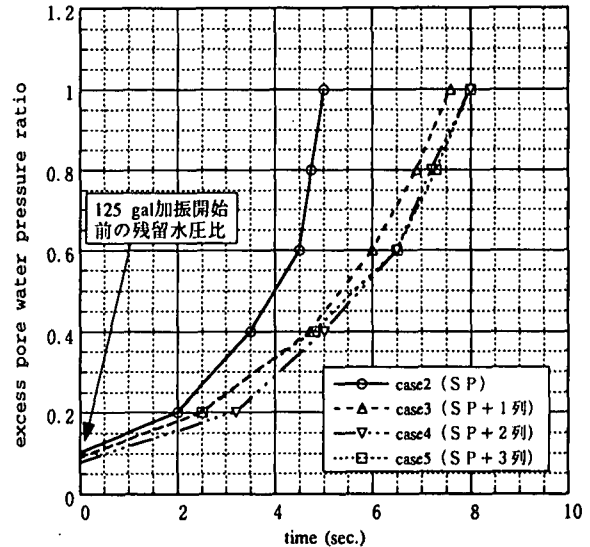


図-8 間隙水圧上昇に要する時間の比較

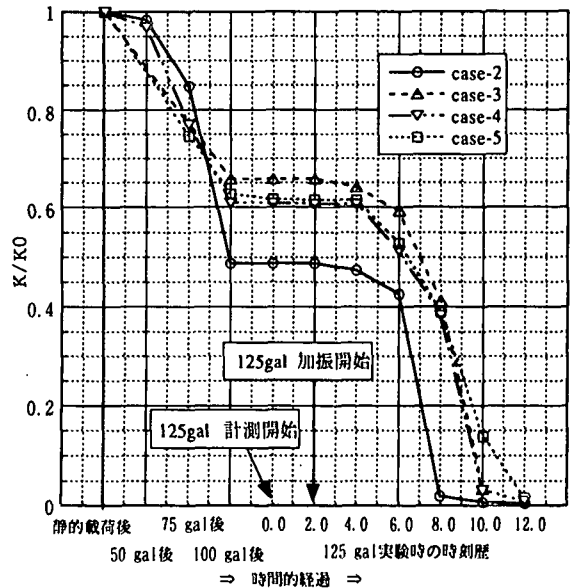


図-9 地盤反力係数比と载荷履歴

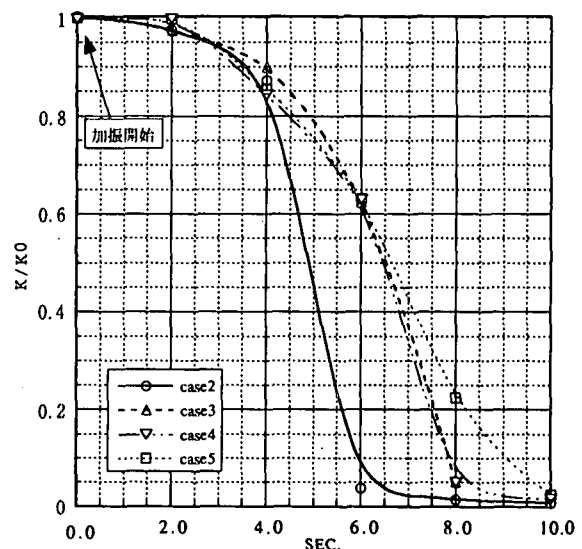


図-10 地盤反力係数比の経時変化