

## シートパイルで補強された杭基礎の模型振動実験

大林組 正会員 樋口 俊一 平尾 淳一  
 鉄道総研 正会員 西岡 英俊 神田 政幸 西村 昌宏

本報告は、既設杭基礎のフーチング周囲に鋼矢板を打設する耐震補強工法（シートパイル基礎補強）<sup>1)</sup>の効果とその荷重分担メカニズムについて、大型振動台実験を実施して検討したものである。

## 1. 目的

建設年代の古い構造物基礎には耐震性能に劣り、耐震補強工事が必要なものが多く存在する。筆者らは直接基礎と鋼矢板を組み合わせたシートパイル基礎を提案し、種々の実験からその耐震性能の向上メカニズムを明らかにしてきた。本報では、既設杭基礎の耐震補強としてのシートパイル基礎補強工法に着目した大型振動台実験結果からその概略的な耐震補強効果を示すとともに、荷重分担メカニズムを分析した。

## 2. 大型振動台実験

図1に実験模型の概要を示す。大型せん断土槽（長さ・深さ2.5m、幅2m）内に乾燥砂地盤を作成し、その内部に縮尺1/10の基礎構造物模型を設置した。模型杭は長さ $L=2100\text{mm}$ （ $L>2.5$ を満足）、断面 $50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 、肉厚 $2.3\text{mm}$ の角型鋼管4本で構成され、杭間隔 $270\text{mm}$ として1辺 $510\text{mm}$ の鋼製フーチングに結合した。模型シートパイル（以下SPと記述）は、実物IV型の1/10相当の凹凸加工を施した板厚 $1\text{mm}$ の鋼板を用い、根入れ長は $500\text{mm}$ とした。模型地盤は乾燥6号珪砂により下端から $1550\text{mm}$ を相対密度90%、それ以上を60%となるようにあらかじめ模型杭およびSPを仮固定した状態で作製した。フーチング上には上部構造物慣性力を作用させるための鋼製錘（質量 $4000\text{kg}$ ）を設置したが、この質量は並行して実施した静的水平交番載荷試験<sup>2)</sup>で基礎に作用させた構造物死荷重と統一した。実験での計測項目は、地盤及び構造物の加速度・変位と、杭・SPのひずみ及びこれらに作用する土圧である。

図2に振動実験で使用した入力加速度時刻歴の一例を示す。入力地盤および構造物-地盤系の弾性固有振動数より低い振動数（ $3\text{Hz}$ および $5\text{Hz}$ ）に設定した正弦波加振とし、振動台の加振レベルを数段階に分けたステージ加振とした。

試験ケースとして、杭基礎単体（Case1）、杭+SP補強（Case2：SPをフーチングに剛結）及び杭+SP非剛結補強（Case3：SPをフーチングに接続しない）の3ケースを実施した。

## 3. 実験結果と考察

図3に各試験ケースでの構造物の基本的な動的特性を把握するために実施した微動計測による構造物-地盤系の伝達関数を示す。Case1（赤）と比較してCase2（緑）、Case3（青）の構造物-地盤系のピーク振動数が大きくなっていることから、SPを付加することにより基礎の剛性が向上したことがわかる。

図4に正弦波 $3\text{Hz}$ 、 $100\text{gal}$ 加振における、鋼製錘

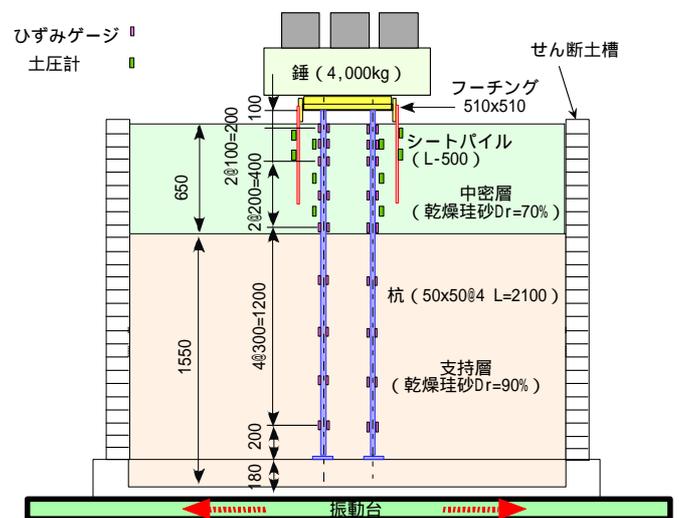


図1 振動実験模型の概要

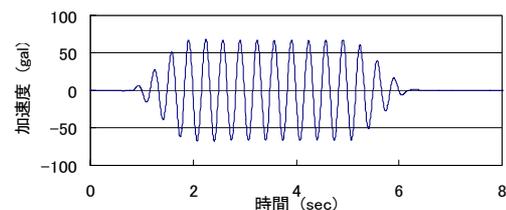


図2 振動台入力加速度時刻歴の例（正弦波 $3\text{Hz}$ ）

キーワード 杭，シートパイル，補強，振動台実験

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組技術研究所構造技術研究部 TEL:042-495-0947

の慣性力（質量 × 応答加速度：作用せん断力）と水平変位（静的載荷実験との整合から、振動台と錘の相対変位で定義）の関係を整理した。杭基礎単体の Case1 に対して S P 補強した Case2 では慣性力 - 変位関係の最大強度と勾配が増加したことがわかる。水平変位 9mm での水平せん断剛性を履歴ループの割線から算定すると、Case1 での 1.0kN/mm に対し、Case2 では 1.2kN/mm と 2 割の向上となった。一方過渡応答時のループから、両者とも水平変位の増大にしたがい構造物 - 地盤系の水平せん断剛性が低減していく様子が見られるが、変位が大きくなると Case2 のほうが履歴吸収エネルギーは大きい。

図 5 に鋼製錘の変位最大時刻での杭の曲げモーメント分布を示す。どちらのケースも最大値は加振方向前杭が大きく、後ろ杭が小さい。Case1 と Case2 で杭頭曲げモーメントの差異は小さいが、地中部の最大値は Case1 のほうが大きい。これは、S P により上部工から杭に作用する水平せん断力の一部が負担されること、S P に囲まれた部分の地盤が S P と一緒に変位するため、杭から地盤に伝達されるせん断力が減少するためであると考えられる。後者の考察は、図 6 に示した同時刻における杭に設置した土圧計の計測結果とも整合する。表 1 に、図 5 に示した曲げモーメント分布から杭頭せん断力(B)を算定し、同じ時刻での作用せん断力（錘の慣性力(A)）と比較した。Case1 では杭頭せん断力と作用せん断力がほぼ同等であるのに対し、Case2 では杭頭せん断力は作用せん断力に比べて半分程度であり、S P 補強により杭頭せん断力分担が低減されたことが示された。表 1 には S P の曲げひずみ分布から算定した杭頭せん断力もあわせて示したが、加振方向前背面 S P の頭部せん断力は非常に小さく、S P のせん断力負担の大半は側面 S P の水平周面抵抗により発揮されているものと考えられるため、その定量評価が課題である。

4. まとめ

模型振動実験により、杭基礎に対するシートパイル補強の効果について以下を確認した。

- ・ 基礎の水平抵抗（剛性）は上昇する。
- ・ 杭のせん断力負担は低減する。

参考文献

1) 西岡英俊, 神田政幸, 山本忠久, 樋口俊一: シートパイルで補強された杭基礎の水平抵抗に関する基礎的模型実験, 第 42 回地盤工学研究発表会 (名古屋), pp.1229-1230, 2007.7.

2) 西岡英俊, 神田政幸, 西村 昌宏, 樋口俊一, 喜多直之, 山本忠久: シートパイルで補強された杭基礎の模型水平載荷実験, 第 63 回土木学会年次学術講演会 (仙台), (投稿中)。

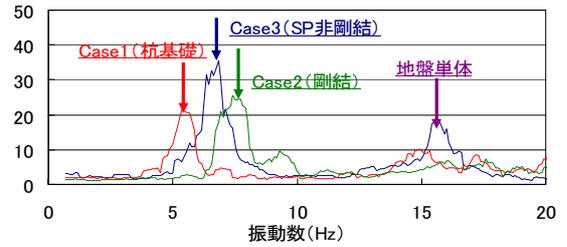


図 3 模型及び地盤の伝達関数

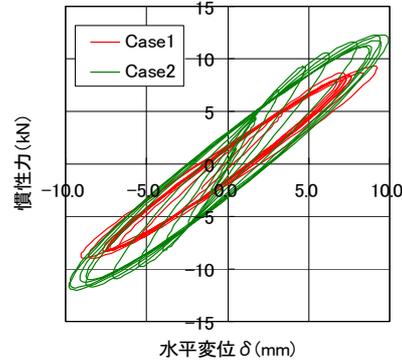
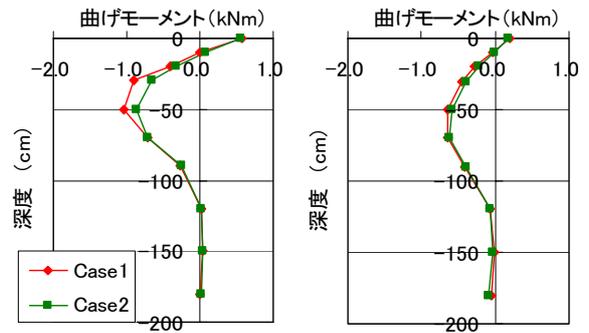


図 4 構造物 - 地盤系の慣性力と水平変位関係



前杭 後杭

図 5 模型杭の曲げモーメント分布 (2 本分)

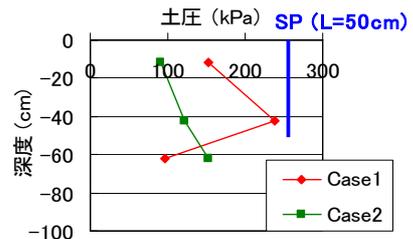


図 6 杭の作用土圧 (前杭)

表 1 杭及び S P のせん断力分担

	Case1	Case2
鋼製錘加速度(gal)	227	313
鋼製錘慣性力(kN)(A)	9.1	12.5
杭頭せん断力(kN)(B)	8.1	6.8
SP(加振方向前背面)せん断力(kN)	—	0.5
B)/(A)	89%	54%