

既設杭基礎のシートパイル補強工法に関する模型実験
～杭とシートパイルの離隔が補強効果に及ぼす影響の検討～

中央大学 正会員 ○西岡 英俊 学生会員 茂木 優希子

1. はじめに

既設杭基礎の周囲に打設した鋼矢板（シートパイル，以下 SP と表記）をフーチングと一体化させるシートパイル補強工法（図-1）は，経済性に優れ，狭隘箇所での施工性に優れる等の特徴から，既設杭基礎の耐震補強工法として期待されている¹⁾。しかし，「既設杭～SP 間の群杭効果」については，未解明な点も残されており，設計手法を合理化する余地が残されていると考える。本研究では，2 次元的な挙動に関する基礎的な実験として，中密な砂に似た特性を示すアルミ棒積層体²⁾を用いた静的水平載荷実験を実施し，模型杭と模型 SP の離隔の違いが補強効果に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

模型地盤は，長さ 50mm，直径 1.6mm と 3.0mm の 2 種類のアルミ棒を重量比 3：2 で混合したものを，幅 700mm の土槽に高さ 300mm まで単位体積重量 21kN/m³ となるように積み上げたものである（図-2）。なお，この混合比のアルミ棒積層体は，粒径加積曲線が豊浦砂のそれと並行に近いことが知られている³⁾。この単位体積重量のアルミ棒積層体に対して箱傾斜法³⁾により計測した安息角は約 30 度であり，これを模型地盤の内部摩擦角 ϕ とした。

模型杭および模型SPには，幅70mmのアルミ板（ヤング率 $E = 73 \text{ GPa}$ ）を用いた。各模型の諸元を表-1に示す。なお，シートパイル補強工法ではSPは支持層には到達させずに杭よりも短い条件でも補強効果を期待した設計がなされることを踏まえ，模型SPの根入れ長 L は模型杭の $1/2$ とした。各模型は模型地盤を作成後に所定の根入れ長 L まで人力で貫入した。また，表-1中には，模型杭および模型SPの特性値 β の逆数 $1/\beta$ と根入れ長 L との積 βL の値も示した。なお，特性値 β は，後述する模型杭・模型SP単独の水平載荷実験での水平荷重 H と水平変位 y_t の関係から以下の式(1)により求めた。

$$\frac{H}{y_t} = \frac{3EI\beta^3}{(1+h\beta)^3 + 0.5} \tag{1}$$

ここで， h ：載荷点高さ（=10mm）， I ：断面2次モーメントである。

表-1より，本実験は，模型杭，模型SPともに一般に半無限長の杭と扱える条件である $\beta L > 3$ を満足しているこ

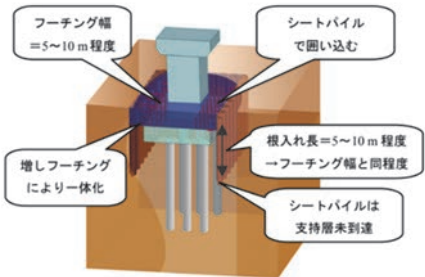


図-1 既設杭基礎のシートパイル補強工法の概要¹⁾

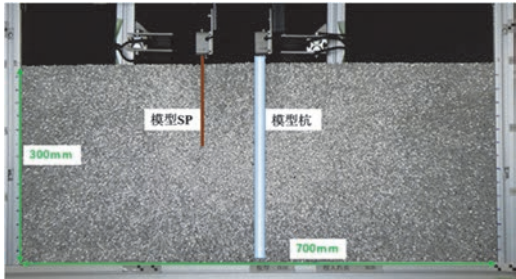


図-2 模型杭および模型SPの設置状況

表-1 模型杭および模型SPの諸元

	模型杭	模型SP
板厚 t	1.0 mm	0.3mm
根入れ長 L	290 mm	145mm
$1/\beta$	89mm	39mm
βL	3.4	3.9

とがわかる。なお，実構造物を想定した既往の研究¹⁾では，杭の $1/\beta$ が SP の 3 倍程度となるような剛性差を設けているが，本実験ではその比率は約 2.3 倍となっている。既往研究に比べると剛性の差は若干小さいが，「既設杭よりも剛性が小さくて根入れの短い SP で効率的に補強効果を発揮する」というシートパイル補強工法のコンセプトは模擬できていると考えている。

実験は，模型杭と模型SPの離隔を30mmから180mmまで変化させた6ケースに，両模型単独を加えた全8ケースとした。模型設置後の状況の例を図-2に示す。杭とSPは剛結せずに，地表面から10mm上方にそれぞれロードセルを配置し，ロードセルの受圧部で直接載荷した。2つのロードセルをそれぞれ模型杭および模型SPに初めて接触した時点を初期状態とし，ロードセル間の距離を固定したまま両ロードセルに同一の変位を与えて一方向の静的水平載荷を行った。載荷中は，模型杭および模型SPの載荷点高さの水平変位をレーザー変位計で計測した。

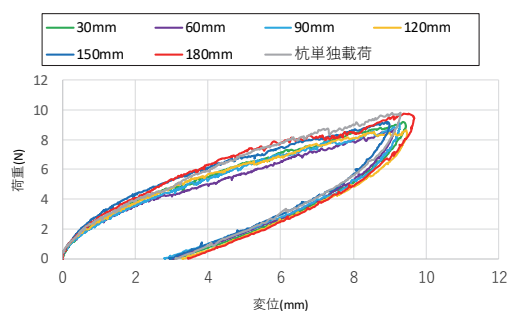


図-3 模型杭の負担荷重～変位関係

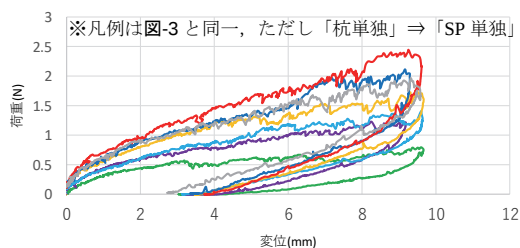


図-4 模型SPの負担荷重～変位関係

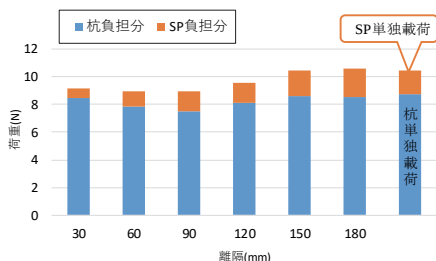


図-5 変位 8mm 時の杭負担荷重と SP 負担荷重の内訳

3. 実験結果および考察

SP補強後の模型杭の荷重～変位関係を図-3に、模型SPの荷重～変位関係を図-4に示す。これらより杭とSPの離隔が剛性の高い模型杭の抵抗特性（図-3）に及ぼす影響は小さく、主に剛性の小さい模型SPが負担する荷重（すなわち補強による増加荷重、図-4）の大きさに影響を及ぼすことがわかる。各ケースでの水平変位8mm時における模型杭と模型SPの負担荷重と離隔との関係を図-5に示す。これより模型SP負担分は、離隔が150mmよりも小さくなると低下する傾向が確認できる。

画像解析（Ditect社製DippMotionVの関連追尾機能）により求めた離隔120mm時の地盤変位の軌跡を図-6に示す。模型杭前面で変位が卓越する領域は、図-7に示すように模型杭の特性値 β から計算した第1不動点を起点とした受働すべり面より上方の範囲と捉えることができ、離隔150mmを下回ると模型SP自体が受働すべり面と交差する。この時、模型SP側には背後から土圧が作用し、模型SPの抵抗負担分が相殺されて低下する。また、模型SP自体は剛性が相対的に低く、ある程度の変形が生じてしまうため、模型杭側の抵抗力自体を大幅に高めるほどの効果は期待できなかったものと考えられる。

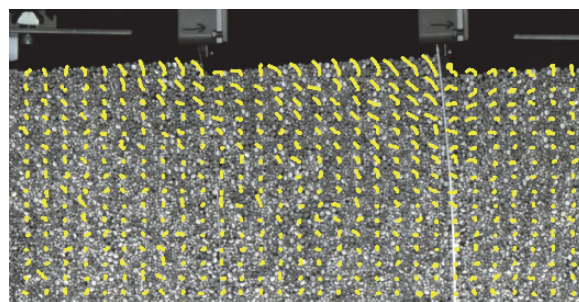


図-6 地盤変位の軌跡（離隔120mm時）

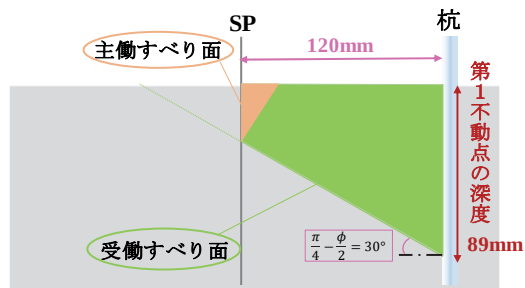


図-7 離隔 120mm 時の地盤変位の状況

4. おわりに

本研究では、既設杭とそれよりも剛性が小さいSPを一体で水平载荷した場合に、各抵抗成分がどのように変化するか、すなわちシートパイル補強工法における「既設杭～SP間の群杭効果」を実験的に検証した。

通常の同一剛性の群杭基礎であれば背面側の杭が負担する抵抗力も低下すると考えられるが、前面側にあるSPの剛性が小さいシートパイル補強工法の場合には、背面側の杭が負担する抵抗力自体の変化は小さく、主に前面側のSPの抵抗力の増加分がそのまま全体の補強効果として加算され、その増加分は離隔が小さくなるほど低下する傾向が確認された。また、このような傾向は、剛性が高い杭側からの受働すべり面がSPに背面からの土圧を作用させることによって生じることが画像解析から推察された。これらのことから、SP補強工法において群杭効果を検討する際には、杭径に対する比率ではなく、杭の第1不動点の深さやそれに直結する $1/\beta$ 等の値を用いて評価するのが合理的と考えられる。

今後、杭体の曲げモーメント分布等の計測に基づく分析の他、杭頭部が固定条件となる場合での検討のほか、実際の砂地盤での3次元的な挙動評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 西岡英俊, 樋口俊一, 西村昌宏, 神田政幸, 山本忠久, 平尾淳一: シートパイルによる既設杭基礎の耐震補強効果に関する模型実験, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No. 2, pp.251-262, 2010.
- 2) 菊本統, 中井照夫, 張鋒, ホサイン シャヒン: アルミ棒積層体を用いた2次元模型実験, 地盤工学会誌, Vol.56, No.10, pp.12-15, 2008.
- 3) 青木隆一: 粉体の力学的諸性質 —主として摩擦係数および付着力について—, 化学工学, Vol.25, No.3, pp.199-206.1961.