

杭基礎構造物の耐震性向上を目指した杭-矢板複合基礎に関する実験的研究

○竹村次朗¹⁾，井澤 淳²⁾，石濱吉郎³⁾，高橋一暢⁴⁾

- 1) 東京工業大学 理工学研究科 土木工学専攻 jtakemur@cv.titech.ac.jp
- 2) 東京工業大学 理工学研究科 土木工学専攻 jizawa@cv.titech.ac.jp
- 3) 新日本製鐵(株) 技術開発本部 ishihama.yoshiroh@nsc.co.jp
- 4) 東京工業大学 理工学研究科 土木工学専攻 k-takahashi@cv.titech.ac.jp

1. はじめに

橋梁基礎等に用いられる杭基礎はレベル2地震動に対してフーチングの回転角が大きくなることが知られている。したがって、設計における断面決定は、フーチングの回転角で決定されることになる¹⁾。一方、現状の既成杭基礎では鉛直支持力はほぼ十分であることから、水平耐力のみを向上させ、フーチング回転角を抑制する工法が望まれる。そこで図1に示すように、鋼矢板をフーチング周辺に配置することによって、水平耐力を向上させる複合基礎形式を考案した。この複合基礎は、基礎幅が比較的規模が小さな基礎に対し地震力等によって大きなモーメントが作用する状況において、図2に示すように矢板の水平抵抗、並びに摩擦力による引抜き、押し込み抵抗によって基礎の水平変位、回転、杭発生応力の低減等が期待される優れた基礎形式と考えられている。しかし、設計法で用いるモデル化にとって重要となる杭及び矢板に発生する応力や抵抗力の発現等、未解明な点が多く残されている。本研究では、遠心模型実験により異なる水平力/モーメント比の下で、杭基礎および模型複合基礎に対する水平交番載荷実験を行い、複合基礎の水平抵抗発現メカニズムについて検討した。

2. 実験概要

模型地盤は、豊浦砂を用いて目標相対密度 80% で空中落下法により作製した。図3に模型地盤概念図を示す。実験では、50gの遠心加速度下で模型基礎に対して水平交番載荷実験を行った。載荷は、フーチング上面から 40mm 地点に位置するレーザー変位計を基準に(±1,2mm)変位制御で行った。載荷点はフーチング上面より 40, 75, 110mm (杭頭から 60, 95, 130mm) の位置とし、図4に示すように交番載荷とした。載荷中は、図3に示す通りフーチングの沈下量、水平変位、杭の曲げモーメントおよび軸力を計測した。実験ケースは図5に示す4ケースである。即ち、(1)杭基礎のみ：以下ケース名を「PF」とする。(2)フーチング側面のうち載荷直角

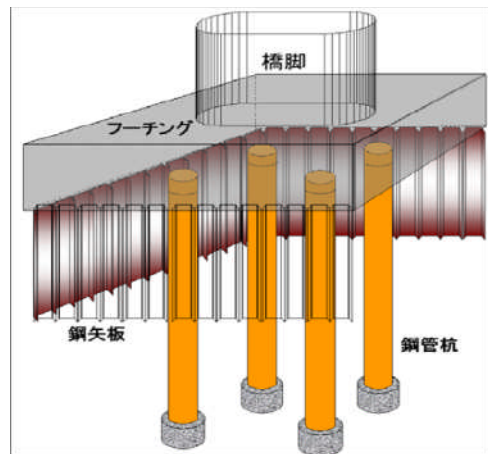
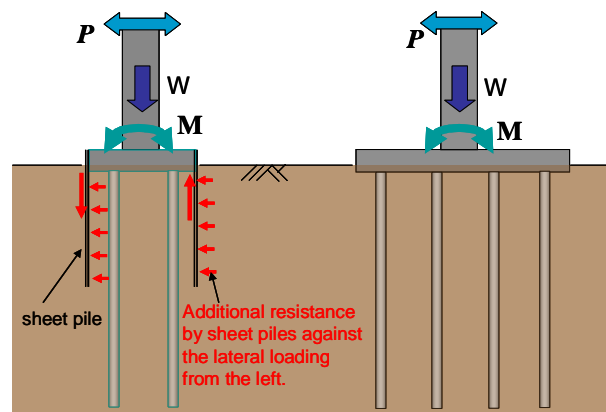


図1 複合基礎概念図



(a) 複合基礎

(b) 杭基礎

図2 シートパイルによる補強効果の概念図

方向の2面のみに取り付けた複合基礎：以下ケース名を「CF-2P」とする。(3)(2)の同じ側面位置に、鉛直方向の曲げ剛性をCF-2Pのアルミ板と同じにし、水平方向の曲げ剛性はほぼ無視できるくらいに小さくし、より実際の鋼矢板に近い模型矢板(短冊状のアルミ板をりん青銅薄板に貼り付けたもの)を取り付けた複合基礎：以下ケース名を「CF-2SP」とする。(4)フーチング4側面を(3)の模型矢板で囲った複合基礎：以下ケース名を「CF-4SP」とする。写真1に模型基礎の写真を、表1お

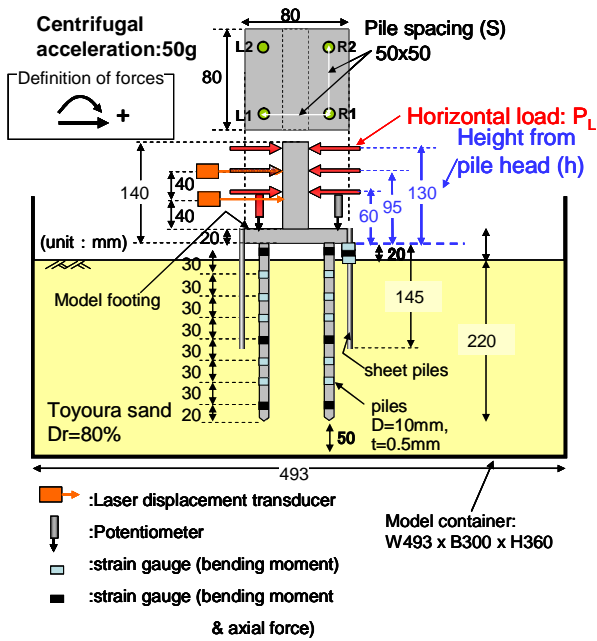


図3 実験システム

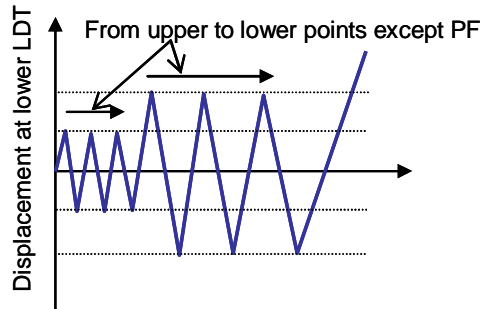


図4 载荷履歴

よび2に、模型杭と模型シートパイルの特性をそれぞれ示す。

3. 実験結果

3.1. 载荷モーメントとフーチング基礎回転角

杭頭から95mm地点における±2mm载荷に着目した载荷モーメント（水平荷重と杭頭から载荷点までの距離との積）とフーチング基礎回転角関係を図6に示す。PFと比較してCF-2P及びCF-2SPのケースではモーメント抵抗の増加を確認することができる。一方、CF-4SPのケースは4ケースのなかで最大のモーメント抵抗が得られると予想されるが、CF-2P及びCF-2SPと比較してそのモーメント抵抗が小さくなっている。これはCF-4SPのケースでは、フーチング内部の砂地盤をフーチング上部の小穴から砂を降らせて作製したが、このため他のケースと比較して相対密度が小さくなったためと考えられる。一方、CF-2P及びCF-2SPに着目すると、グラフの形状及び値ともほぼ同じであり矢板の水平方向の剛性は複合基礎の水平抵抗性に顕著な影響を与えないといえる。

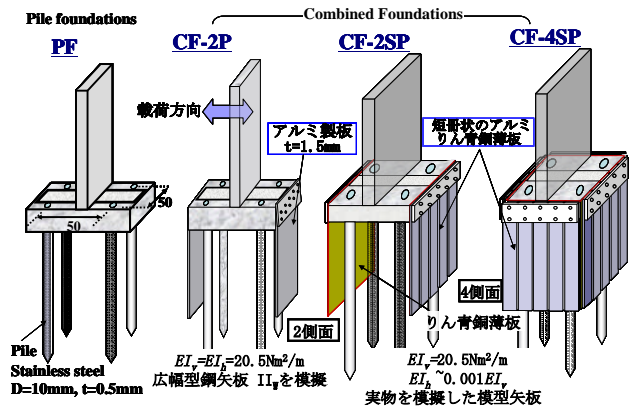


図5 実験ケース



写真1 フーチング模型

表1 模型杭の特性

	pile
Material	Stainless steel
Diameter or width (D)	10 mm
Thickness (t)	0.5 mm
Flexural rigidity (EI)	33.8 Nm ²

表2 シートパイルの特性

For CF-2P	
Material	Aluminum
Width (W)	80 mm
Thickness (t)	1.5 mm
Flexural rigidity (EI _v =EI _h)	20.5 Nm ² /m
For CF-2SP	
Material	Aluminum and Phosphorus bronze
Width of PB sheet	80mm
Width of Al strip	15mm
Thickness (t)	1.5 mm
Vertical flexural rigidity (EI _v)	20.5 Nm ² /m
Horizontal flexural rigidity (EI _h)	~ 0.001 EI _v

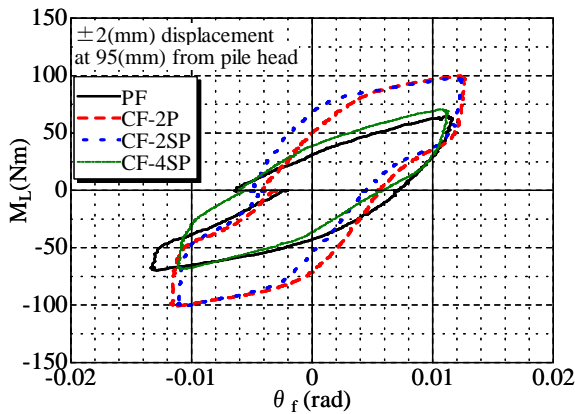


図6 荷重モーメント M_L と
フーチング基礎回転角 θ_f の関係

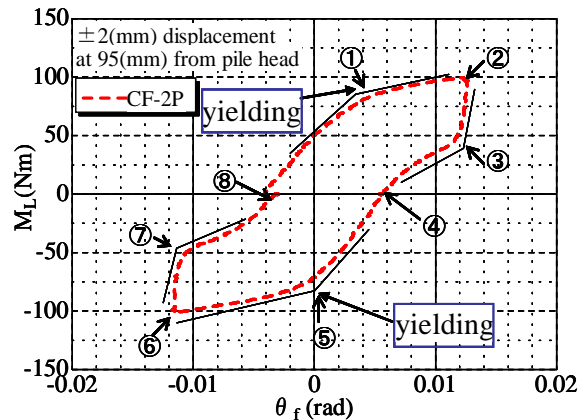


図8 荷重モーメント M_L と
フーチング基礎回転角 θ_f の関係(CF-2P)

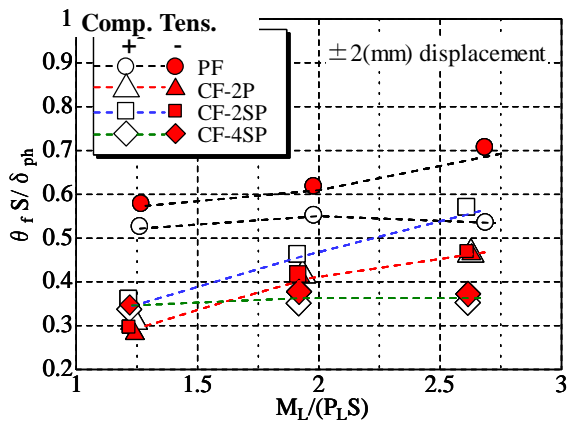


図7 $\theta_f S / \delta_{ph}$ と $M_L / (P_L S)$ の関係

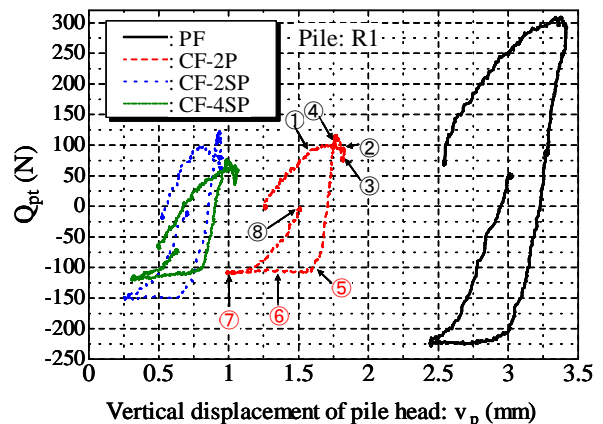


図9 杭先端支持力 Q_{pt} と鉛直変位 V_p の関係

3.2. $\theta_f S / \delta_{ph}$, $M_L / (P_L S)$

杭頭水平変位 δ_{ph} に対するフーチング基礎回転角 θ_f 抑制効果の指標として $\theta_f S / \delta_{ph}$ を定義し、これと水平荷重 P_L に対する荷重モーメント M_L の比を杭間距離 S で無次元した $M_L / (P_L S)$ の関係を $\pm 2\text{mm}$ 荷重について図7に示す。複合基礎3ケースとも、PFと比較して杭頭水平変位に対するフーチング基礎回転角が小さく、矢板で杭基礎を補強することによるフーチング基礎回転抑制効果を確認できる。さらに、CF-4SPでは、荷重モーメント M_L が増加してもフーチング基礎回転角がCF-2P及びCF-2SPより小さく、矢板による杭周りの砂を拘束することによりフーチング基礎の回転を更に抑制できることがわかる。

3.3. 杭先端支持力 Q_{pt} と鉛直変位 V_p 関係

杭頭から95mm地点における $\pm 2\text{mm}$ 荷重時の荷重モーメントとフーチング基礎回転角関係をCF-2Pについて図8に示す。杭基礎ケース(図6)では見られなかった明確な降伏点(①及び⑤)を確認できる。図9は図8に対応した右前杭R1の50G後の杭先端支持力増分 Q_{pt} と鉛直変位 V_p 関係である。図のCF-2Pには、図8の番号の点に対応する箇所も示してある。図で δ から杭先端支持力の変化がなく、上向

きの変位が増大しており、これは杭の引き抜き支持力に達した点を意味し、一方①の点以降も押し込みによる杭先端荷重増分見られるが $Q_{pt}-V_p$ 関係にも①で降伏が見られる。また、モーメント荷重が負のピークに達したε後、モーメントが減少しても⑦までは杭の引き抜き生じ Q_{pt} はほぼ一定に保たれており、引抜から押し込みに転じるφで $M_L-\theta_f$ 関係に明確な折れ曲がりが見られている。またPFよりもCF-2Pの方が引張り側の杭の鉛直変位が圧縮側(①~χ)の変位より大きいことが特徴として挙げられる。この違いは、矢板の抵抗増加によるものであると考えられる。以上より水平荷重を受ける複合基礎の力学特性は杭や矢板の鉛直支持力挙動の影響を大きく受けることが推察できる。

3.4. 深度と杭発生曲げモーメント関係

PF及びCF-2PのR1で計測した曲げモーメント分布を図10、11にそれぞれ示す。最大発生曲げモーメントは圧縮側で生じ、最大曲げモーメント発生地点のCF-2Pの方がPFより深くなっている。

3.5. M_{pmax} / M_L と $M_L / (P_L S)$ 関係

図12は杭発生最大曲げモーメント M_{pmax} と荷重

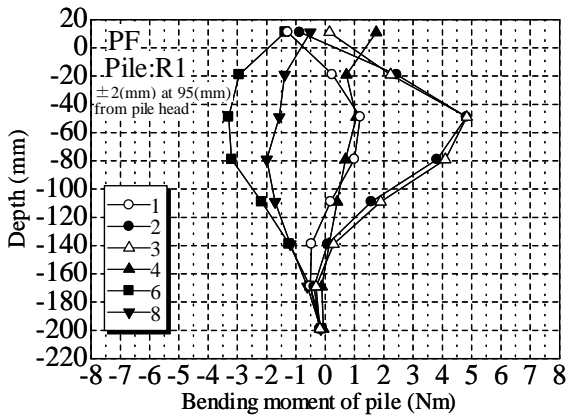


図 10 PF：深度と杭発生曲げモーメント関係

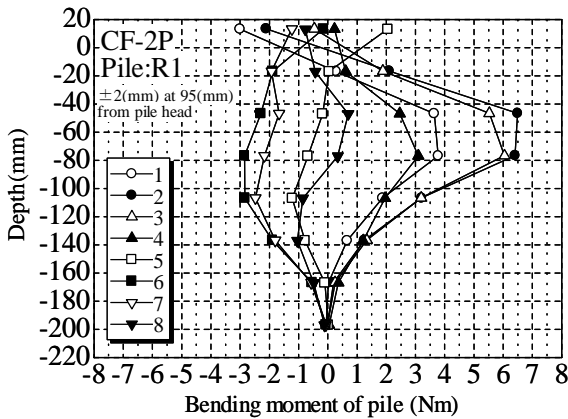


図 11 CF-2P：深度と杭発生曲げモーメント関係

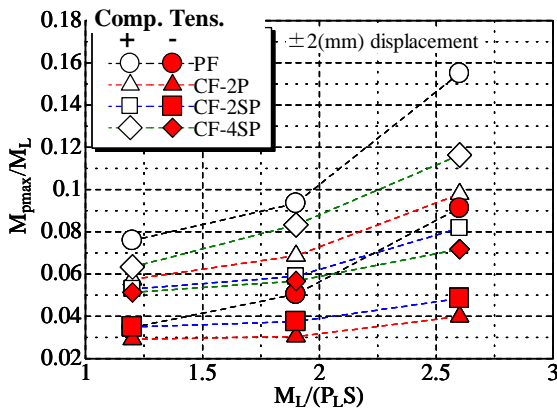


図 12 M_{pmax}/M_L と $M_L/(P_L S)$ の関係

モーメント M_L の比 M_{pmax}/M_L と $M_L/(P_L S)$ 関係を $\pm 2\text{mm}$ 載荷の圧縮側(+), 引張側(-)の両方について示したものである。矢板内部の砂の密度が小さな CF-4SP でやや大きな値となっているが、複合基礎 3 ケースとも、 M_{pmax}/M_L は PF より小さく、矢板の補強効果により杭に発生する最大曲げモーメントが低減されることがわかる。

4. 結論

- 1) 矢板で杭基礎を補強することによりモーメント抵抗が増加し、フーチング回転を抑制することができる。その効果は、杭周りの土を矢板で拘束する 4 側面を矢板で囲った模型複合基礎で顕著である。また、横方向の矢板剛性の影響は少ない。
- 2) 矢板により杭に発生する最大曲げモーメントが低減され、最大発生曲げモーメント発生地点がより深くなる。
- 3) 水平荷重を受ける複合基礎の力学特性は杭や矢板の鉛直支持力挙動の影響を大きく受ける。

参考文献

- 1) 日本道路協会, 道路橋示方書 V 耐震設計編・同解説, 2007
- 2) 神田政幸, 村田 修, 西岡英俊, Pongsakorn Punrattanasin, 日下部 治, シートパイルとフーチングを組み合わせたシートパイル基礎の提案, 土と基礎, Vol. 51, No. 11, pp. 8-10, 2003
- 3) Pongsakorn Punrattanasin, The Physical Modeling of Sheet Pile Foundation on Sand under Combined Loading, Dr. thesis, Tokyo Institute of Technology, 2005