

異種混合杭の荷重分担に関する検討

建設省土木研究所 正会員 西谷 雅弘 正会員 福井 次郎
同 上 正会員 梅原 剛

1. はじめに

アメリカにおける橋梁基礎の耐震補強において、小口径摩擦杭（マイクロパイル、以下MPと略す）を採用する事例が増えつつあり、日本においてもMPは新しい基礎の補強工法として期待されている。MPは、一本の杭で用いられることは少なく、多数の補強杭として既設杭の周囲に配置されフーチングと結合される。群杭基礎に水平力が作用し、杭が大きく変形したとき、地盤内応力を介して各杭が相互に干渉しあうため、単杭に比べて各杭に作用する地盤反力とその位置や杭間隔などによって異なることが知られている。これまで群杭に関する実験のほとんどは同種同径の杭で実施されており、比較的大口径の既設杭と小口径のMPのように異種混合杭で補強された場合の各杭の挙動については未だ解明されていないのが現状である。

本検討では、まず、道示¹⁾に示される群杭効果を考慮した設計法（地震時保有水平耐力法）において、どのようなパラメータが設計的に影響があるのかを把握した。また、異種混合杭の水平荷重分担に関する簡易な実験およびそのシミュレーション解析を行い、実験の妥当性、今後の検討課題をまとめることにした。

2. 群杭効果の感度分析結果

既設基礎を耐震補強する場合において、その照査に地震時保有水平耐力法を採用することが考えられる。保耐法では、杭の軸直角方向の抵抗特性は、水平方向地盤反力係数 k_{HE} を初期勾配とし、水平地盤反力度の上限値 p_{HU} を有する弾塑性型にモデル化されるが、群杭の影響は、この k_{HE} および p_{HU} を補正することにより考慮される。試算にあたり、既設基礎のモデル、基礎の諸元および地盤条件等の設計条件は文献2)から引用した。MPによる基礎の補強は、図-1に示すように、既設PC杭を取り囲むように鉛直に打設し、フーチングを0.75m拡大することにした。MPの構造諸元および設計条件等については文献3)を参照されたい。

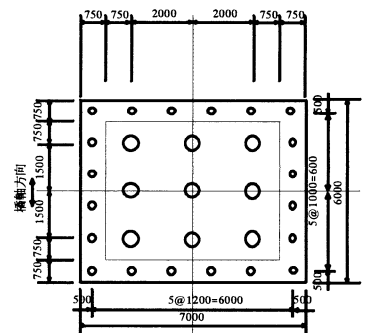


図-1 MPによる補強

杭径が異なる異種混合杭基礎における群杭効果は不明である。本検討では、砂質地盤における p_{HU} の補正係数 α_p, η_p の設定において杭間隔／杭径にとらわれず、群杭効果を考慮しない場合は最大値 $\alpha_p, \eta_p = 3.0$ 、考慮する場合はその1/2と割切って設定することにした。試算ケースおよびその結果を表-1に示す。試算は橋軸方向において行った。ケース1はMP全てについて群杭効果を考慮しない場合、ケース2はMPの k_{HE} の補正係数に群杭効果を考慮した場合、ケース3はMPの p_{HU} の補正係数に群杭効果を考慮した場合、ケース4は既設杭も含めて群杭効果を考慮した場合に相当する。なお、ケース4が現行の保耐法に準じた設計に対応するものと考えられる。

表-1 試算ケースとその結果

		既設PC杭			マイクロパイル						フーチング前面 水平力分担率	基礎の降伏に 達する水平変位
		101	201	301	401	501	601	701	801	901		
ケース1	地盤バネに群杭を考慮する係数	$\alpha_p \times \eta_p$	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		
	抗頭水平力	$\alpha_p \times \eta_p$	1.50	1.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00		
	抗頭曲げモーメント	分担率			36.2%						27.3%	$kh = 1.32$
			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
ケース2	ケース1に対する条件の違い	$\alpha_p \times \eta_p$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	抗頭水平力	$\alpha_p \times \eta_p$	1.50	1.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00		
	抗頭曲げモーメント	分担率			39.3%						27.6%	$kh = 1.19$
		ケース1に対する比	1.86	1.86	1.88	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91		
ケース3	ケース1に対する条件の違い	$\alpha_p \times \eta_p$	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		
	抗頭水平力	$\alpha_p \times \eta_p$	1.50	1.50	3.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		
	抗頭曲げモーメント	分担率			46.8%						27.5%	$kh = 0.83$
		ケース1に対する比	3.95	3.95	4.04	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88		
ケース4	ケース1に対する条件の違い	$\alpha_p \times \eta_p$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	抗頭水平力	$\alpha_p \times \eta_p$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		
	抗頭曲げモーメント	分担率			44.8%						27.5%	$kh = 0.92$
		ケース1に対する比	3.66	3.66	3.60	0.80	0.80	0.80	0.80	1.04		

キーワード：既設基礎、耐震補強、マイクロパイル、群杭効果、地震時保有水平耐力法

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地 tel 0298-64-2211 fax 0298-64-0565

判明した。特に p_{HU} の補正係数が、補強効果に与える影響が大きいことがわかる。また、既設杭とMPの水平荷重分担率も大きく異なってくる。MPの場合、小口径のために群杭効果を考慮する必要はないとも考えられるが、MPによる耐震補強を合理的に行うには、異種混合杭における群杭効果を定量的に把握することが必要である。

3. 荷重分担に関する実験結果

異種群杭の効果を把握するために、ひずみゲージを貼り付けた既設杭およびMPを想定した2種類の模型杭（ $\phi 300\text{mm}$ 、 $\phi 60.5\text{mm}$ ）を製作し、土木研究所内にある深層土層を用いて水平載荷試験を行った。実験は、既設杭1本に対し、MP1本または2本を、載荷前面側に100mmまたは200mm離してセットした4ケース行った。実験は、図-2に示すように、フーチングに固定されたPC鋼棒をセンターホールジャッキにて引張り、水平力を載荷した。載荷方法は、地盤工学会基準「杭の水平載荷試験方法・同解説」に準拠し、5サイクルの繰り返し載荷とした。各ケースの処女載荷時における荷重～変位曲線を図-3に示す。いずれのケースとも荷重～変位曲線においては大きな差は見られなかった。

実験のシミュレーションとして、杭体を梁要素、地盤を分布ばねとした骨組みモデルにより解析を行った。フーチングは剛体として扱い、地盤ばねには非線形性を考慮した。地盤の非線形モデルは、文献1)に示される群杭効果の補正を行ったバイリニアモデルとした。なお、地盤特性は実験地盤の三軸圧縮試験（CD）の結果を補正して用いた。図-4に、既設杭+MP1本（100mm間隔）の場合の実験および解析における荷重～変位曲線を示す。また、図-5に、既設杭およびMPの杭体の曲げモーメントの分布を示す。図-4および5から判断すると、道示の保耐法により、実験結果をある程度再現できていることから、MPのような小口径杭を含む異種混合杭の設計においても、群杭効果を考慮しなければならないことが確認できた。ただし、今回の実験は杭基礎の部分的な実験のため、群杭効果を定量的に評価するまでには至っていない。

4. おわりに

本検討により、MPのような小口径杭により耐震補強設計を合理的に行うためには、異種混合杭としての群杭効果を適切に評価する必要があることが判明した。また、簡易な実験ではあるが、杭径の異なる群杭の場合においても群杭効果が現れることが確認できた。また、MPによる補強にあたっては、MPを斜杭として用いた方がその効果があることが試算によって確認されている⁴⁾。今後、MPが斜杭として採用されることも想定して、異種混合杭の補強効果を適切に評価できる設計法を検討していくことが必要である。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編、1996年12月
- 2) 日本道路協会：既設道路橋基礎の補強に関する参考資料、2000年2月
- 3) 建設省土木研究所他：既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書（その1）、2000年5月
- 4) 中田他：既設基礎の耐震補強に関する検討（その2）、第55回土木学会年次学術講演会、2000年9月

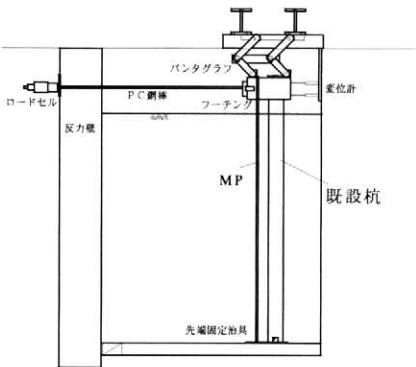


図-2 載荷実験の概要

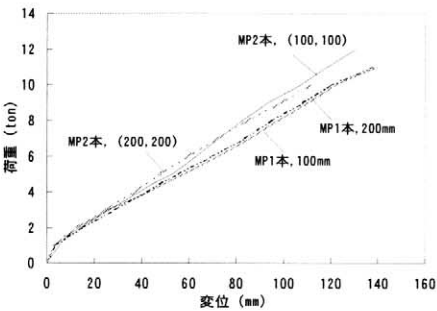


図-3 荷重～変位曲線

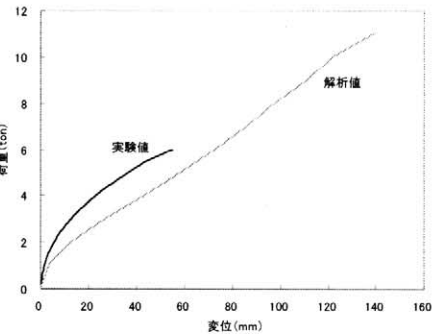


図-4 荷重～変位曲線（MP1本, 100）

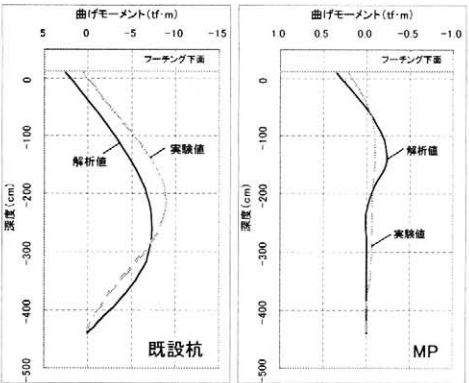


図-5 杭体の曲げモーメント分布