

既設基礎の耐震補強技術に関する研究

渡辺達哉¹・西谷雅弘²・梅原剛³・福井次郎⁴

¹正会員 土木研究所 構造物研究グループ基礎チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6)

²正会員 工修 土木研究所 構造物研究グループ基礎チーム

³正会員 工修 土木研究所 構造物研究グループ基礎チーム

⁴正会員 工修 土木研究所 構造物研究グループ基礎チーム

兵庫県南部地震以後、既設構造物の耐震補強の必要性が高まっている。橋脚については鋼板巻き立て等により補強が進められているが、構造系全体の耐震性向上のためには、フーチング以下の基礎部の補強も不可欠である。しかしながら、一般に基礎部の補強は桁下空間や近接構造物の影響により施工が困難でコストも高額となる等の問題を抱えている。このため、効率的な補強工法の開発を目的とし、独立行政法人土木研究所、(財)先端建設技術センター、民間 1 2 社により「既設基礎の耐震補強技術の開発」に関する共同研究を実施している。本報告は共同研究の一環として平成 1 2 年に実施した「杭径の異なる群杭模型の水平載荷試験」についてその成果を報告するものである。

Key Words : micropile, group pile foundation, load sharing, ground reaction

1. はじめに

既設橋梁基礎の耐震補強として、小口径摩擦杭(マイクロパイルなど、以下 MP と略す)を用いた補強工法が期待されている。この工法では、多数の MP が既設杭の周囲に配置され群杭基礎として挙動する。群杭基礎に水平力が作用し、杭が大きく変形した時、地盤内応力を介して各杭が相互に干渉し合う、いわゆる群杭効果を生じ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 の様に異種群杭となる場合の各杭の挙動についてはまだ解明されていないのが現状である。

そこで、異種異径群杭となる時の群杭効果を把握するとともに、補強効果を適切に反映した補強設計法を検討するための資料を得ることを目的として、MP による補強を想定した異径群杭模型の静的水平

載荷試験を実施した。本報告は、主に異径群杭における群杭効果についてとりまとめたものである。

2. 試験概要

試験は土木研究所内にある大型実験土槽内において行った。試験モデルは既設基礎の耐震補強技術に関する共同研究報告書(その 1) 1)における各試設計結果を参考にして、実物大基礎を 1/5 に縮小することにより設定した。既設杭として外径 114.3mm、肉厚 3.5mm、補強杭(MP)として外径 34.0mm、肉厚 2.3mm の鋼管を用いた。各杭に試験中の杭体ひずみを測定するためにひずみゲージを貼付した。貼付間隔については既設杭の 1/β を 73.2cm と想定して設定し、地盤面から 0.9m 以浅に対して 150mm、それ以深に対しては 300~600mm 間隔とした。各杭の頭部は鋼製フーチングに剛結する構造とし、フー

表-1 載荷試験ケース

CASE	杭 配 置	杭芯間隔 (既設杭と補強杭)	斜杭角度	載荷方式
1	単杭 (既設杭)	————	————	一方向載荷
2	単杭 (補強杭)	————	————	一方向載荷
3	4 本組杭 (既設杭)	————	————	一方向載荷
4	4 本組杭 (既設杭) + 補強杭 6 本 (直杭)	200mm	————	交番載荷
5	4 本組杭 (既設杭) + 補強杭 6 本 (直杭)	400mm	————	一方向載荷
6	4 本組杭 (既設杭) + 補強杭 6 本 (斜杭)	200mm	10°	一方向載荷
7	4 本組杭 (既設杭) + 補強杭 6 本 (斜杭)	200mm	20°	一方向載荷

チングの回転は自由とした。また、杭先端部は試験土槽下端に固定した。試験では表-1に示す7ケースの静的水平載荷試験を行った。また、図-1にCASE4における試験概要図を示す。

地盤は試験杭を設置した後、グラブバケットにて砂(鹿島砂:Gs=2.73,最大粒径 4.75mm,細粒分 1.2%,均等係数 2.71)を投入し、タンパを用いて 30cm 毎に締固めながら試験地盤を作成したが、後のサウンディング試験結果よりほぼ均一地盤であることが確認されている。

載荷は多サイクル荷重制御方式とし、試験土槽上端に設置した載荷装置より PC 鋼棒を介してフーチング中央部を加力した。なお、荷重は油圧式センターホールジャッキで測定した。

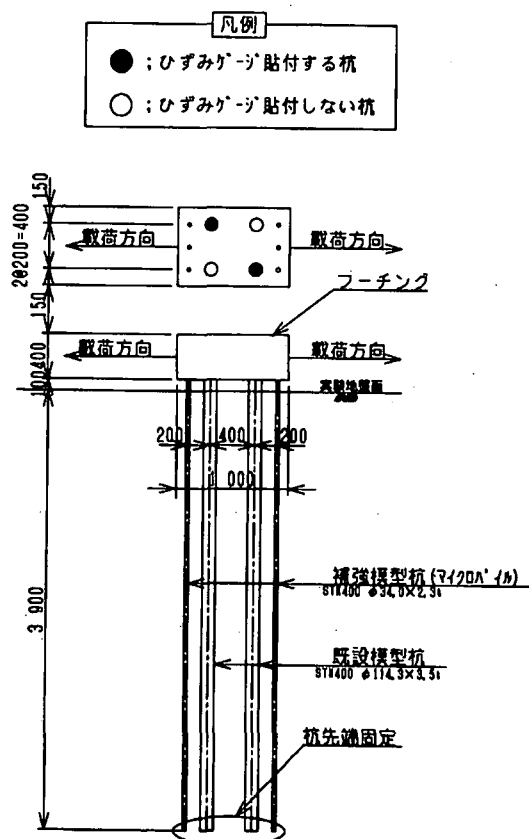


図-1 試験概要図(CASE4)

3. 水平載荷試験結果

(1) マイクロパイルによる補強効果

図-2~4に載荷荷重~フーチング変位量の関係をCASE3~6を比較して示す。図中「基礎の降伏」とあるのは全ての既設杭が降伏する状態とした。CASE4~6の降伏耐力はいずれもCASE3の降伏耐力を上回っており、マイクロパイルによる補強効果を確認することが出来た。CASE4・5はCASE3に比べて降伏耐力の増加率が7%であったのに対し、

CASE6は降伏耐力が39%増加した。なお、CASE7については試験中に杭とフーチングの接合部に不具合が生じ、実験データとして不適切と判断し割愛した。

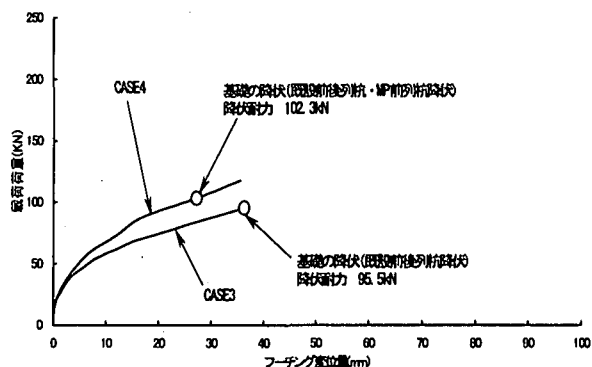


図-2 載荷荷重~フーチング変位量の関係図(CASE3とCASE4)

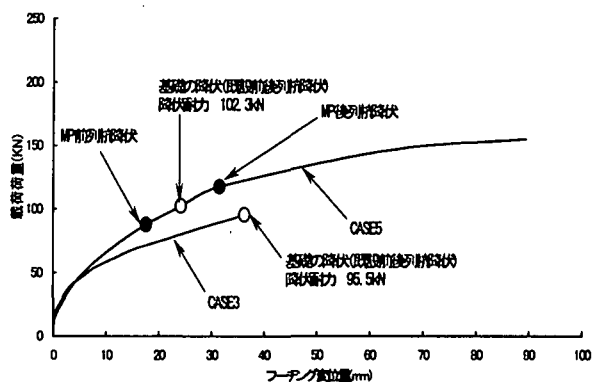


図-3 載荷荷重~フーチング変位量の関係図(CASE3とCASE5)

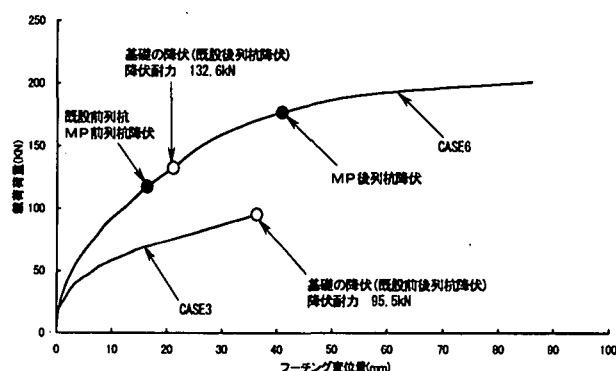


図-4 載荷荷重~フーチング変位量の関係図(CASE3とCASE6)

(2) 極限地盤反力度の算定

実験データより各杭の水平地盤反力度の分布を求めた。1例として図-5~10にCASE1、2、4の水

表－２ 極限地盤反力度と受働土圧強度の比率(pu/p)

	既設杭	MP		
CASE1	11			
CASE2		27		
	MP前列杭	既設前列杭	既設後列杭	MP後列杭
CASE3		8.0(1.00)	5.0(0.63)	
CASE4	10.0(1.00)	5.5(0.55)	2.5(0.25)	6.5(0.65)
CASE5	9.5(1.00)	5.5(0.58)	3.5(0.36)	5.5(0.58)
CASE6	11.0(1.00)	6.0(0.55)	4.5(0.41)	5.0(0.45)
CASE4～6の平均値	10.2(1.00)	5.7(0.56)	3.5(0.34)	5.7(0.56)

平地盤反力度分布図を示す。図－5～10 より地表面付近において、ある地盤反力度に達するとそれ以上は増加しない傾向が見られた。その地盤反力度(極限地盤反力度;pu)を $pu=a \times p$ と表す。ここで、p は受働土圧強度であり土質試験結果より $\gamma t=17.7\text{kN/m}^3$, $\phi=34.3^\circ$, $c=0\text{kN/m}^2$ として算定した。表－2 は各ケース、杭列毎に pu/p をまとめたものである。なお、() は最前列に配置した杭に対する比率である。

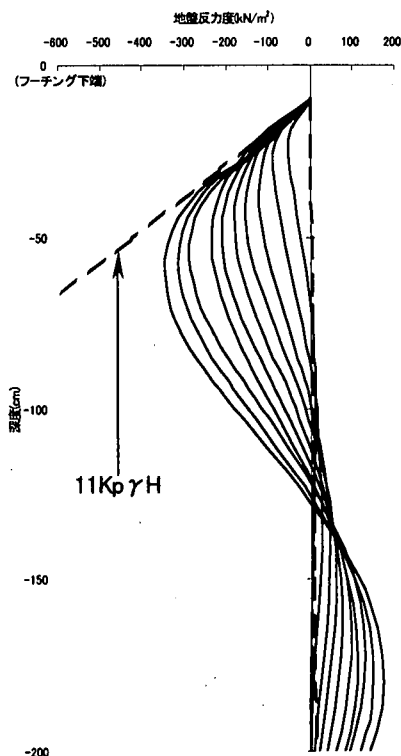
(3) 単杭の水平地盤反力度の上限値について

CASE1 と 2 は単杭の試験ケースであり、表－2 における pu/p は道示で定義されている αp である。 αp は水平地盤反力度の補正係数であり、本来、杭径によらず一定であるが、CASE1 は $\alpha p=11.0$ 、CASE2 では $\alpha p=27.0$ となり、差違が生じた。また道示で規定されている 3.0(砂質地盤)と大きく異なる。この原因については、今後の検討課題としたい。

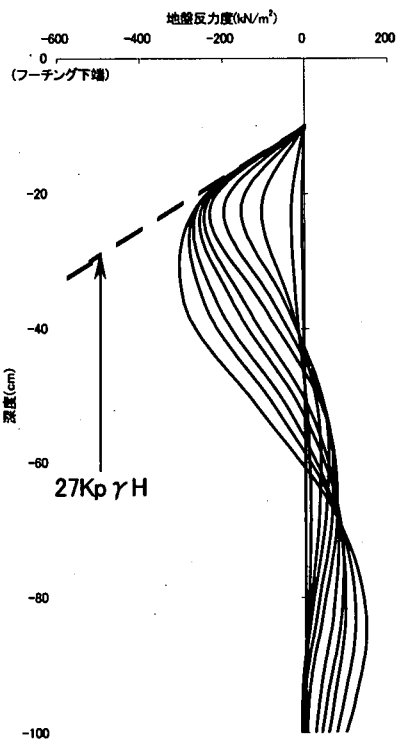
(4) 最前列杭の群杭効果について

表－2 において CASE3～6 の最前列杭の pu/p は道示では $\alpha p \times \eta p$ となる。ここで、 ηp は群杭効果を考慮した水平地盤反力度の補正係数である。

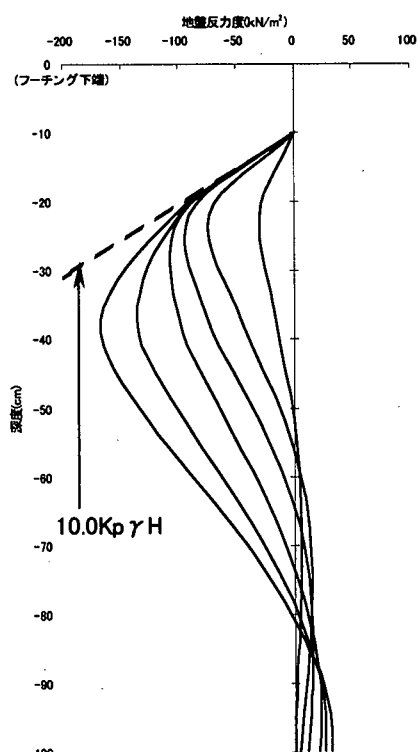
表－2 において CASE3～6 最前列杭の pu/p に明確な差は見られない。このことから、既設杭と補強杭の杭径差、設置角度、2 列目の杭との杭間隔が最前列の極限地盤反力度に及ぼす影響は小さいと判断できる。また、CASE3～6 最前列杭の pu/p を単杭の pu/p で除することにより最前列杭の ηp が求まる。その算定結果を表－3 に示す。前述したように CASE1 と CASE2 の αp にばらつきがあるため、それぞれの αp に対する ηp を示す。また、表－4 は同種同径杭により構成された群杭基礎の最前列杭の ηp についての既往の研究結果³⁾である。CASE3 は杭芯間隔が約 3.5D となっており、群杭効果が杭相互の干渉により生じるものと考えれば CASE3 前列



図－5 水平地盤反力度分布図 (CASE1;既設杭)



図－6 水平地盤反力度分布図 (CASE2;MP)



図－7 水平地盤反力度分布図 (CASE4MP 前列杭)

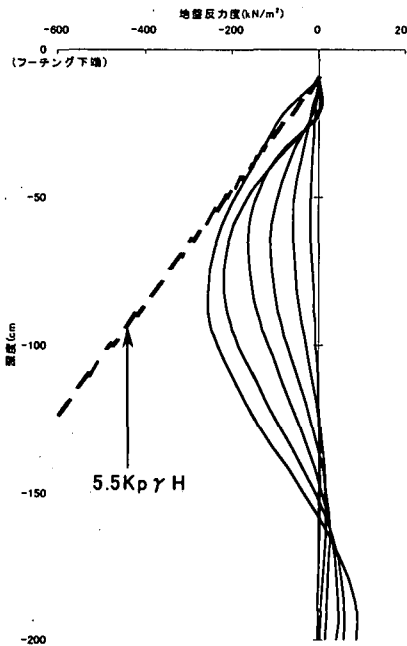


図-8 水平地盤反力度分布図
(CASE4 既設前列杭)

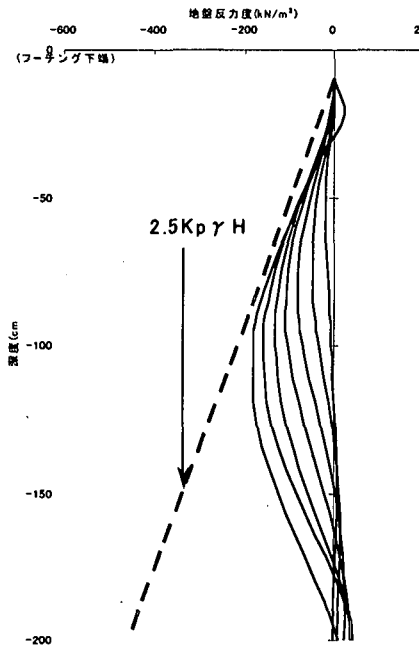


図-9 水平地盤反力度分布図
(CASE4 既設後列杭)

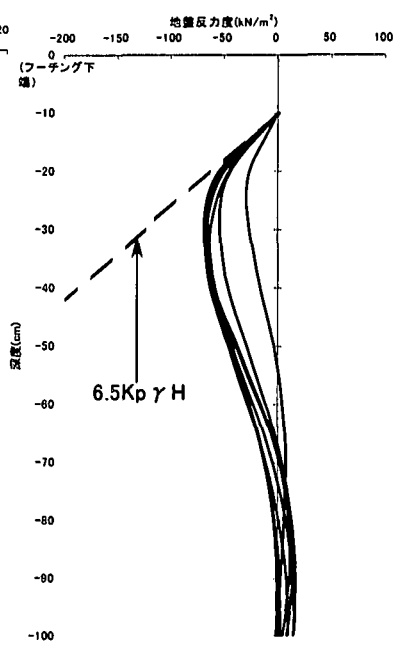


図-10 水平地盤反力度分布図
(CASE4MP 後列杭)

杭の η_p は表-4 の値とほぼ同等かそれ以上の値となると考えられる。このことより、CASE3 については $\alpha_p=11$ に対する η_p が既往の研究結果と整合する。前述したように、CASE3 と CASE4~6 の最前列杭における pu/p に明確な差がないため、CASE4~6 においても、 η_p を求める場合の α_p を 11 と考える事ができる。この場合、各ケースとも η_p はほぼ 1 に近い値となり、最前列杭においては 2 列目の杭との杭径差により群杭効果は生じないものと判断できる。

表-3 η_p の算定結果

CASE3 既設前列杭	CASE4 MP前列杭	CASE5 MP前列杭	CASE6 MP前列杭
$\alpha_p=11$ に対する η_p			
0.73	0.91	0.86	1.00
$\alpha_p=27$ に対する η_p			
0.3	0.37	0.35	0.41

表-4 既往の研究結果による最前列杭の η_p

	土研杭	首都高杭	岸和田杭
杭配置	9本群杭	9本群杭	9本群杭
杭間隔	2.5D	2.5D	2.5D
地盤条件	砂質地盤	砂質地盤	砂質地盤
η_p	0.83	0.60	0.72

(4) 最前列杭以外の杭の群杭効果について

最前列杭の pu/p を基準とする場合、2~4 列目杭の pu/p の比率はおおよそ 1:1/2:1/3:1/2 となる。この比率は最前列以外の杭の群杭効果を表すものである。また、道路橋示方書・同解説IV下部構造編²⁾(以下道示と略す)に示されている各杭列の水平地盤反力度の上限値比率とほぼ同様の傾向を示している。

4. おわりに

本報告では試験のデータ整理結果より、異径群杭基礎における群杭効果について以下のことが分かった。

- ・ 既設杭との杭径差によって最前列 MP に群杭効果は生じない。
- ・ 異径群杭基礎において、最前列以外の杭の水平地盤反力度の上限値は最前列杭の約半分程度となる。

本報告は異径群杭基礎について報告したものである。杭種が異なる場合についてはさらなる検討が必要となり、今後の研究課題としたい。

本研究は土木研究所共同研究「既設基礎の耐震補強技術の開発」で実施しているものである。本試験の実施、とりまとめにあたっては、株式会社白石の岩本氏、東洋建設株式会社の三木氏、ヒロセ株式会社の大谷氏のご協力を頂いた。

【参考文献】

- 1) 国土交通省土木研究所：既設基礎の耐震補強技術の共同研究報告書（その1） 2000.8
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編 1996.12.
- 3) 阪神高速道路公団：3号神戸線基礎構造の復旧に関する中間報告書 1997.2