

剛性の異なる杭間の群杭効果に関する 2 次元模型実験に基づく
杭頭荷重低減効果の評価

中央大学 学生会員 ○大畑 空輝 中央大学 正会員 西岡 英俊
中央大学大学院 学生会員 佐川 貴要

1. はじめに

既設杭基礎の耐震補強工法として、鋼管矢板あるいは鋼管杭を既設杭基礎の周囲に打設する増し杭工法の活用が期待されている。これらの増し杭工法による耐震補強の効果は、単に増し杭によって基礎全体の抵抗力が上昇する効果だけでなく、地盤抵抗が増し杭に受け変えられることで既設杭に作用する地盤反力が減少して既設杭の断が低減される効果も期待される。この補強設計を合理的・経済的に行うには、既設杭と増し杭の間の相互作用を適切に評価する必要がある。

既設杭と増し杭の間は、通常の杭の群杭効果に対して、杭の剛性および杭長に差異があることが影響すると考えられるが、この影響についてはこれまでほとんど研究されていないのが現状である。これまでの研究より、背面側にある杭に発生する杭頭荷重（すなわち杭頭せん断力）が前面側にある杭の曲げ剛性の差異によって影響を受けることがわかっている¹⁾。そこで本研究では、剛性の異なる2本杭の杭中心線上での地盤挙動を模擬した2次元模型実験として、中密な砂に似た挙動を示すことが知られているアルミ棒積層体を用いた模型地盤での静的水平載荷実験を行い、杭頭荷重の低減効果と、発生するすべり土塊の大きさに着目して検討を行った。

2. 実験概要

図-1 に実験装置の概要を示す。模型地盤には、地盤材料として長さ 150mm で、直径 1.5mm, 2.0mm, 3.0mm の3種類のアルミ棒を重量比 1:1:1 で混合したものを用いた。これにより単位体積重量 21.8kN/m³ 程度の模型地盤となった。またこの単位体積重量におけるアルミ棒積層体の安息角は 30 度であり、これを模型地盤の内部摩擦角φとした。模型杭は、いずれも幅 200mm, 長さ 300mm のアルミ板（ヤング率 $E=73\text{GPa}$ ）によって模擬した。既設杭の前面にそれよりも剛性が小さい補強杭を打設した状況を想定し、背面杭は板厚 1.5mm の 1 種類、前面杭は板厚 1.0mm, 0.8mm, 0.5mm の 3 種類とした。杭の特性値 β に根入れ長 L を乗じた無次元量 βL の値が概ね 3 以上であれば一般に半無限長の杭として扱えるとされている。この β の値は、模型杭をそれぞれ単独で載荷した際の 1mm 変位時の荷重変位関係から Chang の式を用いて逆算した。表-1 に逆算した各模型杭の β と根入れ長 $L=280\text{mm}$ を乗じた βL の値を示す。表-1 より全ての模型杭において一般に半無限長の杭として扱える条件である $\beta L > 3$ を満たしている。実験は基本となる 4 種類の杭の単独載荷実験 4 ケースのほか、背面杭、前面杭の離隔を 120mm で一定とした条件で前面杭の板厚を変えた 3 ケース（板厚変化実験）に、背面杭 1.5mm 前面杭 0.8mm の組み合わせにおいて離隔を 90mm, 150mm, 180mm, 210mm に変化させた 4 ケース（離隔変化実験）を加えた計 11 ケースとした。

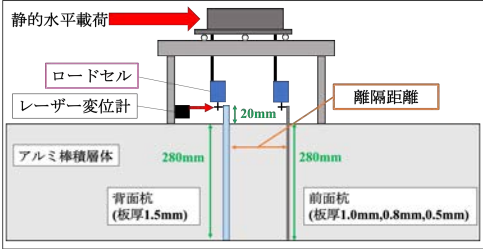


図-1 実験装置図の概要

表-1 模型杭の特性値 β および βL

板厚	1.5mm	1.0mm	0.8mm	0.5mm
β	0.0153	0.0201	0.0215	0.0352
βL	4.28	5.62	6.01	9.85
第一不動点深さ (mm)	92.0	64.4	59.6	33.5

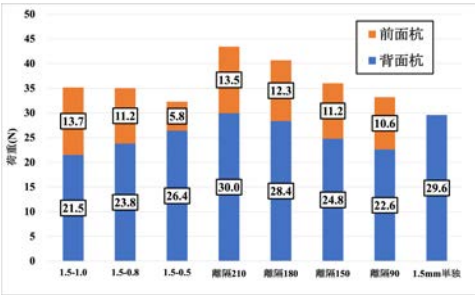


図-2 変位 4mm 時の各杭の杭頭荷重内訳

キーワード 杭基礎 増し杭工法 画像解析

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学後楽園キャンパス 2 号館 TEL03-3817-1804

3. 杭頭荷重と低減効果

図-2 に実験より得られた杭頭 4mm 変位時の背面杭に発生している杭頭荷重と単独載荷時の杭頭荷重を示す。また背面杭単独載荷時に対する実験ケースの減少量をケースごとに表-2 に示す。板厚変化実験では前面杭の板厚が大きいケースほど背面杭に発生する杭頭荷重は小さく、離隔変化実験では離隔が大きいケースほど背面杭に発生する杭頭荷重が小さくなる結果が得られた。また、基礎全体の耐力を表す背面杭と前面杭の杭頭荷重の合計量は全てのケースにおいて背面杭の単独載荷時の荷重を上回り、基礎全体としての補強効果は全てのケースにおいて確認された。図-3 に示す画像解析結果より、低減量が大きいケースほど両杭の中間部において背面杭の受働すべり土塊が、前面杭の主働すべり土塊によって打ち消されている範囲が広く、低減効果の違いは両杭に発生するすべり土塊の重複する量が異なることによって生じると考えられる。

4. すべり土塊と低減量

単独載荷実験によって求めた第一不動点深さと、Coulomb 土圧論による仮想すべり線の角度を用いて、図-4 に示す背面杭の受働すべり土塊と前面杭の手動すべり土塊の重なる範囲を各ケースにおける重複部面積として算出した。図-5 に低減量と重複部面積の関係を実験ケースごとに表す。この関係より背面杭の低減効果は背面杭の受働すべり土塊と前面杭の主働すべり土塊の重複部面積に依存しており、離隔距離や前面杭の剛性の変化によって重複部面積が大きくなるほど低減効果も強くなるという結果が得られた。この関係は原点を通過するような形状をしており、低減効果に重複部面積が強い影響を及ぼしていることが読み取れる。

5. おわりに

本実験における同一変位時の各杭の荷重の大きさは、地盤抵抗の大きさを意味し、各杭単独での杭頭荷重からこれがどの程度変化するかが既設杭・増し杭間での群杭効果に相当する。実験結果より、同じ杭長でも増し杭等の板厚や離隔が異なる場合、群杭効果による低減効果は異なり、また低減効果の大きさは両杭のすべり土塊の重複部面積に依存しているという結果が示唆された。このことから、従来の同一剛性杭間での群杭効果は主に杭径と離隔の比を用いて評価されていたが、剛性の異なる杭による群杭効果についてはすべり土塊の大きさに影響する杭の剛性も考慮して評価する必要があると考えられる。なお、本研究は、日本鉄鋼連盟鋼構造研究・教育助成事業を受けて実施したものである。

参考文献

1) 大畑空輝, 西岡英俊, 佐川貴要:剛性の異なる杭間の群杭効果に関する 2 次元模型実験, 第 58 回地盤工学研究発表会, 2023 (投稿中)

表-2 背面杭の単独載荷実験時から杭頭荷重低減量

背面杭における低減量(N)			
板厚変化実験		離隔変化実験	
前面杭 1.0mm	8.11	離隔 210mm	7.01
前面杭 0.8mm	5.8	離隔 180mm	4.81
		離隔 150mm	1.23
前面杭 0.5mm	3.18	離隔 90mm	-0.35

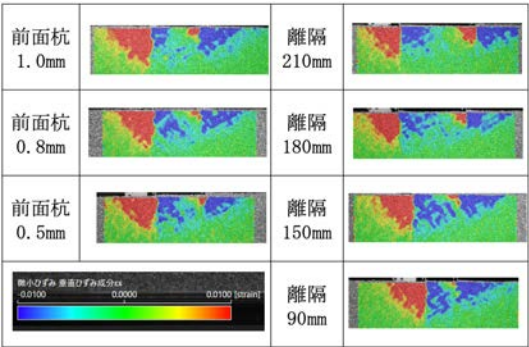


図-3 画像解析結果

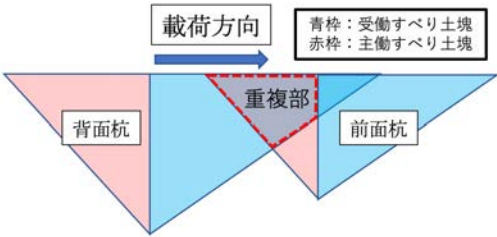


図-4 すべり土塊重複部面積の算出

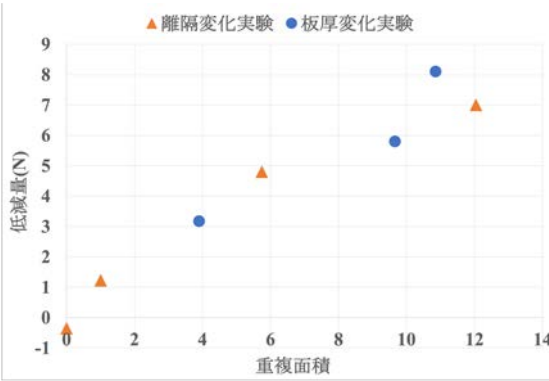


図-5 低減量と重複部面積の関係