

直杭・斜杭模型の水平載荷実験と地盤変位載荷実験

複合技術研究所 正会員 ○鈴木 聡*

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 清田三四郎***, 丸山修***, 青木一二三***

鉄道総合技術研究所 正会員 神田政幸***, 西岡英俊***, 西村昌宏***

1. はじめに

斜杭基礎は、一般的に直杭に比べて安定性が高く、地震時の変位量を小さくできるなどの利点がある。しかし鉄道構造物では地震時の走行安全性を照査する必要があり¹⁾、適用に当たり斜杭構造の地震時挙動を解明することが重要である。地震時に考慮する水平荷重としては、支持層が深い杭基礎等で、特に軟弱地盤においては、桁からの慣性力の他に地盤変位による杭に作用する荷重を考慮する必要がある。そこで、本稿では、既報²⁾よりも模型寸法の大きい模型基礎（約 1/10 スケール）を用いた水平交番載荷実験と地盤変位載荷実験について報告する。

2. 実験概要

載荷実験には鉄道総研で開発した「基礎の動・静的載荷試験装置」³⁾を用いた。土槽寸法は、2.0m×2.0m、深さ 3.0m である。実験の概要を図 1 に示す。杭模型は、根入れ長 $L=2800\text{mm}$ に対して杭の特性値 βL が 4.5 程度となるように、100mm×50mm、肉厚 2.3mm の角型鋼管を用い、これを載荷方向に 2 本配置して橋梁の群杭基礎を模擬した。また 150mm×75mm、肉厚 12mm の矩形のプレートを用いて、杭先端を閉塞している。このプレートは、施工面・環境面から斜杭への適用が有効だと考えられる回転圧入鋼管杭の杭先端の羽根を模擬したものである。杭の傾斜角度は Case1 $\theta=0^\circ$ （直杭）、Case2 $\theta=5^\circ$ （斜杭）としている。杭体には全 11 断面にひずみゲージを貼付した。模型地盤は乾燥珪砂（6 号、 $\rho_s=2.644\text{ g/cm}^3$, $e_{\max}=0.922$, $e_{\min}=0.565$ ）により下端から 600mm を支持層として相対密度 90%，それ以上を 60%となるようにあらかじめ模型杭を仮固定した状態で作製した。水平載荷は、鉛直ジャッキ（水平滑動装置付）により死荷重相当の鉛直荷重（40kN）を保持しながら、模型地盤表面から高さ 700mm の位置に設置した水平ジャッキにより、静的に水平変位を交番で作用させた。そして水平変位を初期位置に戻した後、鉛直荷重 40kN を保持させながら、せん断土槽を 3 本の水平ジャッキを用いて、天端変位 33mm で深さ方向に三角形分布となるような地盤変位を杭に作用させた。

3. 実験結果と考察

水平交番載荷実験の結果として、載荷点水平荷重 P と水平変位 δ を図 2 に、図 3 に水平ジャッキに鉛直ジャッキの偏心による $P-\delta$ 効果分を補正した載荷モーメント M' とフーチング回転角の関係の骨格曲線を示す。斜杭と直杭を比較すると、図 2 の水平変位 $\pm 8\text{mm}$ 以下については同変位での載荷水平荷重は、

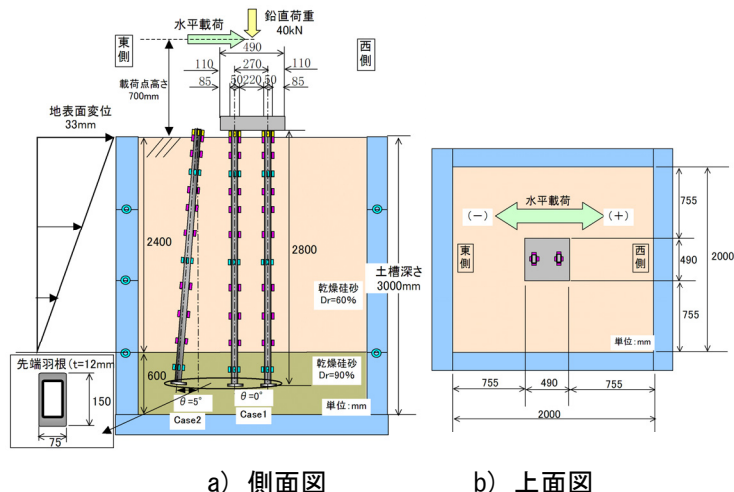


図 1 実験概要

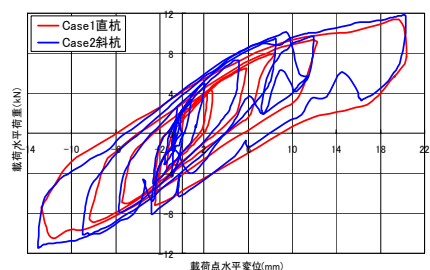


図 2 水平荷重—水平変位

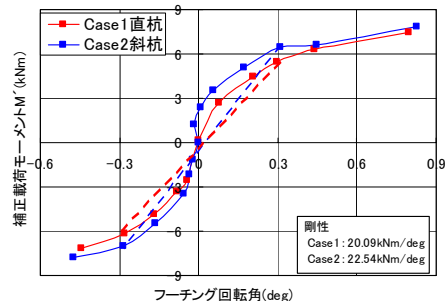


図 3 載荷モーメント—回転角

Key Words : 斜杭, 杭基礎, 水平載荷, 地盤変位載荷

連絡先 **〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 4-6-9(ロックフィールドビル 6F) (株)複合技術研究所 TEL 03-5276-5276

***〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 鉄道運輸機構 鉄道建設本部 設計技術第二課 TEL 045-222-9082

***〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

1割～2割増となるが、±12mm以降は直杭とほぼ同等の荷重となっていることがわかる。図3について回転角±0.3degのピーク値で剛性を算出すると、荷重が小さい領域では1割程度増大する効果を確認できた。

図4に杭頭に発生する軸力による鉛直反力モーメント(杭体の曲げモーメントは含まない)とフーチング回転角の関係を示している。図3と比較すると両ケースとも作用モーメントの大半が杭の鉛直反力によって負担されていることがわかる。また、図3と同様にフーチング回転角が±0.3°の範囲で、斜杭が直杭を上回っていることから、左右に開いた斜杭の構造自体による回転剛性の高さが全体剛性を上昇させる効果を発揮していることがわかる。ただし、杭単独の支持力は斜杭と直杭で同等であるため、回転角が0.3°を超えると支持降伏が生じて斜杭と直杭の差が小さくなったと考えられる。

杭体のひずみゲージから、計測した曲げモーメントの分布図を図5・図6に示す。図5はM₀=5kN付近の杭体に働く曲げモーメント分布図で、直杭・斜杭で比較した結果を示している。前杭の方が曲げモーメントの最大値となる深度が若干浅くなっているが、どちらも深度1.5m付近でモーメントは収束している。斜杭の曲げモーメントの最大値は前杭・後杭ともに直杭と比較して、4割程度低減した結果になった。また、杭頭付近でのモーメントの勾配は直杭の方が大きく、杭頭せん断力は直杭の方が大きいと考えられる。

図6に地表面変位33mmの地盤変位载荷時の曲げモーメント分布図を示す。斜杭の分布図は杭頭付近を最大値としているのに対し、直杭は水平载荷時と同様に深度0.6m付近である。また深度2.4m付近でどちらの杭も0.8kNm以上の曲げモーメントが発生している。これは、地盤変位分布が深度2.4mから三角形形状となっており、地盤変位分布が不連続となっているため、局所的に地盤変位の影響を受けたものと考えられる。

4. おわりに

- 直杭と斜杭の水平载荷実験と地盤変位载荷実験を行い、以下のことを確認することができた。
- ①水平交番载荷実験より、斜杭は水平载荷荷重で1割～2割程度、増大する効果を確認できた。
 - ②水平载荷荷重8kN時の曲げモーメントは斜杭の方が、約4割低減することを確認できた。
 - ③斜杭の地盤変位载荷による曲げモーメント分布は、杭頭部付近で最大値となり、杭頭部の曲げモーメントは、直杭より大きい。

斜杭の水平交番载荷実験で得られたの①②の特徴は小型模型を用いた既報²⁾と同様の知見である。これらから、5°程度の比較的小さな角度の斜杭でも、地震時の走行安全性の向上が図れる可能性が高いことがわかった。

参考文献

1) 国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計),(変位制限) 2) 出羽利行, 山崎貴之, 丸山修, 青木一二三, 西岡英俊, 神田政幸: 砂地盤中の斜杭基礎模型の静的载荷実験, 第42回地盤工学研究発表会(名古屋), pp1241-1242, 2007.7.7 3) 神田政幸, 西岡英俊, 山畑栄, 高橋一人, 甲斐輝雅: 鉛直力・水平力・モーメントおよび鉛直変位・水平変位・回転角による载荷制御可能な基礎構造物の载荷試験装置の開発, 地盤工学会, 第40回地盤工学研究発表会(函館), pp.1461-1462, 2005.7.

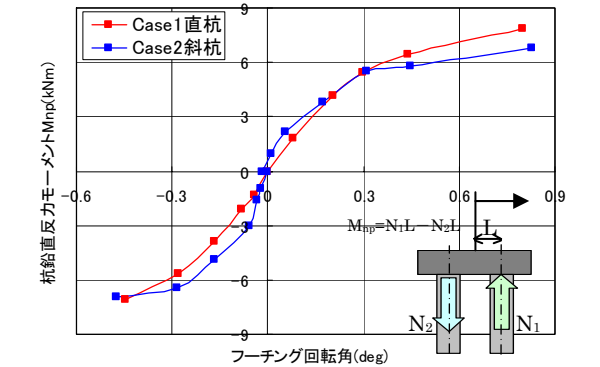


図4 杭頭鉛直反力モーメントーフーチング回転角

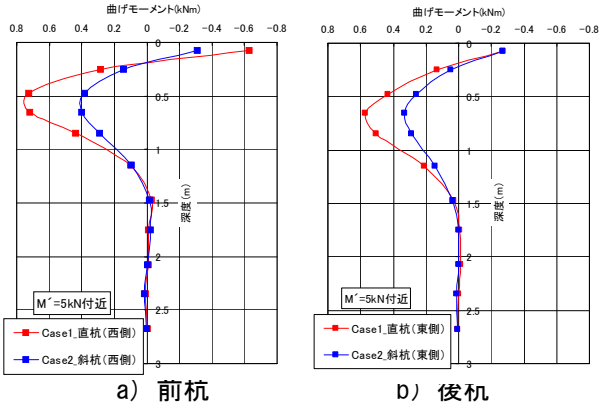


図5 水平交番_曲げモーメント分布図

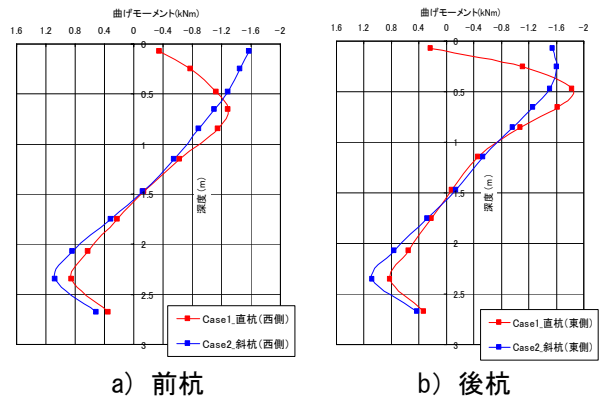


図6 地盤変位载荷_曲げモーメント分布図