

複合地盤杭の遠心力模型実験による静的および動的的水平抵抗評価

北海道開発土木研究所 正会員○富澤幸一
正会員 西川純一

1. はじめに

改良地盤中に杭基礎を施工し、増加した地盤強度により水平抵抗を確保する複合地盤杭は、杭設計諸元が水平変位で決定する軟弱地盤などの現場条件では、建設コスト縮減につながる合理的設計法と考えられる。橋梁基礎を対象とした複合地盤杭設計の実用化に向け、地盤工學理論に基づく地盤改良領域を設定し、現在まで現場実試験や静的・動的 FEM 解析により設計法の妥当性について研究を進めてきた^{1),2)}。

本論文では、複合地盤杭の合理的設計法の確立を目指し、遠心力模型実験で実施検証した複合地盤杭の水平抵抗、特に動的耐震性の定性的評価について報告する。

2. 遠心力実験モデル

遠心力模型実験は内寸 L700mm × B200mm × H350mm のスチール製模型容器を用い、実大の 1/50 縮尺の模型地盤及び模型杭を作成し、応力レベルの相似則を満足させるため 50G の遠心力を作用させた静的水平載荷実験及び動的加振実験とした（図 - 1）。模型杭は（外径 10mm、肉厚 0.2mm、杭長 400mm）スチールを延伸して特殊加工し、杭先端は埋込み先端固定条件とした。模型杭には、杭体に発生する応力測定のためひずみゲージを設置し、さらに加振時には杭体および地盤中に加速度センサーを配置し計測した。杭静的水平載荷試験は一般的なひずみ制御法によった。動的加振は正弦波を使用した。加振加速度はレベル 2 タイプ 地震動(1000gal 程度)に相当する。

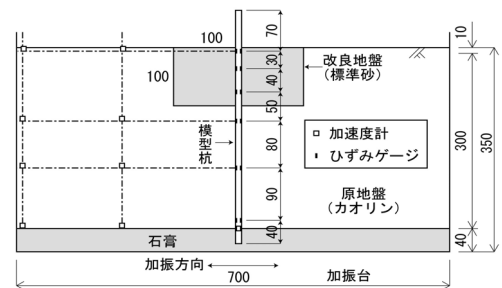


図 - 1 遠心力実験モデル

表 - 1 模型地盤物性

			カオリン 単一地盤	標準砂 複合地盤
土粒子密度 ρ	g/cm^3		1.03	1.81
	粒	砂	%	97.3
		シルト	%	0.8
	度	粘土	%	1.9
コーン指数 q_u			MN/m^2	3.3

模型地盤については、全層軟弱地盤を想定したカオリン粘土単一地盤と、軟弱地盤部をカオリン粘土で作成し杭頭周辺の改良地盤部を簡略化し標準砂で代用させた標準砂疑似複合地盤の 2 ケースとした。標準砂疑似複合地盤の改良範囲は、杭水平抵抗の関与深さを考慮し $1/\beta$ (β : 杭特性値 (m^{-1})) から受動土圧勾配 $\theta = 45^\circ + \varphi/2$ (φ : 土のせん断抵抗角 (度)) の領域を想定し、深さ及び左右奥行き方向に $10cm \times 10cm$ とした²⁾。模型地盤のカオリン粘土及び標準砂の基本地盤物性についてを表 - 1 に示す。

3. 静的水平地盤反力係数

静的杭水平載荷試験の結果、レーザー変位計及びひずみゲージの測定により、杭頭水平荷重～地表面変位～杭曲げ応力の関係を得た。図 - 2 に、カオリン粘土単一地盤と標準砂疑似複合地盤の各荷重レベルにおける杭変位分布を示した。杭の静的水平地盤反力係数 K_h は、荷重、変位及び曲げ応力のから弾性床土の理論に基づく Winkler の離散バネとして逆算した。試算の結果、基準変位量における静的水平地盤反力係数 K_h はカオリン粘土単一地盤で $K_{h1}=775kN/m^2$ 、標準砂疑似複合地盤ではカオリン粘土とのコーン指数 q_u 値の地盤強度比に概ね一致する約 3 倍の $K_{h2}=3090kN/m^2$ が得られた。

橋台基礎に複合地盤杭を採用した実現場で実施した現場杭水平載荷試験においても、静的水平地盤反力係

杭、遠心力載荷実験、水平抵抗、地盤改良、地盤反力係数、動的

062-8602 北海道札幌市平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 TEL 011-841-1709(365) FAX 011-841-7333

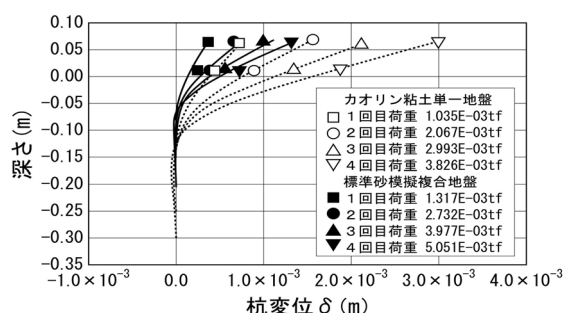


図 - 2 静的水平載荷試験の杭変位分布

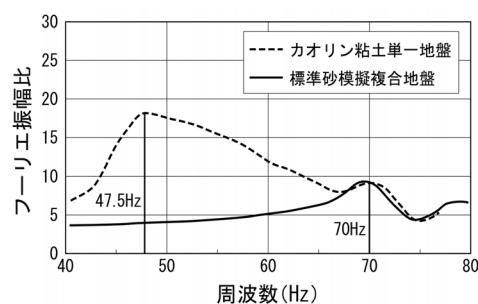


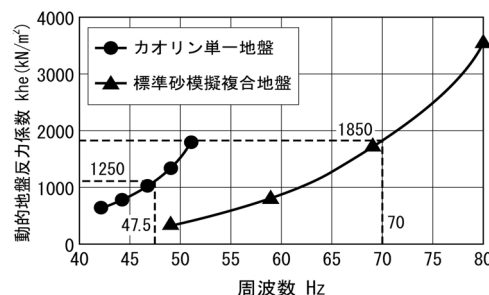
図 - 3 動的正弦波加振周波数

数 K_h が杭頭地盤改良強度に支配される同様の成果が得られている²⁾。そのため、遠心力模型実験で複合地盤を標準砂で代用させた本実験ケースでは、複合地盤杭の水平抵抗に関する定性的挙動を検証するための現場的な再現性はあるものとする。

4. 動的水平挙動

動的正弦波加振実験の結果得られたカオリン粘土単一地盤と標準砂疑似複合地盤における杭頭周波数の関係を図 - 3 に示す。

この図から、50G 場において単一地盤での杭固有振動数は 47.5Hz、複合地盤での杭固有振動数は 70Hz と判定される。複合地盤における杭の振動特性として、静的地盤反力と同様に杭頭周辺地盤が改良され地盤せん断強度が増加することにより、耐震性が向上し短周期化する傾向が認められた。ただし、複合地盤では単一地盤に対し杭頭最大変位は 1/3 程度に小さくなるものの深さ方向の杭変位は標準砂で改良した複合地盤内では収束が小さく、杭応力についても加振が大きくなるに従いカオリン粘土と標準砂の境界部で若干卓越する現象が確認された。このことは、加振レベルが大きくなるにつれ、標準砂疑似複合地盤が杭と一体化し挙動する傾向を示すものであり、複合地盤杭の実設計に当たっては、現場条件によって定まる振動モードに応じて杭本体強度を決定する必要があると考えられる。

図 - 4 動的地盤反力係数 K_{he} ~ 周波数

複合地盤杭の静的と対比した動的地盤反力特性を検証するため、カオリン粘土単一地盤と標準砂疑似複合地盤で得られた静的水平地盤反力係数 K_h をパラメーターとした各変位レベルの杭固有振動数から、固有値解析³⁾による動的水平地盤反力係数 K_{he} の算定を試みた。本算定手法による動的水平地盤反力係数 K_{he} と周波数の関係を図 - 4 に示す。試算の結果、動的水平地盤反力係数 K_{he} は、カオリン粘土単一地盤で $K_{he1}=1250\text{kN/m}^2$ 、標準砂疑似複合地盤で $K_{he2}=1850\text{kN/m}^2$ と計算される。この関係は、静的水平地盤反力係数 K_h の比率とは異なるもの、複合 K_{he2} / 単一 K_{he1} 1.5 であり複合地盤杭の耐震性の表れと考えることができる。

5. まとめ

改良地盤部を簡略化し疑似的に標準砂とした複合地盤杭に関する遠心力模型実験より、今後の設計法確立のための定性的評価として、以下の成果が得られた。

複合地盤杭の静的水平抵抗は、 $1/\beta$ の地盤特性により支配され杭変位・曲げ応力は複合地盤内に収束する。本遠心試験による複合地盤杭の静的地盤反力係数 k_h は、単一地盤に対し地盤強度比と同等値が確保された。

複合地盤杭の動的正弦波加振による杭固有振動数は、単一地盤に対して大きく発現し耐震性の効果が認められた。その結果、固有値解析による複合地盤杭の動的地盤反力係数 k_{he} は単一地盤に対し増加傾向を示した。

複合地盤杭の杭変位・杭応力は、動的加振レベルの増加に伴い複合地盤が杭と一体化する挙動の傾向を示した。実用設計では、地盤変位を考慮した動的応答解析などの現場条件に応じた検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1).富澤・西川：複合地盤杭の実用的設計法の検討 土木学会第 57 回年次学術講演会文集,2002.7
- 2).富澤・西川：複合地盤杭の実用的設計法の検証 北海道開発土木研究所月報,NO592,2002.9
- 3).道路橋示方書・同解説 耐震設計編 日本道路協会 1996.12