

複合地盤中の杭の周面摩擦力評価に関する実験的検討

フジタ 正会員 ○平野 勝識
 北武コンサルタント 正会員 渡辺 忠朋
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 富澤 幸一

1. はじめに

杭に固結工法を併用する基礎（以下、複合地盤杭基礎¹⁾）において、設計時に複合地盤中の杭の周面摩擦力設定が必要となる。筆者らは、これまでに固結工法による複合地盤で実杭の現場押込み試験を実施し、杭の静的周面摩擦力が複合地盤のせん断強度に相関することを検証している²⁾。ただし、地震時の繰返し荷重に対する複合地盤中の杭周面摩擦力の発現機構については明らかにされていない。そこで、複合地盤杭基礎の設計法の確立を目的に、杭材および改良強度を変化させた複合地盤中の杭押込み試験を実施した。

2. 複合地盤杭基礎の杭周面摩擦力の設定法

複合地盤のせん断強度は、改良体と原地盤せん断強度を改良率 a_p で合成し(1)式で算定される³⁾。なお、複合地盤杭基礎では平均的な水平抵抗および周面摩擦力を確保するため、 $a_p=78.5\%$ 以上の接円を基本とする。

$$C = C_p \cdot a_p + \alpha_s \cdot C_o (1 - a_p) \quad \dots (1) \quad C_p = q_{up}/2, \quad C_o = q_{uo}/2, \quad a_p = A_p/A$$

ここに、 C ：複合地盤のせん断強度(kN/m²)、 C_p ：改良柱のせん断強度(kN/m²)、 C_o ：原地盤のせん断強度(kN/m²)、 α_s ：破壊ひずみ低減率、 q_{up} ：改良柱体の一軸圧縮強度(kN/m²)、 q_{uo} ：原地盤の一軸圧縮強度(kN/m²)、 A_p ：改良柱体の断面積(m²)、 A ：改良柱体一本当りの分布面積(m²)である。この結果、設計時における複合地盤中の杭の静的周面摩擦力 f については、現行設計法⁴⁾に従い、改良する原地盤が粘性土系であれば $f=C_p = q_{up}/2$ として改良率 a_p で換算し設定される。

この手法は、複合地盤を地盤として概ね扱える $q_{up}=200\sim 500\text{kN/m}^2$ の範疇で、静的荷重に対して成立することを、前記したように複合地盤中の実杭の現場押込み試験より確認している。

3. 複合地盤中の杭押込み試験

地震時の繰返し荷重に対する複合地盤中の杭周面摩擦力の発現を確認するため、実大規模の杭押込み試験を実施した。実験パラメータは複合地盤の一軸圧縮強度 q_{up} と杭の材質（鋼管、コンクリート）とし、計9ケースの実験を行った。実験手順は、型枠内に設置した鋼管の周囲に L500×h450mm の複合地盤を作成し、鋼管の載荷試験を先行して実施する。その後、鋼管を撤去した孔にコンクリートを充填し強度発現後にコンクリート杭の実験を実施した。杭体は鋼管杭（SGP90A、φ101mm、t=4.2mm）がヤング率 $2.54 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ であり、コンクリート杭は圧縮強度 22N/mm^2 である。載荷方法は最大耐力発生までの初期の段階で数回の繰返しを行った。実験状況写真を写真-1に、コンクリート杭（改良強度 321kN/m^2 ）の載荷試験後の杭と改良地盤の状態を写真-2に示す。

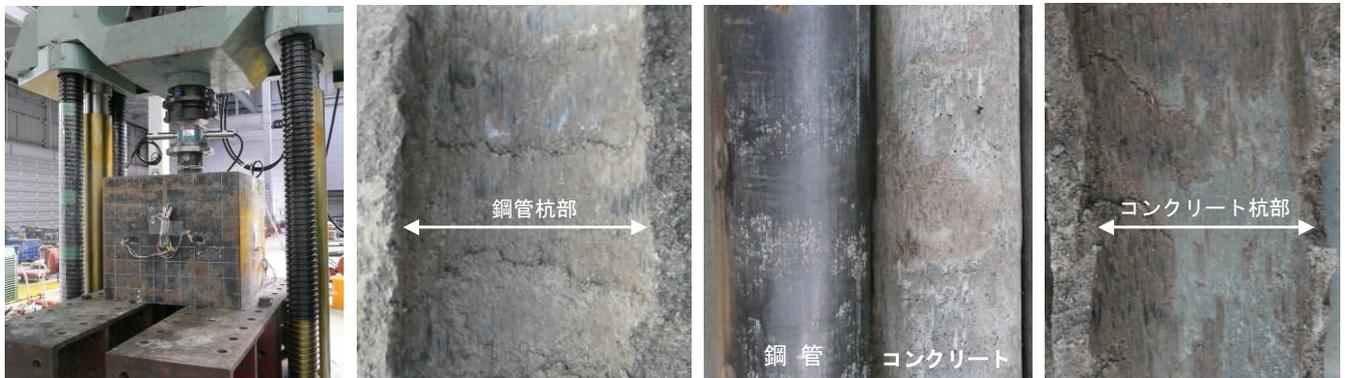


写真-1 実験状況

(1) 地盤孔壁（鋼管）

(2) 杭の表面状態

(3) 地盤孔壁（コンクリート）

写真-2 載荷実験後の状態

キーワード 杭，複合地盤，周面摩擦力，載荷試験

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 (株)フジタ TEL 046-250-7095 FAX 046-250-7139

4. 実験結果

実験結果一覧を表-1に、荷重変位関係の一例としてコンクリート杭の押込み試験結果を図-1に示す。図によれば、全般的な傾向として、周面摩擦は変位初期の段階で最大耐力となるピークに達し、その後一定値に漸近するという履歴を示した。複合地盤の改良強度が高くなるに従い、ピークとその後の漸近値との差が大きくなる傾向がある。一方、改良強度が低いS006のように明瞭なピークを示さないケースもあった。また、改良強度500kN/m²以上の鋼管杭のケースでは改良強度と最大摩擦応力の上下関係が逆転するケースもあった。

表-1 実験結果一覧

杭材質	鋼管杭					コンクリート杭			
	S006	S011	S048	S080	S185	C011	C030	C110	C140
試験名									
改良一軸圧縮強度 q_{up} kN/m ²	57	108	481	801	1,848	108	321	1,131	1,395
最大荷重 kN	4.0	20.0	1.7	1.1	7.6	11.5	22.7	58.9	9.0
最大時変位 mm	1.53	0.65	10.33	20.29	0.22	9.82	0.78	0.80	1.03
最大摩擦応力 kN/m ²	28	140	12	7	54	82	179	413	63
$q_{up}/2$ kN/m ²	28	54	240	401	924	54	160	566	698
$q_{up}/2$ を基準とした割合	99%	259%	5%	2%	6%	152%	112%	73%	9%

5. 周面摩擦力評価

図-2に、コンクリート杭および鋼管杭の最大摩擦応力と複合地盤の一軸圧縮強度の関係を示した。図によれば、コンクリート杭の静的周面摩擦力 f は複合地盤割裂で決定したC140を除き $q_{up}/2$ に沿った結果となった。一方、鋼管杭のケースは、S006, S011のような改良強度が低いケースでは概ね $f = q_{up}/2$ として評価できるが、500kN/m²以上の改良強度の大きなケースにおいては低い摩擦抵抗しか発揮しなかった。また、改良強度500kN/m²未満のケースにおいては、杭の材質による違いが及ぼす摩擦抵抗の明瞭な差異は認められなかった。これらは、本実験の杭長における複合地盤のせん断抵抗と杭の表面粗度とのバランスによる影響と推察される。

6. まとめ

複合地盤の強度を変化させた実大規模の杭押込み試験より、杭周面摩擦力の発現機構に関して、概ね以下の知見を得た。

- ① 複合地盤の改良強度が地盤構成則に従うと想定される $q_{up} = 200 \sim 500 \text{ kN/m}^2$ の範疇では、杭材に関わらず静的周面摩擦力 f は概ね $f = C_p = q_{up}/2$ と評価できる。ただし、地震時を模した繰返し荷重に対し、周面摩擦力 f は一定値に漸近する傾向を示した。
 - ② 複合地盤の改良強度が $q_{up} = 500 \text{ kN/m}^2$ 以上では、本実験の鋼管杭において、表面粗度や側圧などの影響より計算値から乖離した。
- 以上の実験成果は、同種の工法における常時および地震時の杭支持力設計法のガイドライン¹⁾の位置付けにあると考えられる。

参考文献

1) 土木研究所寒地土木研究所：北海道における複合地盤杭基礎の設計施工法に関するガイドライン, pp.1-189, 2010. 2) 富澤幸一, 小嶋英治：複合地盤杭の押込み試験による周面摩擦力の検証, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, pp.523-524, 2005. 3) 北海道開発土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策マニュアル, pp.109-123, 2002. 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV 下部構造編, pp.348-433, 2002.

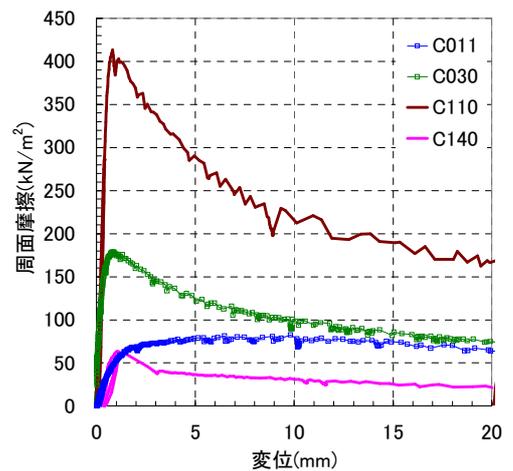


図-1 荷重～変位関係 (コンクリート杭)

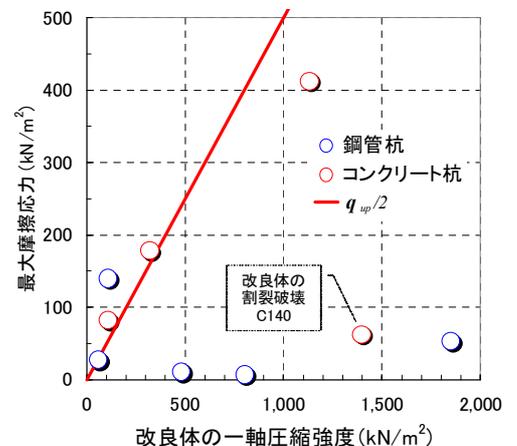


図-2 改良強度と摩擦応力の関係