

杭と地盤改良を併用する複合地盤基礎の実大規模実験 (その2: 改良強度・改良深さ)

株式会社土木技術コンサルタント 正会員 ○村田 良英
 北武コンサルタント株式会社 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

複合地盤杭基礎において改良強度および改良深さが杭の力学挙動に及ぼす影響を検証するため、ガイドラインで定めた複合地盤の一軸圧縮強さを基準強度 200~500kN/m²・改良範囲を 1/βとした CASE-1 実験に引き続き、複合地盤の改良強度を高強度 q_u=1000kN/m²相当(実強度 q_u=1440kN/m²)とした CASE-2 実験および複合地盤(固化改良体)の改良深さを基準値の半分(1/2β)とした CASE-3 実験を実施した。

2. 実験概要

実大規模実験は、CASE-1 実験と同様のせん断土槽(幅 1200mm×奥行 800mm×高さ 1000mm, せん断枠 15 段)を用いた複合地盤における杭の静的水平載荷実験とした。試験体は、上部を固結工法による複合地盤, 下部を自然地盤とした。杭は鋼管杭(径: φ101.6mm, 厚さ: t=4.2mm, 長さ: L=1110mm)の支持杭とした。水平載荷実験は、CASE-1 実験と対比するため、同様に、①杭径 0.5%変位(相対変位: 0.5mm), ②杭径 1.0%変位(相対変位: 1.0mm), ③杭径 2.5%変位(相対変位: 2.5mm), ④杭径 5.0%変位(相対変位: 5.0mm)までの載荷とし、①~④の順に 3 回の繰返しとした。

3. 実験結果および考察

(1) 改良強度の影響(CASE-2 実験)

CASE-2 の複合地盤の改良強度を q_u=1000kN/m² 相当(実強度 q_u=1440kN/m²)とした杭の静的水平載荷実験から得られた荷重~変位曲線を図-1 に示した。なお、図-1 には、CASE-2 の実験結果も合わせて示す。図によれば、改良強度が高強度とした CASE-2 では、基準値 200~500kN/m²(実強度 q_u=223kN/m²)とした CASE-1 に対して、同一変位において杭の水平抵抗は大きく発現していることが分かる。また、高強度であっても杭径の 0.5%では、複合地盤(固化改良体)には特異な割裂・ひび割れの損傷は全く無く健全であり、その後の杭変形の進行に伴い表面の横断に一部ひび割れが発生するが、地盤反力が保持し続けている。ただし、応答の水平地盤反力に差異が見られる。水平方向地盤反力係数および水平地盤反力の実験値と設計値を表-1 に示す。表より、一軸圧縮強さが高強度の CASE-2 では、杭変位が 0.5%時に実験値が設計値の 70%程度となっている。これは、複合地盤の改良強度が著しく高い場合には、一軸圧縮強さ q_u から水平方向地盤反力係数 k を推定する際の変形係数 E₀(100q_u)を過大評価する可能性があることを示唆している。

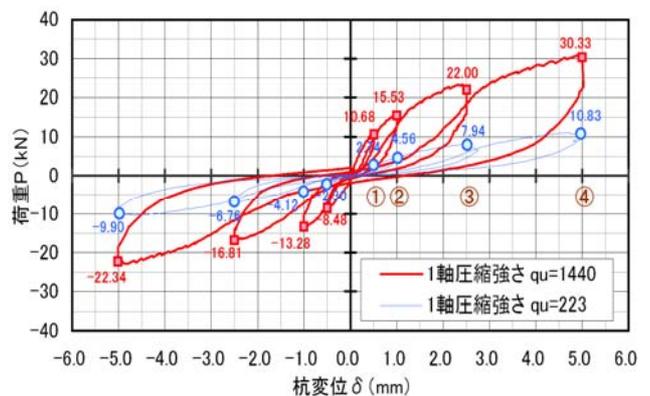


図-1 CASE-2 荷重~変位曲線(高強度)

表-1 水平方向地盤反力係数・水平地盤反力度(高強度)

実験ケース	杭変位(mm) [杭径に対する比率]	実験値		設計値	
		水平方向地盤反力係数 k (kN/m ³)	水平地盤反力度 P _H (kN/m ²)	水平方向地盤反力係数 k' (kN/m ³)	水平地盤反力度の上限値 P _{HU} (kN/m ²)
CASE-2	0.5 [0.5%]	2,150,363	1,075.2	3,098,529	2,160.0
	1.0 [1.0%]	1,056,491	1,056.5		
	2.5 [2.5%]	412,912	1,032.3		
	5.0 [5.0%]	202,867	1,014.3		

(2) 改良深さの影響(CASE-3 実験)

複合地盤(固化改良体)の改良深さを基準値の半分(1/2β)とした CASE-3 の静的水平載荷実験で得られた杭の荷重~変位曲線を図-2 に示す。図-2 には、改良深さ基準値の 1/βとした CASE-1 の荷重~変位曲線も合わせて示した。

キーワード 杭, 地盤改良, 載荷実験, 改良土

001-0019 札幌市北 19 条西 3 丁目 2 番 16 号 TEL 011-728-0051 FAX 011-728-0081

これによると、改良深さを $1/\beta$ の $1/2$ とした場合でも、改良深さ $1/\beta$ とした場合と概ね同等の水平抵抗を示す結果となっている。

水平方向地盤反力係数および水平地盤反力度の実験値と設計値を表-2に示す。水平方向地盤反力係数は、杭許容水平変位量である杭変位 0.5% 時で実験値は $1/\beta$ とした場合より小さいが、設計値とほぼ同等である。ただし、 1.0% 時には実験値が設計値を若干下回る傾向にある。このことは改良深さを $1/\beta$ とした場合と同様である。

(3) 杭体のひずみ分布

各実験ケースの杭のひずみ分布を図-3に示す。図-3には、CASE-1の標準ケースの杭のひずみ分布も示した。図によれば、複合地盤の強度が著しく高いCASE-2では、CASE-1に対して杭体ひずみ分布が大きく変化している。また、改良深さを $1/\beta$ の半分としたCASE-2の場合は、複合地盤中の杭ひずみは非常に大きくなっている。

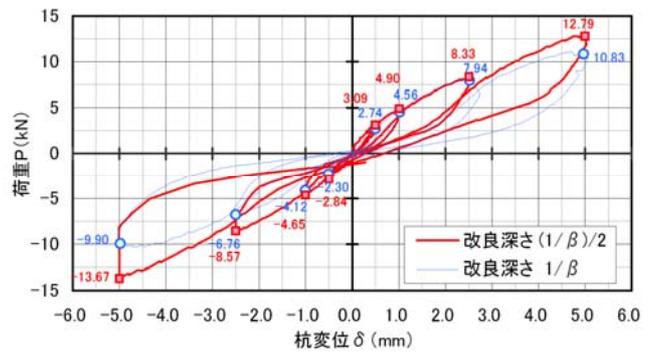
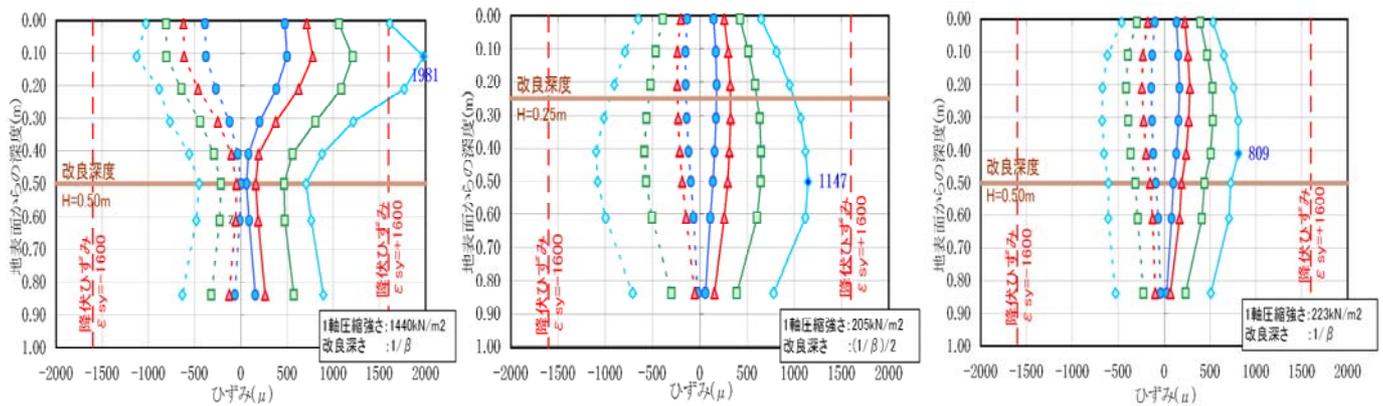


図-2 CASE-3 荷重～変位曲線 ($1/2\beta$)

表-2 水平方向地盤反力係数・水平地盤反力度 ($1/2\beta$)

実験ケース	杭変位 (mm) [杭径に対する比率]	実験値		設計値	
		水平方向地盤反力係数 k (kN/m ³)	水平地盤反力度 P_H (kN/m ²)	水平方向地盤反力係数 k' (kN/m ³)	水平地盤反力度の上限値 P_{HU} (kN/m ²)
CASE-3	0.5 [0.5%]	295,440	147.7	240,555	307.5
	1.0 [1.0%]	188,945	188.9		
	2.5 [2.5%]	104,641	261.6		
	5.0 [5.0%]	66,922	334.6		



a) CASE-2 高強度 ($q_u=1000\text{kN/m}^2$ 以上)

b) CASE-3 改良深さ $1/2\beta$

c) CASE-1 標準ケース

図-3 杭のひずみ分布

4. まとめ

複合地盤杭基礎において、CASE-2(複合地盤の改良強度を高強度の $q_u=1000\text{kN/m}^2$ 相当としたケース)およびCASE-3(複合地盤の改良深さを基準値の半分($1/2\beta$)としたケース)の実大規模実験の結果、以下の知見が得られた。

- ① 複合地盤が高強度の場合、杭の水平抵抗は大きくなるが水平方向地盤反力係数は設計値を確保せず過大評価となる。また、杭体ひずみが大きく変化する。
- ② 改良深さを $1/\beta$ の $1/2$ とした場合、改良深さ $1/\beta$ とした場合より水平方向地盤反力係数は小さいが、概ね同等の水平抵抗を示す。ただし、複合地盤中の杭ひずみは非常に大きくなる。

以上より、複合地盤杭基礎においてその設計法を満足させるためには、改良強度はガイドラインで定めた基準値 $200\sim 500\text{kN/m}^2$ および改良範囲は $1/\beta$ を逸脱することなく実施することが妥当と判断される。

参考文献

- 1.独立行政法人 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，2010-4.
- 2.富澤幸一，三浦清一，渡辺忠朋：複合地盤の改良範囲および改良強度が杭の地震時挙動に及ぼす影響，土木学会論文集 C, Vol.164, No.1, pp.127-143, 2008.