

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1：地盤反力特性）

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○富澤 幸一
土木研究所寒地土木研究所 正会員 西本 聡
北海道大学大学院 フェロー会員 三浦 清一

1. はじめに

軟弱地盤を克服する構造物基礎の新工法として、主に北海道の泥炭性軟弱地盤に施工する杭の頭部周辺に地盤改良工法による複合地盤を形成し、杭の水平抵抗や支持力の増加を図る複合地盤杭基礎を研究開発した。ただし、本工法は人工地盤を杭頭部に造成することによる基礎の力学挙動が技術的懸案である。そこで、土木研究所寒地土木研究所では一連のモデル実験および数値解析を実施し、委員会・意見照会を経て、杭と複合地盤(固化改良体)の健全性・耐震性を確保するため、常時の地盤反力照査・レベル1地震時の杭径0.5%許容水平変位量・レベル2地震時(地震時保有水平耐力)の応答塑性率低減などを基準化した、実務者のための設計施工法ガイドラインを取りまとめた。

ここでは、さらに、複合地盤杭基礎の設計法における改良強度(基準値 $200 \sim 500 \text{ kN/m}^2$)・改良範囲($1/\beta$)の妥当性および基礎変形に伴う複合地盤の健全性を確認するため、複合地盤杭基礎の実大規模の静的水平載荷実験を実施した。

2. 実験概要

実大規模実験は、せん断土槽(幅 1200mm×奥行 800mm×高さ 1000mm, せん断枠 15 段)を用いた複合地盤中の杭の静的水平載荷実験とした。写真-1に実大規模実験のセットアップ状況を示す。試験体は、複合地盤杭基礎を再現し、上層部を固結工法による複合地盤、下部を N 値 10 相当の砂地盤とした。複合地盤は全面改良とし、ベントナイトを母材とし早強セメントを添加して作成した。杭は鋼管杭(径 $\phi 101.6 \text{ mm}$, 厚さ $t=4.2 \text{ mm}$, 長さ $L=1110 \text{ mm}$)の支持杭とした。杭体には試験時の応力を確認するためひずみゲージを貼付した。

実大規模実験は以下の4ケースによる杭の静的水平載荷とした。

- CASE-1 上層複合地盤深さ $1/\beta$ ・一軸圧縮強さ 200 kN/m^2 相当
- CASE-2 上層複合地盤深さ $1/\beta$ ・一軸圧縮強さ 1000 kN/m^2 相当
- CASE-3 上層複合地盤深さ $1/2\beta$ ・一軸圧縮強さ 200 kN/m^2 相当
- CASE-4 複合地盤損傷後の再固化(地盤モデルは CASE-1 と同様)

水平載荷実験は、複合地盤杭基礎の設計時の常時および地震時を想定し、各目標変位量を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)として、①～④の順に各3回の繰返し載荷とした。

3. 実験結果および考察

(1) 荷重変位曲線と複合地盤状況

CASE-1の実験から得られた杭の荷重～変位曲線を図-1に示す。CASE-1の複合地盤の一軸圧縮強さは基準値内の 200 kN/m^2 相当(実強度 $q_u=223 \text{ kN/m}^2$)である。図より、①から④へと変位の増加に従い複合地盤は水平抵抗を保持し続けていることが分かる。図-1に示す①～④の各変位時における地表面の状況を表-1に示す。表中の図より、ガイドラインで定めた常時・レベル1地震時の杭許容水平変位量である杭径の0.5%では、複合地盤(固化改良体)には特異な割裂・ひび割れの損傷は無く、健全であることが確認できる。その後、杭径2.5, 5.0%の杭変形で、表面の横断に一部ひび割れが発生するが、これは杭反力を確保するための杭前面側の損傷ではなく、側面側の引張作用力によるものである。その際に、杭の残留変位はほとんど無く、基礎は所要の復元力を有していることが確認できる。

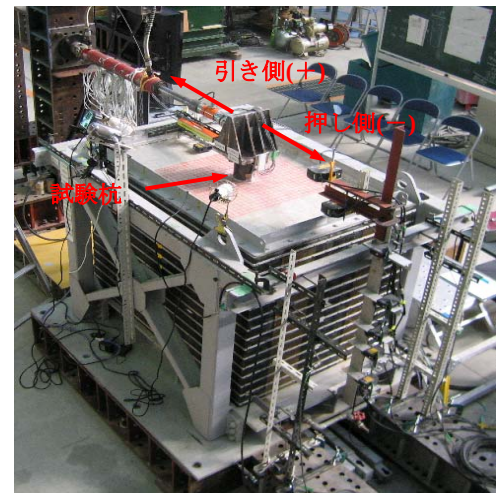


写真-1 実験セットアップ状況

キーワード 杭, 地盤改良, 載荷実験, 水平地盤反力

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

(2) 水平方向地盤反力係数

複合地盤は基準値 $200 \sim 500 \text{ kN/m}^2$ では、一連の数値解析・材料試験より、概ね土の構成則を呈することが確認されている。そこで、静的水平載荷実験で得られた杭の荷重～変位曲線の関係より、弾性地盤反力法の基本方程式により判定した水平方向地盤反力係数 k および水平地盤反力度 P_H を表-2 に示す(以下、実験値と称す)。同表には、複合地盤の一軸圧縮強さ q_u から求めた水平方向地盤反力係数 k' および水平地盤反力度の上限値 P_{HV} を合わせて示した(以下、設計値と称す)。これより、水平方向地盤反力係数は、ガイドラインで定めた杭許容水平変位量である杭変位 0.5% 時で実験値は設計値とほぼ同等である。1.0% 時には実験値が設計値を若干下回る傾向にある。このことから、改良範囲を $1/\beta$ とした際には、一軸圧縮強さ q_u から変形係数 $E_0(100q_u)$ を換算し、水平方向地盤反力係数 k を設定する設計法は妥当と判断される。

なお、応答の水平地盤反力度は、杭変位が杭径の 2.5% 以下で、実験値は設計値に達することは無く、複合地盤強度の上限値(受働土圧強度)以下となっている。つまり、杭変位が杭径の 2.5% 程度までは複合地盤基礎は概ね弾性挙動内にあると判断される。

4. まとめ

複合地盤杭基礎の上層複合地盤深さ $1/\beta$ (50cm)・一軸圧縮強さ 200 kN/m^2 相当(実強度 $q_u=223 \text{ kN/m}^2$)とした CASE-1 実大規模実験の結果、以下の知見が得られた。

- ① 複合地盤杭基礎において、杭許容水平変位量の管理値である杭径の 0.5% では、複合地盤(固化改良体)は健全である。
- ② 水平方向地盤反力係数は、杭変位 0.5%～1.0% 時で実験値は設計値とほぼ同等である。
- ③ 応答水平地盤反力度は、杭変位が杭径の 2.5% 以下では、複合地盤強度の上限値(受働土圧強度)以下である。

以上より、杭と地盤改良を併用する複合地盤杭基礎の常時およびレベル 1 地震時の設計法(地盤反力照査・杭許容水平変位量 0.5%)の妥当性が、実大規模実験より検証されたものと判断される。

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.Kouichi Tomisawa and Seiichi Miura : Mechanical behavior of pile foundation constructed in composite ground and its evaluation, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.5, pp.961-972, 2007.

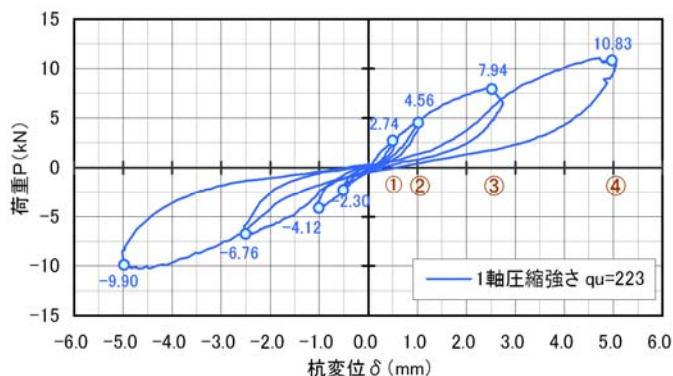


図-1 CASE-1 荷重～変位曲線

表-1 CASE-1 複合地盤面状況

No. (杭変位)	1軸圧縮強さ $q_u=223 \text{ kN/m}^2$	
	地表面状況写真	損傷図
① (0.5mm)		
② (1.0mm)		
③ (2.5mm)		
④ (5.0mm)		

表-2 水平方向地盤反力係数・水平地盤反力度

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_{HV} (kN/m^2)
CASE-1	0.5 [0.5%]	383,466	191.7	395,642	334.5
	1.0 [1.0%]	233,577	233.6		
	2.5 [2.5%]	121,290	303.2		
	5.0 [5.0%]	73,880	369.4		