

軟弱地盤での地盤改良複合杭基礎挙動のFrame解析

(株)コンサルタンツ大地 正会員 ○盆小原 和美 中谷 隆生 徐 光黎
 日本道路公団東京建設局 正会員 緒方 辰男 鈴木永之
 九州共立大学 工 学 部 正会員 前田 良刀

1. まえがき

地盤改良複合杭基礎は、軟弱地盤での基礎の水平抵抗を向上させるため、地盤改良による形成された改良体と合成鋼管杭からなる複合杭基礎形式である。本基礎形式は、一般の杭基礎よりも大きな地盤抵抗が期待でき、原地盤を有効に利用した環境に優しい基礎であり、軟弱地盤において有望な基礎工法であると考えられる。

地盤改良複合杭基礎の挙動を確認するため、東京外環自動車道・三郷ジャンクションにて地盤改良複合杭基礎を2供試体(改良体 $1.4 \times 3.2 \times 8.4\text{m}$ 、杭長 30m)製作し、載荷試験を実施した。本文は、実務への設計ケースン+組杭モデルを提案し、簡便なFrame解析した結果を載荷試験結果と比較・考察したものである。

2. ケーソン+組杭モデル

改良体の力学評価は、改良体と原地盤の相対的な関係から決まると考えられる。改良体の設計基準強度が $q_{uck}=1\text{MPa}$ 程度確保できれば、一般的な軟弱地盤に対しては、改良体/原地盤の一軸強度比は $\alpha_1 > 20$ 程度、弾性係数比は $\alpha_2 > 100$ 程度となり、原地盤に対して十分な強度と剛度を有している。このことから、解析上は改良体を剛体と仮定してもさしつかえない。すなわち、力学的には、ケーソンと杭基礎の組合された複合基礎と評価できる。ケーソン+組杭モデルを図-1に示す。

改良体部および杭体部の剛性は、ソイルセメント改良体と鋼管杭の剛性により式(1)より求める。

$$\text{改良体部の曲げ剛性} \quad EI = E_c I_c + E_s I_s \quad (1)$$

$$\text{杭体部の曲げ剛性} \quad EI = E_s I_s \quad (2)$$

ここに、 $E_c I_c$ 、 $E_s I_s$ ：ソイルセメント改良体と鋼管杭の剛性

改良体の周辺地盤の6種類地盤反力係数はケーソン基礎に準じ算定する。地盤反力係数の変位依存性は、基準変位に対して式(3)により算出している。式(3)～(6)より、地層毎の水平方向バネ定数、鉛直方向バネ定数および回転バネ定数を算出する。これらのバネ定数をFrameの1本棒の節点に与えて、地盤の抵抗とする。

$$\text{地盤反力係数の変位依存性} \quad k = k_0 \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^{-0.5} \quad (3)$$

$$\text{水平方向バネ定数} \quad K_H = k_{H1} \cdot Be + 2k_{SHDi} \cdot De \quad (4)$$

$$\text{鉛直方向バネ定数} \quad K_V = 2k_{SVBi} \cdot Be + 2k_{SVDi} \cdot De \quad (5)$$

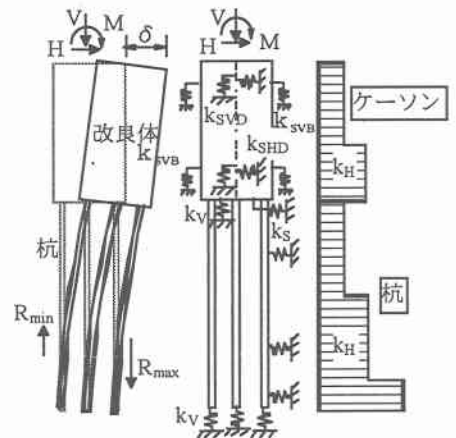
$$\text{回転バネ定数} \quad K_R = 1/2 \cdot k_{SVBi} \cdot De^2 \cdot Be \cdot l_i + 1/6 \cdot k_{SVDi} \cdot De^3 \cdot l_i \quad (6)$$

ここに、 δ_0 ：基準変位量、基礎幅の1%B($\leq 50\text{mm}$)、 k_0 ：基準変位量の地盤反力係数(kgf/cm^3)、 Be 、 De ：改良体の有効前面と側面幅。

3. Frame解析結果

ソイルセメントと改良体の変形係数は変位(ひずみ)に依存するため、その非線形を考慮する必要がある。今回、改良体コアの一軸圧縮試験の結果に基づき、 $\sigma \sim \varepsilon$ 曲線をトリリニアとした。変位が $\delta \leq 1.0\%B$ 場合には、変形係数を $E_0 = 4000\text{N/mm}^2$ 、変位が $1.0\% \leq \delta \leq 2.5\%B$ 場合には、変形係数を $E = 1600\text{N/mm}^2$ 、 $2.5\%B$ 以上の変位では、変形係数を適宜に低減した(図-2)。

ケーソン+組杭モデルを用い、Frame解析を行った。解析された $P \sim \delta$ 曲線、断面力を載荷試験結果と併せ図-3、図-4に示す。



注) k_{H1} : 前面の水平方向地盤反力係数
 k_V : 底面地盤反力係数
 k_{S1} : 底面の水平方向せん断地盤反力係数
 k_{SVB} : 前面の鉛直方向せん断地盤反力係数
 k_{SVD} : 側面の鉛直方向せん断地盤反力係数
 k_{SHD} : 側面の水平方向せん断地盤反力係数
 V, H, M : 作用力
 R : 杭の鉛直抵抗力
 δ : 水平変位量

図-1 ケーソン+組杭モデル

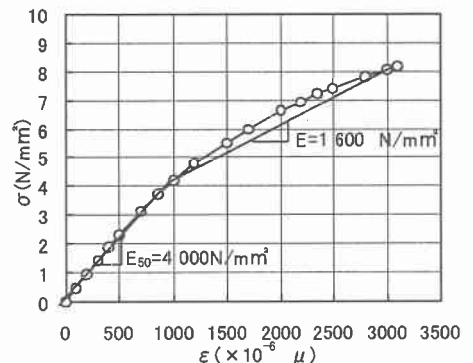
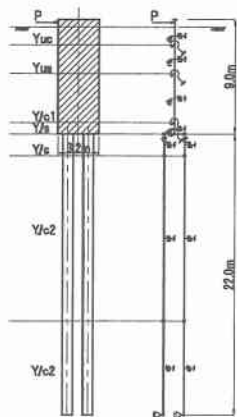
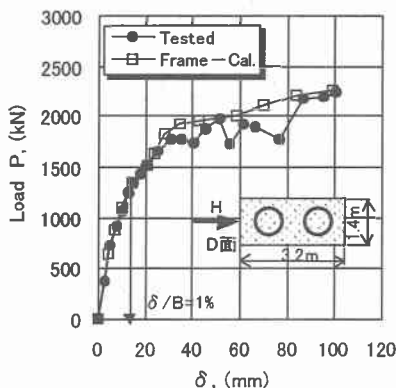
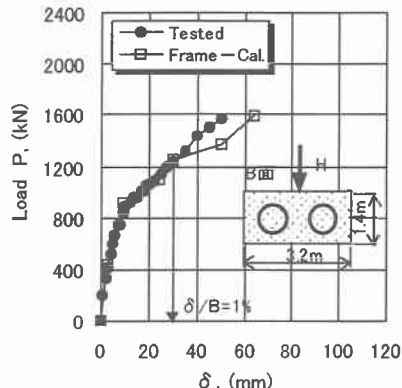
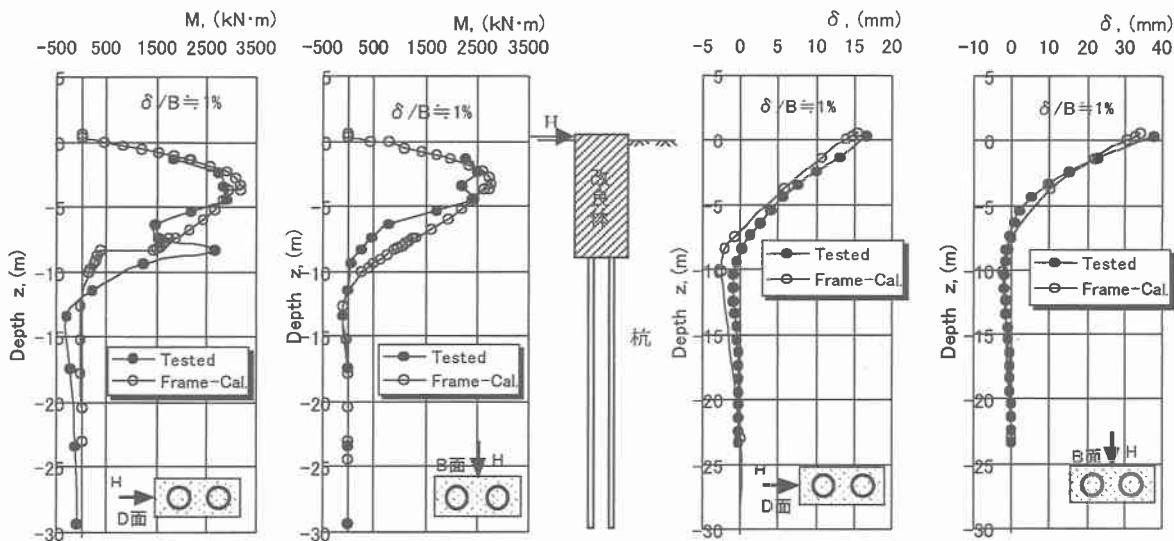


図-2 改良体の $\sigma \sim \varepsilon$ 曲線



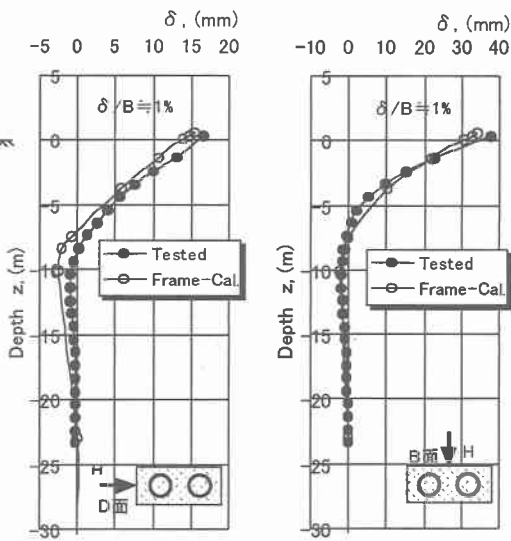
(a) Frame モデル

(b) D 面載荷 $P \sim \delta$ 曲線(c) B 面載荷 $P \sim \delta$ 曲線図-3 載荷試験 $P \sim \delta$ 曲線と Frame 解析結果の比較

(a) D 面載荷

(b) B 面載荷

図-4 断面曲げモーメントの比較



(a) D 面載荷

(b) B 面載荷

図-5 水平変位の比較

図-3 より、周辺地盤反力係数および改良体の変形係数の変位（ひずみ）依存性を考慮すれば、ケーソン+組杭モデルにより解析結果は広範囲でも試験結果と一致する。1%B 以内の基礎変位においては、改良体の変形係数を E_{50} とした予測の精度はかなり高い。図-4 より、Frame で計算した断面力はひずみから算出した断面力に近似している。ただし、改良体底面と鋼管杭の境界（D 面載荷）においては、試験値が大きくなっている。それは、改良体と鋼管杭の剛性差によるものと考えられる。

水平変位と深さの関係を図-5 に示す。載荷試験の水平変位は傾斜計で測定された値であり、Frame 解析の水平変位は各節点における水平方向の変位である。両者の値はほぼ一致している。

よって、軟弱地盤において、改良体は、基礎幅の 1% の水平変位を工学的な弾性限界とし、地盤反力係数の算出の基準変位量や震度法レベルの基礎の許容変位量としてよい。地盤改良体の挙動は、ケーソン基礎として評価の妥当性が検証された。

4. まとめ

軟弱地盤に対して、改良体が十分に相対的な強度と剛性有するため、ケーソン基礎とみなして評価することができる。ケーソン+組杭モデルを用いた Frame 解析結果は載荷試験結果と一致しており、提案された設計モデルは実務への設計に適用が可能であると考えている。

参考文献 1)河野, 和田, 鈴木, 坂手: 軟弱地盤での地盤改良複合杭基礎とその載荷試験, 橋梁と基礎, No. 1, 平成 12 年 1 月