

地盤改良複合杭基礎の設計モデルの提案

Design Model of a New Composite Foundation of Steel Pile with Soil Improvement

緒方 辰男 (おがた たつお)

日本道路公団東京建設局 課長代理

徐 光 黎 (じょ こうれい)

(株)コンサルタンツ大地 チームリーダー

坂手 道明 (さかて みちあき)

(株)コンサルタンツ大地 取締役社長

1. はじめに

構造物基礎は、極めてまれに生じる大地震に対しても十分な耐力、変形性能を有するように設計することが要求されている。このため、軟弱地盤上での構造物基礎の規模は過大となりやすい。一方、社会資本整備に関しては、コストの縮減および建設事業に伴う環境負荷の低減が一層強く要求されている。この背景を踏まえ、筆者らは、複合基礎の一つとして、軟弱地盤における基礎の水平支持力の向上を図り、しかも建設環境に優しく排土がほとんど生じない地盤改良複合杭基礎橋梁を東京外環自動車道・三郷 JCT 橋梁計画にて提案している。

図-1 に地盤改良複合杭基礎形式のイメージを示す。この基礎は、地盤改良体と支持杭を一体化したもので、地盤改良体の剛性と前面抵抗などにより基礎の水平支持力を向上させ、支持杭で鉛直支持力を得るという新しい基礎形式である。このように、地盤改良体と支持杭のそれぞれの長所を生かす特徴を有するため、軟弱地盤において、今後構造物基礎としての有効性が高いと考えられる。本論文は、新たに開発した地盤改良複合杭基礎の載荷試験結果に基づき、その支持力特性を検討し、実務への設計モデルを提案したものである。

2. 複合基礎の効果

地盤改良複合杭基礎は、深層混合処理工法による改良体と支持杭からなる複合杭基礎形式であり、この複合した基礎の全体で外力を抵抗させる。

本基礎の挙動を確認するために、三郷 JCT にて載荷試験を行った。試験地点では、TP-40 m 以浅の地盤は N 値が 0~10 程度のシルト細砂と砂質シルトの沖積層であり、良好な支持層は TP-47 m 以深にある。試験体は地盤改良工法により $1.4 \times 3.2 \times 8.4$ m ブロック状の地盤改良体を形成して、改良体が固まらないうちに合成鋼管杭を 2 本立て込んで製作した。今回の試験目的は水平支持力特性の確認であるため、杭の根入れが改良長 L_1 の 3 倍程度あれば、杭先端が不動点であると考えられ、杭長を $L_2=30.0$ m とした。載荷試験の試験体の仕様を表-1 に、製作した試験体の様子を写真-1 に示す。

試験体 I (弱軸方向) の試験では、側面の幅が小さく、1 本の杭載荷試験条件に近いので、以下に、試験体 II

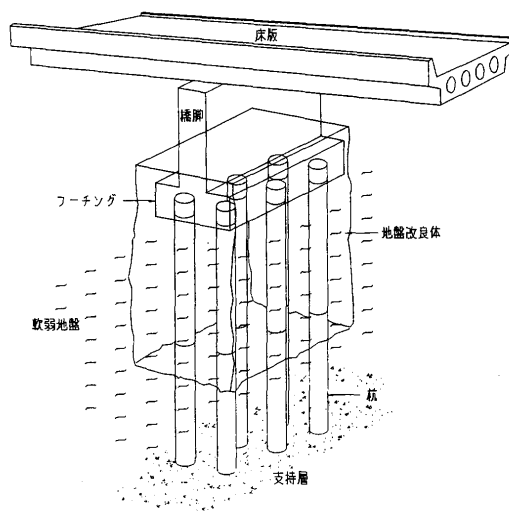


図-1 地盤改良複合杭基礎のイメージ

表-1 地盤改良複合杭試験体の仕様

改良体			合成鋼管杭 (2 本)			
幅 B	幅 D	改良長 L_1	杭長 L_2	杭径 D_p	板厚 t	ソイル径 D_s
1.4m	3.2m	8.4m	30.0m	0.6m	16mm	0.8m
$q_u=4.6\text{MPa}$ (37 日強度)			SKK490 鋼材			
$E_c=4\,000\text{MPa}$			$E_s=210\,000\text{MPa}$			

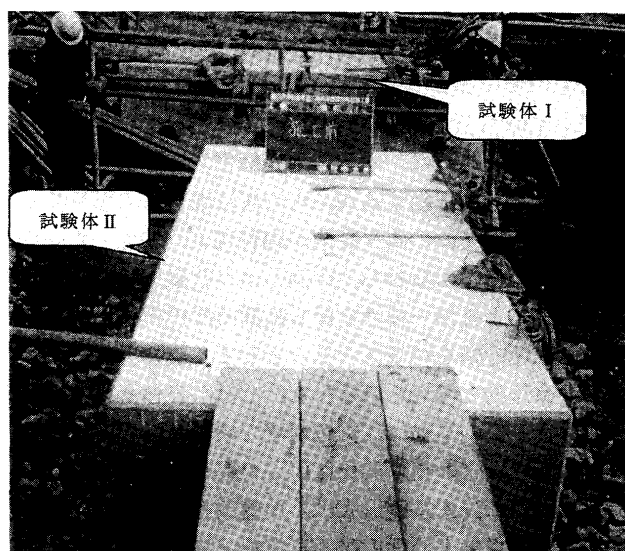


写真-1 製作した試験体

論文

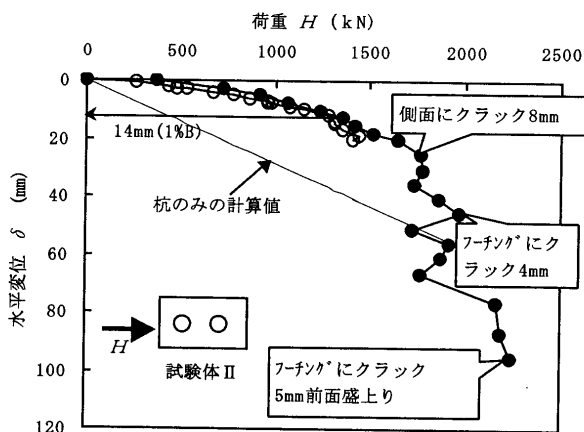


図-2 載荷試験荷重～変位曲線

(強軸方向)の水平載荷試験について述べる。図-2に試験体IIの水平載荷試験の荷重～変位曲線を示す。地盤改良複合杭基礎の挙動は一種のケーソン基礎形式と考え、その荷重～変位の関係は改良体前面幅で評価したほうがよいと思われる。図より、水平変位 $\delta=1.5\%$ (20 mm)程度までは、ほぼ弾性的な挙動を示すが、水平変位2.1% (30 mm) 時において、 $H-\delta$ 曲線に明確な変曲点がみられる。基礎の水平変位を3.8% (54 mm) とした時、フーチングにクラックが発生した。ただし、クラックが発生しても、水平抵抗は急激に減少しておらず、大変形時100 mm (7%) においても、水平抵抗は増加の傾向にある。また、ケーソン基礎の許容変位が基礎幅の1%と規定しており、ここで基礎幅の1%水平変位を着目した時の地盤改良複合の抵抗力は1320 kNで、杭のみの抵抗力は470 kNであり、地盤改良複合のほうが杭のみの抵抗力より2.8倍大きい。

図-3は水平載荷試験の改良体と合成鋼管杭の水平変位分布を示したものである。ここで、改良体と合成鋼管杭の一体性を検討するために、図中の変位は改良体下端の変位を0とした場合の相対変位である。図-3から、試験体の頭部変位が改良体前面幅の2%程度の変位までは改良体と合成鋼管杭が深さ方向にわたりほぼ同一の挙動を示していることが分かる。また、水平変位が基礎幅の3.6% (50 mm) 以内であれば、改良体と杭体のずれは小さく、その一体性が良く、それ以上の大変位になると両者の変位差が大きくなり、最大曲げの発生位置で(TP-2.4 m 付近、図-8を参照) 約9 mmの変位差が生じている。これは、ある水平変位までは、改良体と杭体は一体として挙動するが、その後は改良体の塑性化などにより、改良体の水平変位が鋼管杭より増大したものと考えられる。すなわち、今回のような軟弱地盤において、改良体と杭が一体性を保つ範囲では、杭径よりも地盤改良前面の幅をパラメーターとして、支持力を評価するのが合理的と考えられる。ただし、改良体と杭体からなる複合基礎の挙動は、周辺地盤の硬軟、地盤改良体と杭材の剛性などの相対関係によって異なると考える。

このように、本基礎形式は、地盤改良部の剛性が高く、前面の受働抵抗と側面の摩擦抵抗などにより、一般の杭基礎よりも大きな水平支持力が期待できることが確認さ

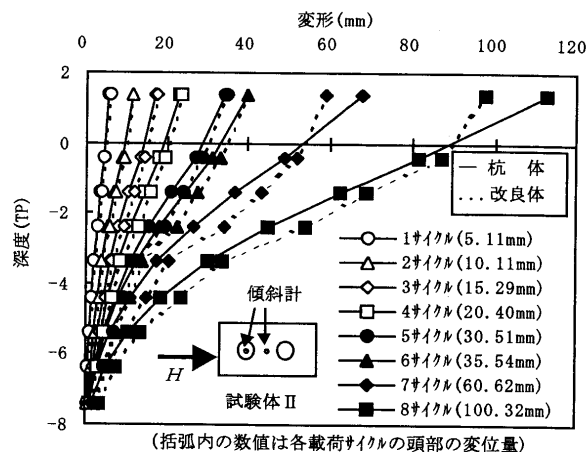
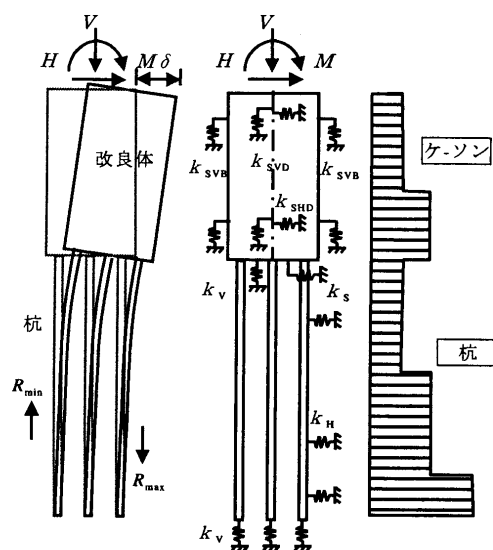


図-3 改良体・杭体の水平変位分布



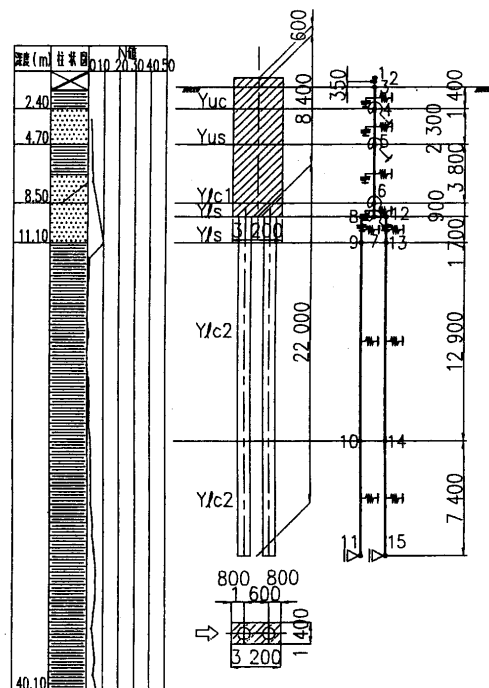
- 注) k_H : 前面の水平方向地盤反力係数
 k_V : 底面地盤反力係数
 k_S : 底面の水平方向せん断地盤反力係数
 k_{SVB} : 前背面の鉛直方向せん断地盤反力係数
 k_{SVD} : 側面の鉛直方向せん断地盤反力係数
 k_{SHD} : 側面の水平方向せん断地盤反力係数
 V, H, M : 作用力
 R : 杭の鉛直抵抗力
 δ : 水平変位量

図-4 梁ばねモデル

れた。軟弱地盤において、地盤改良による改良体と鋼管杭は、基礎幅の1%程度の変位において一体構造としての挙動を示し、複合効果が見られた。

3. 設計モデルの提案

軟弱地盤では、原地盤に対して地盤改良による形成された改良体が十分な強度と剛性を有するため、改良体の挙動を一種のケーソン基礎として評価してよいと考えられる。実務的な見地から、杭基礎の設計に実績のある曲げ剛性を有する梁とケーソン基礎の地盤ばねを組合せた梁ばねモデルを本基礎形式の設計モデルとして提案する。図-4に示すように、上部の改良体と杭の複合部をケーソンとみなし、下部の合成鋼管杭を通常の杭基礎として取扱う。



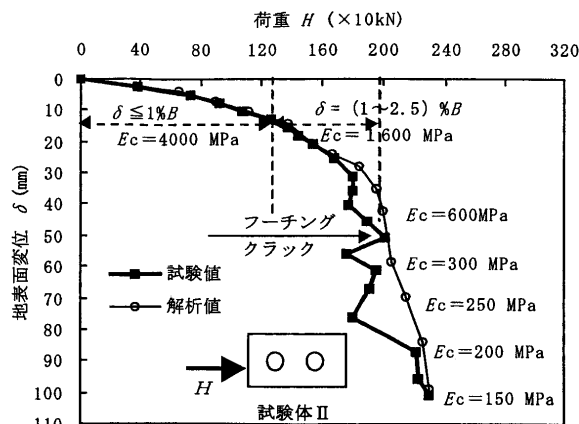
図—5 試験体と梁ばねモデル

水平載荷試験体を梁ばねモデルによるモデル化したものを図—5に示す。この骨組モデルに、改良体では、ケーソン基礎の6種類の地盤ばね係数を水平方向、鉛直方向および回転ばねに置換えて入力し、杭体では、通常の杭基礎のばね係数を与えている。梁ばねモデルにより解析した荷重～変位曲線を図—6に示す。図より、地盤改良複合杭基礎の試験の荷重～変位曲線を精度よく解析できた。基礎幅の1%変位までは、改良体の変形係数として $E_{50}=4\,000\text{ MPa}$ を用いた解析値は、試験値とよく一致している。それ以降は、改良体コアの一軸圧縮試験曲線の変位に対して E_c を変化させて解析した。

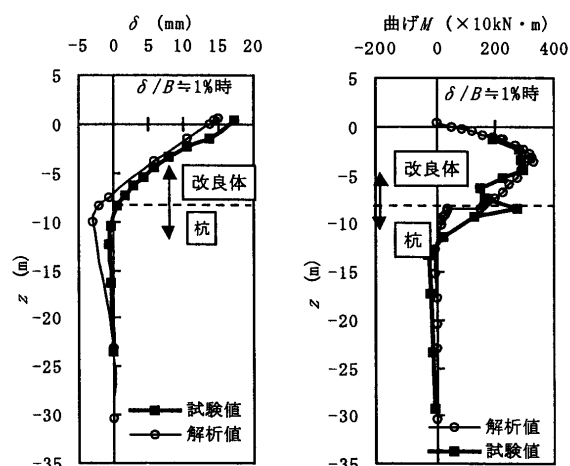
梁ばねモデル解析した基礎幅の1%変位の水平変位～深さの関係を傾斜計による実測した変位と比較したものを図—7に示す。両者の分布傾向がほぼ一致することがわかる。図—8は基礎幅の1%変位における梁ばねモデルにより計算した改良体と杭体の曲げモーメントと鋼管ひずみ計の実測鉛直ひずみから求めた曲げモーメントを比較したものである。梁ばねモデルにより計算した曲げモーメントも実測値とほぼ一致している。

4. おわりに

軟弱地盤での構造物基礎をより経済的に設計するために、地盤改良と杭基礎による組合せた複合基礎が考えられる。ここで提案した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することができ、環境にも優しい。本基礎形式の実用化を図るため、改良体部の剛域を考慮した梁ばねモデルを提案した。この設計モデルによる解析結果は、原位置での載荷試験結果と近似しており、その有効性が確認された。



図—6 試験と梁ばねモデルによる荷重～変位曲線



図—7 水平変位～深さ 図—8 曲げモーメント～深さ

今後、原位置試験、模型試験、数値解析などのデータを蓄積し、より合理的な地盤改良複合杭基礎の設計を迫及する。また、構造物基礎の一つの新しい基礎形式として、積極的に利用していくと考えられ、構造物の安全性の確保とコストの縮減および環境負荷の低減に大きく果たす役割を期待している。

謝辞 本基礎形式の提案、載荷試験、設計モデルならびに本文の作成にあたっては、前田良刀氏（九州共立大学教授）より貴重なご指導、ご助言をいただいた。この場を借りて謝意を表する。

参考文献

- 1) 河野真美・和田宣史・鈴木永之・坂手道明：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，Vol. 34, No. 1, pp. 21～27, 2000.
- 2) Maeda, Y., Kouno, M., Xu, G. L., Nakatani, T.: A new composite foundation of steel pile with soil improvement, Int. Confer. On Geotechnical & Geological Engrg, Melbourne, Australia, CD version, 2000.

(原稿受理 2000.12.4)