

Ⅲ-A 432

地盤改良複合杭の水平載荷試験の解析

日本道路公団

正会員 河野 真美 ○駒場 勝美*

(株)竹中土木

正会員 乃村 和浩 平井 卓 **

(株)竹中工務店 技術研究所

正会員 土屋 富男 山下 清 ***

1. はじめに

地盤改良複合杭は改良体と杭が一体となって水平荷重に抵抗できる基礎であり、基本性能を確認するための載荷試験が行われた^[1]。本稿では水平抵抗メカニズムを明らかにするため、弾性支承梁理論による地盤反力法と3次元非線形FEM解析により、載荷試験のシミュレーション解析を行った結果を報告する。

2. 解析方法

弾性支承梁に基づく解析^[2]は、図-1に示すような解析モデルを用いて行った。杭材は線形、地盤反力係数は変位による低減を考慮し、地盤反力は受動土圧の極限值に基づき上限値を設けた。表-1に地盤反力係数を示す。図-2に杭と改良体の解析モデルを示す。図中の矢印の載荷方向について解析を行った。表-2に解析ケースと杭の諸元を示す。改良体部分のモデル化は、改良体幅を等価な杭幅とし、改良体と杭固化体の変形係数はコアボーリングの一軸圧縮試験結果に基づいて決定した。

3次元FEM解析では図-3に示す解析モデルを用いた。モデルは対称性を考慮して1/2モデルとした。この解析では杭を、杭体積相当の空洞の中心に曲げせん断による変形を表わす弾性梁要素を配し、周面摩擦や地盤反力に対して弾性梁要素の節点と追従して動く杭外周節点で固化体径としてモデル化した。地盤および改良体は非線形6面体要素を用い、降伏条件としてはMohr-Coulombの構成式を用いた。解析は初めに自重解析を行い地盤中に初期応力を与え、その後、鉛直荷重100tfを載荷してから、水平荷重を載荷した。

3. 解析結果

図-4(a)に地表面位置における荷重-変位関係に関する、弾性支承梁に基づく解析値と実測値を示す。弾性支承梁に基づく解析値と実測値は、水平変位が13mmまでは改良体剛性を改良体全体で考慮したモデル(CASE-1)と良く一致しており、それ以降は改良体のラップ部の塑性化を考慮したモデル(CASE-2)に近づいてくることが分かる。これは変位が大きくなると、改良体内部で塑性化が起こっていることを窺がわせる。しかしながらCASE-3の杭単体の場合に比べ、変位が大きいくところでも約1.7倍の水平抵抗力を有することが分かる。図-5は杭の変位分布で、CASE-1,2の解析と実測による杭変位の深度分布である。実測値の分布形状は水平変位13mm時はCASE-1の分布形状と、水平変位53mm時はCASE-2の分布形状とほぼ類似しており、上述のことを裏付けている。

図-4(b)の3次元FEM結果は、載荷の初期では実測値とほぼ一致している。変位が大きくなると剛性を高めに評価するが、水平変位約10mmにおける実測値の折れ曲がりを概ね表現できている。図-6にFEM解析で得られた水平変位55mm時の改良体の塑性域を示す。これより、水平変位が大きくなると改良体の一部に塑性化が生じるものと推察される。

4. まとめ

弾性支承梁に基づく解析および3次元FEM解析により地盤改良複合杭の挙動をほぼシミュレートすることができた。杭の抵抗メカニズムとしては、変位が約10mmまでは改良体と杭が一体となって挙動するため高い剛性を示し、変位が大きくなると改良体の一部が塑性化し剛性が低下するが、改良体は重ね梁としての剛性を有するために、杭単独より高い水平抵抗力を有していると考えられる。

本研究にあたり、ご指導いただきました九州共立大学前田良刀教授に深く感謝いたします。

(キーワード) 地盤改良複合杭, 水平載荷試験, 非線形解析, 弾性支承梁理論, 有限要素法

* 〒336-0011 埼玉県浦和市高砂3-6-19 日本道路公団 浦和工事事務所 TEL.048-831-6261 FAX 048-831-5013

** 〒104-8234 東京都中央区銀座8-21-1 (株)竹中土木 TEL. 03-3542-6321 FAX.03-3248-6545

*** 〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1 (株)竹中工務店 技術研究所 TEL. 0476-47-1700 FAX 0476-47-3080

表-1 解析入力定数

層	土質区分	弾性支承係数 K_{eq} (kg/cm ²)	地盤				改良体			
			E (kg/cm ²)	ν	ϕ (deg)	ψ (deg)	E (kg/cm ²)	ν	ϕ (deg)	ψ (deg)
1	河川	0.243	28	0.4	0.10	0	4×10^4	0.4	4.56	0
2	シルト	0.996	56	0.3	0.05	20.5				
3	細砂	2.241	61	0.4	0.23	3.8				
4	砂混りシルト	4.979	256	0.3	0.05	39.6				
5	細砂	8.374								
6			88	0.4	0.33	7.7				
7			124	0.4	0.90	2.6				
8			217	0.4	1.75	0				
9			217	0.4	1.75	0				
10			110	0.4	12	0.4				
11			1400	0.3	0	42.8				

K_{eq} : 変位が1cmの時の地盤反力係数

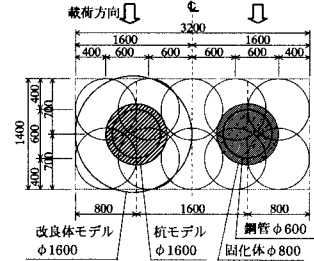
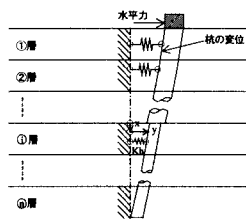


図-1 弾性支承による解析モデル 図-2 杭と改良体の解析モデル

表-2 弾性支承に基づく解析の解析ケース

解析ケース	換算杭径(mm)	EI(tm ²)	備考
CASE-1	上部 地盤改良部 $\phi 1600$	$1.28 \times 10^5 + 3.57 \times 10^4$ $= 1.64 \times 10^5$	改良体と杭が一体の場合
	下部 合成鋼管 $\phi 800$	3.57×10^4	
CASE-2	上部 地盤改良部 $\phi 1600$	$1.28 \times 10^5 \times 1/4 + 3.57 \times 10^4$ $= 6.79 \times 10^4$	改良体のラップ部の塑性化を考慮した場合 (改良体の曲げ剛性を1/4)
	下部 合成鋼管 $\phi 800$	3.57×10^4	
CASE-3	合成鋼管 $\phi 800$	3.57×10^4	合成鋼管杭みの場合

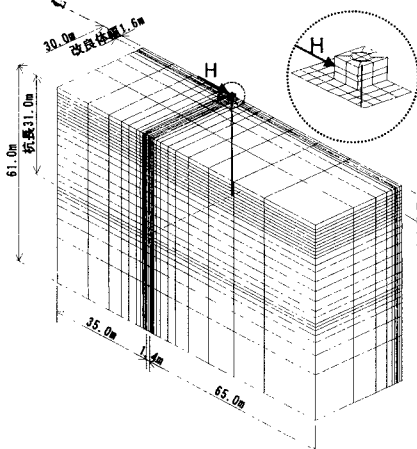
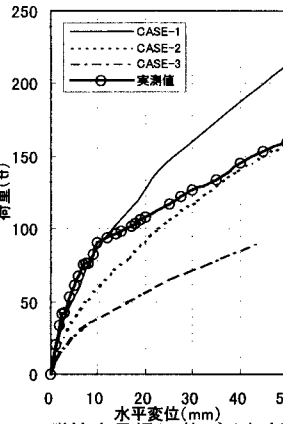
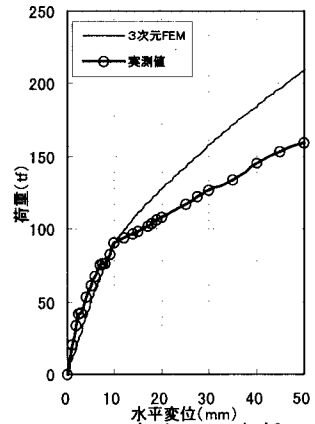


図-3 杭と地盤の有限要素モデル

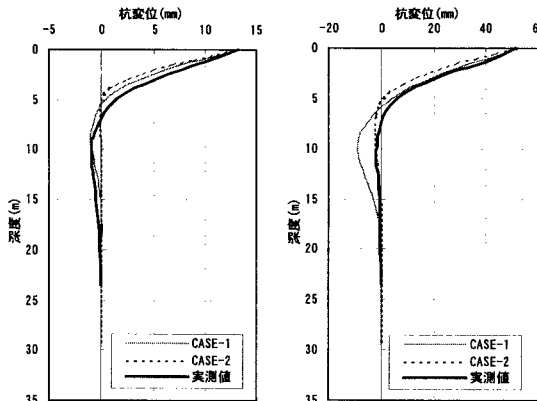


(a) 弾性支承に基づく解析



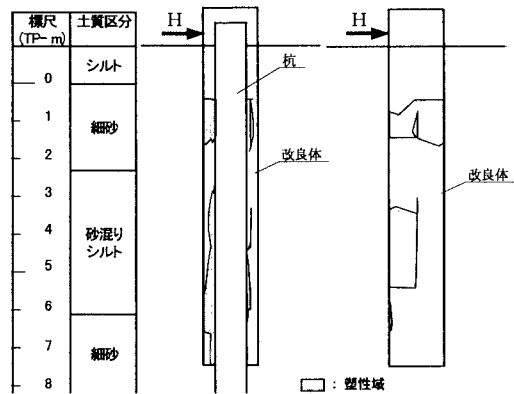
(b) 3次元FEM解析

図-4 解析結果と実測値による荷重-変位関係の比較



(a) 水平変位 13mm 時 (b) 水平変位 53mm 時

図-5 杭の変位分布



(a) 杭中心断面 (b) 改良体中心断面

図-6 3次元FEMによる改良体の塑性域

- 参考文献 [1] 前田良刀, 和田宣史, 鈴木永元, 駒場勝美, 除光黎: 軟弱地盤での合理的な基礎形式の提案
—地盤改良複合杭基礎の提案および載荷試験結果の概要—, 第54回土木学会年次学術講演会, 1999年
[2] 伴野松次郎, 大木紀道: コンクリート杭の極限水平抵抗に関する研究, 竹中技術研究報告第34号, 1985年