

地盤固化工法を用いた杭基礎耐震補強工法に関する実大試験の数値シミュレーション

ハザマ 正会員 ○足立有史, 浦野和彦
 豊橋技術科学大学 正会員 河邑眞, 二川眞一郎
 東興建設 佐久間孝夫
 青山機工 丹澤宣彦

1. はじめに

筆者らは杭基礎の地中部を部分的に固化し、その拘束効果により耐震性を向上させる補強工法について実大杭を対象とした水平載荷試験を実施した¹⁾。ここでは、本補強工法の効果について、はり-ばね系モデルを用いた水平載荷試験のシミュレーション解析を実施し、モデル化、地盤ばね定数等の設定について評価を行った。

2. 実験概要

実験に用いた杭基礎および地盤概要を図-1に示す。杭基礎は、外径 406.4mm、肉厚 9.5mm、杭長 10m の鋼管杭を杭間隔 2.0m で配置した。地盤条件は地表から 2m 程度の盛土の下部に N 値が 1 程度の軟弱なローム、粘性土が約 5m 続き、さらに N 値 5~10 の粘土が 1.5m 存在し、それ以深は N 値 40 程度の砂層が存在する。杭先端は N>40 程度の砂質土層に約 1m 根入れした。

補強体の構築は、斜め施工が可能なセメント系高圧噴射工法により 3.8×3.8×2.0m のブロック状に造成した。

水平載荷試験は、補強前後において実施し、杭基礎の挙動の比較を行った。実験条件および結果等については文献 1) を参照されたい。

3. はり-ばね系モデルによる解析

(a)モデル化

はり-ばね系を基本とする解析モデルを図-2に示す。ここで、杭およびフーチングは弾性梁要素を用いた。表-1に鋼管杭の物性値を示す。フーチングは剛梁を想定し、鋼管杭の 100 倍の剛性とした。次に杭基礎と地盤の相互作用は下記の方法で算定した非線形ばねを用いた。

$$K_h = K_{h0} \cdot (\alpha y)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここに、 K_h ：水平地盤反力係数 (kN/m³),

K_{h0} ：基準水平地盤反力係数 (kN/m³)²⁾

y ：無次元化水平変位量 (実験時の杭の水平変位量, cm 単位での値, $\alpha y > 0.1$)

α ：無次元化変位量の補正係数

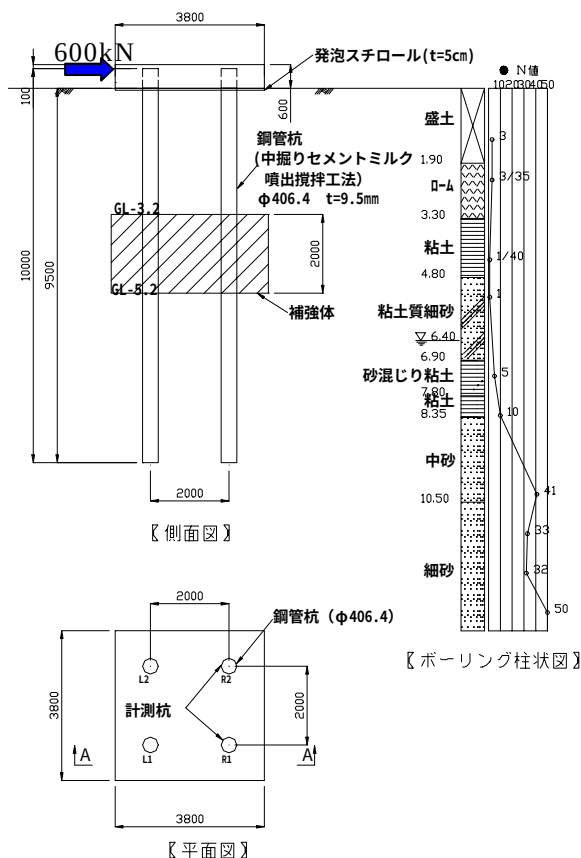
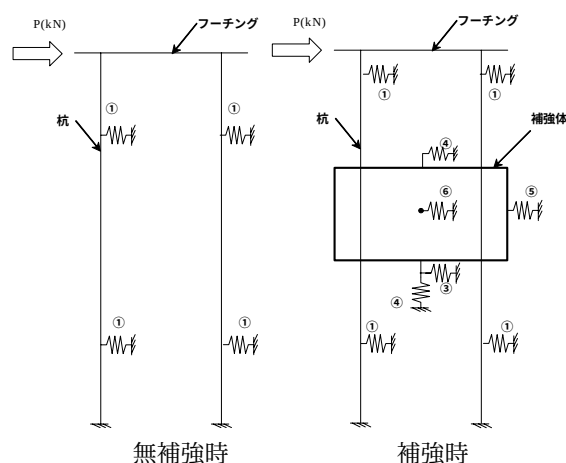


図-1 実大実験模型概要図



- ①杭の水平方向ばね, ②補強体底面の鉛直方向ばね,
 ③補強体底面のせん断ばね, ④補強体上面のせん断ばね,
 ⑤補強体前面の水平方向ばね, ⑥補強体側面のせん断ばね

図-2 解析モデル図

キーワード：杭 耐震 数値解析

連絡先：ハザマ 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 TEL：029-858-8813 FAX：029-858-8819

ここで、補正係数 α は $y^{-\frac{1}{2}}$ 則で求められたばね値と実験結果をより精度良く表現するために採用した。また、 K_{h0} はN値をもとに文献 2)の方法により算定した。図-3 に解析に用いた水平地盤反力係数を示す。同図には比較として、通常の設計に用いられる建築、道路、鉄道の基準に基づいて算定した値も合わせて示している。

補強体は地中部で複数の杭を拘束するための構造体であることから、その形状を直接的に解析モデルへ反映できるよう平面ひずみ要素を用いた弾性材料とした（表-2）。なお、平面ひずみ要素の奥行きは杭径の3倍とした。また、補強体の周囲には周辺地盤との相互作用を表現するための鉛直、水平、せん断ばねを設置しているが、補強体の性状を考慮し、ばね値は文献 3) の直接基礎における水平地盤反力係数の算定方法に従った。ここで、せん断ばね定数 K_s は水平ばね定数の1/3に設定した。解析ケースを表-3に示す。

(b)解析結果および考察

図-4 に 600kN 載荷時の水平変位および曲げモーメント分布を示す。無次元化変位量の補正係数 $\alpha=1.0$ の場合、水平変位は無補強時、補強時でそれぞれ 20%および 30%程度大きくなった。また、曲げモーメントでは特に補強時の分布形状において実験値と大きく異なる結果となった。これに対して、ここでは実測値を再現するために水平地盤反力係数に着目し、 α を調整することで、無補強時、補強時の実測値を再現できる水平地盤反力係数の推定を行った。その結果、無補強時に $\alpha=0.7$ 、補強時に $\alpha=0.2$ にすることで概ね実験結果を再現できることがわかった。図-3 から本検討モデルにおいて実験値を表す地盤反力係数は、地表付近で無補強時に比べ補強時は約3倍の値となっている（無補強 $\alpha=0.7$ と補強 $\alpha=0.2$ ）。これは、地盤中に補強体を構築することで地盤-杭系の構造体としての剛性が高まることで、見かけの地盤ばね値が増加したことが主な理由であると考えられる。また、これらの影響の度合いは杭や補強体の規模、補強体の設置位置により変化することが想定される。

4. あとがき

はり-ばね系を基本とする解析モデルを用いた場合、補強時の水平地盤反力係数は補強体設置の影響により無対策時と比べ見かけ上大きな値をとることがわかった。今後は、これらのデータに加え、基礎構造の規模や補強体設置位置の影響も考慮し、簡易解析モデルおよび地盤パラメータの設定方法について検討する予定である。

【参考文献】1)足立、佐久間、轟、河邑：固化工法を用いた杭基礎の耐震補強工法の実大実験、第38回地盤工学研究発表会、2004。2)建築学会：建築基礎構造設計指針、2002。3)道路協会：道路橋示方書・同解説、IV 下部構造編、2002。4)総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物、2000。

表-1 鋼管杭物性値（はり要素）

鋼管杭 $\phi 406.4$ $t=9.5$ $L=10.0m$	
断面積 A (m^2)	0.011846
断面2次モーメント I (m^4)	0.000233
断面係数 Z (m^3)	0.001149
ヤング率 E (kN/m^2)	2.1×10^8
曲げ剛性 EI ($kN \cdot m^2$)	4901.1

表-2 補強体物性値（平面ひずみ）

補強体 (セメント系固化改良体)	
単位体積重量 γ (kN/m^3)	15.0
ヤング率 E (kN/m^2)	1.5×10^6
せん断弾性係数 G (kN/m^2)	5.5×10^5
ポアソン比 ν	0.35

表-3 解析ケース

解析ケース	条件
無補強時	1 $\alpha=1.0$
	2 $\alpha=0.7$
補強時	3 $\alpha=1.0$
	4 $\alpha=0.2$

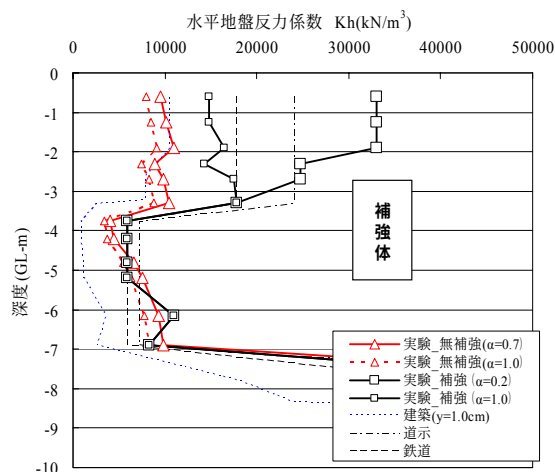


図-3 地盤反力係数の比較（600kN）

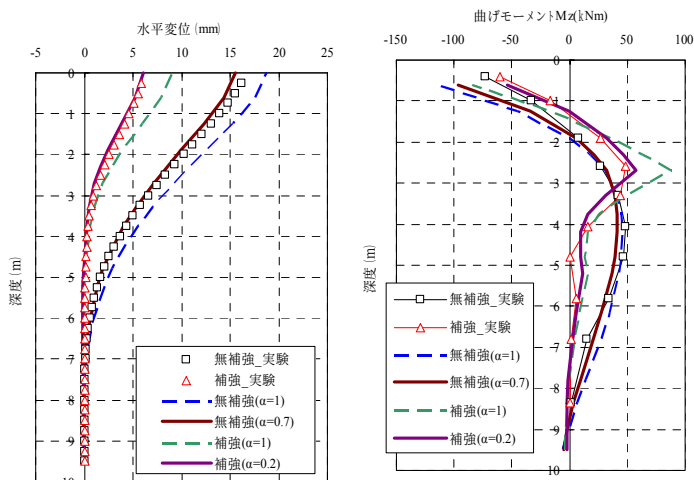


図-4 解析結果（600kN）