



杭基礎の耐震補強に関する実験およびその解析事例

(地盤と構造物の相互作用問題に関する解析における物性の評価について)

豊橋技術科学大学 河邑 眞

1. はじめに

筆者の研究室では、岸壁などの港湾構造物、補強土擁壁などの土留め構造物、ならびに杭基礎などの基礎構造物を対象として、地盤と構造物の静的ならびに動的相互作用に関する研究を主要な研究テーマの一つとして行ってきた。このニュースレターでは、既設の杭の耐震補強工法として筆者らが提案している問題についての室内模型実験の結果とその解析事例について紹介し、地盤と構造物の相互作用問題を解析的に評価する際に問題となる点について説明を加える。

近年、大規模地震に対する重要構造物の耐震性の確保が急務となってきており、杭基礎に対しても有効な補強を行うことが要望されている。筆者は榑ハザマと共同し、既設杭の耐震補強工法を開発した。この工法は地中の杭周辺に固化体を設置し、杭の水平抵抗を高めるものである。これまで、この工法の性能評価を室内模型実験、実大実験、有限要素法解析により行ってきた。その成果が認められ、東京都の水道橋、国交省の道路橋の耐震補強に本工法は実用されてきている。また、本工法は新技術として猶予うだることから、平成18年度地盤工学会の技術開発賞を受賞している。この原稿では、室内実験に対する三次元有限要素解析結果を示し、解析上の課題などを紹介する。

2. 実験の概要

長さ 200 cm、深さ 60 cm、奥行き 40 cm の鋼製土槽に、図 1 に示すように直径 1.91 cm の鋼製パイプを 4 本設置し、56 cm の深さで乾燥砂を詰め実験を行った。杭の下端は土槽に固定し、フーチングを模した鋼製の箱で杭頭を連結した。杭の補強を行う固化体としては、厚さ 6 cm、幅 22 cm、奥行き 20 cm の大きさのものを石膏により作成し、土槽底部から 30 cm の位置に設置した。杭を設置し、補強体を設置した後、56 cm の厚さで乾燥砂を土槽に充填した。載荷実験では杭頭を連結したフーチングに水平力 350 N を加え、杭頭の水平変位量、ならびに杭に発生するひずみを 9 点で計測し、杭の変形、杭に作用する曲げモーメントを求めた。実験に用いた砂は硅砂 5 号であり、相対密度 90% で実験を行った。

3. 解析の概要

解析では図 1 に示すような 3 次元メッシュを考え、3 次元弾塑性有限要素法を用いた。材料の性質として、地盤は弾塑性体と仮定し、降伏基準にモールクーロン、塑性ポテンシャルにドラッカー・プラッターの基準を用いた。杭、補強体、フーチングは弾性体とした。また、非線形計算では修正ニュートン・ラプソン法を用いた。地盤の材料定数は三軸試験により求め、表 1 に示す値を用いた。また地盤のヤング率 E については三軸試験の結果を低応力レベルに外挿して、式(1)示すような応力依存性を考慮した。

$$E = 440\sigma_{v0}'^{0.5} \quad (1)$$

ここで、 σ_{v0}' は初期鉛直応力である。

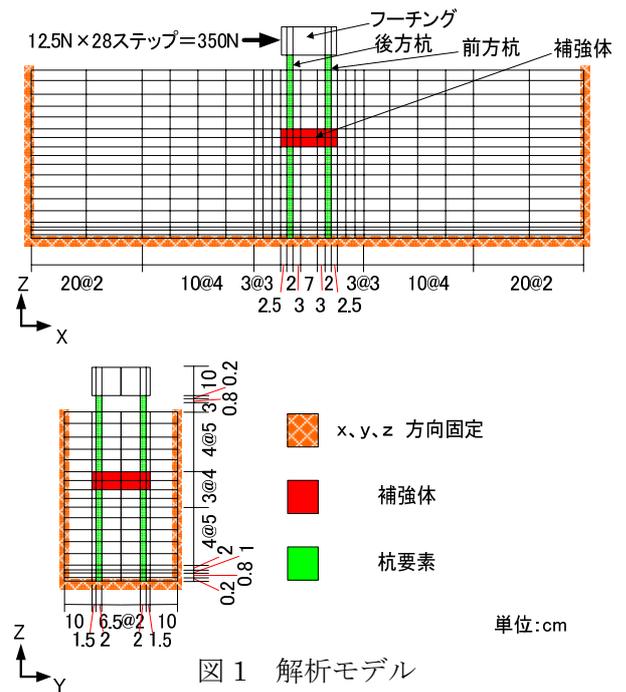


図 1 解析モデル

表 1 砂地盤の物性値

| 砂地盤 | |
|-----------------------------|------|
| 単位体積重量 (kN/m ³) | 16.7 |
| 内部摩擦角 (°) | 35.7 |
| ダイラタンシ角 (°) | 8.4 |
| ポアソン比 | 0.33 |

表 2 杭、フーチングの物性値

| | 杭 | フーチング |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| 単位体積重量 (kN/m ³) | 7.8 | 25 |
| ヤング率 (kN/m ²) | 4.20E+07 | 2.50E+07 |
| ポアソン比 | 0.2 | 0.2 |
| | 杭境界要素 上端 | 杭境界要素 下端 |
| 単位体積重量 (kN/m ³) | 7.8 | 7.8 |
| ヤング率 (kN/m ²) | 1.05E+05 | 3.15E+05 |
| ポアソン比 | 0.2 | 0.2 |

杭，フーチング物性については表 2 に示す。杭の上，下端における境界条件を適切に表現するため，杭の端部での回転を許容する厚さ 2 mm の薄層要素を設置した。実験と同様に杭頭に 350 N の荷重を 28 ステップに分けて載荷し，杭の変形，杭に作用モーメントを算定し，実験結果との比較を行った。

4. 解析結果

杭に対して補強を行わなかった無補強のケースについて，フーチングに対して 350 N の水平載荷を行った場合の杭の変形および曲げモーメントの分布図を図 2 に示す。図中に示した実験結果と解析結果はほぼ等しい値を示している。補強体を設置したケースについての杭の変形および曲げモーメントの分布図を図 3 に示す。図 2 と図 3 に示す実験結果を比較すると，杭等の変位ならびに曲げモーメントが低減され，補強の顕著な効果が認められる。この特性は，本補強工法に関する実大の杭を用いた実験でも確かめられている。

補強を行ったケースに対応する図 3 について，実験結果と解析値を比較すると，杭の変形，曲げモーメントについて概略の特性は類似しているものの，絶対量には相違が見られる。この不一致の理由としては，杭と補強体を模した石膏との接触面での条件が考えられる。

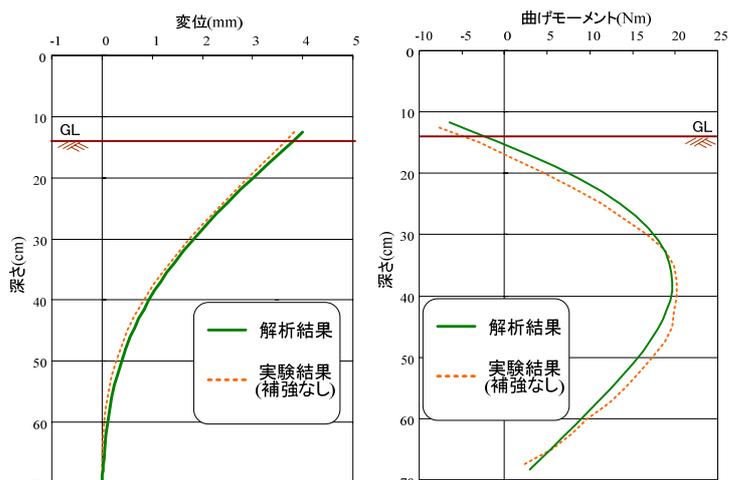


図 2 杭変形、曲げモーメント図(無補強時)

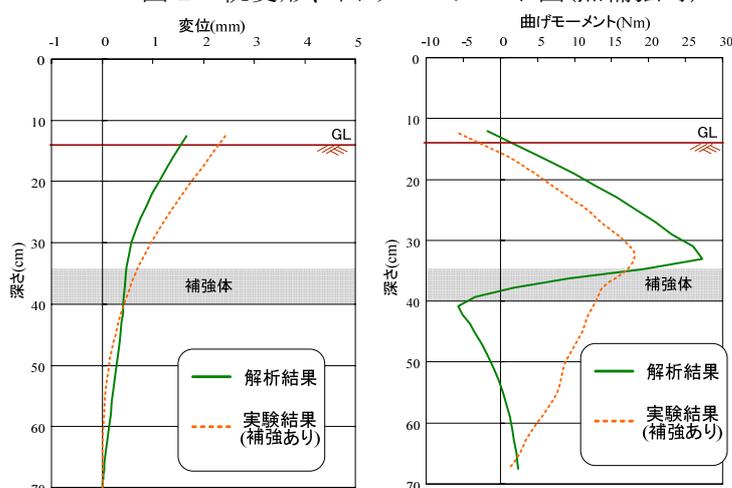


図 3 杭変形、曲げモーメント図(補強時)

5. あとがき

室内実験では，土の種類，密度をコントロールすることが可能であり，解析におけるモデル化が容易なこと，何回も実験を繰り返して行い現象を確認できることなどの利点が挙げられる。今回の解析は，単純化された模型実験を対象としたものであったが，現象を数値シミュレーションで再現するためには，地盤の弾塑性挙動，定拘束応力状態での地盤物性，杭模型の境界条件，補強体と杭との接触面の条件などを慎重に考慮する必要がある。

以上のように，地盤と構造物の相互作用の問題を解析する場合には，地盤の条件が管理された模型実験においても，実験結果を正確に再現するためには多くの労力を要する。3次元弾塑性有限要素法は，地盤と構造物との相互作用問題を解析する上で有用な手法であるが，適用にあたっては土質試験による地盤物性の評価，構造物と地盤との境界面の条件などに細心の注意を払う必要があると考える。

(参考文献)

- 1) 足立、浦野、河邑、佐久間、丹澤：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実験の数値シミュレーション、第 40 回地盤工学研究発表会、2005。
- 2) 浦野、足立、二川、河邑：地盤固化体による杭基礎耐震補強工法の模型水平載荷試験、第 41 回地盤工学研究発表会、2006。

(連絡先) 441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 豊橋技術科学大学 建設工学系 河邑 眞
Tel. 0532-44-6847, Fax. 0532-44-6831, E-mail kawamura@tutrp.tut.ac.jp