

地盤改良併用杭基礎構造を対象とした3次元有限要素解析

鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐名川太亮, 西岡 英俊, 神田 政幸

1. はじめに

杭基礎の水平抵抗を増加させる方法として地盤改良を併用する工法がこれまでに提案されているが(例えば¹⁾, 改良体損傷後の挙動に着目した研究は未だ途上である. そのため, 現状では L2 地震時においても改良体の損傷を許容しない設計とする必要があり, 地盤改良体の寸法が大きくなり強度も高く設定する必要がある. しかしながら, 改良体に損傷が生じても構造全体としての安定が確保されれば, 例えば鉄道を運行しつつ早期に注入等による補修をする方法も選択でき, より経済的な設計が可能であると考え.

筆者らは, 改良体損傷後の水平抵抗挙動の把握を目的として, 実物の 1/5 スケールの地盤改良併用杭を対象とした水平載荷実験を実施しており, その結果改良体にクラック程度の損傷が生じた場合でも, 水平抵抗の増加が確保されることを確認した²⁾. 本研究では, 改良体の照査方法の検証を目的として3次元 FEM を用いた再現解析を行うとともに, 実構造物を想定した試算により, 実設計において想定される必要改良強度について検討を行う.

2. 模型実験の再現解析

解析においては3次元 FEM を用いた静的非線形解析を行っており, 解析ソフトは Soil Plus を用いている. 解析メッシュは対称性を考慮して 1/2 を解析対象とした(図 1). 杭は弾性体, 地盤および地盤改良体はモール・クーロンの破壊基準を適用した弾完全塑性体とし, 材料物性については別途行った要素試験結果を基に設定している.

図 2 に荷重変位関係を示す. 実験結果と解析結果を比較すると, L2 地震時の変位レベルである杭径の 10%程度までの領域では, 両者はほぼ一致している(図 2). 一方, 杭頭変位が 25mm 以降の領域に関しては, 実験では改良体が完全に塑性化しているため水平抵抗の増分が低減しているのに対し, 解析では地盤改良体の軟化を考慮していないため, 解析の方が大きくなる結果となっている.

次に改良体の塑性化領域について検討を行う. 図 2 に, 実験で観察された改良体の損傷状況を併記しているが, 図 3

に示す解析で得られた塑性化分布図と併せて両者を比較すると, 地中部の損傷および上面にクラックが発生するタイミングが解析結果と一致している. また改良体上面のクラックの損傷状況が実験結果と定性的に一致し

キーワード 杭基礎, 水平抵抗, 地盤改良

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造 TEL: 042-573-7261

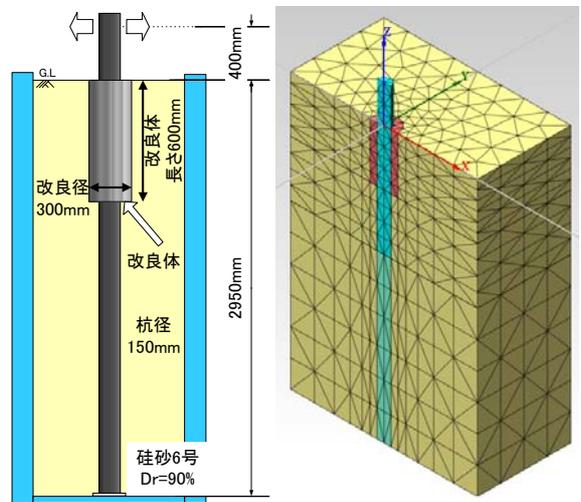


図 1 模型諸元と解析メッシュ

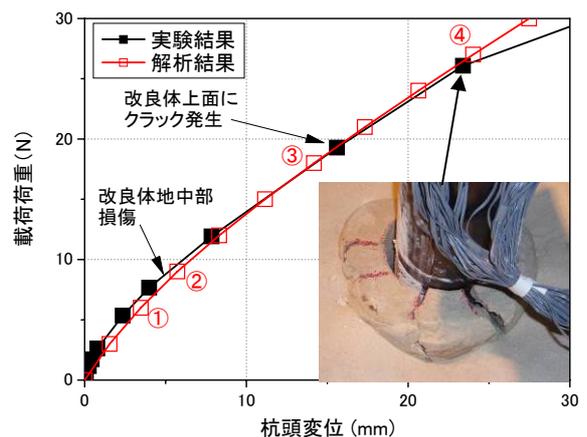


図 2 荷重変位関係と改良体の損傷状況

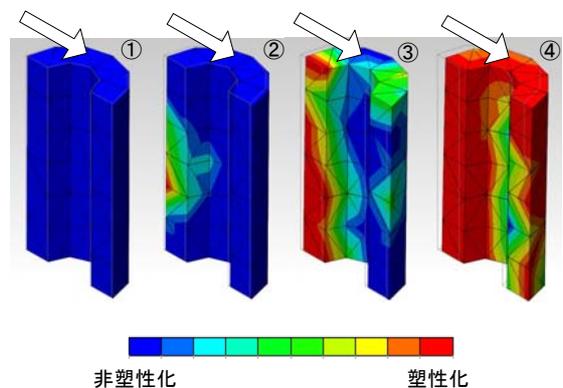


図 3 改良体の塑性化分布図

ていることから、3次元 FEM 解析と簡易的な構成則を用いることで、改良体の損傷モードや損傷の発生する荷重条件を概ね再現することが可能であることが確認できる。

3. 実設計を対象とした改良体強度の試算

次に実構造物を想定した試算を行い、実構造物に必要な改良体強度について検討する。対象とする構造物はラーメン高架橋の杭基礎とし、芯杭の杭頭部に半径 2.5m、長さ 3.7m の地盤改良体を施工すると想定する(図 4)。また、引抜側と比べてより大きな杭体断面力が発生する押込み杭のみを解析対象とする。

ここで、実設計においては、L2 地震時に改良体の塑性化を許容するが、構造物の設計耐用期間内に数回程度発生する大きさの地震動である L1 地震動に対しては、改良体は無損傷とする。そこで本解析では、L1 地震動が作用時の地盤改良体の損傷状況について検討を行う。具体的には L1 地震時の設計で得られた杭頭断面力を制約条件とし、改良体の剛性および強度をパラメータとしてパラスタを実施した。

図 5 に照査結果を示す。損傷の状態として①損傷なし②付着部損傷③せん断・曲げ破壊の 3 つに分類して示している(図 6)。改良体強度が高い場合は損傷しにくく、また剛性が高い場合には靱性能が低下するため、損傷が発生しやすい結果となった。ここで、既往の研究成果からセメント系の地盤改良体の一軸圧縮強度 q_u (MN/m²)と変形係数 E (MN/m²)の間には、 $E=100\sim 1000q_u$ の関係があることが知られている⁴⁾。この関係と比較すると、一軸圧縮強度が 800kN/m² 以上の条件を満たせば L1 地震時において改良体に損傷が生じない結果となる。なお、固化改良を伴う既存の杭施工法の例として、鋼管ソイルセメント杭工法では一般部の標準配合で想定する強度が 750~1000kN/m² 程度であること³⁾を考慮すれば、上記に示す必要強度 800kN/m² は過度に高い強度ではないと考えられる。

4. まとめ

本研究では、3次元 FEM を用いて模型載荷実験の再現解析を行い、改良体の損傷照査方法として妥当性が確認された。また、実構造物を想定した試算を行い、L1 地震時に改良体が無損傷を確保するために必要な改良強度を算出した結果、一軸圧縮強度が 800kN/m² 以上という結果が得られ、この値が過度に高いものではないということが確認された。

参考文献

1) 富澤ら: 深層混合処理工法により形成した複合地盤における杭設計手法, 土木学会論文集 No.799/III-72, pp.183-193, 2005. 2) 佐名川ら: 地盤改良併用杭基礎構造に関する改良体損傷後の水平抵抗特性, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2011(投稿中) 2010. 3) 日本道路協会編: 杭基礎設計便覧 平成 18 年度改訂版, pp.333, 2007. 4) 独立行政法人土木技術研究所寒地土木研究所: 北海道における複合地盤杭基礎の施工法に関するガイドライン, 2010.

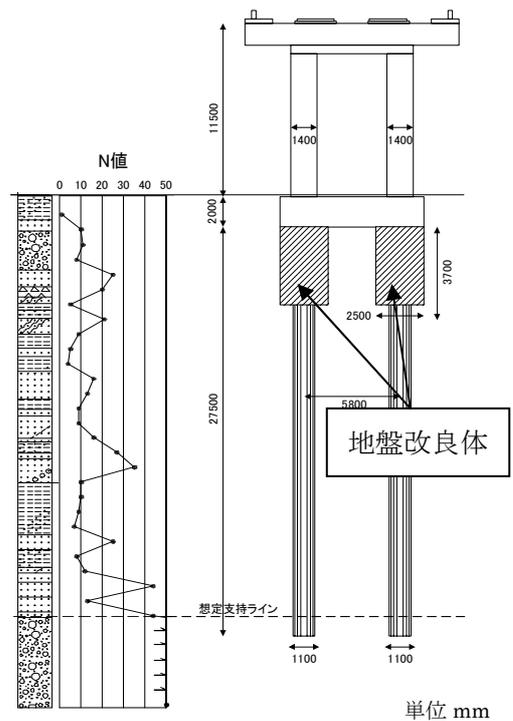


図 4 試算の対象とした構形式の一般図

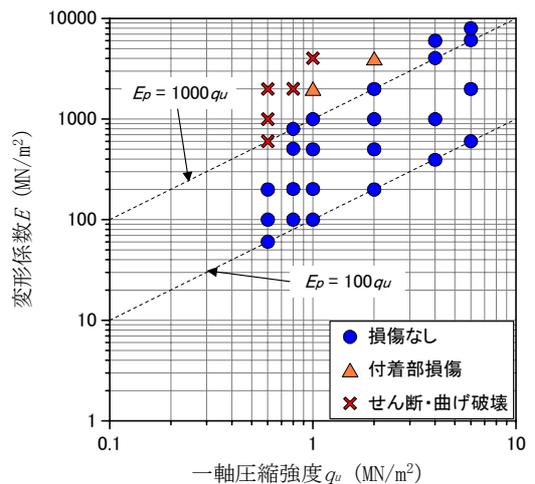


図 5 改良体照査結果

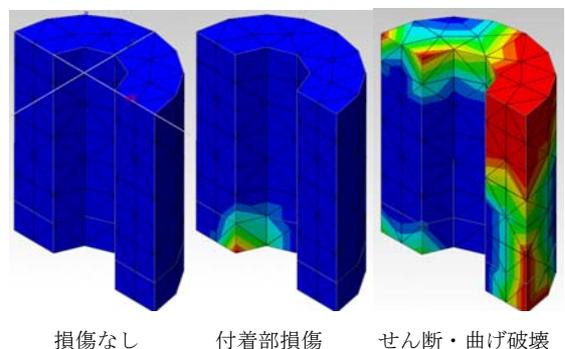


図 6 改良体の塑性化分布図