

液状化地盤における杭基礎地盤部分改良工法の耐震補強効果の検証 および設計・施工への提言

学籍番号 23413572 氏名 三井 翔平
指導教員名 張 鋒

1 はじめに

既設構造物において、基礎の損傷は構造物全体の性能を著しく低下させ、その復旧には多大な労力・費用・時間を要してしまう。本研究では、工期や施工費等において有利であると考えられる杭基礎周辺部地盤を部分的に改良する耐震補強方法について、種々の改良仕様において、補強効果を 1g 場での振動台実験装置による模型実験、および動的弾塑性有限要素解析により検討した。

2 実験装置

実験に用いる振動台実験装置は、メンテナンス性の優れた空圧式加振装置を有し、主な性能は最大空気圧 1.0MPa, 最大振幅 0.05m, 最大加振重量 18kN, 最大加振加速度 9.8m/sec^2 である。また、実地盤での挙動に近づけるため奥行方向 1.0m, 加振方向 1.2m, 高さ 0.8m の 1 層 0.03m×25 層から構成されるせん断土槽を用いる。構造物モデルは、完全に相似比を合わせることは不可能であるが、表 1 に示すように縮尺 1/50 の模型を用いる。

3 実験条件

地盤は乾燥状態の場合は落下高さ 90 cm の空中落下法 (相対密度 79.8%), 飽和状態の場合は水中落下法 (相対密度 24.2%) によって作製した。地盤改良には藤森粘土 (20%), 豊浦砂 (80%), セメント (重量比 3%) を混合させた改良体を用いる。ここで、改良体一軸圧縮強度は $q_u=600\text{kN/m}^2$ である。実験は乾燥・飽和共に図 1 に示すように 3 ケースで行った。入力地震動である周波数 4Hz の正弦波を与えた際の、振動台での応答加速度 (入力加速度) を図 2 に示す。

4 数値解析条件

解析プログラムは、土・水連成有限要素解析プログラム「DBLEAVES」を用いた。また、土の構成式は移動硬化型弾塑性構成式 Cyclic mobility model¹⁾, 杭の構成式としては軸力変動による曲げ剛性への影響や鉄筋および、コンクリートの非線形性を考慮できる AFD モデル²⁾を用いて解析を行った。図 3 に解析メッシュ (3D-FEM) を示す。また、要素試験シミュレーション (排水三軸圧縮試験) により決定した地盤材料パラメータ (豊浦標準砂) を表 2 に示す。橋脚はトリリニアモデルを用いたビーム要素, 上部工構造物は 6kg の質点としてモデル化した。解析ケースは、乾燥・飽和共に実験ケースと同様である。ただし、解析における入力波形は乾燥と飽和に分け、それぞれの無補強の実験において振動台上で計測された応答加速度を地盤底面より与えた。

表 1 構造物モデル

項目	実物寸法	模型寸法	相似比
杭径	(m) 1.00	0.02	50
杭の厚み	(m) 0.014	0.001	14
杭長	(m) 25.00	0.50	50
杭間隔	(m) 3.00	0.05	50
杭の曲げ剛性	($\text{N} \cdot \text{m}^2$) $1.11\text{E}+09$	$1.89\text{E}+02$	$5.87\text{E}+05$
上部工の質量	(kg) 750000.00	6.00	125000
橋脚長	(m) 7.50	0.15	50
フーチング幅	(m) 9.00	0.18	50
フーチング厚さ	(m) 2.50	0.05	50

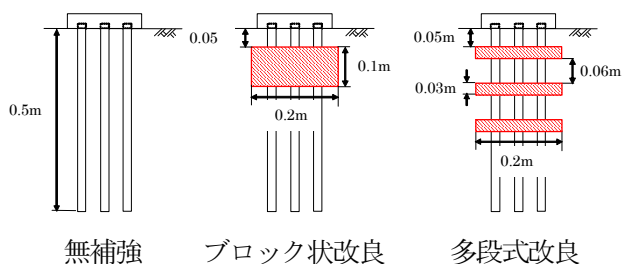


図 1 実験ケース

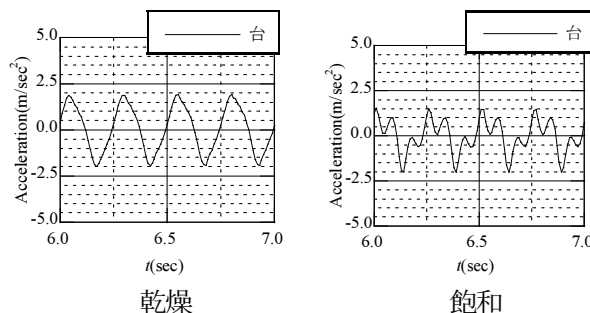


図 2 入力加速度

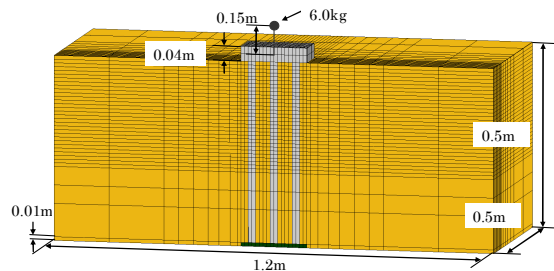


図 3 解析メッシュ(3D-FEM)

表 2 材料パラメータ(地盤材料)

Parameter of Soil material		Value
Compression index	λ	0.05
Swelling index	κ	0.0064
Stress ratio at critical state	M	1.3
Void ratio ($p^*=98\text{kPa}$ on N.C.L)	e_0	0.87
Poisson's ratio	ν	0.3
Degradation parameter of over consolidation state	m	0.01
Degradation parameter of structure	a	0.5
Evolution parameter of anisotropy	b_s	1.5
wet unit weight	γ_t	15.47
(under water)		(5.47)
Permeability	k	$5.77\text{E}-4$
Initial degree of structure	R_0^*	0.8
Initial degree of over consolidation ratio (OCR)	$1/R_0$	7.5
Initial anisotropy	ζ_0	0

5 実験結果

図 4, 図 5 に乾燥・飽和の 3 ケースの実験において、杭全体での最大曲げモーメント発生時での曲げモーメント深度分布を示す。乾燥・飽和共に無補強では、杭頭部で大きな曲げモーメントが発生しているが、改良を施した他の 2 ケースではそれが大幅に抑制されている。しかし、ブロック状改良や多段式改良では改良体の下端部において大きな曲げモーメントが生じる傾向にある。これは改良体により杭を拘束することで改良体下端部が固定端条件のような構造が形成されたこと、加振に伴う大きな慣性力が働いたことが影響であると考えられる。また、GL-0.125m の曲げモーメントに着目すると、ブロック状改良と多段式改良共に改良範囲内であるが、多段式改良の方が曲げモーメントの抑制効果が大きかった。

6 解析結果

図 6, 図 7 に乾燥・飽和の 3 ケースの解析において、杭全体での最大曲げモーメント発生時での曲げモーメント深度分布を示す。図 8 に各杭における最大曲げモーメントの比率の平均を示す。実験結果と同様に、地盤改良によって杭頭部での曲げモーメント抑制効果が顕著に見られる。また、実験と同様に多段式改良では広範囲で曲げモーメントの抑制がみられ、曲げモーメントの最大値を無補強時と比較すると、乾燥・飽和共に 3 割近く抑制できている。

7 まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・杭周辺地盤の部分的な固化について、種々の改良仕様による杭基礎挙動の違いを、実験結果、解析結果より確認できた。
- ・改良による耐震補強の効果について、実験では定量的な比較には至らなかったが、解析ではその補強効果を正確に比較・検証でき、乾燥・飽和共に多段式改良については無補強の約 3 割曲げモーメントの抑制に成功した。

8 参考文献

[1] F. Zhang, B. Ye, T. Noda, M. Nakano and K. Nakai : Explanation of cyclic mobility of soils: Approach by stress-induced anisotropy, Soils and Foundations, Vol.47, No. 4, 635-648. 2007

[2] F. Zhang and M. Kimura : Numerical prediction of the dynamic behaviors of an RC GROUP-PILE foundation, Soils and Foundations, Vol. 42, No.3, 77-92, 2002

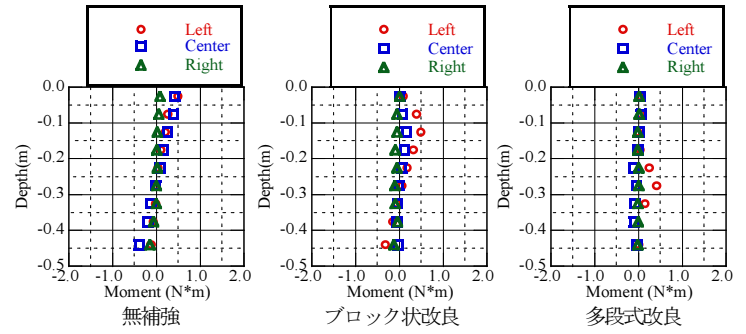


図 4 曲げモーメント分布の実験値 (乾燥)

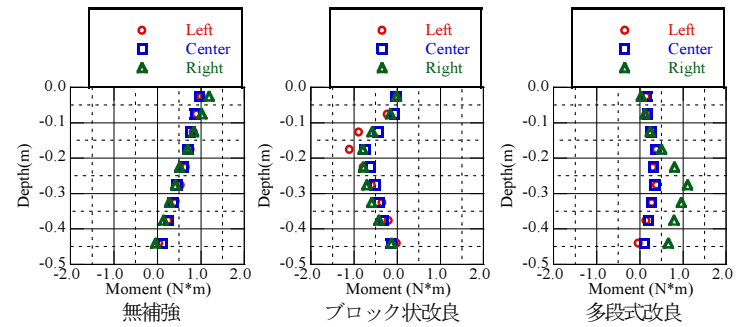


図 5 曲げモーメント分布の実験値 (飽和)

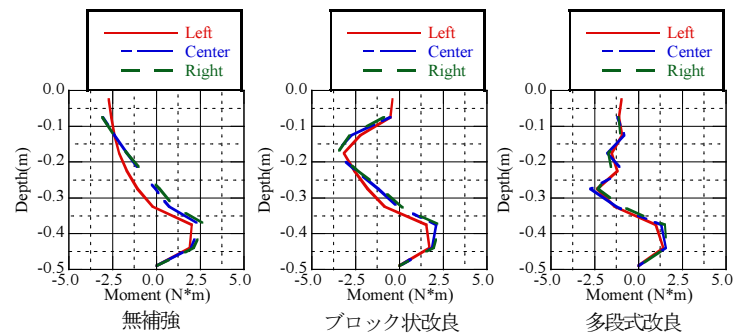


図 6 曲げモーメント分布の解析値 (乾燥)

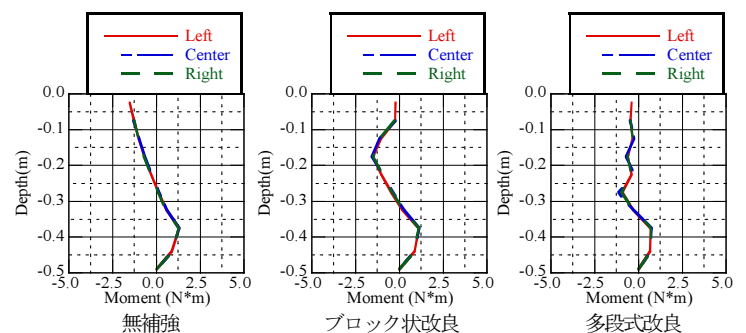


図 7 曲げモーメント分布の解析値 (飽和)

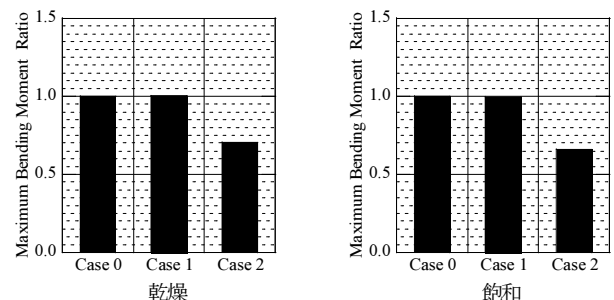


図 8 最大曲げモーメント比率