

地盤固化工法を用いた杭基礎補強工法の起振機試験

ハザマ
東興建設
青山機工
豊橋技術科学大学

正会員 ○浦野 和彦，足立 有史
佐久間孝夫
丹澤 宣彦
正会員 河邑 眞

1. はじめに

近年，耐震設計時に考慮する地震動レベルの見直し等で，既存構造物およびそれらの基礎構造に対し，耐震補強が必要となるケースが生じている．筆者らは，地盤固化工法を用いた杭基礎耐震補強工法を提案し，その耐震補強効果について模型振動台実験¹⁾および実大実験²⁾により既に確認した．この実大実験では，水平抵抗力の向上を確認する水平載荷試験の他に振動特性を把握するための起振機試験を実施した．

ここでは，実大実験における起振機試験とそのシミュレーション解析による本工法の振動低減効果に関する検討について報告する．

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，本実験の実施を目的に新たに作製したものであり，杭は外径 406.4mm，杭長 10m の鋼管杭 4 本で，杭の打設は中掘り根固め工法にて行った．杭頭処理は RC 製のフーチングに埋め込み長 0.5m とし，杭頭剛結条件とした．また，フーチング底面はコンクリートと地盤との摩擦をカットする目的で，厚さ 5cm の発砲スチロールを配置した．

地盤は地表から 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 存在した．それ以深は N 値 40 程度の砂層で杭先端はこの砂層に約 1m 根入れした．表-1 に地盤物性を示す．

補強体は GL-3.2m～5.2m（厚さ 2m）の範囲とし，平面的にはフーチングと同様 3.8m×3.8m である．補強体の造成は高圧噴射攪拌工法にて行った．ここで，圧縮試験より求めた補強体の物性は，ヤング率 $E=1.5\times10^6\text{kN/m}^2$ ，せん断弾性係数 $G=9.0\times10^5\text{ kN/m}^2$ であった．

起振機試験は補強前後において実施し，杭基礎の振動特性（変位振幅，固有振動数）を把握することを目的として実施した．試験は図-1 に示す実大杭模型のフーチング上面中央に最大加振力 40 kN の起振機（EX-400DL 型起振機）を設置し，1～15Hz の周波数の正弦波で段階的に起振するものである．起振は水平，上下に対して実施した．表-2 に加振方法を示す．計測はフーチング上面に微小変位計，加速度計を図-1 に示すように配置して行った．

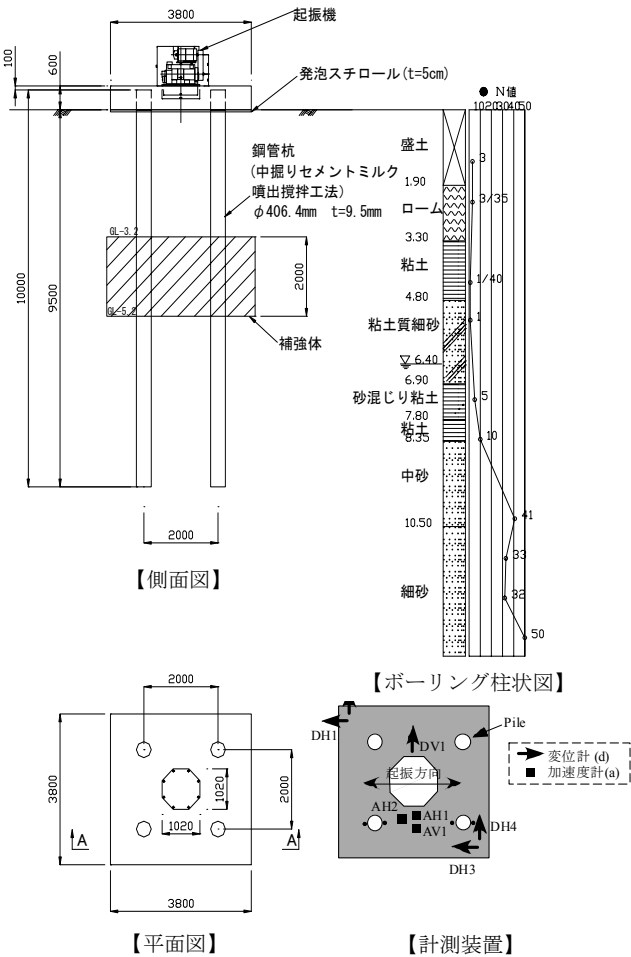


図-1 実験模型

表-1 地盤物性

No.	土層名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断弾性係数 G (kN/m ²)
1	盛土	17.64	15100
2	ローム	14.70	15000
3	粘土	14.70	15000
4	粘土質細砂	17.64	53500
5	砂混じり粘土	15.68	137000
6	粘土	15.68	137000
7	中砂	17.64	98500

表-2 加振方法

加振周波数	1～15Hz
周波数ピッチ	水平加振 0.2～0.4Hz 鉛直加振 2.5Hz
加振モーメント	水平加振 40N・m (1.0～10.0Hz) 20N・m (10.0～12.2Hz) 5N・m (10.0～12.2Hz) 鉛直加振 20N・m (2.5～15.0Hz)

キーワード：杭 耐震補強 起振機試験

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

3. 実験結果

図-2 に起振周波数と起振力で正規化した変位振幅の関係をプロットした。図-2 より起振周波数 1~15Hz の全周波数帯において補強前に比べ補強後の変位振幅が減少していることがわかる。これは、補強体による杭基礎構造の補強効果により、杭基礎構造の剛性が増加したためであると考えられる。ここで、補強前後での変位振幅の低減率は、水平加振時で2~3割、鉛直加振時で3~4割の変位低減効果があった。なお、事前検討の結果、杭-フーチング系（地盤なし）の固有振動数は、無補強時で 1.6Hz、補強時で 2.1Hz、また、地盤の固有振動数は常時微動測定の結果、約 3.1Hz であった。しかし、今回の試験では、補強前後とも固有振動数を明確に確認することが出来なかった。

4. シミュレーション解析

前記の起振機試験について、2次元動的FEM解析による実験結果のシミュレーションを行った。図-3 に解析モデルを示すが、地盤、フーチング、補強体は平面歪み要素、杭は梁要素でモデル化した。ここで、地盤物性については、表-1 の物性値を使用し、歪み依存による非線形性を考慮した。また、解析はフーチング上面の加振力による点加振として直接積分法応答解析（Newmark- β 法、積分時間間隔 0.002 秒）により行い、境界条件は側方を粘性境界、底面を固定とした。

10Hz 鉛直加振時（加振力 7.9kN）のフーチングの応答変位の実験結果および解析結果を図-4 に示すが、解析結果においても補強体によるフーチングの振動低減効果が見られた。ここで、変位の大きさは、無補強時の実験結果と解析結果はほぼ同じ値であるが、補強時では実験結果の方が 20%程度小さな値（大きな振動低減効果）となっており、水平加振時の解析結果においても同様な傾向が見られた。これは地盤のモデル化（非線形性、ばらつき）や水平载荷試験のシミュレーション時にも確認された補強による構造変化の影響³⁾等が理由として考えられる。

5. まとめ

地盤固化工法による耐震補強を施した実大杭基礎模型に対する起振機試験、および、そのシミュレーション解析より、本工法によるフーチングの振動低減効果を確認した。今後は補強体の位置や厚さと振動低減効果の関係について明確にしていく予定である。

【参考文献】

- 1) 足立，浦野，三原：液状化時の杭基礎構造物の挙動および補強方法に関する一検討，第 47 回地盤工学シンポジウム，pp.187-192,2002.
- 2) 足立，浦野，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，土木学会第 59 回年次学術講演会，Ⅲ部門，pp.935-936,2004.
- 3) 足立，浦野，河邑，二川，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，土木学会第 60 回年次学術講演会，Ⅲ部門，pp.535-536,2005.

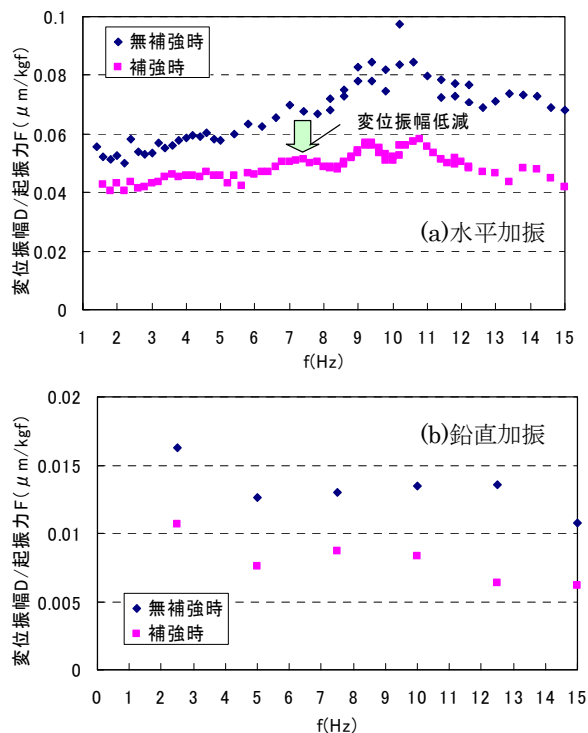


図-2 変位振幅スペクトル

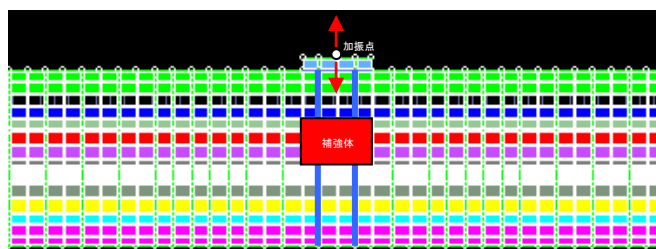
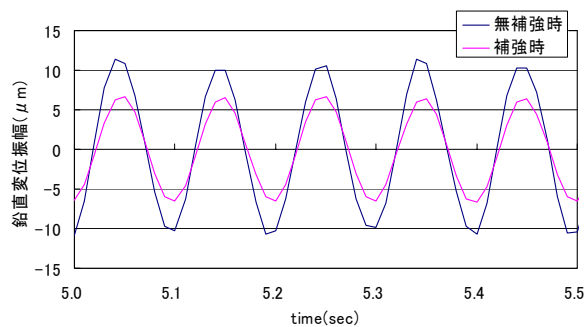
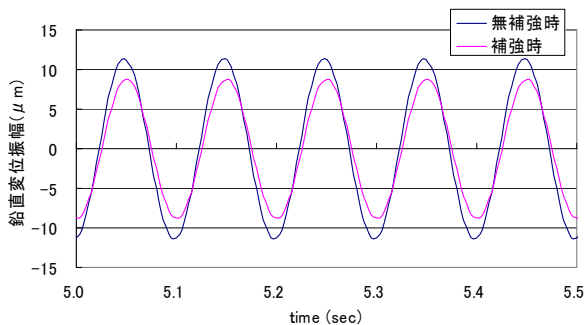


図-3 解析モデル



(a) 実験結果



(b) 解析結果

図-4 フーチングの鉛直変位波形（変位計 DV1 位置）