

固化工法を用いた杭基礎の耐震補強工法の実大実験

ハザマ 正会員 足立 有史, 浦野 和彦
 東興建設 佐久間孝夫
 青山機工 轟 和夫
 豊橋技術科学大学 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。特に基礎の補強は地盤中であるため補強方法が限られているのが現状である。筆者らはこれまで、既存の杭基礎に対する新たな耐震補強方法を提案し、1g 場での振動台模型実験により効果を確認している¹⁾。ここでは、提案した補強方法に対する実規模レベルの杭基礎における補強時の杭基礎の挙動を確認する目的で実施した実大実験の内、水平載荷試験結果について報告する。

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4本で外径406.4mm、肉厚9.5mm、杭長10mの鋼管杭を杭間隔2.0mとした。杭の打設は中掘り根固め工法（セメントミルク噴出攪拌方式）にて行った。杭頭処理はRC製のフーチング（3.8×3.8×0.6m）に埋め込み長0.5mとし、杭頭剛結条件とした。2本の鋼管杭の外側にひずみゲージを取り付け、それを保護するためのプロテクター（L型鋼）を設置している。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、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。

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。載荷方法は2台の油圧ジャッキを用いて、一方向多サイクル方式により行った。ここで用いた補強方法は、杭基礎中間深度付近の杭を包含するように固化工法による補強体を構築し、その拘束効果により杭基礎全体の水平抵抗を高めるものである。補強体は、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のブロック状に作製し

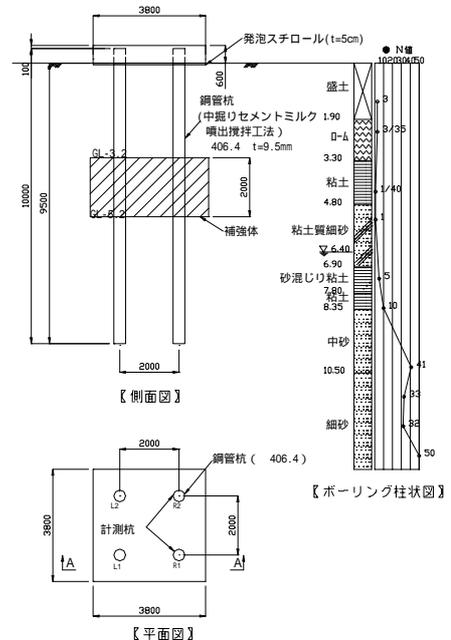


図-1 実大実験模型概要図

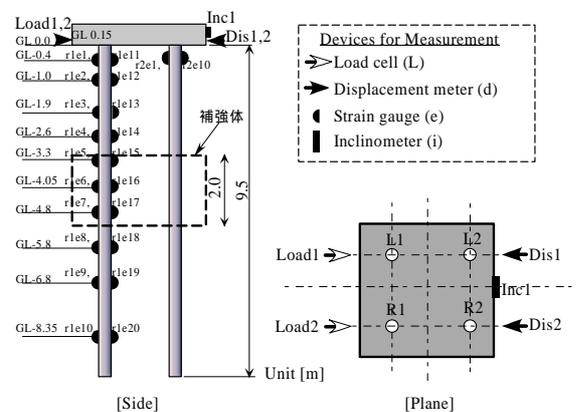


図-2 計測装置

表-1 鋼管杭物性一覧

鋼管杭	406.4 t=9.5 L=10.0m	
外半径	R (m)	0.2032
内半径	r (m)	0.1937
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・m ²)	4901.1

キーワード：杭 耐震 載荷試験

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

た。補強体の設計強度は $1\text{MN}/\text{m}^2$ である。

計測装置として変位計、傾斜計、荷重計およびひずみゲージを図-2に示すように配置した。ここで、ひずみゲージは押し込み側の杭1本に1組、引き抜き側の杭1本に1組設置した。

3. 実験結果

(a) 荷重 - 変位関係

補強前後の水平載荷試験の荷重 - 時間曲線および杭頭部の荷重 - 水平変位曲線をそれぞれ図-3および図-4に示す。最大荷重は補強前、補強後においてそれぞれ 600kN および 787.5kN である。 600kN 載荷時のフーチング水平変位量は補強前が 17.2mm に対して補強後では 4.8mm と低下する結果となった。補強後の載荷試験では補強前に比べ 200kN 程度大きな荷重を載荷したが、最大荷重付近においても荷重 - 変位関係はほぼ線形的な弾性挙動を示した。なお、フーチング側面に設置した傾斜計から、 600kN 載荷時のフーチング傾斜角は補強前、補強後においてそれぞれ $+0.0956$ 度および $+0.0608$ 度（載荷方向への回転を+）であった。

(b) 曲げひずみ分布

600kN 載荷時の補強前後での曲げひずみ分布を図-5に示す。また、同図には杭頭固定条件での弾性床上のはり（Changの方法）として算定した無補強時の曲げひずみ分布を合せて示す。無補強時については、計算値と概ね良い一致を示していることがわかる。補強前と比べ補強後は、杭中間部に設置した補強体の拘束効果により、杭頭付近の曲げひずみが低下し、逆に補強体天端付近で増加した。また、補強体以深では曲げひずみはほとんど生じていない。これらの挙動は杭基礎-フーチング系の構造が補強体を設置することで2層ラーメン構造を形成したことにより、杭基礎構造がより剛になったものと考えられる。

図-5に示した曲げひずみ分布から弾性たわみ曲線式を用い、数値積分により杭の水平変位分布を算定した結果を図-6に示す。算定時の深度方向の微小区間距離は $dx=0.25\text{m}$ となるようひずみ曲線の補間を行った。図-6より、杭の水平変位分布は補強体の設置により、GL- 3.0m 以深での変位が大きく低減している。

4. おわりに

既設基礎杭に適用可能な耐震補強方法の実大規模での杭基礎を対象に補強前後での水平載荷試験を実施した結果、杭深度中間部に設置した補強体の拘束効果により、杭基礎の水平抵抗力が増加するとともに、最大曲げひずみの低減を確認した。今後は、これらのデータをもとに、地盤状況、杭基礎、補強体の仕様等の影響について詳細に検討する予定である。

【参考文献】1) 足立、浦野、三原（2002）：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.

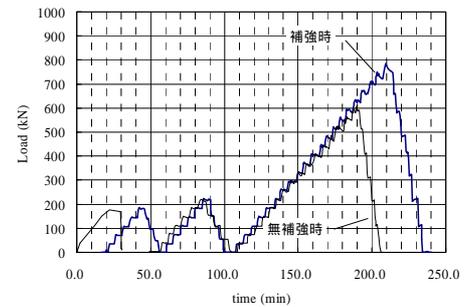


図-3 荷重-時間曲線

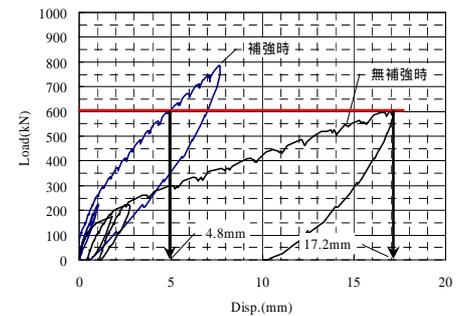


図-4 荷重-変位図（杭頭）

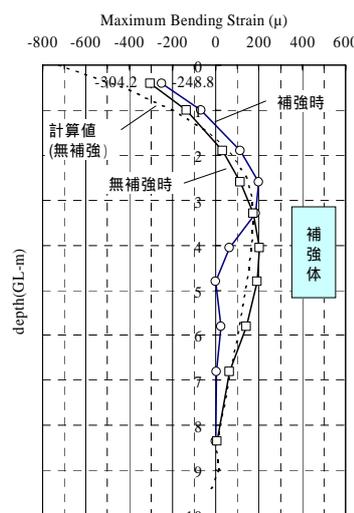


図-5 曲げひずみ分布
（載荷重 600kN 時）

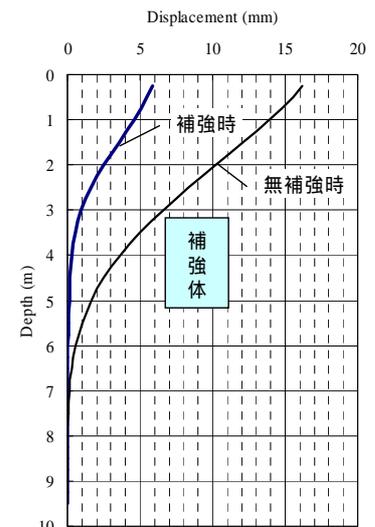


図-6 曲げひずみ分布から求めた変位分布(載荷重 600kN 時)