

摂南大学大学院 学生会員 ○松村 大輝
 五洋建設(株) 非会員 田中 雅大
 大鉄工業(株) 非会員 大高 琉之介
 摂南大学 正会員 寺本 俊太郎

1. 研究背景

増し杭工法は、構造物の基礎に対する耐震補強工法であり、既存基礎の周囲に新設基礎を構築し一体化する工法である。しかし、RC 構造であるために、新旧基礎間や杭頭部の接合施工に労力を要していることが問題点として挙げられる。そこで本研究では、図1に示すような鋼製外殻および鉄骨造ガイドによる無鉄筋の鋼コンクリート構造として、新たな増し杭工法の開発を目指す。これまでに、乾燥地盤条件下で一連の模型実験および数値解析¹⁾²⁾を実施してきた。しかし、実施工では、地下水面下での施工が想定され、基礎直下地盤において群杭効果と過剰間隙水圧の発生に起因した有効応力低下が複雑に相互作用するため、飽和地盤条件下における増し杭の補強効果についても確認する必要がある。

本研究では、飽和地盤条件下による有効応力低下が基礎の水平剛性に及ぼす影響の解明を目的とし、遠心模型実験を実施した。

2. 実験概要

実験概要を図2に示す。4本既存杭+6本増し杭に対し、50G 場遠心模型実験を行った。この遠心模型実験は、模型スケールにおいても実地盤の自重拘束圧を再現できるため、強度と剛性が拘束圧に依存する材料である土の挙動を再現するうえで有効な実験手法である。杭先端は固定し、模型地盤は乾燥豊浦砂を空中落下法により $D_r = 85 \pm 5\%$ で作製した。飽和地盤は、 $S_r = 95\%$ 以上で作製した。フーチングと橋脚はアルミニウム製である。模型寸法は、実設計を参考にして、各部の重量比が橋脚：上部工：フーチングを 1:1:3 となるように設定した。設計水平荷重は、地震時保有水平耐力法を基に、L2 設計水平地震動 $kh = 0.4$ を総重量に乗じて 3,125 kN とし、これを試験最大荷重とした。荷重方法は、荷重速度 0.5 mm/min の 7 サイクル漸増繰返しとし、自由継手を介して橋脚上部を引張荷重した。図3、表1に検討ケースを示す。

Case1 は従来工法を想定しており、新旧基礎を連続体とし、橋脚基部を橋脚固定治具で固定した。Case2 は、Case1 の状態から、橋脚基部を非接合とすることで、橋脚基部の接合の有無が基礎全体の水平剛性に及ぼす影響を確認する。

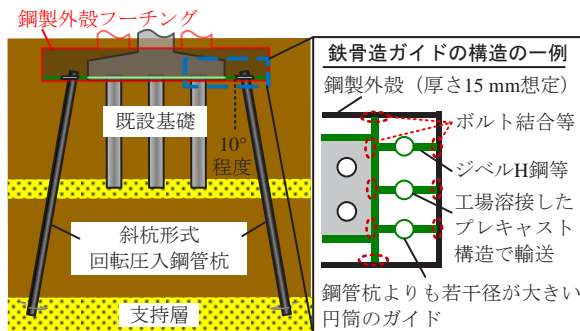


図1 提案する新たな増し杭工法

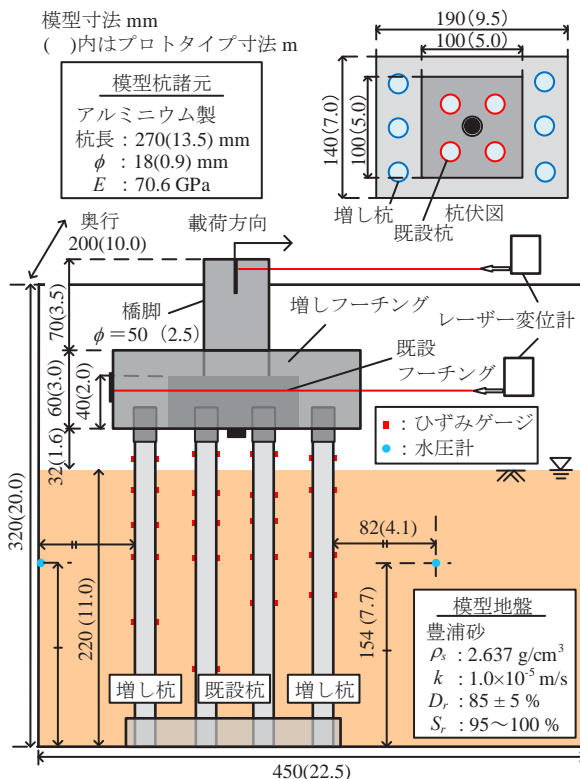


図2 実験概要

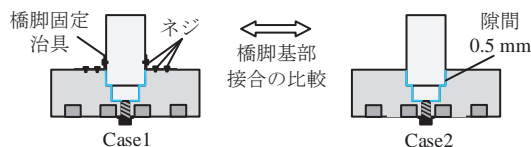


図3 検討ケース

表1 検討ケース

Case	乾燥地盤	飽和地盤
Case1	Case1-D	Case1-S
Case2	Case2-D	Case2-S

3. 実験結果

以下の実験結果は全てプロトタイプ換算値で表記する。

3.1 荷重変位関係（増しフーチング位置）

図4に、増しフーチング位置での荷重変位関係を示す。なお、橋脚固定治具の個体差によって2,500 kN～3,125 kNでの降伏時の変形のばらつきが大きいことから、降伏前の2,500 kNにおける変位で評価し比較する。2,500 kN時の変位量について、飽和地盤ケース（Case1-S, Case2-S）は、乾燥地盤ケース（Case1-D, Case2-D）の1.1倍程度大きくなった。これは、飽和により間隙水圧が上昇し、初期有効応力が同深度で38%減少したためと考えられる。他の有効応力を減少させる要因として、载荷による過剰間隙水圧の発生が挙げられるが、それは1 kPa未滿と微小であったため無視できる。その過剰間隙水圧が微小となった理由は、豊浦砂の透水係数が高い³⁾ためであり、再現解析の結果⁴⁾からも同様の傾向が確認された。今後、数値解析により透水係数の低い模型地盤で検討し、過剰間隙水圧の発生による影響を確認する。

3.2 荷重変位関係（橋脚部）

橋脚部の変位を議論するため、フーチング位置に対する载荷位置の相対変位で表記した荷重変位関係を、図5に示す。2,500 kN時の変位量について、Case1-SはCase1-Dの0.8倍、変位差は3 mmであり、同程度であった。一方、Case2-D, Case2-Sについて、750 kN時以降、両者の剛性の回復度合いに差が生じ、2,500 kN時の変位量ではCase2-SがCase2-Dの1.4倍となった。これより、Case1-D, Case1-Sでは橋脚基部が固定されていることで、橋脚部の変位において、有効応力の減少による影響は小さかったと考えられる。Case2-D, Case2-Sでは750 kN時以降、橋脚がフーチングに接触していることが推測される。特にCase2-Sでは橋脚基部が非固定であることに加え、初期有効応力の低下により地盤反力が低下したため、変位量が増加したと考えられる。

3.3 荷重分担比

図6に、2,500 kN時における最前列杭を1とした時の各杭の荷重分担比を示す。2,500 kN時の分担比において、飽和地盤では乾燥地盤に比べ、最後列において0.1程度減少し、中列杭では0.3程度減少していた。それは、初期有効応力が減少することで、群杭背面地盤における応力解放の最大量が減少し、後列杭の地盤反力（＝荷重分担比）が減少したと考えられる。

4. まとめ

新たな増し杭工法の開発に向けて、遠心模型実験を実施した。飽和地盤条件は乾燥地盤条件よりも水平剛性が低下し、後列杭の荷重分担比が減少した。それは、基礎の変位による過剰間隙水圧の発生ではなく、初期有効応力場が小さいことが主要因であると考えられる。

参考文献

1) 白石ら：1G場振動台を用いた増し杭された群杭基礎のフーチング接合条件の検討，土木学会全国大会第70回年次学術講演会，III-313，2015.2) 寺本ら：斜杭により増し杭された群杭基礎の水平力学挙動に関する数値解析的検討，土木学会全国大会第74回年次学術講演会，III-009，2019.3) 地盤工学会（2009）：JGS 1311「透水試験方法」，地盤工学会基準4) 田中雅大：新たな増し杭工法における部材間の接合条件に関する研究，摂南大学大学院修士請求論文，2024.

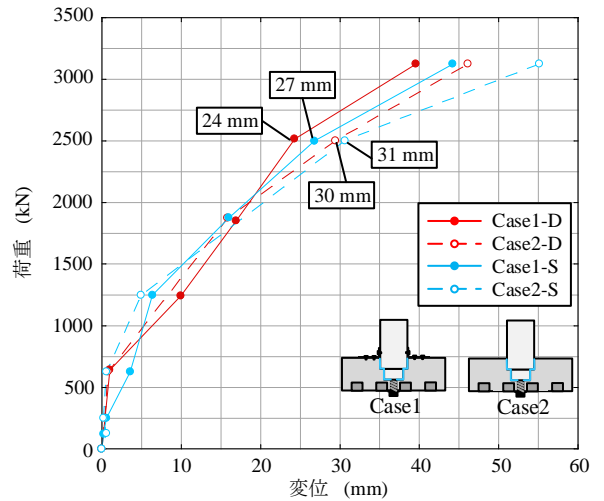


図4 荷重変位関係（増しフーチング位置）

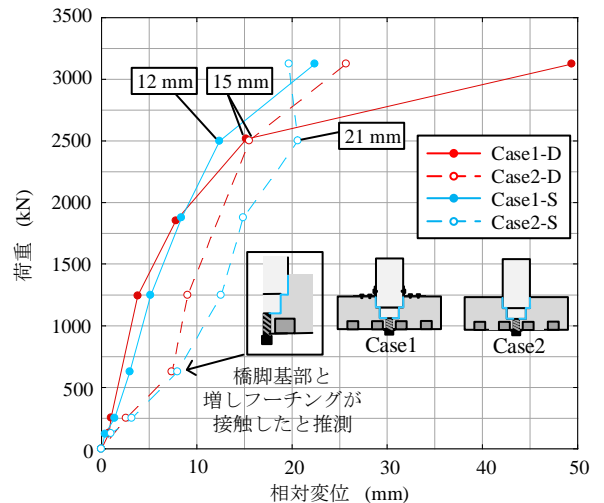


図5 荷重変位関係（橋脚部）

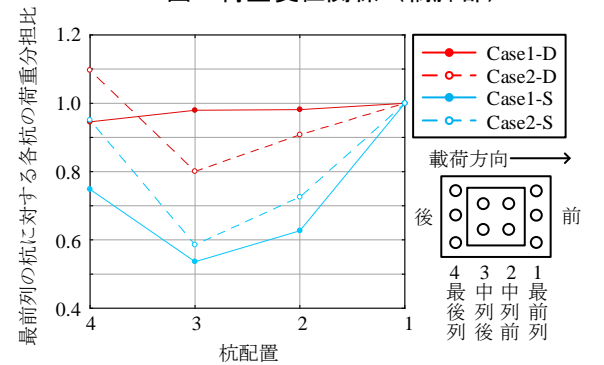


図6 荷重分担比