

杭頭固定条件及び曲げ耐力の異なる杭の 液状化地盤中での変形挙動に関する遠心模型実験

東北大学 学：○中島 悠介 フ：風間 基樹 正：森 友宏
学：平塚 裕介 株木 宏明 金 鍾官

1. 研究の背景と目的

建設材料の高強度化に伴い、地震時保有水平耐力を向上させ、基礎部分での破壊を許容しない高耐力杭が開発されている¹⁾。しかし、地震時には地盤変形に起因した力が杭に作用し、杭と地盤の相互作用については未解明な部分が多い。また、杭に関する研究のほとんどは鋼管杭を使用しており、非線形的な挙動を示すコンクリート杭を用いたものは少ない。本研究では、1/30 スケールのコンクリート模型杭を用いた遠心模型実験を行い、その変形挙動や地盤との相互作用を検討した。さらに、プレストレス導入の有無、杭頭の固定条件の違いによる挙動の違いについても考察を行った。なお、紙面の都合上ここでは杭頭自由杭の変形挙動と地盤の相互作用について述べる。

2. 鉄筋コンクリート模型杭

2.1 杭模型の作製

遠心模型振動実験で使用する高強度 RC 杭の模型を作製した。設計断面は既往の高強度 RC 杭¹⁾を参考に設定した。模型断面を図-1に示す。主筋として株式会社静岡クリエイト製の D2 相当の極細異形鉄筋を 8 本配し、せん断補強筋として直径 0.9 mm のステンレス針金を 3 mm 間隔で配筋した。ひずみゲージは加振方向軸 (NS 軸) 上の鉄筋に貼付した。コンクリートは高性能グラウト材を練り混ぜ打設した。型枠は充填状況が確認できるようなクリル製のパイプを使用した。以下では、プレストレスを導入した杭を PC 杭、導入していない杭を RC 杭と呼ぶ。プレストレスはポストテンション方式で 8.8 N/mm^2 導入した。緊張力は PC 鋼棒に貼付したひずみゲージで管理した。

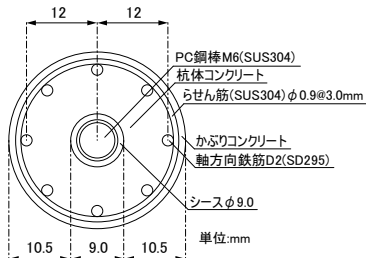


図-1 模型杭断面図

2.2 模型杭の曲げ試験

模型杭の曲げ特性を把握するために 4 点曲げ載荷試験を行った。試験結果から得られた曲げモーメント - 曲率関係を図-2に示す。これより、プレストレス導入によって曲げ耐力が向上していることがわかる。初期剛性は PC 杭が約 $960 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ 、RC 杭が約 $660 \text{ N}\cdot\text{m}^2$ だった。また、実構造物換算での降伏曲げモーメントは PC 杭が約 $3780 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、RC 杭が約 $2295 \text{ kN}\cdot\text{m}$ となった。

3. 遠心模型実験

3.1 実験の概要

遠心模型実験は (株) 大林組技術研究所が所有する遠心実験装置を用い、30G の遠心加速度で行った。模型地盤と杭に貼付したセンサーの配置・寸法を図-3に示す。模型地

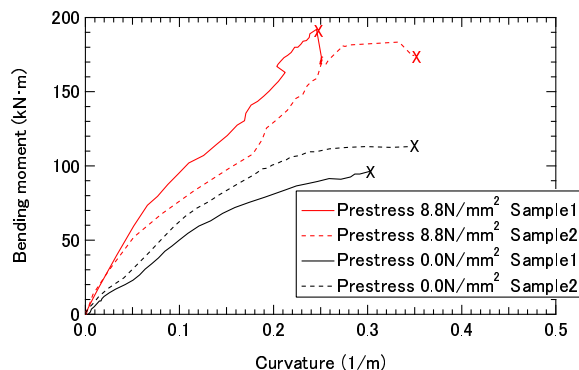


図-2 杭の曲げモーメント - 曲率関係

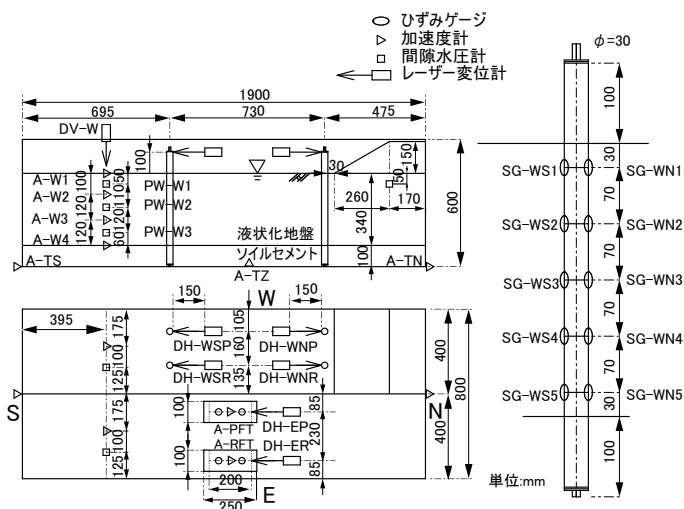


図-3 遠心模型実験模型寸法

表-1 岐阜珪砂物性

土粒子密度 ρ_s	2.645 [g/cm ³]
最小密度 $\rho_{\min}$	1.184 [g/cm ³]
最大密度 $\rho_{\max}$	1.529 [g/cm ³]
最大間隙比 $e_{\max}$	1.234
最小間隙比 $e_{\min}$	0.730

盤では、支持基盤層としてソイルセメント (セメント砂重量比 5%, 水セメント比 80%), 液状化層には岐阜珪砂 7 号を使用した。岐阜珪砂の物性を表-1に示す。液状化層は水中落下法により相対密度が 40% になるように作製した。間隙水には、粘性が水の 30 倍の粘性流体を用いた。実験は、まず遠心加速度を 30G とした後、杭頭が自由な杭について杭頭に約 180 N の水平荷重を段階的に載荷し静的な水平荷重下での挙動を計測した。次に 1G に戻して静的な水平力を除荷後、地震動を入力し挙動を計測した。入力地震動には、兵庫県南部地震において神戸ポートアイランドの地下 32m で観測された地震波を、最大加速度を調整して用いた。ひずみは引張、加速度と変位は南側を正とした。なお、図-4 以下の物理量は実物に換算したものである。

3.2 実験結果

図-4 に杭頭を自由とした杭の曲率および杭頭変位、過剰間隙水圧比、振動台で計測した入力波の時刻歴を示す。なお、曲率は相対量であり 1 目盛りが $0.001(1/\text{m})$ を表す。

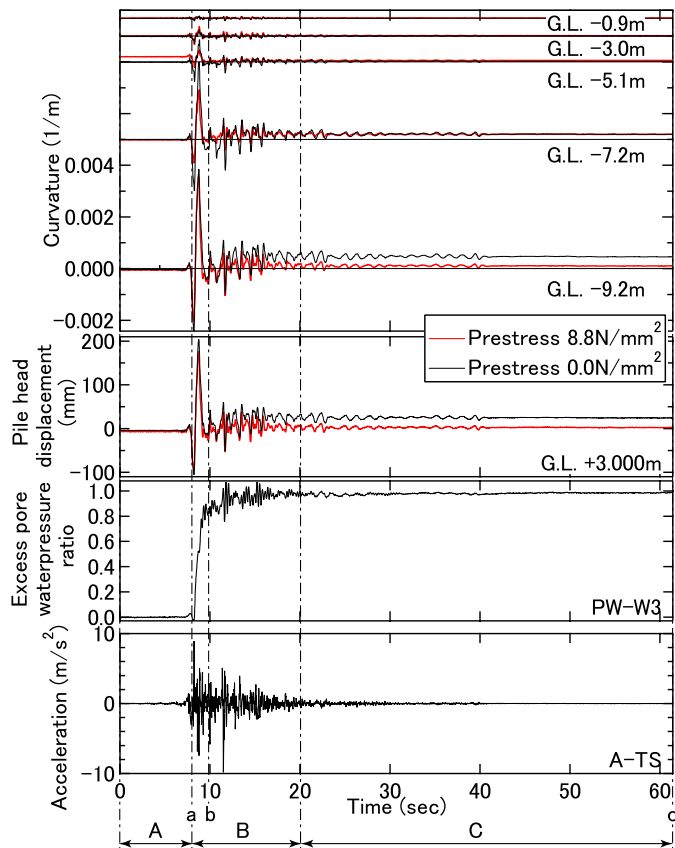


図-4 曲率・杭頭変位・過剰間隙水圧比・入力地震動の時刻歴

各深度で PC 杭のほうが曲率および杭頭の最大変位，残留変位が RC 杭よりも小さくなっているのがわかる。また，図-4 の区間 A（液状化前），B（液状化進行中），C（液状化後）における変位，曲げモーメントおよび地盤反力の深度分布を図-5 に示す。網掛けはその区間での分布範囲を表しており，太線は時刻 a，b，c での深度分布を示す。区間 B では液状化による地盤剛性の低下と主要動により，いずれの値も大きくなっている。また，発生した最大モーメントは，PC 杭で 2500 kN・m，RC 杭で 1700 kN・m 程度となった。これらをそれぞれの降伏値で除すると，0.66，0.74 となり，プレストレスを導入したことで降伏に対する安全性が増大したと考えられる。図-6 に静的載荷時と振動実験時における G.L.-5.1 m での杭の曲げモーメントと水平変位の関係を示す。液状化に伴い地盤剛性が低下し，杭に作用する水平力を支持できなくなることがわかる。この状態で大きな水平力が作用すると杭はほぼ片持ち梁としての挙動になるため，杭剛性の大きな PC 杭が有利に働くと考えられる。

一方，図-5 において地盤反力に注目すると，PC 杭の方が RC 杭よりも大きくなる傾向がある。これは PC 杭の杭剛性が高いことから地盤変位に杭が追従しなくなり，地盤との相対変位が大きくなるためだと考えられる。

4. 結論

コンクリート模型杭に関する遠心模型実験を行い以下の結論が得られた。

- 杭自体の剛性が高い PC 杭の方が，地盤支持力のなくなった液状化地盤中でも変位抑制効果が高い。

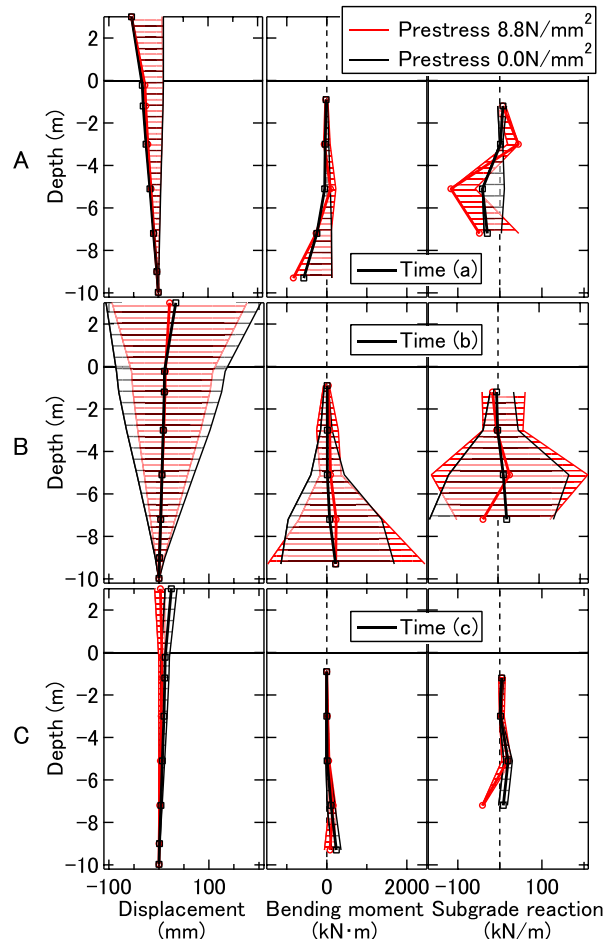


図-5 変位・曲げモーメント・地盤反力の深度分布

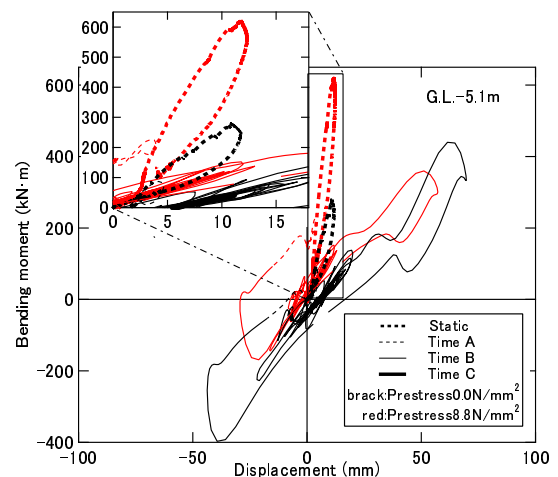


図-6 曲げモーメント - 変位関係

- 杭剛性が高くなると地盤と杭の相対変位が大きくなり，その結果地盤反力も大きくなる。
- 地震時における PC 杭の最大変位，残留変位は RC 杭よりも小さい。また，プレストレス導入により，杭の降伏に対する安全性が向上する。

参考文献

- 1) 浅沼大寿，秋山充良，佐藤啓，鈴木基行：高強度 RC 杭体へのプレストレス導入による曲げ耐力の改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.3，pp.1003-1008，2008。