

研究種目：基盤研究(A)  
研究期間：2007～2010  
課題番号：19206049  
研究課題名（和文） 超高耐力複合杭基礎構造の開発と液状化時の地盤反力特性を考慮した耐震信頼性設計法  
研究課題名（英文） Development of High Strength Concrete Pile and Seismic Reliability Design Considering the Soil Liquefaction  
研究代表者  
鈴木 基行 (SUZUKI MOTUYUKI)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60124591

研究代表者の専門分野：工学  
科研費の分科・細目：土木工学，構造工学・地盤工学・維持管理工学  
キーワード：耐震構造，信頼性設計法

#### 1. 研究計画の概要

本研究は、軟弱地盤中の橋梁基礎を対象に、地盤改良などの莫大な費用を必要とする既存の液状化対策に頼るのではなく、超高耐力を有する鋼・コンクリート複合杭基礎構造の開発と、多連オンライン実験システムを用いた液状化地盤の震動予測精度の向上により、恒久的に弾性限界までの応答しか許容しない、新しい杭基礎構造の耐震設計法の構築を目的とする。

橋梁は、地震後における救助・救急活動および被災地への緊急物資の輸送路として非常に重要な役割を担うため、地域社会生活に支障を与える地震後の機能低下をできるだけ抑制する必要がある。この思想を受け、現行の各種耐震設計規準では、兵庫県南部地震級のレベル2地震動の作用に対し、橋脚基部に主たる塑性化を限定的に発生させ、修復を行い得る範囲で地震エネルギーの吸収を図り、支承部、基礎などは基本的に弾性限界を超えさせない損傷シナリオを基本としている。しかしながら、液状化の影響により地盤の水平反力が十分に期待できないような場合には、経済性への配慮から、基礎の降伏を許容せざるを得ない場合が多々存在する。この場合、何よりも危惧されるのは、基礎に生じる地震時の変形および地震後の残留変形による車両走行性への影響であり、軟弱地盤地点に架かる橋梁の修復作業のために道路や鉄道ネットワークの機能麻痺が長期にわたり生じることである。そのため、液状化の発生の有無に関わらず、基礎構造は恒久的に弾性限界内までの応答しか許容せず、修復が容易な橋脚基部に主たる塑性化を生じさせる耐震設計が望まれる。

以上の背景のもと、本研究は、交通ネットワークの弱部となり得る液状化地盤に架かる橋梁に着目し、その地震後の機能低下の回避を目的として、超高耐力を有する鋼・コンクリート複合杭基礎構造の開発と、多連オンライン実験システムを用いた液状化地盤の震動予測精度の向上により、液状化地盤中の新しい杭基礎構造の耐震設計法を構築する。この実現のため、核となる超高耐力杭体を開発し、その耐震設計法を提示する。

#### 2. 研究の進捗状況

以下の(1)、(2)に分類して本研究の進捗状況を示す。

##### (1) 超高耐力杭基礎の開発

高強度構成材料(鉄筋、コンクリート)の使用と高プレストレス力を導入したコンクリートはり供試体を作製し、曲げ載荷試験を行った。また、提案する構造形式による超高耐力杭供試体を作製し、正負交番載荷実験を行った。これによって、提案する超高耐力杭基礎構造は地震荷重を模擬した繰り返し荷重下においても高い耐震性能を有することが確認できた。さらに、これらの実験結果を整理することにより、超高耐力杭基礎構造の使用限界、修復限界、終局限界を設定し、地盤一杭基礎一構造物の連成を考慮した耐震設計法を提示した。

##### (2) 液状化時の地盤反力特性を考慮した耐震信頼性設計法の構築

地盤の拘束条件(圧密条件)を再現できる複数の要素試験をオンラインで連結する技

術を確立した。また、K<sub>0</sub>対応型中空ねじりせん断試験装置を導入し、上記の連成システムに組み込んだ。これによって、多層地盤の連成を考慮した地盤実験の小スペース化・省力化が可能となった。

さらに、超高耐力杭の液状化地盤中の挙動を検討するため、遠心力模型振動実験を実施した。実験では、高耐力杭を精緻にモデル化し、実際の杭体の曲げ変形特性を反映したミニチュア模型杭を用いた点に新規性がある。杭と地盤の動的相互作用が考慮された破壊挙動を実験的に検討したところ、杭体の強度を増すことによって、液状化地盤中で最大曲げモーメントが発生する場所や杭の塑性化に違いが生じることが明らかになった。また、実験結果の数値再現解析を行い、細部の挙動を検討した。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。  
(理由)

当初の研究申請書の計画に沿って順調に課題項目を遂行している。

### 4. 今後の研究の推進方策

杭長 10m の実大杭供試体を作製した。これを地盤中に埋め込んだ状態で杭頭部に繰返し水平荷重を加える正負交番載荷実験を行う。これにより、地盤中での超高耐力杭の破壊挙動に関する基礎的データを収集し、提案した超高耐力杭基礎構造の耐震設計法の妥当性を確認し、解析モデルのさらなる高精度化を目指す。

また、今後は液状化地盤のみならず、流動化（地盤が単に液状化しただけでなく水平に移動する）に対するも検討も必要である。

### 5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. 青木直, 秋山充良, 佐藤啓, 鈴木基行, 炭素繊維シートで被覆した高強度 RC 杭体の単調曲げ載荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 2, pp. 553-558, 2009 年, 査読有り
2. 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 年, 査読有り
3. 秋山充良, 松崎裕, 佐藤広和, 内藤英樹, 鈴木基行: 塩害環境下にある RC 橋脚の耐震安全性確保の観点から定めた限界鉄筋腐食量とその耐久設計法に関する確率論的考察, 土木学会論文集E, Vol. 64, No. 4,

pp. 541-559, 2008 年, 査読有り

4. Uzuoka, R., Sento, N. and Kazama, K., Seepage and Inertia Effect on Rate-dependent Reaction of a Pile in Liquefied Soil, Soils and Foundations, Vol. 48(1), 15-26, 2008, 査読有り
5. Uzuoka, R., Sento, N., Kazama, M., Zhang, F., Yashima, A. and Oka, F., Three-dimensional numerical simulation of earthquake damage to group-piles in a liquefied ground, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 27(5), pp. 395-413, 2007, 査読有り

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 青木直, 炭素繊維で被覆した高強度 RC 杭の正負交番載荷実験, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009 年 9 月 2 日, 福岡
2. 松崎裕, 塩害環境下にある RC 橋脚の耐震安全性を考慮した鉄筋腐食の限界状態設定に関する研究, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009 年 9 月 2 日, 福岡
3. 伊藤貴晴, 液状化地盤中の杭の応答に及ぼす杭の曲げ耐力の影響に関する遠心模型振動実験, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2009 年 3 月 7 日, 多賀城
4. 青木直, 高強度構成材料を用いた RC 杭体へのプレストレスの導入による構造性能の改善, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008 年 9 月 10 日, 仙台
5. 浅沼大寿, プレストレスを導入した高強度 RC 杭体の曲げ耐力算定法とそれを用いた杭基礎の地震時安全性評価に関する研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 2008 年 9 月 10 日

〔その他〕

ホームページ

[http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/bfa\\_b3ef245fd75a01f54245cc1e154f6.html](http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/bfa_b3ef245fd75a01f54245cc1e154f6.html)