

RC 杭における軸方向鉄筋の座屈判定法と 基礎・地盤系の地震時挙動予測への適用に関する基礎的研究

東北大学大学院 学生会員

○ Dang Tuan Hai

東北大学大学院 正会員

秋山 充良, 内藤 英樹

東北大学大学院 フェロー

鈴木 基行

1. はじめに

コンクリート構造物の地震時応答は、周辺地盤の影響を強く受けるため、構造系全体を解析する必要がある、コンクリート標準示方書耐震性能照査編¹⁾でも、構造物と地盤の相互作用を直接考慮可能な連成解析の使用を推奨している。一方、基礎・地盤系の解析では、地盤に関する不確定性や、基礎の耐力および支持力算定式の不確定性が存在し、それはコンクリート構造物単体の地震時挙動の予測に比べかなり大きいと推察される。そのため、基礎の損傷を防ぎ、地震エネルギーの吸収を基礎より上部に位置する部材に確実に誘導する耐震設計を実現するためには、対象システムに係る不確定要因をすべて考慮し、その存在下においても、基礎の応答がある限界状態に到達しないことを確認する必要がある。著者らは、このような耐震性能照査法の構築を目的とし、基礎の限界状態の設定、各種ばらつきの定量化、全体系動的解析モデルの構築など、様々な検討を行っている²⁾。

本稿は、地震時の基礎の限界状態の設定を行うための基礎的研究であり、正負交番荷重を受ける RC 杭の座屈発生点を簡易なファイバー解析により算定するモデルを提案した。また、基礎・地盤系の地震時挙動を予測する目的で、提案モデルを地中 RC 杭に適用し、その妥当性を検討した。

2. 解析モデルと座屈判定法

著者ら³⁾は、矩形断面を有する RC 柱を対象に、横拘束筋とかぶりコンクリートによる座屈防止効果を考慮した軸方向鉄筋の座屈解析モデルを構築し、既往の正負交番荷重実験におけるかぶりコンクリートの剥落や軸方向鉄筋の座屈発生点を精度良く評価できることを報告した。式(1)～(2)は著者ら³⁾が提案したオイラー座屈点から実際の座屈発生点までのひずみ増分 $\Delta \varepsilon_B$ の算定式である。

$$\Delta \varepsilon_B = \left[\frac{2(D/S)}{3N_B a_x} \left\{ g(N_B) \frac{\sigma_m}{\sigma_y} - 1 \right\} \right]^2 \quad (1)$$

$$g(N_B) = 1 + \frac{a_x \pi N_B}{16(D/S)N_p} \{ Q_w f(N_B) + q_c N_B S \} \quad (2)$$

ここで、 σ_m は鉄筋の引張強度、 σ_y は鉄筋の降伏強度、 S は横拘束筋間隔、 N_B は座屈長を定めるための整数、 D は鉄筋径、 $a_x=0.65$ 、 Q_w と q_c はそれぞれ横拘束筋とかぶりコンクリートによる座屈防止効果である。 q_c は、かぶり厚さ、鉄筋径、コンクリート強度に比例するとし、参考文献 3)と同様に定めた。一方、著者ら³⁾が提案した Q_w は矩形 RC 断面を対象としていることから、円形 RC 断面に適用する際には、その算定式を再検討する必要がある。本稿では、円形断面において、図 - 1 に示すように釣合い条件から式(3)を用いて、 Q_w を算定した。

$$Q_w = 2f_{wy}a_w \sin(\pi/n) \quad (3)$$

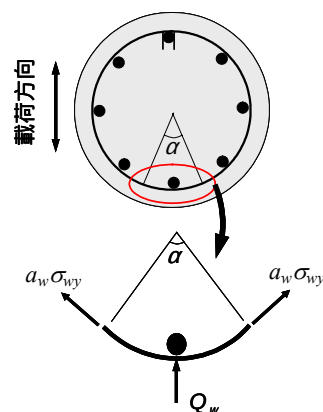


図 - 1 横拘束筋の座屈防止効果

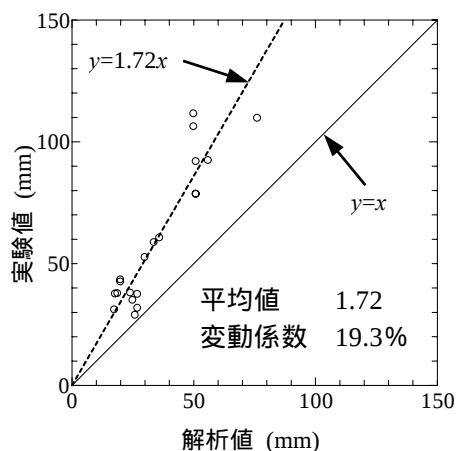


図 - 2 座屈発生時変位の比較

Key Words : RC 杭, 軸方向鉄筋座屈, 基礎地盤系, 地震時挙動

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 Tel: 022-795-7449

3. 気中 RC 杭の正負交番載荷実験の再現解析

本研究では、気中 RC 杭および RC 円柱を対象とし、参考文献 3) で提案した軸方向鉄筋の座屈解析モデルに前述の提案式を導入し、ファイバー要素を用いて、正負交番載荷実験の再現解析を行った。解析では、塑性ヒンジ長を $0.5D$ とした以外、他の構成則等は参考文献 2) と同様である。図 - 2 に、軸方向鉄筋が座屈する変位の実験結果と解析結果の比較を示す。ここで、実験上の座屈発生時変位は、軸方向鉄筋の拔出しによって生じた変位を引いた値である。対象とする供試体数は 20 本であり、実験値 / 解析値の平均値は 1.72、変動係数は 19.3% となった。これは、解析では最外縁に位置する軸方向鉄筋の座屈開始点を求めているのに対し、実験では、軸方向鉄筋が数本座屈し、およそかぶりコンクリートの剥落が観察された点であるため、解析は一様に過小な座屈発生点を求めていると思われる。しかし、本モデルは、供試体諸元によらず、実験値 / 解析値の精度をある一定範囲で確保できており、杭・地盤系の一体解析に十分に活用できると考える。

4. 地中 RC 杭の正負交番載荷実験の再現解析

実際の杭は周辺地盤の影響を受けることから、地中における杭の挙動は複雑となり、杭・地盤系の一体解析が必要となる。本研究では、ファイバー解析に地盤バネモデルを導入し、地中杭の正負交番載荷実験の再現解析を行った。用いた地盤バネの構成則は白戸ら⁴⁾が提案するものである。また、地盤係数等は白戸ら⁴⁾と同様にした。

図 - 3 は、長さ 8.0m、直径 30cm の杭⁵⁾が正負交番載荷を受けたときの

の荷重 - 変位関係の実験結果とその再現解析結果である。正側載荷では解析値と実験値はほぼ一致したが、負側では解析結果が実験結果と比べ小さくなった。これは、実験において正側に杭を押し込もうとすると、負側に砂が杭と地盤間に入り込み、その分地盤反力が強くなり、負側の荷重が大きくなったためと考えられる。

図 - 3 に示すように、解析では水平変位が 135mm となる時、軸方向鉄筋の座屈が確認され、その座屈長は横拘束筋間隔の 3 倍となった。一方、実験では載荷後、軸方向鉄筋の座屈や破断が確認され、その座屈長が解析と同様で、横拘束筋間隔の 3 倍であることが分かった。また、実験では座屈発生点を確認されていないが、水平変位 225mm で荷重が低下している。解析による座屈発生点は、実験での荷重低下点よりも早期に起り、また座屈区間は実験結果と同様であることから、提案したモデルは地中杭の解析にも適用可能であると考えられる。

また、図 - 4 に、鉄筋座屈時における、解析による曲率分布と実験終了後の杭の損傷状況を示す。この結果から、解析による杭の最大曲率の位置と実験時に観察される杭の損傷領域はほぼ一致することが分かる。

5. まとめ

本研究では、気中 RC 杭の軸方向鉄筋の座屈発生点をファイバー解析により算定するモデルを提案した。また、提案モデルの杭・地盤系の地震時挙動予測への適用も試みた。動的解析への適用性や、地盤係数の設定方法など、検討すべき課題は多数残されている。今後、橋脚・杭・地盤系の合理的な耐震性能照査法の構築に向け、これら諸課題に取り組みたい。

参考文献 1) 土木学会：コンクリート標準示方書耐震性能照査編，2002. 2) 秋山充良ほか：鉄筋コンクリート橋梁システムに介在する不確定要因を考慮した場所打ち杭基礎の設計水平震度評価に関する研究，土木学会論文集，No.641/V-46，pp.187-203，2000. 3) 秋山充良ほか：軸方向鉄筋の座屈発生点に対応した終局曲率の簡易算定法および RC 柱と SRC 柱の靱性能評価への適用，土木学会論文集，No.725/V-58，pp.113-129，2003. 4) 白戸真大ほか：Winkler 型の基礎・地盤間水平相互作用バネの履歴モデル，土木学会地震工学論文集，Vol.27，paper No.148，2003. 5) 福井次郎ほか：砂地盤中の単杭の復元力特性に関する水平載荷試験，土木研究所資料，第3552号，1998.

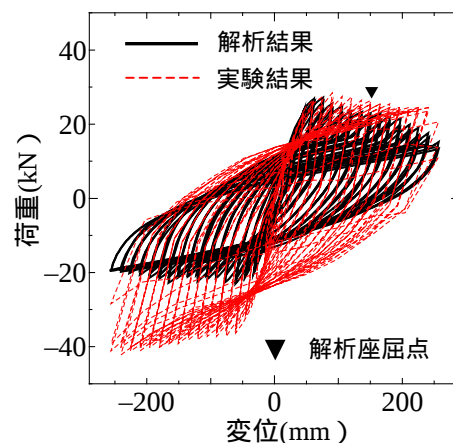


図 - 3 荷重 - 変位関係

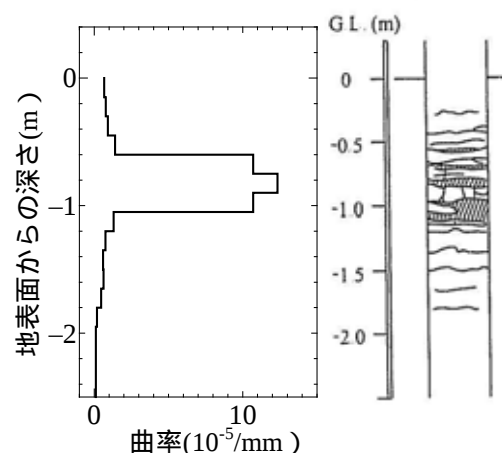


図 - 4 解析による鉄筋が座屈時の曲率分布と実験での杭の損傷状況