

V-58 軸方向鉄筋のはらみ出しを考慮した RC 円柱のファイバー解析

東北大学 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、基礎の限界状態の設定を行うために実施した研究成果の一部を報告するものであり、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する。なお、本稿では、気中にある RC 杭を想定し、RC 円柱を対象としたモデルを構築しており、その地中 RC 杭への適用性については別途報告する。

2. RC 円柱における帯鉄筋とかぶりコンクリートの座屈防止効果のモデル化

2.1 概説

著者ら³⁾は、矩形断面を有する RC 柱を対象に、帯鉄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、既往の正負交番載荷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。

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

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

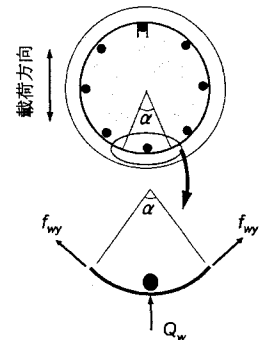


図-1 帯鉄筋の座屈防止効果

ここで、 σ_m は鉄筋の引張強度、 S は帯鉄筋間隔、 N_B は座屈長を設定するための整数、 D は軸方向鉄筋径、 $a_x=0.65$ 、 Q_w は帯鉄筋による座屈防止効果、 q_c はかぶりコンクリートによる座屈防止効果である。式(1)を導く際には、軸方向鉄筋を両端固定のはりとしてモデル化し、帯鉄筋とかぶりコンクリートの座屈防止効果をそれぞれはりに作用する集中荷重と等分布荷重としてモデル化している。しかし、帯鉄筋の拘束力 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。そこで、以下では、円形 RC 断面に適用可能な Q_w を新たに提示する。

2.2 帯鉄筋とかぶりコンクリートの座屈防止効果

RC 円柱における帯鉄筋の座屈防止効果 Q_w は、図-1 に示す力の釣合いから、式(3)により算定する⁴⁾

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

ここで、 f_{wy} は帯鉄筋の降伏応力、 a_w は帯鉄筋の断面積、 n は軸方向鉄筋本数である。また、かぶりコンクリートの座屈防止効果は、断面形状によらず同様に発揮されると仮定し、著者ら³⁾が提案した式(4)を使用する。

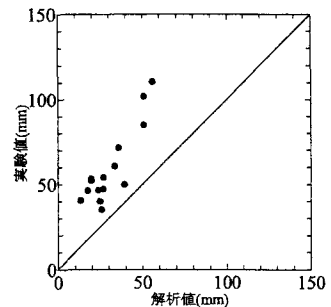


図-2 座屈発生変位の比較

$$q_c = k\beta d_f D \sigma_c^{2/3} \quad (4)$$

ここで、 d_f はかぶり厚さ、 D は鉄筋径、 σ_c はコンクリート強度、 k, β は参考文献3)で提案された定数である。

3. RC 円柱の正負交番載荷実験との比較

参考文献中にかぶりコンクリートの剥落点または軸方向鉄筋の座屈発生点が明記されている RC 円柱の正負交番載荷実験との比較を行い、参考文献3)で提案した座屈解析モデルの RC 円柱への適用性を検証した。解析では、ファイバー解析における軸方向鉄筋の応力-ひずみ関係に式(1)を組み込むことで、RC 円柱で生じる軸方向鉄筋の座屈発生点を算定した。なお、塑性ヒンジ長を $0.5D$ とした以外、他の構成則等の解析モデルは参考文献3)と同様である。15 体の供試体の実験結果と解析結果の比較を図-2 に示す。すべての供試体において、解析では実験よりも軸方向鉄筋の座屈が早起に生じることが分かる。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、圧縮力を受ける軸方向鉄筋が数本座屈し、そのはらみ出しに伴い、かぶりコンクリートの剥落が観察された点であるため、解析は一樣に過少な座屈発生点を求めていると思われる。なお、本研究の本来の目的は、例えば橋梁全体系において、地震時に地中 RC 杭の限界状態が生起する可能性を種々の不確定性存在下で評価することにあり、その意味において、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、今後の橋梁全体系の耐震性能照査の中で十分に活用できると思われる。

星隈⁹⁾の実験では、部材高さ方向に生じた曲率分布が計測されている。それとファイバー解析の結果を比較したものを図-3 に示す。図中の実験値は、軸方向鉄筋の座屈が確認された荷重ステップの最大変位時の曲率である。概ね実験値と解析値は一致しており、本解析で設定した塑性ヒンジ長は妥当であることが確認される。なお、供試体諸元を考慮した塑性ヒンジ長の設定については、今後の課題である。

4. まとめ

本稿では、将来的な橋梁全体系の耐震性能照査法の構築に向けた基礎的研究として、気中 RC 杭を想定した RC 円柱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。今後、塑性ヒンジ長の設定の見直しや、正負交番載荷を受ける地中 RC 杭への適用性の検証など、幾つかの課題は残されているものの、基礎(RC 杭)の限界状態の設定に本モデルを使用することは十分可能と考える。

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，松中亮治，土井充，鈴木基行：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，内藤英樹，鈴木基行：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 柱の靱性評価への適用，土木学会年論文集，No.725/V-58，pp.113-129，2003。
- 4) 浅津直樹，運上茂樹，星隈順一，近藤益央：軸方向鉄筋の座屈解析による鉄筋コンクリート橋脚の塑性ヒンジ長に関する研究，土木学会論文集，No.682/I-56，pp.177-194，2001。
- 5) 星隈順一，長屋和宏，運上茂樹：鉄筋コンクリート橋脚の塑性曲率分布と塑性ヒンジ長，構造工学論文集，Vol.46A，pp.1461-1468，2000。

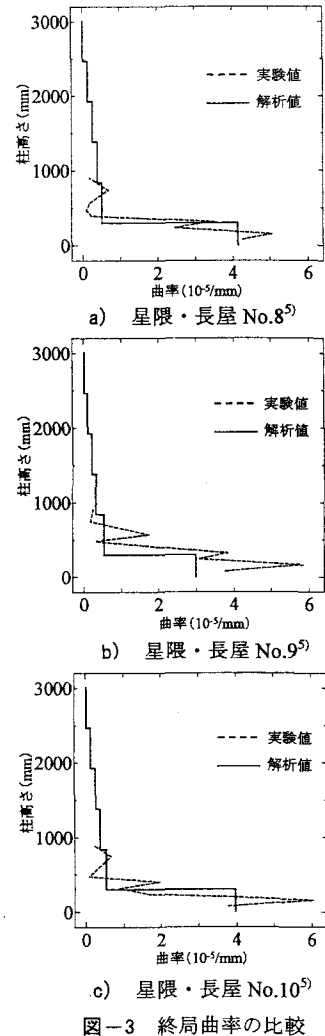


図-3 終局曲率の比較