

軸方向鉄筋の座屈発生点に対応した単柱式 RC 橋脚の終局変位算定法

東北大学大学院 学生員 ○内藤 英樹
 東北大学大学院 正会員 秋山 充良
 東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

現行の道路橋示方書¹⁾に準じた RC 橋脚の耐震設計では、断面の釣合い計算(以下、断面解析)から終局曲率を算定し、これに対応した塑性ヒンジ長に基づく曲率分布を仮定することで、RC 橋脚の終局変位を算定する。このような終局変位算定法は、既往の RC 柱の正負交番載荷実験との比較により、その妥当性が確認されているが、その算定過程には、力学的根拠に乏しい仮定が含まれるなど、得られる終局変位と部材の損傷状況との対応が明確ではない。そこで、軸方向鉄筋の座屈発生点に対応した終局曲率とそれに応じた塑性ヒンジ長を新たに定義し、RC 橋脚の座屈発生点に対応した終局変位算定法を提案する。

2. 座屈解析に基づく終局変位算定法

著者ら²⁾は、RC 矩形断面对象に、加藤ら³⁾の研究を参考にした軸方向鉄筋の座屈解析を行うことで、軸方向鉄筋の座屈発生時に対応する断面曲率(以下、終局曲率)を算定する手法を体系化した。また、座屈解析から得られる終局曲率に対して、別途、Mattock⁴⁾の算定式による塑性ヒンジ長を仮定し、道路橋示方書の算定手法を援用することで、座屈発生点に対応する RC 橋脚の終局変位を算定した。しかし、提示した手法は、終局曲率を算定する際に非弾性座屈解析を必要とするなどの煩雑さを有している。そこで、座屈解析の結果から式(1)～(6)を導出することで、図-1 に示す座屈解析を必要としない簡便な計算フローに従い、終局曲率 ϕ_u を算定する。

$$\phi_u = -\frac{1}{\alpha d'} \ln \left[\left(\frac{\sigma_y}{E_s} - b \Delta \varepsilon_B \right) \left(\frac{2SN_B}{\pi D} \right)^2 - \gamma \right] + \frac{\Delta \varepsilon_B}{d'} \quad (1)$$

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

$$g(N_B) = 1 + \frac{a_x \pi N_B}{16(D/S)N_p} \{ Q_w f(N_B) + q_c N_B S \} \quad (3)$$

$$f(N_B) = \begin{cases} (N_B^2 - 1)/N_B & (N_B: \text{奇数}) \\ (N_B^2 + 2)/N_B & (N_B: \text{偶数}) \end{cases} \quad (4)$$

$$q_c = k \beta d_1 D \sigma_c^{2/3} \quad (5)$$

$$\beta = \begin{cases} 1 - 0.75(\varepsilon_{\max}/\varepsilon_c) & (\varepsilon_{\max} \leq \varepsilon_c) \\ 0.25 & (\varepsilon_{\max} \geq \varepsilon_c) \end{cases} \quad (6)$$

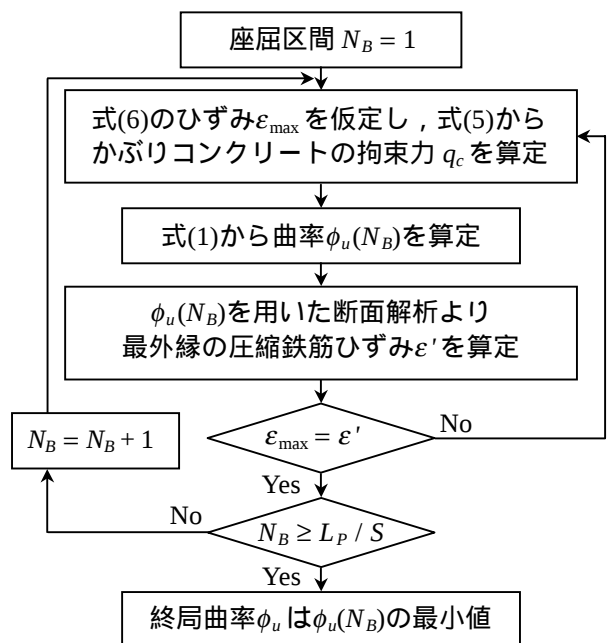


図-1 終局曲率の算定フロー

ここで、 $\alpha = 180$ 、 $\gamma = 0.045$ 、 $a_x = 0.65$ 、 $b = 1/100$ 、 $k = 0.03$ 、 d' は最外縁に配置される圧縮鉄筋と引張鉄筋の距離、 σ_y は軸方向鉄筋の降伏応力、 E_s は軸方向鉄筋の初期剛性係数、 S は帯鉄筋間隔、 N_B は座屈区間、 D は軸方向鉄筋の径、 σ_m は軸方向鉄筋の引張強度、 N_p は全塑性限界軸力で鉄筋断面積 A_r を用いて $A_r \sigma_m$ により算定される。 Q_w は $a_{we} \sigma_{wy} / N$ により算定され、 N は一辺における軸方向鉄筋の本数、 σ_{wy} は横拘束筋の降伏応力、 a_{we} は有効横拘束筋断面積³⁾である。また、 d_1 はコンクリートの圧縮縁から圧縮鉄筋までの最短距離、 $\varepsilon_{\max}$ は断面解析から得られる圧縮鉄筋位置でのひずみ、 σ_c および ε_c はかぶりコンクリートの圧縮強度とそのときのひずみである。なお、提案手法では、座屈区間が予め与えられないため、塑性ヒンジ長 L_p で想定可能

Key Words：RC 橋脚，軸方向鉄筋の座屈，終局曲率，塑性ヒンジ長，終局変位

連絡先：〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL：022(217)7449 FAX：022(217)7448

な座屈区間 N_B 全てに対する検討が必要となる。

後述する 57 体の RC 供試体の諸元に対し，図 - 1 から得られる終局曲率と，非弾性座屈解析を行うことで得られる終局曲率²⁾の比較を図 - 2 に示す。図 - 2 より，図 - 1 の簡易算定法は，座屈解析の結果を精度良く再現した。以上の検討から，前記のとおり，図 - 1 の終局曲率と Mattock⁴⁾の算定式から得られる塑性ヒンジ長を用いることで，座屈発生点に対応する RC 橋脚の終局変位が算定できる。

3. 提案手法による RC 柱の靱性能評価

既往の RC 柱の正負交番載荷実験との比較から，提案手法の妥当性を検証した。用いた 57 体の実験供試体は，実験報告中に座屈発生点，またはかぶりコンクリートの剥落点 が明記されたものを対象とし，柱基部での鉄筋のフーチングからの抜出しの影響は参考文献⁵⁾に従い考慮した。また，道路橋示方書から算定される RC 柱の終局変位は，かぶりコンクリートの剥落点に概ね対応することから，その精度を検証し，提案手法との比較を行った。

結果を，図 - 3 および図 - 4 に示す。図 - 3 から，提案手法による終局変位は，全体的に実験結果と良好に対応していることが確認できる。これに対し，図 - 4 に示した道路橋示方書の検討では，実験結果に対するばらつきが大きく，適用範囲外となる供試体などでは，実験結果を過大に評価した。また，図中に併記した各算定手法の終局変位と実験値の比の平均値および変動係数からも，提案手法は，現行の道路橋示方書と比べて広範な供試体諸元に対応し，ばらつきの小さい評価を与えることが確認できる。

4. まとめ

本研究では，座屈解析を行うことなく，簡便に RC 橋脚の座屈発生点に対応した終局変位を算定する手法を提案した。そして，既往の正負交番載荷実験との比較から，提案手法は広範な断面諸元を有する RC 柱のかぶりコンクリートの剥落点や座屈発生点を精度良く再現できることが確認された。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996.
- 2) 内藤英樹ほか：軸方向鉄筋の非弾性座屈解析に基づく単柱式 RC 橋脚の終局変位算定法，コンクリート工学年次論文集，2002.(投稿中)
- 3) 加藤大介，大矢廣之：RC 部材における中間主筋の座屈性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，pp.425-430，1993.
- 4) Mattock, A.H.: Discussion of Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beam by W.G. Corley, Structure Div., ASCE, pp.519-522, 1967.
- 5) 渡邊忠朋ほか：鉄筋コンクリート部材の損傷状況を考慮した変形性能算定手法，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.31-45，2001.

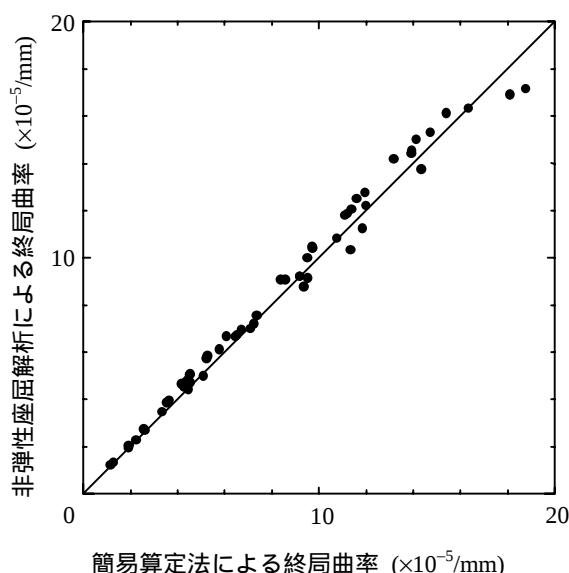


図 - 2 簡易手法による終局曲率の精度検証

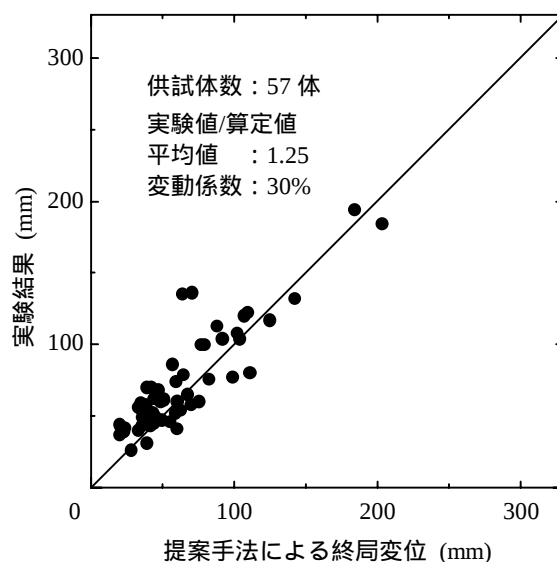


図 - 3 提案手法による RC 柱の靱性能評価

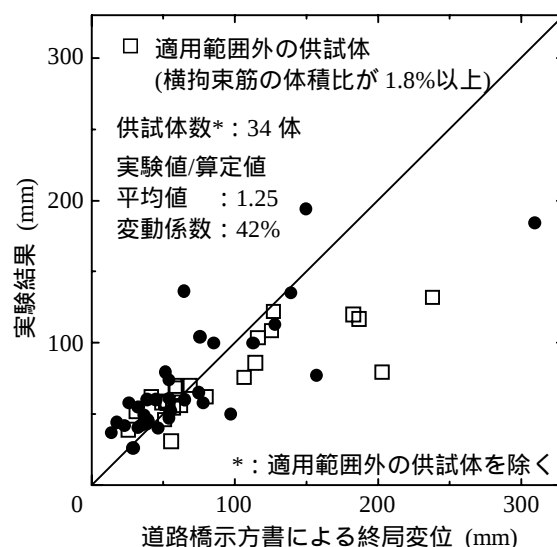


図 - 4 道路橋示方書による RC 柱の靱性能評価