

V-38

軸方向鉄筋の座屈に着目した RC 橋脚の終局変位算定法

東北大学 学生員 ○内藤 英樹
東北大学 正会員 秋山 充良
東北大学 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曲率算定法

本研究では、加藤・大矢²⁾の研究を参考に、交番載荷における軸方向鉄筋のパウシガー効果、およびかぶりコンクリートと帯鉄筋の拘束効果を考慮した座屈モデルを構築した。さらに、この座屈モデルを用いた解析結果から、座屈解析を必要としない簡易算定式(1)～(6)を導出することにより、終局曲率 ϕ_u を図-1に従い算定する。

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

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

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

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

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

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

ここで、 $\alpha = 220$ 、 $\gamma = 0.045$ 、 $\alpha_x = 0.65$ 、 $b = 1/100$ 、 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} は帯鉄筋の降伏応力、 a_{we} は有効横補強筋断面積²⁾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。また、 k は次に示す朝津ら³⁾および星隈ら⁴⁾の実験との比較から0.03と同定した。なお、提案手法では、座屈区間が予め与えられないため、想定可能な座屈区間 N_B 全てに対する検討が必要となる。

図-1のフローに従い算定される終局曲率と、朝津らおよび星隈らの実験結果との比較を図-2に示す。なお、実験では、かぶりコンクリートの剥落が観察された載荷ステップでの柱基部の曲率値を測定しており、実験での終局曲率は、座屈区間における測定値の平均値とした。図-2から、提案手法は実験結果を概ね再

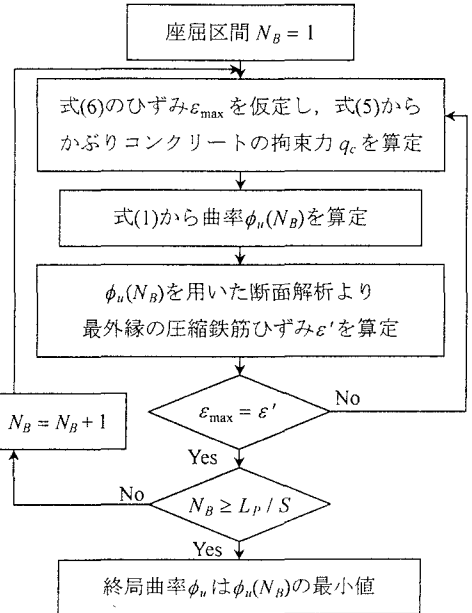


図-1 終局曲率の算定フロー

現しており、座屈解析を必要としない図-1 のフローにより座屈発生時の断面曲率を算定できることが確認された。

3. 塑性ヒンジ長の検討

本研究では、道路橋示方書の手法を援用した終局変位算定法を提案するため、次に、図-1 に従い算定される終局曲率 ϕ_u に対応した塑性ヒンジ長 L_p の検討を行う。まず、道路橋示方書と同様の塑性ヒンジ区間を設けた曲率分布を仮定し、実験から得られた終局変位と図-1 の終局曲率から、塑性ヒンジ長 $L_{u,exp}$ を逆算した。そして、既往の塑性ヒンジ長算定式との比較を行った結果、図-3 に示す Mattock の算定式⁵⁾ が最も平均的に $L_{u,exp}$ を再現した。

以上の検討から、図-1 の終局曲率と Mattock の塑性ヒンジ長を用いて、道路橋示方書の手法を援用することにより、座屈発生点に対応した RC 橋脚の終局変位が算定できる。

4. 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引き抜けの影響は参考文献⁶⁾に従い考慮した。図-4 に示す検討結果から、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。特に、横拘束筋の体積比が 1.8% を超えるような帯鉄筋が密に配筋された供試体に対しても、妥当な終局変位を得ることができた。

5. 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) 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.
- 3) 朝津直樹ほか：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.
- 4) 星隈順一ほか：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.
- 5) Mattock, A.H. : Discussion of Rotational Capacity of Reinforced Concrete Beam by W.G. Corley, Structure Div., ASCE, pp.519-522, 1967.
- 6) 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.

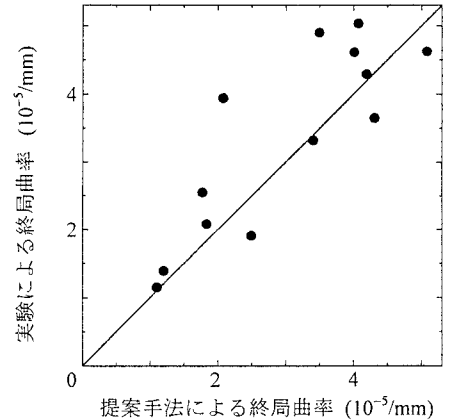


図-2 終局曲率の検討

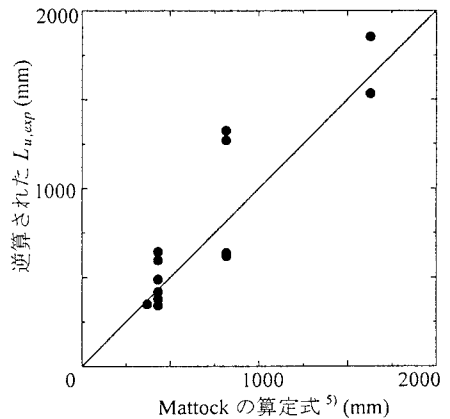


図-3 塑性ヒンジ長の検討

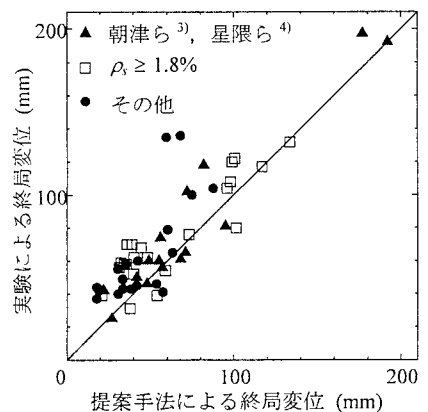


図-4 提案手法による靱性能評価