

軸方向鉄筋の座屈長からみた R C 橋脚の塑性ヒンジ長算定式

復 建 調 査 設 計 正 会 員 浅津直樹
建設省土木研究所 正 会 員 運上茂樹
建設省土木研究所 正 会 員 星隈順一

1. はじめに 塑性ヒンジ理論によって鉄筋コンクリート（以下 R C ）橋脚の終局水平変位を正確に評価するためには、塑性ヒンジ長を合理的に設定することが必要である。しかしながら、塑性ヒンジ長は、断面高さ及びせん断支間比の他、軸方向鉄筋径や帯鉄筋等によって変化することが指摘されており、詳細については十分解明されていないのが現状である。本稿では軸方向鉄筋の座屈長と塑性ヒンジ長の関係に着目し、有限変位 F E M 解析によって算出した軸方向鉄筋の座屈長と既往の正負交番載荷実験から逆算した塑性ヒンジ長の相関関係について報告すると共に、座屈長からみた塑性ヒンジ長の算定式に関して提案を行う。

2. 軸方向鉄筋の座屈解析 軸方向鉄筋の座屈長は有限変位理論による非線形 F E M 解析によって算出した。解析モデルとしては、R C 橋脚のうち最外縁の軸方向鉄筋が塑性化する柱基部のみを対象とし、軸方向鉄筋が帯鉄筋に拘束された状態を、図-1 に示すようにバネ要素に支持された梁要素としてモデル化した。バネ要素のバネ定数 $K(\text{N/mm})$ は帯鉄筋及びかぶりコンクリートによって式(1)で与えられるものとした¹⁾。ただし、圧縮側についてはコアコンクリート壁面をモデル化した剛バネとした。

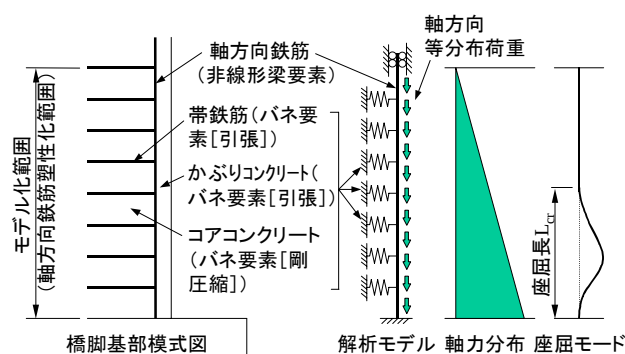


図-1 F E M による座屈解析モデル

$$K = \frac{384E_o I_h}{nd^3} + k_o c_o s \quad (\text{矩形断面}) \quad K = \frac{2E_o A_h \sin(\pi/n')}{d} \quad (\text{円形断面}) \quad (1)$$

ここに、 E_o 、 I_h 、 A_h 、 d 、 s ：横拘束筋の弾性係数(N/mm^2)、断面 2 次モ - メント(mm^4)、断面積(mm^2)、有効長(mm)、間隔(mm)、 n ：横拘束有効長内に含まれる軸方向鉄筋本数、 k_o ：実験から逆解析したかぶりコンクリートのバネ算出係数で 0.01N/mm^3 、 c_o ：軸方向鉄筋の純かぶり(mm)、 n' ：円形断面橋脚の全軸方向鉄筋本数

軸方向鉄筋圧縮時の応力 - ひずみ関係としては、引張時の塑性化によって生じるバウシンガー効果の影響を考慮し、加藤モデルにおけるバウシンガー部の軟化曲線を用いた。また、塑性化範囲における軸方向鉄筋の軸力の分布としては三角形分布を仮定し、この分布を再現するために梁要素に等分布の軸方向荷重を漸増載荷して座屈を発生させた。なお、座屈を誘起するために、梁要素には予め微小な曲率を与えた。

3. 軸方向鉄筋の座屈長と塑性ヒンジ長の関係 軸方向鉄筋の座屈長と塑性ヒンジ長の関係について検討を行うために、既往の正負交番載荷実験供試体（載荷高さ h ）の塑性ヒンジ長 L_p を式(2)から算出した。

$$\delta_u = \delta_y + (\phi_u - \phi_y)L_p(h - L_p/2) + \delta_\theta \quad (2)$$

ここで、 δ_u は平成 8 年の道路橋示方書 耐震設計編（以下、道示）の終局時の定義に相当するかぶりコンクリートが剥離し始める時に計測された載荷点の水平変位とし、このときに計測された軸方向鉄筋のフーチングからの伸び出し量より求めた水平変位を δ_θ とした。また、 δ_y 、 ϕ_u 、 ϕ_y は載荷点における降伏変位、終局曲率、降伏曲率であり、道示の方法による計算値を用いた。

図-2 は矩形断面供試体における座屈長解析値と塑性ヒンジ長の関係を示したものである。この図から、矩形断面の場合には座屈長と塑性ヒンジ長は概ね 1 : 1 に対応することがわかる。また、図-3 は円形断面供試

キーワード：鉄筋コンクリート橋脚、塑性ヒンジ長、軸方向鉄筋、座屈長、耐震設計

連絡先：〒732-0052 広島市東区光町 2 丁目 1 0 番 1 1 号 TEL 082-506-1855 FAX 082-506-1897

体（インターロッキング方式の供試体を含む）における座屈長解析値と塑性ヒンジ長の関係を示したものである。ただし、Stone らの供試体については軸方向鉄筋のフーチングからの伸び出し量を終局水平変位の 20～30%と仮定して塑性ヒンジ長を推定した。図をみると円形断面の場合は矩形断面と異なり、座屈長の 3～5 倍程度が塑性ヒンジ長に相当しているといえる。この理由としては、円形断面の柱は最外縁付近の軸方向鉄筋が座屈しても、その周辺の軸方向鉄筋が圧縮応力を分担しながらさらに変形することが可能であり、最初に座屈した軸方向鉄筋の周

辺では座屈部分以外でも柱の塑性化が進展していくためと考えられる。

4．塑性ヒンジ長の算定式 以上より、軸方向鉄筋の座屈長をもとに塑性ヒンジ長を推定することが可能であるとされる。本稿では F E M 解析によって軸方向鉄筋の座屈長を算出する方法を紹介したが、筆者らはこの座屈長の簡易算定式として式(3)を提案している¹⁾。図-4 は式(3)で算定した座屈長と F E M による解析値を比較したものであり、式(3)は十分な精度を有していることがわかる。そこで本研究では式(3)に基づき、式(4)によって塑性ヒンジ長を算定するものとした。ただし、軸方向鉄筋の座屈長はその鉄筋の塑性化範囲よりも長くないことを考慮し、様々なケースに対して鉄筋の塑性化範囲の長さを試算した結果²⁾に基づいて、柱高さ $h(\text{mm})$ の 15% を塑性ヒンジ長の上限值とした。

$$L_{cr} = 8.5 \sigma_{sy}^{1/5} \beta_n^{-1/3} \phi \quad , \quad \beta_n = K/s \quad (3)$$

$$L_p = \alpha L_{cr} = 8.5 \alpha \sigma_{sy}^{1/5} \beta_n^{-1/3} \phi \quad \text{ただし、} L_p \leq 0.15h \quad (4)$$

ここに、 L_{cr} ：座屈長(mm) σ_{sy} ：軸方向鉄筋の降伏点(N/mm²)、 β_n ：等分布バネ定数(N/mm²)、 ϕ ：軸方向鉄筋径(mm)、 L_p ：塑性ヒンジ長(mm)、 α ：断面形状による補正係数で、矩形断面で 1.0、円形断面で 3.0

図-5 は式(4)による塑性ヒンジ長をまとめたものであり、参考のために図中には既往供試体に対して式(4)で算出した塑性ヒンジ長と 3．で算出した実験による塑性ヒンジ長の関係をプロットした。

5．おわりに 本稿では軸方向鉄筋の座屈長と塑性ヒンジ長の関係について検討を行い、この結果に基づいて塑性ヒンジ長の算定式に関する提案を行った。この算定式によれば、R C 橋脚の終局水平変位をより精度良く推定することが可能であると考えられる。

【参考文献】1)浅津直樹、運上茂樹ほか：鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋の座屈長算定式、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、2000.6（投稿中） 2)浅津直樹、運上茂樹ほか：鉄筋コンクリート橋脚における塑性ヒンジ領域の検討、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集 -B、pp.356-357、1999.9

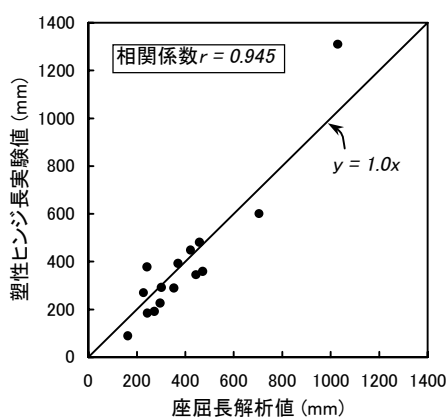


図-2 矩形断面供試体における座屈長解析値と塑性ヒンジ長の関係

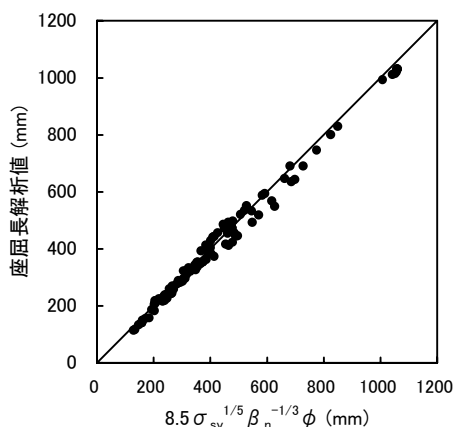


図-4 座屈長算定式の精度

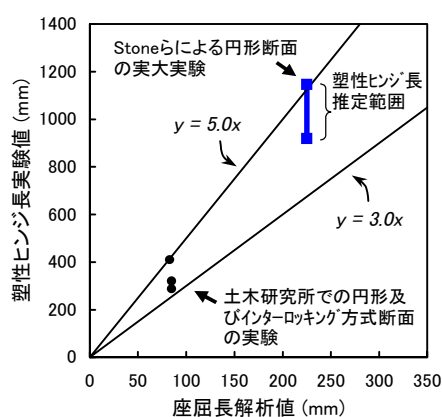


図-3 円形断面供試体における座屈長解析値と塑性ヒンジ長の関係

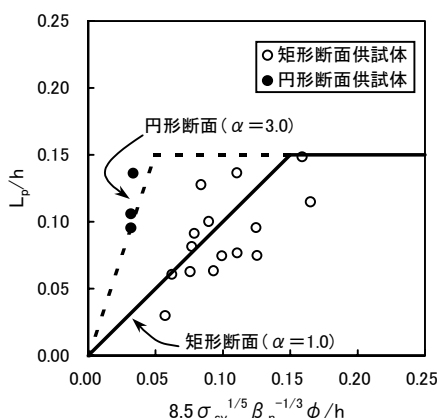


図-5 塑性ヒンジ長の算出方法及び提案式と実験値の比較