

論文 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

浅津 直樹^{*1}・運上 茂樹^{*2}・星隈 順一^{*3}

要旨：鉄筋コンクリート橋脚における塑性ヒンジ長をより合理的に設定するためには、塑性ヒンジ長と関係の深い軸方向鉄筋の座屈長の影響を考慮する必要がある。このためには座屈長を簡易式で推定する方法を検討する必要がある。そこで、本論ではFEMによる座屈解析結果を踏まえて、軸方向鉄筋の材料非線形性を考慮した座屈長の簡易算定式を提案した。また、矩形断面及び円形断面を有する橋脚に対して、この算定式に用いるバネ定数の算定方法を提案した。さらに、これらの方法によって算定した軸方向鉄筋の座屈長は、実験結果との比較によって十分な精度を有していることを確認した。

キーワード：鉄筋コンクリート橋脚, 軸方向鉄筋, 座屈長, 塑性ヒンジ長

1. はじめに

曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚では、正負交番の繰返し载荷を受けると柱基部において軸方向鉄筋の座屈が発生し、終局状態に至る場合が多い。このときに観察される軸方向鉄筋の座屈長は柱基部の塑性ヒンジ長に大きな影響を与える可能性がある^{1),2)}。

したがって、軸方向鉄筋の座屈長を予め算定し、これを塑性ヒンジ長に反映することができれば、塑性ヒンジ理論によって推定される橋脚の終局水平変位はより合理的なものになると考えられる。しかしながら、柱基部に発生する軸方向鉄筋の座屈は、引張時の塑性化の影響を受ける非線形座屈となるため、座屈長の算定は詳細な解析に頼らざるを得ないのが現状である。

このような背景から、本論では有限変形理論に基づく非線形FEMによる座屈解析結果を踏まえ、鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋の座屈長を簡易的に算定する方法を検討した。

2. FEM解析による座屈長の算定

座屈長の簡易算定式の構築に際し、その元と

なる有限変形理論に基づく非線形FEMによる座屈解析の手法³⁾について紹介する。

2.1 座屈メカニズムについて

鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋は帯鉄筋とかぶりコンクリートによって拘束され、ある段階の変位までは座屈の発生が抑制される。しかし、曲げひびわれが進展するとかぶりコンクリートの拘束力が徐々に低下していくため、最終的に座屈が生じると考えられる。

図-1は正負交番载荷実験における軸方向鉄

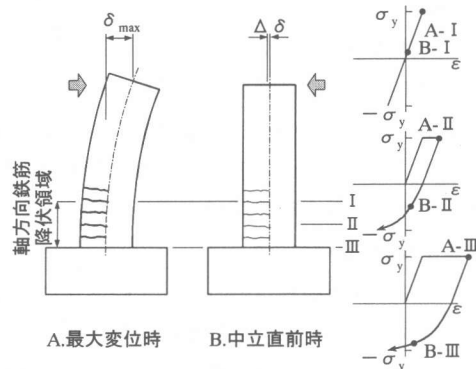


図-1 軸方向鉄筋の降伏領域と応力・ひずみ状態

*1 建設省土木研究所耐震技術研究センター耐震研究室交流研究員 工修 (正会員)

*2 建設省土木研究所耐震技術研究センター耐震研究室室長 工博 (正会員)

*3 建設省土木研究所耐震技術研究センター耐震研究室主任研究員 工博 (正会員)

筋の降伏領域とその部分の応力ひずみ関係を模式的に示したものである。ある荷重段階の最大変位時Aにおいて、引張側の最外縁の軸方向鉄筋に着目すると、それが降伏して塑性化する領域は図に示すように柱基部である高さをもって存在する。

この後、逆方向に荷重してBの段階まで変位を戻していくと、軸方向鉄筋のひずみはゼロに近づくが、柱基部では降伏応力に近い残留圧縮応力が生じる。このとき、コンクリートに生じた曲げひびわれは開いたままであり、荷重が完全に圧縮側に転じて曲げひび割れが閉じた場合よりも、かぶりコンクリートの拘束は弱くなっている。したがって、この段階でかぶりコンクリートの拘束力がある限界点以下になっていれば、軸方向鉄筋の座屈が生じると考えられる。荷重が圧縮側に転じる前に軸方向鉄筋の座屈が発生する現象は、既往の研究³⁾でも報告されている。

2.2 モデル化と解析方法

上述の考察を踏まえ、軸方向鉄筋が降伏して塑性化する領域のみをモデル化の対象とした。モデル化としては、図-2に示すように軸方向鉄筋を梁要素、帯鉄筋及びコンクリートの影響を引張側と圧縮側でバネ定数が異なるバネ要素として評価した。すなわち、バネ要素の引張側は後述するように帯鉄筋やかぶりコンクリートから与えられるものとし、圧縮側についてはコアコンクリート壁面のモデル化として十分剛なバネを与え、軸方向鉄筋が波打つようなモードとならないようにした。

軸方向鉄筋圧縮時の応力-ひずみ関係としては、引張時の塑性化の影響を考慮し、図-3に示す加藤モデル⁴⁾におけるパウシンガー効果を考慮した軟化曲線を用いるものとした。

また、モデル化範囲における軸方向鉄筋の圧縮応力の分布としては、図-1に示したように降伏領域の上端でゼロ、下端で最大となるような分布が想定されるため、ここでは最も単純な三角形分布を仮定した。そして、このような分

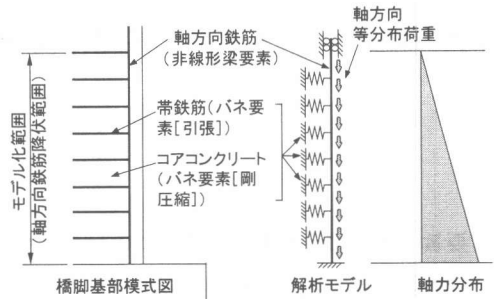


図-2 FEMによる座屈解析モデル

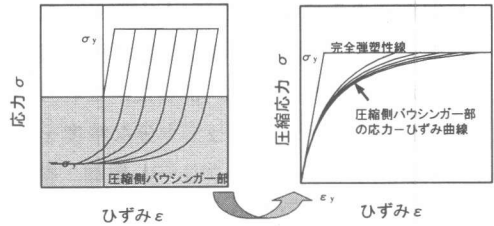
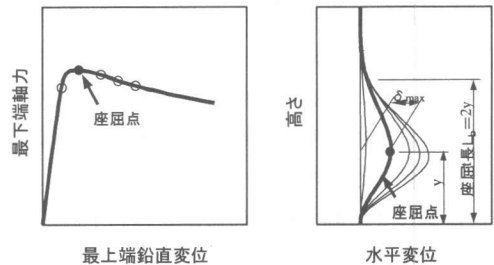


図-3 加藤モデルにおける鉄筋の応力-ひずみ関係



(a) 荷重-鉛直変位関係 (b) 座屈モード

図-4 座屈解析結果の一例と座屈長の定義

布を再現するために、梁要素に等分布の軸方向圧縮荷重を載荷するものとした。解析はこの荷重分布を保ったまま荷重を漸増させ、座屈現象をシミュレーションした。なお、座屈を誘起させるために、梁要素には予め微小な曲率を与えるものとした。

2.3 解析における座屈長の定義

座屈解析を実施すると、図-4(a)のような荷重と鉛直変位の関係が得られる。この曲線において最大荷重が生じる点が座屈点である。このときの変形状態は図-4(b)の太線のように表され、座屈後もこのモードをほぼ保ちながら変形が進んでいく。したがって、本研究では、座屈点の変形状態より座屈長を算定するものと