

## V-562

## 橋脚軸方向鉄筋の圧縮座屈に関する一考察

清水建設 技術研究所 正会員 長澤 保紀

## 1. はじめに

既設の鉄筋コンクリート橋脚において曲げじん性の向上を図る耐震補強の検討が各所でなされている。

その際、正負繰返しに伴ってコンクリートかぶりが剥落し、軸方向鉄筋が圧縮座屈する現象をいかに防止あるいは遅延させるかが曲げじん性向上のポイントとなる。座屈現象はオイラー座屈に代表されるように柱材の剛性ならびに支承条件に大きく影響される。特に、曲げじん性向上の検討においては、軸方向鉄筋には比例限度ならびに降伏点を越えたひずみ硬化域での座屈応力度が作用することとなるため、その検討は非常に困難を極める。既往の研究においても、F. Engesser, L. v. Tetmajer, Rankine, Th. v. Karman, F. R. Shanley, J. B. Johnson 等が各種理論式を提案しているが、降伏点近傍を越えた応力度での座屈モデルの構築には至っていない。本報告では、この座屈モデルの構築については今後の研究の進展に期待することとし、座屈モデルとしてオイラーの弾性座屈モデルを用いて、軸方向鉄筋を拘束する諸要因について2～3の検討を試みたものである。

## 2. 検討方法

既往の実験的研究によれば、軸方向鉄筋の座屈長さは橋脚の全背あるいは有効高さ程度といわれており、検討を進めるために、本検討では座屈長さを有効高さとして仮定した。また、橋脚の断面諸元においても、引張鉄筋および圧縮鉄筋をそれぞれ1段で $k$ 本ずつの配筋とし、軸方向鉄筋の鉄筋中心間隔を鉄筋径の5倍（ $5\phi_t$ ）とし、断面幅を $5k\phi_t$ 、帯鉄筋を橋脚高さ $d$ に対して $m$ 本を配置することとした。

軸方向鉄筋比の検討の範囲は0.002～0.016の範囲として検討を進めた。軸方向鉄筋の座屈を拘束するメカニズムとして、ここでは、軸方向鉄筋は長柱の弾性座屈現象を起こすが、帯鉄筋が長柱の中間弾性バネとなって作用し、座屈応力度を向上させるものと考えた。ただし、帯鉄筋は両端の軸方向鉄筋を除くすべての軸方向鉄筋から均等な水平力の作用を受ける単純梁と考え、中間弾性バネとしての剛性は、その単純梁の中央たわみに代表される剛性と等しいと仮定し、軸方向鉄筋本数によって変化するものとした。そのイメージを図示すると図-1のようである。

断面諸元の関係は以下のものである。

$$p_t = A_s / b d = (k \pi \phi_t^2 / 4) / (5k \phi_t) / d = \pi \phi_t / (20 d) \quad \therefore d = \pi \phi_t / (20 p_t)$$

$$p_w = A_w / b s = (2 \pi \phi_w^2 / 4) / (5k \phi_t d / (m+1)) = [2(m+1) p_t \phi_w^2] / [k \phi_t^2]$$

$$\therefore \phi_w^2 = [k p_w \phi_t^2] / [2(m+1) p_t]$$

帯鉄筋中央のバネ定数 $c$ は等間隔多点集中荷重（ $P$ ）が作用する単純梁の中央たわみ $\delta$ として下式のように求められる。

$$c = P / \delta = \{ 48 E I / L^3 \} \cdot [8(k-1) / (5k^2 - 10k + 1)] \quad [k \text{ が奇数の場合}]$$

$$c = \{ 48 E I / L^3 \} \cdot [8(k-1)^3 / \{ k(k-2)(5k^2 - 10k + 6) \}] \quad [k \text{ が偶数の場合}]$$

ここで、 $I = \pi \phi_w^4 / 64$ 、 $L = 5(k-1)\phi_t$ 、 $\phi_w^2 = [k p_w \phi_t^2] / [2(m+1) p_t]$ であるから、

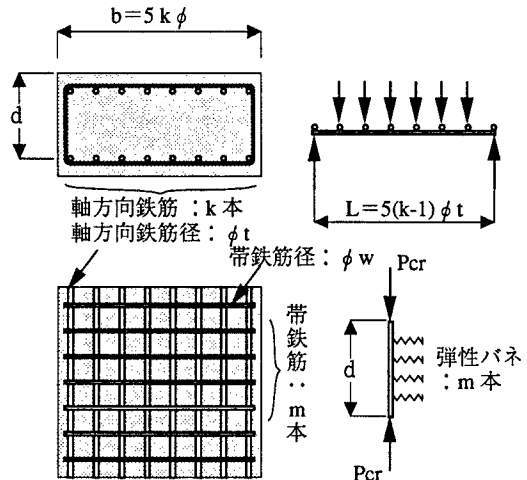


図-1 橋脚軸方向鉄筋の座屈検討モデル

$$c=6\pi k^2 p_w^2 E \phi_t / [500(k-1)^2(5k^2-10k+1)(m+1)^2 p_t^2] \quad [k \text{ が奇数の場合}]$$

$$c=6\pi k^2 p_w^2 E \phi_t / [500k(k-2)(5k^2-10k+6)(m+1)^2 p_t^2] \quad [k \text{ が偶数の場合}]$$

一方で、中間バネを有する軸方向鉄筋の座屈荷重ならびに座屈応力度  $\sigma_{scr}$  は下式で求められる。

バネ定数  $c \geq \beta$  の場合に  $P_{cr} = (m+1)^2 \pi^2 E I / L^2$  ただし、 $\beta = 4(m+1)^2 \pi^2 E I / L^3 \cdot \cos^2 [\pi / (2(m+1))]$

ここで、 $I = \pi \phi_t^4 / 64$ 、 $L = d = \pi \phi_t / (20 p_t)$  であるから、

$$\sigma_{scr} = 25(m+1)^2 p_t^2 E$$

$$\beta = 500(m+1)^2 E \phi_t p_t^3 \cdot \cos^2 [\pi / (2(m+1))]$$

## 2. 検討結果と考察

図-2～4ならびに表-1に検討結果を示す。図-2では有効高さを座屈長さとした時の帯鉄筋拘束なしでの座屈応力度と軸方向引張鉄筋比の関係を示しており、鉄筋比が増加するに従って座屈応力度は増加する傾向にある。図-3では、帯鉄筋を中間バネとして配置する場合に軸方向鉄筋比が小さいほど本数を増やす必要があるが、 $p_t \geq 0.005$  では（有効高さ/2）の配置で剛性の高い帯鉄筋を配置すれば、座屈応力度を十分に改善できることを示している。そこで  $p_t = 0.01$  の時の帯鉄筋拘束なしでの座屈応力度  $5250 \text{ kgf/cm}^2$  を実用上の座屈応力度と捉えこの応力度での弾性バネ数・軸方向鉄筋比・中間バネ剛性特性値の関係を求めたところ表-1のようであった。そして、この状態での軸方向鉄筋本数と帯鉄筋比の関係を求めたところ、図-4のような直線関係を得た。

## 3. まとめ

本検討では、実験結果との対比、鋼板補強ならびに炭素繊維補強による拘束については触れなかった。今後さらに検討を進め、橋脚軸方向鉄筋の座屈抑止設計モデルの提案ができればと考えている。

表-1  $\sigma_{scr}=5250 \text{ kgf/cm}^2$  時の組合せ

| 弾性<br>バネ数<br>m | 軸方向<br>鉄筋比<br>pt | 必要バネ剛性特性値<br>$\beta / \phi_t$<br>( $\text{kgf/cm}^2$ ) |
|----------------|------------------|--------------------------------------------------------|
| 4              | 0.0020           | 950                                                    |
| 3              | 0.0025           | 896                                                    |
| 2              | 0.0033           | 788                                                    |
| 1              | 0.0050           | 525                                                    |
| 0              | 0.0100           | 0                                                      |

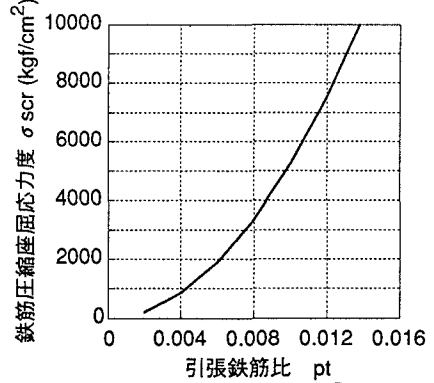


図-2 有効高さを座屈長さとした時の軸方向鉄筋座屈応力度と引張鉄筋比の関係

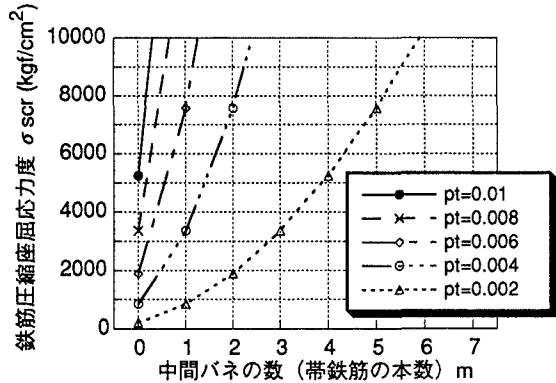


図-3 剛性が高い帯鉄筋を弾性バネとして配置した時の軸方向鉄筋座屈応力度と帯鉄筋本数の関係

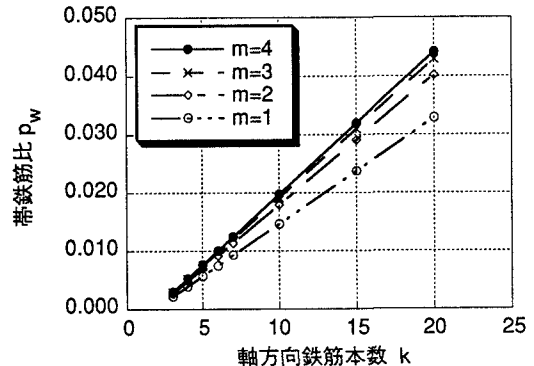


図-4 軸方向鉄筋座屈応力度を  $5250 \text{ kgf/cm}^2$  とした時の必要帯鉄筋比と軸方向鉄筋本数の関係