

連続補剛板の平均応力－平均ひずみ関係のモデル化

名古屋工業大学 学生員 石川 貴士

日本車輛製造 正会員 小澤 一誠

名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顕

1. まえがき

鋼製橋脚の解析において、局部座屈を考慮し後座屈状態まで精度良く解を得るためには、通常、板要素を用いた全体 FEM 解析を行なわなければならない、膨大な計算を必要とする。本稿では、矩形橋脚の局部座屈が予想される補剛板の平均応力－平均ひずみ関係を骨組の弾塑性有限変位プログラムに組み込み、局部座屈を考慮した簡易解析を行なう前段階として、2 径間単純支持および一端固定他端単純支持の任意断面連続補剛板に対する単調載荷時の平均応力－平均ひずみ関係をモデル化することを目的としている。

2. 解析モデル

図 1-(a), (b) に示す 2 径間単純支持および一端固定他端単純支持連続補剛板を、変位制御により平均ひずみ 5% まで圧縮単調載荷解析を行なった。ここで 2 径間による解析を行なった理由として、1 径間で補剛板を圧縮した場合、初期たわみの波形方向の影響によりリブ部に引張りまたは圧縮どちらかの変形モードが生じ、それにより解析結果に違いが生ずることと、座屈モードの局所化が考慮できないためである。また、一端固定他端単純支持の連続補剛板モデルは橋脚躯体基部に対応するものである。ここで、材料構成則として図 2 に示す SM570 の引張り試験から得られた応力－ひずみ関係¹⁾を用いる。残留応力は図 3-(a), (b) に示す板パネル部、リブ部共にそれぞれの間で自己釣り合いを保つように理想化した応力分布²⁾を採用する。初期たわみは道路橋示方書による許容初期たわみの規定に従うものであり、文献 1 を参考にした。

3. 補剛板の支配パラメータ

補剛板の断面を決定する支配パラメータとして以下の 4 つを採用した。

1) 補剛材間板パネル幅厚比

$$Rr = \frac{b}{nt} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{4\pi^2}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad \left(\begin{array}{l} b: \text{板パネル幅, } t: \text{板厚, } \nu: \text{ポアソン比} \\ \sigma_y: \text{降伏応力, } E: \text{ヤング係数} \end{array} \right)$$

2) 無次元化剛比

$$\gamma/\gamma^* \quad \left(\gamma = \frac{EI_\ell}{bD}, D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}, I_\ell = \frac{t_r h_r^3}{3}, t_r: \text{リブ厚, } h_r: \text{リブ高} \right)$$

ここに最適剛比 γ^* について、単純支持条件下では座屈設計ガイドラインによるものとし、一端固定他端単純支持条件下では直行異方性板理論に基づく弾性座屈解析を行ない、それによって求めたものとした。

3) アスペクト比 $\alpha = a/b$ (a : 径間長 (横リブ間隔))

4) 補剛材間板パネル数 n

なお、リブ高 h_r とリブ厚 t_r の比はこの 4 つのパラメータからは決定できないため、 $h_r: t_r = 9:1$ の固定値とした。この比は通常の補剛板の断面設計に使用されている値にほぼ近いものである。

そして、これら 4 つのパラメータの範囲を表 1 のように設定した。

4. 平均応力－平均ひずみ関係のモデル化

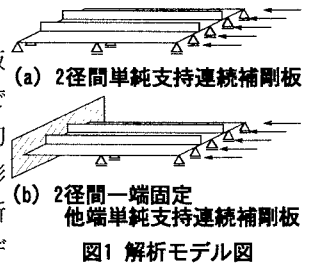


図1 解析モデル図

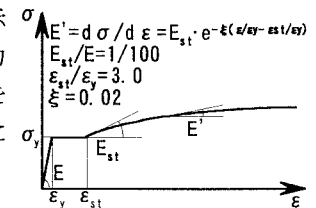


図2 材料構成則

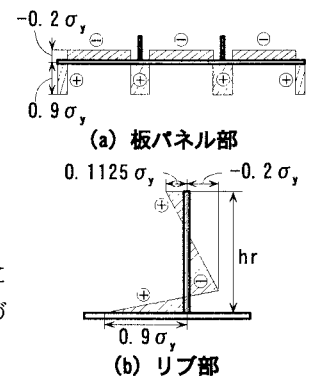


図3 残留応力分布図

表1 支配パラメータの範囲

支配パラメータ	各支配パラメータの範囲
Rr	0.3～0.5
γ/γ^*	1.0～5.0
α	0.5～1.0
n	4～6

図4に示すモデル化を行なうための5つの予測点を求めるために、まず、 $\epsilon_c, \sigma_c, \epsilon_u, \sigma_u, \epsilon_{0.95}, \sigma_f$ が各物理量ごとに次の式

$$g = (a_1 Rr^2 + a_2 Rr + a_3) \left(\frac{\gamma}{\gamma^*} \right)^{b_1} + b_2 \frac{\gamma}{\gamma^*} + b_3 \left(c_1 \alpha + c_2 (d_1 n + d_2) \right)$$

によって補間されると仮定する。その他 $\epsilon_y, \sigma_y, \epsilon_f$ は定数、 $\sigma_{0.95}$ は σ_u から計算される値である。また、 ϵ_c, σ_c は $\epsilon_y < \epsilon_c < \epsilon_u, \sigma_y < \sigma_c < \sigma_u$ である。

この式を展開し、各項の定数を独立とすると未定定数は36個となる。

$$g = a_1 Rr^2 (\gamma/\gamma^*)^\alpha \cdot n + a_2 Rr^2 (\gamma/\gamma^*)^\alpha + a_3 Rr^2 (\gamma/\gamma^*)^n + a_4 Rr^2 (\gamma/\gamma^*) + \dots + a_{33} \alpha \cdot n + a_{34} \alpha + a_{35} n + a_{36}$$

したがって、表1の範囲内で $Rr: 0.3, 0.4, 0.5$ 、 $\gamma/\gamma^*: 1.0, 3.0, 5.0$ 、 $\alpha: 0.5, 1.0$ 、 $n: 4, 6$ を各支配パラメータの基準値として設定し、各基準値の組み合わせをもつ36パターンの補剛板について解析した。これら36種類の解析結果から $\epsilon_c, \sigma_c, \epsilon_u, \sigma_u, \epsilon_{0.95}, \sigma_f$ の値を読み取って各物理量ごとに未定定数 $a_i (i=1 \sim 36)$ を決定した。

これにより、平均応力-平均ひずみ関係における5つの予測点が決定され、これらを直線および2次曲線さらに $1/x^2$ 曲線で結ぶことにより、モデル化を行う。ただし、最大耐力力の95%点から最終ひずみ点までのモデル化について、全36パターンを解析結果と一致させることは困難であった。したがって、最終ひずみまでの全吸収エネルギーが解析結果と一致するように解析から得られた基準値の σ_f の値を各パターンごとに変化させ、 σ_f に対する未定定数 $a_i (i=1 \sim 36)$ を決定し直し、その後、再びモデル化を行なった。

5. 解析値と近似曲線との比較

補剛板の平均応力-平均ひずみの解析結果と4.で得られた近似モデルの比較を図5, 6に示す。図5は各支配パラメータが基準値のときの、近似モデルと解析結果の比較であるため、どれも比較的精度よく近似できていることがわかる。ただし、最大耐力力の95%点以後、先に述べたように、(a)のようになりよく一致する場合と、(b), (c)のように若干差が生ずる場合がある。

図6-(a)~(d)は各支配パラメータが基準値でない場合の近似モデルと解析結果の比較である。各支配パラメータが基準値であるときほど精度よく近似できていないが、各パラメータの変化による傾向をとらえた比較的よい近似ができています。

6. まとめ

設定した範囲内の支配パラメータにより決定される任意断面の補剛板に対し、圧縮単調荷重時における平均応力-平均ひずみ関係のモデル化が比較的精度よく行なえることがわかった。今後この関係をもとにくり返し荷重下の構成関係のモデル化を行う予定である。

【参考文献】1) 宇佐美勉 他：コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案、土木学会論文集 No. 525/I-33 p. 69-82, 1995. 10 2) 鈴木森昌 他：軸圧縮力と横力を受ける箱形断面鋼片持柱の強度と変形能に関する解析的研究、構造工学論文集 Vol. 41A p. 265-276, 1995. 3

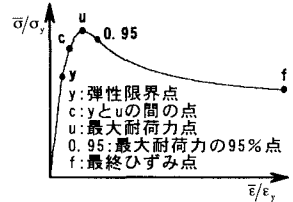


図4 モデル化のための予測点

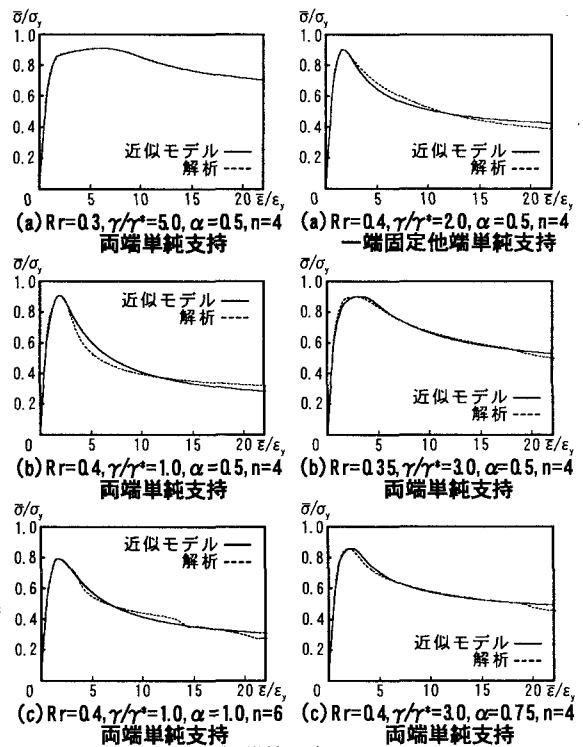


図5 各支配パラメータが基準値のときの応力ひずみ関係の比較

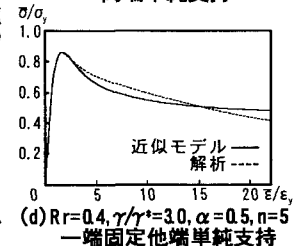


図6 各パラメータが基準値外の場合の応力ひずみ関係の比較