

I - A 124

連続補剛板の平均応力-平均ひずみ関係のモデル化

トビー工業株式会社 正会員 石川 貴士 日本車輛製造株式会社 正会員 小澤 一誠
名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顕

1. 解析モデル 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荷重時の平均応力-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% まで圧縮単調荷重解析を行った。ここで 2 径間による解析を行った理由として、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、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。材料構成則は図 2 に示すとおりとし、図に対応する各パラメータは表 1 に示す値とした。これらは SM490、SM570 各鋼材の材料引張試験から得られたデータ¹⁾をもとにしたものである。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⁾を採用し、SM490、SM570 各鋼材の残留応力値は表 2 に示すとおりとした。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

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

2) 無次元化剛比

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

最適剛比 γ^* については座屈設計ガイドラインによるものとした。

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 つの支配パラメータの範囲を表 3 のように設定した。

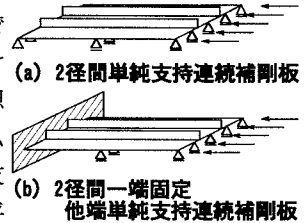


図1 解析モデル図

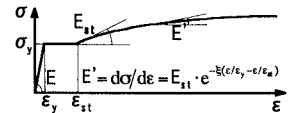


図2 材料構成則

鋼材	SM490	SM570
ξ	0.06	0.02
E/E_{st}	30	100
$\varepsilon/\varepsilon_{st}$	7	3

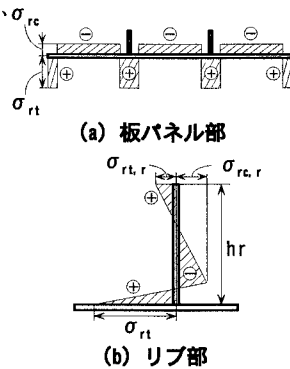


図3 残留応力分布図

鋼材	SM490	SM570
σ_y	36kgf/mm ²	46kgf/mm ²
σ_{rt}	1.00 σ_y	0.90 σ_y
σ_{rc}	0.25 σ_y	0.20 σ_y
$\sigma_{rc,r}$	0.25 σ_y	0.20 σ_y
$\sigma_{rt,r}$	0.14 σ_y	0.11 σ_y

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

キーワード：鋼製橋脚、簡易解析、変形能、局部座屈

〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学社会開発工学科 TEL 052-735-5486

4. 平均応力－平均ひずみ関係のモデル化 図4に示すモデル化を行うための5つの予測点を求めるために、まず、 $\tilde{\epsilon} = \bar{\epsilon}/\epsilon_y, \tilde{\sigma} = \bar{\sigma}/\sigma_y$ として、 $\tilde{\epsilon}_c, \tilde{\sigma}_c, \tilde{\epsilon}_u, \tilde{\sigma}_u, \tilde{\epsilon}_{0.95}, \tilde{\sigma}_f$ が各無次元量ごとに次の式

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

によって予測されると仮定する。その他 $\tilde{\epsilon}_f$ は定数、 $\tilde{\epsilon}_y, \tilde{\sigma}_y, \tilde{\sigma}_{0.95}$ は $\tilde{\sigma}_u$ から計算される値である。また、 $\tilde{\epsilon}_c, \tilde{\sigma}_c$ は $\tilde{\epsilon}_y < \tilde{\epsilon}_c < \tilde{\epsilon}_u, \tilde{\sigma}_y < \tilde{\sigma}_c < \tilde{\sigma}_u$ 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個の以下の式となる。

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

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 $\tilde{\epsilon}_c, \tilde{\sigma}_c, \tilde{\epsilon}_u, \tilde{\sigma}_u, \tilde{\epsilon}_{0.95}, \tilde{\sigma}_f$ の値を読み取って各無次元量ごとに未定定数 $a_i (i=1\sim 36)$ 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2次双曲線で結ぶことにより、モデル化を行う。ただし、最大耐荷力の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 $\tilde{\sigma}_f$ の値を各パターンごとに変化させ、 $\tilde{\sigma}_f$ 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、最大耐荷力の95%点以後、先に述べたように、(a)のようになりにくく一致する場合と、(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。

【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) 小松定夫 他：補剛板の溶接残留応力および初期たわみに関する実験的研究、土木学会論文報告集 第365号, 1977

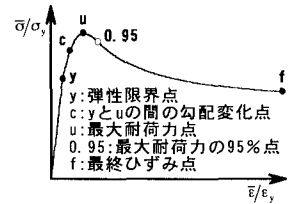
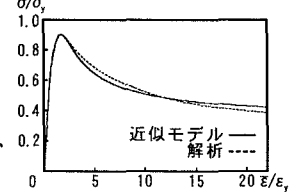
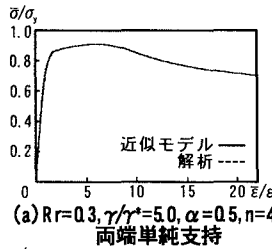


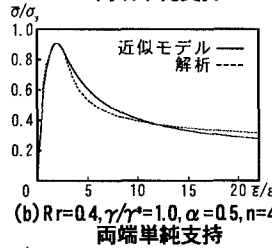
図4 モデル化のための予測点



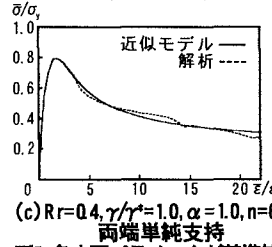
(a) $Rr=0.4, \gamma/\gamma^*=2.0, \alpha=0.5, n=4$
一端固定他端単純支持



(b) $Rr=0.35, \gamma/\gamma^*=3.0, \alpha=0.5, n=4$
両端単純支持



(c) $Rr=0.4, \gamma/\gamma^*=1.0, \alpha=0.5, n=6$
両端単純支持



(d) $Rr=0.4, \gamma/\gamma^*=3.0, \alpha=0.75, n=4$
一端固定他端単純支持

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ときの応力ひずみ関係の比較