

## I-21

## 面内曲げと圧縮を受ける補剛板の極限強度の平均値評価法に関する研究

トピー工業 正員○坪井健一  
 岐阜大学工学部 正員 森脇良一  
 岐阜大学工学部 正員 奈良 敬

1. まえがき 鋼板に補剛材を溶接により配し、その剛度を高めた補剛板は力学的効率の高い構造形式である反面、初期たわみと残留応力という不可避の初期不整によるその強度低下の影響を無視できない。現在、補剛板の極限強度は下限値による評価がされているが、面内曲げと圧縮を受ける補剛板の極限強度の評価法としては断面力を用いた相関式による評価法が提案されている。<sup>1)</sup>但し、相関式を用いて極限強度の評価を行うためには、純圧縮、純曲げ状態の極限強度を精度良くしかも簡単に求めることが必要となる。純圧縮については、多リブモデルによる極限圧縮強度の平均値の評価法がすでに提案されている。<sup>2)</sup>純曲げについては応力分布形を仮定して極限強度を評価する方法が提案されているが<sup>3)</sup>、下限値による評価であり初期不整はばらつきのある一種の統計量であるため、極限強度も統計的に評価すべきであることから、面内曲げを受ける補剛板の極限強度の平均値と相関式による面内曲げと圧縮を受ける補剛板の極限強度の平均値の評価を試みたのでここに報告する。

2. 初期不整の統計的処理 初期不整を考慮に入れた極限強度の評価を行うために初期たわみと残留応力の確率モデルについて考える。初期たわみは板パネルの初期たわみ $W_0$ と縦補剛材の初期たわみ $\delta_0$ の2つが考えられるが $\delta_0$ の方が極限強度に大きな影響力を持つとして $W_0$ は道示の許容値 $150/b$ に固定し、 $\delta_0$ の確率モデルを考える。初期たわみの分布を表す確率密度関数については、次式に示すワイブル分布が適切であることがわかっている<sup>3)</sup>。

$$f(x) = \frac{m}{\alpha} (x - \gamma)^{m-1} \cdot \exp \left[ -\frac{(x - \gamma)^m}{\alpha} \right] \quad (1)$$

$\alpha$ ,  $m$ ,  $\gamma$ はそれぞれ尺度, 形状, 位置を表すパラメータであり、これらの値は文献4)によるものを用いた。また、残留応力の確率モデルについても、ワイブル分布に当てはまると想定し文献5)に基づいてパラメータを求めた。各々の確率密度関数より累積密度関数 $F(x)$ を求め、0から1までの一様乱数を $F(x)$ とし、初期不整値 $x$ を算出する。初期たわみと残留応力は独立とした。

## 3. 面内曲げと圧縮を受ける補剛板の極限強度

(1)解析モデル 面外の境界条件については周辺単純支持と考える。面内荷重、すなわち面内曲げ圧縮応力の導入方法については、載荷辺に曲げ剛性無限大の剛棒を取り付け、応力勾配 $\psi < 2$ (曲げ圧縮)の場合は偏心圧縮変位、 $\psi = 2$ (純曲げ)の場合は剛棒の中心に回転変位を与える変位増分法とした。鋼種は一般的なSM 41を用い、補剛材本数 $n_r=3$ 、補剛材剛比 $\gamma_i/\gamma_i=1.0$ 、板パネルの縦横比 $\alpha=3$ 、幅厚比パラメータ $R=0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 1.1, 1.3$ について解析を行う。

(2)敏感度曲線の作成 初期たわみと残留応力の影響を考慮できる弾塑性有限変位解析法<sup>1)</sup>による結果から、初期不整と極限強度の関係式である敏感度曲線を次式で与える。係数 $a_0 \sim a_8$ を最小二乗法で求める。

$$z = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 x + a_4 xy + a_5 xy^2 + a_6 x^2 + a_7 x^2 y + a_8 x^2 y^2 \quad (2)$$

ここに、 $z = Ku = (N_u / N_y + M_u / M_y)$ 、 $x = \delta_0 / (a / 1000)$ 、 $y = -\sigma_{rc} / \sigma_y$ である。

(3)極限強度の統計的評価 式(2)によって求められた敏感度曲線式に乱数発生させた初期不整値を代入し $\psi$ と $R$ 毎に極限強度の平均値を算出する。

4. 面内純曲げを受ける補剛板の極限強度の推定法 面内曲げを受ける補剛板の極限強度の平均値を文献6)に示される推定法によって評価を行う。

(1) 応力分布形の仮定 弾塑性有限変位解析に基づき、端補剛材位置の補剛材を含む板パネルが極限状態に達したときに補剛板全体が極限状態に達すると仮定し、補剛板端部では降伏応力度 $\sigma_y$ に、端補剛材位置では多リブモデルにより計算される極限平均応力度 $\sigma_u$ <sup>6)</sup>に達する折れ線の応力分布形を図-1中の実線に

示すように仮定する。ここで、多リブモデルというのは、補剛板から取り出した補剛材1本と板パネルよりなるT型断面のモデルをいい、モデル長は横補剛材間隔をとっている。そして、その細長比パラメータによって、縦補剛材剛比の強度に与える影響を考慮できる。多リブモデルの強度の平均値 $\sigma_u$ は式(3)で計算される。

$$\sigma_u/\sigma_Y = \begin{cases} 1.0 & (\bar{\lambda}^* \leq 0.2) \\ \{S - (S^2 - 4\bar{\lambda}^{*2})^{1/2}\} / 2\bar{\lambda}^{*2} & (\bar{\lambda}^* > 0.2) \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 $S=1+C_{ECCS}(\bar{\lambda}^* - 0.2) + \bar{\lambda}^{*2}$ ,  $C_{ECCS}=0.339$ である。

また、 $(\sigma_u/\sigma_Y)_{Plate}$ は板パネルの極限強度の平均値はで式(5)で与えられる。

$$\bar{\lambda}^* = (2400/\sigma_Y)^{0.2} \frac{a \cdot (\sigma_Y/E)^{1/2}}{(\sigma_u/\sigma_Y)_{Plate} \cdot \pi \Gamma^{1/2}} \quad (4) \quad (\sigma_u/\sigma_Y)_{Plate} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.7) \\ (0.7/R)^{0.86} & (R > 0.7) \end{cases} \quad (5)$$

(2) 解析結果との比較  $R=0.5, 0.7, 1.0$ の場合について全体解析結果 $M_{max}$ と推定法 $M_u$ との比較を表1に示す。これより、全体解析結果より $R=0.5, 0.7$ の場合はやや過大な評価を与えており、精度があまり良くない。そこで、図-1中の一点鎖線の応力分布を新しく仮定して面内曲げモーメントを評価することを試みた。補剛板端部において降伏応力度に達する直線分布を基本形とし、端補剛材位置の補剛材を含む板パネル部分は $\sigma_u$ が一様に作用する折れ線の分布形である。この方法により面内曲げモーメントを評価した結果 $M_u'$ と $M_u$ とを比較した結果、全体的に安全側の値を得ることができ、精度も上がる。3本以上の実際的な補剛材本数で幅厚比パラメータ $R$ が $0.5 \sim 1.0$ にある場合、曲げモーメントの平均値を応力分布形を仮定することによって評価することが可能であると思われる。

5. 相関式による極限強度の評価 面内曲げと圧縮を受ける補剛板の極限強度を(6)式で示す相関曲線を用いて評価する。ここでは、純圧縮、純曲げ状態の極限強度の平均値は解析によるものを用いた。

$$(N_u^*)^p + (M_u^*)^q = 1.0 \quad (6)$$

$$N_u^* = (N/N_Y) / (N_u/N_Y)_{p=0}, M_u^* = (M/M_Y) / (M_u/M_Y)_{q=2} \quad (7)$$

$$p=3.636R^2 - 6.458R + 3.821, q=-3.392R^2 + 5.571R - 0.961 \quad (8)$$

解析結果と相関式による評価を比較した結果を図-1に示す。これより、(6)式より図中の点線 $(N_u^* + M_u^* = 1.0 \dots (9))$ の式で極限強度を評価した方が安全な評価が得られることがわかる。

【参考文献】1)奈良 敬・山田浩幸・松永康男・小松定夫：面内曲げと圧縮を受ける補剛板の極限強度に関する研究、構造工学論文集，Vol.33A,1987年3月。2)奈良 敬：縦補剛材で補剛された連続圧縮板の極限強度の評価法，構造工学論文集，Vol.38A,1992年3月。3)奈良 敬・松永康男・福本晴士：面内曲げを受ける補剛板の極限強度の推定法、昭和63年度関西支部年次学術講演会講演概要，1988年4月。4)奈良 敬・小松定夫：補剛された圧縮板の極限強度曲線に関する統計学的研究、土木学会論文集，第392号/1-9,1988年4月。5)小松定夫・牛尾正之・北田俊行：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265号，PP.25-35,1977年9月。6)Nara, S. and Fukumoto, Y., "Étude statistique de la résistance ultime des plaques en acier sollicitées dans leur plan", Construction Métallique, No. 3, 1991.

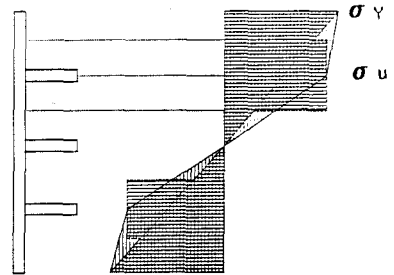


図-1 応力分布形の仮定

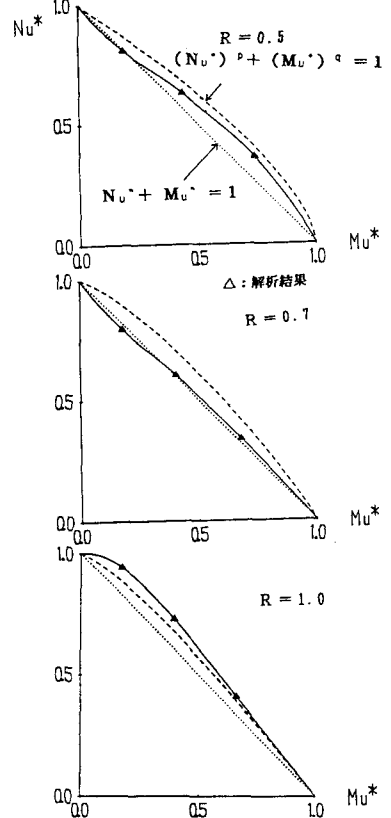


図-2 極限強度の相関曲線