

I-42

面内曲げを受ける鋼板の極限強度に関する統計学的研究

駒井鉄工（株）

正 員 仙田 英俊

岐阜大学工学部

正 員 奈良 敬

岐阜大学工学部

正 員 森脇 良一

1. まえがき

圧縮板については、数多くの実験データならびに実橋を対象とした初期不整の実測データに基づく理論的研究から、その極限強度が統計的に評価されるまでに至っている。鋼板要素の基本強度を明らかにするには、圧縮板のはかに面内曲げやせん断を受ける鋼板の極限強度の統計学的評価が不可欠である。本研究では、面内組合せ荷重を受ける鋼板の極限強度の評価法に関する基礎資料を得ることを目的として、面内曲げを受ける鋼板の極限強度について統計学的な評価できたので報告する。なお、極限強度に多大な影響を及ぼす初期不整については統計量として扱った。本研究の概要を図-1に示す。

2. 初期不整の統計処理

初期不整を考慮に入れた極限強度の評価を行うために、残留応力および初期たわみの確率モデルについて考える。初期たわみの分布を表す確率密度関数については、文献1)によりワイブル(Weibull)分布が良好に適合することがわかっており、そのパラメータも求められている。しかし残留応力については統計処理ができるほどデータがないためワイブル分布にあてはまると想定し文献2)をもとに確率モデルを作成した。

求められた確率密度関数 $f(X)$ より累積分布関数 $F(X)$ を求める。0 から1 までの一様乱数を発生させ、それを $F(X)$ と等置し、初期不整量 X を算出する。初期不整のシュミレーション

において初期たわみと残留応力は独立であるとした。発生させた初期不整はカイ自乗適合度検定により分布ののって発生されているか検定をおこなった。求められた初期不整の頻度分布図を図-2に示す。

3. 敏感度曲線の作成

解析モデルは文献3)と同じである。縦横比は極限強度に最も不利な0.5、鋼種は一般的なSM41とする。このモデルの極限強度を幅厚比パラメータ $R=0.5, 0.6, 0.7, 0.9, 1.1$ について弾塑性有限変位解析により求め、その結果より初期不整と極限強度との関係式である敏感度曲線を最小2乗法により次式にて近似した。

$$z = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 x + a_4 x y + a_5 x y^2 + a_6 x^2 + a_7 x^2 y + a_8 x^2 y^2 \quad (1)$$

ここに、 $z = M_u / M_y$ 、 $x = 150 W_0 / b$ 、 $y = -\sigma_{rc} / \sigma_y$ 、 M_u ：極限面内曲げモーメント、 M_y ：降伏モーメント、 W_0 ：最大初期たわみ、 b ：板幅、 σ_{rc} ：残留圧縮応力、 σ_y ：降伏応力。

4. 極限強度の統計的評価

表-1 極限強度の統計量

$R=0.5 \sim 1.1$ について式(1)によって求められた敏感度曲線に一様乱数を用いたシュミレーションから求められた初期不整量を代入し、極限強度を

R	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1
平均値	1.498	1.475	1.350	1.094	0.959
標準偏差	0.0083	0.025	0.023	0.0030	0.015
変動係数	0.0055	0.017	0.017	0.0094	0.015

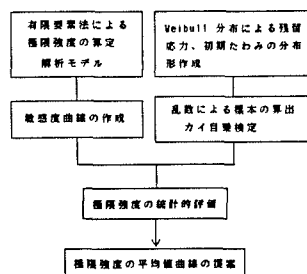


図-1 研究の流れ図

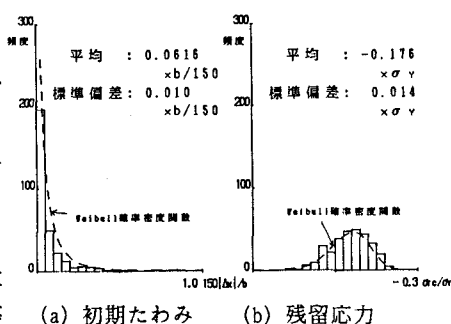


図-2 初期不整の頻度分布

算出した。これらの平均値、標準偏差、変動係数を表-1に示す。また、その頻度分布を図-3に表す。頻度表-3より極限強度のばらつきは幅厚比パラメータRによって変化するものの、その標準偏差はすべて平均値の2%以内におさまっている。

5. 平均値曲線の提案

構造物の耐荷力を極限強度で評価する場合、要素から部材、部材から構造物へと下限値で評価してしまうと安全率が何度も考慮される形になり非常に不経済になってしまう。そのためばらつきのある極限強度を平均値で評価し、最後に安全係数をかけることにより合理的な設計を行うことができると考える。そこで面内曲げを受ける鋼板の極限強度の平均値曲線を提示する。

幅厚比パラメータ毎に得られた極限強度の平均値を用いて極限強度の平均値曲線を次式で表す。

$$\frac{M_u}{M_y} = \left(\frac{R_{cr}}{R} \right) \beta \quad (2)$$

最小2乗法によって上式の係数 R_{cr} 、 β を求めた結果、 $R_{cr}=1.04$ $\beta=0.716$ となった。R=0.5においてはほぼ全塑性モーメントに達すると考えられ、あてはめには除外した。求めた平均値曲線を実線で図-4に示す。また、各Rにおける平均値と曲線との誤差を表-2に示す。図-4には次式に示すように $W_0 = b/150$ の場合で① $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4$ 、② $\sigma_{rc}/\sigma_y = 0$ のときの極限強度曲線³⁾を併せて示す。

$$\textcircled{1} \quad \frac{M_u}{M_y} = \left(\frac{1.21}{R} \right) 0.420 \quad (3)$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{M_u}{M_y} = \left(\frac{0.790}{R} \right) 0.594 \quad (4)$$

R=0.5~0.9付近において平均値曲線は式(3)よりも高い強度を示すが、これは式(3)においては $W_0 = b/150$ 、 $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4$ に固定しているためである。初期たわみが $b/150$ より十分小さいためRの小さい範囲では初期たわみが大きいため極限強度の平均値は式(3)の強度より大きくなる。一方、Rが大きくなると初期たわみによる強度の低下を補うほど残留応力が極限強度に有利に働き、式(3)で表される曲線は、平均値曲線より上になる。

6. あとがき

本研究において面内曲げを受ける鋼板の極限強度の平均値曲線を提示した。この提案式は面内組合せ荷重を受ける鋼板要素の評価法の基礎的資料となるものである。なお、本研究は文部省科学研究費の総合研究A「鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究（代表 福本啓士 大阪大学教授、昭和62年~平成元年）」の一環として実施したものである。

参考文献

1) 小松定夫編：鋼橋部材の形状初期不整と耐荷力の統計学的研究，JSCC, vol. 16, No. 170, pp. 10~43, 1980年4月。2) 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285号, pp. 25~35, 1977年9月。3) 奈良 敬・津田 真・福本啓士：面内曲げと圧縮を受ける鋼板の極限強度の評価法に関する研究，土木学会論文集 第392号/1-9 pp. 259~264, 1988年4月。

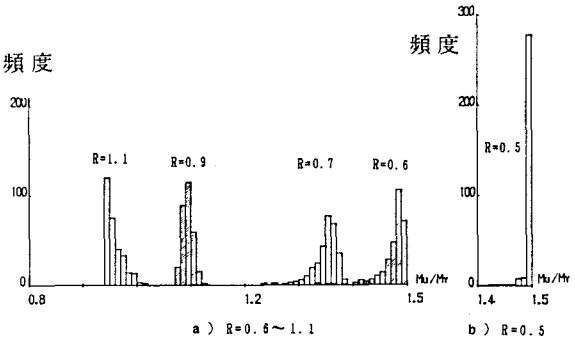


図-3 極限強度の頻度分布

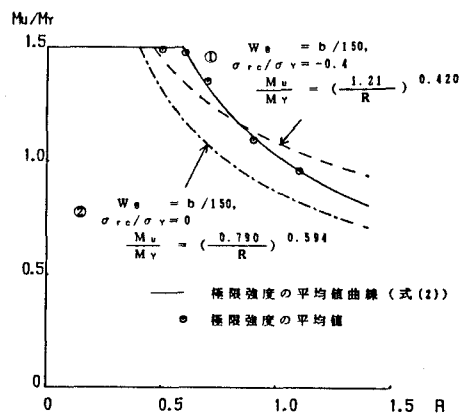


図-4 極限強度の平均値曲線

表-2 近似式の誤差

R	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1
誤差 (%)	0.1	1.7	-1.6	1.4	0.2