

面内組合せ力を受ける鋼板の弾塑性崩壊挙動

岐阜大学大学院 学生員○下野直己

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

初期たわみと残留応力は、ばらつきが大きく、一種の統計量である。したがって、それらの影響を受ける極限強度も統計量である。このため、初期不整が確率論的に与えられた場合に、鋼板の極限強度を統計学的に評価することが、限界状態設計法の推進のために重要である。

文献1)では、面内組合せ荷重を受ける鋼板の極限強度特性について考察が行われている。初期たわみ波形についても、縦横に1半波形 $W_{0.11}$ と、縦横に2半波形 $W_{0.22}$ の比較を行い、後者が極限強度に不利であると報告している。そこでは、両者ともに、道路橋示方書(以下、道示と示す)の許容値を最大初期たわみ量としている。

本研究では、面内組合せ荷重を受ける鋼板の極限強度の統計学的評価を行うにあたり、初期たわみ波形が極限強度に与える影響について、実測の初期たわみデータに基づき考察を行ったのでここに報告する。

2. 解析法

文献1)に示す弾塑性有限変位解析法を用いる。解析モデルは、図-1に示すように、補剛材に囲まれた単一パネルとする。面外の境界条件は周辺単純支持とする。面内境界条件としては、板パネルの周辺に剛性が無限大の剛棒を取り付ける^{2), 3)}。

面内組合せ荷重を受ける鋼板の幅厚比パラメータ R_v は次式のように表される。

$$R_v = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_v}} \quad (1)$$

ここで、 t は板厚、 σ_y は降伏応力、 E はヤング係数、 ν はポアソン比、 k_v は面内組合せ荷重を受ける鋼板の座屈係数を表す。 R_v は、初期不整の影響を大きく受ける0.7とした。縦横比 α は、面内曲げ、圧縮、せん断荷重を同時に受ける場合に0.7、圧縮、せん断の組合せ荷重を受ける場合に0.6、面内曲げせん断の組合せ荷重を受ける場合には1.2とする³⁾。

また、圧縮荷重 N とせん断荷重 S の組合せを λ で、面内曲げモーメント M とせん断荷重の組合せを Ω で表す。

$$\lambda = \frac{N}{N_y} \frac{S_y}{S}, \quad \Omega = \frac{M}{M_y} \frac{S_y}{S} \quad (2)$$

ただし、 $M_y = \sigma_y b^2 t / 6$ 、 $N_y = \sigma_y b t$ 、 $S_y = \tau_y a b t$ 。 τ_y はせん断降伏応力度で、 $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ 。

面内組合せ荷重を受ける鋼板の極限強度の指標には、次式に示す V_u を用いる。

$$V_u = \sqrt{\left(\frac{N_u}{N_y} + \frac{M_u}{M_y} \right)^2 + \left(\frac{S_u}{S_y} \right)^2} \quad (3)$$

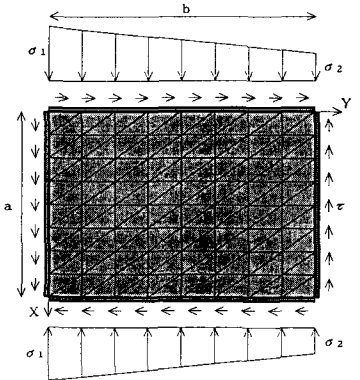


図-1 解析モデル

表-1 初期たわみ波形式(4)の係数

	C_0	C_1	C_2
$W_{0.0}$	1.0	1.0	0.0
$W_{0.1}$	1.0	1.0	0.25
$W_{0.2}$	1.215	1.0	0.5
$W_{0.3}$	1.333	1.0	0.75
$W_{0.4}$	1.563	1.0	1.0
$W_{0.5}$	2.531	1.0	2.0
$W_{0.6}$	0.0	0.0	1.0

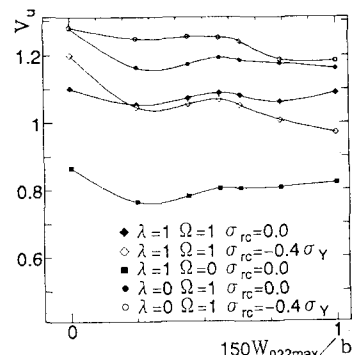


図-2 $W_{0.11}$ と $W_{0.22}$ の混合波形を与えた場合の極限強度

ここで、 M_u ：極限面内曲げモーメント、 N_u ：極限圧縮荷重、 S_u ：極限せん断荷重である。

初期たわみを式(4)に示すように与える。

$$W_0(X, Y) = \frac{1}{c_0} \left\{ c_1 \sin\left(\frac{\pi X}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi Y}{b}\right) - c_2 \sin\left(\frac{2\pi X}{a}\right) \sin\left(\frac{2\pi Y}{b}\right) \right\} \quad (4)$$

c_0 の値は、最大初期たわみ量が道示の許容値 $b/150$ となるように決定した。 W_{011} と W_{022} の組合せ比を7通り考え、それぞれの波形を $W_{0.0} \sim W_{0.6}$ とし、係数の値を表-1に示す。溶接によって生じる残留応力の分布形状は、板のX軸方向および板厚方向で一定値をもつ矩形分布とする。残留引張応力度の大きさを $\sigma_{rt} = \sigma_Y$ とし、残留圧縮応力度 σ_{rc} と自己平衡状態になるように分布幅を決定する。 $\sigma_{rc} = 0.0, -0.4\sigma_Y$ の2通りについて計算を行った。

3. 計算結果

種々の荷重組合せについて解析を行った結果を図-2に示す。各マークは左から順に $W_{0.0} \sim W_{0.6}$ を表している。どの荷重条件でも、 $W_{0.1}$ 付近で極小値があることが分かる。また、 $W_{0.3}$ 付近で極大値があり、そこから $W_{0.22}$ の比率が大きくなると、各々の荷重条件、残留応力の有無によって曲線の形状が異なる。

最小の極限強度を与える初期たわみ波形についてみると、 $\lambda = 1.0, \Omega = 1.0, \sigma_{rc} = 0.0$ と、 $\lambda = 1.0, \Omega = 0.0, \sigma_{rc} = 0.0$ の場合では $W_{0.1}$ が、 $\lambda = 1.0, \Omega = 1.0, \sigma_{rc} = -0.4\sigma_Y$ と、 $\lambda = 0.0, \Omega = 0.1, \sigma_{rc} = -0.4\sigma_Y$ の場合では $W_{0.6}$ が最小の極限強度を与える。また $\lambda = 0.0, \Omega = 1.0, \sigma_{rc} = 0.0$ の場合では、 $W_{0.1}, W_{0.6}$ がほぼ同じ強度で、最小となる。

文献2)は、実際に組み立てられた鋼橋の測定を行っており、種々のたわみ波形のモードの組合せ比率とその最大初期たわみ量の統計値を報告している。これによると、 W_{022} の最大初期たわみ量の平均値は、 W_{011} の最大初期たわみ量の平均値の約 $1/4$ と非常に小さい値である。また、 W_{011} の最大初期たわみ量の平均値は、道示の許容値の3割に満たない。つまり $W_{0.5}, W_{0.6}$ は非現実的な初期たわみ波形であると言え、極限強度の統計学的評価を行う場合には、 $W_{0.5}, W_{0.6}$ を考慮しなくても良いと思われる。

次に、最大初期たわみ量は道示の許容値に比して小さいが、 W_{022} が W_{011} より支配的である場合を考える。初期たわみを W_{022} のみとし、最大初期たわみ量を変化させて極限強度を求め、 $W_{0.1}$ の極限強度 $V_{u,1}$ と比較して図-3に示す。 $\lambda = 0.0, \Omega = 0.1, \sigma_{rc} = -0.4\sigma_Y$ の場合を除いて、最大初期たわみ量が道示の許容値の50%、25%であるときの極限強度は、 $V_{u,1}$ を上回っている。 $\lambda = 0.0, \Omega = 0.1, \sigma_{rc} = -0.4\sigma_Y$ の場合においても、最大初期たわみ量が道示の許容値の50%、25%であるときの極限強度と $V_{u,1}$ の差は非常に小さい。

4. まとめ

今後、初期たわみと残留応力を確率論的に与え、面内曲げ圧縮荷重を受ける鋼板の極限強度の統計学的評価を行う予定である。このとき、初期たわみ波形には、 $W_{0.1}$ を仮定することが妥当であると思われる。なお、 $R = 0.7$ 以外についても検討した結果を講演当日に発表する予定である。

参考文献

- 1) 小松定夫・奈良 敬・山口博章：初期不整を有し面内荷重を受ける板の混合法による弾塑性有限変位解析，昭和58年度関西支部年次学術講演会講演概要，I-32，1983年 5月。
- 2) 奈良 敬・出口恭司・福本嘸士：純せん断力を受ける鋼板の極限強度特性に関する研究，土木学会論文集，第392号/I-9，1988年4月。
- 3) 山口博章：初期不整を有し面内組合せ荷重を受ける鋼板の極限強度特性に関する研究，大阪大学修士論文，昭和58年2月。
- 4) 小松定夫・奈良 敬：圧縮鋼板の初期たわみとその極限強度に関する確率論的研究，IDM委員会報告書第Ⅲ分冊，JSSC，昭和54年3月。

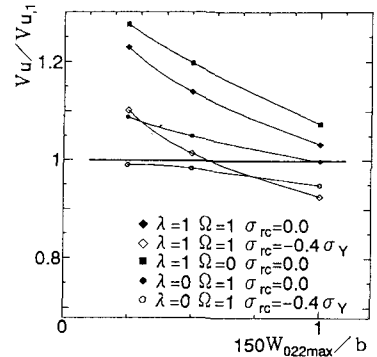


図-3 W_{022} を与えた場合の
極限強度と $V_{u,1}$ の比較