

I-65

面内曲げと圧縮を受ける鋼板の極限強度の評価法について

鹿島建設（株） 正 員 津田 真
 岐阜大学工学部 正 員 奈良 敬
 大阪大学工学部 正 員 福本 晴士

1. まえがき 面内曲げと圧縮を受ける鋼板について求めた極限強度の相関曲線^{1), 2)}と純圧縮および純曲げを受ける場合の極限強度曲線を用いて、面内曲げと圧縮を受ける鋼板の極限強度の評価法について考察したので、ここに報告する。

2. 解析法 数値計算にあたっては、文献3)に示す弾塑性有限変位解析法をひずみ硬化についても考慮できるように拡張した⁴⁾。

3. 解析モデル 初期たわみは道路橋示方書の許容値とした。残留応力については、文献5)に基づいた。境界条件は周辺単純支持とする。載荷方法については、文献1)の通りである。

4. 相関曲線 図-1に残留応力がある場合および残留応力がない場合の極限強度の相関曲線を示す。縦軸 N_u^* は極限圧縮荷重 N_u を純圧縮時の極限圧縮荷重(N_u) _{$\varphi=0$} で無次元化した値、横軸 M_u^* は極限面内曲げモーメント M_u を純曲げ時の極限面内曲げモーメント(M_u) _{$\varphi=0$} で無次元化した値である。図中の実線が極限強度の相関曲線である。幅厚比パラメータ R を0.5、0.9、1.3と変化させている。これらの図より、次の事柄がわかった。①極限強度の相関曲線は、 $N_u^* > M_u^*$ の領域で図中の破線で示された直線 $N_u^* + M_u^* = 1$ から遠ざかっているが、 $N_u^* < M_u^*$ の領域では破線に近づいており、この傾向は R が大きくなるほど顕著である。②図中に記した点は1点を除いて、破線の外側にあることから、図中の破線が下限値を捉えている。③相関曲線では R の大きい領域で残留応力の有無による差異が少し認められるが、残留応力のある場合の相関曲線を用いると安全側に強度を評価できる。

式(1)に示す極限強度の相関曲線の指数 p 、 q と幅厚比パラメータ R との関係は表-1の通りである。ここで、指数 p 、 q に影響を与えるパラメータとして R だけを考え、各々の p 、 q より最小自乗法を用いて p 、 q を R の2次式で表すと精度がよく、式(2)のようになった。

$$(N_u^*)^p + (M_u^*)^q = 1 \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} p &= 0.468R^2 - 1.63R + 2.00 \\ q &= 0.041R^2 + 0.340R + 0.974 \\ p &= 0.782R^2 - 1.77R + 1.88 \\ q &= -0.250R^2 + 0.523R + 0.968 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &(\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4) \\ &(\sigma_{rc}/\sigma_y = 0) \end{aligned} \quad (2)$$

式(1)の近似式を使って求めた N_u と M_u がどれだけの精度を有するかを表したのが表-2である。残留応力がある場合、最大でも $\pm 1.1\%$ の誤差しかないのがわかる。残留応力がない場合、もっと精度が良く $\pm 0.7\%$ 以内の誤差であった。また、 R および φ で整理して誤差の影響を調べた結果、 R と φ に無関係であるのがわかった。面内曲げと圧縮を受ける板について、幅厚比パラメータ R だけをパラメータとして、式(2)で示さ

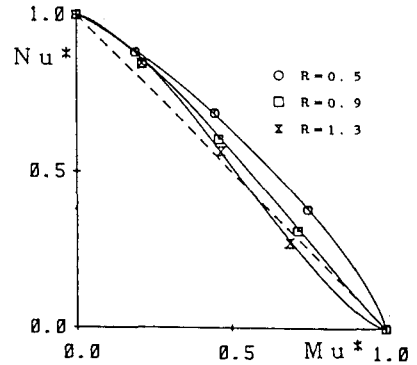
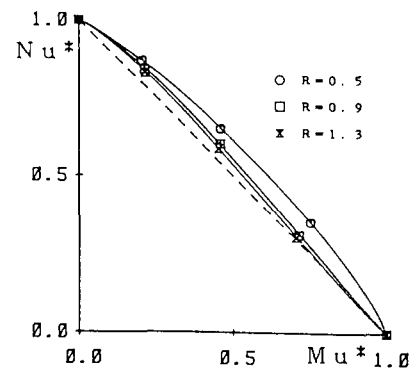
(a) $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4$ (b) $\sigma_{rc}/\sigma_y = 0$

図-1 極限強度の相関曲線

表-1 Rと指数の関係

		$\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4$		$\sigma_{rc}/\sigma_y = 0$	
		p	q	p	q
R	0.5	1.300	1.155	1.206	1.171
	0.7	1.100	1.233	1.000	1.200
	0.9	0.900	1.322	0.926	1.251
	1.1	0.778	1.390	0.908	1.234
	1.3	0.670	1.490	0.893	1.227

れる極限強度の相関曲線を用いると、 R と φ に無関係に精度よく耐荷力を評価できることがわかる。

5. 極限強度曲線 純圧縮および純曲げの場合の極限強度の値をプロットして、最小自乗法を用いて式(3)に示す近似式で極限強度を表すと式(4)のようになった。

$$K_u = (R_{cr}/R)^\beta \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \textcircled{1} K_u &= (0.453/R)^{0.495} \quad (\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4, \varphi=0) \\ \textcircled{2} K_u &= (1.21/R)^{0.420} \quad (\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4, \varphi=2) \\ \textcircled{3} K_u &= (0.451/R)^{0.511} \quad (\sigma_{rc}/\sigma_y = 0, \varphi=0) \\ \textcircled{4} K_u &= (0.790/R)^{0.594} \quad (\sigma_{rc}/\sigma_y = 0, \varphi=2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここで、 R_{cr} は $K_u=1$ となる限界幅厚比パラメータである。式(4)の極限強度曲線を図に表すと図-2のようになった。 $\varphi=0$ の場合、残留応力の有無にかかわらずほとんど同じ曲線になるが、 $\varphi=2$ の場合、残留応力のある方が、残留応力のない場合より極限強度が大きく、 R が増すにつれその差は拡大する。 $\varphi=0$ のほうは $R=0.5$ 、 1.3 のときに約4%の誤差が生じるが、全体としては精度の良い極限強度曲線が得られるので、この極限強度曲線を用いて純圧縮および純曲げの場合の極限強度を評価することができる。

6. 応力勾配に対する補正係数 道路橋示方書では、純圧縮に対する限界幅厚比パラメータ $R_{cr,c}=0.7$ 、純曲げに対する限界幅厚比パラメータを $R_{cr,b}=1.0$ 、 $\varphi=0, 1, 2$ に対してそれぞれ座屈係数 $k=4, 7.8, 23.9$ および安全率 $\nu=1.7, 1.55, 1.4$ として、応力勾配に対する補正係数 f を求め、これを φ の2次の関数として式(5)のような近似式を求めている。

$$f = 0.65\varphi^2 + 0.13\varphi + 1 \quad (5)$$

式(4)より、残留応力がある場合は $R_{cr,c}=0.453$ 、 $R_{cr,b}=1.21$ 、残留応力がない場合は $R_{cr,c}=0.451$ 、 $R_{cr,b}=0.790$ であることを考慮して、 k と ν については道示と等しい値を与え、応力勾配に対する補正係数 f を求め、これより近似式を求めたのが式(6)である。

$$\begin{aligned} f &= 0.91\varphi^2 + 0.18\varphi + 0.65 \quad (\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4) \\ f &= 0.55\varphi^2 + 0.10\varphi + 0.64 \quad (\sigma_{rc}/\sigma_y = 0) \end{aligned} \quad (6)$$

これと道示の応力勾配に対する補正係数 f を比較した結果を図-3に示す。この図より、①残留応力がある場合、 $\varphi < 1.2$ では道示の f の値の方が大きく、 $\varphi > 1.2$ では逆となる、②残留応力がない場合は、常に道示の f の値の方が大きくなる、ことがわかった。

参考文献 1)奈良・小島・津田・小松：土木学会論文集(投稿中) 2)奈良・津田・小松：昭和62年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，I-19，1987年4月。 3)小松・奈良・山口：昭和58年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，I-32，1983年5月。 4)奈良・出口・小松：構造工学論文集，Vol.33 A，1987年3月。 5)小松・牛尾・北田：土木学会論文報告集，第265号，1977年。

表-2 本評価法における極限強度の誤差(%)

$\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4$			R				
			0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
φ	0.5	Nu	0.5	0.3	0.6	0.8	0.6
		Mu	0.5	0.3	0.9	1.1	0.5
	1.0	Nu	-0.4	-0.6	-0.4	-0.4	-0.3
		Mu	-0.4	-0.6	-0.4	-0.4	-0.3
	1.5	Nu	0.4	-0.2	0.5	-0.2	0.0
		Mu	0.3	-0.1	0.6	0.2	0.0

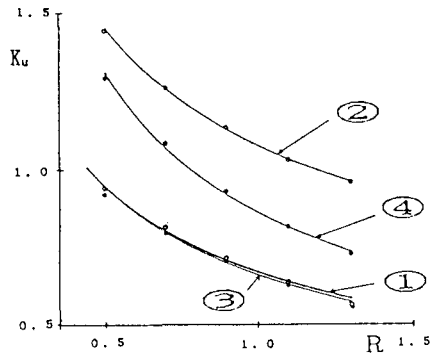


図-2 純圧縮および純曲げを受ける鋼板の極限強度曲線

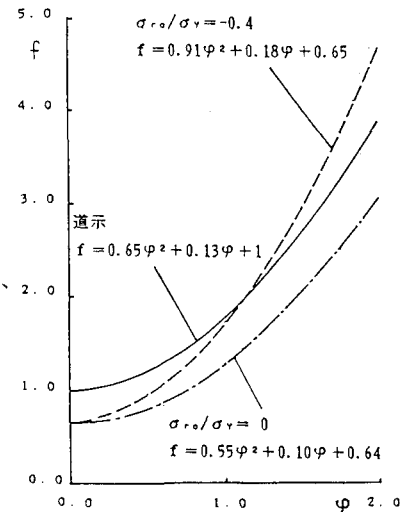


図-3 応力勾配に対する補正係数