曲げを受ける薄肉プレートガーダーのウェブの面外変形を考慮した疲労強度

大阪大学工学部　前田幸雄
大阪大学工学部　○大倉一郎
大阪大学工学部　平野　浩

1．まえがき

薄肉プレートガーダーが繰り返し曲げを受けると，圧縮フランジをウェブに連結する隅肉溶接のウェブ側止端に疲労亀裂が発生する可能性がある[1]。初期たわみを有する薄肉ウェブが面内曲げを受けて面外へ繰り返し変形することによって，ウェブ周辺の隅肉溶接の止端に生じる2次的な面外曲げ応力がこの疲労亀裂の発生原因である。本報告では，面内曲げを受ける長方形板の荷重と2次曲げ応力の関係[2]を用いて，この疲労亀裂の疲労強度を面内曲げ応力で与えたので，以下に報告する。

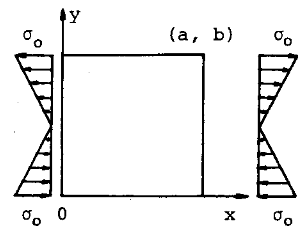
2．面内曲げを受ける長方形板の荷重と2次曲げ応力の関係[2]

図－1に示すように，面内曲げを受ける長方形板が

$$w_0 = \sin(\pi x/a)\{e_{01}\sin(\pi y/b) + e_{02}\sin(2\pi y/b)\} \qquad (1)$$

ここに e_{01}, e_{02}：初期たわみを表わす既知定数

なる初期たわみを持つとき，その荷重と面外たわみの関係，および2次曲げ応力と面外たわみの関係がそれぞれ次式で与えられる。



図－1 面内曲げを受ける長方形板

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_e} = k_{cr}\eta_0 + \frac{3}{4}(1-\nu^2)\theta\xi_0 \qquad (2) \qquad \frac{\sigma_b}{\sigma_e} = S\eta_b + \sqrt{A^2\xi_b^2 + B^2} - B \qquad (3)$$

ここに，

$$\eta_0 = \frac{\sqrt{(e/t_w + e_0/t_w)e/t_w + r_1^2(e_0/t_w)^2} - r_1 e_0/t_w}{e/t_w + e_0/t_w}$$

$$\xi_0 = \left(\frac{e}{t_w} + \frac{e_0}{t_w}\right)^2\left\{1 - \left(\frac{e_0}{r_2 e + e_0}\right)^2\right\}$$

$$\eta_b = \frac{(1+2r_1)\eta_0 + r_3(1-\eta_0)}{\eta_0 + 2r_1}\,\frac{e}{t_w}$$

$$\xi_b = \left(\frac{e}{t_w} + \frac{e_0}{t_w}\right)^2\left\{1 - \left(\frac{e_0}{r_4 e + e_0}\right)^2\right\}$$

表－1 各係数の値

	(I)						(II)			
a/b	1/3		0.5		1.0		1/3		0.5	
e_0	$e_{01}/\sqrt{2}$	e_{02}	$e_{01}/\sqrt{2}$	e_{02}	$e_{01}/\sqrt{2}$	e_{02}	$e_{01}/\sqrt{2}$	e_{02}	$e_{01}/\sqrt{2}$	e_{02}
k_{cr}	33.78		25.63		27.13		43.72		39.46	
r_1	0.44	0.50	0.41	0.61	0.28	0.90	0.52	0.57	0.46	0.64
r_2	0.35	0.60	0.65	1.0	1.0	0.35	0.35	0.50	0.65	0.64
θ	5.07		5.25		6.52		6.51		8.01	
S							86.69		62.31	
r_3							1.03	1.28	1.08	1.36
r_4							0.7	0.6	1.3	0.7
A							11.70		6.14	
B							5.29		1.65	

(I) Both edges simply supported
(II) Both edges fixed

σ_0＝面内曲げ応力，σ_b＝(点$(a/2, 0)$に生じる)2次曲げ応力，$e_0 = e_{01}/\sqrt{2}$ または e_{02}，e＝面内曲げの圧縮端から $y = b/4$ の位置の付加面外たわみ，$\sigma_e = \pi^2 E/\{12(1-\nu^2)\beta^2\}$，$\beta = b/t_w$，$E$＝ヤング率，$\nu$＝ポアソン比，$t_w$＝板厚。$k_{cr}$，$\theta$，S，A，B，$r_1 \sim r_4$ は係数である。非載荷辺の面外方向の境界条件として両辺単純支持(I)と両辺固定支持(II)に対して，これらの係数の値は表－1のようになる。

3．ウェブの面外変形を考慮した疲労強度

一般に，疲労亀裂の発生位置の応力全振幅が疲労亀裂の発生に対して最も重要である。面外曲げを受ける隅肉溶接の2次曲げ応

Yukio MAEDA, Ichiro OKURA and Hiroshi HIRANO

力の全振幅で表わした200万回疲労強度はSS41鋼板に対して約166.7 MPaである。[3] 最小面内曲げ応力 σ_{omin} に対して生じる2次曲げ応力を σ_{bmin}，また最大面内曲げ応力 σ_{omax} に対して生じる2次曲げ応力を σ_{bmax} とするとき，次の条件を満足するように式(2), (3) を解くと，200万回疲労強度に対する最大面内曲げ応力 σ_{omax} とウェブの幅厚比 β の関係を得る。

$$\sigma_{bmax} - \sigma_{bmin} = 166.7\ \mathrm{MPa} \qquad (4)$$

$a/b = 0.5$ の場合の σ_{omax}/σ_Y と β の関係を図－2に示す。ここで σ_Y はSS41の基準降伏応力度であり，235.3 MPaである。また，R は次式で定義される面内曲げ応力の比である。

$$R = \sigma_{omin}/\sigma_{omax} \qquad (5)$$

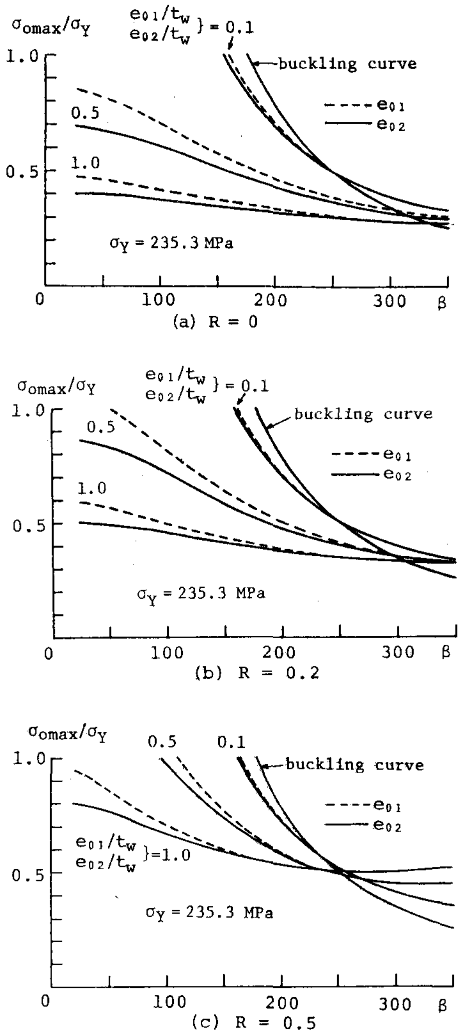
図より次のことがわかる。

(1) 初期たわみ成分 e_{01} と e_{02} による σ_{omax}/σ_Y の違いは，幅厚比 β が大きくなるに従って小さくなる。

(2) 応力比 R が大きくなるに従って σ_{omax}/σ_Y の値が大きくなる。$R = 0.5$ の場合，β が約250を超えると，大きな初期たわみに対する σ_{omax}/σ_Y が小さな初期たわみに対する σ_{omax}/σ_Y よりも大きくなる。さらに $R = 0.5$ の場合の $e_{01}/t_w = 1.0$ の曲線は β が300を超えるあたりから上昇し始める。β が大きくなるとウェブが薄肉化し，面外たわみが増加する。面外たわみが増加すると式(2), (3) が与える面内曲げ応力と2次曲げ応力の関係は次式が与える極限値に収束する。

$$\sigma_o = (3/4)(1-\nu^2)(\theta/A)\,\sigma_b \qquad (6)$$

この式は式(4) の条件のもとに $R = 0, 0.2, 0.5$ に対して，それぞれ $\sigma_{omax}/\sigma_Y = 0.63, 0.78, 1.26$ を与える。したがって，各曲線は最初 β の増加とともに低下し，最小値に達したのち増加に転じ，応力比に応じてこれらの値に収束する。



図－2 σ_{omax}/σ_Y と β の関係 [$a/b = 0.5$]

(3) 図には次式から与えられる座屈曲線も示してある。

$$\sigma_{omax} = 39.46\,\sigma_e \qquad (7)$$

200万回疲労強度に対する σ_{omax}/σ_Y は，初期たわみの大きさと応力比によっては座屈強度をかなり下回る β の領域が存在する。たとえば，$\beta = 200$ に対して座屈強度は $\sigma_{omax}/\sigma_Y = 0.78$ であるが，$R = 0$ の場合の200万回疲労強度は $e_{02}/t_w = 0.1, 0.5, 1.0$ に対してそれぞれ $\sigma_{omax}/\sigma_Y = 0.69, 0.43, 0.32$ となる。

参考文献　1) JSSC, vol.9, No.86, pp.32～41, 1973。 2) 第33回応用力学連合講演集，pp.117～118，1983。 3) 第33回年次講演集，I－336, 1978。