

大阪大学大学院 学生員 平野 浩
大阪大学工学部 正 員 前田幸雄
大阪大学工学部 正 員 大倉一郎

1. まえがき

薄肉プレートガーダーが繰り返しせん断を受けると、斜め張力場が予想される方向の隅角部の隅肉溶接のウェブ側止端に疲労亀裂が発生することが明らかにされている。¹⁾ 初期たわみを有するウェブがせん断を受けて面外へ繰り返し面形することによって、ウェブパネル周辺の隅肉溶接の止端に生じる2次的な面外曲げ応力(2次曲げ応力)がこの疲労亀裂の発生原因である。本報告では、せん断を受ける長方形板の荷重と2次曲げ応力の関係を用いて、この疲労亀裂の疲労強度をせん断応力で与えたので以下に報告する。

2. せん断を受ける長方形板の荷重と2次曲げ応力の関係

図-1に示すように、せん断を受ける長方形板が

$$w_0 = e_0 \sin(\pi x/a) \sin(\pi y/b) \quad (1)$$

ここに、 e_0 : 板中央の初期たわみ

なる初期たわみを有するとき、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。

$$\frac{\tau_0}{\sigma_e} = k_{cr} \eta + \frac{3}{4}(1-\nu^2)\theta\xi \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_e} = S\eta_b + \sqrt{A^2\xi^2 + B^2} - B \quad (3)$$

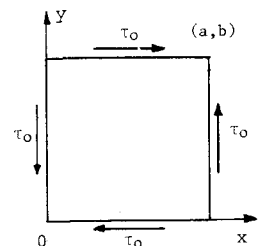


図-1 せん断を受ける長方形板

ここに、

$$\eta = \sqrt{\frac{e}{e+e_0}}, \quad \eta_b = \frac{1}{2} \left[\frac{e}{t_w} + \sqrt{\frac{e(e+re_0)}{t_w t_w}} \right], \quad \xi = \left\{ 0.61 \left(\frac{e}{t_w} \right)^2 + 2 \frac{e_0 e}{t_w t_w} \right\}^{0.5} + 0.39 \frac{e_0 + e}{t_w} \left\{ \left(\frac{e}{t_w} \right)^2 + 2 \frac{e_0 e}{t_w t_w} \right\}^{0.25} \sqrt{\frac{e_0 + e}{t_w}}$$

τ_0 : せん断応力,

σ_b : 境界辺上に生じる最大2次曲げ応力,

$\sigma_e = \pi^2 E / \{1/2(1-\nu^2)\beta^2\}$,

$\beta = b/t_w$,

t_w : 板厚,

ν : ポアソン比,

E : ヤング率,

k_{cr} : 座屈係数, S : 座屈形状における単位面外たわみに対する2次曲げ応力の増加率, e : 板中央の付加面外たわみ, r : 境界辺の回転拘束によって決まる係数, θ , A , B は有限要素法解析の結果より定められる係数。 r , k_{cr} , S , θ , A , B の値を表-1に示す。

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重要である。2次曲げ応力の全振幅で表した隅肉溶接の200万回疲労強度は、SS41鋼板に対して約166.7MPaである。²⁾ 最小せん断応力 τ_{0min} に対して生じる2次曲げ応力を σ_{bmin} 、また最大せん断応力 τ_{0max} に対して生じる2次曲げ応力を σ_{bmax} とすると、条件

表-1 各係数の値

	a/b	四辺単純支持				二辺固定二辺単純支持				四辺固定支持			
		0.5	0.75	1.0	1.5	0.5	0.75	1.0	1.5	0.5	0.75	1.0	1.5
	r			1.0				0.74				0.54	
	k_{cr}	26.03	13.29	9.33	7.07	26.88	15.47	12.58	11.13	42.46	21.31	14.67	11.49
	S					17.51	25.60	25.27	23.79	98.46	42.90	24.32	23.82
(a)	θ	5.12	4.35	3.46	2.03	5.59	4.61	3.66	2.40	8.07	5.08	3.97	2.47
	A					15.18	15.93	14.51	10.96	19.99	25.82	17.93	12.81
	B					40.46	36.01	33.61	36.44	0.0	111.81	71.07	62.20
(b)	θ	2.23	1.74	1.39	0.80	2.39	2.01	1.64	1.07	3.75	2.50	1.98	1.18
	A					11.28	12.83	11.70	7.09	18.56	18.23	15.19	8.19
	B					76.58	60.17	53.13	27.00	0.0	111.01	115.60	47.34

(a): 強制変位によってせん断を与える場合

(b): 荷重によってせん断を与え、境界辺が面内方向に自由に変位できる場合

$$\sigma_{bmax} - \sigma_{bmin} = 166.7 \text{ MPa} \quad (4)$$

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せん断応力 τ_{max} とウェブの幅厚比 β の関係が, 次式で定義される応力比 R の値ごとに得られる。

$$R = \tau_{min} / \tau_{max} \quad (5)$$

$a/b = 1.0$ の場合の τ_{max} / τ_Y と β の関係を図-2に示す。この図は, 表-1の面外方向の境界条件が四辺固定支持で, 面内方向の境界条件が(b)の場合の各係数の値を式(2), (3)に代入して, $R = 0$ の場合に対して求められたものである。ここで, τ_Y は降伏せん断応力である。また, 図には次式で与えられる座屈曲線も示してある。

$$\tau_{max} = 14.67 \sigma_e \quad (6)$$

図-2より疲労強度は β がおおよそ200以下の範囲では初期たわみの大きさの影響を多少受けるが, β が増大すると初期たわみの大きさにかかわらず各曲線は互いに漸近することがわかる。また, β が150から200の範囲では疲労強度と座屈強度は互いに漸近しているが, β が増大すると疲労強度の方が座屈強度よりも大きくなる。

ところで有限要素法による, せん断を受ける長方形板の面外有限変形解析により, 荷重が小さいときには最大初期たわみの大きさ, あるいは初期たわみモードによって2次曲げ応力の増加が異なるが, 荷重が座屈荷重を超えて増加すると, 2次曲げ応力は互いに漸近することが明らかにされている³⁾。したがって, 初期たわみの大きさのみならず, その形状も疲労強度に与える影響は小さいと考えられる。

形状比 $a/b = 0.5, 0.75, 1.0, 1.5$ の各場合の τ_{max} / τ_Y と β の関係を $e_0/t_w = 1.0$ に対して図-3に示す。 β が110から150の範囲では, $a/b = 0.5$ の場合の疲労強度が $a/b = 0.75$ あるいは $a/b = 1.0$ の場合のものより少し小さくなることはあるが, β が大きくなると形状比が小さくなるに従って疲労強度は上昇する。たとえば, $\beta = 200$ のときの疲労強度は $a/b = 0.5, 0.75, 1.0, 1.5$ に対して, それぞれ $\tau_{max} / \tau_Y = 0.74, 0.64, 0.55, 0.41$ となる。 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)が与える荷重と2次曲げ応力の関係は次式が与える極限値に収束する。

$$\tau_0 = (3/4)(1 - \nu^2)(\theta/A)\sigma_b \quad (7)$$

形状比が1.0で初期たわみの大きさが $e_0/t_w = 1.0$ の場合の τ_{max} / τ_Y と β の関係を応力比 $R = 0, 0.2, 0.5$ に対して図-4に示す。図より, $R = 0$ と $R = 0.2$ に対する疲労強度は互いに漸近しており, $R = 0.5$ に対する疲労強度がこれらのものより少し大きいことがわかる。

4. 結論

- (i) 初期たわみの大きさとその形状および応力比が疲労強度に与える影響は小さい。
- (ii) 幅厚比 β がおおよそ200以上になると疲労強度の方が座屈強度よりも大きくなる。
- (iii) β が110から150までの範囲で, $a/b = 0.5$ の場合の疲労強度が他のものより少し小さくなることはあるが, 一般的には, 形状比が小さくなるに従って疲労強度は大きくなる。

参考文献 1) JSSC, Vol.9, No.86, pp.32~41, 1973. 2) 第33回年講義要集, 1-336, 1978.

3) 前田・大倉: 日本鋼構造協会マトリックス解析法研究発表論文集, pp.121~126, 1983.

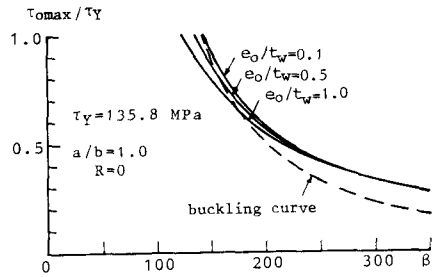


図-2 τ_{max} / τ_Y と β の関係

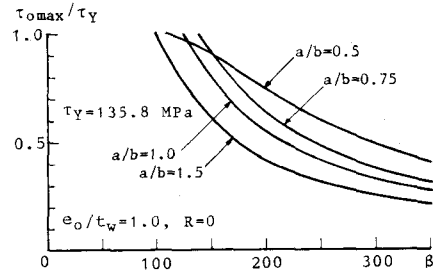


図-3 τ_{max} / τ_Y と β の関係

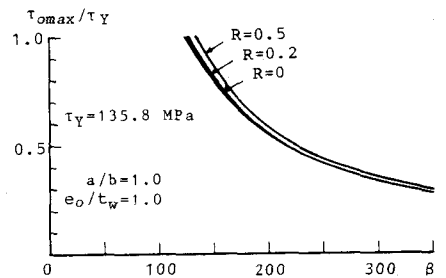


図-4 τ_{max} / τ_Y と β の関係