

大阪大学大学院 学生員 大倉一郎
大阪大学工学部 正員 前田幸雄

1. まえがき

薄肉プレート・ガーダーが繰返し曲げを受ける場合、圧縮フランジとウェブの隅肉溶接止端部に特有の疲労キレツが発生することが最近の研究により明らかにされた。このキレツは初期タワミを持つウェブが曲げ圧縮力を受け面外に変形することにより、隅肉溶接部に2次曲げを受けて発生するものである。既に、この疲労キレツの局部的疲労強度とキレツ特性に関する研究成果を発表した^{1),2)}。そこで、本報告においては、ウェブ形状、初期タワミ、および外力等とキレツ発生点の2次曲げ応力との定性的な関係について考察した。

2. 解析

面内曲げを受ける板の基礎方程式は次式で与えられる³⁾ (図-1参照)。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{N_x}{D_w} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (1)$$

ここに w : 外荷重による付加変形, $\bar{w} = w_0 + w$: 全変形,
 w_0 : 初期タワミ, $D_w = Et_w^3 / 12(1+\nu^2)$: ウェブの曲げ剛性,
 E : ヤング率, t_w : ウェブ厚, ν : ポアソン比,
 $N_x = \sigma_0 t_w (1 - 2\eta_0)$, σ_0 : ウェブ最外縁に作用する外力。

キレツ発生点、すなわち、座標 $(\eta/2, \phi)$ の η 軸方向の2次曲げ応力は次式で与えられる。

$$\sigma_b = -\frac{Et_w}{2(1-\nu^2)} \left(\nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

ここで、初期タワミ形状を $w_0 = w_{max} f(x, y)$ (w_{max} : 最大初期タワミ) とし、 $x/a = \xi$, $y/b = \eta$ として、(1)式、(2)式をそれぞれ無次元化すると

$$\frac{\partial^4 (\bar{w})}{\partial \xi^4} + 2 \frac{\partial^4 (\bar{w})}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} + \frac{\partial^4 (\bar{w})}{\partial \eta^4} + \alpha^2 \frac{\partial^2 (\bar{w})}{\partial \eta^2} - X_0 \left(1 - \frac{2\eta}{\phi} \right) \frac{\partial^2 (\bar{w})}{\partial \xi^2} = \frac{\partial^4 f}{\partial \xi^4} + 2 \frac{\partial^4 f}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} + \alpha^2 \frac{\partial^4 f}{\partial \eta^4} \quad (3)$$

$$Y_b = - \left[\nu \frac{\partial^2 (\bar{w})}{\partial \xi^2} + \alpha^2 \frac{\partial^2 (\bar{w})}{\partial \eta^2} - \left(\nu \frac{\partial^2 f}{\partial \xi^2} + \alpha^2 \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2} \right) \right] \quad (4)$$

ここに $X_0 = 1/2(1-\nu^2)\alpha^2\beta^2(\sigma_0/E)$, $Y_b = 2(1-\nu^2)\alpha^2\beta^2(t_w/w_{max})(\sigma_b/E)$,

$\alpha = \eta/\phi$: 形状比, $\beta = \phi/t_w$: 細長比。

となる。

ウェブがフランジにより固定支持され、垂直スチフナーにより単純支持されているとし、初期タワミ形状を $f(x, y) = \sin(\pi x/a) \sin(\pi y/b)$ [タイプ1] または $\sin(\pi x/a) \sin(2\pi y/b)$ [タイプ2] として、(3)式を差分法により解いた。図-2

に $\alpha = \eta/\phi$ 断面のウェブの横タワミ変化を、図-3にキレツ発生点の2次曲げ応力の変化を示す。ウェブは圧縮側で横方向にはらみ出し、引張側で平らになろうとする傾向がある。どちらの初期タワミにおいてもウェブ圧縮縁からウェブ高の3分の1の所が最も横にはらみ出している。また、1波形の初期タワミを持つウェブの方が半波形のものより横タワミ、

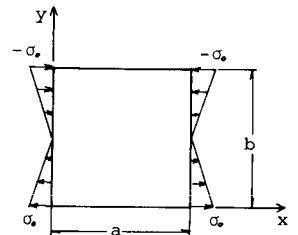


Fig.1-Coordinate system

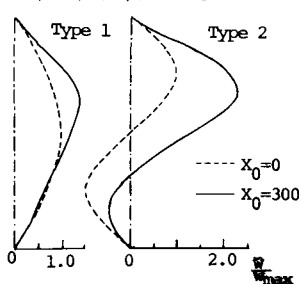


Fig.2-Distribution of web deflection

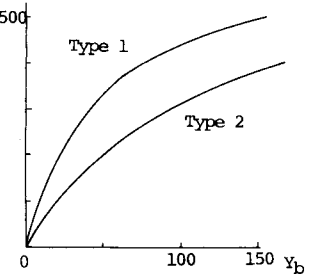


Fig.3-Second bending stress

2次曲げ応力とも大きくなってゐることから、波形の多い初期タワミを持つウェブが横タワミ、2次曲げ応力とも大きくなると考えられる。

実際のプレート・ガーダーにおいては、ウェブはフランジにより固定支持されているのではなく、単純支持から固定支持の間にあると考えられる。フランジに沿って生ずる単位長当りの曲げモーメントはタワミ角 $\theta_x = \frac{\partial w}{\partial y}$ に比例すると仮定すると⁴⁾(図-4参照)

$$M_y = \frac{2D_f}{a} \theta_x \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \text{ここに } D_f &= Et_f^3/12(1-\nu^2) : \text{フランジの曲げ剛性,} \\ S &= 2\pi \frac{(1-\nu^2)\frac{\pi C}{a} + \frac{1}{2}(3-2\nu-\nu^2)\sinh\frac{2\pi C}{a}}{(3-2\nu-\nu^2)\cosh^2\frac{\pi C}{a} + (1-\nu)^2(\frac{\pi C}{a})^2 + (1+\nu)^2} \end{aligned}$$

となり、(5)式を無次元化すると

$$-\left(\nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \alpha^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) = 2\chi \alpha \frac{\partial w}{\partial z} \tag{6}$$

$$\text{ここに } \chi = S \frac{D_f}{D_w} = S \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^3 \quad \text{となる。}$$

χ はBleichが定義した拘束係数の逆数で、 $\chi = 0$ のとき単純支持、 $\chi = \infty$ のとき固定支持となる。ここでは、 χ を拘束係数と呼ぶ。 $\chi_0 = 200$ の時、半波形の初期タワミを持つウェブの場合について、 χ の変化と座標($y/2$, $z/3$)の横タワミの変化、およびキレツ発生

点の2次曲げ応力の変化をそれぞれ図-5、図-6に示す。図-6の縦軸は固定支持の場合の2次曲げ応力 Y_{0b} で無次元化してある。拘束係数が大きくなると横タワミは小さくなるが、反対に2次曲げ応力は大きくなってゐる。従つて、ウェブの横タワミの大小からキレツ発生点の2次曲げ応力の大小を単純には推定出来ないと考えられる。

3. 結論

(3)式と(4)式から w/w_{max} を消去すると、 χ_0 , Y_b , f の関係が得られる。また、キレツ発生点の2次曲げ応力はフランジ、垂直スチフナー等による拘束の程度にも影響されるので、各々の拘束係数 χ_f , χ_s も考慮しなければならぬ。これ等の諸量の関係は次式の様に表現される。

$$12(1-\nu^2)\alpha^2\beta^2 \frac{\sigma_0}{E} = F\left(\alpha, 2(1-\nu^2)\alpha^2\beta^2 \frac{t_w}{w_{max}} \frac{\sigma_b}{E}, f, \chi_f, \chi_s\right) \tag{7}$$

隅肉溶接部端部のS-N線図は次の関数関係によつて表現される。

$$\sigma_b = g(N) \tag{8} \quad \text{ここに } N : \text{繰返し数}$$

設計繰返し数が指定されれば、(8)式により σ_b が決定され、(7)式より設計外力 σ_0 が決定されることになる。

今後の課題としては、(7)式の関数を板の基礎方程式を解くことにより定量的に決定すること、(8)式の関数を小型試験片の疲労試験結果をさうに積み重ねることにより一層正確に求めること、など考へてゐる。

【参考文献】

- (1)第31回年次学術講演会講演概要集, I-108. (2)第32回年次学術講演会講演概要集, I-325.
- (3)Timoshenko, S.P. and Gere, J.M.: Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill New York, 1961.
- (4)Bleich, F.: Buckling Strength of Metal Structures, McGraw-Hill, New York, 1952.

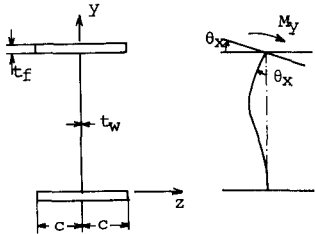


Fig.4-Relation between flange and web

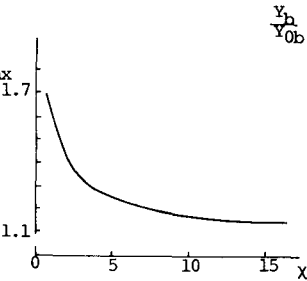


Fig.5-Relation between χ and web deflection

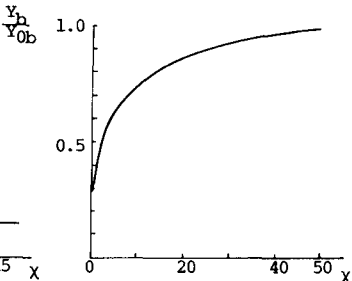


Fig.6-Relation between χ and second bending stress