

大阪大学工学部 正員 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うけると、圧縮フランジとウェブとの間のすみ肉溶接ウェブ側止端に疲労きれつが生ずる。初期たわみをもつウェブが面内曲げをうけて面外へ変形することにより、すみ肉溶接部に生ずる2次曲げ応力がこの疲労きれつの発生原因である。既報では、有限差分法・有限要素法を用いて、面内曲げをうけるウェブの面外変形挙動について解析した。本報告においては、ウェブの面外変形挙動と2次曲げ応力・疲労きれつとの関係について考察したので、以下に報告する。

2. 解析 : 薄肉プレート・ガーダーのウェブの初期たわみ w_0 を2重フーリエ級数で表わすと次式となる(図-1参照)。

$$w_0 = w_{\max} f(x,y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/a)$$

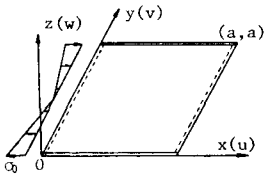


Fig. 1 Coordinate system

この級数の低次の各初期たわみモードがウェブの面外変形挙動に及ぼす影響について、有限要素法を用いて調べた。境界条件として、面外変形に対して $x=0, a$ で垂直補剛材により単純支持、 $y=0, a$ でフランジにより固定支持されているとし、面内変形に対して4辺自由とする。荷重条件としては、 $x=0, a$ で面内曲げ荷重を与える。

ウェブの横たわみ変化を図-2、2次曲げ応力の変化を図-3に示す。 $m=1$ の初期たわみモードは、ウェブの横たわみの増加を小さくし、2次曲げ応力を小さく生じさせる効果を有する。一方、 $m=2, 3$ の初期たわみモードは、横たわみを大きくし、2次曲げ応力を大きく生じさせる性質を有する。

$m=2, 3$ の初期たわみモードに対して、荷重と付加横たわみ、荷重と2次曲げ応力、付加横たわみと2次曲げ応力との関係をそれぞれ次式で近似した。

$$\begin{aligned} w/t_w &= C_1 (\sigma_b/\sigma_c)^{\delta_1} \\ \sigma_b/\sigma_c &= C_2 (\sigma_b/\sigma_c)^{\delta_2} \\ \sigma_b/\sigma_c &= C_3 (w/t_w)^{\delta_3} \end{aligned}$$

$C_i, \delta_i (i=1, 2, 3)$ の値を表-1に示す。 w/t_w と σ_b/σ_c と σ_b/σ_c と σ_b/σ_c について、各初期たわみモードに共通する関係はない。 σ_b/σ_c と w/t_w については、各初期たわみモードに共通して $1.11 < \delta_3 < 1.16$ であり、ほぼ線形関係が成立している⁴⁾と見なせる。このことは、Yenの実験においても確認されている。ただ

し、初期たわみモードによって、Table 1 Values of C_1 and δ_1 w/t_w に対する σ_b/σ_c の増加率が異なることに注意を要する。

3. 実験結果との比較 :

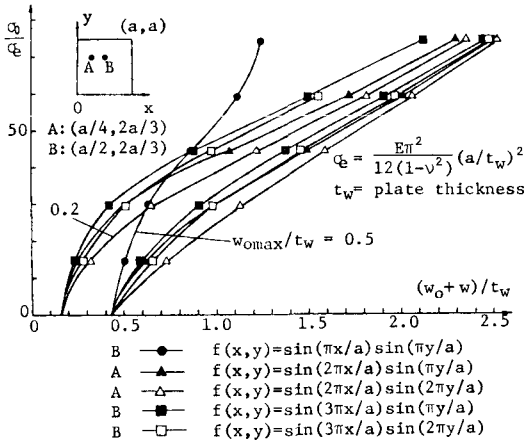


Fig. 2 Load versus web deflection curves

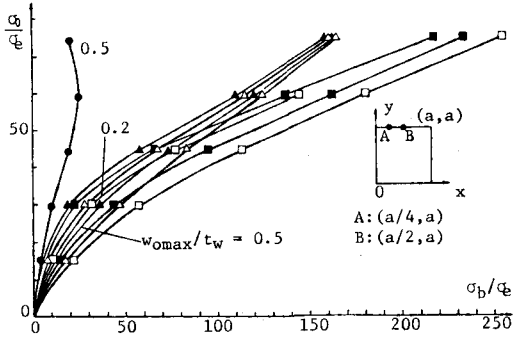


Fig. 3 Load versus secondary bending stress

$f(x,y)$	$w_{\max}/t_w$	C_1	δ_1	C_2	δ_2	C_3	δ_3
$m=2$	0.2	.00118	1.74	.0322	1.98	67.25	1.13
$n=1$	0.5	.00494	1.40	.1923	1.57	71.80	1.11
$m=2$	0.2	.00307	1.53	.0890	1.74	65.56	1.14
$n=2$	0.5	.01264	1.18	.4759	1.36	70.71	1.14
$m=3$	0.2	.00036	1.99	.0108	2.30	99.86	1.15
$n=1$	0.5	.00291	1.52	.1174	1.76	103.12	1.16
$m=3$	0.2	.00040	1.99	.0178	2.20	99.79	1.10
$n=2$	0.5	.00490	1.40	.2632	1.59	110.81	1.13

疲労試験で使用されたプレート・ガーダーのウェブの初期たわみ形状を

$$w_0 = w_{\max} f(x, y) = \left\{ \sum_{m=1}^3 a_m \sin(m\pi x/a) \right\} f(y)$$

で表わし、圧縮側で最大初期たわみ $w_{\max}$ が存在する x 軸方向の初期たわみ形状から、最小二乗法を用いて係数 a_1, a_2, a_3 を決定した。係数の値を表-2に示す。

一般に、示方書では $w_{\max}$ を規定している。そこで、 $w_{\max}$ と a_1, a_2, a_3 との関係を図-4に示す。 $w_{\max}/t_w$ と a_1/t_w とはほぼ線形関係にある。 $w_{\max}/t_w$ と $a_2/t_w, a_3/t_w$ との間には一定した関係がなく、各研究者によって分布状態が異なる。したがって、最大初期たわみを制限することは $m=1$ の初期たわみモードの大きさを制限することになるが、 $m=2, 3$ の初期たわみモードの大きさを制限することにはならない。このことと各初期たわみモードに対するウェブの面外変形特性とを考慮すると、最大初期たわみを制限することが必ずしも疲労きれつを防止する規定にはならない。Toprac⁷⁾ 提案の疲労きれつ防止のための最大初期たわみ制限値と実験値との比較を図-5に示す。Topracの実験値には適当であるが、前田の実験値には安全とはならない。これは、表-2より、Topracの実験では $m=1$ の初期たわみモードの大きさが他の初期たわみモードの大きさよりも卓越しているが、前田の実験では $m=2, 3$ の初期たわみモードの大きさもかなり大きいからである。

ウェブの上端 $y=a$ に沿った2次曲げ応力の分布は、各初期たわみモードに対応して、近似的に次式で表わされる。

$$\sigma_b/q_e = C_2(\sigma_b/q_e)^{\delta_2} \sin(m\pi x/a)$$

この式から推定される σ_b と実測された σ_b との比較を図-6に示す。実測 σ_b の分布は、大きい初期たわみモードから推定される σ_b 分布と一致する。そして、2次曲げ応力が最大となる位置に疲労きれつが発生する。また、前田の試験パネル F10 Panel I では、 $m=2$ の初期たわみモードの大きさが卓越しているため、このモードによる影響が大きくあらわれ、2次曲げ応力が最大と最小になる位置の2箇所疲労きれつが生じている。

4. 結論 : 疲労きれつを防止するためには、 $m=2, 3$ の初期たわみモードの大きさを規定する必要がある。参考文献 : 1) 88回年講概要集(I-335)。2) 昭和54年度関西支部年講(I-9)。

3) 堀見・宮村, 昭和44年度大阪大学卒業論文。

4) Yen, B.T., et al., WRC No.155, 1970. 5) Mueller, J.A. & Yen, B.T., WRC NO.127, 1968. 6) Lew, H.S. & Toprac, A.A., Res. Rept. 77-2F, Center for Highway Res., The Univ. of Texas, 1967. 7) Yin, J.A. & Toprac, A.A., Res. Rept. 96-3, Ibid., 1969.

Table 2 Values of $w_{\max}/t_w$ and a_m/t_w

Investigator	Test Panel	$w_{\max}/t_w$	a_1/t_w	a_2/t_w	a_3/t_w
Toprac ⁶⁾	21020B	1.643	1.621	-0.041	-0.070
	22550B	1.195	1.146	0.149	-0.058
Yen ⁵⁾	F6 Panel 2	1.318	1.139	0.082	-0.163
	F7 Panel 4	1.483	1.457	-0.385	0.244
Maeda ³⁾	F6 Panel I	0.625	0.613	0.177	0.081
	F10 Panel I	1.250	0.360	0.837	-0.348
	F10 Panel II	1.875	1.573	0.300	0.672

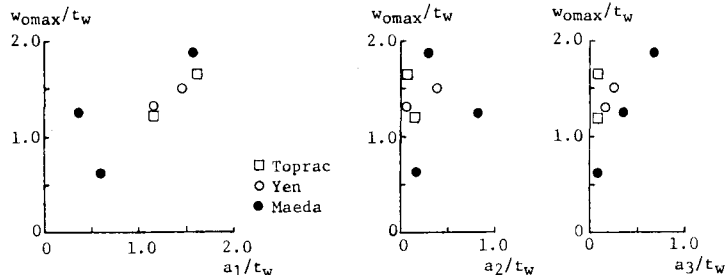


Fig. 4 $w_{\max}/t_w$ versus a_m/t_w

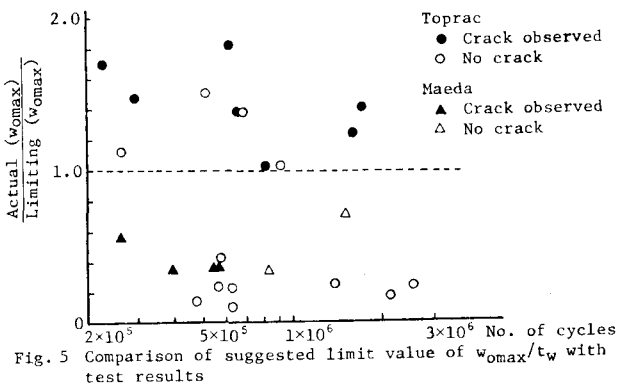


Fig. 5 Comparison of suggested limit value of $w_{\max}/t_w$ with test results

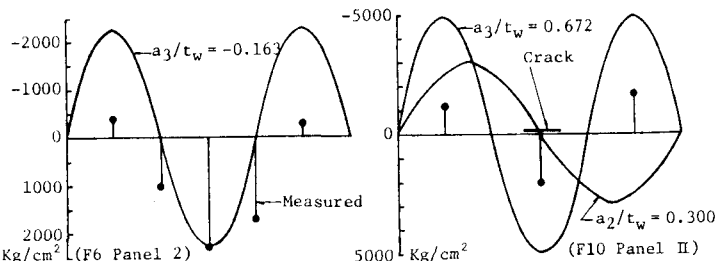


Fig. 6 Comparison between measured and calculated secondary bending stresses