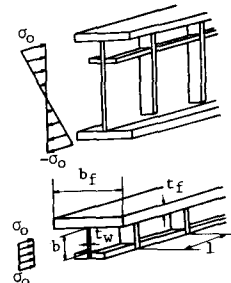


大阪大学工学部 正員 大倉一郎
大阪大学工学部 正員 前田幸雄

1. まえがき 前報¹⁾で、面内曲げをうける水平補剛材を有するプレートガーダーのウェブの面外変形挙動と2次曲げ応力(圧縮フランジとウェブとの間のすみ肉溶接部に生ずる2次的な面外曲げ応力のことであり、この部分に疲労き裂つを発生させる原因となる)の関係を調べ、次のことを明らかにした。 r/r^* (r =水平補剛材の曲げ剛比, $r^*=DIN4114$ に規定する水平補剛材の最小曲げ剛比)が1程度のとき、水平補剛材はウェブと一体となって変形し、ウェブ全体が1モードの初期たわみ分布を有することが不利となり、2次曲げ応力の分布も1モードとなる。 r/r^* が1より大きくなるにしたがって、水平補剛材の位置の横たわみは抑制されるが、圧縮フランジと水平補剛材の間のサブパネルに局部的な面外変形が発生する。この変形はサブパネルの初期たわみモードの影響をうけるため、2次曲げ応力の分布は数モードとなる。本報告は、後者の場合について、文献[2]の結果を用いて、サブパネルの面外変形挙動と2次曲げ応力の関係をさらに調べたので、以下に報告する。



2. 拘束係数の決定 図-1に示すように、面内曲げをうけるプレートガーダーから圧縮フランジと水平補剛材の間のサブパネルを抜き出し、これに面内圧縮力 σ_0 を近似的に載荷する。フランジはウェブに対して拘束部材となるため、文献[2]に定義するフランジの拘束係数 χ_f を求める必要がある。図-2に示すように、両垂直補剛材間のフランジの長さ l からサブパネルの初期たわみの波長 a に相当する部分を抜き出し、辺 $x=0, a$ と $y=0$ と単純支持、辺 $y=b_f/2$ を自由端とし、辺 $y=0$ に曲げモーメント $\bar{M}_y = M_y/2 = M_0 \sin(\pi x/a)$ (1) を作用させて板の微小たわみの微分方程式を解くことにより、 $M_y = k_f(\partial w/\partial y)_{y=0}$ (2) なる関係が得られる³⁾。ここで、 $k_f = (D_f/a)\chi_f$ 、 D_f =フランジの板曲げ剛性、

図-1 水平補剛材を有するプレートガーダー

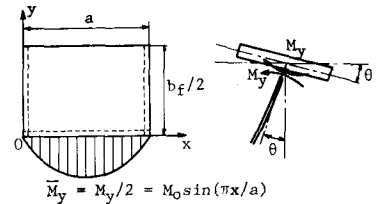


図-2 フランジのモデル化

$$\chi_f = 2\pi \frac{(1-\nu)^2 \chi_f + (3-2\nu-\nu^2) \sinh \lambda_f}{(3-2\nu-\nu^2) \cosh^2(\lambda_f/2) + (1-\nu)^2 (\lambda_f/2)^2 + (1+\nu)^2}$$

$\lambda_f = \pi b_f/a$ 、 ν =ポアソン比である。したがって、拘束係数 χ_f は $\chi_f = a k_f/D_w = (t_f/t_w)^3 \chi_f$ (3) となる。ここで、 D_w はウェブの板曲げ剛性である。また、水平補剛材もウェブに対して拘束部材となり、同様にしてその拘束係数を求めることができる。さらに、サブパネルは水平補剛材から下のウェブによっても回転拘束をうけるが、現在これを算出することができないため、水平補剛材の位置の境界条件として、単純支持と固定支持を考える。大阪大学の疲労試験で使用された試験体のうち、 r/r^* が3以上の試験体の χ_f の値を表-1に示す。初期たわみが最小の座屈係数と与える形状比に対応する波長を有するとき2次曲げ応力がもっとも大きく生じる⁶⁾ので、初期たわみの波長として、水平補剛材の位置が固定支持の場合 $Q=0.6686$ (両非載荷辺固定支持のとき最小の座屈係数と与える形状比に対応する)、単純支持の場合 $Q=0.86$ (非載荷辺の一边が固定支持で他辺が単純支持のとき最小の座屈係数と与える形状比に

表-1 拘束係数 χ_f の値

a/b	F-5	F-7	F-9	B4-L7	B3-L6	B2-L5
0.668	502	491	491	289	332	370
0.8	491	473	473	258	307	357

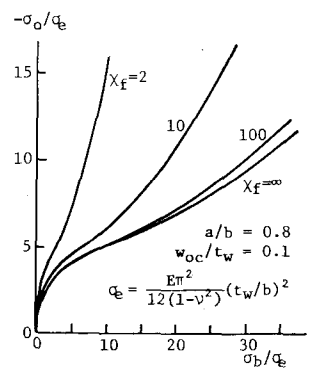


図-3 外力-2次曲げ応力曲線

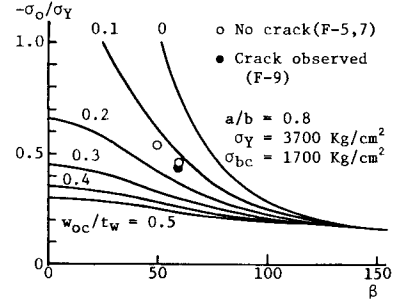
対応する)とする。図-3からわかるように、拘束係数 α_4 が100以上になると、外力 σ_0 と2次曲げ応力 σ_b の関係はほぼ固定支持状態となる。したがって、疲労試験体のフランジのサブパネルに対する拘束の程度はほぼ固定支持状態にあるとみなせる。

3. 外力と2次曲げ応力の関係 文献[2]の式(7),(8)から付加横たわみ w_c/t_w を消去すると、2次曲げ応力 σ_b 、外力 σ_0 、初期たわみの大きさ w_{oc} 、サブパネルの幅厚比 β の関係が次式のように得られる。

$$\frac{3(1-\nu^2)}{4} \theta_3 \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_Y} \right)^3 \left(\frac{\sigma_Y}{\sigma_e} \right)^2 + \left[\frac{3(1-\nu^2)}{4} \theta_4 \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_Y} \right)^2 \frac{w_{oc}}{t_w} + \theta_5 \frac{\sigma_0}{\sigma_Y} \frac{\sigma_b}{\sigma_Y} \right] \frac{\sigma_Y}{\sigma_e} + \frac{3(1-\nu^2)}{2} \theta_6 \frac{\sigma_b}{\sigma_Y} \left(\frac{w_{oc}}{t_w} \right)^2 + \theta_7 \frac{\sigma_0}{\sigma_Y} \frac{w_{oc}}{t_w} + \theta_8 \frac{\sigma_b}{\sigma_Y} = 0 \quad (4)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\pi^2}{12(1-\nu^2)} \frac{E}{\sigma_Y}} \quad (5) \quad \text{ここに、}\sigma_Y = \text{降伏応力}(>0), \quad \theta_3 \sim \theta_8 = \text{形状比, 拘束係数の関数。}$$

疲労試験体Fシリーズ(SMA 50A)において、 $\sigma_Y = 3700 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{bc} = 1700 \text{ kg/cm}^2$ (200万回疲労強度)として、非載荷辺の一端が固定支持で他辺が単純支持の場合に対する外力と幅厚比の関係を図-4に示す。初期たわみの大小による影響が大きいがわかる。また、初期たわみが大きくなると、幅厚比を小さくしてもあまり外力を増加させることができないことがわかる。



式(4)は σ_Y/σ_e に関して2次方程式であり、 σ_Y/σ_e が正根であるため 図-4 外力と幅厚比の関係(Fシリーズ) には、次式が成立しなければならない。

$$\frac{\theta_7 \frac{w_{oc}}{t_w}}{\frac{3(1-\nu^2)}{2} \theta_6 \left(\frac{w_{oc}}{t_w} \right)^2 + \theta_{11}} \leq -\frac{\sigma_b}{\sigma_0} \leq \frac{2\theta_{12}}{\frac{3(1-\nu^2)}{2} \theta_3 \frac{w_{oc}}{t_w} + \sqrt{\frac{9(1-\nu^2)^2}{4} \theta_4 \left(\frac{w_{oc}}{t_w} \right)^2 + 12(1-\nu^2) \theta_{15}}} \quad (6)$$

ここで、 $\theta_3 \sim \theta_{15}$ は形状比、拘束係数の関数である。この式から $-\sigma_b/\sigma_e$ には下限と上限が存在する。この値を表-2に示す。2次曲げ応力は外力のおよそ3倍以上には達しないことがわかる。

表-2 $-\sigma_b/\sigma_0$ の下限と上限の値

w_{oc}/t_w	$a/b=0.668$		$a/b=0.8$	
	下限	上限	下限	上限
0.0	0.0	3.05	0.0	3.30
0.1	0.36	2.97	0.36	3.21
0.2	0.70	2.90	0.70	3.12
0.3	1.02	2.84	1.02	3.04
0.4	1.31	2.77	1.31	2.97
0.5	1.55	2.71	1.56	2.90

4. 初期たわみ形状と疲労き裂の関係

疲労試験体Fシリーズのサブパネルの初期たわみ形状を図-5に示す。F-5, 7についてはフランジ方向に沿って初期たわみ形状の変化がみられないが、F-9については、両パネルともパネル中央付近に座屈波形に類似する初期たわみ形状が存在している。しかも w_{oc}/t_w はおよそ0.6程度に達する。したがって、図-4に示すように、F-9は、この初期たわみの大きさにおいて、2次曲げ応力が200万回疲労強度を超えないための曲線のかかなり上に最高荷重と幅厚比の関係がプロットされており、両パネルともそれぞれ2か所で疲労き裂が発生したのも当然と考えられる。

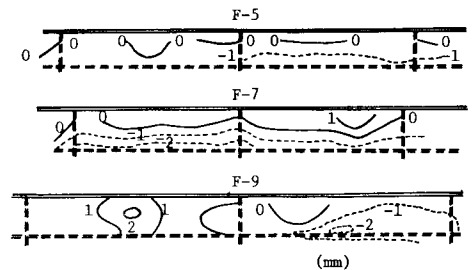


図-5 疲労試験体の初期たわみ形状 (Fシリーズ)

5. 結論

- 1) 圧縮フランジのサブパネルに対する拘束の程度はほぼ固定支持状態にあるとみなせる。
- 2) 2次曲げ応力は下限と上限を有し、外力のおよそ3倍以上には達しない。
- 3) サブパネルが座屈波形に類似する初期たわみ形状を有するとき疲労き裂が発生する。

参考文献

- 1) 前田・大倉：水平補剛材を有するプレートガーダーの2次曲げ応力に関する研究，昭和55年度関西支部年議。
- 2) 前田・大倉・有安：非載荷辺の拘束度を考慮した圧縮板の面外有限変形挙動に関する研究，昭和55年度関西支部年議。
- 3) Bleich, F.: Buckling Strength of Metal Structures, McGraw-Hill, pp. 302-357, 1952.
- 4) 堀見・宮村，昭和44年度大阪大学卒業論文。
- 5) 前田・川井，溶接学会誌，第43巻第7号，pp. 736-742, 1974.
- 6) 有安，昭和54年度大阪大学卒業論文。