

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

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裂が生ずる。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次的な面外曲げ応力がこの疲労き裂の発生原因である。水平補剛材は大きなウェブの横たわみの発生を防止するため、この2次曲げ応力の増加を抑制する効果がある¹⁾。本報告は、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次曲げ応力の関係を調べたので、以下に報告する。

2. 解析 水平補剛材の効果を有限要素法を用いて調べる。水平補剛材を棒部材と仮定し、その剛性マトリックスをウェブの剛性マトリックスに付加する手法をとる。図-1を参照して、水平補剛材の重心軸が z の位置のひずみ

$$\varepsilon = du/dx + (dw_0/dx)(dw/dx) + \frac{1}{2}(dw/dx)^2 - z(d^2w/dx^2) \quad (1)$$

ここに、 w_0 : 水平補剛材の重心軸の初期たわみ

とし、これを用いてひずみエネルギーを導き、得られたひずみエネルギーの第1変分から剛性マトリックス、第2変分から接線剛性マトリックスを誘導する。変位関数をそれぞれ次式で与える。 $u = \alpha_1 + \alpha_2 x$, $w = \alpha_3 + \alpha_4 x + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 x^3$, $w_0 = \alpha_7 + \alpha_8 x$. (2) ここで、 α_1 から α_8 は係数である。水平補剛材の弱軸回りの曲げ剛性を無視し、変位 w に対応する行と列はすべて0とする。 θ_x に対応する行と列にはねじり剛性の項を考慮する。

計算対象は、図-2の挿入図に示すように、 $a \times a$ の正方形板で、 $y = 4a/5$ に水平補剛材が設けられている。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。初期たわみを

$$w_0 = w_{0max} \sin(\pi x/a) \sin(\pi y/a) \quad (3)$$

とし、 $w_{0max}/t_w = 0.5$ または 1.0 とする。 $\tau/\tau^* = 1$ (τ : 補剛材の曲げ剛比, τ^* : DIN 4114に規定する補剛材の最小曲げ剛比) の場合、 σ_0/σ_b が約100に達すると、水平補剛材は急激に横たわみが増加し、ウェブと一体となって変形する。このとき、図-3に示すように、2次曲げ応力も急激に増加し、その分布形状は x 軸方向の初期たわみモードと一致して近似的に次式で表わせる。 $\sigma_b = \sigma_{bmax} \sin(\pi x/a)$. (4)

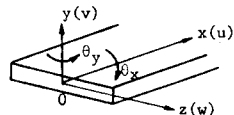


図-1 水平補剛材

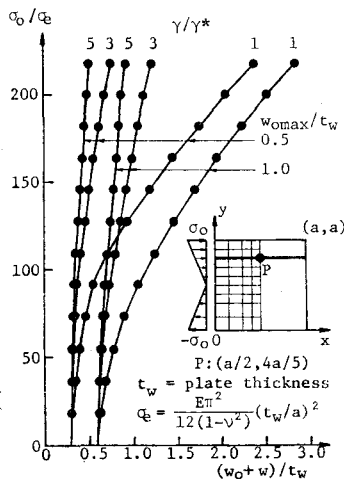


図-2 荷重一横たわみ曲線 $\tau/\tau^* = 3.5$ の場合、横た

ねみの増加は $\tau/\tau^*=1$ に比べると格段に小さい。2次曲げ応力の変化は図-3に示されるような滑らかな曲線とはならず、その分布形状も x 軸方向の初期たねみモードとは一致しない。これは、 τ/τ^* が大きくなると水平補剛材の位置の横たねみは抑制されるが、反対に圧縮フランジと水平補剛材との間のサブパネルの局所的な面外変形が2次曲げ応力の発生に影響し、この局所的な面外変形を図-2の挿入図の分割では表現できないためと考えられる。

サブパネルの局所的な面外変形挙動を次の微小変形の微分方程式を用いて調べる(図-4参照)。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{\sigma_0 t_w}{D_w} \frac{\partial^2 (w + w_0)}{\partial x^2} \quad (5)$$

ここで、 D_w は板の曲げ剛性である。境界条件は、 $x=0, a$ で単純支持、 $y=a/5$ で固定支持、 $y=0$ を水平補剛材をモデル化して単純支持または固定支持とする。初期たねみを

$$w_0 = w_{0max} \sin(m\pi x/a) \sin(\pi y/(a/5)) \quad (6)$$

として式(5)を解くと、2次曲げ応力の分布は

$$\sigma_b = \sigma_{bmax} \sin(m\pi x/a) \quad (7)$$

となり、 x 軸方向の初期たねみモードに一致する。 σ_{bmax} の変化を図-5に示す。水平補剛材を単純支持とした場合の方が固定支持とした場合よりも2次曲げ応力が大きく生ずる。また、2次曲げ応力は、 $m=5$ のときもっとも大きく生じており、初期たねみモードが座屈モードに近づくほど大きく生ずると考えられる。

3. 解析結果と実験結果の比較

実際の試験体の2次曲げ応力の分布を図-6に示す。 $\tau/\tau^*=1$ の試験体では、2次曲げ応力はほぼ式(4)で示される分布を示している。 $\tau/\tau^*=7$ の試験体では、4モードの2次曲げ応力分布となっている。

4. 結論

τ/τ^* 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、1モードの初期たねみ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。図-6 実測された2次曲げ応力。 τ/τ^* 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ねみは抑制されるが、サブパネルで独自の变形が発生する。この変形はサブパネルの初期たねみモードの影響を受けるため、2次曲げ応力の分布モードは数モードとなる。

参考文献

- 1) 前田, JSSC, Vol. 9, No. 86, pp. 32-41, 1973.
- 2) 昭和54年度関西支部年講(I-9).
- 3) Timoshenko, S.P. & Gere, J.M.: Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill, pp. 344-346, 1961.
- 4) 前田・川井, 溶接学会誌, 第43巻第7号, pp. 736-742, 1974.

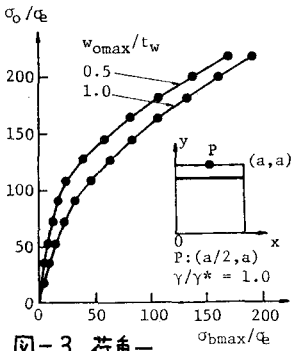


図-3 荷重—2次曲げ応力曲線

$$y \quad \sigma_b = \frac{E\pi^2}{12(1-\nu^2)} \{t_w/(a/5)\}^2$$

図-4 矩形板

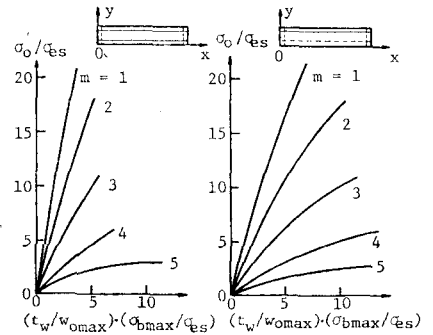


図-5 荷重—2次曲げ応力曲線

