

大阪大学工学部 正会員 大倉一郎

大阪大学工学部 正会員 前田幸雄

大阪大学工学部 学生員 松井幹雄

## 1. まえがき

薄肉プレートガーダーが繰り返し荷重を受けると、フランジ及び垂直補剛材をウェブに連結する隅肉溶接のウェブ側端に疲労亀裂の発生する可能性があることが明らかにされている<sup>1)</sup>。図-1に示すように、せん断を受ける薄肉プレートガーダーの場合、疲労亀裂は斜め張力場方向の隅角部付近に発生する。初期たわみを有する薄肉ウェブがせん断荷重を受けて面外へ繰り返し変形することに

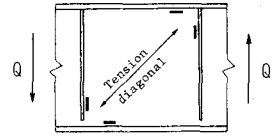


図-1 疲労亀裂の発生位置<sup>2), 3)</sup>によって、隅肉溶接のウェブ側端に生ずる二次的な面外曲げ応力がこの疲労亀裂の発生原因である。既報では、有限要素法解析の結果と実験結果との比較により、疲労亀裂は、形状比が1より小さいウェブに対しては垂直補剛材側に沿って発生しやすく、形状比が1より大きいウェブに対してはフランジ側に沿って発生しやすいことが明らかにされた。しかし、形状比が1のウェブに対して、疲労亀裂が垂直補剛材側に沿って多く発生したことは未解決の問題として残されている。本報告は、この問題を説明することを目的とする。

## 2. 解析モデル

既報では、純せん断を受ける長方形板の面外有限変形を解析したが、実際のプレートガーダーはせん断のほかには必ず曲げをも受けるので、本報告では、せん断と面内曲げを受ける正方形板の面外有限変形を解析する。解析モデルは、図-2に示すように、 $a \times a$ の正方形板で次式で定義される初期たわみ $w_0$ を有する。 $w_0/t_w = 0.1 \sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/a)$  (1)

ここに、 $t_w$ は板厚であり、本報告では、 $x$ 軸方向の初期たわみモード $m$ と $y$ 軸方向の初期たわみモード $n$ の組み合わせによって与えられる初期たわみ形状をモード $(m, n)$ と呼ぶ。要素分割は144要素169節点である。境界条件は、面内方向に

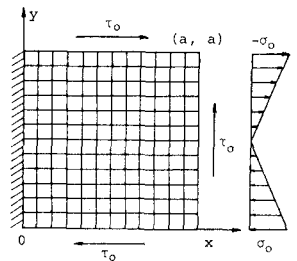
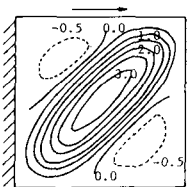


図-2 解析モデル

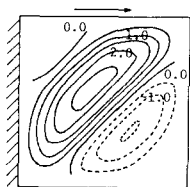
して、辺 $x=0$ の $x$ 軸方向と $y$ 軸方向の変位を固定し、他の3辺を自由とし、面外方向に対して4辺固定支持とする。また、載荷条件は、辺 $x=a$ と辺 $y=0$ 、 $a$ に一様分布のせん断応力が生じ、かつ辺 $x=a$ に直線分布の面内曲げ応力が生ずるように載荷する。Yenの実験では、比 $\tau_0/\sigma_0$ が約1程度のものをせん断を受けるウェブパネルと定義しているのど、 $\tau_0/\sigma_0 = 1$ について計算する。この計算結果との比較のために、純せん断を受ける場合についても計算する。

## 3. 面外たわみ形状

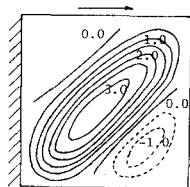
面外たわみ形状を図-3に示す。ここに、 $\sigma_e = \pi^2 E / \{12(1-\nu^2)(a/t_w)^2\}$ 、 $E$ =ヤング率、 $\nu$ =ポアソン比。純せん断を受ける場合、初期たわみモード $(1, 1)$ と $(2, 2)$ に対する面外たわみ形状と初



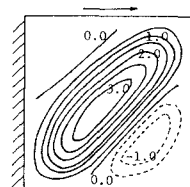
$\tau_0/\sigma_e = 33.28$   
 $\sigma_0/\sigma_e = 0.0$   
Initial deflection  
mode (1, 1)



$\tau_0/\sigma_e = 33.28$   
 $\sigma_0/\sigma_e = 0.0$   
Initial deflection  
mode (2, 1)



$\tau_0/\sigma_e = 33.28$   
 $\sigma_0/\sigma_e = 33.28$   
Initial deflection  
mode (1, 1)



$\tau_0/\sigma_e = 33.28$   
 $\sigma_0/\sigma_e = 33.28$   
Initial deflection  
mode (2, 1)

(a) 純せん断を受ける場合

(b) せん断と面内曲げを受ける場合

図-3 面外たわみ形状 $[(w_0 + w)/t_w]$

期たわみモード(1,2)と(2,1)に対する面外たわみ形状とは異なる。前者の場合、対角線方向に1つの波が形成されるが、後者の場合、2つの波が形成される。せん断に面内曲げが加わると、面外たわみ形状は、初期たわみモードにかかわらず互いに類似した形状になる。

**4. 2次曲げ応力** 各辺上に生ずる2次曲げ応力の分布は、面外変形に依存するため、純せん断を受ける場合には、初期たわみモード(1,1)と(2,2)に対するものと初期たわみモード(1,2)と(2,1)に対するものとは異なるが、せん断に面内曲げが加わると、2次曲げ応力の分布は、各初期たわみモードにかかわらず互いに類似した分布になる。その一例を図-4に示す。また、荷重と各辺上の2次曲げ応力の関係を図-5に示す。荷重が増加すると、各辺上に生ずる2次曲げ応力の大きさの順番が明瞭になる。初期たわみモードにかかわらず、面内曲げによる圧縮端 $\eta=0$ の2次曲げ応力が最も大きく、引張端 $\eta=a$ の2次曲げ応力が最も小さくなる。面内曲げの載荷辺 $\lambda=a$ と支持辺 $\lambda=0$ に生ずる2次曲げ応力は、前述の2次曲げ応力の中間にあり、その大小は初期たわみモードによって異なる。

**5. 疲労き裂の発生位置** Yenの実験でせん断を受けるウェーブネルと定義されたウェーブに対して、疲労亀裂の発生位置を整理すると表-1に示すとおりとなる。疲労亀裂の発生個数は位置B、A、Cの順に多くなる。疲労亀裂は、位置Cに格段に多く発生し、位置Dには発生していない。2次曲げ応力のみが疲労亀裂の発生原因であるとするならば、前節の解析結果から、疲労亀裂の発生個数は、位置Aが最も多く、位置Dが最も少なくなるはずである。しかし、位置Dについては実験結果と一致するが、位置Aについては実験結果と矛盾する。この矛盾を解明する因子として面内曲げによる引張応力の影響を考える。位置Cには、2次曲げ応力のほかに面内曲げによる引張応力が生ずる。この引張応力は、2次曲げ応力に比べればかなり小さいが、2次曲げ応力を受ける隅肉溶接のウェーブ側端の疲労強度を低下させる。これを考慮すれば、Yenの実験において、疲労亀裂の発生個数が位置Aよりも位置Cの方が多かったことが説明できる。すなわち、2次曲げ応力は位置Aの方が位置Cよりも大きかったが、面内曲げによる引張応力のために疲労強度は位置Cの方が位置Aよりも低かったため、位置Cに多くの疲労亀裂が発生したと考えられる。

**6. 結論** せん断を受ける薄肉プレートガーターの疲労亀裂の発生位置に、2次曲げ応力のみならず曲げによる引張応力が影響する可能性を示した。現在、曲げ応力と直応力を同時に受ける隅肉溶接継手の疲労強度について研究を進めている。

**参考文献** 1)前田, JSSC, Vol. 9, No. 86, pp. 32-41, 1973。 2)年講概要集I-126, 1981。 3) Maeda, Y., I. Okura and M. Yoshii, Technol. Repts. Osaka Univ., Vol. 32, No. 1647, 1982。 4) Yen, B.T. and J.A. Mueller, WRC, Bull. No. 118, 1966。

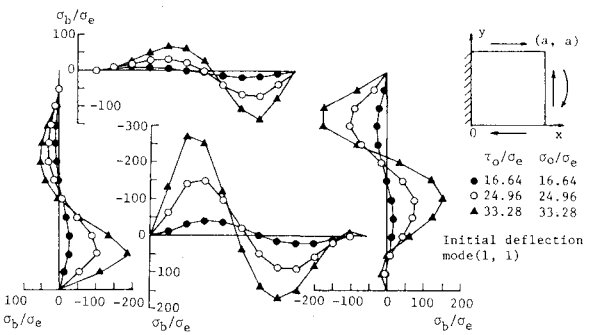


図-4 2次曲げ応力の分布

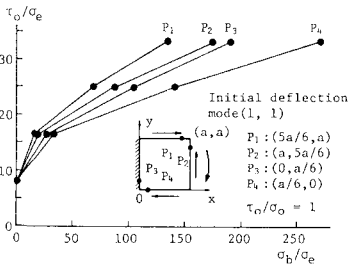


図-5 荷重と2次曲げ応力の関係  
表-1 疲労亀裂の発生位置

| Crack location | Number of cracks |
|----------------|------------------|
| A              | 4                |
| B              | 3                |
| C              | 11               |
| D              | 0                |

