

面内曲げとせん断をうける長方形板の面外有限変形

大阪大学工学部 正会員 前田幸雄
 大阪大学工学部 正会員 大倉一郎
 大阪大学工学部 学生員 松井幹雄

1. まえがき 著者らは、繰り返し荷重をうける薄肉プレートガーダーのウェブの面外変形に起因する疲労き裂を説明するため、ウェブを面内荷重をうける長方形板にモデル化し、この面外変形と疲労き裂の発生原因である境界辺に生ずる2次曲げ応力の関係を調べてきた。これまでは、純面内曲げをうける場合と純せん断をうける場合について解析を行ってきた。本報告は、面内曲げとせん断を同時にうける正方形板の面外有限変形を有限要素法により解析したので、以下に発表する。

2. 解析条件 計算対象は、図-1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を有している。

$$w_0/t_w = 0.1 \sin(m\pi x/a) \sin(n\pi y/a) \quad (1)$$

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、面内方向に対して、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辺固定支持とした。また、載荷条件は、辺 $x=a$ と辺 $y=0$ 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した。

3. 面内曲げとせん断の組み合わせ方法 面内曲げとせん断をうける4辺単純支持された長方形板の座屈応力を与える近似式が次のように与えられている。⁴⁾

$$(\sigma_{ocr}/\sigma_{ocr}^*)^2 + (\tau_{ocr}/\tau_{ocr}^*)^2 = 1 \quad (2)$$

ここに、 σ_{ocr}, τ_{ocr} ：面内曲げとせん断が同時に作用する場合の座屈時の面内曲げ応力とせん断応力、 $\sigma_{ocr}^*, \tau_{ocr}^*$ ：面内曲げとせん断がそれぞれ単独で作用する場合の座屈時の面内曲げ応力とせん断応力。式(2)が4辺固

定支持された場合に対しても近似的に成立すると仮定する。すなわち、 $\sigma_{ocr}^*, \tau_{ocr}^*$ をそれぞれ4辺固定支持された場合の座屈応力で置き換える。しかし、面内曲げについては4辺固定支持に対するものがないので、載荷辺が単純支持で非載荷辺が固定支持のもので置き換える。したがって、正方形板に対して $\sigma_{ocr}^* = 39.7 \sigma_e$ $\tau_{ocr}^* = 14.58 \sigma_e$ (3) となる。ここに、 $\sigma_e = E\pi^2 / \{12(1-\nu^2)(a/t_w)^2\}$ 、 E ：ヤング率、 ν ：ポアソン比。式(2)が与える関係を図-2に示す。解析においては、図の円弧をおよそ4等分する点と原点を結ぶ線の上に荷重を増加させた。直線A, B, C, D, Eは、式(3)を用いて $\sigma_{ocr}^*, \tau_{ocr}^*$ を消去するとそれぞれ次式になる。直線A： $\sigma_0 = 0$ 、直線B： $\tau_0/\sigma_0 = 1$ 、直線C： $\tau_0/\sigma_0 = 1/3$ 、直線D

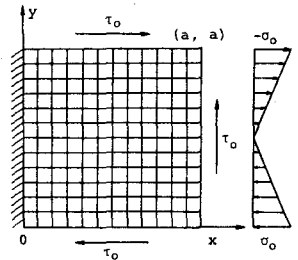


図-1 解析モデル

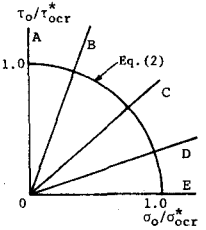
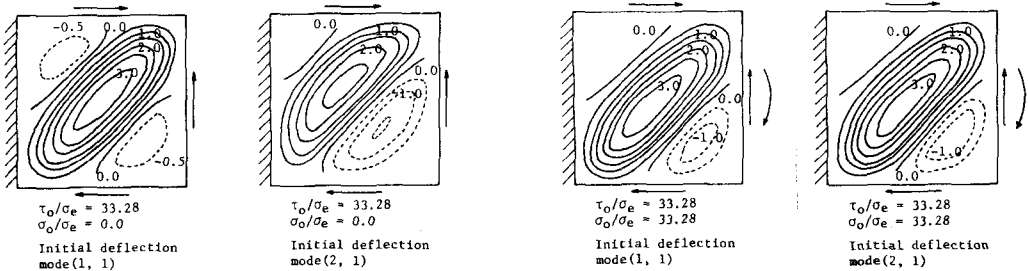


図-2 荷重の組み合わせ

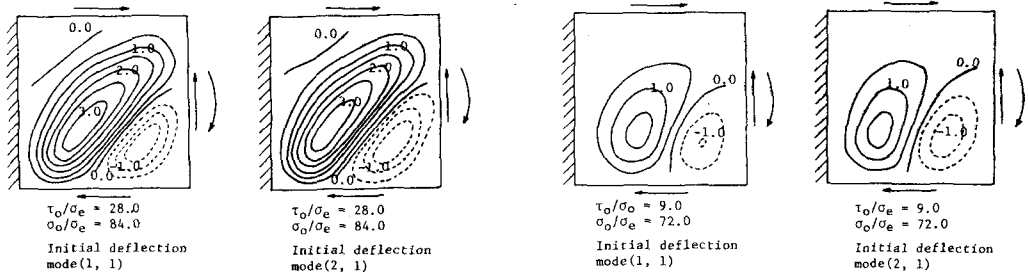
: $\tau_0/\sigma_0 = 1/8$, 直線E: $\tau_0 = 0$.

4. 面外たわみ形状 面外たわみ形状を図-3に示す。純せん断をうける場合、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。面内曲げ作用が大きくなるにしたがって、最大面外たわみの生ずる位置は圧縮側に移動する。



(a) 直線Aに沿って荷重を増加させた場合

(b) 直線Bに沿って荷重を増加させた場合



(c) 直線Cに沿って荷重を増加させた場合

(d) 直線Dに沿って荷重を増加させた場合

図-3 面外たわみ形状 $[(w_0 + w)/t_w]$

5. 2次曲げ応力の分布 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、純せん断をうける場合には、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。

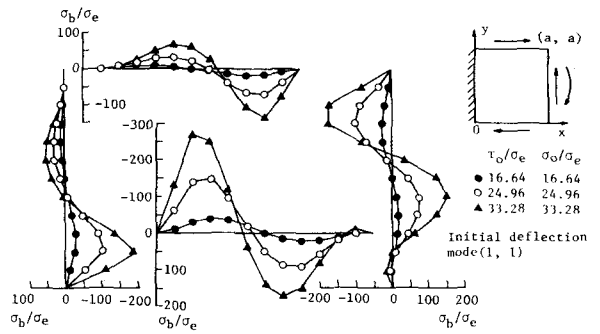


図-4 2次曲げ応力 (直線Bに沿って荷重を増加させた場合)

参考文献

- 1) 前田・大倉, 土木学会論文報告集, 第319号, 1982.
- 2) 吉井・前田・大倉, 年報土木学会, 1981.
- 3) Maeda, Y., I. Okura and M. Yoshii, Technol. Repts. Osaka Univ., Vol.32, 1982.
- 4) Bleich, F.: Buckling Strength of Metal Structures, pp.407-408, 1952.