

大阪大学工学部 正員 奈良 敬
大阪大学工学部 正員 小松 定夫

① まえがき 筆者らは、初期不整を有し圧縮荷重を受ける板および補剛板の極限強度特性について、弾塑性有限変位理論の立場から明らかにしてきた。^{1),2)}本研究では、純せん断応力を受ける鋼板の極限強度について考察する。一般に、せん断応力が作用する薄板については斜め張力場の発生により後座屈強度が期待されると考えられていて、後座屈強度や極限強度特性に関する研究は主として張力場理論により塑性解析の立場から実施されてきた。本研究は、有限要素法を適用して、初期にわみと残留応力を有し純せん断応力を受ける周辺単純支持板の極限強度特性を明らかにすることを目的として実施されたものである。

② 解析法 等質等方性であり、von Mises の降伏条件および Prandtl-Reuss の塑性流れ則に従う完全弾塑性体で、びずみ硬化のない材料を対象とし、かつ、Hybrid displacement model に基づく Kikuchi-Ando³⁾ による弾塑性有限変位解析法を用いる。

③ 解析モデル せん断変形の導入に際し、図-1に示すように解析モデルの板要素に曲げ剛性無限大の載荷棒を取り付ける。これらの載荷棒は、その中点において平行横変位 u_i および回転変位 θ_i ($i=1\sim 4$) の2自由変をもつ。せん断変形は、載荷棒3および4の回転変位 θ_3, θ_4 により与える。この際、面内の垂直力の発生を防ぐため、載荷棒2と4の平行横変位 u_2, u_4 を自由とする。載荷棒の他の変位についてはすべて拘束する。載荷棒上にある節点の、載荷棒軸方向の変位は、載荷棒の平行横変位を用いて線形補間する。このような方法でせん断変形を導入して数値計算をしに結果、降伏に至る要素が発生するまで、せん断応力は一様な分布を示し、本載荷方法により純せん断応力状態が得られることを確認した。次に、初期にわみについて、式(1)に示す1次波形状で与える。最大初期にわみ W_0 は基本値として道路橋示方書の規定値 $\frac{b}{150}$ を用いる。残留応力については文献4)に従い決定した。その他のパラメータとして、縦横比 $\alpha (= \frac{a}{b})$ 、幅厚比を表わすパラメータ R_c を用いる。 R_c は式(2)に示すように、座屈係数 $k_c=4$ の場合の幅厚比パラメータである。要素分割と精度について調べた後、要素分割は 8×8 とした。

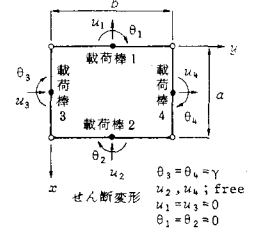


図-1 載荷棒とその自由度

・初期にわみ波形

$$W_{0,ij} = W_0 \sin \frac{i\pi x}{a} \sin \frac{j\pi y}{b} \quad (1)$$

・幅厚比パラメータ

$$R_c = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k_c}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに、} k_c &= 4, \nu = 0.3 \\ E &= 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

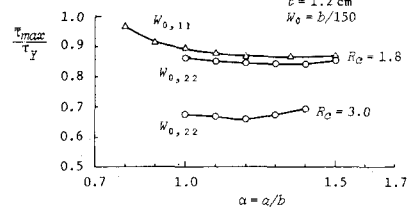


図-2 極限強度-縦横比曲線

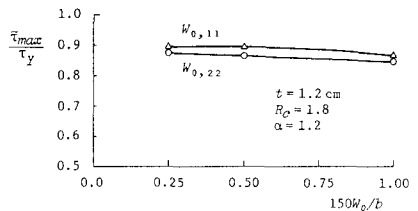


図-3 敏感度曲線

④ 極限強度特性 まず、初期にわみ波形として基本波形 $W_{0,11}$ (板曲げモード1次波形状) を与えて数値計算したところ、極限状態においてにわみ波形 W_{22} (板曲げモード2次波形状) が顕著に現われることがわかった。このため、 W_0, α, R_c 、残留圧縮応力 σ_{rc} の他に初期にわみ波形も種々変化させ、極限強度に与える影響について調べた。図-2より、 $R_c=1.8$ の場合、 α の値に拘わらず、 $W_{0,11}$ に比較して $W_{0,22}$ の方が極限強度を低下させる。次に、最大初期にわみ W_0 の値による極限強度の変化を図-3に示す。この図より、初期にわみ波形 $W_{0,11}, W_{0,22}$ に関係なく、最大初期にわみによる極限強度の敏感度は大変小さいことがわかる。また、縦横比 $\alpha=1.2$ の場合、図-4に示すように残留応力の有無による極限強度の変化は無視しうる程小

さい。従って、これらの図より、極限強度に変形的影響を与えるパラメータは R_c , α , 初期ねわみ波形であると思われる。図-5に、正方形板の低荷重時および極限状態におけるねわみ波形の一例を示す。低荷重時では初期ねわみ波形 $W_{0,22}$ に相似したねわみ波形が、極限状態になると対角線方向に皺の出来るせん断パネル独特のねわみ波形が生じる。このねわみ波形を荷重段階毎に一般化変位 W_{ij} ($i, j = 1 \sim 4$) で表現し、平均せん断応力度 $\bar{\tau}$ との関係を示したのが図-6である。 R_c が大きくなると、どの曲線も勾配が緩くなる。 $\alpha = 1.0$ の場合と $\alpha = 1.4$ の場合共に、ねわみ波形 W_{11} , W_{22} の振幅はねわみ波形 W_{31} の振幅に比し著しく大きい。このことより W_{11} と W_{22} が支配的なねわみ波形であることが認められる。また、 W_{11} と W_{22} がお互いに逆方向の値を採り大きく成長して破壊に至る挙動が特に顕著である。これは、 W_{11} と W_{22} の両ねわみ波形の重合せが斜め張力場の形成に大きく関係しているに因ると思われる。なお、他の一般化変位は十分小さく、こので図示していない。

5) 現行示方書との比較 一例として、 $\alpha = 1.2$ の場合の極限強度曲線を図-4中の実線を示す。また、 $\alpha = 1.2$ に対応する BS5400⁵⁾ および DAST Richtlinie 012⁶⁾ の基準耐力曲線ならびに Euler の座屈曲線を図-4に併せて示す。両示方書とも、 R_c の小さい領域では危険側、 R_c の大きい領域では安全側の耐力評価となる。特に、DAST の場合、 $R_c \geq 2.0$ ではかなり不経済な設計になるものと思われる。一方、BS5400 の場合、耐力力計算にあたって、 $0.33 \cot^{-1} \alpha \leq \theta \leq 1.33 \cot^{-1} \alpha$ かつ $\theta \leq \frac{\pi}{4}$ にて定義されるパラメータ θ に対して $\frac{\tau_{max}}{\tau_y}$ なるパラメータを最大にする値を求めるという反復計算を強いられ、繁雑さを免れない。図-4に示した極限強度曲線に基づき、上述の示方書の基準耐力力曲線の安全性について検討した。その結果を図-7に示す。DAST の場合、主荷重に対する所要安全率は $\text{erf } v_B(\tau) = 1.32$ で、BS5400 の場合、極限状態に対する所要抵抗係数は $\gamma_m \gamma_{f3} = 1.32$ である。これらに対して v^* の最低値は、DAST で 1.21、BS5400 で 1.17 であった。なお、講演当日には、縦横比 α の種々の値について以上のような考察を加えて結果を説明する。

参考文献 1) 小松・北田：土木学会論文報告集，第270号，1978。 2) S. Komatsu, S. Nara and T. Kitada: Computers & Structures, Vol. 11, No. 5, 1980。 3) F. Kikuchi and Y. Ando: Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo (B), Vol. 31, No. 1, 1973。 4) 小松・平尾・北田：土木学会論文報告集，第265号，1977。 5) BS5400: Part 3, BSI, 1982。 6) Deutscher Ausschuss für Stahlbau Richtlinien: DAST R. 012, 1978。

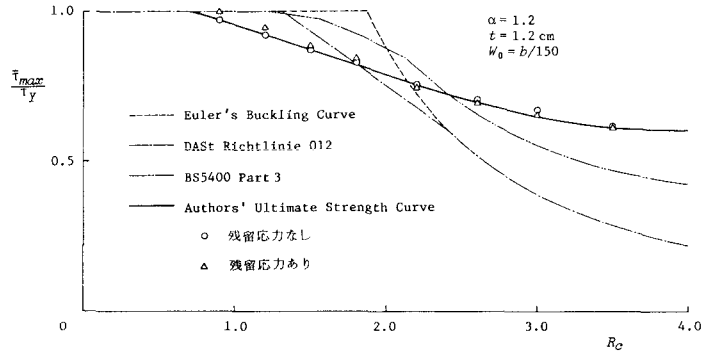


図-4 極限強度曲線

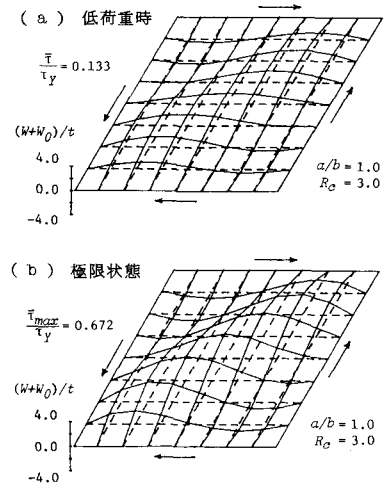


図-5 たわみ波形

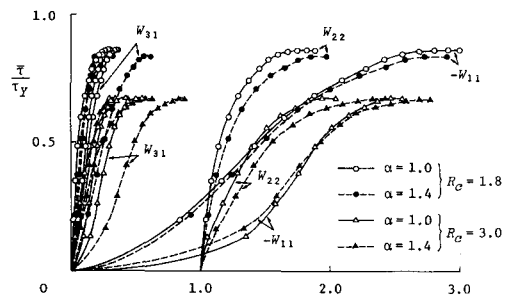


図-6 平均せん断応力度 - 一般化変位曲線

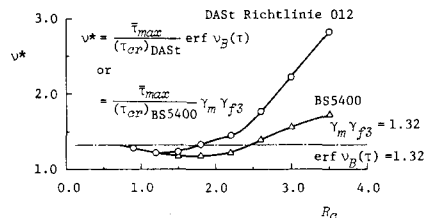


図-7 現行示方書の安全性