

三辺単純支持で一边が自由の圧縮板の極限強度について

大阪大学工学部 正員 小松 定夫
 大阪大学工学部 正員 北田 俊行
 大阪大学大学院 学生員 ○宮崎 清司

① まえがき 薄肉板要素で構成される圧縮部材は、その部材全体の不安定現象を考慮するのみならず、部材を構成する各要素の局部座屈をも防止せねばならない。そこで本研究は、補剛材および無補剛フランジなどの自由突出部を対象とし、それらを三辺単純支持・一边自由の境界条件で理想化し、かつ残留応力と初期たわみの両者を同時に有する場合の極限性状を、弾塑性有限変形問題として、有限要素法により、解析した。

② 解析法 部分的線形化の仮定により変位増分を算定し、その算定には、増分前の変形状態を平面の三角形要素で近似し、2次以上の剛性行列の項を省略した。D.W. Murray, E.L. Wilsonの考え方に従い、移動座標を巧妙に使った。この変位増分より剛体変形を除去し、その正味の変位に対して、微小変形理論を適用することにより、不均衡力の算定を行う⁽¹⁾。すなわち、変形状態Iにおける節点力、変形による応力、ひずみ、正味の变位、および残留応力を、それぞれ f_I , σ_I , ϵ_I , u_I , および σ_r とする。仮想変位の原理より、真の節点力は、

$$f_I + \Delta f_I = \int A_I \{ \sigma_I + \Delta \sigma_I + \sigma_r \} dV \quad (1)$$

$$\text{こゝに} \quad \Delta \epsilon_I = A_I \Delta u_I$$

Δ は各増分量を示す。

全体座標へ変換し、集成すれば、

$$F_{I+1} = F_I + \Delta F_I = \bar{F}_I + F_{r0} + K_I \Delta U_I \quad (2)$$

こゝに

$$F_{r,I} = \sum T_I^T \int A_I \sigma_r dV$$

$$\bar{F}_I = \sum T_I^T \int A_I \sigma_I dV$$

T_I : 座標変換行列

従つて、外力を R_{I+1} とすれば、不均衡力

ΔP は次のように求まる。

$$\Delta P = R_{I+1} + F_{r0} - F_{I+1} \quad (3)$$

こゝに

$$F_{r0} = \sum T_0^T \int A_0 \sigma_r dV$$

この不均衡力は、外力の補正項として考慮する。ここで F_{r0} は、初期たわみを有する板を平面要素で近似したために残留応力によつて生ずる、モデル化によつて導入される仮想力である。

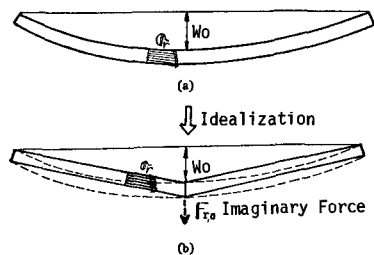


Fig. 1

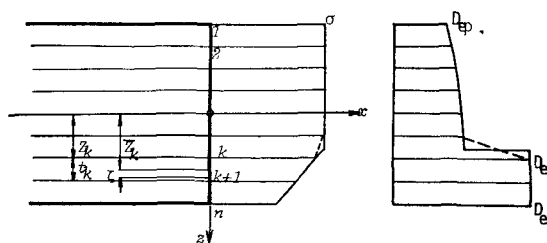


Fig. 2 Assumed Distribution of σ , u

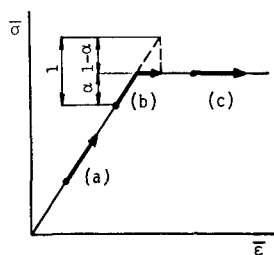


Fig. 3 σ - ϵ Curve

(Fig. 1)

塑性応力-ひずみ行列

D_{pl} は、Zienkiewicz や
山田の考えに従って求
めた。剛性行列の計算
時に必要な D のみ方向
の積分は、要素を層割
し、各層内では応力分

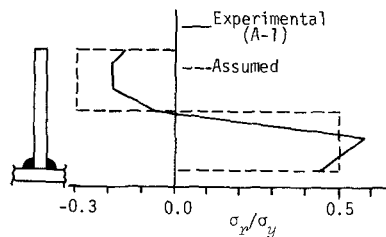


Fig. 4 Distribution of Residual Stress

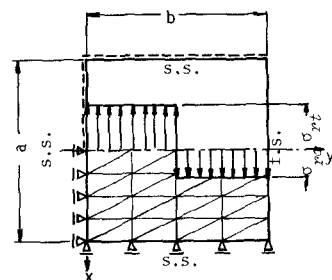


Fig. 5 Element Idealization for Analysis

布および D の分布は直線分布する (Fig. 2) と仮定した。

$$\int D d\bar{\epsilon} = \sum_{k=1}^n (D_{k+1} + D_k) / 2$$

$$\int \bar{\epsilon} D d\bar{\epsilon} = \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{2} \bar{\epsilon}_k t_k (D_{k+1} + D_k) + (D_{k+1} - D_k) \frac{t_k^2}{12} \right]$$

$$\int \bar{\epsilon}^2 D d\bar{\epsilon} = \sum_{k=1}^n \left[\frac{1}{6} (D_{k+1} + D_k) (\bar{\epsilon}_k^2 + t_k^2/2) t_k + \frac{1}{6} (D_{k+1} - D_k) \bar{\epsilon}_k t_k^2 \right]$$

$$= \text{に} \quad \begin{cases} D_{k,e} & (\text{弾性, Strain Reversal}) (a) \\ \alpha D_{k,e} + (1-\alpha) D_{k,p} & (\text{弾性} \rightarrow \text{塑性}) (b) \\ D_{k,p} & (\text{塑性}) (c) \end{cases}$$

$\alpha = (\text{降伏に至るまでの歪増分}) / (\text{全歪増分})$

③ 解析例と考察

補剛材つき圧縮板の補剛材を対象として解析した。初期たわみは、 $W_0 \frac{\pi x}{L}$ と仮定した。最大荷重に至ってから追跡が可能のように、各荷重増分段階において圧縮応の変位増分を Input した。実験データによれば、補剛材においては引張残留応力が大きく、補剛材のみを考えれば自己平衡な分布をしていない。そこで安全側を考えて Fig. 4 の破線のような矩形分布を仮定する。平均圧縮応力と最大たわみの関係を Fig. 6 に示す。残留応力が存在すると、平均応力の最大値は増加するが、板の剛性は低下する。残留応力と初期たわみが平均応力の最大値 $\bar{\sigma}_{max}$ におよぼす影響を、Fig. 7 に示す。初期たわみが、 $\bar{\sigma}_{max}$ におよぼす影響は大きい。また残留応力は引張力の方が大きいので、 $\bar{\sigma}_{max}$ は増加するが、その分だけ補剛材がとりつけられている板に負担がかかると思われる。

[参考文献]

- (1) 小松, 北田: 「有限要素法による板のたわみ解析」, S 48 年度関西交部年講
- (2) 小松, 北田: 「補剛材を有する圧縮板の極限強度に関する実験的研究」, S 49 年度 全国年次講演会 I-127
- (3) 小松, 北田, 宮崎: 「残留応力および初期たわみを有する圧縮板の極限強度解析」, 同上 I-126

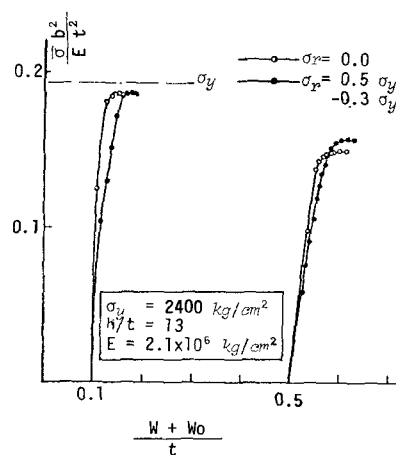


Fig. 6 Mean Load vs. Center Deflection

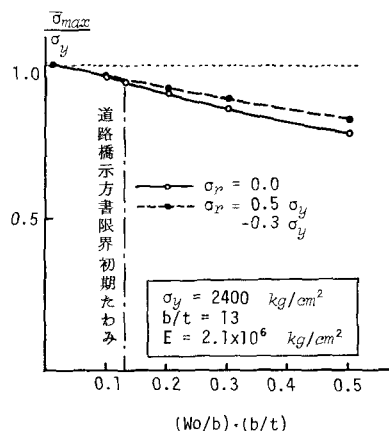


Fig. 7 Ultimate Load vs. Initial Deflection