

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
 大阪大学工学部 正員 北田 俊行

① まえがき 筆者らは、縦方向の一樣相対圧縮変位を受ける縦リブのみで補剛された圧縮板の極限強度について、実験的および理論的立場から報告を行ってきた。^{1),2)} 今回は、これを適用してきた解析理論を縦横に補剛された圧縮板に拡張、適用し、先に発表した実験³⁾ において使用した供試体を数値計算例として解析理論と比較検討することを目的とする。

② 解析法 Von Mises の降伏条件および Prandtl-Reuss の塑性流れ則に従う材料を対象として弾塑性有限変位解析を行なった。横リブについては、図-2 に示すように縦リブと同様に 1 節点 3 自由度のオフセット要素として取り扱う。図-1 に示す状態 I から不つりあい力 $\Delta \tilde{F}_I$ を与えたときの横リブ要素 n のポテンシャルエネルギー増分 $\Delta \Pi_n$ の第一変分 $\delta \Delta \Pi_n$ は次式で示される。

$$\delta \Delta \Pi_n = \delta \Delta \tilde{U}_I^T (\tilde{K}_n \Delta \tilde{U}_I - \Delta \tilde{F}_n)$$

$$\text{ただし、} \tilde{K}_n = H_n^T L_n^T B_r^T \lambda_n^T k_n \lambda_n B_r L_n H_n \quad (2)$$

$$\Delta \tilde{F}_n = H_n^T L_n^T B_r^T \lambda_n^T \Delta f_n \quad (3)$$

ここで H_n は次式のように要素 n の全体座標系での節点変位増分 ΔU_n と一般化変位増分 $\Delta \tilde{U}_I$ との関係づけるマトリックスである。

$$\Delta U_n = H_n \Delta \tilde{U}_I, \quad \Delta U_n = \lambda_n B_r L_n \Delta U_n \quad (4), (5)$$

表-1 残留応力分布のパターン化

供試体	$\frac{\sigma_{rc}}{\sigma_y}$	$\frac{\sigma_{rt}}{\sigma_y}$	$\frac{b_{t2}}{b_{t1}}$	$\frac{\sigma_{rc,r}}{\sigma_{y,r}}$	$\frac{\sigma_{rs,r}}{\sigma_{y,r}}$	$\frac{\sigma_{rt,r}}{\sigma_{y,r}}$	$\frac{h_{t2}}{h_{t1}}$	$\frac{h_{cm}}{h_{t1}}$
L2D1	-0.41	1.00	0.50	-0.52	0.35	1.00	0.29	0.50
L2T1D1	-0.31	1.00	0.50	-0.20	-0.05	1.00	0.00	0.39
L2T2D1	-0.33	1.00	0.50	-0.14	-0.14	1.00	0.00	0.00

供試体	$\frac{\sigma_{rc}}{\sigma_y}$	$\frac{\sigma_{rt}}{\sigma_y}$	$\frac{a_{t2}}{a_{t1}}$	$\frac{\sigma_{rc,r}}{\sigma_{y,q}}$	$\frac{\sigma_{rs,r}}{\sigma_{y,q}}$	$\frac{\sigma_{rt,r}}{\sigma_{y,q}}$	$\frac{h_{t2}}{h_{t1}}$	$\frac{h_{cm}}{h_{t1}}$
L2T1D1	-0.38	1.00	0.50	-0.31	-0.23	1.00	0.00	0.44
L2T2D1	-0.29	1.00	0.50	-0.29	0.07	1.00	0.00	0.38

表-2 初期たわみモード ($\tilde{w}_{0,ij}/t$)

供試体	$\cos \frac{\pi X}{L} \sin \frac{\pi Y}{B}$	$\cos \frac{3\pi X}{L} \sin \frac{\pi Y}{B}$
L2D1	0.1340	—
L2T1D0	0.0766	—
L2T2D0	-0.0903	—
L2T2D1/2	-0.0373	0.0215
L2T2D1	0.0448	0.0624
L2T2D2	-0.0182	-0.0338

供試体	$\sin \frac{\pi X}{L} \sin \frac{\pi Y}{B}$	$\sin \frac{2\pi X}{L} \sin \frac{\pi Y}{B}$
L2T1D1	-0.0922	0.0154
L2T1D5	-0.1392	-0.1010

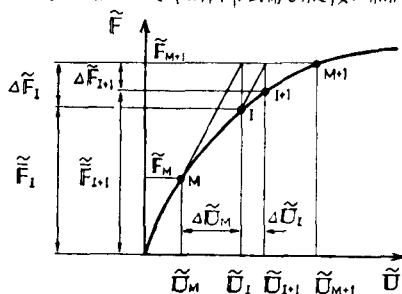


図-1 荷重-変位曲線

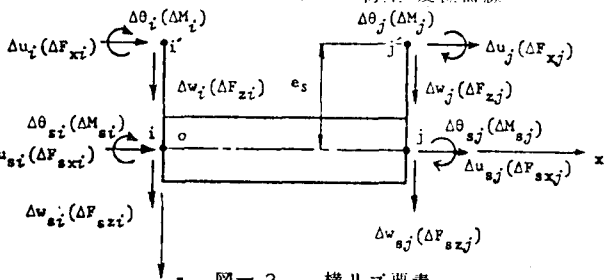


図-2 横リブ要素

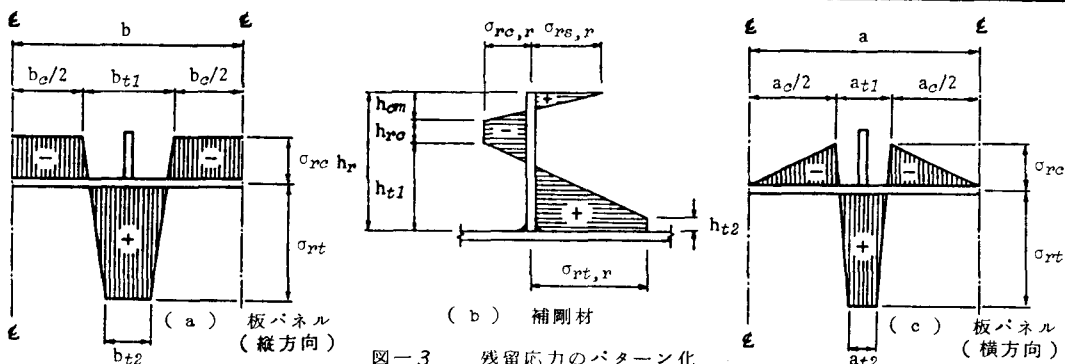


図-3 残留応力のパターン化

$$\Delta f_n = \{\Delta f_{si}; \Delta f_{sj}\} \quad (6)$$

$$\Delta u_n = \{\Delta u_{si}; \Delta u_{sj}\} \quad (7)$$

$$\Delta f_{si} = \{\Delta f_{sxi}; \Delta f_{sji}; \Delta f_{si}\} \quad (8)$$

$$\Delta u_{si} = \{\Delta u_{si}; \Delta u_{sj}; \Delta u_{si}\} \quad (9)$$

また、 L_n :座標変換マトリックス、 B_n :節点変位増分ベクトルの要素を面内と面外の要素に並び変えるマトリックス、

さらに λ_n は節点 i, j の節点力増分 Δf_n 、節点変位増分 Δu_n と節点 i, j の増分 $\Delta f_n, \Delta u_n$ に置換するマトリックスである。

$$\Delta u_n = \lambda_n \Delta u_n', \quad \Delta u_n' = \{\Delta u_{si}; \Delta u_{sj}\}, \quad \Delta u_{si} = \{\Delta u_{si}; \Delta u_{sj}; \Delta u_{si}\} \quad (10)_{i,j}$$

$$\Delta f_n = \lambda_n^T \Delta f_n', \quad \Delta f_n' = \{\Delta f_{si}; \Delta f_{sj}\}, \quad \Delta f_{si} = \{\Delta f_{sxi}; \Delta f_{sji}; \Delta f_{si}\} \quad (11)_{i,j}$$

板要素、縦リフ要素と共に横リフ要素の $\delta \Delta u_n$ を全要素について集積し、ポテンシャルエネルギー極小の原理を適用すれば、文献4)に示すようなつりあい方程式を得る。

③ 数値計算例と考察

文献3)の実験供試体のうち、初期にのみ

と縦横方向の残留応力が共に測定された2体の供試体L2T

1D1, L2T2D1を数値計算例に用いた。残留応力については

表1、図3に示すように残留応力測定用供試体より得られた

実験値を基にパターン化を行い導入した。初期にのみに

ついては実験値のモード化を計った。すなわち表2に示す

ように実験値を三角級数に当てはめて最小自乗法により求

めた値を用いた。実験時のたわみ波形より逆対称波形が生

じた供試体L2T1D1の場合は図4(a)、供試体L2T2D1に

ついては図4(b)に示す解析モデルを用いた。考慮したたわみモードは、

供試体L2T1D1に対しては $\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1,3} \tilde{w}_{ij} \sin \frac{i\pi x}{L} \sin \frac{j\pi y}{B}$ 、L2T2D1には $\sum_{i=1,3,5} \sum_{j=1,3,5} \tilde{w}_{ij} \cos \frac{i\pi x}{L} \sin \frac{j\pi y}{B}$ である。平均圧縮応力度と軸方向圧縮変位および縦リフの軸

方向ひずみの関係を示す図5、6からは、実験値と解析値の良好一致が認め

られる。板パネル中央部でのひずみについては塑性域に入ってから実験値

の方が大きく流れる差が生じる。図7に平均圧縮応力度とたわみの関係を

一般化座標で表わす。たわみ波形については弾塑性状態に至る若干解析

値が大きいものの傾向をよく追跡していることが認められた。さらに全供

試体8体について横方向残留応力を無視して解析したときの極限強度を表

3に示す。実験値との誤差は0.5～4.8%を占める安全側の解析値を示した。

④ 結論

実験結果と解析結果を比較検討した結果、(i)解析結果は実験

で観察された挙動を十分にシミュレートしている、(ii)実験値の極限強度と

の差は最大4.8%である。参考文献1)小松・牛尾・北田:補剛材と有る圧縮板の極限

強度に関する実験的研究、土木学会論文報告集、第255号、1976年、2)小松・北田・奈良:初期不整を

含む縦リフを補剛した連続圧縮板の極限強度特性、昭和53年度関西支部年講概要集I-61、

3)小松・牛尾、北田、奈良:縦横に補剛した圧縮板の極限強度に関する実験的研究、昭和53年

度関西支部年講概要集I-63、4)北田・小松・岡田:初期不整を有する補剛材に圧縮板の

弾塑性有限変位解析、第31回年講概要集I-142。

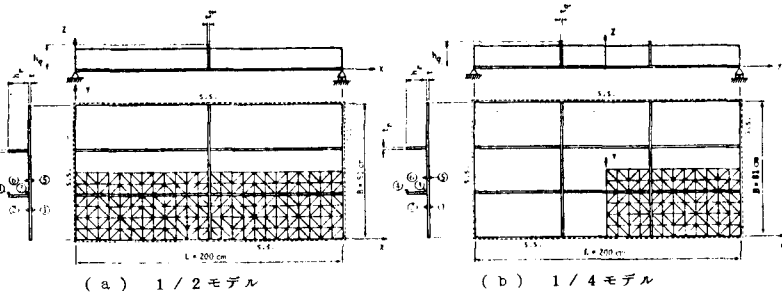


図-4

解析モデル

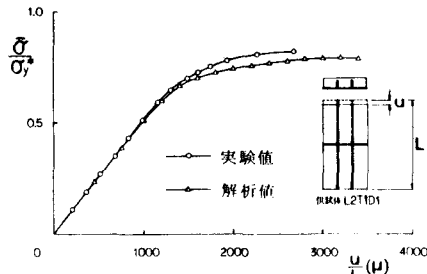


図-5 圧縮平均応力度と圧縮変位

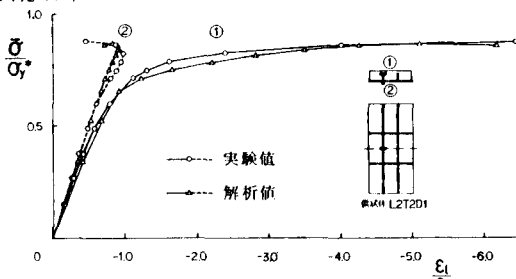


図-6 圧縮平均応力度とひずみ

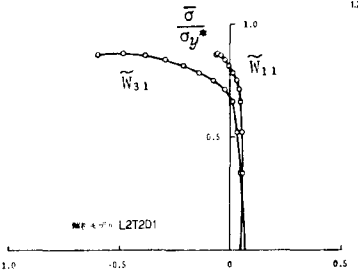


図-7 圧縮平均応力度とたわみ (一般化座標による表現)

表-3 解析結果と実験結果との比較

供試体	①	②	①-②
	解析値	実験値	② (%)
L2D1	0.735*	0.749	-1.9
L2T1D0	0.692*	0.726	-4.7
L2T1D1	0.788	0.828	-4.8
"	0.789*	"	-4.7
L2T1D5	0.854*	0.871	-2.0
L2T2D0	0.730*	0.749	-2.5
L2T2D1/2	0.857*	0.861	-0.5
L2T2D1	0.868	0.880	-1.4
"	0.869*	"	-1.3
L2T2D2	0.841*	0.850	-1.1

*印は横方向残留応力を考慮せず