

大阪大学大学院 学生員 竹谷 栄一
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 本研究では、残留応力および初期たわみを同時に有する補剛板の圧縮極限強度に関する近似的解析法を提示し、さらに ①補剛材に高張力鋼を用いるハイブリッド補剛板や ②補剛材の製作に機械切断およびガス切断を用いた場合のそれぞれに異なる残留応力分布を有する補剛板の圧縮極限強度を本法を用いて解析し、その強度特性について報告する。

② 解析法 補剛材間の板パネルの座屈後の剛性は有効幅の概念で評価し、補剛板から補剛材と板パネルの有効幅部分とからなる柱(以下、有効補剛材)を取り出し、この有効補剛材の圧縮強度を基に補剛板全体の極限強度を算定する。有効幅の決定に際しては、補剛材間の板パネルを補剛材位置で単純支持された圧縮板とみなし、弾塑性有限変位解析^[1]を行って求めた耐荷力曲線を利用して極限状態における有効幅係数 K_{bs} を決定する。その際、補剛材位置での板パネルの応力 σ_f は必ずしも降伏点には至らない。そこで、 σ_f が有効補剛材の圧縮極限強度に等しいと仮定して有効幅の決定においてはこの σ_f を板パネルの仮想の降伏点とみなす。したがって有効幅の決定には反復計算が必要となる。

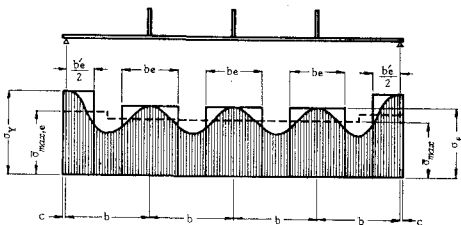


図-1 補剛板の残留応力分布

$$K_{bs} = \frac{b_e}{b} = \frac{\bar{\sigma}_{max}}{\sigma_f}, \quad K'_{bs} = \frac{b'_e}{b} = \frac{\bar{\sigma}_{max,e}}{\sigma_y} \quad (1)$$

すると補剛材全体の極限荷重 P_m は

$$P_m = \sum_{i=1}^n \sigma_f A_{ei} + \sigma_y (b'_e + 2C)t \quad (2)$$

ここで A_{ei} : 有効補剛材の断面積, n : 補剛材本数,
 t : 板パネルの板厚, C : 他の板要素と連結するための余裕幅

③ 数値計算結果 本解析法の検証を行うため、小松・牛尾・北田の実験^[2]、Horne, Narayanan の実験^[3]、小松・吉川・牛尾の実験^[4]の諸元を用いて本法による解析結果とこれらの実験結果との比較を行った。その結果を表1、表2、表3に示す。

次に数値計算例として ①種々のハイブリッド補剛板の極限強度を本法を用いて解析し、その強度特性について調べた。板パネルの部分には SS41 ($\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$), 補剛材部分には i) SS41 ii) SM50 ($\sigma_y = 3200 \text{ kg/cm}^2$), iii) SM50Y ($\sigma_y = 3600 \text{ kg/cm}^2$), iv) SM58 ($\sigma_y = 4600 \text{ kg/cm}^2$) の4種の鋼材を用いた。解析に用いた補剛板の断面諸量を図2に示す。幅厚比は道示の規定限界値の40, 補剛材の剛比 r は道示の必要最小剛比 r_n (30.2) とした。解析結果を表4および図3に示す。その際、補剛材部の初期たわみは図4に示すよ

表-1 小松・牛尾・北田の実験結果との比較

供試体	実験値	本法	
	P_m	P_m	err.
A1-1	225 (.82)	248 (.90)	10.2
A1-2	235 (.83)	254 (.90)	8.1
A0-1	280 (.78)	273 (.76)	-1.8
A0-2	310 (.85)	315 (.86)	1.6
A0-3	330 (.85)	345 (.89)	4.5
B0-1	210 (.73)	200 (.69)	-4.8
E0-1	95 (.57)	86 (.51)	-9.5
E0-2	104 (.59)	101 (.57)	-2.9
E0-3	125 (.65)	124 (.64)	-0.8
C0-1	140 (.44)	131 (.41)	-6.4
D0-1	75 (.33)	72 (.32)	-4.0
本計算例	自乗平均 標準偏差	5.8 -0.5 5.8	

表-2 Horne, Narayanan の実験結果との比較

供試体	実験値	本法	
	P_m	P_m	err.
A23	350 (.62)	356 (.63)	1.7
A21	361 (.64)	357 (.63)	-1.1
E23	222 (.45)	209 (.42)	-5.9
E21	220 (.44)	207 (.42)	-5.9
D22	307 (.60)	339 (.66)	10.4
D21	290 (.57)	312 (.61)	7.6
7	500 (.79)	485 (.77)	-3.0
14	525 (.83)	482 (.76)	-8.2
12	500 (.79)	464 (.73)	-7.2
本計算例	自乗平均 標準偏差	6.4 -1.3 6.2	
両計算例	自乗平均 標準偏差	6.1 -0.9 6.0	

表-3 南港連絡橋の実験結果との比較

支持条件	実験値	本法	
	P_m	P_m	err.
固定	326.6	312.9 (.92)	-4.2

P_m : 極限荷重(t)
err: 誤差(%)

うに道示の規定限界値 $\delta/a = \pm 1/1000$ を用いた。たわみの方向は、板パネル側を負のたわみ、補剛材側を正のたわみと定義した。特に負の初期たわみの場合は図4(b)のような3径間連続の柱モデルを用いた。これは板パネルに圧縮残留応力が存在するため、圧縮力が作用すると板パネルの有効断面積が大幅に減少し、有効補剛材の中軸が補剛材の方へ大きく移動する。そのため図4(a)のような1径間の柱モデルの場合には、補剛材に負の初期たわみを与えても最終的には正のたわみ波形となり極限状態に至る。そこで図4(b)のような3径間の柱モデルを用いた。さらに ②文献[2],[5]の残留応力の測定結果を参考にして、補剛材の製作を機械およびガス切断により行った場合のそれぞれについて異なる補剛材部の残留応力分布のパターン化を行ない、それぞれの補剛板を本法により解析した。その結果を表5に示す。機械・ガス切断のそれぞれの残留応力分布のパターンを図5に示す。 σ_{rs} , h_s' は実験結果を参考にして、それぞれ0.5, 0.11とした。また、 σ_{rc} , σ_{rcs} は $-0.4\sigma_y$, $\sigma_{rt} = \sigma_{rt}' = \sigma_y$, $b_{t2} = b_{t1}$, $h_{t2} = 0$ と仮定し、軸力および曲げモーメントの自己平衡状態を満足するように b_{t1} , h_{t1} を決定した。解析に用いた補剛板の断面および初期たわみは前例と同様である。

4 考察および結論 (1)表1, 表2, 表3より本法の有用性が実証された。(2)表4および図3より最大荷重 P_m には、補剛材に高張力鋼を用いてハイブリッドにした場合の初果が現われている。また極限強度 $\bar{\sigma}_m$ を以下に示す平均降伏点 $\bar{\sigma}_y$ で無次元化して $\bar{\sigma}_m/\bar{\sigma}_y$ を求めた。

$$\bar{\sigma}_y = \frac{\sigma_y(n+1)b \cdot t + \sigma_{ys} \cdot n \cdot h \cdot t_r}{(n+1)b \cdot t + n \cdot h \cdot t_r} \quad (3)$$

ここで σ_y : 板パネルの降伏点, σ_{ys} : 補剛材の降伏点
(3)表5より、機械切断の場合とガス切断の場合の極限強度の差異はあまり認められないことがわかる。

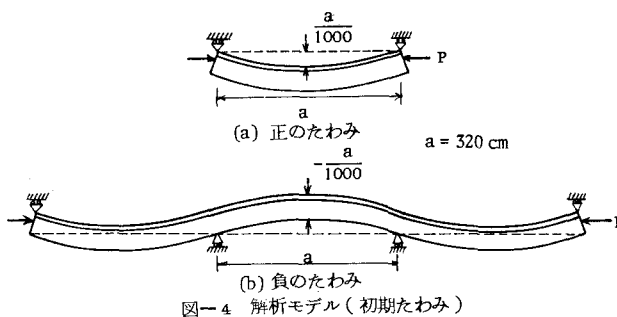
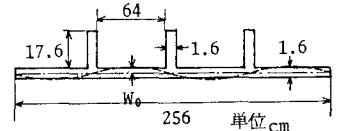


図4 解析モデル(初期たわみ)

[参考文献] 1)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弾塑性解析, 土木学会論文報告集, 第244号
2)小松・牛尾・北田: 補剛材を有する圧縮板の極限強度に関する研究(第2報) 昭和50年度関西支部年講I-42, 1975
3)Horne-Narayanan: An approximate method for the design of stiffened steel/compression panels, Instn. Civ. Eng. Part 2, 59, Sept, 1975, 4)牛尾・小松・北田: 実橋の実物大模型による補剛材の残留応力および初期たわみの測定報告, 第31回年講概要集



板パネルの初期たわみ ($a = 320$)

$$W_0/b = 1/150, \delta/a = \pm 1/1000$$

図-2 断面諸量

表-4 ハイブリッド補剛板の圧縮極限強度に及ぼす影響

dys	たわみ	P_m	σ_m/σ_y
2400	正	912.4	.769
3200	正	920.3	.734
3600	正	922.8	.717
4600	正	928.3	.677
2400	負	784.6	.662
3200	負	851.0	.679
3600	負	880.7	.684
4600	負	946.8	.690

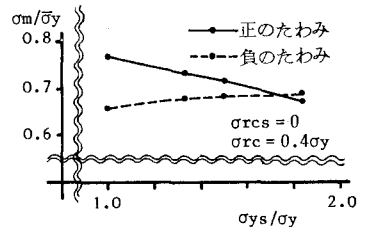


図-3 ハイブリッド補剛板の圧縮極限強度に及ぼす影響

表-5 機械切断とガス切断の場合の圧縮極限強度に及ぼす影響

	たわみ	P_m	σ_m/σ_y
機械切断	正	888.7	.749
ガス切断	正	891.2	.751
機械切断	負	769.8	.649
ガス切断	負	773.6	.652

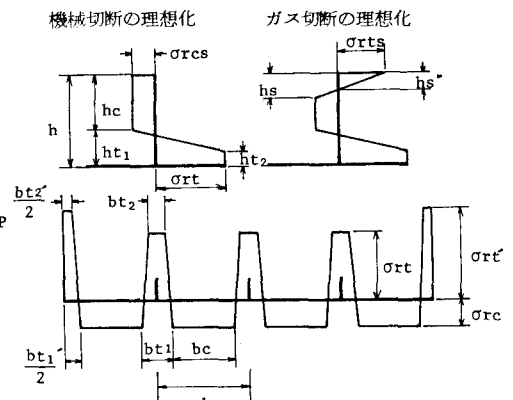


図-5 残留応力分布の理想化