

名古屋工業大学 正員 長谷川 彰夫  
 日本工営 正員 奥田 俊雄  
 名古屋高速道路公社 正員 江口 昂三

1. まえがき: 補剛板の強度特性に関しては、すでに多くの検討が行われ、道路橋示方書等の設計基準にもその一部が反映されている。しかし、それらの検討は力学的特性にもとづく強度の評価が中心であり、補剛板における補剛材の配置及び寸法決定の効率性に関してはほとんど検討されていない。ここではすでに得られている補剛板の強度特性をもとに、補剛板の最適設計の方法を提案し、実際に数値計算を実施して、補剛板の最適特性について検討する。

2. 最適化の方法: 対象とする補剛板は Fig.1 に示すような純圧縮を受ける等間隔、等補剛材を持つ鋼補剛板である。補剛材は板片補剛材とする。考慮すべき設計項目は補剛板としての全体座屈 ( $j=1$ ) と局部座屈 ( $j=2$ ) 及び補剛材板片の局部座屈 ( $j=3$ ) であり、ここではそれぞれ独立な現象として扱う。最大荷重設計のアルゴリズム<sup>1)</sup>における規定関数  $C_j$  として、文献(2)に与えた応力表示の耐荷力曲線を用いる。ただし、補剛板の全体座屈における座屈係数は、線形近似式でなく、厳密式を用いる。補剛材板片の局部座屈については、無補剛板の耐荷力曲線を用い、座屈係数としては自由突出脚での値を用いる。耐荷力曲線に対する安全率は 1.7 とする。

設計関数  $D_j$  ( $j=1\sim3$ ) は純圧縮を受ける補剛板の作用応力で、

$$D_j = P/A_t = P/\{bt + (n-1)b_s t_s\} \quad (j=1\sim3) \quad (1)$$

で与えられる。寸法の記号を Fig.1 に示す。P は全圧縮力、 $A_t$  は補剛板全断面積、 $n$  はパネル数である。単位荷重のもとでの作用応力を与える構造解析関数  $A_j$  は  $A_j = D_j/P$  で与えられる。状態能力関数は  $P_j = C_j/A_j$  で無次元表示すれば

$$\bar{P}_j = P_j/b^2 \sigma_y = (C_j/\sigma_y)/(A_j \cdot b^2) = \bar{C}_j/\bar{A}_j \quad (j=1\sim3) \quad (2)$$

となる。補剛板の辺長比  $\alpha$ 、補剛材 1 本あたりの面積比  $\delta$  及び剛比  $\gamma$  が

$$\alpha = a/b, \quad \delta = b_s t_s/bt, \quad \gamma = 4(1-\nu^2)b_s^3 t_s/bt^3 \quad (3)$$

で与えられることを考えると、ポアソン比  $\nu = 0.3$  として、無次元化状態能力関数の関数関係は

$$\bar{P}_j = f(b/t, b_s/t_s, \alpha, R, \sigma_y, n) \quad (4)$$

となる。ここで、 $\sigma_y$  は鋼種を表す定数で  $\sigma_y = \sqrt{E/\sigma_y}$ ,  $R = b^2/A_t$  で Fig.1 純圧縮を受ける補剛板ある。補剛板では、板全幅  $b$  を与えて設計する場合がふつうであり、その場合、断面積一定の条件は  $R = \text{一定}$  と等価になる。辺長比  $\alpha$  については、Fig.1 に示すように、横補剛材の配置により変化するものと考えればよい。ただし、ここでは、横補剛材の設置による材料増加を考慮しない。

最適化の計算では、 $\sigma_y$ ,  $n$ ,  $\alpha$  が一定の条件のもとで、一定の断面積を示す  $R = b^2/A_t$  をパラメーターとし、最大荷重設計のアルゴリズム<sup>1)</sup>にもとづいて

$$P_{\max} = \max_{x_1} \{ \min_{j=1\sim3} \bar{P}_j(x_1, x_2) \} \quad (j=1\sim3) \quad (5)$$

を求め、最大荷重を与える幾何学的特性値を得る。ここで  $x_1 = b/t$ ,  $x_2 = b_s/t_s$  である

3. 数値計算例と考察: 式(5)は制約条件を持たない多変数関数の極値問題であり、ここでは、直接探索法の一つであるシンプレックス法を用いた。数値計算の結果の中から、補剛板全幅  $b = \text{一定}$  のもとでの全断面積  $A_t$  と単位断面積あたり最大荷重の関係の一例を  $b^2/A_t$  と  $P_{\max}/\sigma_y A_t$  の関係として Fig.2, 3 に示す。たて軸は

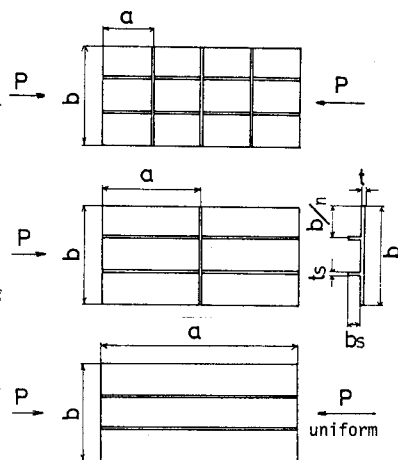


Fig.1 純圧縮を受ける補剛板

$R_{max} / \sigma_y A_t = R \cdot \bar{P}_{max}$  として計算される。Fig. 2 は  $n=3$  の場合の辺長比  $\alpha$  の最適特性に及ぼす影響、Fig. 3 は  $\alpha=1.0$  の場合のパネル数  $n$  の影響を示す。パネル数によって結果が異なるものの、辺長比の値すなわち横補剛材間隔の影響が比較的小さいのが注目される。これらの最大荷重は考慮した設計項目  $j=1 \sim 3$  がほぼ同時に限界に達して得られていることを確認した。

Fig. 2, 3 とともに結果が耐荷力曲線に似た形で得られているが、これらの結果は、最適解を与える曲線であり、耐荷力曲線ではない。

$n=3$ 、 $\alpha=1.0$  の場合の最大荷重を与える最適な全幅厚比  $b/t$  及び補剛材板片幅厚比  $b_s/t_s$  の結果を Fig. 4 に示す。最適幅厚比は  $b^2/A_t$  に関し、ほぼ直線的に変化する。 $b^2/A_t$  の小さい領域における斜線部は、最適解が唯一ではなく、その領域内の組み合わせにより多数存在することを示す。これは、降伏領域における耐荷力曲線により最適解が支配され、目的関数 (5) の最大値が点でなく、領域で与えられることに原因する。この領域を求める場合、Fig. 2 を追跡する最適化計算では効率が悪いので、3つの設計項目全てが降伏によって支配されるという条件を用いた。

このようにして得られた結果をもとに、補剛板の最適解を与える補剛材の面積比及び剛比を計算した。 $n=3$  の場合の最適面積比  $\delta$  の結果を Fig. 5 に、最適剛比  $\gamma$  の結果をよく知られた最小剛比  $\gamma_{min}$  との比として Fig. 6 に示す。 $b^2/A_t$  が小さく、最適解が領域で与えられる場合は、その上限値と下限値を示した。 $b^2/A_t$  の値が大きい場合は、最適剛比が最小剛比にほぼ一致するが、 $b^2/A_t$  の値が小さく、降伏によって最適解が支配される領域では、最適値の範囲が大きくなり、必ずしも、最小剛比にこだわる必要はない。

参考文献： 1) 長谷川 彰夫、小椋 義隆、松浦 聖；最大荷重設計による2軸対称プレート・ガーダーの最適化、土木学会論文報告集、オ 310 号、1981年6月、 2) 長谷川 彰夫、宇佐美 勉；鋼板要素の強度設計に関する一考察、土木学会年次講演集、オ1部、昭和56年10月

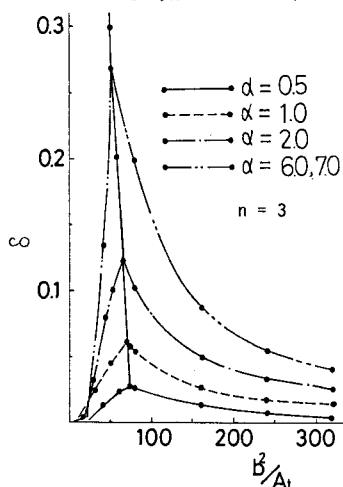


Fig. 5 補剛材1本あたり最適面積比 ( $n=3$ )

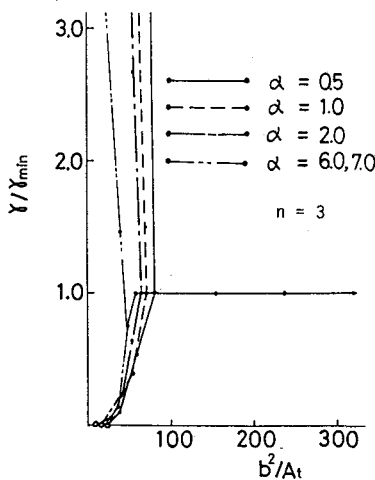


Fig. 6 補剛材1本あたり最適剛比 ( $n=3$ )

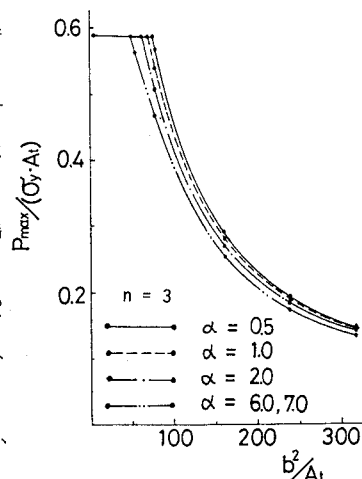


Fig. 2 補剛板の単位断面積あたり最大許容荷重 ( $n=3$ )

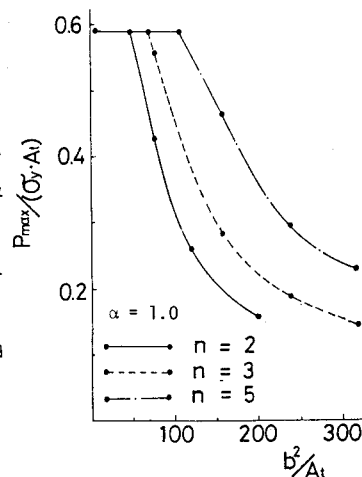


Fig. 3 補剛板の単位断面積あたり最大許容荷重 ( $\alpha=1.0$ )

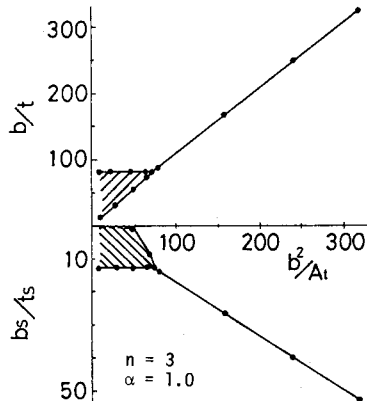


Fig. 4 最適全幅厚比と補剛材幅厚比 ( $n=3$ ,  $\alpha=1.0$ )