

関西大学工学部 正会員 三上市藏
日本電子計算 正会員 ○丹羽量久

1. まえがき 道路橋示方書は, 新しい研究成果に基づき, 経済的・合理的な設計を実現できるようにしかるべき時期に改訂される。圧縮補剛板の設計法については, 改訂の度に若干の変更がなされているが, 一貫して, 直交異方性板理論に基づいて, 規定式を誘導している。現行道路橋示方書¹⁾(以下, 道示)の圧縮補剛板の設計法の規定では, 横補剛材の剛度が小さくて縦横補剛板として補剛板全体が座屈する場合には, 横補剛材の効果をまったく期待しないために, 矛盾が生じる部分があり, 三上ら²⁾は指摘しているが, 改訂されるには到っていない。

縦・横補剛材が節とならない場合の, 補剛板の設計法として過去にいくつかの研究がある。²⁾³⁾ 本報告では, 基本的には道示の考え方に従いながら, 前述の矛盾を除いた縦補剛材の設計法を提案する。本設計法を用いれば, 剛度の小さい横補剛材をもつ補剛板に対して, 道示よりも, 縦補剛材を合理的に設計できる。

2. 縦横補剛板 周辺が単純支持された長方形補剛板が一方向圧縮を受ける場合の座屈を考える。この補剛板は, 主板(長さ L , 幅 B , 厚さ t)が, n_s 本の縦補剛材(断面2次モーメント I_s , 断面積 A_s)と, n_r 本の横補剛材(I_r, A_r)で, 補剛されている。材料は弾性係数 E , ポアソン比 ν , 降伏応力 σ_Y である。縦補剛材は間隔 $b = B/(n_s + 1)$ で, 横補剛材は間隔 $a = L/(n_r + 1)$ で等間隔に配置されている。無次元パラメータは, $\alpha = L/B, \alpha_r = a/B, \gamma_s = EI_s/bD, \gamma_r = EI_r/aD$ で, 主板の曲げ剛度は $D = Et^3/12(1 - \nu^2)$ である。ただし, 縦・横補剛材のねじり剛度は無視する。

3. 縦横補剛板の弾性座屈 縦・横補剛材を含めた直交補剛板(全体パネル)の弾性座屈応力は次式で表される。²⁾

$$\sigma_{cr}/\sigma_Y = 1/\lambda^2 \quad (1)$$

$$\lambda_1 = R\sqrt{\alpha^2(1 + \delta_s)/\{\gamma_s + (n_r + 1)\gamma_r\alpha^3 + (1 + \alpha^2)^2\}} \quad \text{for } \alpha < \alpha_0 \quad (2)$$

$$\lambda_2 = R\sqrt{(1 + \delta_s)/[2\{1 + \sqrt{(1 + \gamma_s)(1 + \gamma_r/\alpha_r)}\}]} \quad \text{for } \alpha \geq \alpha_0 \quad (3)$$

$$R = B/t\sqrt{12(1 - \nu^2)\sigma_Y/\pi^2 E} \quad (4)$$

$$\alpha_0 = \sqrt[4]{(1 + \gamma_s)/(1 + \gamma_r/\alpha_r)} \quad (5)$$

横補剛材間の縦補剛パネル(部分パネル)の弾性座屈応力は, 次の λ を用いて式(1)で表される。²⁾

$$\lambda_3 = R\sqrt{\alpha_r^2(1 + \delta_s)/\{\gamma_s + (1 + \alpha_r^2)^2\}} \quad \text{for } \alpha_r < \alpha_{r0} \quad (6)$$

$$\lambda_4 = R\sqrt{(1 + \delta_s)/[2\{1 + \sqrt{1 + \gamma_s}\}]} \quad \text{for } \alpha_r \geq \alpha_{r0} \quad (7)$$

$$\alpha_{r0} = \sqrt[4]{1 + \gamma_s} \quad (8)$$

縦補剛材と横補剛材で囲まれた部分の主板(単一パネル)の弾性座屈応力は次式で表される。²⁾

$$\sigma_{cr}/\sigma_Y = 1/R_S^2 \quad (9)$$

$$R_S = b/t\sqrt{12(1 - \nu^2)\sigma_Y/4\pi^2 E} \quad (10)$$

4. 現行の道路橋示方書の座屈応力 道示の考え方では, 横補剛材の剛度が大きい場合は部分座屈が生じるので, 座屈応力は λ_3 または λ_4 から求める。一方, 横補剛材の剛度が小さい場合は, 全体座屈が生じるが, 横補剛材の効果がまったく期待できない無限縦補剛板の座屈が生じるとみなして, 座屈応力を λ_4 から求めている。

道示の規定の矛盾は後者にある。この場合、横補剛材が節にならない全体座屈が生じるので、座屈応力は、 λ_1 または λ_2 で求める必要があるにもかかわらず、横補剛材を無視して λ_4 と同一条件を想定している。すると、同じ横補剛材剛度を持つ補剛板でも、縦横比が部分座屈が生じる限界の縦横比より小さくなると急激に座屈応力が減少する。したがって、必ずしも横補剛材が多いほど座屈応力が大きいとは限らず、縦横比が小さくなるほど横補剛材本数を減少させる方がかえって大きい座屈応力が得られることになる。

5. 縦補剛材の設計 道示は、単一パネルの幅厚比が小さくて、その局部座屈強度 σ_{us} が σ_Y である場合は、補剛板の終局強度 σ_u が σ_Y に達するように、縦補剛材剛度を決めている。また、単一パネルの幅厚比が大きくて、その局部座屈強度が低下するような場合には、補剛板の部分座屈強度も同程度に低下させるように補剛材を設計するように規定されている。このような道示の考え方のもとで、全体座屈を考慮することにより、前述した矛盾を除いた縦補剛材の設計法を提案する。ただし、設計の便宜を考えて λ_1 の代わりに安全側の λ_2 を用いる。

単一パネルの幅厚比が小さくて、その局部座屈強度 σ_{us} が降伏応力 σ_Y である場合には、道示の基準耐荷力曲線式から、 $\lambda_2 = 0.5$ となるように縦補剛材剛度 γ_s を決めれば、補剛板の終局強度 σ_u が σ_Y に達することになる。強度として降伏応力が確保できるときの板厚を t_0 とすると、縦補剛材の必要剛比は次のようになる。

$$\gamma_s = 1 / (1 + \gamma_r / \alpha_r) \{ 2(n_s + 1)^2 (t_0/t)^2 (1 + \delta_s) - 1 \}^2 - 1 \quad (11)$$

部分座屈が生じる場合は次のようになる。¹⁾

$$\gamma_s = 4\alpha_r^2 (n_s + 1)^2 (t_0/t)^2 (1 + \delta_s) - (\alpha_r^2 + 1)^2 \quad \text{for } \alpha_r < \alpha_{r0} \quad (12)$$

$$\gamma_s = \{ 2(n_s + 1)^2 (t_0/t)^2 (1 + \delta_s) - 1 \}^2 - 1 \quad \text{for } \alpha_r \geq \alpha_{r0} \quad (13)$$

一方、単一パネルの幅厚比が大きくて、その局部座屈強度 σ_{us} が降伏応力 σ_Y 以下の場合には、補剛板の強度と単一パネルの強度が等しく ($\lambda = R_s$) なるように補剛材剛度を決定する。¹⁾ すなわち、全体座屈が生じる場合には

$$\gamma_s = 1 / (1 + \gamma_r / \alpha_r) \{ 2(n_s + 1)^2 (1 + \delta_s) - 1 \}^2 - 1 \quad (14)$$

となり、部分座屈が生じる場合は次のようになる。¹⁾

$$\gamma_s = 4\alpha_r^2 (n_s + 1)^2 (1 + \delta_s) - (\alpha_r^2 + 1)^2 \quad \text{for } \alpha_r < \alpha_{r0} \quad (15)$$

$$\gamma_s = \{ 2(n_s + 1)^2 (1 + \delta_s) - 1 \}^2 - 1 \quad \text{for } \alpha_r \geq \alpha_{r0} \quad (16)$$

したがって、部分座屈が生じるための横補剛材の必要剛度を近似的に $\gamma_{r,req} = (1 + \gamma_s) / 4\alpha_r^3$ とすると、縦補剛材の必要剛度は次のようにして求まる。

- ① $\gamma_r < \gamma_{r,req}$ のとき $t \geq t_0$ なら式(11), $t < t_0$ なら式(14)
- ② $\gamma_r \geq \gamma_{r,req}$ かつ $\alpha_r < \alpha_{r0}$ のとき $t \geq t_0$ なら式(12), $t < t_0$ なら式(15)
- ③ $\gamma_r \geq \gamma_{r,req}$ かつ $\alpha_r \geq \alpha_{r0}$ のとき $t \geq t_0$ なら式(13), $t < t_0$ なら式(16)

道示では、①の場合、式(11)の代わりに式(13)、式(14)の代わりに式(16)を用いる。式(11)、(14)において $\gamma_r = 0$ とおくと、式(13)、(16)に一致するので、道示では、横補剛材を無視して、大きめの縦補剛材を設計することになる。しかし、式(11)、(14)を用いれば、容易に横補剛材の効果を考慮して設計できる。

6. あとがき 道示の規定は、補剛板の全体座屈を無視しているために、横補剛材の効果を的確に評価できない矛盾がある。本報告では、道示の考え方に従いながら、この矛盾を除いた縦補剛材の設計法を提案した。

参考文献 1) 道路橋示方書・同解説, I 共通編・II 鋼橋編, 1990.2. 2) 三上・他, 土木学会論文報告集, No.298, 1980.6. 3) 中井・北田・他, 構造工学論文集, Vol.31A, 1985.3.