

I - 32

2 方向面内力を受ける鋼矩形補剛板の
終局強度の簡易評価法

高知高専 正員 勇 秀憲

1. まえがき

本報告は、2方向面内力（引張力あるいは圧縮力）を受ける周辺単純支持鋼矩形補剛板の弾塑性耐荷力を、塑性崩壊機構を考慮した初期不整合感性評価により統一的に簡易評価するもの¹⁾である。補剛板の全体座屈と板パネルの局部座屈の両方を考慮し、縦方向あるいは横方向が引張力の場合にも拡張し、2方向面内終局強度全体を相関曲線の形で算定した。

2. 弾性座屈係数

図-1のモデルが、2方向面内力 σ_x と σ_y を受ける場合を考える。ここに、補剛材本数 $n_s = 2$ 、補剛板の縦横比 $\phi = a/b = 1$ 、補剛材の板パネルに対する断面積比 $\delta_s = 0.1$ 、曲げ剛比 $\gamma = \gamma^*$ （ γ^* は最小必要剛比）とする。このとき、Galerkin 法から得られる弾性座屈係数の相関曲線より（北田ら²⁾に一致）、5種類の板パネルの局部座屈モード L1 ($m = n = 3$)、L2 ($m = 2, n = 3$)、L3 ($m = 1, n = 3$)、L4 ($m = 4, n = 3$) と L4 ($m = 5, n = 3$)、および2種類の補剛板の全体座屈モード G1 ($m = n = 1$) と G2 ($m = 1, n = 2$) に対応する崩壊機構を考える。

3. 弾塑性耐荷力

[1] 材料は完全弾塑性体とする（応力は材料の降伏応力 σ_Y で無次元化する。以下も同じ）。

[2] 2方向の残留応力分布形は図-1に示すような n 次曲線分布（最大圧縮残留応力 σ_{rx} 、 σ_{ry} ）とし、縦補剛材には一様な引張残留応力 σ_{rs} を考え、各方向で初期自己平衡とする。

[3] 2方向の平均軸応力 σ_x 、 σ_y と平均軸ひずみ ε_x 、 ε_y はそれぞれ独立に断面の接線係数 τ_x 、 τ_y の関数として表現し、ひずみ比 $\rho' = \varepsilon_y/\varepsilon_x$ を与える。

[4] 等価応力 σ_{eq} と等価ひずみ ε_{eq} を

$$\begin{cases} \sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y} \\ \varepsilon_{eq} = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 - \varepsilon_x \varepsilon_y} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

で定義し、これより補剛板断面全体の平均的な割線係数 E_s を求める。

[5] 上記の7種類のモードについて、弾塑性座屈モード w と初期たわみモード w_o は、ともに弾性域と同じものを仮定する（モードの大きさは板厚 t で無次元化）。

[6] von Kármán の式に Blich の $\sqrt{\tau}$ 理論を適用して直交異方性板として弾塑性剛性を取り扱う。

[7] Galerkin 法から、初期たわみのない補剛板の弾塑性釣り合い径路は

$$\sigma_{eq} = \sigma_{eq}^p + C_p w^2 \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 σ_{eq}^p は当該の弾塑性分岐座屈等価応力で、 C_p は弾塑性分岐点における諸特性から決定される定数である。また、ここで分岐点での応力比 $\rho = \sigma_y/\sigma_x$ を算定し以下で用いる。このとき、 $\sigma_x \geq \sigma_y$ では $\sigma_{eq} = \sigma_x \sqrt{1 - \rho + \rho^2}$ として σ_x に関する座屈と考え、 $\sigma_x < \sigma_y$ では $\sigma_{eq} = \sigma_y (\sqrt{1 - \rho + \rho^2}/\rho)$ として σ_y に関する座屈と考えて評価する。これにより、 σ_y 軸付近での終局強度の過大評価の傾向¹⁾は解消できた。

[8] また、[5]の座屈モードに対応する塑性崩壊機構曲線は

$$w = A_p \frac{\sqrt{1 - \sigma_{eq}^2}}{\sigma_{eq}} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 A_p は各モードごとに応力比 ρ の関数として定義される。

[9] 弾塑性釣り合い曲線 (2) と塑性崩壊機構曲線 (3) との交点を「等価分岐点」(w^*, σ_{eq}^*) と定義すると (図-2), 初期たわみ w_o を有する補剛板の弾塑性耐荷力 σ_m は

$$\sigma_m = \sigma_{eq}^* \left[1 + \alpha^* w_o^* - \sqrt{2\alpha^* w_o^* \left(1 + \frac{1}{2} \alpha^* w_o^* \right)} \right] \dots\dots\dots (4)$$

ここに, α^* は崩壊機構曲線 (3) の等価分岐点 C における勾配, w_o^* は等価初期たわみで,

$$w_o^* = \mu(R) w_o, \quad \mu(R) = \mu_c (R/R_p)^\beta, \quad \beta = 2(1 - R/R_p) \quad \text{および} \quad \mu_c = 1/4 \dots\dots\dots (5)$$

ここに, R は一般化幅厚比, R_p は定数である。

[10] 結局, 補剛板の縦方向と横方向の終局強度は応力比 ρ に対し

$$\sigma_{xm} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{1 - \rho + \rho^2}} \quad \text{および} \quad \sigma_{ym} = \rho \sigma_{xm} \dots\dots\dots (6)$$

図-3と図-4は, 補剛材 $n_s = 2$, 縦横比 $b = 1$, 断面積比 $\delta_s = 0.1$, 剛比 $\gamma = \gamma^*$ の補剛板の耐荷力の相関曲線で, それぞれ $b_\ell/t = 40$ ($b_\ell = b/3$) と $b_\ell/t = 60$ である。残留応力は, $\sigma_{rx} = 0.3$, $\sigma_{ry} = 0.3$, $\sigma_{rs} = 0.2$ で, 初期たわみは $W_o = b_\ell/150$ とする。なお, 詳細は当日発表する予定である。

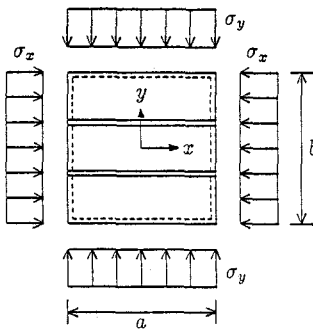


図-1 補剛板モデル

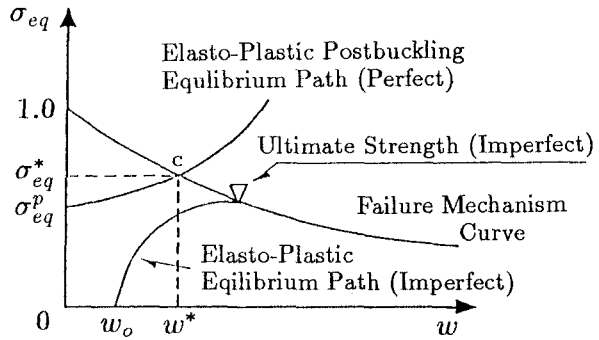


図-2 等価分岐点 C

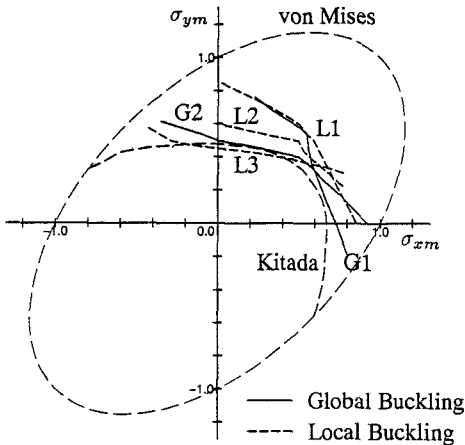


図-3 補剛板の終局強度の相関曲線
($b_\ell/t = 40$, $W_o = b_\ell/150$)

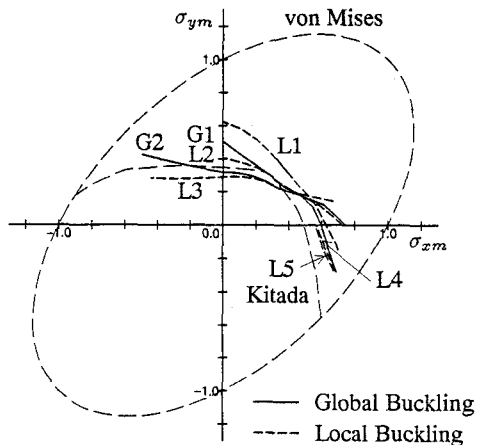


図-4 補剛板の終局強度の相関曲線
($b_\ell/t = 60$, $W_o = b_\ell/150$)

参考文献

- 1) 勇: 2 軸圧縮補剛板の終局強度の簡易評価法, 構造工学論文集, 第 38A 巻, pp.231-242, 1992.
- 2) Kitada, T., Nakai, H. and Furuta, T.: Ultimate strength and interaction curve of stiffened plates subjected to biaxial in-plane force. *J. Struct. Eng./Earthq. Eng.*, Vol.8, 113s-122s, 1991.