I－22　　２方向面内圧縮力を受ける正方形板の弾塑性耐荷力について

高知高専　正員　勇　秀憲

1．まえがき

本報告は、２方向面内圧縮力を受ける正方形板の弾塑性耐荷力の新しい簡易評価法を提案するものである。本手法は、圧縮柱、圧縮無補剛板・補剛板、圧縮円筒シェル、圧縮円筒パネルなどと同様に、塑性崩壊機構を考慮した「等価分岐点」近傍での初期不整敏感性評価により統一的に求めるものである[1]。

2．弾塑性耐荷力

周辺単純支持正方形板が図－１のように２方向の面内平均軸圧縮応力σ_xとσ_yを受ける場合を考える（対応する平均軸ひずみをε_xとε_yとすると、ひずみ比$\rho' = \varepsilon_y/\varepsilon_x$について、以下の①～⑨を繰り返す）：

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材料の非線形性として、２方向の各断面内の残留応力分布形は図－２に示すような初期自己平衡な放物線分布とし、各方向に一定である（最大圧縮残留応力の大きさをσ_{rx}、σ_{ry}とする）。

③簡単のために、２方向の平均軸圧縮応力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の関数として表現する。

④等価応力σと等価ひずみεを次式で定義し、これより割線係数Esを求める。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y} \quad \text{および} \quad \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 - \varepsilon_x\varepsilon_y} \tag{1}$$

⑤弾性および弾塑性座屈面外変位Wは２方向とも正弦半波形の１次モードとする（変位は板厚ｔで無次元化する：w＝W/ｔ）。幾何学的非線形性として、対応する初期変位モードをWoとする（wo＝Wo/ｔ）。

⑥弾塑性域における釣り合い方程式は、修正したvon Kármánの式にBliechの$\sqrt{\tau}$理論を適用して擬似弾性的に挙動を取り扱う。

⑦④⑤⑥よりGalerkin法を適用すると弾塑性釣り合い径路は次式となる（Wo＝0のとき）。

$$\sigma = \sigma_{cr} + Cw^2 \tag{2}$$

ここに、σ_{cr}は弾塑性分岐座屈等価応力である。このとき、分岐点における応力比$\rho = \sigma_y/\sigma_x$が定義できる。また、Ｃは残留応力分布形状と大きさσ_{rx}やσ_{ry}、モードw、係数τ_xとτ_y、係数Es、応力比ρなど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。

⑧図－１の１点鎖線ような塑性崩壊機構を考えると、その塑性崩壊機構曲線は次式で与えられる。

$$w = A\sqrt{1 - \sigma^2} \,/\, \sigma \tag{3}$$

ここに、Ａは応力比ρ、幅厚比パラメータＲおよび(2)のＣで定義される。

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^*)と定義し（図－３のＣ点）この点近傍での評価から、初期変位woを有する正方形板の弾塑性耐荷力σ_mは次式で求められる[1,2]。

$$\sigma_m = \sigma^* [\, 1 + \alpha^* w_{eq} - \sqrt{\alpha^* w_{eq}\,(2 + \alpha^* w_{eq})}\,] \tag{4}$$

ここに、係数α^*は等価分岐点における崩壊機構曲線の勾配から決定され、w_{eq}は等価初期たわみ

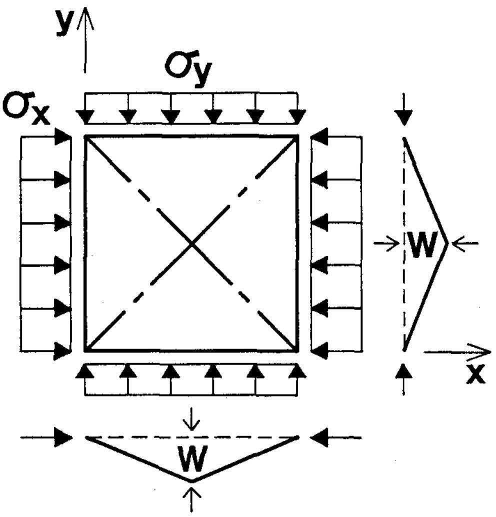
$$w_{eq} = \mu(R)\,wo \tag{5}$$

である。また、$\mu(R) = \mu_c (R/Rc)^{\beta}$、$\mu_c = 1/8$、$\beta = 2(1 - R/Rc)$、$Rc = 1/\sqrt{1 - \sigma_{rx}}$である。

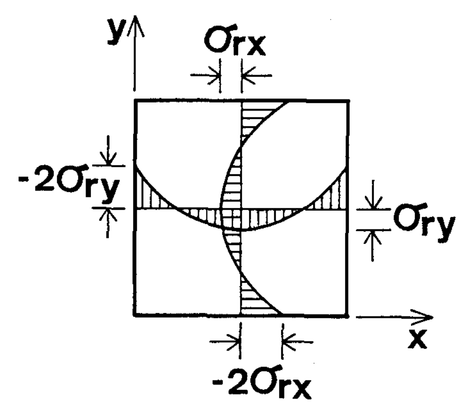
式(4)、(5)の表現は、圧縮柱、圧縮無補剛板等と全く同じ形である。

3．数値計算例

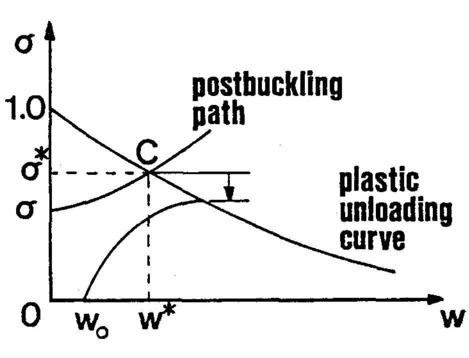
図－１のような正方形板モデルの弾塑性耐荷力を求める。放物線残留応力の大きさをσ_{rx}=0.2とσ_{ry}=0.2とする。Narayanan[3]の結果（残留応力は考慮されていない）と比較するために、初期変位Wo/b＝1/200を与えた（bは板幅）。図－４は本手法より得られた弾塑性耐荷力の相関曲線である。横軸、縦軸はそれぞれ平均軸圧縮力σ_x、σ_yを示し、図の実線が本手法の計算結果、破線が対応するNarayananの結果である。幅厚比b/t＝３０～６０のそれぞれについて両者を比較している。なお、詳細は当日発表する予定である。



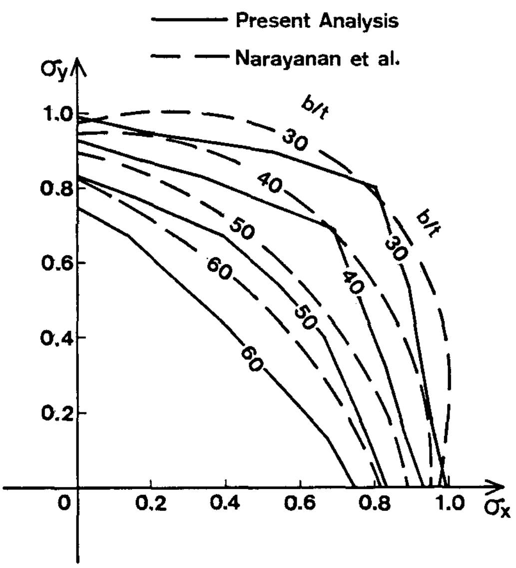
図－１　正方形圧縮板と塑性崩壊機構



図－２　残留応力分布（放物線分布）



図－３　等価分岐点



図－４　弾塑性耐荷力の相関曲線
（$\sigma_{rx}=\sigma_{ry}$=0.2、Wo/b =1/200）

1）丹羽,渡辺,勇：構造工学論文集，第32A巻，363-372，1986.
2）Niwa,Watanabe,Isami,Fukumori：Proc. JSCE，No.341，23-31，1984.
3）Narayanan,Shanmugam：Plated Structures，Applied Science Pub.，195-219，1983.