板の耐荷力推定へのカタストロフィー適用について

信州大学工学部　正　員　吉田　俊弥
信州大学工学部　正　員　清水　茂
信州大学大学院　学生員　○岩倉　佳則

1．まえがき

構造物の圧縮板の弾塑性耐荷力を求めることは非常に複雑な計算を必要とする。従来、圧縮板の弾塑性耐荷力を求めるために、材料非線形および幾何学的非線形を考慮した弾塑性大変形解析が採用されている。しかしながら、このような非線形解析手法では多大な繰り返し計算を必要とし、また、耐荷力に影響を与える残留応力・縦横比・幅厚比・幾何学的初期不整等のパラメータに対し、離散化された孤立点でのみ耐荷力が求められる。これに対し、カタストロフィー理論の考え方を適用すれば、幅厚比・幾何学的初期不整等のパラメータが弾塑性域で耐荷力に及ぼす影響を陽な形で表現でき、弾塑性耐荷力は応力ー初期不整空間の分岐集合として求められる。

圧縮補剛板の耐荷力を求める場合、ある範囲の値の剛比をもつ補剛板においては、局所座屈モードと全体座屈モードの初期不整の大きさによって局所座屈モードと全体座屈モードの耐荷力が逆転する可能性がある。そこで本報告では、局所座屈モードと全体座屈モードのそれぞれの初期不整を統一的に取り扱い、カタストロフィー理論[2]による丹羽・渡辺・勇等の擬似ポテンシャルの概念[1]を適用し、圧縮補剛板の弾塑性耐荷力を求めるものである。

弾性理論では、補剛材の剛比を γ、最適剛比を γ^* とすれば、初期不整のない補剛板の座屈モードは次の二つに分けられる。

1）$\gamma \ll \gamma^*$ の場合、補剛材が板と共に面外変形し、全体座屈する。

2）$\gamma \gg \gamma^*$ の場合、補剛材間のパネルのみが面外変形し、局所座屈する。

ところが、補剛材の剛比が γ^* の近傍の値をもつ時には、

A）$\gamma < \gamma^*$ の時、完全系の場合は耐荷力は全体座屈モードで決定されるが、局所座屈モードの初期不整が全体座屈モードに比べてある程度大きくなれば局所座屈モードが卓越する、

B）$\gamma > \gamma^*$ の時、完全系の場合は耐荷力は局所座屈モードで決定されるが、全体座屈モードの初期不整が局所座屈モードに比べてある程度大きくなれば全体座屈モードが卓越する、

ことが考えられる。また、補剛材の剛比 γ が γ^* の近傍の値をもつ時は、座屈モードは局所座屈モードと全体座屈モードが相互に影響を及ぼし合う現象が起る可能性がある。この現象を取り扱うために両モードが混在した平衡状態を考える。

2．解析手法

解析モデルは、一様圧縮、等間隔非対称補剛板である。境界条件は、四辺単純支持とする。補剛板の材料特性、残留応力等を考慮し、完全弾塑性として解析する。解析手順及び手法を以下に示す。

1）初期不整のない系の弾塑性座屈応力を求める。

両モードが混在した変形を仮定し、変位関数 W（x，y）を

$W(x,y) = w_1 \sin(m_1 \pi x/a) \sin(n_1 \pi y/b) + w_2 \sin(m_2 \pi x/a) \sin(n_2 \pi y/b)$ (1)

w_1 ：全体座屈モード　　w_2 ：局所座屈モード

m_1 ：全体座屈のx方向(載荷方向)のモード　　m_2 ：局所座屈モードのx方向のモード

n_1 ：全体座屈のy方向(非載荷方向)のモード　　n_2 ：局所座屈モードのy方向のモード

とおき、異方性板理論の釣り合い式にGalerkin法を適用すれば求まる。

2）弾塑性後座屈曲線を求める。

Airyの応力関数を導入し、異方性板理論の釣り合い式にGalerkin法を適用すれば求まる。

3）塑性除荷曲線を求める。

崩壊機構を仮定し、軸力とモーメントの関係より求まる。

4）塑性除荷曲線と弾塑性後座屈曲線の交点を等価分岐点($\tilde{\sigma}^*$, $\tilde{w}^*$)とし、その点を特異点とする擬似ポテンシャルを定義する。すなわち、擬似ポテンシャルの変位の一階微分として

$$V' = f_1 \tilde{\sigma}_E \tilde{w}_a - \tilde{\sigma} \tilde{w}_b = 0 \tag{2}$$

と表される。ここで、

$$f_1 = f_1(\tilde{w}_{d1}, \tilde{w}_{d2}) \quad , \tilde{w}_{d1} = \tilde{w}_1 - \tilde{w}_1^* - \tilde{w}_{01} \quad , \tilde{w}_{d2} = \tilde{w}_2 - \tilde{w}_2^* - \tilde{w}_{02}$$
$$\tilde{w}_a = \tilde{w} - \tilde{w}^* - f_0 \quad , f_0 = f_0(\tilde{w}_{01}, \tilde{w}_{02}) \tag{3}$$
$$\tilde{w}_b = \tilde{w} - \tilde{w}^* \quad , \tilde{w}^* = \tilde{w}_1^* + \tilde{w}_2^* \quad , \quad \tilde{w} = \tilde{w}_1 + \tilde{w}_2$$

である。記号'～'は、応力は降伏応力で、変位は板厚で無次元化したことを示す。$\tilde{\sigma}_E$ は弾性座屈応力である。添字 '1','2' はそれぞれ全体座屈、局所座屈のモードを表し、添字'01','02'はそれぞれ全体座屈モード、局所座屈モードの初期不整を表す。(3)式の関数 f_0 ， f_1 を現象に合せて決定し、(2)式および(2)式のwによる二階微分 V''=0 にそれぞれ代入して連立させ、$\tilde{w} - \tilde{w}^*$ を消去すれば、全体座屈モードと局所座屈モードが相互に影響し合った初期不整感度曲線が求まる。耐荷力を $\tilde{\sigma}_m$ とすれば、$\tilde{\sigma}_m$ は $\tilde{w}_{01}$ ， $\tilde{w}_{02}$ の関数形で表される。すなわち、

$$\tilde{\sigma}_m = F(\tilde{w}_{01}, \tilde{w}_{02}) \tag{4}$$

である。

5）等価初期不整を導入する。

系の実際に合せて、等価初期不整を導入する。すなわち、系の幅厚比Rによって初期不整の影響が異なるので、初期不整w ，w に幅厚比の関数μ(R)を導入して、

$$\tilde{w}_{01}^* = \mu(R) \tilde{w}_{01} \quad , \tilde{w}_{02}^* = \mu(R) \tilde{w}_{02} \tag{5}$$

と置換えれば、実際の系の初期不整感度曲線が求まる。

4．あとがき

数値計算例および計算結果は当日発表する予定である。

参考文献

1)Niwa,Y.,Watanabe,E.and Isami,H.. : A new approach to predict the strength of compressed steel stiffened plates.Proc. of JSCE,Oct.1985 pp.35～pp.44

2)Thompson,J.M.T.and Hunt,G.W. :Elastic Instability phenomena.John Wiled sons 1984