

一様軸圧縮板要素の終局強度の統一的評価に関する基礎的研究

四国行政システム(株) 正会員 ○前田美香

高知工業高等専門学校 正会員 勇 秀憲

高知工業高等専門学校 正会員 海田辰将

高知工業高等専門学校専攻科 学生員 近森靖弘

1. はじめに

実構造物は、初期変形や残留応力などの不可避な初期不整を持っている。このような初期不整が構造物の終局強度に著しく不利な影響を及ぼすことが、弾性域においては初期不整の敏感性曲線として定量化されている¹⁾。

本研究では、鋼製橋脚や橋桁フランジなどの薄肉鋼構造物の基本構成部材である板要素を対象として、初期たわみを有する不完全系を汎用有限要素法解析ソフト ANSYS により弾塑性大変形解析し、終局強度を求めた。そして、弾塑性終局強度と初期不整の関係を評価し、弾塑性域の初期不整の敏感性曲線の近似曲線を提案する。

2. 板要素のモデル

表1に本論文で用いた板要素の幾何特性を示す。材料特性として、ヤング率 $E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、降伏応力 $\sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ を与えた。図1は解析モデルを示す。ここに R は幅厚比パラメータであり、式(1)で表される。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{k\pi^2 E}} \quad (k=4) \quad (1)$$

表1 幾何特性

	case 1	case 2	case 3
板長(mm)	1000	1000	1000
板幅(mm)	1000	1000	1000
縦横比(a/b)	1	1	1
板厚 t	12	18	30
幅厚比(b/t)	83.33	55.56	33.33
幅厚比パラメータ(R)	1.50	1.00	0.60

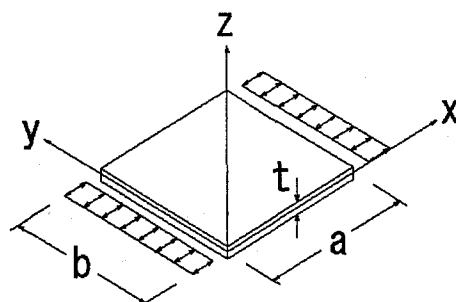


図1 板要素のモデル化

3. 板要素の弾塑性大変形解析

弾塑性大変形解析を行う前に、弾性座屈解析を行い ANSYS による一様面内圧縮を受ける板要素モデルの座屈荷重と座屈モードの解析法の妥当性・有用性を確認した。幅厚比パラメータ R を表1に示すよう3種類変化させた。case 1は弾性座屈に、case 3は塑性座屈に、また case 2はその中間の弾塑性座屈に対応する。case 1~case 3について、初期たわみ w_0 を板厚 t の倍数として初期不整パラメータ $\varepsilon = w_0/t = 0 \sim 0.3$ の間でいくつか与え、座屈時の載荷辺面内変位 U_{cr} をもとにした一様面内圧縮強制変位による弾塑性大変形解析を行い、最大荷重としての終局強度を求めた。解析結果から荷重—たわみ曲線を求め、初期不整パラメータ ε と対応する終局強度の関係を描き、弾塑性域における初期不整の敏感曲線を求めた。

4. 解析結果

図2、図3に case 1と case 3の荷重—たわみ曲線を示す。横軸が板厚 t で無次元したたわみ w 、縦軸は弾性座屈荷重 P_{cr} で無次元した載荷辺の面内反力 P を示す。

弾性座屈に対応する case 1では、図2に示すように、初期たわみを有しない完全系は、弾性分岐座屈後、板厚の1~2.0倍程度まで弾塑性大変形して終局強度に達する。初期たわみを有する不完全系の場合も同様に、さらに大きな弾塑性大変形を伴い終局強度に至る。それに比較して塑性座屈に対応する case 3では、図3に示すように、完全系や不完全系のいずれにおいても、case 1に比べて同じ初期不整パラメータ ε の大きさに対し、約1/3~1/5程度の小さなたわみ w/t で終局強度に到達する。また、case 2では、同程度の大きさの初期不整パラメータ ε に対し、case 1と case 3の中間的な大きさのたわみ w/t で終局強度に至る。

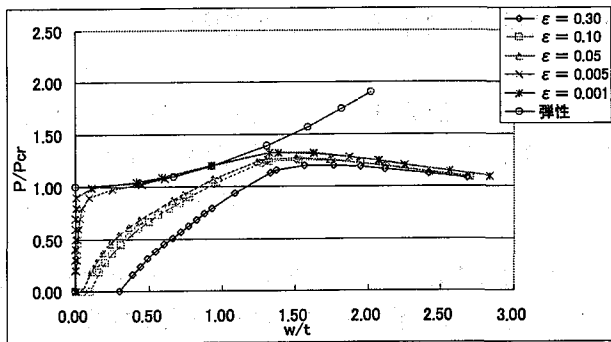


図2 case 1 の荷重—たわみ曲線

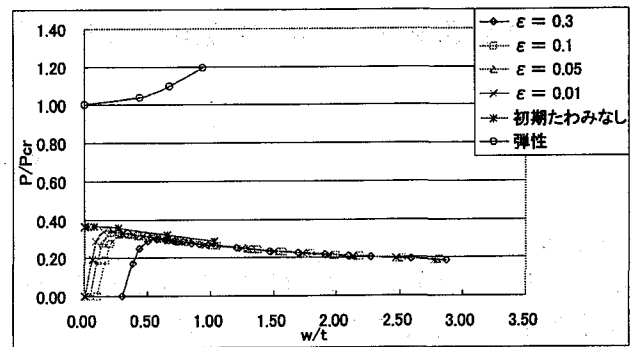


図3 case 3 の荷重—たわみ曲線

降伏荷重 P_y で無次元化した場合と最大荷重 P_{m0} (P_{m0} は初期たわみのない完全系の弾塑性後座屈領域での終局強度) で無次元化した場合について、初期不整の敏感性曲線の近似曲線を求めた。case 1、case 3 は $2/3$ 乗で近似し、case 2 は $1/4$ 乗で近似した。近似曲線を以下のように提案する。

$$y = 1 - 0.2227\varepsilon^{2/3} \quad (\text{case 1}) \quad (2a)$$

$$y = 1 - 0.713\varepsilon^{1/4} \quad (\text{case 2}) \quad (2b)$$

$$y = 1 - 0.445\varepsilon^{2/3} \quad (\text{case 3}) \quad (2c)$$

図4、図5、および図6に初期不整の敏感性曲線を示す。横軸は初期不整パラメータ $\varepsilon = w_0/t$ 、縦軸は最大荷重 P_{m0} で無次元した載荷辺の面力反力 P の値である。

case 1 では、載荷辺の面内反力 P の初期不整パラメータ ε に対する低下量は小さく、ほぼ直線的でもある。case 3 では、case 1 に比べ ε に対する終局強度の低下量がやや大きい曲線になっている。case 2 では、case 1 や case 3 に比べ、終局強度は ε に対してかなり敏感に影響を受けていることが分かる。初期不整パラメータ ε に対する終局強度の敏感性は、幅厚比パラメータ R が中間的な弾塑性座屈領域(case 2)でかなり大きく、次いで R が大きな弾性座屈領域(case 1)で、 R が小さな塑性座屈領域(case 3)と続くことがわかる。

5. まとめ

弾性座屈解析の結果、座屈係数および座屈モードは理論値や既往の研究結果と高い精度で一致した。弾塑性大変形解析の結果から、初期不整の敏感性曲線の近似曲線を提案し、終局強度を従来の $2/3$ 乗法則や、 $1/4$ 乗法則により初期不整と関連づけた。

参考文献

- 1) 土木学会鋼構造委員会（編），座屈設計ガイドライン，土木学会，1987.

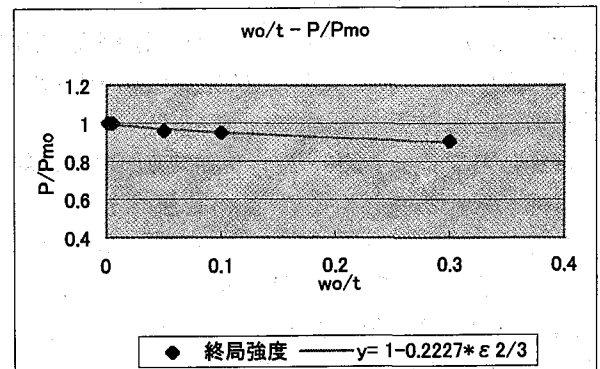


図4 case 1 の初期不整の敏感性曲線

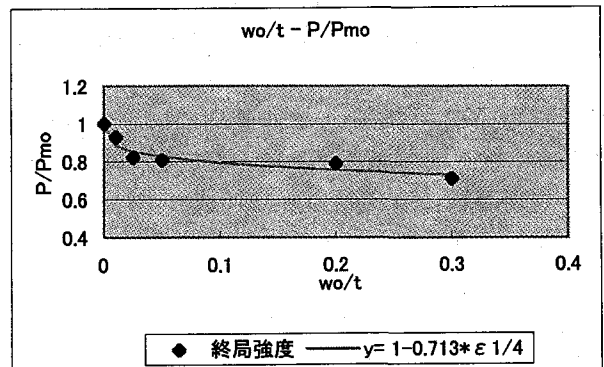


図5 case 2 の初期不整の敏感性曲線

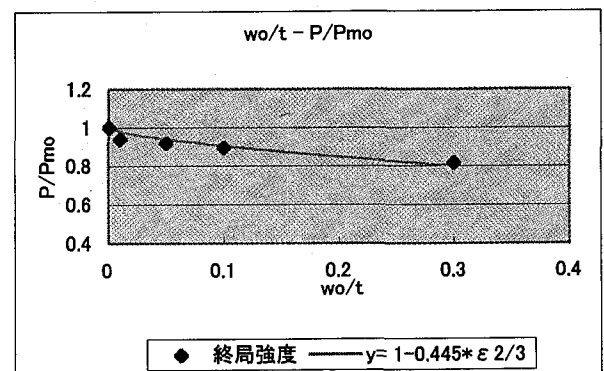


図6 case 3 の初期不整の敏感性曲線