

隅角部に丸みを持つ鋼管柱断面の極限強度の一評価法

岐阜大学工学部 正員 奈良 敬 岐阜大学工学部 正員 村上 茂之
岐阜大学大学院 学生員○笹嶋 純司

1. まえがき

近年、都市の環境整備の一つとして景観が重要視されてきている。中でも都市を構成する重要な要素である都市内の土木構造物には、必然的に景観に配慮した設計が要求されるようになってきた。これを受ける形で鋼橋の上部工、および橋脚に対して景観に配慮した種々の構造形式・断面形状が検討され、試験的に施工されてきた。その一例として、従来箱形である鋼製橋脚の断面に対して隅角部に曲げ加工を行った断面が挙げられる。しかし、このような曲面部材には曲げ加工部の材質的変化が部材に与える影響や断面形状に対する精度管理の方法、断面強度の評価方法等に関する問題点が数多くある。

本研究では隅角部に丸みを持つ鋼管柱断面を対象として強度評価法の開発にあたり、弾塑性有限変位理論に基づく数値解析法を用いてその極限圧縮強度を求め、断面形状の変化に対する極限圧縮強度特性を明らかにしてきた¹⁾。ここでは、断面形状が強度に与える影響を考慮した極限圧縮強度の評価法を提案する。

2. 解析法の概要

数値解析においては、1節点5自由度のアイソパラメトリック退化シェル要素を用いた弾塑性有限変位理論に基づいた数値解析法²⁾を用いた。

3. 解析モデル

解析対象とするモデルは図1に示すような鋼柱断面の1/4断面を対象とし、これに一樣圧縮変位を与える。鋼材は一般的に使用されるSM400材(降伏応力2545[kgf/cm²])を使用し、断面の幾何学的形状を表すパラメータとして平板部幅 b 、隅角部半径 r 、解析長 L 、板厚 t を用いる。ただし、板厚は1.6cmとする。また、初期不整については初期たわみ($W_0/t=0.1$)のみを考慮し、軸方向、周方向に1半波の余弦波形を導入する。

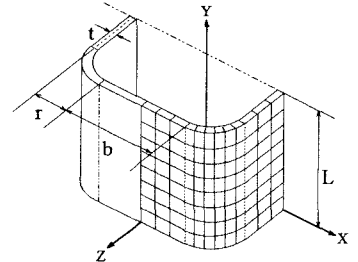


図-1 解析モデル

4. 数値計算結果

4. 1 解析長に対する検証

解析長が極限強度に与える影響を考慮するため以下の解析を行った。平板幅 b に対する幅厚比パラメータ λ_p を $0.9(b/t=50)$ と固定し、解析長を平板部の縦横比 $\alpha_p(=L/b)$ で設定した。また、隅角部半径については断面幅に対する平板部の割合を示す平板比 $b/(b+2r)$ により設定した。図2に各縦横比ごとの極限強度と細長比パラメータ λ の関係を示す。ただし、平板部の幅厚比パラメータ λ_p および細長比パラメータ λ は次式で定義される。

$$\lambda_p = b/t \sqrt{12(1-\nu^2)/\pi^2 k \cdot \sigma_y/E} \quad (1)$$

$$\lambda = 1/\pi \sqrt{\sigma_y/E} \cdot L/r' \quad (2)$$

ここに、 σ_y :降伏応力、 E :ヤング係数(2.1×10^6 [kgf/cm²]), ν :ポアソン比(0.3), k :座屈係数(4.0), r' :断面二次半径

図2に示す各強度曲線の極小値の包絡線から、断面強度の下限值を与える α_p は1.0であると考え、これを基に解析長を設定する。

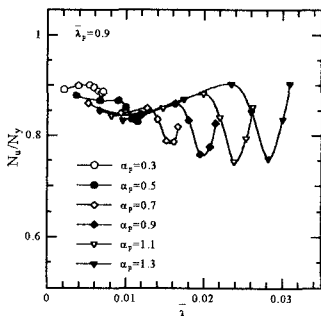


図-2 極限強度と細長比の関係

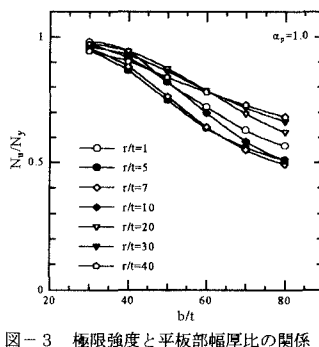


図-3 極限強度と平板部幅厚比の関係

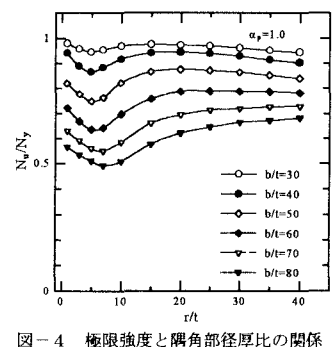


図-4 極限強度と隅角部径厚比の関係

4.2 断面形状の変化と極限圧縮強度の関係

断面形状の変化の極限圧縮強度に対する影響を考察するため、平板幅 b 、隅角部半径 r をそれぞれ板厚で無次元化した b/t 、 r/t をパラメータとして解析を行う。図3に極限強度と平板部幅厚比、図4に極限強度と隅角部径厚比の関係を示す。

4.3 数値解析結果に対する考察

図3および4から平板幅 b 、隅角部半径 r のどちらも極限強度に大きな影響を与えるが、その傾向は明確ではない。そこで、断面の内径 B ($=b+2r-t$)に対する幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{pB}$ と極限強度の関係を図5に示す。ただし、図中の破線は幅 B の周辺単純支持板の平均値曲線³⁾である。これより、隅角部半径が比較的小さい場合は隅角部の影響を無視した幅 B の箱形断面として扱え、また隅角部半径が大きくなると円筒の強度曲線に漸近していくのがわかる。一方、断面の4分の1周 $S=b+0.5\pi r$ に対する座屈パラメータを $\bar{\lambda}_{ps}$ とし、次式で定義する。

$$\bar{\lambda}_{ps} = S/t \sqrt{12(1-\nu^2)/\pi^2 k \cdot \sigma_y/E} \quad (3)$$

極限圧縮強度と周長 S の関係は図6のようなものである。図中の $(N_u/N_y)_p$ は周辺単純支持板の平均曲線、 $(N_u/N_y)_c$ は円筒の耐力力曲線⁴⁾である。

5. 極限圧縮強度の評価法

隅角部に丸みを持つ鋼管柱断面の極限圧縮強度を次のように評価する。鋼管柱の断面積を $A_g (=4 \cdot S \cdot t)$ とし、鋼管柱断面を等価な箱形断面に換算したときの断面積 $A_{eq} (=4 \cdot b_{eq} \cdot t)$ を次式で定義する。

$$\frac{A_{eq}}{A_g} = \begin{cases} 1.0 & (1.0 \leq S/t < 1.12) \\ \left(\frac{0.191}{S/b - 0.932} \right)^{0.513} & (1.12 \leq S/t \leq 2.5) \end{cases} \quad (4)$$

さらに、等価幅 $b_{eq} (=A_{eq}/4t)$ を用いて式(5)より有効幅 b_e を求める。ただし、 $\bar{\lambda}_{peq}$ は式(6)で与えられる。

$$\frac{b_e}{b_{eq}} = \begin{cases} 1.0 & (\bar{\lambda}_{peq} \leq 0.7) \\ (0.7/\bar{\lambda}_{peq})^{0.791} & (0.7 < \bar{\lambda}_{peq} \leq 2.0) \end{cases} \quad (5)$$

$$\bar{\lambda}_{peq} = b_{eq}/t \sqrt{12(1-\nu^2)/\pi^2 k \cdot \sigma_y/E} \quad (6)$$

極限圧縮強度は有効幅 b_e を用いて式(7)から推定される。

$$\tilde{N}_u = 4 \cdot \sigma_y \cdot b_e \cdot t \quad (7)$$

図7に推定された極限圧縮強度曲線を示す。図中の実線が解析値、点線が推定値を表す。これから、隅角部の影響が無視できる周辺単純支持板の平均値曲線に沿う領域から、隅角部の影響を受け強度特性が箱形から円筒に移る遷移的な領域にかけて精度よく断面の極限圧縮強度を推定されているのがわかる。また、図8に極限圧縮強度の推定値と解析値の関係を示す。これから解析値の $\pm 5\%$ 以内の値で極限圧縮強度が推定されていることがわかる。

6. 結論

本研究によって以下のことが明らかとなった。①隅角部に丸みを持つ鋼管柱断面の極限圧縮強度は、周長を指標とすることで、その特性が明確になることがわかった。②箱形断面と等価な断面積を定義し有効幅の概念を用いることで、平板幅が比較的大きい断面の極限圧縮強度を精度よく推定できる評価法を提案し、その有効性を示した。

【参考文献】

- 1)奈良 敬・笹嶋純司：隅角部に丸みを持つ鋼管柱断面の極限圧縮強度の評価法、鋼構造年次論文報告集、第5巻、pp.141-148、1997年11月 2)Rizal, F. and Nara, S., "A study on elasto-plastic finite displacement analysis of steel shells", Proc. of Symposium on Computational Method in Structural Engineering and Related Fields, Vol.19, pp.131-136, July, 1995. 3)Nara, S. and Fukumoto, Y.: Evaluation of Ultimate Strength of Steel Plates under In-plate Combined Loading, Proc. of the 2nd PSSC, Aisc, Gold Coast, Queensland, May 28-31, 1989, pp.450-460. 4)西野文雄編：鋼構造設計指針, Part A, 土木学会, 1987年11月。

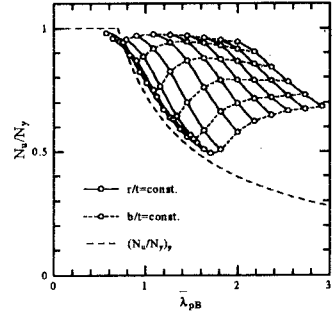


図-5 極限強度と内径の関係

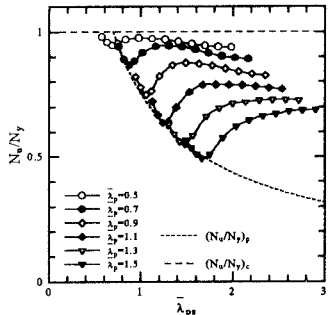


図-6 極限強度と周長の関係

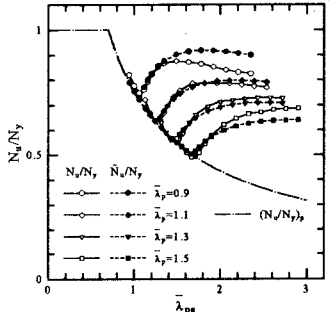


図-7 極限強度の推定

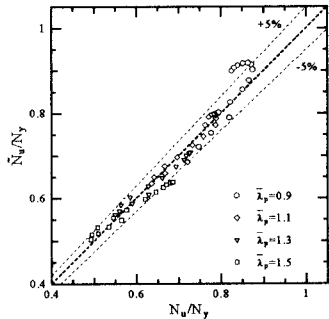


図-8 推定値と解析値の比較