

冷間成形鋼管柱の確率統計的強度特性

X 1. 信頼性設計法 Y 1. 鋼管 Z 2. 最大耐力

X 4. 確率・統計的方法 Y 2. 柱

1. 序 確率統計論上の鋼管材耐力の特性値に関して数々の研究がある。主にH形鋼を部材に使用した場合に設計上問題となる現象について確率的考察が行われている。円形鋼管部材については、[1]においてH形鋼の変動と比較されたのみである。冷間成形鋼管には、その製造過程で生じた不均一な残留応力と塑性加工による硬化の影響がある。冷間成形鋼管に関する多くの研究は、短柱実験結果として得られた現実的な応力-ひずみ関係を用いて座屈強度あるいは塑性局部座屈強度を算定している。応力-ひずみ関係の定式化については数々の試みはあるが、数種類の鋼管について考察されたのみである。

座屈耐力と塑性局部座屈耐力についての既往の実験値および理論値から、素材の機械的性質の変動が部材耐力をどの様に変動させるか推定する。

2. 圧縮平均応力-ひずみ関係の特性値 ([2]の概要) 引張試験の見かけの最大耐力と圧縮試験の0.2%オフセット降伏耐力の値から、真応力-対数ひずみ関係を仮定したRamberg-Osgood式(図1)の変数値を求め実験値と比較した。降伏耐力と引張強さの統計値から硬化に関する変数mの平均と変動を推定した。

3. 強度特性 中心圧縮柱座屈応力については、接線剛性論によって(1)式がある。塑性局部座屈応力については、変形理論に基づいて(2)式がある。塑性加工の複雑な影響を含んでいる短柱圧縮試験の応力-ひずみ関係を用いると(1),(2)式の値は、他の理論値よりも実験値とよく一致する[5][9][7][8]。

$$\sigma_c = \pi^2 E_t / (l/i)^2 \quad (1)$$

$$\sigma_l = 2/3 \cdot \sqrt{E_t E_s} \cdot t/R \quad (2)$$

ただし  $E_t$ :Tangent Modulus  $E_s$ :Secant Modulus

2. において使用した応力-ひずみ関係の近似方法の妥当性を検討するために、近似に必要な引張強さと圧縮降伏耐力が公表されている実験[7][10][11]について応力-ひずみ関係を近似し(1),(2)式から算定した値と実験値とを比較した。図3,4に結果を示す。2.の方法および(1),(2)式から得られる値は十分な精度を持っており、塑性加工の影響を含んだ素材の変動に対して確率統計的な考察を行うことができる。

4. 変動推定 素材の機械的性質については、実験資料調査か

正会員 〇越智健之<sup>1</sup> 同 黒羽啓明<sup>2</sup>

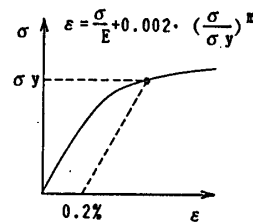


図1. 応力-ひずみ関係

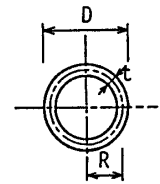


図2. 鋼管断面

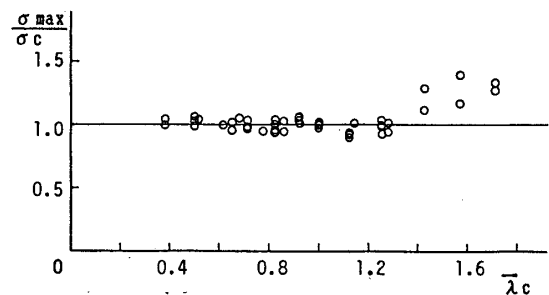


図3. 座屈応力の算定結果  $\sigma_{max}$ : 実験値  $\lambda_c$ : 無次元化細長比 ( $=1/\pi \cdot \sqrt{\sigma_y/E} \cdot \lambda$ )

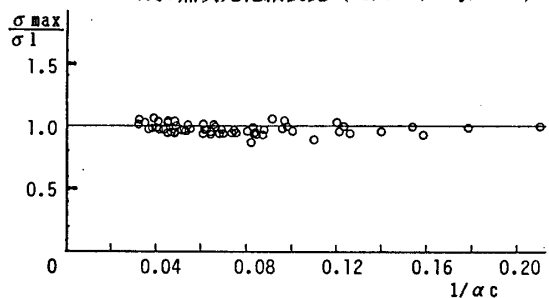


図4. 塑性局部座屈応力の算定結果  $\alpha_c$ : 局部座屈パラメータ ( $=E/\sigma_y \cdot t/D$ )

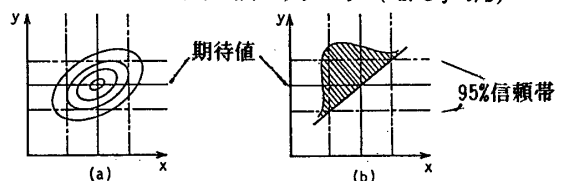


図5. 確率変数の分布曲面

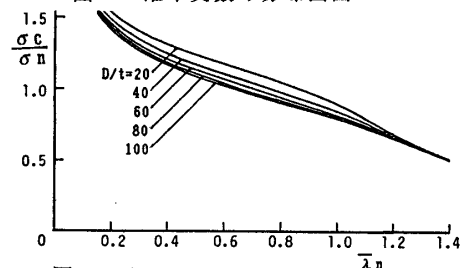


図6. 座屈応力の中央値  $\sigma_n$ : 公称降伏応力 (STK41: 2.4 t/cm<sup>2</sup> STK50: 3.3 t/cm<sup>2</sup>)  $\lambda_n$ : 公称無次元化細長比 ( $=1/\pi \cdot \sqrt{\sigma_n/E} \cdot \lambda$ )

ら管径管厚比を説明変数とした実験式を得ている。それぞれの確率関数間に高い相関がある [3] [4]。確率変数  $X, Y$  の分布曲面は、互いに従属している場合には模式的に図5-(a)となる。関数関係となれば図5-(b)となる。直線関係を仮定すれば確率変数が1次元となり多重積分を行う必要がない。確率変数を(3),(4),(5)式中の  $M_i$  のように仮定した。この仮定により、 $M_i$  の期待値と95%信頼帯の値から(1),(2)式の95%信頼帯および中央値が求められる。下式はSTK41材の実験資料に基づいている。

$$\sigma_y(\text{引張}) = M_1 \cdot 4.871(D/t)^{-0.073} \quad \text{Cov:} 0.109 \quad (3)$$

$$\sigma_y(\text{圧縮}) = M_2 \cdot M_1 \cdot 4.871(D/t)^{-0.073} \quad \text{Cov:} 0.109 \quad (4)$$

$$\sigma_b(\text{引張強さ}) = M_3 \cdot 4.932 \cdot (D/t)^{-0.012} \quad \text{Cov:} 0.081 \quad (5)$$

(単位:  $t/cm^2$ ) ただし、 $M_1, M_3$  は、直線関係があり平均が1.0の対数正規分布の確率変数とした。 $M_2$  は0.91の確定値とした [4]。

**4-1. 座屈強度分布** (1)式によって得られた径厚比による中央値の変化を図6に示す。径厚比の小さな鋼管では、塑性加工による降伏耐力の上昇が塑性域の座屈応力の上昇に関係し、径厚比の大きな鋼管よりも耐力が高い算定結果となった。図7に既往の実験値を示す。実験は径厚比が様々であり一概に比較できないが、径厚比が30程度の鋼管が多いので径厚比が30の中央値と95%信頼帯を併せて図7に示す。数々の仮定あるいは実験値の少ない素材の機械的性質の実験式(4)を用いているが、解析値の分布性状は実験値の分布性状をよく表している。図8にSTK50材の実験資料を示す。STK41材と分布性状が違っている。3.にて行った算定では、STK50材の実験資料が含まれており(1)式あるいは2.の方法の問題ではなく、STK41材の公称降伏応力に対する素材の機械的性質とSTK50材とでは差異があるためと考えられる。

**4-2. 塑性局部座屈強度分布** 図9に既往の実験値と(2)式から求めた中央値と95%信頼帯を示す。推定値は実験値の変動をよく表している。降伏耐力の中央値と95%信頼帯を図9に併せて示す。変形能力に関係しない耐力問題としての幅厚比の設計規範としては、塑性局部座屈強度と降伏耐力あるいは公称降伏耐力が係わる。機械的性質の確率変数間に直線関係を仮定したために、塑性局部座屈耐力と降伏耐力の95%上下限值および中央値は対応している。両者の交差する点(図中▽)の  $\alpha n$  の値は、中央値、95%信頼帯で異なっている。

**5. まとめ** 残留応力等の塑性加工の影響を含んだ短柱圧縮試験の応力-ひずみ関係の変動を考慮して、強度分布状態の指標である中央値および95%信頼帯を求めた。それらの値を既往の実験値と比較した。本方法の応用と他の不規則性の考慮から確率論に基づいた設計を確立することができる。

\* 1 熊本大学・助手      \* 2 同・教授・工博

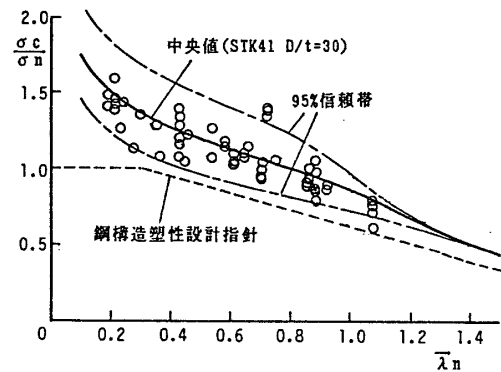


図7. 座屈応力の変動 (STK41)

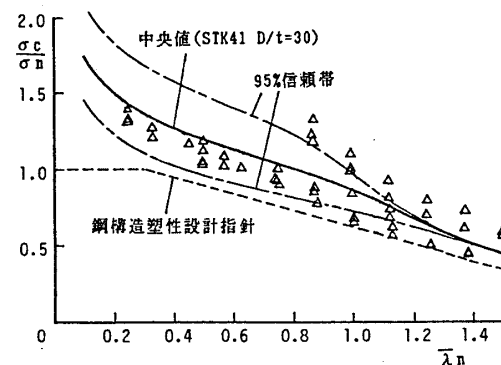


図8. 座屈応力の変動 (STK50)

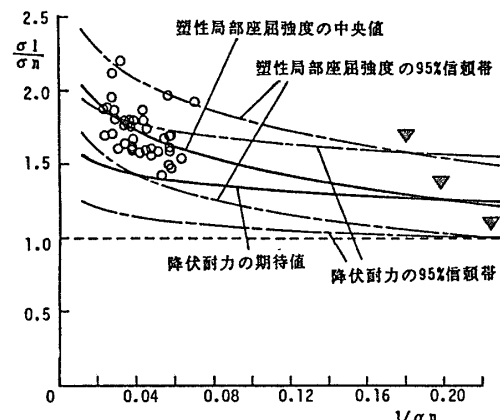


図9. 塑性局部座屈応力と降伏応力の変動

$\alpha n$ : 公称局部座屈パラメータ ( $=E/\sigma_n \cdot t/D$ )

参考文献, 引用文献 [1]坂本: "Towards Reliability-Based Design Formats for Steel Structures," 建築学会論文報告集, 308号, 56.10 [2]越智 他: 冷間成形鋼管の応力-ひずみ関係, 建築学会中国九州支部研究報告, 第30, 62.3 [3]越智 他: 鋼管材の機械的性質, 建築学会大会梗概集, 58 [4]越智 他: 円形鋼管部材の曲げ耐力と変形能力, 建築学会九州支部研究報告, 29.1.61 [5]加藤, 秋山, 鈴木: 軸圧縮力を受ける鋼管の塑性局部座屈耐力, 建築学会論文報告集, 204号, 48 [6]Kato, "Axially Compressed Structures," Ap. Sci. Pub., 1982 [7]加藤 李: 角形及び円形鋼管柱の最大耐力に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 31B, 1985.3 [8]Batterman: "Plastic Backling of Axially Compressed Cylindrical Shells," AIAA, Vol 13, 1965 [9]若林, 石田, 野中, 西川: 電綫鋼管の座屈に関する実験的研究, 建築学会大会梗概集, 43.10 [10]鈴木, 小河, 他: 軸圧縮を受ける高張力鋼管の強度性状に関する研究 その1, 建築学会大会梗概集, 56 [11]仲, 加藤, 清山: 非調質鋼管の座屈試験, 建築学会論文報告集, 40 短柱圧縮試験の実験資料は越智 他: 冷間成形鋼管の変形能力, 建築学会梗概集, 61.の文献欄を参照。