

正会員 ○安田 幸司*¹ 同 鈴木 琢也*⁴
 同 鈴木 壮*² 同 金子 洋文*⁵
 同 薩川 恵一*³

制振壁 角形鋼管 管ねじり
 座屈耐力 塑性変形能力

1. はじめに

円形鋼管に繰返しモーメントを加えた場合、鋼管全断面がせん断塑性変形することによって、安定的にエネルギー吸収されることが知られている¹⁾。一方で施工効率の向上のために、非溶接接合方式に対して角形鋼管の適用を期待しているものの、角形鋼管単体の材軸方向のモーメント荷重作用下での基本的力学性能はまだ十分明らかになっていない。そこで本研究では、有限要素法を用いた数値解析を行い、モーメント荷重作用下での角形鋼管のせん断座屈応力度の座屈耐力と塑性変形能力を検証する。

2. 角形鋼管のねじり座屈応力度の把握

材軸方向のモーメント荷重作用下での角形鋼管のせん断座屈応力度の座屈耐力式を導くため、有限要素法を用いた数値解析を行う。

図2は本研究で使用する解析モデルを示す。解析で使った要素はシェル要素を用いており、境界条件は鋼管の一方の端部を固定として、他端は端部の辺に沿って剛体要素を添接して同要素の代表接点を鋼管の中心とする。荷重条件は代表接点に強制回転変位を与えて、モーメントを加えている。

表1は解析に用いる解析パラメータを示す。鋼管の幅(a')を100, 200, 300mmとして、辺長比(H/a)、管厚比(a/t)を適宜与えている。表2は解析に用いる材料データを示す。

図3は、縦軸にせん断座屈応力度、横軸は辺長比をとって、管厚比ごとに整理したものである。なお τ_{cr} は式(1)によって算出しており、式中の M_{cr} は固有値解析結果から得られた値を用いる。

$$\tau_{cr} = M_{cr} / 2 \cdot a^2 \cdot t \quad \dots (1)$$

辺長比1.0以下の領域では、辺長比が小さくなるにつれ、せん断座屈応力度の値が急激に上昇している。辺長比1.0以上の領域では、辺長比が大きくなるにつれ、せん断座屈応力度の値が緩やかに低下している。せん断座屈耐力式を導くためにせん断座屈耐力式を以下の近似曲線の式(2)と仮定する。

$$\tau_{cr} = D \times (H/a)^N \quad \dots (2)$$

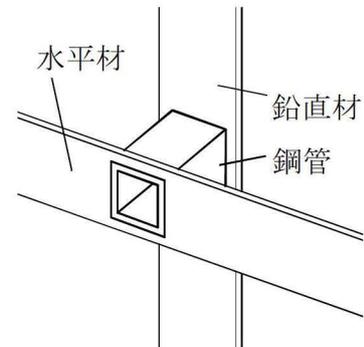


図1 取付概要

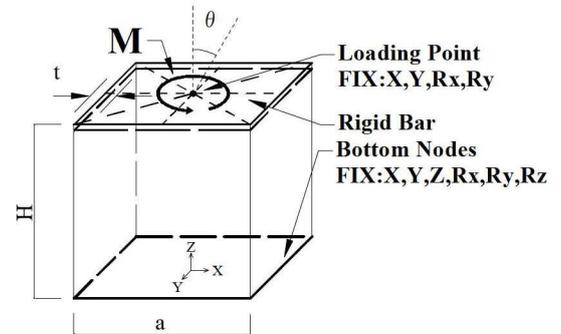


図2 解析モデル・境界条件

表1 解析パラメータ

a (mm)	H/a	a/t
84.0~298.0	0.2~3.6	5.3~49.0

表2 材料データ

E (N/mm ²)	ν	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)
205000	0.3	400	526

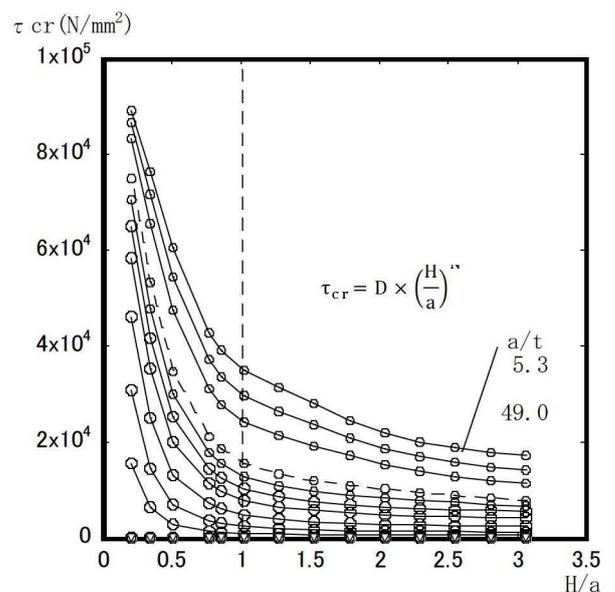


図3 ねじり座屈耐力

なお、図中にて破線で辺長比 1.0 以下、以上の領域を分けている。

図 4 は、式(2)の D, N を算出するため辺長比 1.0 以下、及び 1.0 以上の D, N と管厚比の関係で整理している。D と管厚比の関係は辺長比によらず、ほぼ同一の累乗の関係である。一方、N と管厚比の関係は辺長比 1.0 以下の場合、累乗の関係を示し、1.0 以上の場合、管厚比に関係なく N は一定の値を示す。

図 5 は、式(2)より算出した D, N を用いて、本研究で提案する座屈耐力式の結果と固有値解析結果の対応を示す。図中の破線で囲まれている領域は現在使用されている鋼管の管厚比の範囲を示している。提案式との対応において現在使用されている範囲内では良い対応を示している。

3. 角形鋼管のねじり塑性変形能力

角形鋼管のモーメント荷重作用下での塑性変形能力の把握を行う。

図 6 は、左図に $a' = 100\text{mm}$, $H = 100\text{mm}$ を一定とし、それぞれ管厚比を変数とした無次元化荷重変位関係を示す。右図に $a' = 100\text{mm}$, $t = 3.2\text{mm}$ を一定とし、それぞれ辺長比ごとの無次元化荷重変位関係を示す。なお、図中の▽は最大耐力を示している。横軸は回転角に式(3)で算出した降伏時回転角を除したものである。

$$\theta_p = M_p / K_\theta \quad \dots \quad (3)$$

M_p : 降伏ねじりモーメント

K_θ : 弾性剛性(= $a^3 \cdot t \cdot G / H$)

G: せん断剛性

左図より、管厚比が大きくなるにつれて、早期に耐力が低下することがわかる。また小さい管厚比は塑性変形能力が上昇している。右図より、辺長比 1.0 以上は塑性変形能力がほぼ同じである。辺長比 1.0 以下は辺長比が小さくなるにつれて塑性変形能力の向上が確認される。

図 8 は縦軸に塑性変形能力を横軸は管厚比で整理したものを示す。辺長比 1.0 以上の場合、管厚比が同じであれば、辺長比によらずほぼ同じ塑性変形能力となる。辺長比 1.0 以下の場合、辺長比が小さくなるにつれて塑性変形能力が大幅に上昇していることがわかる。

4. おわりに

本研究では、角形鋼管の材軸方向のモーメント荷重作用下での弾性座屈耐力の評価式を導き、及び角形鋼管のねじり塑性変形能力の把握を行った。今後は、塑性変形能力に関する統一的な評価式を導く。

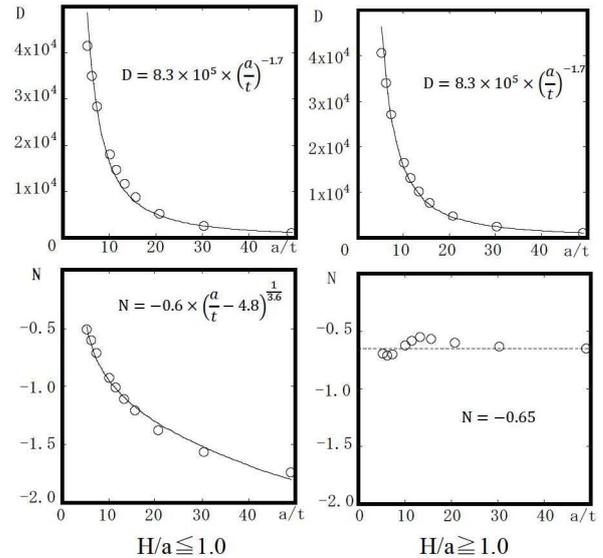


図 4 D, N と a/t の関係

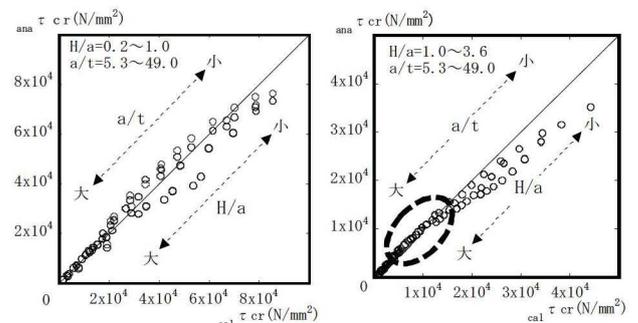


図 5 提案式と解析結果との対応

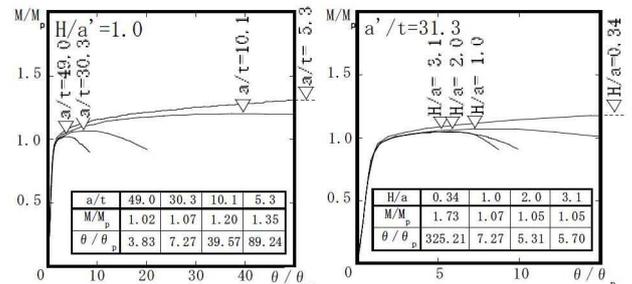


図 6 無次元化荷重変位関係

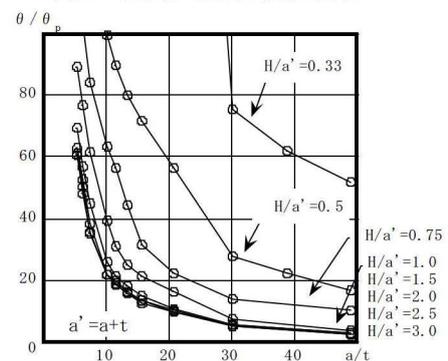


図 7 a/t と塑性変形能力の関係

*1 愛知工業大学 元学生 (現: 矢作建設工業)

*2 愛知工業大学 大学院生

*3 愛知工業大学 教授

*4 (株)竹中工務店 竹中技術研究所

*5 信州大学 教授

*1 Aichi Institute of Technology

*2 Aichi Institute of Technology

*3 Professor, Aichi Institute of Technology

*4 Research & Development Institute, Takenaka Corporation

*5 Professor, Shinshu University