302 二軸曲げ荷重を受ける正方形短柱鋼管の局部座屈強度に関する実験的基礎研究 (第4報 二軸・一軸の場合)

Basic Experimental Studies on the Local Buckling Strength of Short Column Carbon Steel Square Pipes Subjected to an Biaxial Bending Compressive Load (4th Report In the Case of a Biaxial and a Uniaxial)

正 北澤 敏行(東海大)

○ 学 志場 真也(東海大院)

Toshiyuki KITAZAWA, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratuka, Kanagawa
Shinya SHIBA, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratuka, Kanagawa

Key Words: Buckling Strength, Biaxial Bending, Carbon Steel Square Pipes, Eccentric Compressive Load

1. まえがき

一般の構造部材として幅広く角形鋼管が使用されている。筆者らは圧縮と曲げを同時に受ける正方形短柱鋼管の座屈問題として一軸および二軸曲げ(上下端等二軸)の場合の座屈実験を行い、座屈荷重を求めるための実験式の提案を行った(1),(2)。

本論文は、両端球座支持の正方形短柱鋼管において、上端二軸・下端一軸曲げ圧縮荷重を受ける場合の座屈実験を行い、座屈強度に及ぼす主パラメータの実験的検討と平板のエネルギー式を用いて座屈解析を行い、座屈応力を求めるための単純化した実験式や設計図表の検討を行ったものである。

2. 実験

2.1 試験片 試験片の形状、主要寸法を、Fig.1 および Table 1 に示す。なお、Table 1 においての a/c を以下壁面比と称し、 λ は細長比を示す ($\lambda = a/k$, k : 回転半径)。

2.2 実験装置および方法 試験片の支持条件は両端球座支持であり、荷重位置は試験片の上下端において、重心点 O より偏心距離 e_1 , e_2 の点 O_{e_1} および O_{e_2} の点である。上端の偏心角を θ とする。実験は、圧縮荷重が最大値(以下この荷重を圧縮崩壊荷重と称する)を示し減少するまで行い、各圧縮荷重に対する横たわみおよび圧縮ひずみを測定した。なお、座屈荷重は δ^2 法により決定した(3)。また、偏心距離および二軸の関係を示す係数として偏心比 ξ および二軸比 η を次式で定義する。

$$\xi = \left(\frac{e_1}{c} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1+\eta^2}} \left(1 + \frac{e_2}{e_1} \sqrt{1+\eta^2} \right) \dots (1)$$

$$\eta = \frac{e_N}{e_Z} = \tan \theta \dots (2)$$

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮崩壊荷重と座屈荷重 本実験によれば、圧縮荷重 P が最大値に達すると偏心側壁面の横たわみが大きく変化し壁面座屈を起こし全体が座屈しており、縮崩壊荷重と座屈荷重はほぼ等しい結果が得られた。

3.2 偏心比 ξ の影響について 座屈応力比 σ_{cr}/σ_{cr} と偏心比 ξ との関係例として $\theta = 30^\circ$, $e_1/e_2 = 1.0$ の場合を Fig. 2 に示す。ここで、 σ_{cr} , σ_{cr} はそれぞれ偏心および軸心圧縮荷重を受ける正方形短柱鋼管の座屈応力を示す。本実験において図示のように座屈応力比 σ_{cr}/σ_{cr} は壁面比 a/c の影響はなく偏心比 ξ に依存し ξ の増加にともなって減少する。 $e_1 < e_2$, $e_1 > e_2$ の場合も同じ傾向が見られる。また $\theta = 45^\circ$, $\theta = 60^\circ$ においても同じ傾向である。以上の結果より $e_1 < e_2$, $e_1 > e_2$ の場合も含めて座屈応力に影響を及ぼす主パラメータは偏心比 ξ である。

3.3 実験式の検討 以上の検討結果より壁面比 a/c の影響が見られないので、問題を圧縮と曲げを同時に受ける周辺単純支持の正方形平板の座屈問題として前報(2),(4)と同様、平板のエネルギー式を用いて座屈応力を求めるための実験式を検討する。たわみ波形 w を荷重辺を y とし次式で仮定する。

$$w = w_1 + w_2 \dots (3)$$

ここで、 w_1 , w_2 はそれぞれ軸圧縮および偏心による曲げのたわみを示す。圧縮と曲げを考慮したエネルギー式は次式で表される。

$$\sigma_{cr}(1+\alpha) = \frac{(D/2) \iint \{k_1 - 2(1-\nu)k_2\} dx dy}{-(t/2) \iint k_3 dx dy} \dots (4)$$

ただし

Fig.1 Shape of specimen

$$k_1 = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2$$

$$k_2 = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2$$

$$k_3 = \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2$$

ここで、 α は偏心による圧縮応力の増加率であり偏心比 ξ の関数であると考えられる．式(3)に式(4)を代入して得られる σ_{cy} の最小値が座屈応力であり、これを σ_{cre} で示し軸心圧縮による座屈応力 σ_{cr} で無次元化すれば次式で与えられる．

$$\frac{\sigma_{cre}}{\sigma_{cr}} = \frac{1}{1 + \alpha} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで、係数 α について実験的に求めた．その結果を係数 α と偏心比 ξ の関係として Fig.3 に示す．Fig.3 においての実験は最小二乗法⁽⁵⁾により得られた次式による計算式による計算結果である．

$$\alpha = 1.082\xi \quad \dots \dots \dots (6)$$

また、Fig.2 においての実線は式(6)を式(5)に代入して得られた計算値を示し、図示のように実験値とほぼ一致しており式(5)および(6)は座屈応力を求めるための計算式として実用上有効であると考えられる．

4 むすび

本実験で得られた結果をまとめると次のようになる．

- (1) 崩壊は偏心側壁面の局所的な壁面座屈である．
- (2) 座屈応力比 σ_{cre}/σ_{cr} は偏心比 ξ に依存し、 ξ の増加にともなって減少する傾向がみられる．また、 σ_{cre}/σ_{cr} は壁面比 a/c の影響はなく同じ偏心比 ξ に対して一致する．
- (3) 座屈応力を求めるための偏心比 ξ をパラメータとした実用上有効と考えられる実験式を得た．

Table 1 Main Dimension of Specimen

No	c [mm]	t [mm]	a [mm]	a/c	λ	θ [°]	e_1/e_2
A	58.4	1.6	58.4	1.0	2.4	0	1.0
B							1.0~6.0
C			180	3.1	7.5	60	0.17~0.46

Fig.2 Relation between σ_{cre}/σ_{cr} and ξ

Fig.3 Relation between σ_{cre}/σ_{cr} and α

参考文献

- (1) 北澤, 加古, 機論, 51-472A, (1985), 2789-2794.
- (2) 北澤, 機論, 60-573A, (1994), 1198-1203.
- (3) 林 編, 軽構造の理解とその応用 (上), (1967), 207-208, 日本科学技術連盟.
- (4) 北澤, 機論, 65-637A, (1999), 2002-2007.
- (5) 本間, 春日屋, 次元解析・最小2乗法と実験式, (1968), 252-255, コロナ社.