

座屈荷重 幾何学的非線形 材料非線形
静的載荷実験 正方形断面

1 はじめに

既報(その4~7)に示した正方形断面鋼材を用いた中心圧縮の座屈実験について、断面寸法を変更して追加の実験を行った。本報では、試験体の概要および主な実験結果について述べる。また、得られた座屈荷重の実験結果と既報(その1~3)に示した理論予想との比較を行う。なお、図表については、記号Iを付す。

2 試験体概要

本実験で使用した試験体の寸法および断面性能を表I-1に示す。試験体の断面寸法は、試験機の載荷能力(圧縮力500kN)などを考慮し、規格サイズの中から、これまでで最も大きい24×24mmを選定した。部材長さLは、前報までと同様に細長比Aを基準に設定した。なお、実験では試験体の両端75mmを治具にはめ込むため、部材長さLに150mm加えたものが、実際に作製した試験体長さとなる。試験体名は、細長比Aが小さいものから順にA, B, C, D, E, F, G, H, Iとし、これまでの試験体と区別するために頭に24を付けて表記する。試験体の本数は、実験結果のばらつきを確認するために各種類3本とした。試験体の材料は、前報と同様のSS400(ミカギ四角棒)とし、その機械的性質は、材料試験よりヤング係数 $E=1.98 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、降伏応力度 $\sigma_y=524 \text{N/mm}^2$ 、引張強度 $\sigma_u=579 \text{N/mm}^2$ が得られている。

表 I-1 試験体概要

| 試験体名 | | 24A | 24B | 24C | 24D | 24E | 24F | 24G | 24H | 24I |
|-----------|----------|-----------------|----------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 部材長さ | L | mm | 210 | 425 | 635 | 845 | 1060 | 1270 | 1480 | 1690 |
| 幅 | B | mm | 24 | | | | | | | |
| 厚さ | H | mm | 24 | | | | | | | |
| 断面積 | A | mm ² | 576 | | | | | | | |
| 断面2次モーメント | I | mm ⁴ | 27648 | | | | | | | |
| 断面2次半径 | i | mm | 6.93 | | | | | | | |
| 細長比 | A | - | 15.2 | 30.7 | 45.8 | 61.0 | 76.5 | 91.7 | 106.8 | 122.0 |
| 基準化細長比 | A' | - | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 |
| 辺方向 | 断面係数 | Z | mm ³ 2304 | | | | | | | |
| | 塑性断面係数 | Z _p | mm ³ 3456 | | | | | | | |
| | 全塑性モーメント | M _p | kN・mm 1811 | | | | | | | |
| | 最大モーメント | M _u | kN・mm 2001 | | | | | | | |
| | 降伏モーメント | M _y | kN・mm 1207 | | | | | | | |
| 対角方向 | 断面係数 | Z | mm ³ 1629 | | | | | | | |
| | 塑性断面係数 | Z _p | mm ³ 3258 | | | | | | | |
| | 全塑性モーメント | M _p | kN・mm 1707 | | | | | | | |
| | 最大モーメント | M _u | kN・mm 1887 | | | | | | | |
| | 降伏モーメント | M _y | kN・mm 854 | | | | | | | |

3 実験結果

(I) 軸方向の荷重 - 変形関係 (座屈後の挙動)

実験に用いた試験機のセットアップ、載荷方法および計測方法は、前報までと同様のため、ここでは説明を割愛する。試験体は、幅24mm×高さ24mm×深さ75mmの穴あけ加工が施された治具にはめ込み、両端固定となるように取り付けて実験を行った。

実験により得られた各試験体の軸方向の荷重 - 変形関係を図I-1に示す。ここで、軸方向変形 δ_x は、試験機の各所に取り付けた変位計の値を基に、試験体の変形量を算定した結果を用いている。なお、各試験体3本ずつの実験から得られた座屈荷重および荷重 - 変形関係には、ばらつきが少なく、試験体毎にほぼ同一の結果が得られたため、ここでは各試験体の1体目(No.1)の結果を示している。座屈後(最大荷重到達後)の挙動について見てみると、試験体24Aならびに試験体24G~24Iは座屈後も荷重と変形が連続的に推移している。一方、試験体24B~24Fは座屈後に荷重が大きく低下し、軸方向変形も大きく進む非連続的な挙動を示している。座屈後の挙動は、部材長さの短い方から順に、連続(安定) - 非連続(不安定) - 連続(安定)の3つの領域に分けることができ、これは、断面寸法の異なる前報までの実験結果にも同様の傾向が見られる。ただし、3つの領域について基準化細長比を基準に比較してみると、不安定となる領域は、14×14mm試験体では14D(A'=0.92)となり(表F-2)、19×19mm試験体では19C~19E(A'=0.75~1.25)となっている(表E-1)。今回実施した24×24mm試験体では24B~24F(A'=0.50~1.50)となっていることから、断面寸法が大きい試験体で、不安定な挙動を示す領域が広いという傾向が見られた。

座屈後の荷重の推移を見ると、試験体24A・24H・24Iは、低下の割合が緩やかであることが分かる。これは、前報の14×14mm試験体14A・14H・14Iおよび19×19mm試験体19A・19H・19Iでも同様の結果が得られており(図F-2および図E-2)、基準化細長比の小さい試験体と大きい試験体で、座屈後における荷重の低下の割合が緩やかになる傾向がある。また、これについては断面寸法の大きさによる違いは見られなかった。

(II) 座屈の方向

表 I-2 には、実験により得られた座屈荷重および座屈の方向を整理して示している。座屈後の変形方向について見ると、試験体 24A・24B が辺方向、その他の試験体では対角方向に座屈する結果となった。前報の 14×14mm 試験体では 14A・14B, 19×19mm 試験体では 19A・19B が辺方向への座屈であり（ただし、14B は 3 本中 1 本が対角方向への座屈）、その他は対角方向への座屈となっている（表 F-2 および表 E-1）。したがって、座屈の方向については、断面寸法の大きさによる違いは見られなかった。

4 実験結果と解析結果の比較（座屈荷重）

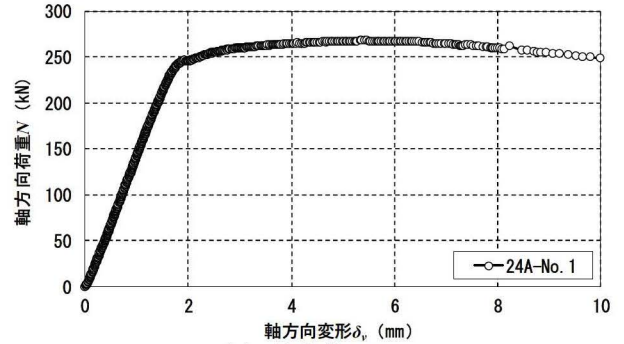
既報（その 2）で求めた座屈荷重の理論式（B17）と実験結果の比較を行った。比較結果を座屈応力度 - 基準化細長比関係として図 I-2 に示す。ここで、理論式（B17）を見ると、座屈荷重は断面係数の影響を受けることが予想されており、辺方向および対角方向の座屈荷重がそれぞれ式（C11）および式（C12）に示されている。また、断面係数 Z を塑性断面係数 Z_p に置き換えた場合が座屈荷重の上界を与えることになり、結果として図 I-2 に示す 4 つの解析値が得られる。なお、図中には 14×14mm 試験体および 19×19mm 試験体の結果も併せて示している。

実験結果と解析値を比較すると、試験体 24A は辺方向に座屈した試験体であり、実験値が辺方向の解析値を大きく下回る結果となった。また、対角方向に座屈した試験体のうち 24C・24D・24E は、実験値が解析値を上回る結果となった。その他の試験体については、解析値の上界と下界の範囲に実験値が分散する結果となった。前報までに示した 14×14mm 試験体と 19×19mm 試験体では、座屈荷重について概ね同様の考察結果が得られており、断面の大きさによる違いは見られなかったが、24×24mm 試験体では、これまでの傾向と異なり、24C~24E の 3 つの試験体で解析値よりも実験値が大きくなる結果が得られた。

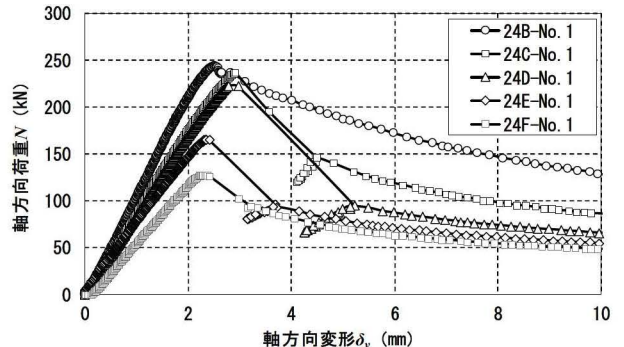
次報（その 10）では、今回の実験結果と前報までの実験結果を併せて、軸方向の荷重 - 変形関係について、実験結果と理論予想を比較する。

表 I-2 座屈荷重と座屈後挙動

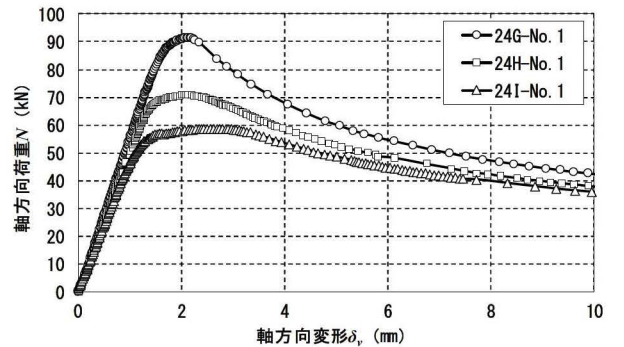
| 試験体名 | 24A | 24B | 24C | 24D | 24E | 24F | 24G | 24H | 24I | |
|--|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 試験体本数 | 3 | | | | | | | | | |
| 座屈荷重 N_{cr} (kN) | 最大 | 271.2 | 244.1 | 238.5 | 222.1 | 165.4 | 127.4 | 91.8 | 71.4 | 60.1 |
| | 最小 | 265.8 | 240.4 | 235.3 | 213.1 | 162.9 | 123.4 | 91.0 | 71.0 | 58.8 |
| | 平均 | 268.3 | 242.5 | 236.6 | 216.7 | 163.9 | 125.0 | 91.4 | 71.2 | 59.2 |
| 座屈応力度 σ_{cr} (N/mm ²) | 466 | 421 | 411 | 376 | 284 | 217 | 159 | 124 | 103 | |
| σ_{cr}/σ_y | 0.89 | 0.80 | 0.78 | 0.72 | 0.54 | 0.41 | 0.30 | 0.24 | 0.20 | |
| 座屈後挙動 | 安定 | | | 不安定 | | | 安定 | | | |
| 座屈の方向 | 辺 | | | 対角 | | | | | | |



(A) 試験体 24A



(B) 試験体 24B・24C・24E・24F



(C) 試験体 24G・24H・24I

図 I-1 軸方向の荷重 - 変形関係

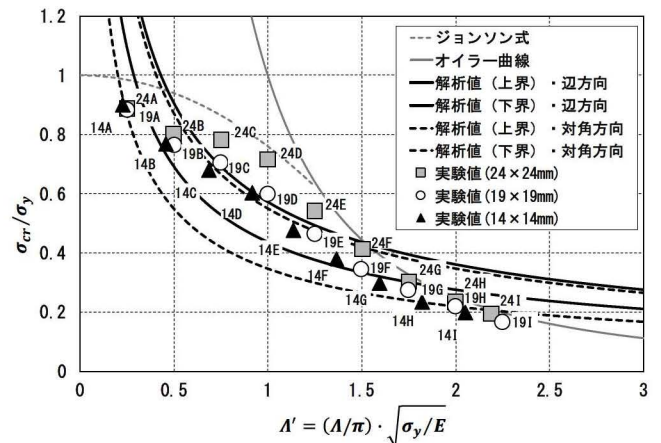


図 I-2 座屈応力度の実験値と解析値の比較

* 愛知工業大学大学院 工学研究科博士前期課程
 ** 愛知工業大学 工学部 建築学科 講師
 *** 東京都市大学 工学部 建築学科 教授

* Graduate Student of Eng., Aichi Institute of Technology
 ** Lect., Dept. of Architecture, Aichi Institute of Technology
 *** Prof., Dept. of Architecture, Tokyo City University