

正会員 ○庄司 夏海* 鈴木 敏志**
正会員 西村 功***

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

前報(その1~3)^{1)~3)}に示した理論の妥当性を検証する目的で、正方形断面鋼材を用いた中心圧縮の座屈実験を行った。実験では主に、①座屈荷重、②座屈後の荷重-変形関係、③部材の変形状態を計測した。本報では、試験体および実験方法について述べる。なお、前報までと同様に、(その4)では式や図表に記号Dを付す。

2 試験体寸法

本実験で計画した試験体の寸法および断面性能を表D-1に示す。試験体の断面形状は、試験体の座屈荷重と試験機の載荷能力(圧縮力500kN)を考慮して一辺が19mmの正方形断面とした。部材長さLは、150mmから1350mmの範囲で、細長比A(本報では、既報に記載の基本部材長さλ(k)と区別するため、Aと表記する)が等間隔になるように設定した。試験体名は細長比Aが小さい方から順にA, B, C, D, E, F, G, H, Iとし、試験体の本数は、Hが2本、Gが3本、その他は各6本とした。

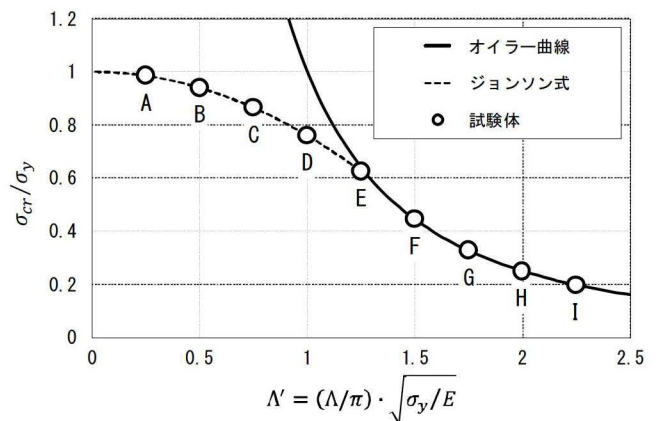
図D-1には、各試験体の座屈応力度σ_{cr}と基準化した細長比A'の関係を示す。ここで、座屈応力度の値は、細長比が限界細長比以下の試験体A~Eはジョンソン式、限界細長比以上の試験体F~Iはオイラー式によって算定したものである。

3 材料試験

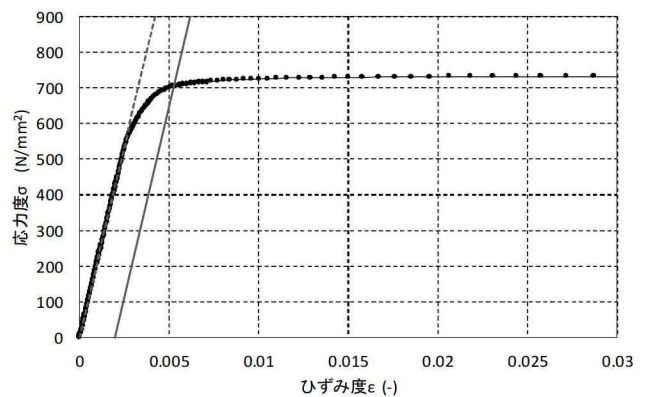
使用する鋼材について、試験体と同一断面の試験片を用いて、引張試験と曲げ試験を行い、材料の機械的性質を把握した(紙面の都合上、試験方法の詳細は、割愛する)。代表的な試験結果として、引張試験より得られた応力度-ひずみ度関係を図D-2に示す。引張試験より得られた鋼材の機械的性質は、ヤング係数E=214,000N/mm²、降伏応力度σ_y=703N/mm²、引張強度σ_u=735N/mm²となった。また、これらの値を用いると限界細長比はA₀=70.8となった。ここで、使用した材料には、明確な降伏点が現れなかったため、降伏応力度として、0.2%耐力を採用した(図D-2)。本実験で採用した材料は、SS400(ミガキ四角棒)であるが、降伏応力度および引張強度は、一般的なSS400材の値よりも大きい結果が得られた。本実験では、前記の実験値を採用し、以降の検討を行った。

表D-1 試験体概要

試験体名			A	B	C	D	E	F	G	H	I
部材長さ	L	mm	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350
幅	B	mm	19								
厚さ	H	mm	19								
断面積	A	mm ²	361								
断面2次モーメント	I	mm ⁴	10860								
断面2次半径	i	mm	5.48								
細長比	A	-	13.7	27.3	41.0	54.7	68.4	82.0	95.7	109.0	123.1
基準化細長比	A'	-	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
辺方向	断面係数	Z	1143								
	塑性断面係数	Z _p	1715								
	全塑性モーメント	M _p	1205								
	最大モーメント	M _u	1260								
	降伏モーメント	M _y	804								
対角方向	断面係数	Z	808								
	塑性断面係数	Z _p	1617								
	全塑性モーメント	M _p	1137								
	最大モーメント	M _u	1188								
	降伏モーメント	M _y	568								



図D-1 試験体の座屈応力度 - 基準化細長比関係



図D-2 応力度 - ひずみ度関係 (引張試験結果)

4 実験概要

図 D-3 に実験のセットアップを示す。実験は、静的アクチュエータを用いた静的加力実験である。試験体を取り付ける左右の治具には幅 19mm×高さ 19mm×深さ 60mm の穴あけ加工が施してあり（写真 D-1）、試験体の端部を 60mm はめ込む事で、両端が固定端とみなせる状態で実験を行った（座屈長さは $L/2$ となる）。従って、表 D-1 に示す部材長さ L に 120mm を加えたものが実際に使用した試験体の外形寸法となる。計測について、試験体の軸方向および面外方向の変形を正確に計測するため、図 D-3 に示す 9 箇所（図中の太矢印）に変位計を設置した。軸方向の荷重は、静的アクチュエータに取り付けたロードセルにより計測した。また、各試験体 3 体（試験体 H のみ 2 本）については、試験体の両端および中央の 3 か所各 4 面（計 12 か所）に塑性域ひずみゲージ（ひずみ限界 10～15%）を貼り付け、ひずみの計測も行った。センサーによる計測の他に、部材変形（主に部材中央のたわみ角 θ_{max} ）を観測する目的で、試験体の上面および側面からデジタルカメラによる写真撮影を座屈後の軸方向変位 10mm 毎に行なった。载荷速度は、载荷開始から座屈時まで約 0.3kN/sec、座屈後は 10mm/min（座屈後の軸方向変位 100mm まで）とした。

5 実験結果

一例として、試験体 C の実験結果を示す。図 D-4 は試験体 C 全 6 本（No.1～No.6）の実験から得られた軸方向の荷重 - 変形関係である。ここで、軸方向変形 δ は、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。本実験では、各形状について複数体の加力実験を行っているが、図 D-4 に示す通り、座屈荷重および荷重 - 変形関係の結果にばらつきは無く、形状毎にほぼ同一の結果が得られている。図 D-5（左）には、座屈後の部材変形を示す。図に示す通り、今回実験を行った試験体の多くは、面外斜め方向に座屈する結果が得られている。理論予想との比較の際に必要な座屈後の部材変形については、試験体両端部を結んだ直線を Y 軸とし、Y 軸に平行な軸を y 軸、Y 軸に直交する試験体中央の変形方向を x 軸とした x-y 座標平面を基準にして、図 D-5（右）（既報、その 2 の図 B-1 を再掲）に示す水平変位 $\delta_H(k)$ 、部材高さ $h(k)$ を変位計の値を基に算定した。また、部材中央のたわみ角 θ_{max} を写真による観測から求めた。

次報（その 5）では、各試験体の実験結果を示し、実験結果について考察する。

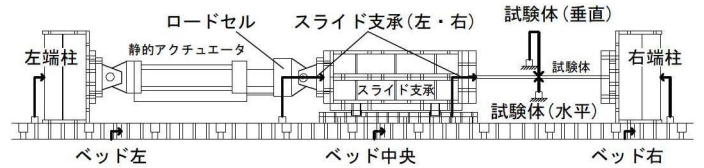


図 D-3 加力実験のセットアップ

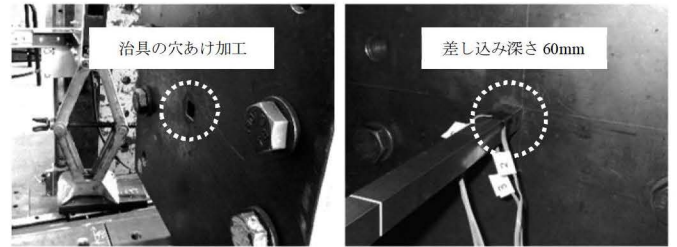


写真 D-1 試験体の接続方法

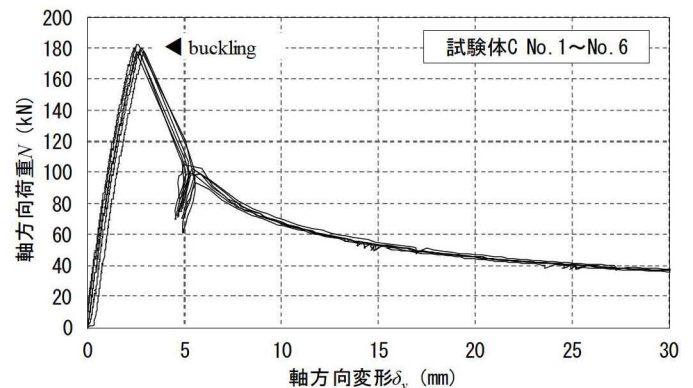


図 D-4 軸方向の荷重 - 変形関係（試験体 C）

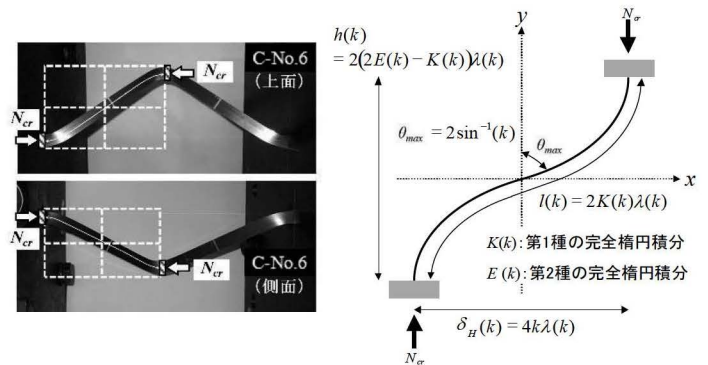


図 D-5 座屈状態における部材変形
（左：実験結果例 試験体 C 右：理論予想）

参考文献

- 1) 西村功, 鈴木敏志, 江里口知輝: 中心圧縮柱の非線形座屈に関する研究 - その 1: 非線形座屈モデルの仮説 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp251-252, 2017 年 8 月
- 2) 西村功, 鈴木敏志, 江里口知輝: 中心圧縮柱の非線形座屈に関する研究 - その 2: 非線形座屈状態の変形状態と安定性 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp253-254, 2017 年 8 月
- 3) 西村功, 鈴木敏志, 江里口知輝: 中心圧縮柱の非線形座屈に関する研究 - その 3: 分岐の発生とその後の安定性 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp255-256, 2017 年 8 月

* 東京都市大学大学院 工学研究科 建築学専攻修士
 ** 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, Dep. of Architecture, Tokyo City University
 ** Lect., Dept. of Architecture, Aichi Institute of Technology
 ** Prof., Dept. of Architecture, Tokyo City University