

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

本報では、前報(その 4)に示した正方形断面鋼材を用いた座屈実験の結果について述べる。なお、前報までと同様に、(その 5)では式や図表に記号 E を付す。

## 2 実験結果および考察

### (I) 座屈荷重

実験により得られた座屈応力度と基準化細長比の関係を図 E-1 に示す。ここで、座屈応力度の実験結果は、複数体の実験により得られた各座屈応力度の平均値を用いているが、前報(その 4)に示した通り、形状毎にほぼ同じ値が得られている。図に示す通り、実験では、オイラー曲線とジョンソン式で予想される値よりも小さい結果が得られた。

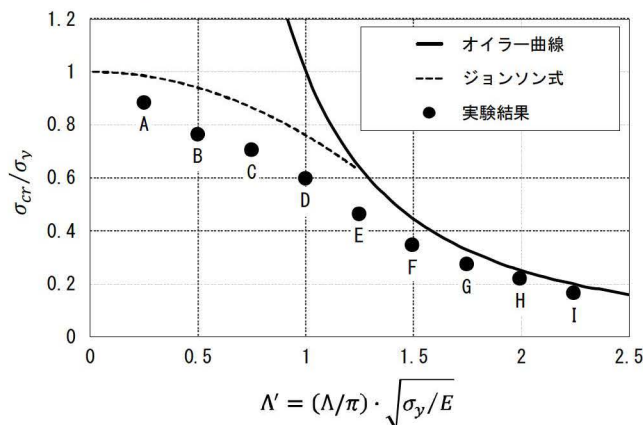
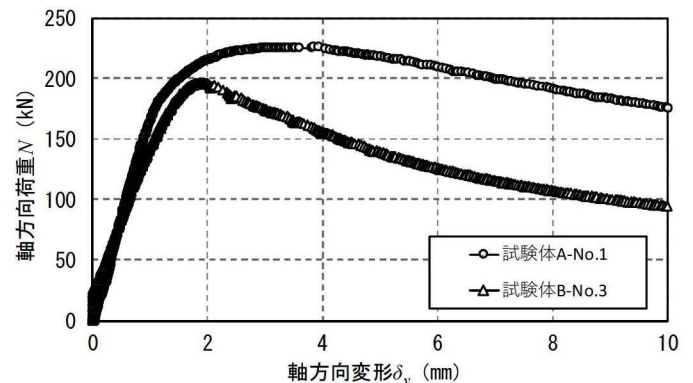


図 E-1 座屈応力度の実験結果

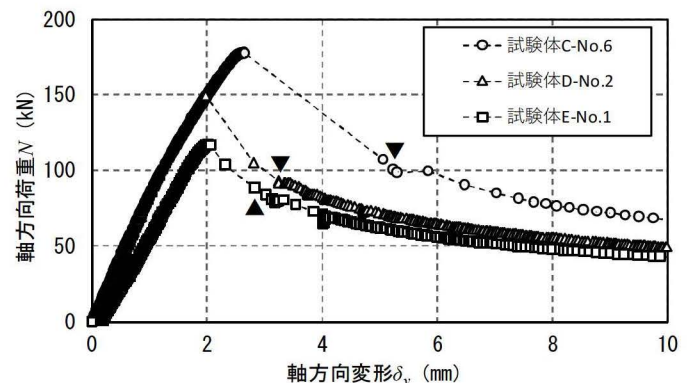
### (II) 軸方向の荷重 - 変形関係 (座屈後の挙動)

図 E-2 は、実験により得られた各試験体の軸方向の荷重 - 変形関係である (約 1Hz のサンプリング間隔で計測した結果をプロットで示している)。ここで、座屈後 (最大荷重到達後) の挙動に注目してみると、試験体 A・B ならびに試験体 F・G・H・I は、座屈後も連続的に荷重と変形が推移している (図 E-2 (a)・(c))。それに対して、試験体 C・D・E は、座屈後に図中に示す▼ (または▲) 印まで急激に荷重が低下し、かつ軸方向変形が進む非連続的な挙動を示している (図 E-2 (b))。次に、座屈後の荷重の推移について見ると、連続・非連続の挙動に関わらず、座屈後に荷重が低下するが、特に試験体 A や試験体 I は、

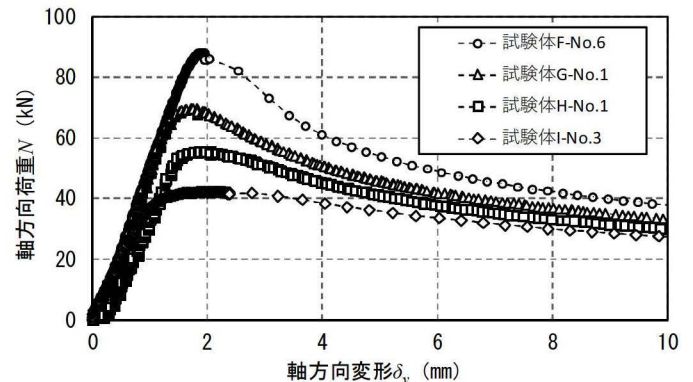
低下の割合が緩やかであることがわかる。なお、ここでは各形状 1 体の実験結果を示したが、座屈後の挙動についても、複数体ずつ実施した実験の結果は、形状毎にほぼ同様となった。



(a) 試験体 A・B



(b) 試験体 C・D・E



(c) 試験体 F・G・H・I

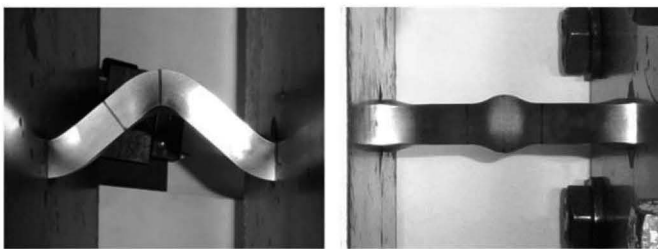
図 E-2 軸方向の荷重 - 変形関係

### (Ⅲ) 座屈後の部材変形

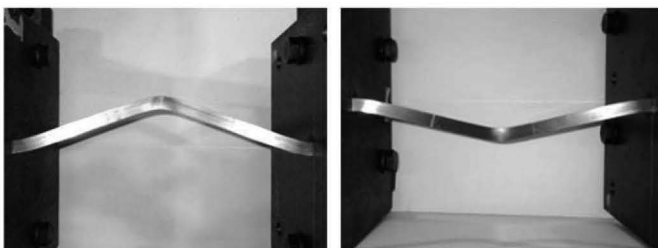
既報（その 1～3）に示す理論予想との比較には、座屈後の部材変形を詳細に分析する必要がある。ここでは、理論予想との比較に先立ち、各試験体の実験結果について考察した。

写真 E-1 に、座屈時からの軸方向変形+30mm における試験体の部材変形を示す。紙面の都合上、試験体 A・C・F の 3 つについてのみ示しているが、前述の座屈後挙動と対応させると、試験体 A・F が連続、試験体 C が非連続な挙動を示した試験体である。座屈後の部材の変形方向は、試験体 A は水平方向となり、試験体 C・F は斜め方向となった。同様に、試験体 B は水平方向、試験体 D・E・G・H・I は斜め方向に変形する結果が得られている。斜め方向の変形は、多少のばらつきはあるが、おおよそ 45° 方向（正方形断面の対角軸回り）に変形した。

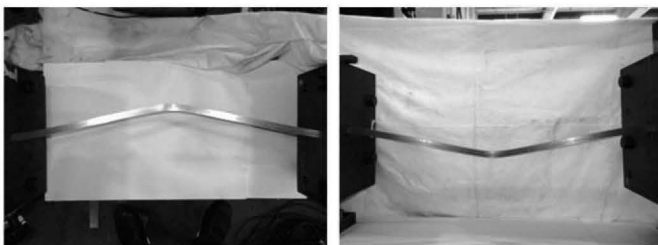
実験結果には、水平方向は、側面から見て手前または奥方向、斜め方向は、斜め上または斜め下方向という違いはあったが、水平方向または斜め方向の別は、形状毎に同じ結果が得られた。



(a) 試験体 A No. 4



(b) 試験体 C No. 6



(c) 試験体 F No. 6

写真 E-1 座屈後の変形状態（左：上面 右：側面）

### 3 まとめ

以上の実験結果を表 E-1 に整理して示す。表中の座屈荷重は、複数体行った試験体の中での最大・最小値および全試験体の平均値の 3 つを示している。座屈後挙動は、既報（その 3）との繋がりを考慮して、連続的な挙動を「安定」、非連続な挙動を「不安定」と記している。また、座屈時の部材の変形方向は、水平方向を「辺方向」、斜め方向を「対角方向」と記している。

今回は、1 種類の断面形状かつ 1 種類の材料で、部材長さ  $L$  のみをパラメータとした限られた試験体での実験であったが、以下に示すいくつかの知見が得られた。

座屈荷重は、オイラー曲線とジョンソン式で予想される値よりも小さい結果となった。これについては従来、残留応力や初期不整により、実験結果は値が小さくなること説明されている。しかし、今回の試験体は単純な正方形断面であり、残留応力や初期不整の影響が大きいとは考えにくい。また、複数体の試験体による実験結果にばらつきがほとんど無いことから、座屈荷重に何か別の要因が影響している可能性が示唆される。

座屈後の挙動は、試験体の細長比を基準にみると 3 つの領域（安定 - 不安定 - 安定）に分けられる結果が得られた。鋼材が座屈した後の荷重 - 変形関係を解明した研究は少なく、これらの座屈後挙動の解明は、例えばブレース部材のエネルギー吸収量などの観点から、大変興味深い。また、部材の変形方向には、辺方向または対角方向という明確な違いが表れた。これらの現象は、部材の断面 2 次モーメント  $I$ 、断面積  $A$ 、座屈長さ  $l_k$  および材料の機械的性質から求まる従来の座屈理論では、説明することができない。

表 E-1 座屈荷重と座屈後挙動

試験体名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
試験体本数	6	6	6	6	6	6	3	2	6	
座屈荷重 $N_{\sigma}$ (kN)	最大	225.7	195.9	182.1	155.4	120.9	88.6	69.8	56.7	42.7
	最小	223.9	192.0	177.5	148.2	115.5	86.8	69.4	55.4	41.9
	平均	224.7	194.2	179.1	152.0	117.9	87.8	69.6	56.0	42.2
座屈応力度 $\sigma_{\sigma}$ (N/mm <sup>2</sup> )	623	538	496	421	327	243	193	155	117	
$\sigma_{\sigma}/\sigma_y$	0.89	0.77	0.71	0.60	0.46	0.35	0.27	0.22	0.17	
座屈後挙動	安定		不安定			安定				
座屈の方向	辺方向		対角方向							

### 4 今後の予定

- ・断面形状や材料を変えて同様の実験を行い、座屈荷重および座屈後挙動を把握する。
- ・既報（その 1～3）に示した解析予想と実験結果を比較し、理論の妥当性を検証する。

\* 愛知工業大学 工学部 建築学科 講師  
 \*\* 東京都市大学大学院 工学研究科 建築学専攻修士  
 \*\*\* 東京都市大学 工学部 建築学科 教授

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