

中心圧縮柱の非線形座屈に関する研究

(その 11 : モーションキャプチャによる部材変形の計測)

正会員 ○鈴木 敏志\* 宮木 彩乃\*\*  
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 モーションキャプチャ

1 はじめに

既報 (その 9) に示した正方形断面鋼材の座屈実験について、部材変形の詳細な計測を目的に追加の実験を行った。部材変形の計測には、モーションキャプチャを用いた。本報では、計測方法の概要と部材変形の計測結果を述べる。なお、図表については、記号 K を付す。

2 部材変形の計測方法の概要

使用した試験体は、既報 (その 9) に示した断面寸法が 24×24mm の正方形断面鋼材 (材種 : SS400 ミガキ四角棒) である。また、試験機は、既報 (その 6) に示したものと同様である。試験体概要および試験機のセットアップをそれぞれ表 K-1 および図 K-1 に再掲し、詳細な説明は割愛する。なお、モーションキャプチャによる部材変形の計測を行う試験体は、各試験体 4 本目の試験となるため、実験結果には、表 K-1 に示す試験体名の後に No. 4 を付すこととする (例 : 24A-No. 4)。

使用したモーションキャプチャは、光学式のモーションキャプチャであり、計測対象物に反射マーカーを設置し、専用のカメラを複数台使用して対象物の計測を行うものである。光学式の場合、計測対象に設置したマーカーがカメラの計測範囲から外れると計測できないというデメリットがあるものの、他の形式のモーションキャプチャと比べて、計測の位置精度が高いことが特徴である。また、複数台のカメラを用いることで、3 方向 (X・Y・Z 軸) の位置を計測することができる。

計測に使用したカメラ (OptiTrack 製 Flex3) および反射マーカー (直径 12.7mm) を写真 K-1 に示す。また、試験時のモーションキャプチャによる部材変形の計測状況を写真 K-2 に示す。カメラの計測精度は約 0.1mm であり、本実験では 3 台のカメラを使用した。反射マーカーは試験体の上面に等間隔になるように接着剤で貼り付けた。なお、試験体長さが短い試験体 24A~24D については、上面のみでは計測点数が少ないため、試験体の側面にも等間隔にマーカーを貼り付けた。さらに、試験体を固定している両端の治具の側面および上面にも反射マーカーを設置し、データを分析する際の基準点となるようにした。

表 K-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	1850	
幅	$B$ mm	24									
厚さ	$H$ mm	24									
断面積	$A$ mm <sup>2</sup>	576									
断面2次モーメント	$I$ mm <sup>4</sup>	27648									
断面2次半径	$i$ mm	6.93									
細長比	$\lambda$	-	15.2	30.7	45.8	61.0	76.5	91.7	106.8	122.0	133.5
基準化細長比	$\lambda'$	-	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.19
辺方向	断面係数	$Z$ mm <sup>3</sup>	2304								
	塑性断面係数	$Z_p$ mm <sup>3</sup>	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								
対角方向	降伏モーメント	$M_y$ kN・mm	1207								
	断面係数	$Z$ mm <sup>3</sup>	1629								
	塑性断面係数	$Z_p$ mm <sup>3</sup>	3258								
	全塑性モーメント	$M_p$ kN・mm	1707								
対角方向	最大モーメント	$M_u$ kN・mm	1887								
	降伏モーメント	$M_y$ kN・mm	854								

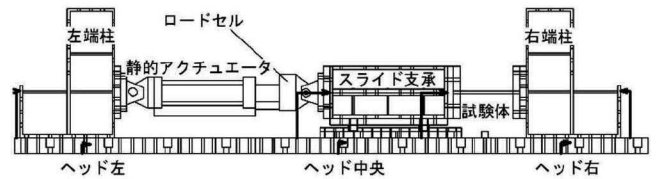


図 K-1 試験機のセットアップ

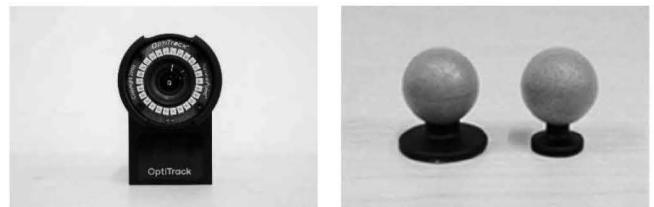


写真 K-1 計測用カメラ (左) と反射マーカー (右)



写真 K-2 モーションキャプチャによる計測状況

例として、図 K-2 に試験体 24E-No. 4 の反射マーカ―設置位置を示す。本実験では、試験体の両端を治具にはめ込み、両端が固定端とみなせる状態で実験を行っている。部材変形の計測に際しては、既報（その 1～その 3）に示される理論予想との比較を行うため、座屈長さ（表 K-1 に示す部材長さ  $L$  の半分）に対する部材変形の計測を目的として、図 K-2 に示すように試験体中央を中心に左右非対称な反射マーカ―の設置計画とした。紙面の都合上、各試験体の反射マーカ―の設置間隔の詳細については割愛するが、中央から右側（密に設置する側）の反射マーカ―の設置間隔は、35mm～55mm の範囲で計画した。計測条件は、サンプリング周波数を 15Hz として、各反射マーカ―の XYZ 軸の座標をデジタルデータで PC に記録した。

### 3 部材変形の計測結果

代表的な計測結果として、試験体 24B・24E・24I の 3 つについて、モーションキャプチャによる計測で得られた座屈直前から軸方向変形  $\delta_v=90\text{mm}$  まで（試験体 24B は、計測途中で反射マーカ―が 1 つ外れたため 80mm まで）の部材変形を図 K-3 に示す。ここで、既報（その 9）で述べた実験結果と対応させると、試験体 24B-No. 4 および 24E-No. 4 は、座屈後の挙動が不安定となったものであり、試験体 24I-No. 4 は、安定な座屈後挙動となったものである。また、座屈の方向は、試験体 24B-No. 4 が辺方向、試験体 24E-No. 4 および 24I-No. 4 が対角方向となったものである。図 K-3 の横軸は、試験体の部材軸方向（X 軸の計測データ）であり、縦軸の R 軸方向は、試験体の軸方向外に変形した方向に対して垂直の位置から見たときの部材変形を Y 軸および Z 軸の計測データから算出したものである。なお、モーションキャプチャでは、反射マーカ―の芯の座標位置が計測されるため、試験体の芯での値に換算して図化を行っている。計測結果を見ると、座屈後の挙動が不安定となった試験体 24B-No. 4 および 24E-No. 4 は、座屈直前および座屈時まで R 軸方向の変形量は小さく、部材変形は、ほぼ軸方向変形のための直線となっていることが分かる。一方、座屈後の挙動が安定となった試験体 24I-No. 4 は、軸力が最大荷重となる座屈時よりも前から、R 軸方向にも変形が進んでいることが読み取れる。

今回、初めての試みとして、モーションキャプチャによる部材変形の計測を行った。なお、軸方向変形については、接触型変位計による計測結果と比較し、高い精度で同じ値が得られていることを確認している。また、試験体中央に対する部材変形の左右対称性については、今後詳細な検討を行う予定である。

次報（その 12）では、得られた部材変形の計測結果と理論予想を比較する。

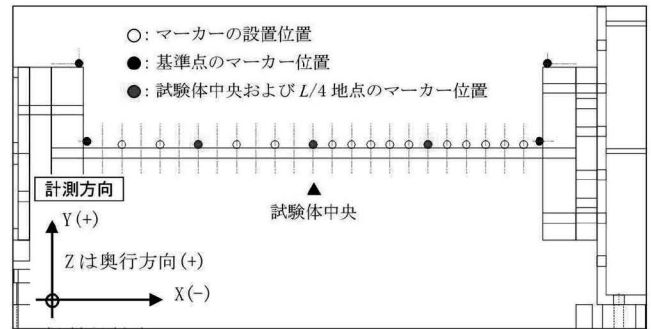


図 K-2 マーカ―設置位置と計測方向（例：試験体 24E）

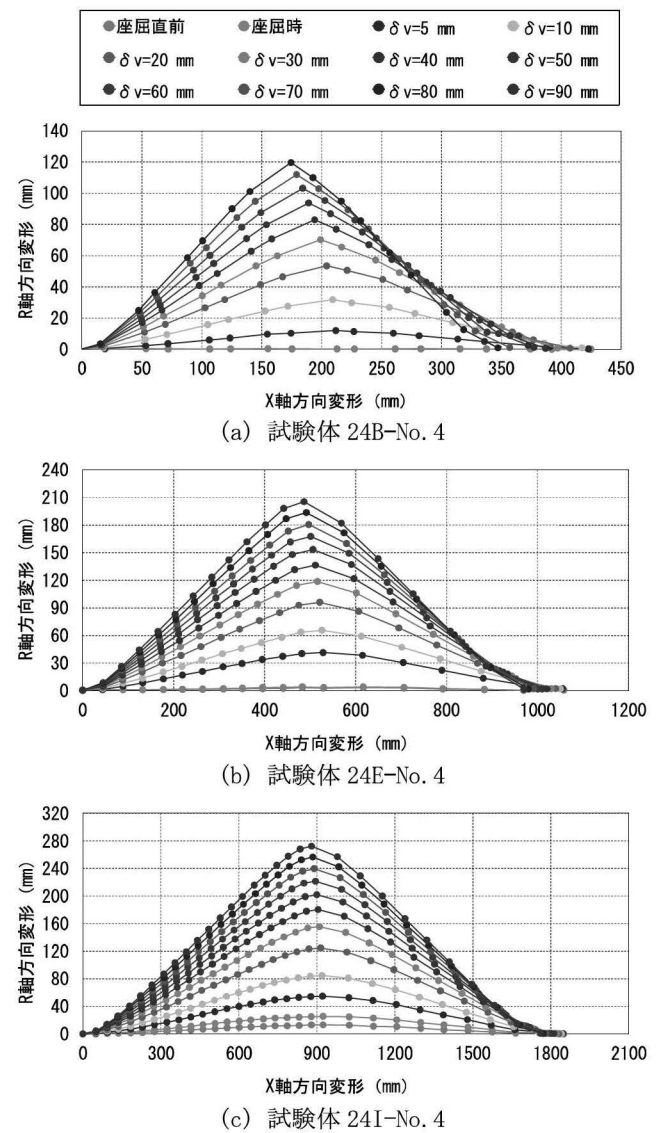


図 K-3 部材変形の計測結果

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

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