

長方形鋼管の曲げ圧縮性状に関する実験的研究

日大生産工(学部) ○三浦 智美 日大生産工 藤本 利昭

1 まえがき

近年、コンクリート充填鋼管（CFT：Concrete Filled Steel Tube，以下CFTと略称）構造において、より合理的な設計を目的として、長方形鋼管を用いたCFT柱が適用されており、実験的研究も行なわれている¹⁾⁴⁾。これらの研究では、長方形CFT柱の構造性能と比較する目的で、コンクリートを充填していない長方形鋼管の実験も行なわれているが、長方形鋼管に関する既往の研究も少なく、その構造性能については明らかになっていない。

そこで本研究では、CFT柱の構造性能をより詳細に検討するための第一段階として、正方形ならびに断面の辺長比（縦横比）が異なる長方形鋼管の中心圧縮実験および偏心圧縮実験を行ない、断面形状の違いが曲げ圧縮性状に及ぼす影響を検討することとした。

2 実験概要

2.1 試験体概要

表-1に中心圧縮実験、表-2に偏心圧縮実験の試験体一覧を示す。試験体は、正方形鋼管および長方形鋼管とし、断面の辺長比（縦横比）が、1：1、1：2/3、および1：1/2に設定した。断面寸法は、長辺方向の長さ B を150mmに統一し、短辺 D を150mm、100mm、75mmの3種類に変化させ、板厚 t は4.5mmに統一した。なお試験体高さ L は断面長辺 B の3倍（=450mm）とした。

実験変数は、中心圧縮実験では断面形状、偏心圧縮実験では断面形状と曲げ方向（強軸曲げ、弱軸曲げ）および偏心距離 e （25mm、50mm）とした。なお偏心圧縮実験の偏心距離は、予め計算した軸方向力-曲げモーメント（ N - M ）関係を基に、最大荷重が試験体の降伏軸耐力 N_y の0.6倍程度となるよう正方形鋼管及び長方形鋼管の強軸曲げでは偏心距離 $e=50$ mm、弱軸曲げでは $e=25$ mmと設定した（図-1参照）。

2.2 使用材料

試験体には、一般構造用角形鋼管STKR400を使用した。使用した鋼管の材料試験結果を表-3に示す。材料試験片は5号試験片とし、試験片は角形鋼管の平板部より切り出して行なった。

表-1 中心圧縮試験体

	断面寸法			高さ L (mm)	幅厚比	
	幅 B (mm)	せい D (mm)	板厚 t (mm)		B/t (長辺)	D/t (短辺)
150×150	150	150	4.22	450	35.5	35.5
150×100	150	100	4.24		35.4	23.6
150×75	150	75	4.16		36.1	18.0

表-2 偏心圧縮試験体

	断面寸法			高さ L (mm)	幅厚比		曲げ方向	偏心距離 e (mm)
	幅 B (mm)	せい D (mm)	板厚 t (mm)		B/t (長辺)	D/t (短辺)		
150×150	151	151	4.22	450	35.8	35.8	—	50
150×100	150	100	4.24	450	35.4	23.6	強軸	50
							弱軸	25
150×75	150	75	4.16	450	36.1	18.0	強軸	50
							弱軸	25

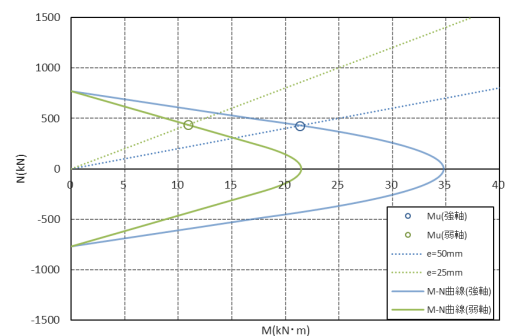


図-1 軸力-曲げモーメント関係

表-3 材料試験結果

	板厚 t (mm)	降伏強度 σ_y (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	ヤング係数 E_s (kN/mm ²)	伸び率 ε (%)
150×150	4.22	405	484	205	32.6
150×100	4.24	417	470		30.8
150×75	4.16	414	484		31.5

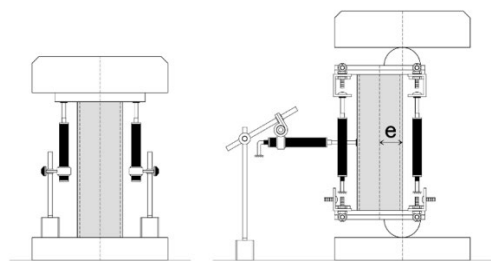
Experimental Study on Bending Compression Behavior of Rectangular Steel Tubes

Tomomi MIURA and Toshiaki FUJIMOTO

2.3 加力および測定方法

中心圧縮実験の載荷装置を図-2 (a) に、偏心圧縮実験の載荷装置を図-2 (b) に示す。加力は2000kN万能試験機を使用し、実験は、中心圧縮実験では平均軸方向ひずみが5%に達するまで、偏心圧縮実験では曲率 ϕ が5%に達するまで行なうこととした。

測定は、中心圧縮実験では、4本の変位計により得られる軸方向変位 δ から試験体全長 L の平均軸ひずみ ε ($=\delta/L$) を求めた。偏心圧縮実験では、4本の変位計により得られる引張側、圧縮側の軸方向変位 δ_t , δ_c から試験体全長 L の平均軸ひずみ ε ($=(\delta_t+\delta_c)/L$) および平均曲率 ϕ D ($=(\delta_t-\delta_c)/(L \times l) \times D$, l : 引張側と圧縮側の変位計間の距離で、150mmとした) を求めた。なお試験体鋼管表面にはひずみゲージを貼付し、各部のひずみを測定した。



(a) 中心圧縮実験 (b) 偏心圧縮実験
図-2 加力方法

3 実験結果および考察

3.1 中心圧縮実験

表-4に中心圧縮実験結果の一覧、図-3に軸力一軸ひずみ関係を示す。断面積 A は角形鋼管の角部の R を考慮した値であり、降伏耐力 N_y は、断面積 A に材料試験により得られた降伏強度 σ_y を乗じた値である。

実験における最大荷重 N_u と降伏耐力 N_y との比 N_u/N_y は0.96~0.99であり、全ての試験体において降伏耐力近傍で最大荷重に達したが、断面形状の違いによる差は明らかではなかった。

また、最大耐力発揮後は局部座屈により急激な耐力低下を示したが、その耐力低下割合も試験体による明確な差異は認められなかった。

3.2 偏心圧縮実験

表-5に偏心圧縮実験結果の一覧を示す。表中の最大軸力 eN_u は実験時の最大荷重とし、曲げ耐力実験値 eM_u は最大軸力時の付加曲げモーメント(曲げ変形による試験体高さ中央の水平変形 δ_L により生じる値)を考慮した値 $eM_u=eN_u \cdot (e+\delta_L)$ として評価した。また計算耐力 N_y , M_u は、正方形断面CFTの設計式を長方形断面に適用できるように明示した式⁵⁾から鋼管部分の終局耐力を表した次の式を用いて求めた。

$$sN_u = 2(2x_n - cD) \cdot t \cdot \sigma_y \dots \dots \dots (1)$$

$$sM_u = \{(D-t)(B-2R) \cdot t + 2t(x_n - r)(cD - r - x_n)\} \sigma_y + \left\{ \left(\frac{D}{2} + \frac{4}{3\pi} R - R \right) \pi R^2 - \left(\frac{cD}{2} + \frac{4}{3\pi} r - r \right) \pi r^2 \right\} \sigma_y \dots \dots \dots (2)$$

表-4 中心圧縮実験結果

	断面積 $A(\text{mm}^2)$	降伏強度 $\sigma_y(\text{N/mm}^2)$	降伏耐力 $N_y(\text{kN})$	最大荷重 $N_u(\text{kN})$	N_u/N_y
150×150	2415	405	979	951	0.97
150×100	2002	417	835	829	0.99
150×75	1758	414	728	700	0.96

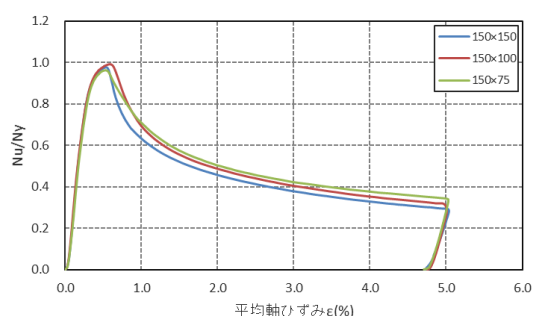


図-3 軸力一軸ひずみ関係

表-5 偏心圧縮実験結果

	幅 B(mm)	せい D(mm)	板厚 t(mm)	高さ L(mm)	曲げ方向	偏心距離 e(mm)	断面積 A(mm ²)	断面二次 モーメント I(×10 ³ mm ⁴)	幅厚比		軸力			曲げ		
									B/t (長辺)	D/t (短辺)	計算値 N _y (kN)	実験値 eN _u (kN)	eN _u /N _y	計算値 M _u (kN・m)	実験値 eM _u (kN・m)	eM _u /M _u
150×150	151	151	4.22	450	—	50	2432	8648	35.8	35.8	985	528	0.54	29.3	26.5	0.91
150×100	150	100	4.24	450	強軸	50	2002	6253	35.4	23.6	835	481	0.58	24.7	24.9	1.01
					弱軸	25		3348				539	0.65	13.9	14.2	1.02
150×75	150	75	4.16	450	強軸	50	1758	5045	36.1	18.0	728	414	0.57	21.0	21.7	1.03
					弱軸	25		1713				402	0.55	10.8	10.8	1.00

ここで、 sN_u ：鋼管の終局圧縮耐力、 x_n ：鋼管内側の圧縮縁から中立軸までの距離、 eD ：鋼管内側の断面せい、 t ：鋼管の板厚、 σ_y ：降伏強度、 sM_u ：鋼管の終局曲げ耐力、 D ：鋼管の断面せい、 B ：鋼管の断面幅、 R ：鋼管角部外側の曲げ半径、 r ：鋼管角部内側の曲げ半径である。

(a) 軸力－軸ひずみ関係

図-4に軸力－軸ひずみ関係を示す。同一断面で曲げ方向が異なる試験体の軸力比 N_u/N_y がほぼ等しくなるよう偏心距離を設定したため、軸力の最大値はほぼ同程度となっている。

最大値に到達した点を比較すると、同一断面で曲げ方向が異なる場合、最大耐力時のひずみは強軸曲げ試験体の値が弱軸曲げ試験体に比べ大きくなっている。また曲げ方向ごとに比較すると、正方形断面から断面が細長くなるほど最大耐力時のひずみが大きくなっており、この傾向は強軸、弱軸ともに同様の傾向が認められるが、強軸曲げ試験体はその傾向が顕著であった。一方、最大耐力以降の耐力低下勾は、顕著な差異は認められない。

(b) 曲げモーメント－曲率関係

図-5に曲げモーメント－曲率関係を示す。なお、図の縦軸 M は付加曲げモーメントを考慮した値 $M=P \cdot (e+\delta_L)$ を用い、横軸は試験体全長にわたる平均曲率に長辺の断面せいを乗じた ϕD で示している。

軸力と同様に、最大値に到達した点を比較すると、同一断面で曲げ方向が異なる場合、最大耐力時の曲率は強軸曲げ試験体の値が弱軸曲げ試験体に比べ大きくなっており、曲げ方向ごとに比較した場合、断面が細長くなるほど最大耐力時の曲率が大きくなるという同様の傾向を示した。この傾向は強軸、弱軸ともに同様の

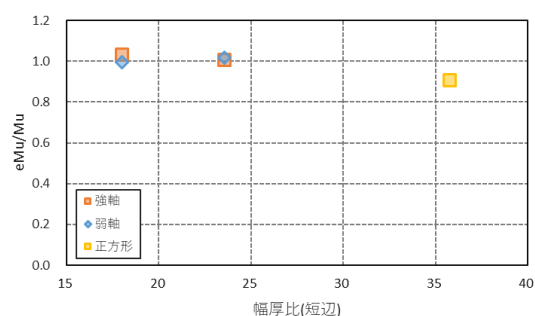
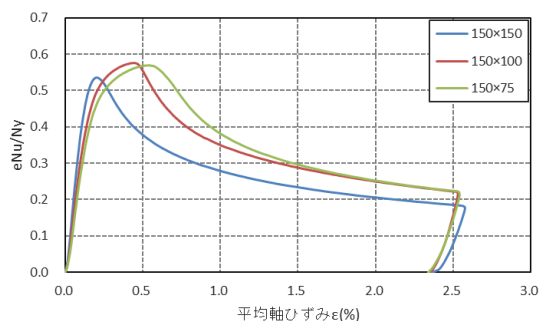
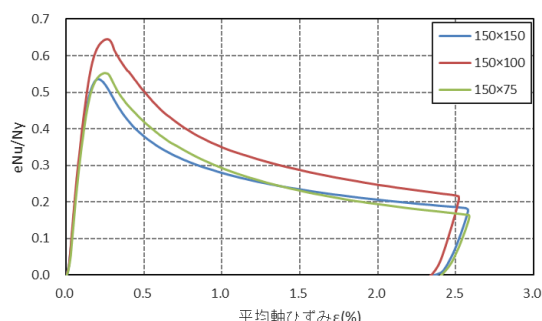


図-6 終局曲げ耐力の比較

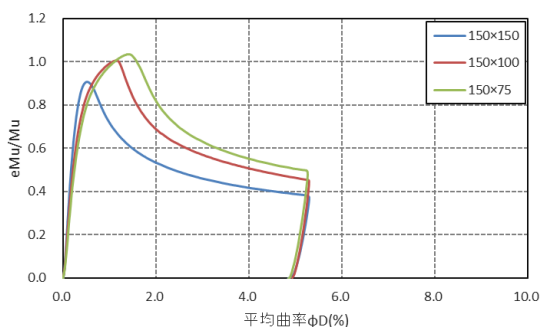


(a) 強軸

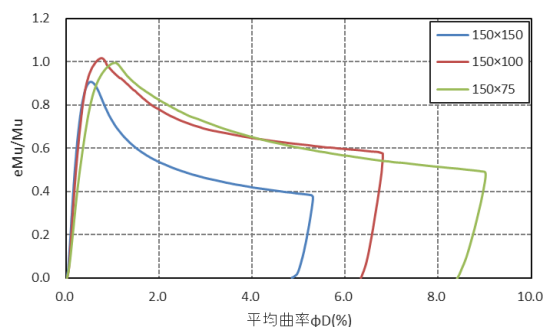


(b) 弱軸

図-4 軸力－軸ひずみ関係



(a) 強軸



(b) 弱軸

図-5 曲げモーメント－曲率関係

である。一方、最大耐力以降の耐力低下勾は、顕著な差異は認められない。

(c) 終局曲げ耐力の比較

図-6に実験値と計算曲げ耐力との比 eM_u/M_u と幅厚比との関係を示す。図の横軸は、短辺方向の値 D を用いている。正方形鋼管試験体では、実験値と計算曲げ耐力との比 eM_u/M_u は0.91で実験値が計算耐力を下回った。一方長方形鋼管試験体では、強軸曲げ、弱軸曲げともに eM_u/M_u は1.00~1.03で、ほぼ一致する結果となった。

このことから、曲げ方向が強軸、弱軸いずれの場合においても、断面形状、特に短辺の影響が認められるものと考えられる。

(d) 座屈波長の比較

表-6に座屈波長 L_b 、図-7に座屈波長—幅厚比（短辺方向）関係を示す。座屈波長は、実験前の試験体全長から実験終了後の試験体において座屈が生じていない部分の長さを差し引くことにより求めた。なお偏心圧縮実験の試験体については、圧縮側フランジとなる面のみ計測を行なった。なお座屈波長は必ずしも平行ではなく、ある程度の誤差を含んでいるため、傾向のみ検討した。

中心圧縮試験体では、短辺の長さ（幅厚比）による座屈波長の傾向はあまり認められない。偏心圧縮試験体において、強軸曲げ試験体で

は短辺の長さ（幅厚比）により座屈波長が変化し、短辺の長さが短く（幅厚比が小さく）なるほど座屈波長も短くなる傾向がある。

一方弱軸曲げ試験体では、短辺の長さ（幅厚比）による座屈波長の変化は認められない。

このことは、偏心圧縮を受ける鋼管の座屈波長は、圧縮となる板の幅（幅厚比）による影響が大きいことを表している。

4 まとめ

長辺が等しく短辺を変化させた長方形鋼管の中心圧縮・偏心圧縮実験より、以下の知見を得た。

- ・ 曲げ圧縮を受ける場合、正方形鋼管では局部座屈により計算曲げ耐力に達しない試験体が、短辺が短くなることにより曲げ方向（強軸曲げ、弱軸曲げ）に関わらず計算曲げ耐力に達した。
- ・ 曲げ圧縮を受ける場合、短辺が短くなることにより曲げ方向（強軸曲げ、弱軸曲げ）に関わらず最大耐力に達する変形量が大きくなった。
- ・ 座屈波長は、中心圧縮では差違は認められないが、曲げ圧縮を受ける場合、圧縮側となる板の幅（幅厚比）による影響が大きい。

今後はひずみ分布等、詳細に実験結果を分析するとともに、柱の曲げ実験などにより検討を進める予定である。

表-6 座屈波長

	幅 B(mm)	せい D(mm)	板厚 t(mm)	局部座屈波長 L_b (mm)	L_b/B (長辺)	L_b/D (短辺)
中心圧縮	150×150	150	4.22	122	0.81	0.81
	150×100	150	4.24	97	0.64	0.97
	150×75	150	4.16	116	0.77	1.54
偏心圧縮	150×150	151	4.22	125	0.83	0.83
	150×100 強軸	150	4.24	106	0.71	1.06
	150×100 弱軸	150	4.24	115	0.77	1.15
	150×75 強軸	150	4.16	83	0.55	1.11
	150×75 弱軸	150	4.16	122	0.81	1.63

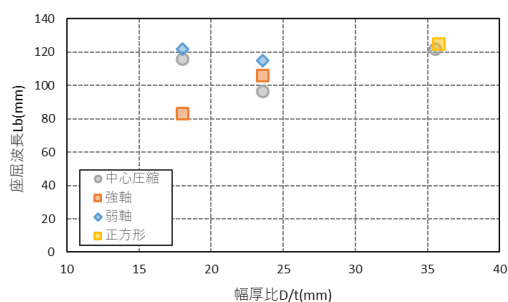


図-7 座屈波長—幅厚比関係

「参考文献」

- 1) 長崎透, 岡修平, 藤本利昭, コンクリート充填長方形鋼管短柱の構造性能に関する研究, 構造工学論文集, Vol.61B, pp133-140, 2015.3
- 2) 長崎透, 荒井望, 藤本利昭, コンクリート充填長方形鋼管の構造性能に関する実験的研究その1～その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1537-1540, 2013.8
- 3) 長崎透, 荒井望, 藤本利昭, コンクリート充填長方形鋼管の構造性能に関する実験的研究その3～その5, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1421-1426, 2014.9
- 4) 岡修平, 藤本利昭, 長方形CFT柱—鉄骨梁接合部パネルの構造性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1419-1420, 2015.9
- 5) 藤本利昭, 田中宏和, 平出亨, 竹中啓之, 断面形状を考慮した角形CFT柱の設計式, 日本建築学会技術報告集, Vol.15, No.31, pp757-760, 2009.10