

長方形箱型断面材の圧縮性状に関する研究

日大生産工(院) ○三浦 智美 日大生産工 藤本 利昭
日大生産工(学部) 今井 皓己

1. まえがき

近年、コンクリート充填鋼管 (Concrete Filled Steel Tube, 以下CFT) 構造の建物に長方形断面の柱を用いた事例がいくつか確認されており, その構造性能に関する研究も行われている。筆者らは, 長方形CFT柱の実験的研究を継続的に行っており, 既往の研究では長方形断面の耐力についても正方形断面と同様にコンクリートと鋼管の累加耐力により評価が可能であることが明らかになっている^{1)~4)}。

しかしながら, 長方形鋼管についての実験はCFT柱との比較を目的として行われることが多く, 鋼管の構造性能に関する考察は少ない。

そのため本研究では, 昨年度新たに行った中空鋼管の中心圧縮実験, 偏心圧縮実験の結果⁵⁾と既往の実験で得られた結果を整理し, 鋼管の圧縮性状について考察を行う。

2. 試験体概要

表-1に材料試験結果を示す。試験体はすべて一般構造用角形鋼管STKR400を使用しており, 引張試験は鋼管平板部より切り出した5号試験片で行った。中心圧縮実験が行われた試験体は正方形断面が4体, 長方形断面が9体であり, 偏心圧縮実験が行われた試験体は正方形断面が1体, 長方形断面は強軸曲げ, 弱軸曲げ合わせて12体である。なお, 試験体名称は, (長辺 B [mm]: 75, 100, 150) - (短辺 D [mm]: 75, 100, 150) - (板厚 t [mm]: 3.2, 4.5, 6.0) としている。

表-1 材料試験結果

		板厚 t [mm]	降伏強度 σ_y [N/mm ²]	引張強度 σ_u [N/mm ²]	ヤング係数 E [kN/mm ²]	ひずみ ϵ [%]
文献1)	75-75-3.2	3.01	384.3	452.1	185.3	41.7
	100-100-3.2	2.97	397.1	467.2	210.4	29.5
	150-150-4.5	4.17	447.0	480.2	201.5	31.3
	150-75-3.2	3.03	378.9	427.8	206.7	29.5
	150-100-3.2	3.05	446.4	488.9	214.8	30.4
文献2)	150-100-3.2	3.00	387.0	471.4	203.3	31.6
文献3),4)	150-75-3.2	3.06	435.3	507.6	199.0	28.6
	150-75-4.5	4.33	414.0	494.9	214.9	33.0
	150-75-6.0	5.54	414.1	480.2	189.1	31.9
文献5)	150-75-4.5	4.16	414.3	484.1	209.2	31.5
	150-100-4.5	4.24	417.2	469.7	216.4	30.8
	150-150-4.5	4.22	405.3	484.2	212.2	32.6

3. 中心圧縮実験

3.1 実験概要

表-2に中心圧縮実験の概要および結果を示す。なお, 中心圧縮実験の試験体名称は (長辺 B [mm]: 75, 100, 150) - (短辺 D [mm]: 75, 100, 150) - (板厚 t [mm]: 3.2, 4.5, 6.0) - (高さ L : S, L) としている。

文献1)では, 実験変数を断面形状および試験体高さ L とし, 正方形断面3体, 長方形断面4体の実験が行われた。文献3)では, 断面の幅 B , せい D および高さ L を統一し, 板厚 t を実験変数とした3体について実験が行われた。文献5)では, 断面の幅 B , 板厚 t および高さ L を統一し, 断面せい D を実験変数とした3体について実験を行った。

図-1に文献5)で中心圧縮実験を行った際の加力状況を示す。変位計は試験体四隅に設置し, 鋼板中央には1軸ひずみゲージを貼付した。

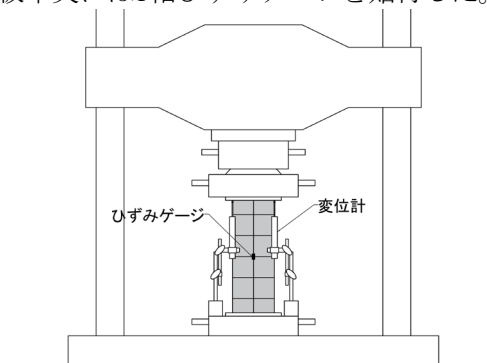


図-1 中心圧縮実験加力状況

表-2 中心圧縮実験概要および結果

		断面積 A [mm ²]	高さ L [mm]	一般化幅厚比 α		降伏耐力 N_y [kN]	最大荷重 N_u [kN]	耐力比 N_u/N_y
				長辺	短辺			
文献1)	75-75-3.2	843	225	1.08		324	358	1.10
	100-100-3.2	1130	300	1.48		449	494	1.10
	150-150-4.5	2388	450	1.68		1067	1068	1.00
	150-75-3.2-S	1303	225	2.31	1.16	494	468	0.95
	150-75-3.2-L	1303	450	2.31	1.16	494	457	0.93
	150-100-3.2-S	1464	300	2.29	1.53	653	539	0.82
	150-100-3.2-L	1464	450	2.29	1.53	653	541	0.83
文献3)	150-75-3.2	1315	450	2.26	1.13	573	475	0.83
	150-75-4.5	1825	450	1.56	0.78	756	733	0.97
	150-75-6.0	2291	450	1.22	0.61	949	1009	1.06
文献5)	150-75-4.5	1758	450	1.62	0.81	728	700	0.96
	150-100-4.5	2002	450	1.60	1.06	835	829	0.99
	150-150-4.5	2415	450	1.58		979	951	0.97

Study on Compression Behavior of Rectangular Box-Section Members

Tomomi MIURA, Toshiaki FUJIMOTO and Koki IMAI

3.2 実験結果

図-2に長方形断面试験体の軸力 - 軸ひずみ関係を示す。縦軸には実験で得られた最大荷重 eN を降伏耐力 N_y で除した値 eN/N_y を用いており、横軸は実験で得られた軸方向変位 δ から求めた試験体全長の平均軸ひずみ ε としている。長方形断面の実験は9体行われているが、今回は試験体高さが同一である7体のみ対象とした。なお、短辺の長さが75mmのものを実線、100mmを点線とし、板厚ごとに色分けした。

弾性範囲において顕著な差はみられなかったが、最大耐力と降伏耐力の比および最大耐力時のひずみについては、板厚が厚くなるほど大きくなる傾向がみられた。また、短辺の長さの違いによる差はほとんどみられなかったことから、中心圧縮を受ける際は長辺側の幅厚比が最大耐力や変形に大きく影響を与えることが確認できた。

4. 偏心圧縮実験

4.1 実験概要

表-3に偏心圧縮実験の概要および結果を示す。偏心圧縮実験の試験体名称は、（長辺

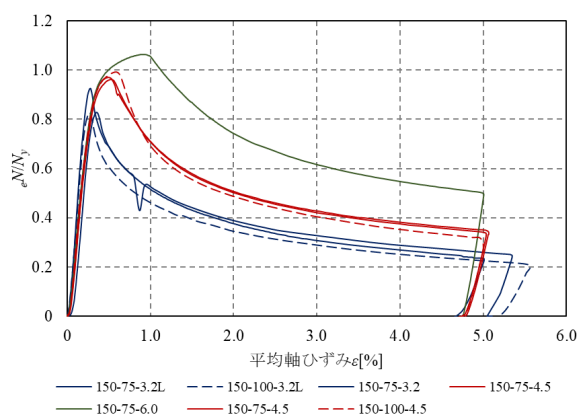


図-2 軸力 - 軸ひずみ関係

B [mm]: 75, 100, 150) - (短辺 D [mm]: 75, 100, 150) - (板厚 t [mm]: 3.2, 4.5, 6.0) (曲げ方向: s, w) - (高さ L : S, L) としている。

文献1)では強軸曲げ、弱軸曲げいずれも偏心距離を50mmとしているが、文献2)および文献3)では、最大荷重が降伏耐力の0.6倍程度となるよう偏心距離 e を設定したため、強軸曲げでは50mm、弱軸曲げでは25mmとした。また、降伏耐力 N_y は、材料試験より得られた降伏強度 σ_y に鋼管断面積 A を乗じた値である。終局曲げ耐力 eM_u は、正方形断面CFT柱の設計式を長方形断面に適用できるように明示した式⁶⁾から鋼管部分の終局耐力を表した(1)式より求めた。なお、最大曲げ耐力 eM_u は、最大荷重時の付加曲げモーメントを考慮した値としている。

$$_sM_u = \{(D-t)(B-2R) \cdot t + 2t(x_n-r) \{ {}_cD-r-x_n \} \} \sigma_y + \left\{ \left(\frac{D}{2} + \frac{4}{3\pi} R-R \right) \pi R^2 - \left(\frac{{}_cD}{2} + \frac{4}{3\pi} r-r \right) \pi r^2 \right\} \sigma_y \quad \cdots (1)$$

ここで、 R : 鋼管角部外側の曲げ半径、 r : 鋼管角部内側の曲げ半径、 x_n : 鋼管内側から中立軸までの距離、 ${}_cD$: 鋼管内側の断面せいである。

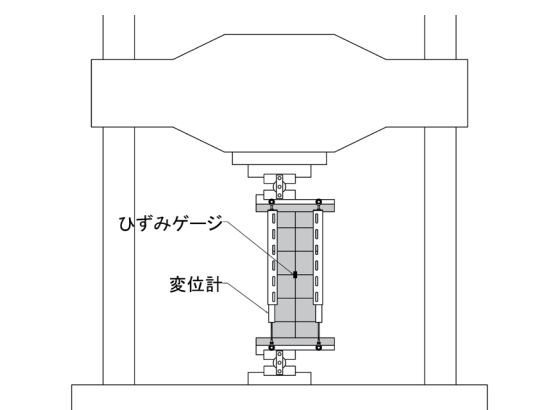


図-3 偏心圧縮実験加力状況

表-3 偏心圧縮実験概要および結果

		断面積 A [mm ²]	高さ L [mm]	一般化幅厚比 α		曲げ方向	偏心距離 e [mm]	降伏耐力 N_y [kN]	最大荷重 eN_u [kN]	耐力比 eN_u/N_y	終局 曲げ耐力 eM_u [kNm]	最大 曲げ耐力 eM_u [kNm]	耐力比 eM_u/eM_u	
				圧縮側										側面
文献2)	150-100-3.2s-L	1441	450	1.45	2.17	強軸	50	558	287	0.51	19.6	14.6	0.75	
	150-100-3.2w-S		300	2.17	1.45	弱軸	50		201	0.36	17.2	10.3	0.60	
文献4)	150-75-3.2s	1315	450	1.13	2.26	強軸	50	572	284	0.50	20.1	14.5	0.72	
	150-75-3.2w			2.26	1.13	弱軸	25		275	0.48	10.6	7.1	0.67	
	150-75-4.5s	1825		0.78	1.56	強軸	50	756	433	0.57	22.9	22.9	1.00	
	150-75-4.5w			1.56	0.78	弱軸	25		400	0.53	12.3	10.9	0.89	
	150-75-6.0s	2291		0.61	1.22	強軸	50	948	585	0.62	25.5	33.1	1.30	
	150-75-6.0w			1.22	0.61	弱軸	25		535	0.56	13.9	15.8	1.14	
文献5)	150-75-4.5s	1758	450	0.81	1.62	強軸	50	728	414	0.57	22.3	21.7	0.97	
	150-75-4.5w			1.62	0.81	弱軸	25		402	0.55	11.3	10.7	0.95	
	150-100-4.5s	2002		1.06	1.60	強軸	50	835	481	0.58	25.4	24.9	0.98	
	150-100-4.5w			1.60	1.06	弱軸	25		539	0.65	14.0	14.1	1.01	
	150-150-4.5	2415		1.58	—	50	978	528	0.54	32.5	26.5	0.82		

実験変数は、文献2)では曲げ方向と高さ L 、文献4)では板厚 t 、曲げ方向および偏心距離 e 、文献5)では断面辺長比、曲げ方向および偏心距離 e とした。

図-3に文献5)での偏心圧縮実験の加力状況を示す。4本の変位計を設置し引張側、圧縮側それぞれの軸方向変位を測定した。また、鋼板中央には1軸ひずみゲージを貼付し、鋼管の軸ひずみを測定した。

4.2 実験結果

4.2.1 軸力 - 軸ひずみ関係

図-4に軸力 - 軸ひずみ関係を示す。図の縦軸は実験で得られた最大荷重 N を降伏耐力 N_y で除した値 N/N_y を用いている。図の横軸は、図-4(a), (b)では試験体断面重心における試験体全長の平均軸ひずみ ϵ として示している。また図-4(c)では、試験体断面圧縮縁における試験体全長の平均軸ひずみ ϵ で示した。

既往の研究より、偏心圧縮を受ける長方形断面の鋼管は、最大耐力や変形に圧縮側となる鋼板の幅厚比が影響することが確認されているため、中心圧縮実験同様、板厚および短辺の長さによる線種の区別を行った。

図-4(a)より強軸曲げでは、鋼管の最大耐力および変形について、圧縮側となる短辺の幅厚比による傾向はみられないが、側面となる長辺の幅厚比の違いによって明確な差がみられた。

一方、弱軸曲げの最大耐力時の変形については、図-4(b), (c)では圧縮側である長辺の幅厚比による傾向がわずかにみられた。また、断面全体の平均軸ひずみを用いた図-4(b)と、圧縮縁ひずみを用いた図-4(c)では、最大耐力およびひずみについて明確な傾向の差はみられなかった。

4.2.2 曲げモーメント - 曲率関係

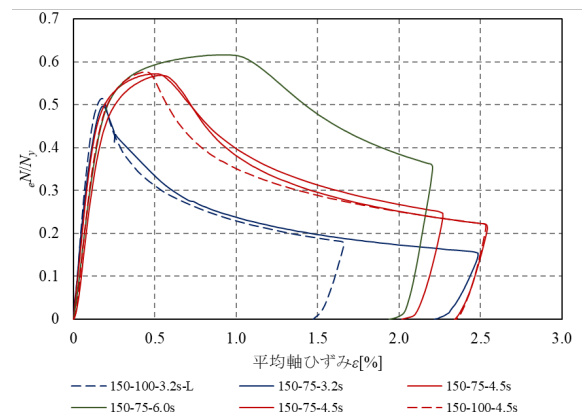
図-5に長方形断面试験体の曲げモーメント - 曲率関係を示す。縦軸は、実験で得られた曲げモーメント M を(1)式より求めた計算曲げ耐力 cM_u で除した値 M/cM_u を用いている。横軸には、試験体全長の平均曲率に長辺の断面せいを乗じた ϕD を用いた。

曲げモーメントの耐力比については、強軸曲げ、弱軸曲げともに板厚が厚くなるほど大きくなっていることから、曲げ方向に関わらず長辺の幅厚比による影響を受けることが確認できた。また、弾性範囲については強軸曲げではあまり差がみられなかったが、弱軸曲げでは短辺が100mmの2試験体においてわずかに傾きが大きくなった。

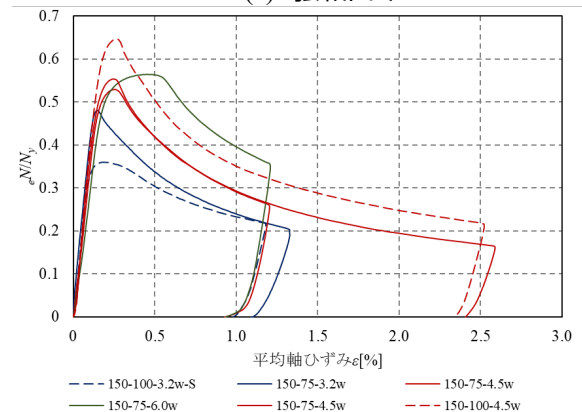
4.2.3 座屈波長

表-4に座屈波長一覧を示す。座屈波長 L_b は、実験前の試験体高さ L 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。偏心圧縮実験については、圧縮側となる面のみ計測を行った。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。

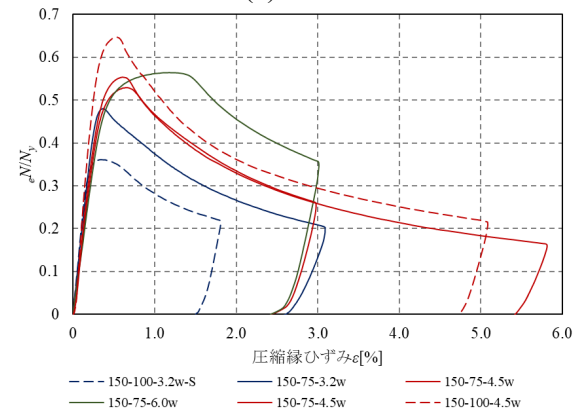
中心圧縮を受ける正方形断面では、一般化幅厚比が大きくなるほど座屈波長が小さくなる傾向がみられた。



(a) 強軸曲げ



(b) 弱軸曲げ



(c) 弱軸曲げ

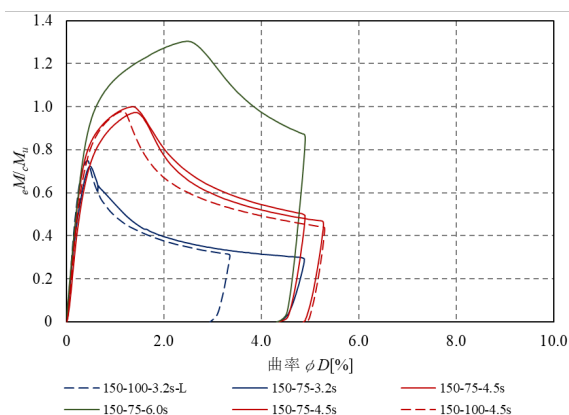
図-4 軸力 - 軸ひずみ関係

一方、中心圧縮を受ける長方形断面においては、幅厚比による傾向はみられなかった。

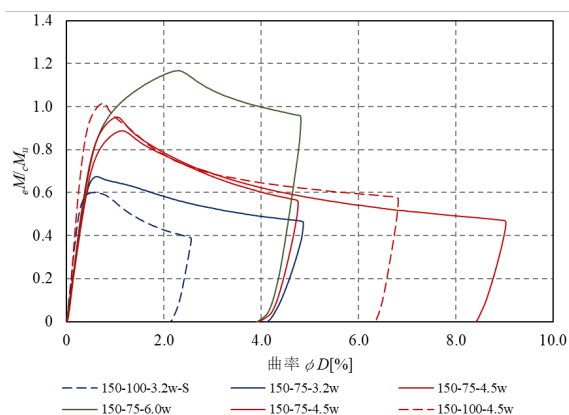
短辺が75mmの長方形断面では、強軸曲げ方向に偏心圧縮を受ける場合、長辺、短辺に関わらず幅厚比が大きくなるほど座屈波長が短くなる傾向がみられた。しかしながら、弱軸方向に偏心圧縮を受ける場合、座屈波長は幅厚比の大きさに関わらず同程度の長さであった。また、今回の結果では、断面辺長比の違いによる座屈波長の明確な傾向はみられなかった。

表-4 座屈波長

			高さ L [mm]	座屈波長 L_b [mm]	L_b/L [%]
中心圧縮実験	文献1)	75-75-3.2	225	66	29.3
		100-100-3.2	300	82	27.3
		150-150-4.5	450	119	26.4
		150-75-3.2-S	225	88	39.1
		150-75-3.2-L	450	87	19.3
		150-100-3.2-S	300	105	35.0
		150-100-3.2-L	450	105	23.3
	文献3)	150-75-3.2	450	92	20.4
		150-75-4.5	450	107	23.8
		150-75-6.0	450	106	23.6
	文献5)	150-75-4.5	450	116	25.8
		150-100-4.5	450	97	21.6
		150-150-4.5	450	122	27.1
偏心圧縮実験	文献2)	150-100-3.2s-L	450	120	26.7
		150-100-3.2w-S	300	117	39.0
	文献4)	150-75-3.2s	450	80	17.8
		150-75-3.2w	450	125	27.8
		150-75-4.5s	450	100	22.2
		150-75-4.5w	450	120	26.7
		150-75-6.0s	450	110	24.4
		150-75-6.0w	450	130	28.9
	文献5)	150-75-4.5s	450	83	18.4
		150-75-4.5w	450	122	27.1
		150-100-4.5s	450	106	23.6
		150-100-4.5w	450	115	25.6
		150-150-4.5	450	125	27.8



(a) 強軸曲げ



(b) 弱軸曲げ

図-5 曲げモーメント-曲率関係

5. まとめ

長方形鋼管の中心圧縮実験および偏心圧縮実験より、以下の知見が得られた。

- ・長方形鋼管が中心圧縮を受ける場合、長辺側の幅厚比が最大耐力および最大耐力時の変形に大きく影響する。
- ・長方形鋼管が強軸曲げ方向に偏心圧縮を受けるとき、最大耐力および最大耐力時の軸ひずみは曲げ方向に関わらず側面の幅厚比の影響を受ける。
- ・長方形鋼管が弱軸曲げ方向に偏心圧縮を受ける場合、最大耐力は幅厚比による傾向がみられないが、最大耐力時の軸ひずみは幅厚比の影響を受ける。
- ・最大曲げ耐力と終局曲げ耐力の比は、曲げ方向に関わらず長辺の幅厚比の影響を受ける。

参考文献

- 1) 長崎透, 荒井望, 藤本利昭: 長方形鋼管およびCFT部材の圧縮特性, 日本建築学会関東支部研究報告集I, pp.609-610, 2014.2
- 2) 長崎透, 岡修平, 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研究, 日本大学生産工学部学術講演会講演概要, pp.47-50, 2014.12
- 3) 城戸基, 藤本利昭: 長方形CFT柱の圧縮性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1935-1936, 2017.8
- 4) 城戸基, 藤本利昭: 長方形CFT柱の曲げ圧縮性状に関する実験的研究, 日本大学生産工学部学術講演会講演概要, pp.71-74, 2017.12
- 5) 三浦智美, 藤本利昭: 長方形鋼管の曲げ圧縮性状に関する実験的研究, 日本大学生産工学部学術講演会講演概要, pp.31-34, 2018.12
- 6) 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, pp.757-760, 2009.10