

コンクリート充填長方形鋼管の構造性能に関する研究

- その4 長方形 CFT 柱の繰返し曲げ性状 -

日大生産工(学部)
日大生産工(院)

○岡 修平
長崎 透

日大生産工(院)
日大生産工

荒井 望
藤本 利昭

1 はじめに

前報 (その3) ¹⁾では、コンクリート充填長方形鋼管柱 (以下、CFT) の1方向単調載荷における曲げ性状についての検討を行った。

本報では長方形CFT柱の地震時における構造性能を確認するため、繰返し曲げ実験により曲げ性状についての検討を行った。

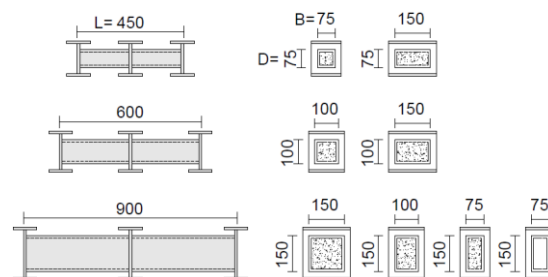


図-1 試験体形状

2 実験概要

2.1 試験体

図-1に試験体形状、表-1に試験体一覧を示す。実験変数は、鋼管の断面形状 (正方形・長方形)、幅厚比とし、合計8体の試験体について実験を行った。試験体の支点間距離は断面せいDの6倍とした。使用した鋼材の材料試験結果を表-2に示す。使用した鋼管は、前報 (その1) ~ (その3) ^{1)~3)}と同一材料であり、STKR400を使用している。コンクリートの調合表を表-3に示す。コンクリートは再生骨材を用いた高流動の高強度コンクリートを使用した。コンクリートの材料試験結果を表-4に示す。コンクリートの材料試験は構造実験の前後 (材齢5週, 9週) に行い、表中の値はその平均値を示している。

2.2 加力および計測

実験に用いた載荷装置を図-2に示す。加力は、2000KN万能試験機を使用した。実験は3点曲げ試験とし、試験体両端に取り付けたエンドプレート部を支点とし、ダイアフラムを模擬した試験体中央部のプレートを介して載荷した。加力方法は正負漸増繰返し載荷を基本としたが、実験の都合により $B \times D = 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ の試験体のみ1方向漸増繰返し載荷としている。加力の制御は変位制御とし、試験体の両端に取り付けた2本の変位計の値から得られた試験体の変形角 $R (= \delta / (L/2))$ 、ここで δ : 左右の変位の平均値)が、 $R = 0.50\%$, 1.00% , 1.50% , 2.00% , 3.00% , 4.00% に達するごとに、試験体の上下を入れ替えることで繰返し荷重を載荷した。

表-1 試験体一覧

	幅×せい B×D(mm)	支点間距離 L(mm)	板厚 t(mm)	幅厚比 B/t(D/t)	一般化幅厚比 α	載荷方向	備考
正方形	75×75	450	3.01	24.9	1.08	2方向	STKR400
	100×100	600	2.97	33.7	1.48	2方向	
	150×150	900	4.17	36.0	1.68	1方向	
長方形	150×75	450	3.03	49.5(24.8)	1.06(2.13)	2方向	
	75×150	900	3.03	24.8(49.5)	2.13(1.06)	2方向	
	150×100	600	3.05	49.2(32.8)	1.53(2.29)	2方向	
	100×150	900	3.05	32.8(49.2)	2.29(1.53)	2方向	
	75×150(中空)	900	3.03	24.8(49.5)	2.13(1.06)	2方向	

$\alpha = B/t \cdot \sqrt{(\sigma_y / E_s)}$

α : ()はDを使用

表-2 材料試験結果(鋼材)

幅×せい	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)	破断伸び ϵ (%)
75×75	384	452	187	41.6
100×100	397	467	210	29.5
150×150	447	480	199	31.3
150×75	379	428	210	29.5
150×100	446	489	216	30.4

表-3 調合表

	W/C(%)	単位重量(kg/m ³)					
		W	C	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
再生コンクリート	41	170	415	543	232	956	4.36
細骨材①…砂、細骨材②…砕砂、粗骨材…砕石							

表-4 材料試験結果(コンクリート)

	圧縮強度 σ_c (N/mm ²)	設計基準強度 F_c (N/mm ²)
再生コンクリート	62.7	42

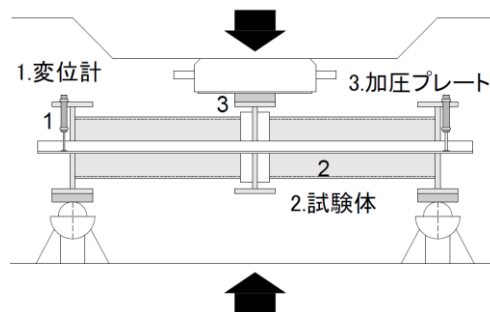


図-2 載荷装置

3 実験結果および考察

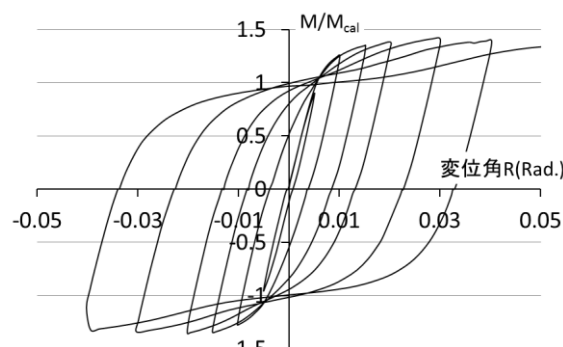
3.1 実験結果概要

表-5に実験結果の一覧を示す。表中には日本建築学会「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針（以下 CFT 指針）」⁴⁾の計算終局曲げ耐力 (M_{cal}) も併せて示している。

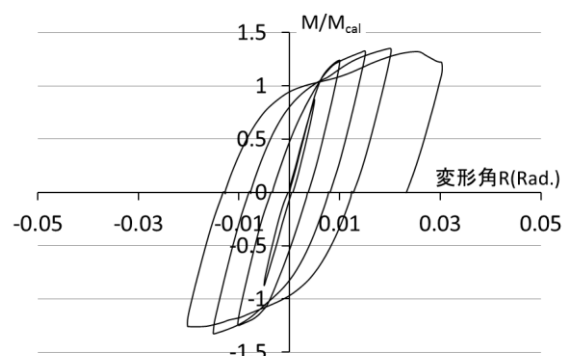
図-3 に正方形断面 CFT 試験体の曲げモーメント - 変形角 R 関係を示す。なお図の縦軸は、実験における曲げモーメント M を CFT 指針に基づく計算値 M_{cal} で基準化した値 (M/M_{cal}) で示している。

同図(a)より、 $B \times D = 75\text{mm} \times 75\text{mm}$ の試験体は、負側の3.00%の加力サイクル時に加力点近傍の鋼管に局部座屈が認められ、座屈が顕著になった後も、 $R=8.00\%$ まで耐力低下は認められなかった。図(b)より、 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ の試験体は、正側の2.00%の加力サイクル時に更に局部座屈が認められ、正側の3.00%時に局部座屈がより拡大し耐力が徐々に低下した。図(c)より、1方向载荷の $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ の試験体は、変形角が大きくなるにつれ、局部座屈が拡大した。また2方向载荷では溶接部分で破断が認められたが、この試験体は鋼管の引張側に破断の予兆と見られる亀裂が入ったのみであった。

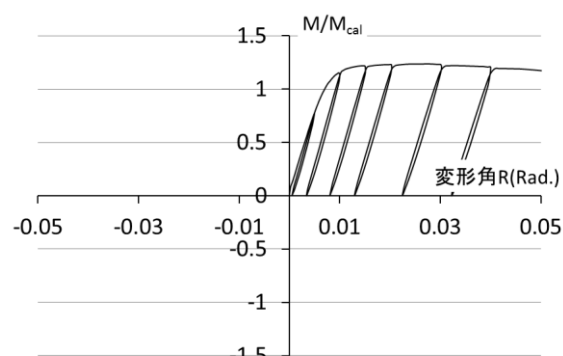
図-4に長方形断面CFT試験体の曲げモーメント-変形角関係を示す。図(a)より、 $150\text{mm} \times 75\text{mm}$ の試験体は、正側の2.00%の加力サイクル時に局部座屈が認められ、その後負側の2.00%の加力サイクル時に鋼管に亀裂が確認されたが、耐力低下することはない、正側の3.00%の加力サイクル時に局部座屈が拡大し、正側の4.00%の加力サイクル時に溶接部分の破断により耐力が低下した。図(b)より $75\text{mm} \times 150\text{mm}$ の試験体は正側の2.00%の加力サイクル時に局部座屈が認められ、正側の3.00%の加力サイクル時に鋼管の破断が生じ、耐力が低下した。図(c)より、 $150\text{mm} \times 100\text{mm}$ の試験体は、正側および負側の1.50%の加力サイクル時に局部座屈が認められ、その後変形をさせていく



(a) $75\text{mm} \times 75\text{mm}$



(b) $100\text{mm} \times 100\text{mm}$



(c) $150\text{mm} \times 150\text{mm}$

図-3 曲げモーメント - 変形角関係

表-5 実験結果一覧

試験体名 $B \times D$ (mm)	支点間 距離 L (mm)	コンクリ ート幅 B_c (mm)	板厚 t (mm)	降伏 強度 σ_y (N/mm ²)	コンクリ ート強度 σ_B (N/mm ²)	中立軸 位置 X_n (mm)	計算値 M_{cal} (kN・m)	実験値 M_{max} (kN・m)	最大荷重 P (kN)	耐力比 M_{max}/M_{cal}	限界 部材角 R_u
75×75	450	68.98	3.01	384	62.7	20.8	10.3	14.6	130.1	1.42	0.0901
100×100	600	94.06	2.97	397	62.7	23.9	19.6	26.5	176.7	1.36	0.0291
150×150	900	141.66	4.17	447	62.7	36.5	69.6	85.8	381.5	1.23	0.0504
150×75	450	143.94	3.03	379	62.7	14.7	16.9	22.6	200.6	1.33	0.0305
75×150	900	68.94	3.03	379	62.7	40.1	30.3	38.9	173.0	1.28	0.0200
150×100	600	143.9	3.05	446	62.7	20.7	29.5	36.5	243.6	1.24	0.0400
100×150	900	93.9	3.05	446	62.7	37.6	41.4	50.4	224.2	1.22	0.0300
75×150(中空)	900	68.94	3.03	379	—	75.0	24.6	30.5	135.5	1.24	0.0151

$$M_{cal} = \sigma_y \cdot X_n \cdot B \cdot (D - X_n) - \sigma_y \cdot (X_n - t) \cdot B_c \cdot (D - (X_n + t)) + \sigma_B \cdot (X_n - t) \cdot B_c \cdot (D - (X_n + t)) / 2$$

$$X_n = t \cdot (2 \cdot D \cdot \sigma_y + B_c \cdot \sigma_B) / (4 \cdot t \sigma_y + B_c \cdot \sigma_B)$$

と徐々に局部座屈は大きくなった。図(d)より、100mm×150mm の試験体は、正側の 2.00% の加力サイクル時に局部座屈が認められ、3.00% の加力サイクル時には局部座屈が拡大し、負側においては鋼管の側面にも局部座屈が認められた。図(a), (c), (d) の試験体のグラフを見ると、どの試験体も局部座屈が見られた後、グラフの勾配が急激に緩やかになっている。

3.2 コンクリートの有無による比較

図-5 には、断面形状が $B \times D = 75\text{mm} \times 150\text{mm}$ の CFT 試験体と中空鋼管試験体の曲げモーメント-変形角関係を比較して示している。

中空鋼管試験体では、正側の変形角 1.50% の加力サイクル時に局部座屈が認められ僅かに耐力が低下し、正側の 2.00% に向かう加力サイクルで局部座屈が顕著となり明確な耐力低下を示している。また、負側の 2.00% の加力サイクル時には鋼管の側面に凹みが認められた。それに対し CFT 試験体では、前節で述べたように鋼管の破断の影響はあるものの、変形角 2.00% まで耐力上昇を示しており、変形能力の向上が認められる。

また、曲げ耐力に関しても、中空鋼管試験体の最大曲げ耐力が $M_{\max} = 30.5\text{kN} \cdot \text{m}$ であるのに対し CFT 試験体の最大曲げ耐力は $M_{\max} = 38.9\text{kN} \cdot \text{m}$ で、鋼管にコンクリートを充填することで曲げ耐力が 1.28 倍に上昇していることがわかる。これらのことから、CFT は中空鋼管に比べ耐力、変形能力共に大変優れていることが改めて確認できる。

3.3 せいと幅による比較

断面形状の影響を検討するため、図-6, 7 に各試験体の骨格曲線を比較して示す。なお図-6 は断面せいの差異により、図-7 は断面幅の差異

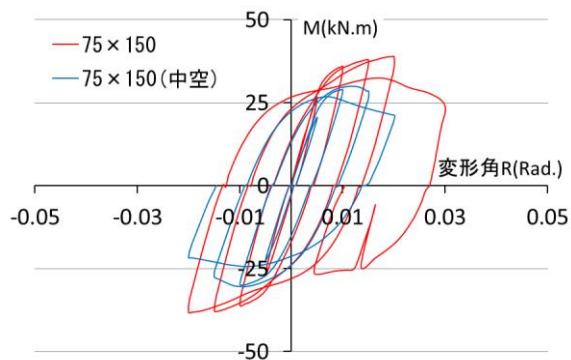
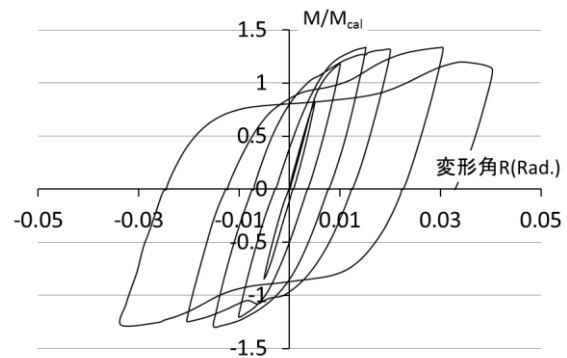
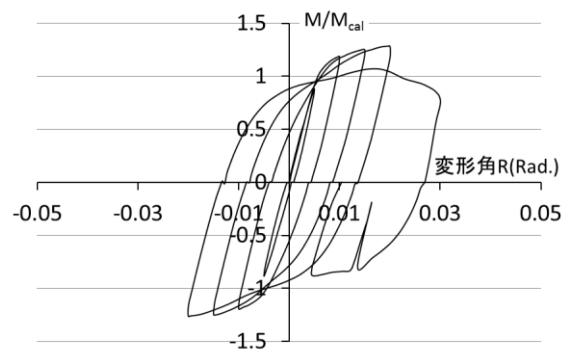


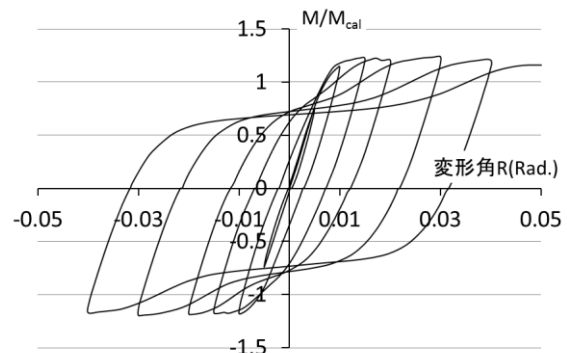
図-5 コンクリートの有無による比較



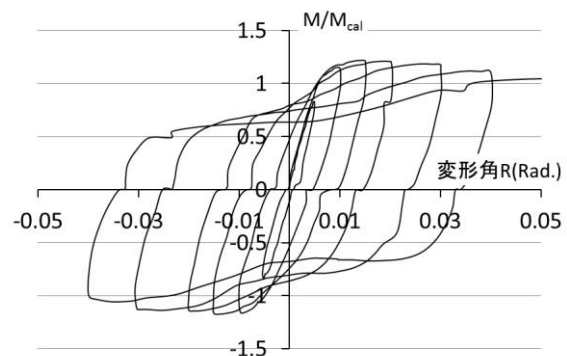
(a) 150mm × 75mm



(b) 75mm × 150mm



(c) 150mm × 100mm



(d) 100mm × 150mm

図-4 曲げモーメント - 変形角関係

により比較している。

図-6(a)より最大耐力と変形能力共に断面せいの小さい正方形断面が大きな値を示している。同様に図(b)より、断面せいが小さい正方形断面が最大耐力は大きな値を示しているが、変形能力は長方形試験体が僅かに上回っている。図(c)より最大耐力は断面せいが小さい試験体ほど大きな値を示しているが、150mm×100mmと150mm×150mmの試験体の最大耐力はほとんど差がない。変形能力は断面せいが大きい試験体の順で大きくなっている。

図-7(a)より最大耐力と変形能力共に断面幅の小さい正方形断面が大きな値を示している。図(b)より最大耐力は断面幅の小さい正方形断面が大きな値を示しているが、変形能力は断面幅が大きい試験体が大きくなっている。また図(c)より最大耐力は断面幅の小さい正方形断面の方が大きな値を示しているが、100mm×150mmと150mm×150mmの試験体の最大耐力にはほとんど差が認められない。変形能力は断面幅の大きい試験体ほど大きな値を示している。

前報(その3)¹⁾の長方形CFT柱の1方向単調載荷による実験では、断面幅が大きくなるほど、また断面せいが大きくなるほど、計算耐力に対する実験耐力の比や、限界部材角が小さくなる傾向が明確に認められた。しかし、本実験では鋼管の溶接部近傍の破断の影響により、同様の傾向が認められる試験体があるものの、明確な差異は認められなかった。ただし、破断が生じた試験体でも、限界部材角は2%以上であり、

構造設計において一般的に想定している1%を大きく上回り、長方形CFTが優れた変形能力を有することが確認できた。

4 結論

長方形CFT柱の正負繰り返し曲げ実験を行い、以下の結論を得た。

- ・長方形CFT柱の最大曲げ耐力は、計算値を大きく上回る。
- ・長方形CFT柱の限界部材角は鋼管の破断により耐力低下したことを考慮しても、十分な変形能力を有している。

今後は繰り返しによるエネルギー吸収能力や、等価粘性減衰定数の違いについて検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 荒井望, 他: コンクリート充填鋼管の構造性能に関する研究—その3 長方形CFTの曲げ性状—, 第46回日本大学生産工学部学術講演会, 2013.12
- 2) 長崎透, 他: コンクリート充填鋼管の構造性能に関する研究—その1 長方形中空鋼管の圧縮性状—, 第45回日本大学生産工学部学術講演会, 2012.10
- 3) 長崎透, 他: コンクリート充填鋼管の構造性能に関する研究—その2 長方形CFTの圧縮性状—, 第46回日本大学生産工学部学術講演会, 2013.12
- 4) 日本建築学会: 「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針」, 2008.10

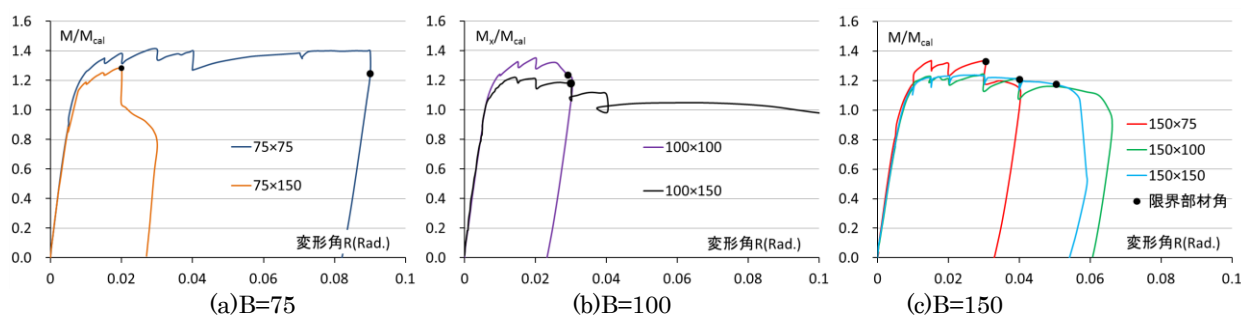


図-6 断面せいの差異による比較

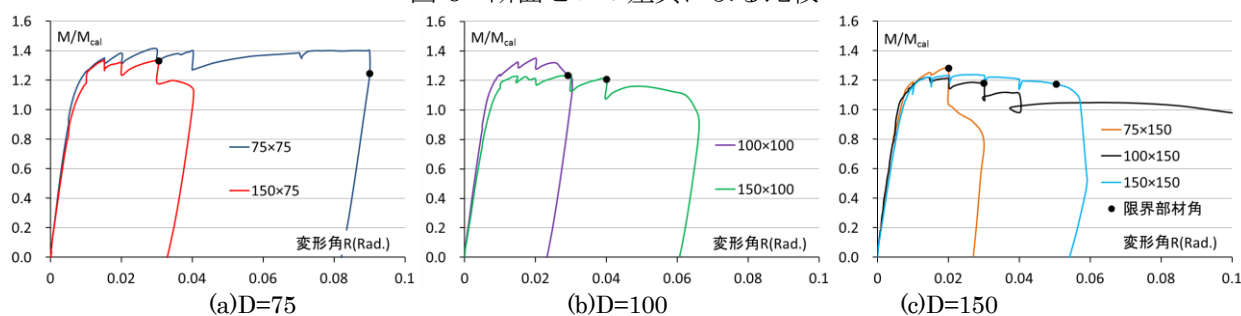


図-7 断面幅の差異による比較