

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2 長方形 CFT の圧縮性状 -

日大生産工(院) ○長崎 透

日大生産工(院) 荒井 望

日大生産工 藤本 利昭

1. はじめに

前報(その1)¹⁾では長方形中空鋼管の圧縮性状について検討を行った。本報(その2)では、長方形 CFT の圧縮性状の検討を行うこととした。

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。試験体には市販の一般構造用角形鋼管 STKR400 を用いた。実験変数は、鋼管の断面形状(正方形, 長方形), 幅厚比, 鋼管の高さ(長さ)とし、合計7体の試験体について実験を行った。なお試験体の高さは、断面幅(B)及びせい(D)の3倍とし、長方形断面については長辺側を幅(B), 短辺側をせい(D)と定義し、それぞれの3倍の試験体を製作した。

表-2 に鋼材の材料試験結果を示す。また、表-3 にコンクリートの調合表を、表-4 にコンクリートの材料試験結果を示す。鋼材の材料試験片は5号試験片とし、角形鋼管の平板部より切り出して製作した。コンクリートは再生骨材 M を用いたコンクリート(JIS A 5022)⁶⁾を使用した。なおコンクリートの打設は試験体上端より縦打ちで行った。

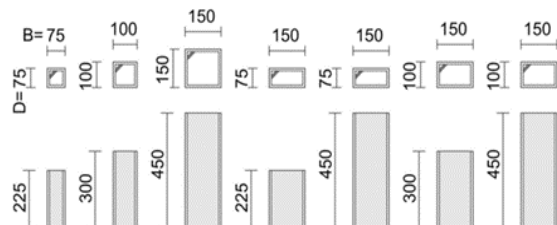


図-1 試験体形状

表-1 試験体一覧

	幅×せい	板厚 t(mm)	幅厚比 B/t (D/t)	一般化 幅厚比 α	鋼管	高さ L(mm)
正方形	75×75	3.01	24.9	1.08	STKR400	225
	100×100	2.97	33.7	1.48		300
	150×150	4.17	36.0	1.68		450
長方形	150×75-S	3.03	49.5(24.8)	2.10(1.05)	STKR400	225
	150×75-L	3.03	49.5(24.8)	2.10(1.05)		450
	150×100-S	3.05	49.2(32.8)	2.23(1.49)		300
	150×100-L	3.05	49.2(32.8)	2.23(1.49)		450

() : 短辺方向を使用 -S: L=短辺方向の3倍
 $\alpha = D/t \cdot \sqrt{\sigma_y/E_s}$ -L: L=長辺方向の3倍

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

試験体名	W/C (%)	単位質量(kg/m ³)				
		W	C	粗骨材		
				天然 粗骨材	再生 粗骨材	天然 細骨材
再生コンクリート	60	200	333	449	413	826

表-4 材料試験結果(コンクリート)

試験体名	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング率 E_c (kN/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ度 ϵ_B (%)
再生コンクリート	27.4	21	22.5	0.207

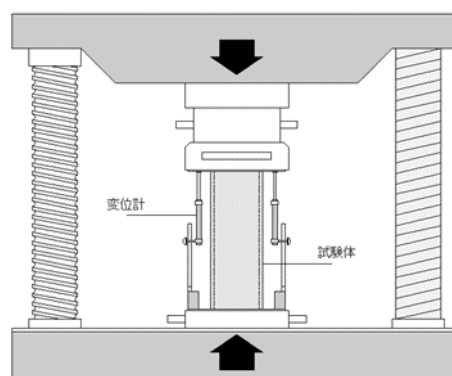


図-2 载荷装置

Study on Structural Performance of Concrete Filled Rectangular Steel Tube
 - Part.2 Compressive Behavior of Concrete Filled Rectangular Steel Tube -

Toru NAGASAKI, Nozomu ARAI and Toshiaki FUJIMOTO

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、試験体上下の拘束条件は、上部を球座、下部を固定とした。

載荷に際しては、コンクリート打設面は石膏を用いて平滑にして実験を行った。測定は、試験体上下の加力用プレート間に設置した 2 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 $\varepsilon(=\delta/L)$ を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 荷重-変形関係

表-5 に実験結果一覧を示す。CFT 試験体の実験における最大荷重 N_u と CFT 指針³⁾に基づく CFT 柱の計算圧縮耐力 $N_0(=A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B)$ との比 (N_u/N_0) は、正方形断面では 0.97~1.05、長方形断面においては 0.86~0.99 であった。

図-3~図-5 に荷重-変形関係を示す。なお、図の縦軸は軸力 N を計算圧縮耐力 N_0 で除したもので、横軸は試験体全長の平均軸ひずみ ε で表している。図-3 は正方形断面、図-4 は長方形断面を比較した図で、図-5 は長方形断面と断面せい D (短辺)が等しい正方形断面試験体を比較したものである。図-3 から正方形断面の CFT は、3 体の試験体ともに N_u/N_0 が 1.0 近くとなり、断面が 100mm×100mm の試験体は 1.0 を超えた。幅厚比が最も小さい 75mm×75mm の試験体は、荷重が最大荷重近くになってからグラフの勾配が緩やかになり、荷重が上昇し、他の試験体とは異なる荷重変形関係を示した。図-4 より長方形断面の CFT は、4 体とも N_u/N_0 は 1.0 を下回った。150mm×100mm と 150mm×75mm の試験体を比較すると、わずかに耐力比に差があり、短辺が短い試験体の N_u/N_0 が大きくなった。図-5 より短辺が等しい場合、長辺が長くなると N_u/N_0 が小さくなり、また変形性能も低下することがわかる。これらのことから、最大耐力には長辺と短辺の両者の幅厚比の影響を受けることがわかった。

表-5 実験結果一覧

幅×せい	A_s (mm ²)	σ_y (N/mm ²)	A_c (mm ²)	σ_B (N/mm ²)	圧縮耐力 N_0 (kN)	最大荷重 N_u (kN)	N_u/N_0
75×75	867	384	4758	27.4	463	457	0.99
100×100	1153	397	8847	27.4	700	733	1.05
150×150	2432	447	20068	27.4	1638	1584	0.97
150×75-S	1327	379	9923	27.4	775	770	0.99
150×75-L	1327	379	9923	27.4	775	763	0.98
150×100-S	1488	446	13512	27.4	1034	889	0.86
150×100-L	1488	446	13512	27.4	1034	990	0.96

$N_0=A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B$ A_s : 鋼管の断面積 A_c : コンクリートの断面積

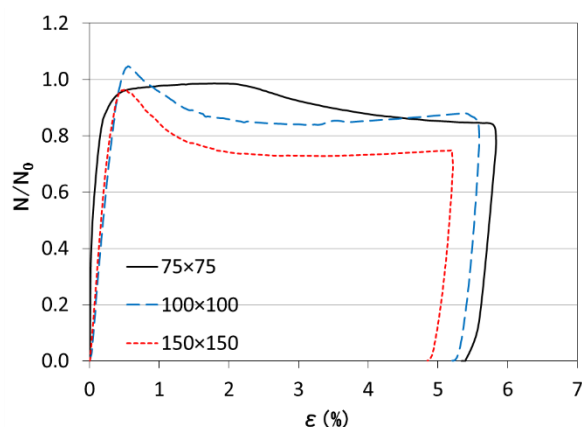


図-3 荷重-変形関係(正方形 CFT)

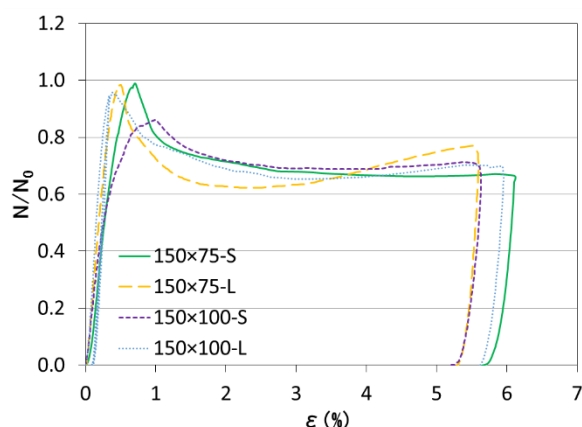


図-4 荷重-変形関係(長方形 CFT)

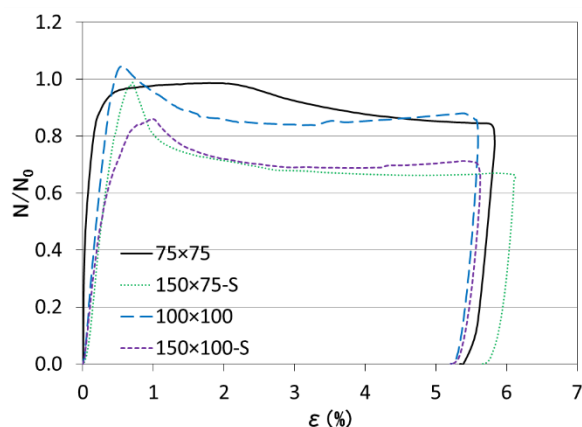


図-5 荷重-変形関係(CFTの断面形状の比較)

3.2 最大荷重

ここでは実験により得られた最大荷重と一般化幅厚比との関係について検討を行った。

図-6 に CFT 試験体の実験値と計算値との比 (N_u/N_0) と一般化幅厚比 α との関係を示す。長方形断面の一般化幅厚比の算定には、断面幅に長辺 B 、短辺 D 、長辺と短辺の平均値 $(B+D)/2$ を用いた場合の 3 通りの値を示している。また、図-6 中には文献 4) の正方形断面、長方形断面 CFT 柱の実験データも示している。なお、文献 4) の長方形断面の一般化幅厚比の算定には長辺と短辺の平均値を用いたもので示してある。

正方形断面 CFT 柱の強度上昇率と一般化幅厚比の関係(図中の■, ◆)は、本実験結果および既往の実験データ共に一般化幅厚比が大きくなると、 N_u/N_0 が小さくなる傾向が認められる。長方形断面に関しては、一般化幅厚比の評価方法に関わらず、同様の傾向が認められる。一般化幅厚比の評価方法の違いでは、長辺と短辺の平均値を用いて評価すると、正方形断面と同様の傾向が明確になっているものと判断される。

3.3 破壊形状

写真-1にCFT試験体の最終破壊(座屈)形状を示す。CFT試験体の最終破壊形状については、正方形断面、長方形断面ともに鋼管が外側に膨らむような形状となった。

3.4 座屈波長

座屈波長 L_b は、圧縮部材だけでなく、軸方向力と水平力を受ける柱部材においても塑性

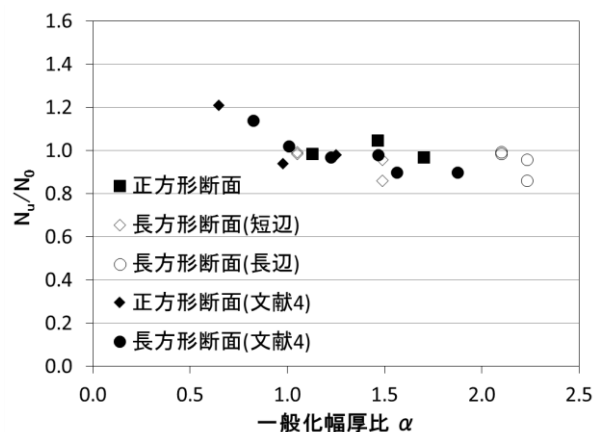


図-6 強度上昇率と一般化幅厚比の関係

表-6 座屈波長さ

	幅×せい	高さ L (mm)	局部座屈 波長 L_b (mm)	L_b/B (長辺)	L_b/D (短辺)	$2L_b/(B+D)$
正方形	75×75	225	46	0.61	0.61	0.61
	100×100	300	53	0.53	0.53	0.53
	150×150	450	73	0.49	0.49	0.49
長方形	150×75-S	225	60	0.40	0.80	0.53
	150×75-L	450	61	0.41	0.81	0.54
	150×100-S	450	59	0.39	0.59	0.47
	150×100-L	300	67	0.44	0.67	0.54

ヒンジ長さ L_p と関連付けされる重要なパラメーターであることから、その長さを適切に評価することが重要となる⁵⁾。表-6にCFT試験体の座屈波長 L_b を示す。座屈波長は、実験前の試験体全長 L から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。正方形断面の試験体では、座屈波長が最も短かったのは断面が75mm×75mmの試験体であり、断面せいが大きくなるに従い座屈波長が長くなっている。

長方形断面のCFT試験体では、断面幅 B (長辺)が等しく、断面せい D (短辺)が異なる試験体の場合、座屈波長の違いはあまりみられない。ま



写真-1 CFT の最終破壊(座屈)形状

た，試験体高さのみが異なる試験体の座屈波長はほぼ等しく，座屈波長への試験体高さの影響は認められない。

上記の結果より，座屈波長が断面の大きさに影響を受けることから，図-7に座屈波長 L_b と断面幅 B ，断面せい D ，およびそれらの平均 $((B+D)/2)$ による比によって比較した結果を示す。なお図の横軸は図-6同様，一般化幅厚比 α で表している。

正方形断面试験体の座屈波長は，断面幅 B の $0.49\sim0.61$ 倍であり，(その1)⁹⁾で示した中空鋼管の値 $0.79\sim0.88$ 倍に比べ小さな値であった。

一方長方形断面の CFT 試験体では，座屈波長と断面の短辺 D との比(L_b/D)で表すと値がばらついてしまうが，長辺 B との比(L_b/B)で評価すると $0.39\sim0.44$ 倍，平均($2L_b/(B+D)$)で評価すると $0.47\sim0.54$ 倍でばらつきが少ない。特に長辺と短辺の平均($2L_b/(B+D)$)で評価した場合，正方形とほぼ同様の値となり，正方形断面と同様に評価できることがわかった。

以上のことから，座屈波長に関しても，最大耐力と同様に，長辺だけでなく短辺の長さが影響するものと考えられる。

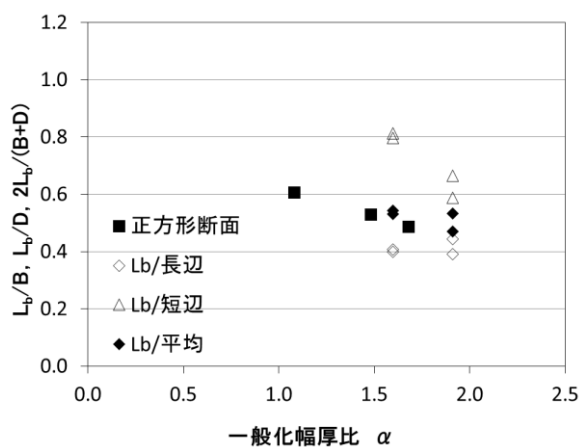


図-7 座屈波長と一般化幅厚比の関係(CFT)

4. 結論

本実験の範囲内において，以下の結論が得られた。

- ・ 圧縮力を受ける長方形CFT柱の最大耐力は，長辺側の幅厚比だけでなく，短辺側の幅厚比の影響も受け，正方形断面と同様に評価するためには，幅厚比の評価に際して，長辺と短辺の両者を考慮する必要がある。
- ・ CFT柱の局部座屈波長は，中空鋼管に比べ短く，長方形CFT柱の座屈波長は，長辺と短辺の平均値を用いることで，概ね正方形CFT柱と同様に評価できるものと考えられる。

但し長方形断面に関する実験データはまだ十分ではないと考えられるため，今後更なる実験データの蓄積が必要と言える。

参考文献

- 1) 長崎透，他：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1 長方形中空鋼管の圧縮性状 日本大学生産工学部学術講演会講演概要，2012.12
- 2) 日本工業規格：JIS A 5022（再生骨材 M を用いたコンクリート），2007.3
- 3) 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
- 4) 管田裕樹，山口育雄，高木潤一，諸菱亮太：長方形断面 CFT の中心圧縮性状に関する実験的研究 その 1～2，日本建築学会学術講演梗概集，C-1 分冊，pp.1103-1106，2001.9
- 5) 山田哲，秋山宏，桑村仁：局部座屈を伴う箱形断面鋼部材の劣化域を含む終局挙動，日本建築学会構造系論文報告集，第 444 号，pp.135-143，1993
- 6) 松井千秋：コンクリート充填鋼管構造—CFT 構造の性能と設計，オーム社，2009.2