

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5 圧縮性状 -

日大生産工(院) ○岡 修平 日大生産工(院) 荒井 望
 日大生産工(院) 長崎 透 日大生産工 藤本 利昭

1 はじめに

既報 (その1, その2) ¹⁾²⁾では, 長方形中空鋼管ならびにコンクリート充填長方形鋼管 (以下, CFT) の中心圧縮性状の概要について報告した。本報 (その5) では, 更に長方形中空鋼管および長方形CFTの圧縮性状について解析による検討結果について報告する。

長方形CFT柱の圧縮性状を検討するに当たり, まず長方形中空鋼管試験体の断面形状の影響について検討を行った。

一般に板の座屈応力度 σ_{cr} は次式で示される。

$$\sigma_{cr} = k \left(\frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \right) \left(\frac{t}{B} \right) \dots \dots \dots (1)$$

2 実験概要

2.1 試験体

表-1に検討に用いた試験体の一覧を示す。試験体は, 既報 (その1, その2) で報告した中空鋼管7体, CFT試験体7体と, 次報 (その6) ³⁾ の偏心圧縮実験で実施した中心圧縮 (偏心距離 $e=0\text{mm}$) のCFT試験体2体の合計16体である。実験変数は, 鋼管の断面形状 (正方形, 長方形), 幅厚比および試験体高さ (長さ) である。なお実験の詳細については, 文献1) 2) 3) を参照されたい。

正方形断面の中空鋼管では, 各板要素の座屈は同時に起こると考えられ, 各板要素の両縁の支持条件はピン支持と仮定し, 座屈係数 k は $k=4.0$ とされる。一方, 長方形断面では, 長辺の板要素の局部座屈を直交する短辺が拘束する形となるとして, 文献4) ではこの拘束効果を考慮した板座屈係数 k_R を(2)式で示している。

$$k_R = 7 - \frac{15}{7} \left(\frac{t_h}{t_b} \right)^2 \left[0.4 + \frac{b}{h} \right] \dots \dots \dots (2)$$

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	コンクリート強度 Fe[N/mm ²]	高さ h[mm]
中心圧縮 実験	正方形 (CFT)	75×75	3.01	24.9	1.13	21.0	225
		100×100	2.97	33.7	1.46		300
		150×150	4.17	36.0	1.70		450
	長方形 (CFT)	150×75	3.03	49.5(24.8)	2.10(1.05)		225
		150×75	3.03	49.5(24.8)	2.10(1.05)		450
		150×100	3.05	49.2(32.8)	2.23(1.49)		300
		150×100	3.05	49.2(32.8)	2.23(1.49)		450
	正方形 (中空鋼管)	75×75	3.01	24.9	1.13		21.0
100×100		2.97	33.7	1.46	300		
150×150		4.17	36.0	1.70	450		
150×75		3.03	49.5(24.8)	2.10(1.05)	225		
長方形 (中空鋼管)	150×75	3.03	49.5(24.8)	2.10(1.05)	450		
	150×100	3.05	49.2(32.8)	2.23(1.49)	300		
	150×100	3.05	49.2(32.8)	2.23(1.49)	300		
	150×100	3.05	49.2(32.8)	2.23(1.49)	450		
偏心圧縮 実験	CFT	150×100	3.00	50.0(33.3)	2.18(1.45)	27.0	450 300

(): 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

ここで, b : 鋼管短辺の板厚中心間距離, h : 鋼管長辺の板厚中心間距離, t_b : 短辺の板厚, t_h : 長辺の板厚である。

本実験では, 板厚は同一なので $t_h=t_b=t$ とすると, 長方形中空鋼管の座屈係数 k_R は次式で表される。

$$k_R = 7 - \frac{15}{7} \left[0.4 + \frac{b}{h} \right] \dots \dots \dots (3)$$

(3)式は, 正方形鋼管の場合 $k_R=4.0$ となり, 短辺が短くなる (幅厚比が小さくなる) ほど k_R の値が大きくなることを表している。この拘束効果を考慮した座屈係数 k_R を用いて, 長方形中空鋼管の一般化幅厚比 α_R を評価すると, 次式のように表される。

$$\alpha_R = \left(\frac{k}{k_R} \right) \left(\frac{D}{t} \right) \sqrt{\frac{\sigma_y}{E_s}} \dots \dots \dots (4)$$

2.2 加力および計測

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。

3 実験結果の検討

3.1 長方形中空鋼管の局部座屈耐力

Study on Structural Performance of Concrete Filled Rectangular Steel Tube
 - Part.5 Compressive Behavior -

Shuhei OKA, Toru NAGASAKI, Nozomu ARAI and Toshiaki FUJIMOTO

なお(4)式での D は、鋼管長辺側の断面長さを表している。

図-1に中空鋼管の実験値と計算値との比 $S (=N_u/N_y)$ と一般化幅厚比 α との関係を示す。図中には、文献5)で示している正方形中空角形鋼管の圧縮耐力(局部座屈耐力)評価式である、(5)式との関係についても示している。

$$S = 1 / (0.698 + 0.128\alpha) \dots\dots\dots (5)$$

また、長方形断面の一般化幅厚比の算定には、断面幅に長辺、短辺、短辺の拘束効果を考慮した αR を用いた場合の3通りの値を示している。

正方形鋼管の実験結果と(5)式との対応は良い。一方で長方形鋼管は、一般化幅厚比の算定に長辺または短辺を用いた場合(図中の○、◇)、(5)式との対応は悪く、短辺の拘束を考慮した(4)式で評価すると(図中の●)、(5)式との対応は良くなっている。このことから長方形中空鋼管の局部座屈耐力は、長辺の局部座屈で決定するが、その値は直交する短辺の拘束条件により異なるものと言える。よって一般化幅厚比の評価の際に長辺の値を用いて直交する短辺の拘束の影響を考慮した(4)式を用いることで、正方形断面と同様に評価できることがわかった。

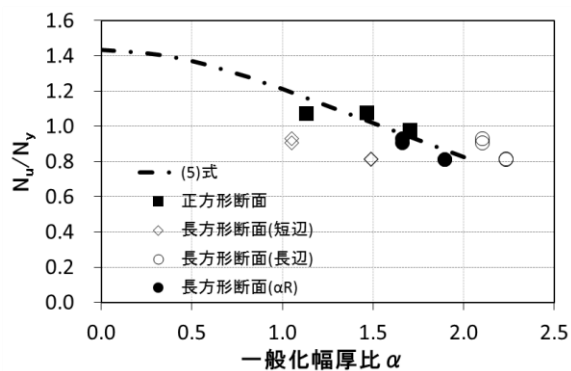


図-1 強度上昇率と一般化幅厚比の関係

3.2 長方形CFT柱の軸力-軸ひずみ関係の検討

(a) 検討方法

CFT柱における鋼管は、中空の鋼管とは異なり充填コンクリートの拘束により、鋼管側面の支持条件が両端固定板として評価できることが知られている⁵⁾⁶⁾。そこで長方形CFT柱の挙動を検討するため、図-2に示す既往の正方形断面を対象とした中原ら⁵⁾の応力-ひずみ関係モデルを用いて、CFT試験体の断面解析を行い断面形状の影響を検討した。

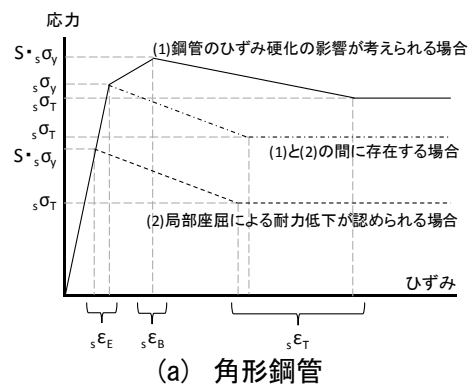
(b) 鋼管の応力-ひずみ関係

中原ら⁵⁾は、CFT柱の鋼管の耐力を中空鋼管

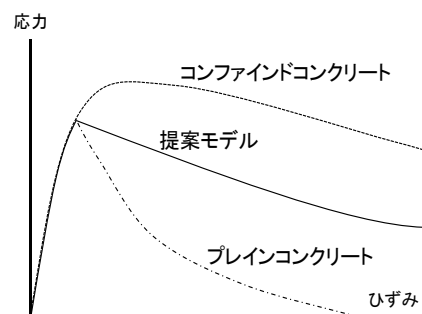
との座屈モードの違いを考慮して、中空鋼管の耐力評価式である(5)式から導き出した耐力評価式を提案しており、提案モデルにおけるCFT柱の鋼管の最大軸応力は、一般化幅厚比の小さい鋼管ではひずみ硬化による強度上昇を考慮し、鋼管の一般化幅厚比に関する領域を、鋼管のひずみ硬化の影響がある領域、局部座屈による耐力低下が認められる領域、その間に存在する領域の3種類に区分してモデル化している。また、ひずみ硬化による強度上昇が期待できる鋼管の最大強度時ひずみや、大変形時には耐力がある一定値に安定するという角形CFT柱の性質を考慮したモデルとなっている(図2-(a)参照)。

(c) コンクリートの応力-ひずみ関係

コンクリートのモデル⁵⁾は、鋼管の拘束効果によるコンクリートの強度上昇は認められないが、鋼管内の充填コンクリートは最大強度に達した後、プレインコンクリートのように脆性的ではないと考え、最大強度後の挙動について鋼管による拘束効果を考慮したモデルとなっている(図2-(b)参照)。



(a) 角形鋼管



(b) 充填コンクリート

図-2 解析に用いた応力-ひずみ関係⁵⁾

(d) 本実験結果と解析モデルとの比較

図-3~図-6に本実験結果と解析モデルとの比較を示す。図中には、解析モデルにおける鋼管の負担軸力、コンクリートの負担軸力も併せて示している。

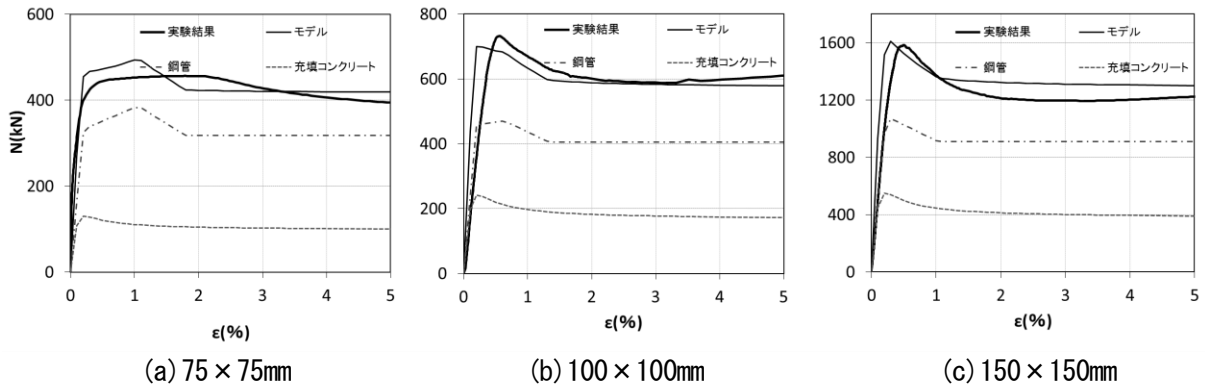


図-3 正方形断面CFT試験体の実験結果とモデルとの比較

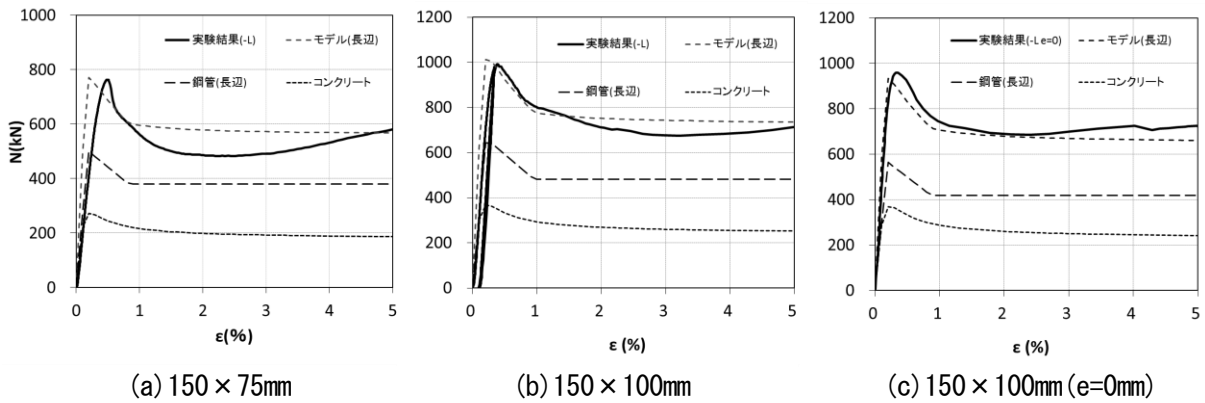


図-4 長方形断面CFT試験体の実験結果とモデルとの比較（長辺）

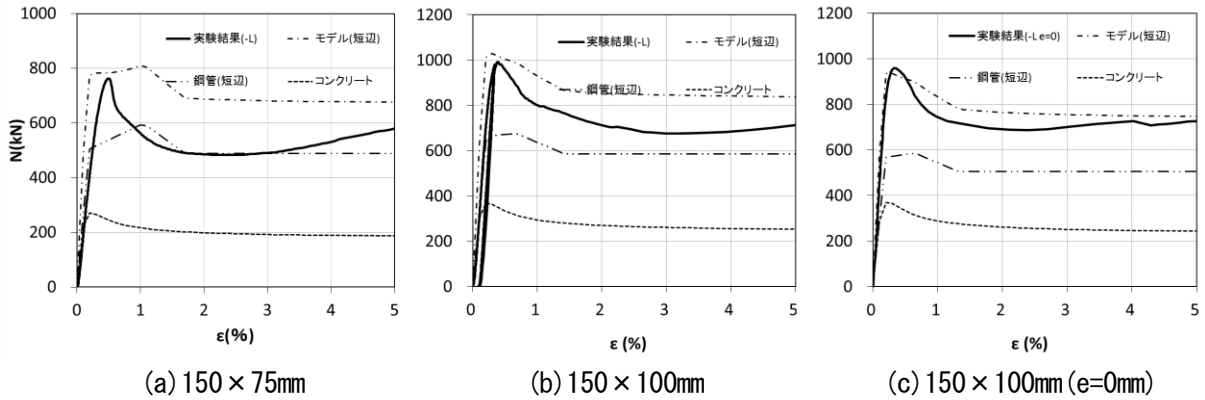


図-5 長方形断面CFT試験体の実験結果とモデルとの比較（短辺）

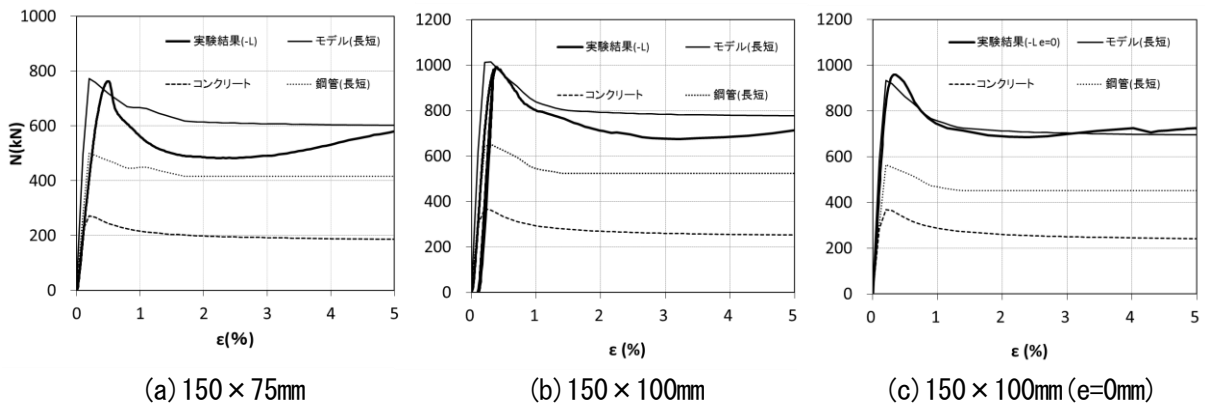


図-6 長方形断面CFT試験体の実験結果とモデルとの比較（長短）

図-3は正方形断面试験体の実験結果とモデルとの比較であるが、正方形断面については、モデルと実験結果の対応は良く、本モデルは耐力と変形性能を精度良く評価できていると考えられる。

図-4～図-6は長方形断面试験体の実験結果とモデルとの比較を示しているが、鋼管の応力-ひずみ関係のモデルは一般化幅厚比の値により異なることから、モデル化する際の一般化幅厚比の値については、図-4に長辺の値を用いた場合、図-5に短辺の値を用いた場合、図-6に断面の長辺部分、短辺部分でそれぞれの一般化幅厚比に対応したモデルを適用した場合の3ケースについて示している。またコンクリートのモデル化に際しては、断面周方向の力の釣り合いを考慮し、長辺と短辺との平均を用いて評価した。なお、図-4～図-6の(c)には(その6)の偏心圧縮実験で実施した偏心距離 $e=0\text{mm}$ の試験体の実験結果を示している。

同図より、鋼管のモデル化に際し、短辺の値を用いた場合は、耐力、変形能力ともに実験結果を過大評価する傾向がある。一方、長辺の値を用いた場合と長辺と短辺の両者を考慮した場合、比較的精度良く実験結果を評価できており、その差異は僅かである。このことは、CFT試験体の場合、中空鋼管と同様に幅厚比が大きい長辺側の鋼管の局部座屈によって最大耐力が決定するものの、その耐力および変形性状に関しては、直交する短辺側の鋼管の拘束の影響は顕著ではないことを表している。角形CFT柱の鋼管の局部座屈は、充填コンクリートの影響により両端固定支持板として評価されることからわかるように、直交する鋼管(板)による連成的な挙動は僅かと考えられる。

4. 結論

コンクリート充填長方形鋼管短柱の中心圧縮実験および解析により、以下の知見が得られた。

- 中心圧縮を受ける長方形中空鋼管の軸圧縮耐力および変形性状は、幅厚比が大きい長辺側の鋼管(板)の局部座屈の影響が顕著である。ただし長辺側の鋼管の局部座屈挙動は、直交する短辺側の鋼管(板)の拘束力(幅厚比)により変化する。
- 長方形中空鋼管の軸圧縮耐力は、一般化幅厚比の算定の際に、幅厚比が大きい長辺側の値に、直交する短辺の拘束の影響を考慮することで正方形中空鋼管と同様に評価できる。
- 中心圧縮を受ける長方形断面CFTの軸圧縮耐力および変形性状は、中空鋼管と同

様に幅厚比が大きい長辺側の鋼管の局部座屈の影響が顕著である。ただし中空鋼管とは異なり、直交する短辺側鋼管の拘束の差異による影響はほとんど認められない。

- 正方形鋼管CFT短柱を対象とした応力-ひずみ関係を用いた解析の結果、鋼管の長辺部分と短辺部分の面積を分けてそれぞれの幅厚比に対応した評価を行うことで、長方形CFTの圧縮性状を精度良く評価することができる。このことは局部座屈に対して直交する鋼管による拘束の影響が認められないことを示唆している。

参考文献

- 1) 長崎透, 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 - 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, pp.95-98, 2012.12
- 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研究 - その2 長方形CFTの圧縮性状 -, 日本大学生産工学部学術講演会講演概要, pp.23-26, 2013.12
- 3) 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 - その6 偏心圧縮実験 -, 日本大学生産工学部学術講演会講演概要, 2014.12
- 4) Structural Stability Research Council: Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures (k-Factors for Elements of Rolled Structural Shapes and Box Sections), pp.87, John Wiley & Sons
- 5) 中原浩之, 崎野健治, 稲井栄一: コンクリート充填角形鋼管柱の中心圧縮性状のモデル化, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, 1998
- 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