

コンクリート充填角形鋼管短柱の圧縮靱性について

圧縮耐力 曲げモーメント 高強度材料  
繊維補強 既往の実験データ

正会員 ○山本 貴正 \*1  
同 川口 淳 \*2  
同 山田 和夫 \*3

1. はじめに

コンクリート充填鋼管（以下、CFT）柱の耐力・靱性の指標となる単調軸圧縮下のCFT短柱の耐力-変位関係は、その耐力劣化後にある程度変位が進むと、耐力が一定に安定することが既往の研究で確認されている。このことから、CFT短柱の耐力劣化後に安定した塑性変形を發揮する耐力（以下、安定圧縮耐力）を定量的に把握することは、CFT柱の靱性の評価につながると考えられている<sup>1)</sup>。そこで、CFT柱の靱性の評価を定量的に把握することを主目的として、本稿では、まず単調軸圧縮下の角形CFT短柱の安定圧縮耐力について、既往の実験データを活用して検討している。また、この安定圧縮耐力が、繰り返し曲げせん断を受ける角形CFT柱の靱性の評価に適用できるかどうか併せて検討している。さらに、角形CFT短柱の靱性改善について実験的に検討している。

2. 検討方法の概要

**検討対象** 表1に、検討対象とする角形CFT短柱試験体の条件を示す。表中の条件vi)は、鋼管の角溶接の溶込みの影響で、局部座屈発生後に耐力低下が大きくなりやすいことがある、vii)は、鋼管の局部座屈により、最大圧縮耐力が、本稿において基準（後述3参照）としているCFT短柱の断面耐力（後掲表2参照）に達しない、ためである。また、既報3)の参考文献および北風野ら<sup>4)</sup>の角形CFT短柱の単調軸圧縮試験において、明確な安定圧縮耐力が認められる試験体を標本とする。その圧縮試験体の因子範囲を表2に示す。なお、ここでは簡単に鋼管の隅角部曲率半径を無視する。

**曲げモーメントの算出** 単調軸圧縮下の角形CFT短柱は、耐力劣化後にある程度変位が進むと、軸圧縮耐力が一定に安定するため、その鋼管とコンクリートの応力度も一定になると仮定し、角形CFT柱の耐力劣化後における最小の曲げモーメント（以下、安定曲げモーメント  $M_{stab}$ ）の応力分布を図1とする。なお、CFT指針の終局曲げ耐力の評価法と同様に、コンクリートの引張応力度は無視する。また、鋼管の引張応力度は、二軸応力状態などを考慮し、降伏応力度の  $b$  倍とするが、この安定曲げモーメント時の係数  $b$  については研究の現状では不明な点が多いため、ここでは簡単に中

表1 検討対象とする試験体の条件

i) 鋼管とコンクリートを同時に圧縮および曲げ載荷した供試体
ii) 供試体の高さに対する断面幅の比が2以上かつ4以下の供試体
iii) 鋼管内面に突起がない供試体
iv) コンクリートに膨張性混和剤が混入されていない供試体
v) 充填コンクリートに空洞、鋼材が含まれていない供試体
vi) 溶接四面組立鋼管を使用していない供試体
vii) AIJ-CFT指針:2008 <sup>2)</sup> の幅厚比制限値以下の供試体

表2 検討対象とする角形CFT短柱の圧縮試験体の因子範囲

因子	範囲		
鋼種	STKR400相当	STKR490相当	左記以外の高張力鋼
$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	294 - 428	440 - 554	618 - 834
$B$ (mm)	100 - 400	151 - 250	120 - 200
$B/t$	17 - 49	17 - 34	19 - 31
$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	18 - 119	25 - 213	25 - 119
$N_{sy}/N_0$	0.26 - 0.78	0.30 - 0.85	0.48 - 0.84
標本数	38	9	5

[注]  $\sigma_y$ : 鋼管から採取した試験片の降伏応力度  
 $\sigma_B$ : コンクリート標準供試体の圧縮強度（標準強度）  
 $B$ : 鋼管断面幅,  $t$ : 鋼管の板厚,  $N_{sy}$ : 鋼管の断面耐力 (=  $A_s \cdot \sigma_y$ )  
 $N_0$ : CFT短柱の断面耐力 (=  $A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B$ )  
 $A_s, A_c$ : 鋼管およびコンクリートの全断耐力

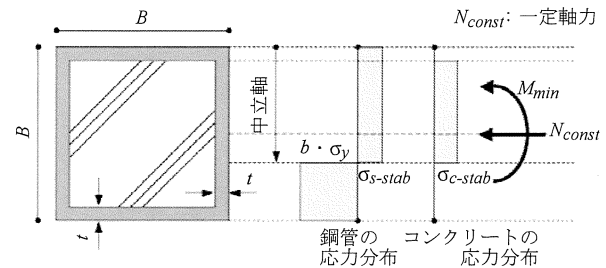


図1 安定曲げモーメント時の応力分布

原ら<sup>5)</sup>の終局曲げ耐力の計算モデルと同等の1.1とする。安定曲げモーメント時の鋼管およびコンクリートの圧縮応力度 ( $\sigma_{s-stab}, \sigma_{c-stab}$ ) は、簡単に、ヤング係数に比例し弾性回復すると仮定して安定圧縮耐力より算出する。一定軸力による各応力度についても同様とする。鋼管およびコンクリートのヤング係数はそれぞれ206kN/mm<sup>2</sup>および雨宮式<sup>6)</sup>とした。

3. 検討結果・考察

**安定圧縮耐力** 図2に角形CFT短柱の断面耐力に対する安定圧縮耐力（以下、安定圧縮耐力比）と鋼管断面耐力（以下、鋼管断面耐力比）の関係に及ぼす鋼管の強度レベルの影響を示す。同図より、鋼管断面耐力比が小さいほど、安定圧縮耐力比が小さくなり、またこの傾向は、鋼管の強度レベルが高いほど顕著であるこ

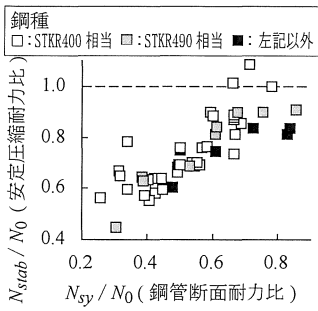


図2 安定圧縮耐力比と鋼管断面耐力比の関係

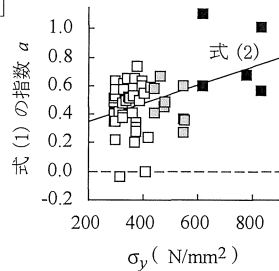


図3 式(1)の指数と降伏応力度の関係

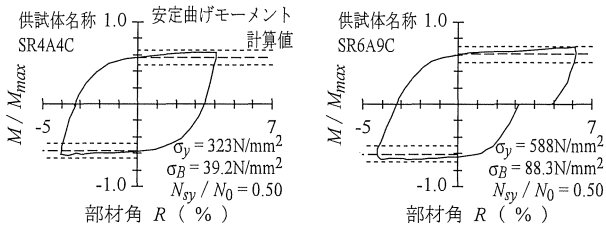


図4 曲げせん断試験のM-R関係の最終ループ<sup>7)</sup>(軸力比=0.35程度)

とがわかる。そこで、安定圧縮耐力比と鋼管断面耐力比の関係を、次式で評価することを試みる。

$$N_{stab}/N_0 = (N_{sy}/N_0)^a \quad (1)$$

式(1)の指数  $a$  の実験値と降伏応力度の関係を図3に示す。図中の実線は次式の直線近似である。

$$a = 6.4 \times 10^{-4} \sigma_y + 0.22 \quad (2)$$

なお、式(1)(2)より計算した安定圧縮耐力に対するその実験値の標準偏差  $s$  は 0.102、最大値は 1.27、および最小値は 0.82 であった。

**安定曲げモーメント** 図3に藤本ら<sup>7)</sup>の繰り返し曲げせん断試験体の材端曲げモーメント  $M$ -部材角  $R$  関係の最終ループと安定曲げモーメントの計算値を併せて示す。図の縦軸は、最大曲げモーメント  $M_{max}$  で無次元化してある。なお、最終ループの曲げモーメントの最大値が、その安定した塑性変形を發揮している曲げモーメント(以下、安定曲げモーメント)であるか不明なため、それと最終ループのひとつ前のループの曲げモーメントの最大値に差がない供試体を標本としている。図中の破線は、式(1)(2)の安定圧縮耐力および前述2章から算出した安定曲げモーメントの計算値を表している。鎖線は、安定圧縮耐力の計算値に  $1s$  を加味して算出した安定曲げモーメントの計算値である。同図より安定曲げモーメントの計算値の  $1s$  以内に、その実験値が位置していることがわかる。

#### 4. 圧縮靱性の改善

前述3章より、角形CFT柱に高強度材料を使用する

\*1 国立豊田工業高等専門学校建築学科 准教授・博士(工学)

\*2 三重大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)

\*3 愛知工業大学工学部建築学科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Toyota National College of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Mie University, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

表3 調合表

W/C	Air	SP	W	C	S	混和剤/C繊維混入率
(%)	(%)	(mm)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(%vol)
23.7	4.5±1.5	2±2.5	243	1023	1023	1.75 4.0*

[注] Air: 空気量 SP: スランプ W: 水 C: セメント S: 細骨材 \*外割

表4 鋼材・コンクリートの力学的性質

(a) 鋼管からの採取片の引張試験結果 (b) コンクリート標準供試体の圧縮試験結果

板厚 (mm)	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏比	伸び率 (%)	繊維補強 本数	標本 平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度(標準強度) 変動係数 (%)
2.11	353	0.752	31.0	なし	80.9	3.28
				あり	95.1	3.04

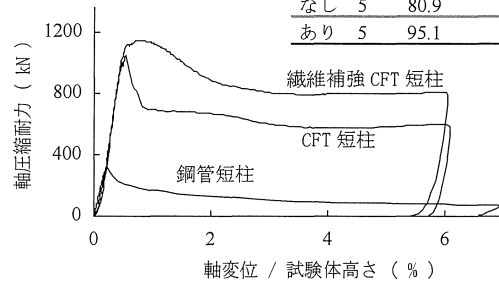


図5 角形CFT短柱の圧縮試験結果

と、安定圧縮耐力が低くなると推測される。そこで、高強度材料を使用した角形CFT柱の圧縮靱性の改善を図ることを目的として、鋼繊維補強した角形CFT短柱の圧縮試験を実施し、その繊維補強を実験的に検討した。使用した鋼種は、STKR400-100x100x2.3(mm)である。また、表3に、コンクリートの調合表を示す。繊維は、3次元波形鋼繊維(長さ: 40mm, 直径: 0.8mm)である。鋼繊維混入率は4.0% volとした<sup>注)</sup>。表4(a)および(b)に、鋼管およびコンクリートの力学的性質を示す。

図5に、角形CFT短柱の軸圧縮耐力と試験体高さに対する軸変位の関係に及ぼす繊維補強の影響を示す。図中の各曲線は、繊維補強CFT短柱、CFT短柱および鋼管短柱を表している。同図より、繊維補強による圧縮靱性の改善が確認できる。

#### 5. おわりに

本稿では、主に、単調軸圧縮下の角形CFT短柱の安定圧縮耐力について検討を行った。

**参考文献** 1) 林信之, 他3名: コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.2, pp.977-982, 1993 2) AIJ: CFT設計施工指針, 第2版, 2008.10 3) 山本貴正, 他3名: AIJ構造系論文集, Vol.78, No.685, pp.597-605, 2013.3 4) 北風野歩, 他3名: コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.2, pp.977-982, 2003 5) 中原浩之, 崎野健治: AIJ構造系論文集, Vol.567, pp.181-188, 2003.5 6) 雨宮篤, 野口博: AIJ大会学術講演梗概集, 構造II, pp.639-640, 1990.10 7) 藤本利昭, 他6名: AIJ構造系論文集, Vol.78, No.685, pp.597-605, 2013.3

注 北風野歩<sup>4)</sup>は、繊維混入率2.0%で実験を行っている。