

角形 CFT 短柱の鋼管による圧縮靱性向上に関する基礎研究

Fundamental Study on Improvement in Compressive Ductility of Square CFT Short Column with Steel Tube

最大圧縮力 局部座屈 拘束効果  
欠陥 付着 幅厚比

会員外 ○福田 洋人\* Hiroto Fukuda  
准会員 波多野 結依\*\* Yui HATANO  
正会員 山本 貴正\*\*\* Takamasa YAMAMOTO  
同 今岡 克也\*\*\*\* Katuya IMAOKA  
同 山田 和夫\*\*\*\*\* Kazuo YAMADA

1. はじめに

昨今、コンクリート充填鋼管(以下、CFT)柱の高靱性を活かすため、CFT 構造の崩壊機構を従来の梁降伏型に加え、一部柱降伏を許容することが提案されている。なお、CFT 構造の柱は、施工性の理由から角形が多く採用されているが、角形 CFT 柱は、鋼管平板部の局部座屈の影響で、円形と比較して靱性が低い。

以上を背景に、筆者らは、角形 CFT 柱の外周に角形鋼管(以下、補強用鋼管)を配置し、隙間にグラウト材を充填することで、補強用鋼管の拘束力により局部座屈抑制効果が付加され、角形 CFT 柱の靱性を向上させることができると考えた。なお、補強用鋼管は、曲げモーメントが大きい柱頭および柱脚部に設置することを想定している。なお、この補強による局部座屈抑制効果を最大に発揮させるには、補強箇所中央部付近で補強部内側の角形 CFT 柱を破壊させなければならないが、補強で最大耐力を上昇させてしまうと、無補強の箇所破壊が生じる恐

れがある。これらを踏まえ、まず補強用鋼管を配置した角形 CFT 短柱について、補強箇所の中央部で破壊させること、かつ最大圧縮力を上昇させず圧縮靱性を向上させることを目的として、これらを実験的に検討した。

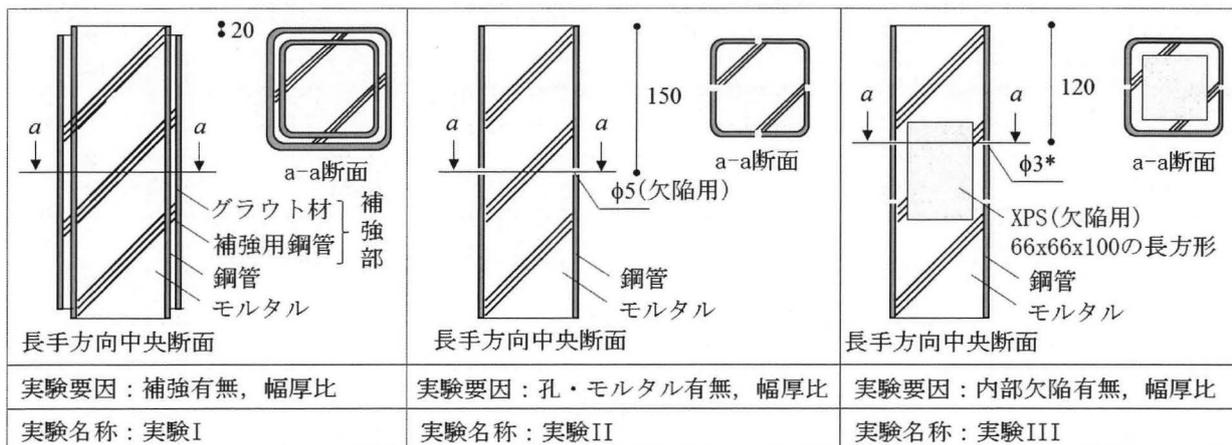
2. 実験概要

2.1 検討項目

検討項目は、角形 CFT 短柱の圧縮性能に対し、実験 I では補強用鋼管有無の影響、実験 II では鋼管平板部中央の孔有無の影響、実験 III では充填コンクリート部の内部欠陥有無の影響とした。それぞれ共通して鋼管の幅厚比を実験要因としている。実験 II では鋼管短柱も対象としている。これらの概要が図-1 に示してある。

2.2 使用材料

補強用鋼管と補強部内側鋼管の間を充填するグラウト材および鋼管に充填するモルタルに使用した水は水道水、セメントは普通ポルトランド(密度: 3.15g/cm<sup>3</sup>, 比表面



\*XPS(押出發泡ポリスチレン)を固定する針金を通すための孔

図-1 実験概要

\* 愛知工業大学工学部建築学科 本科生 Undergraduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology  
 \*\* 豊田工業高等専門学校建設工学専攻 専攻科生 Student, Advanced Course of Arch., National Institute of Technology, Toyota College  
 \*\*\* 愛知工業大学工学部建築学科 准教授 博士(工学) Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.  
 \*\*\*\* 豊田工業高等専門学校建築学科 教授 工博 Prof., Department of Architecture, National Institute of Technology, Toyota College, Dr. Eng.  
 \*\*\*\*\* 愛知工業大学工学部建築学科 教授 工博 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

積：3250cm<sup>2</sup>/g)、細骨材は多治見市大畑町産の山砂(表乾密度：2.55g/cm<sup>3</sup>、吸水率：1.78%、実積率：65.3%)および混和剤は高性能減衰剤(密度 1.09g/cm<sup>3</sup>)である。グラウト材の調合は、セメント水比 5.0、内割で混和剤混入率は内法でセメント質量比の 3.0%、モルタルの調合は、セメント水比 3.3、セメント砂比 2.7、内割で混和剤混入率は内法でセメント質量比の 0.6%とした。鋼管短柱は 100x100x3.2(STKR400)および 100x100x2.3(STKR400)、補強用鋼管は 125x125x3.2(STKR400)とした。鋼管短柱は、既報 1)と同一である。

### 2.3 試験体作製

試験体は、実験 I の補強ありについては、鋼管の下端外周に設置した高さ 20mm の木材の上に、補強用鋼管を敷いて、隙間にグラウト材を充填している。グラウト材硬化後、木材を外し、塩ビ板の上にシーリング材で固定し、翌日、鋼管内にモルタルを充填した。実験 II については、ボール盤を用いて鋼管平板部全面の中央に径 5.0mm の孔を設けた。実験 III の欠陥は、幅 66mm、高さ 100mm の長方形の押出法ポリスチレンフォームを鋼管内部の中央に設けた。なお、鋼管に設けた 3mm の孔から針金を通して固定した。モルタルおよびグラウト材の管理用試験体は、それぞれ内径 100mm、高さ 200mm の円柱型枠および三連型枠で成形し、養生は気中封緘とした。

### 2.4 試験方法

角形 CFT 短柱および鋼管短柱は、3,000kN 級耐圧試験機を使用し、変位制御での圧縮試験を実施した。試験では両端ともに固定とし、相対する 2 台の変位計を用いて、軸変位を計測した。圧縮試験実施前に、打設面を研磨し、打設面の平滑性を確保している。

実験 I では、補強用鋼管の平板部中央に貼付した二軸ひずみゲージで測定した軸ひずみ度( $\epsilon_z$ )および周ひずみ度( $\epsilon_\theta$ )を用いて、次式より軸応力度( $\sigma_z$ )および周応力度( $\sigma_\theta$ )を算出した。

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_z \\ d\sigma_\theta \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu \\ \nu & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\epsilon_z \\ d\epsilon_\theta \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ヤング係数およびポアソン比は、それぞれ通常使用される 206kN/mm<sup>2</sup>および 0.3 とする。

材料試験として、グラウト材およびモルタルの管理用試験体の圧縮試験を、それぞれ JIS A 1108:2006 および JIS R 5201:2015 に準拠して実施した。

### 2.5 角形 CFT 短柱の圧縮性能の評価方法

角形 CFT 短柱の最大圧縮力に及ぼす鋼管とコンクリートの相乗効果はないとして、その推定式は次に示す加算圧縮力( $N_0$ )が用いられている。

$$N_0 = A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot \sigma_B \quad (2)$$

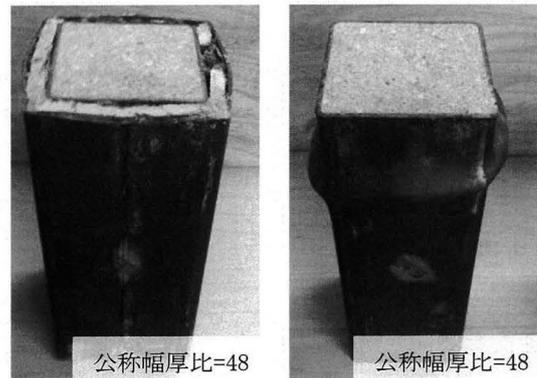


写真-1 実験 I の最終破壊状況の例

$A_s$ 、 $A_c$ ：鋼管およびモルタルの原断面積  $\sigma_y$ ：鋼管の降応力度  $\sigma_B$ ：モルタル管理用試験体の圧縮強度

角形 CFT 短柱は、最大圧縮力到達後に圧縮力が収束することが既往の研究で認められていることから、圧縮靱性の指標として、次に示す劣化率を用いる。

$$\text{劣化率} = \text{収束圧縮力} / \text{最大圧縮力} \quad (3)$$

なお、ここでは、収束圧縮力を最大圧縮力到達後の最小の圧縮耐力とする。

## 3. 実験結果・考察

### 3.1 実験 I

#### (a) 最終破壊状況

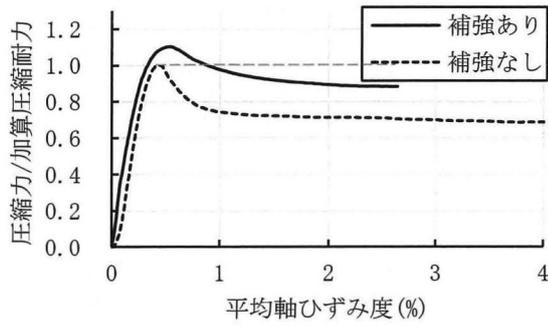
写真-1(a)(b)に、それぞれ補強有無別に角形 CFT 短柱の最終破壊状況が示してある。なお、補強有無ともに最終破壊状況に及ぼす幅厚比の影響が認められないため、例として、公称幅厚比 43 の試験体を掲載している。

同写真(a)(b)に示すように、補強ありについては、補強箇所上部の断面が円状かつ補強用鋼管のクォーター波状の変形、補強なしについては、鋼管上部の螺旋状の局部座屈である。なお、補強ありの破壊は、補強用鋼管による拘束力が最も小さい個所において、補強部内側鋼管の局部座屈が発生したことが起因していると考えられる。

#### (b) 荷重-変形関係

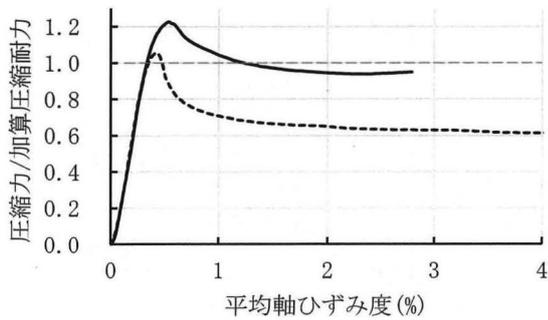
図-2(a)(b)に、それぞれ補強有無別に角形 CFT 短柱の荷重-変形関係に及ぼす補強有無の影響を示す。縦軸は、加算圧縮力に対する圧縮力(以下、圧縮力比)、横軸は試験体高さに対する軸変位(以下、平均軸ひずみ度)である。図中に示す最大圧縮力および劣化率の補強効果比は、それぞれの補強なしに対する補強ありである。

同図より、各幅厚比ともに、補強による最大圧縮力および劣化率の上昇が認められ、それぞれの補強効果比は幅厚比が大きいほど高いことがわかる。また、補強あり



補強あり：最大圧縮力比=1.10, 劣化率=0.80  
 補強なし：最大圧縮力比=1.00, 劣化率=0.69  
 補強効果比：最大圧縮力=1.10, 劣化率=1.16

(a) 公称幅厚比=31



補強あり：最大圧縮力比=1.23, 劣化率=0.77  
 補強なし：最大圧縮力比=1.06, 劣化率=0.58  
 補強効果比：最大圧縮力=1.16, 劣化率=1.32

(b) 公称幅厚比=48

図-2 実験Iの荷重-変形関係

の最大圧縮力は、加算圧縮力を超えており。これは、補強鋼管による補強部内側鋼管の局部座屈抑制効果および充填コンクリートの拘束効果によると考えられる。

上記を踏まえ、補強鋼管の上下端部ではなく、中央部で補強内部の鋼管かつコンクリートの破壊が発生すれば、補強効果を最大に発揮させることが期待できる。なお、本報で提案している補強は、曲げモーメントが大きい柱頭および柱脚部に施すことを想定しているため、補強による最大圧縮力の上昇で、最大曲げモーメントが上昇すると、補強を施していない個所で、破壊が先行してしまう。このため、補強は高い圧縮靱性を保持し、最大圧縮力を上昇させないことが求められる。

(c) 被覆鋼管の応力度

図-3 に、各公称幅厚比の被覆鋼管の軸応力度と周応力度の関係性を併せて示す。両軸ともに鋼管の降伏応力度で除してある。各応力度の算出方法は、前述 2.4 を参照されたい。

同図より、各公称幅厚比ともに、軸応力度が生じてい

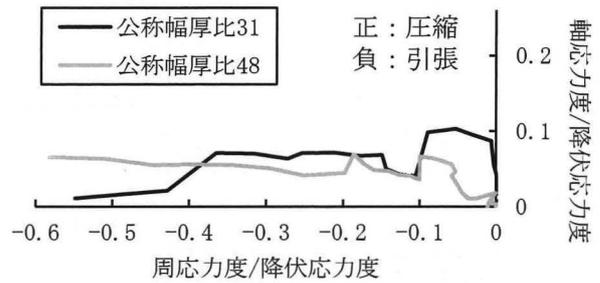


図-3 実験Iの補強用鋼管の軸周応力度

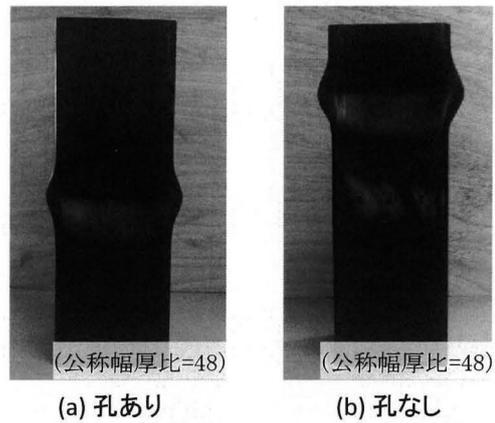


写真-2 鋼管短柱の最終破壊状況の例

ることが認められる。これは鋼管とグラウト材の付着により生じたと考えられる。軸応力度が小さくなり、周応力度が大きくなりやすいほど、拘束力が高くなるため、付着を小さくすることが今後の課題となる。

3.2 鋼管に設けた空孔の影響(実験 II)

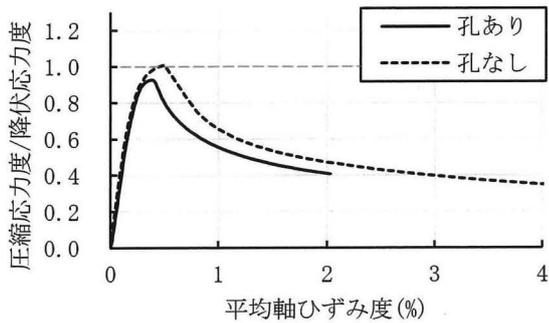
(a) 鋼管短柱

写真-2(a)(b)に、孔有無それぞれの鋼管短柱の最終破壊状況が示してある。なお、これらに幅厚比の影響が認められないため、例として、公称幅厚比 43 の試験体を掲載している。

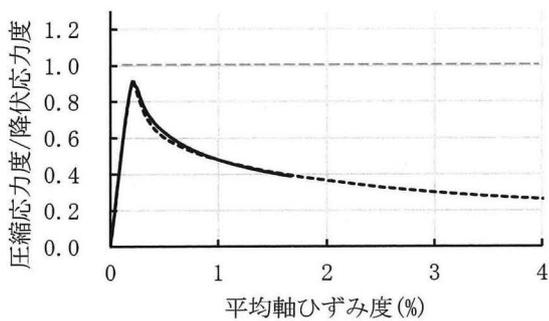
同写真に示すように、最終破壊である局部座屈の形状に及ぼす孔有無の影響は認められないが、孔有無それぞれで、局部座屈の発生箇所が異なることがわかる。なお、孔ありは、孔の設置箇所で局部座屈が発生しており、局部座屈を誘発していると考えられる。

図-4(a)(b)に、それぞれ幅厚比別に鋼管短柱の圧縮応力度-平均軸ひずみ度関係に及ぼす孔有無の影響を示す。縦軸は、鋼管から採取した引張試験片の降伏応力度で除してある。

同図(a)(b)より、公称幅厚比 31 は 48 と比較して、圧縮応力度-平均軸ひずみ度関係に及ぼす空孔有無の影響が大きいことが認められる。



(a) 公称幅厚比=31(降伏応力度=421N/mm<sup>2</sup>)



(b) 公称幅厚比=48(降伏応力度=353N/mm<sup>2</sup>)

図-4 実験IIの鋼管短柱の荷重-変形関係

以上より、角形鋼管短柱の孔の設置は、局部座屈を発生させたい箇所に設けることに対して有効であるが、幅厚比が比較的小さいと、最大圧縮力が低下しやすくなると考えられる。

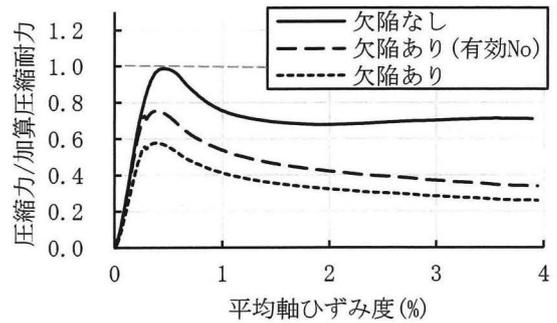
#### (b) 角形 CFT 短柱

各幅厚比の角形 CFT 短柱の圧縮力-平均軸ひずみ度関係および最終破壊状況に及ぼす孔有無の影響は認められない結果を得た。これらのことから、鋼管の孔は、局部座屈抑制効果および拘束効果に影響しないと考えられる。

### 3.3 実験 III

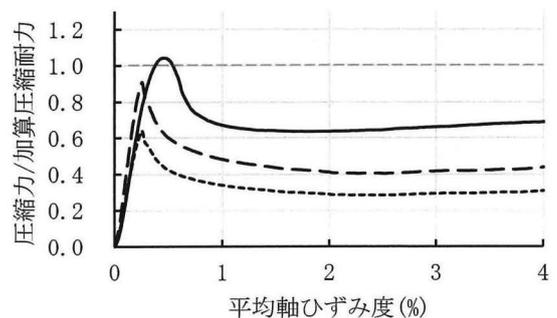
図-5(a)(b)に、それぞれ幅厚比別に角形 CFT 短柱の圧縮加算力比-平均軸ひずみ度関係に及ぼす内部欠陥有無の影響を示す。図中の破線および点線は、それぞれ欠陥部の原断面積をコンクリートの原断面積に付加していない、および付加している加算圧縮力を用いている。この付加していない加算圧縮力を有効加算圧縮力と呼ぶ。なお、最終破壊状況に及ぼす欠陥有無の影響は、目視では確認できていない。

同図より、各幅厚比ともに、欠陥ありは、欠陥なしと比較して、最大圧縮力比および劣化率が低下していること、また、欠陥ありの最大圧縮力は、有効加算圧縮力に到達していないことが認められる。これにより、欠陥の影響で、充填コンクリートの最大圧縮応力度は、管理用試験体の圧縮強度より低いと推察される。



欠陥なし：最大圧縮力比=0.98，劣化率=0.69  
 欠陥あり：最大圧縮力比(破線)=0.75，劣化率=0.57  
 最大圧縮力比(点線)=0.58，劣化率=0.57

(a) 公称幅厚比=31



欠陥なし：最大圧縮力比=1.04，劣化率=0.61  
 欠陥あり：最大圧縮力比(破線)=0.75  
 最大圧縮力比(点線)=0.91，劣化率=0.44

(b) 公称幅厚比=48

図-5 実験IIIの荷重-変形関係

#### 4. おわりに

補強用鋼管を配置した角形 CFT 短柱について、補強箇所の中央部で破壊させること、かつ最大圧縮力を上昇させず圧縮靱性を向上させることを目的として、これらを実験的に検討した。

#### 謝辞

本稿の研究成果は、平成 30 年度愛知工業大学耐震実験センター研究助成の支援による。また本実験を遂行するにあたり、豊田高専専攻科生の熊谷茉祐様、愛知工業大学本科生の名和知輝様のご助力を得た。

#### 参考文献

- 1) 山本貴正, 川口淳, 山田和夫: コンクリート充填鋼管短柱の圧縮特性に及ぼす繊維補強効果に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 2, pp. 1171-1176, 2016