

# 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7 復元力特性の検討 —

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

### 1. はじめに

実際の構造設計においては、実験資料を基に構造部材の地震時の挙動をモデル化(簡略化)して設計が行われる。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指針とする)<sup>1)</sup>では、軸力と曲げモーメントおよびせん断力が作用するCFT柱の復元力特性モデルが示されているが、長方形CFT柱に適用できるかは明らかでない。そこで本研究では、既報(その3)<sup>2)</sup>で報告した長方形CFT柱の単調曲げ実験、(その4)<sup>3)</sup>で報告した繰返し曲げ実験より、復元力特性の実験結果とモデルとの比較を行った。

### 2. 試験体概要

表-1に検討に用いた試験体一覧を示す。試験体は、既報(その3)で報告したCFT試験体7体と、(その4)で報告した(その3)と同断面のCFT試験体7体の合計14体である。実験変数は、鋼管の断面形状(正方形, 長方形), 幅厚比および支店間距離である。なお実験の詳細については、文献2)3)を参照されたい。

### 3. 骨格曲線のモデル化

図-1にCFT指針に示された復元力モデルを示す。復元力特性は曲げモーメント $M$ と変形角 $R$ の関係をtri-linear型にモデル化される。復元力特性のモデルは、第一折れ点までの傾きを初期剛性 $K_e$ とし、(1)式によって求めた。初期剛性 $K_e$ は鋼管ならびに充填コンクリート全断面を有効とした弾性剛性を用いることになっている。

$$K_e = \frac{M}{R} = \frac{l}{2\left(\frac{l^2}{12EI} + \frac{1}{G\kappa A}\right)} \quad (1)$$

$$EI = E_s \cdot I_s + E_c \cdot I_c$$

$$G\kappa A = G_s \cdot \kappa_s \cdot A_s + G_c \cdot \kappa_c \cdot A_c$$

ここで、 $l$ : 支店間距離、 $E$ : ヤング係数、 $I$ : 断面2次モーメント、 $G$ : せん断弾性係数、 $\kappa$ : 形状係数、 $A$ : せん断断面積であり、添え字の $S$ は鋼管、 $C$ は充填コンクリートの値を表している。

表-1 試験体一覧

		幅 B (mm)	せい D (mm)	支店間距離 L (mm)	板厚 t (mm)	幅厚比 B/t (D/t)	載荷方向
単調曲げ実験	正方形	75	75	450	3.01	24.9	単調載荷
		100	100	600	2.97	33.7	
		150	150	900	4.17	36.0	
	長方形	150	75	450	3.03	49.5 (24.8)	
		75	150	900	3.03	24.8 (49.5)	
		150	100	600	3.05	49.2 (32.8)	
100	150	900	3.05	32.8 (49.5)			
繰返し曲げ実験	正方形	75	75	450	3.01	24.9	2方向
		100	100	600	2.97	33.7	2方向
		150	150	900	4.17	36.0	1方向
	長方形	150	75	450	3.03	49.5 (24.8)	2方向
		75	150	900	3.03	24.8 (49.5)	2方向
		150	100	600	3.05	49.2 (32.8)	2方向
100	150	900	3.05	32.8 (49.5)	2方向		

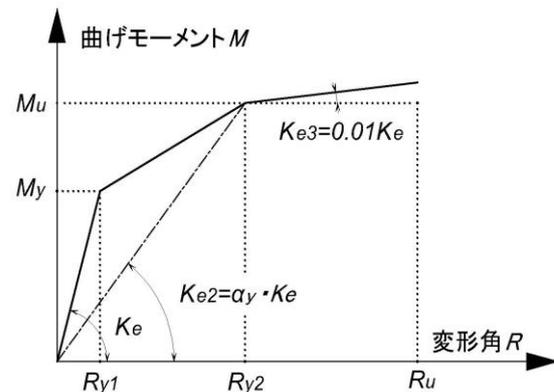


図-1 CFTの復元力特性モデル

第一折れ点の曲げモーメント $M_y$ はCFT柱の降伏曲げモーメントを表すが、本実験では軸力が作用していないため、鋼管の降伏曲げモーメントを用いた。第二折れ点の曲げモーメント $M_u$ はCFT指針の終局曲げモーメントであり、 $M_u$ 時の変形角は初期剛性 $K_e$ に対する比 $\alpha_y$ で表され、本実験では正方形断面の剛性低下率 $\alpha_y$ の値である0.7を用いた。降伏後の第三剛性 $K_{e3}$ は、本検討では初期剛性 $K_e$ の1/100とした。

復元力モデルの最終点はCFT指針の正方形CFT柱の限界部材角 $R_u$ を用いて算定し、(2)式によって求めた。

Study on Structural Performance of Concrete Filled Rectangular Steel Tube

— Part.7 Investigation of Restoring Force Characteristics —

Nozomu ARAI, Toru NAGASAKI, Shuhei OKA and Toshiaki FUJIMOTO

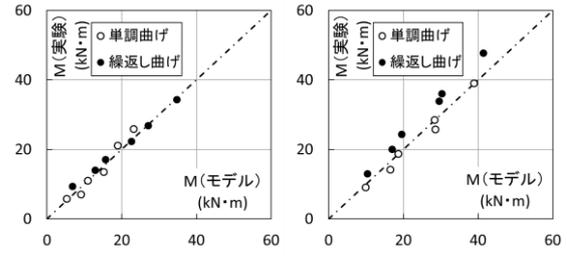
$$R_u = \frac{\gamma_\gamma}{0.15 + 3.79 \frac{N}{N_0}} \cdot \frac{t}{D} \cdot \beta \quad (2)$$

$$\beta = 1.0 - \frac{F_c - 40.3}{566} \leq 1.0$$

ここで、 $N$ ：作用軸力、 $N_0$ ：軸圧縮力を受ける部材の単純累加耐力、 $F_c$ ：コンクリートの設計基準強度、 $D$ ：鋼管のせい、 $t$ ：鋼管の板厚、 $\gamma_\gamma$ ：角形断面CFT柱の座屈長さ径比による低減係数である。

#### 4. 骨格曲線の検証

図-2に単調曲げ実験と繰返し曲げ実験の、実験結果と復元力モデルの各変形角における曲げモーメントを比較して示す。図の(a)は変形角 $R=0.005$ を、(b)は $R=0.01$ を示す。同図(a)より、変形角 $R=0.005$ においては単調曲げ、繰返し曲げ共に全ての試験体で実験結果と復元力モデルは良好な対応を示している。同図(b)より、変形角 $R=0.01$ において、単調曲げ実験の試験体では実験結果の曲げモーメントが復元力モデルよりわずかに低いことが確認できるが、繰返し曲げ実験の試験体では全ての試験体でモデルを上回っている。 $R=0.005$ に比べてばらつきがあるが、復元力モデルは実験結果をほぼ平均的に評価していることが確認できる。



(a)  $R=0.005$  (b)  $R=0.01$   
図-2 曲げ耐力の比較

図-3に単調曲げ実験と繰返し曲げ実験における曲げモーメント-変形角関係 ( $M-R$ 関係) について、実験結果とモデルの骨格曲線を比較して示す。図の(a), (b)は正方形断面试験体を、(c), (d)は長方形断面试験体を示す。同図(a), (b)より正方形断面试験体に関しては、単調曲げ、繰返し曲げ共に実験結果と復元力モデルは第二剛性 $K_{e2}$ の範囲まで良好な対応を示している。同図(c)より単調曲げにおける長方形断面の比較に関しては、 $75 \times 150$ と $100 \times 150$ では比較的モデルとの対応が良いが、 $150 \times 75$ と $150 \times 100$ においては実験結果の剛性がモデルよりも低いことが確認できる。同図(d)より繰返し曲げにおける長方形断面の比較に関しては、曲げ方向や試験体形状に関わらず、復元力モデルと実験結果との対応は第二剛性 $K_{e2}$ の

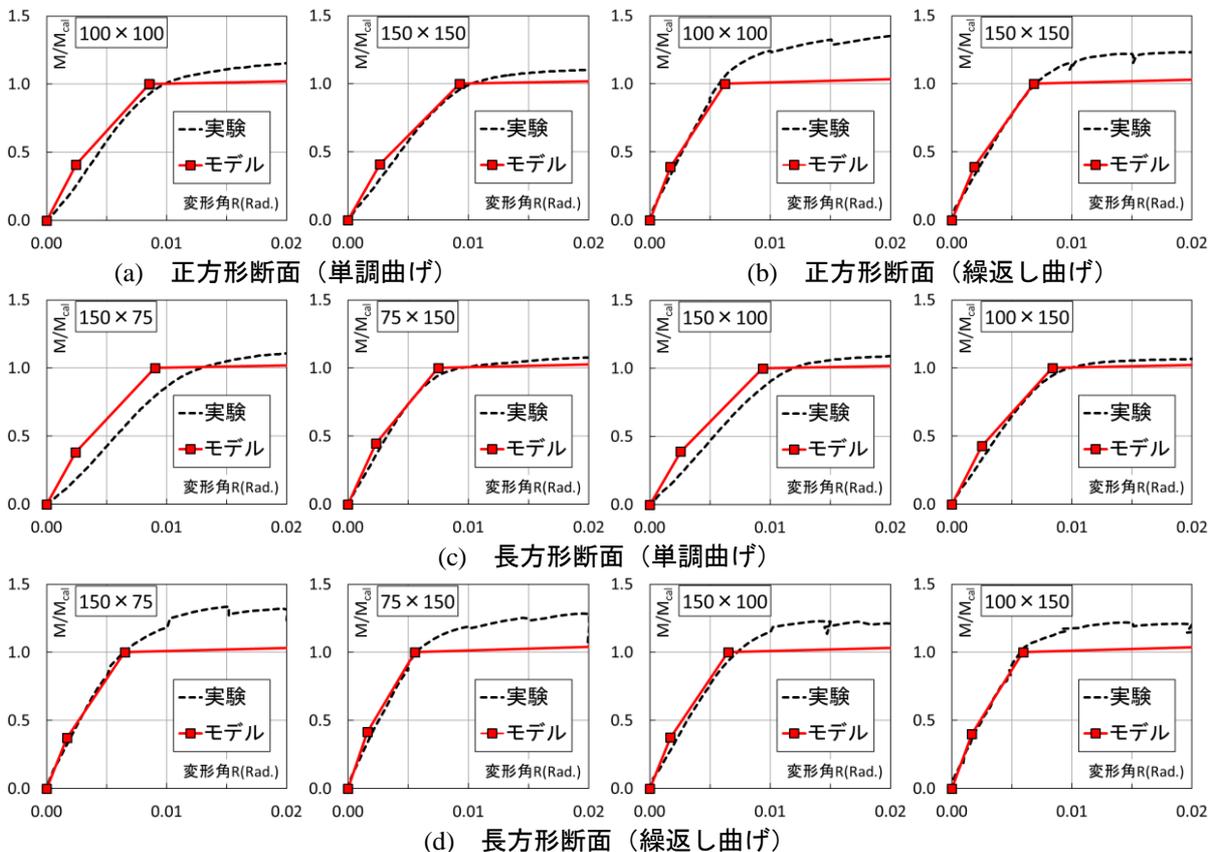


図-3 実験結果と骨格モデルの比較

範囲まで良好な対応を示している。よって、長方形断面CFT柱の骨格モデルに正方形断面を対象としたCFT指針の骨格モデルが適用できるものと考えられる。

### 5. 履歴曲線のモデル化

CFT柱の履歴特性は、normal tri-linearとすることで履歴特性を良好に表すことができることが報告されている<sup>1)</sup>。図-4にCFT指針に示された履歴特性モデルを示す。正側荷重ではOABC, 負側荷重ではOA'B'C'をそれぞれ骨格モデルのスケルトンカーブとして定義する。正負各方向で新たに経験する塑性変形の曲げモーメント-変形角関係は、スケルトンカーブ上を移動するものとする。

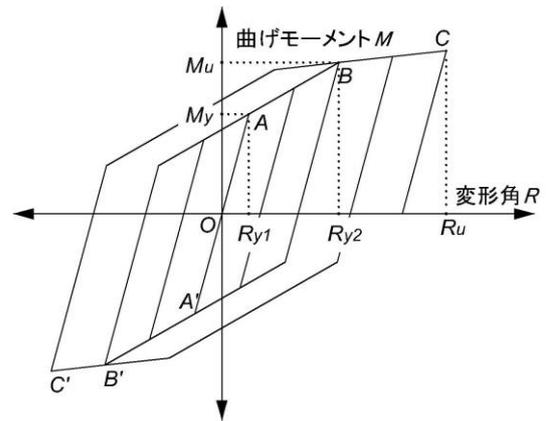
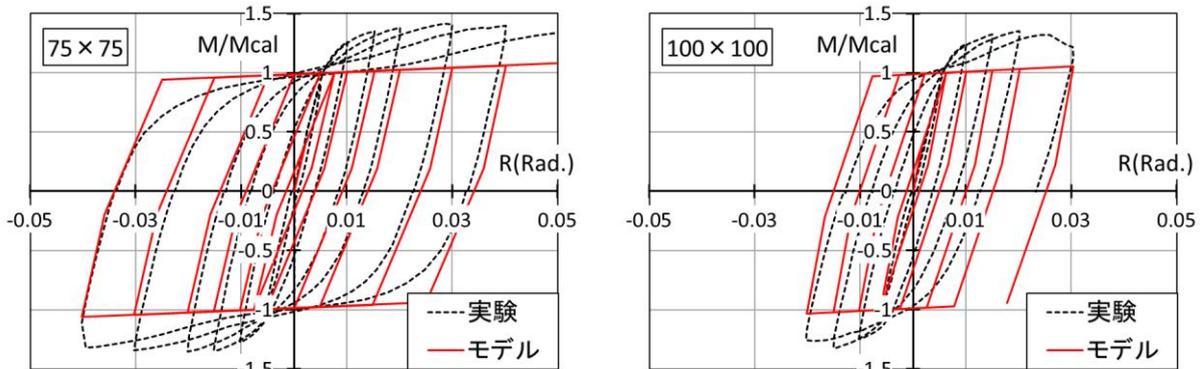
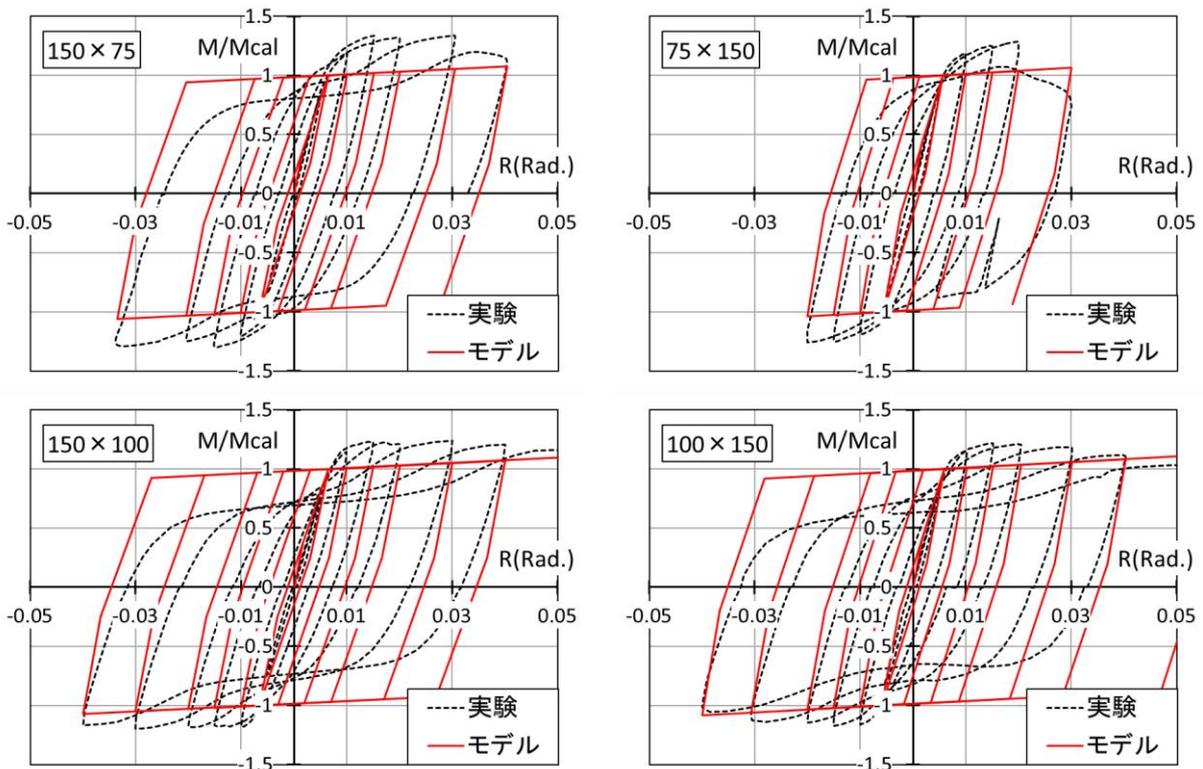


図-4 CFTの履歴特性モデル



(a) 正方形断面



(b) 長方形断面

図-5 実験結果と履歴モデルの比較

## 6. 履歴曲線の検証

図-5に繰返し曲げ実験における曲げモーメント-変形角関係 (M-R関係) について、実験結果とモデルの履歴曲線を比較して示す。図の(a)は正方形断面試験体を、(b)は長方形断面試験体を示す。同図(a)より正方形断面試験体に関しては、実験結果と復元力モデルは概ね良好な対応を示している。同図(b)の長方形断面に関しては、曲げ方向や試験体形状に関わらず、履歴モデルと実験結果との対応は変形角 $R=0.01$ 程度までは良好である。一方で、変形角 $R=0.02$ を超えるとモデルの除荷剛性が実験値を過大に評価する傾向が目視で確認できる。

## 7. エネルギー吸収能力の比較

図-6、繰返し曲げ実験で得られた各試験体のエネルギー吸収能力と、CFT指針の履歴モデルで求められるエネルギー吸収能力を比較して示す。図の(a)は正方形断面試験体を、(b)は長方形断面試験体を示す。ここで、エネルギー吸収能力とは、各加力サイクルで描かれた軌跡の内側の面積が1回の振幅で吸収することができるエネルギーを表しており、図の縦軸は計算曲げモーメントにより基準化している。同図(a)より正方形断面に関しては、 $75 \times 75$ では変形角 $R$ が上昇してもエネルギー吸収能力に差異が認められなかった。 $100 \times 100$ では変形角 $R=2.0\%$ 時において、復元力モデルが実験結果をわずかに上回っているが、実験結果とモデルは概ね良好な対応を示している。同図(b)より長方形断面に関しては、全ての試験体で変形角 $R=1.0\%$ までは実験結果と復元力モデルは良好な対応を示しているが、変形角 $R=2.0\%$ を超えると実験結果に対してモデルの除荷剛性が高く評価され、エネルギー吸収を過大に評価する傾向が確認できた。

よって、通常的设计で考えられるような変形角 $R \leq 1/100$ 程度の範囲においては、長方形断面CFT柱の履歴モデルに正方形断面を対象としたCFT指針の履歴モデルが適用できるものと考えられる。

## 8. まとめ

コンクリート充填長方形鋼管の復元力特性モデルを、単調曲げ実験及び繰返し曲げ実験に基づいて検討した。

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 長方形断面 CFT 柱の復元力特性は、正方形断面を対象とした tri-linear 型の骨格曲線と履歴曲線を用いた復元力モデルによって、変形角  $R \leq 1/100$  程度の範囲においては精度よく評価することができる。

- エネルギー吸収能力の面においては、変形角  $R=1.0\%$  の範囲までは復元力モデルが実験結果を精度よく評価しているが、変形角  $R=2.0\%$  を超えると実験結果に対してモデルの除荷剛性が高く評価され、エネルギー吸収を過大に評価する傾向がある。

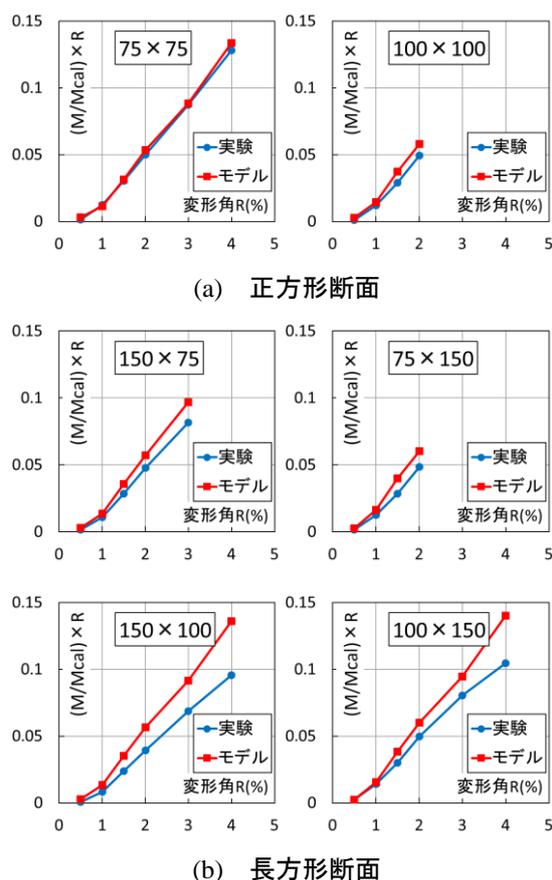


図-6 エネルギー吸収能力の比較

## 参考文献

- 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
- 荒井望，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3 長方形 CFT の曲げ性状—，日本大学生産工学部学術講演会講演概要，pp.27-30，2013.12
- 岡修平，荒井望，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4 長方形 CFT 柱の繰返し曲げ性状—，日本大学生産工学部学術講演会講演概要，pp.31-34，2013.12