

## 矩形 CFT 柱の耐力低下に関する研究

日大生産工(院) ○今井 皓己 日大生産工 藤本 利昭  
日大生産工(院) 大石 琴 日大生産工(院) 助川 海都

### 1. まえがき

矩形断面を有するコンクリート充填鋼管 (Concrete Filled Steel Tube, 以下CFT) 構造の柱材に関する研究<sup>1)3)</sup>が継続的に行われている。CFT構造には鋼管の座屈後やコンクリート圧壊後の耐力低下の緩和が特徴として挙げられるが、これらの研究では耐力低下に着目した知見は少ない。

そこで本研究ではこれまでに実施した曲げ実験及び一定軸力下の曲げ実験の試験体15体の実験結果から変形能力および耐力低下について検討を行う。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体概要

試験体形状は支点間距離を900mmに統一し、試験体両端のエンドプレートを支点、試験体中央部のダイアフラムを模擬したプレートを加力点としている。断面形状は150mm×150mm, 150mm×100mm, 150mm×75mmとし長方形断面については強軸曲げと弱軸曲げの2方向の5種類の断面とした。実験に使用した鋼材の

表 1 鋼材の機械的性質

STKR400 [5号試験片]	$t$ [mm]	$\sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_s$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_s$ [%]
150 (N0,N20,N30)	4.22	417	496	205	32.2
100s (N0,N20,N30)	4.19	382	464		34.7
100w (N0,N20,N30)					31.6
75s (N0,N20,N30)	4.25	418	481		31.6
75w (N0,N20,N30)					31.6

$t$ : 板厚,  $\sigma_y$ : 降伏強度,  $\sigma_u$ : 引張強度,  $E_s$ : ヤング率,  $\epsilon_s$ : 伸び率

機械的性質を表1に、コンクリートの材料特性を表2に示す。試験体は一般構造用角形鋼管 STKR400,  $F_c=33\text{N/mm}^2$ の普通コンクリートを使用した。

なお、試験体名は短辺の長さを示しており、“s”は強軸曲げ、“w”は弱軸曲げ、“N”は軸力比を表している。軸力比 ( $N/N_0$ ,  $N_0=sA\cdot\sigma_y+cA\cdot\sigma_B$ , ここで、 $N$ : 作用軸力,  $N_0$ : CFT柱の圧縮耐力,  $sA$ ,  $cA$ : 鋼管, コンクリートの断面積とする。)は0, 0.2, 0.3としており、断面形状5種類×軸力比3種類の計15体の試験体を用いた。

#### 2.2 実験方法

図1, 2に曲げ実験, 一定軸力下の曲げ実験の载荷方法を示す。

曲げ実験 (軸力比0) は2000kN万能試験機を用いて行い、測定は試験体両端に各2本の計4本の変位計を用いて試験体の変形を測定した。

一定軸力下の曲げ実験 (軸力比0.2, 0.3) は500kN油圧ジャッキを取り付けた軸力载荷用フレームを5000kN構造物試験機に組み込み、軸力を一定に保った状態で実験を行った。測定は曲げ実験と同様に変位計を設置した。

表 2 コンクリートの材料特性

普通コンクリート [ $F_c=33\text{N/mm}^2$ ]	$\sigma_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_c$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	$\epsilon_c$ [%]	材齢 [日]
軸力比0	36.3	30.8	0.22	82
軸力比0.2, 0.3	38.7	31.8	0.21	169

$\sigma_B$ : 圧縮強度,  $E_c$ : ヤング率,  $\epsilon_c$ : 圧縮強度時ひずみ

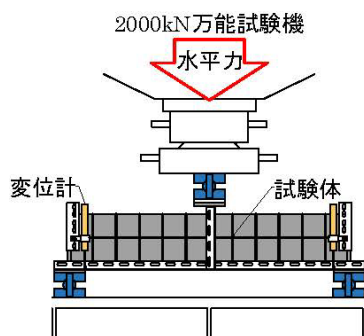


図 1 曲げ実験

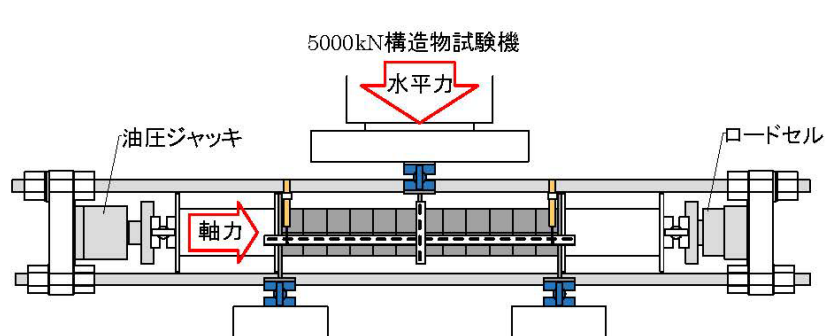


図 2 一定軸力下の曲げ実験

Study on the Strength Reduction of Rectangular CFT Columns

Koki IMAI, Toshiaki FUJIMOTO,  
Koto OISHI and Kaito SUKEGAWA

### 3. 実験結果

#### 3.1 実験結果概要

実験結果一覧を表3, 耐力および部材角の評価方法を図3に示す。表中の最大曲げモーメントの計算値 $M_{cu}$ は文献4)の式を用いて求めている。実験値 $M_{eu}$ は試験機より得られた荷重 $P_{eu}$ より求めており、軸力比0.2, 0.3の試験体については作用軸力 $N$ と変位 $\delta$ によって生じる付加曲げモーメント( $N\delta$ )を考慮した値としている。

(図3参照) また、限界部材角 $R_u$ は最大荷重から5%耐力低下した時の部材角としている。

ここで、 $\delta$ : 変位計より得られた変位とし、変位は局部座屈発生後に部材の変形が非対称に

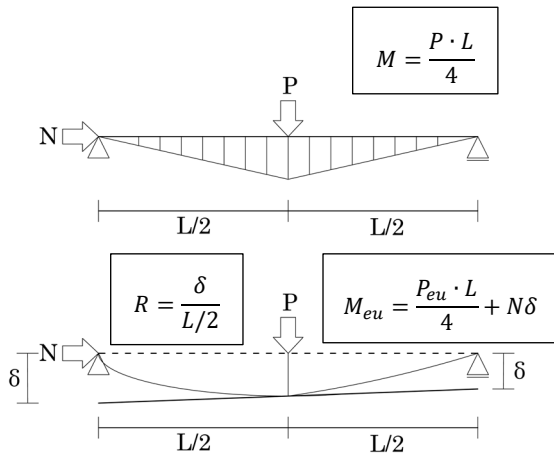


図3 耐力および部材角の評価方法

なることから、左右各2本の変位計の値から、大きい方の平均値としている。

#### 3.2 水平力-部材角関係

図4に軸力比0, 0.2の試験体, 図5に軸力比0.2, 0.3の試験体の水平力-部材角関係を示す。それぞれ図の(a)は強軸曲げ, (b)は弱軸曲げを示している。図の縦軸は水平荷重 $P_e$ , 横軸は部材角 $R$ とし、図中のプロットは最大荷重時の変形角 $R_{max}$ としている。

図4(a), (b)より、強軸曲げ, 弱軸曲げともに軸力比0の方が最大荷重や $R_{max}$ は大きな結果になっている。断面形状による比較を行うと軸力比0では75w-N0を除くと $R_{max}$ は正方形断面より小さな値となったが、軸力比0.2では正方形断面より長方形断面の方が大きな値を示した。また、軸力比0の長方形断面の試験体4体は最大耐力発揮後に大きな耐力低下はみられなかったが、正方形断面に関しては部材角6%で耐力低下がみられる。これは試験体中央部の加力プレート近傍に亀裂が生じたためである。

図5(a), (b)より、長方形断面では強軸曲げ, 弱軸曲げともに軸力比0.2の方が最大荷重及び $R_{max}$ は大きい、軸力比0.2, 0.3では大きな差異はなく同一の挙動を示している。軸力比0.3も軸力比0.2と同様に正方形断面より長方形断面の方が $R_{max}$ は大きくなった。また、弱軸曲げに関しては短辺の長さが短いほど $R_{max}$ は大きくなる傾向がみられた。

表3 実験結果一覧

試験体	$P_{cu}$ [kN]	$P_{eu}$ [kN]	$P_{eu}/P_{cu}$	$M_{cu}$ [kN·m]	$M_{eu}$ [kN·m]	$M_{eu}/M_{cu}$	$R_{max}$ [%]	$R_u$ [%]	$N$ [kN]
150-N0	276	364	1.32	62.1	81.9	1.32	4.44	6.59	0
100s-N0	194	278	1.44	43.6	62.6	1.44	2.42	7.95	0
100w-N0	142	199	1.41	31.9	44.9	1.41	3.05	7.23	0
75s-N0	179	240	1.34	40.3	54.1	1.34	3.13	6.82	0
75w-N0	105	141	1.34	23.7	31.8	1.34	5.24	7.98	0
150-N20	304	341	1.12	68.4	78.8	1.15	1.20	2.97	352
100s-N20	209	258	1.23	47.0	60.3	1.28	1.93	3.46	249
100w-N20	154	182	1.18	34.6	42.7	1.23	1.56	2.61	251
75s-N20	186	218	1.17	41.9	51.3	1.22	1.94	3.50	250
75w-N20	111	121	1.09	25.0	29.1	1.16	1.74	2.48	221
150-N30	302	330	1.09	67.9	77.4	1.14	1.28	2.49	496
100s-N30	205	245	1.19	46.2	57.8	1.25	1.55	2.66	375
100w-N30	151	173	1.15	33.9	41.4	1.22	1.49	2.20	375
75s-N30	182	208	1.14	41.0	49.3	1.20	1.53	2.74	332
75w-N30	107	108	1.00	24.2	26.8	1.11	1.63	2.24	333

$P_{cu}, P_{eu}$ : 最大荷重の計算値, 実験値,  $M_{cu}, M_{eu}$ : 最大曲げモーメントの計算値, 実験値  
 $R_{max}$ : 最大荷重時の部材角,  $R_u$ : 限界部材角,  $N$ : 平均作用軸力

### 3.3 限界部材角

図6に限界部材角 $R_u$ を短辺の長さで比較したものを示す。(a)は軸力比0の試験体、(b)は軸力比0.2, 0.3の試験体とし、図の縦軸は限界部材角 $R_u$ 、横軸は短辺の長さとしている。なお、軸力比0の試験体は軸力比0.2, 0.3の試験体に比べて大きな値を示したため、図6(a)は軸力比0の試験体のみを検討としている。

図6(a)より、長方形断面は正方形断面より大きな値を示し、短辺100mmでは強軸曲げが、短辺75mmでは弱軸曲げが大きくなった。

図6(b)より、軸力比0.2の試験体の方が限界

部材角は大きな値を示し、曲げ方向では弱軸曲げより強軸曲げの方が大きな値を示した。軸力比0.2の強軸曲げでは短辺の長さが短い(フランジの幅厚比が小さい)ほど限界部材角は大きくなっており、弱軸曲げでは短辺の長さが短い(ウェブの幅厚比が小さい)ほど限界部材角は小さくなった。軸力比0.3では、強軸曲げは軸力比0.2と同様の傾向を示したが、弱軸曲げでは同様の傾向を示さず、短辺100mmと75mmは同程度の値となった。軸力比0.2, 0.3の限界部材角は強軸曲げ>正方形断面>弱軸曲げとなった。

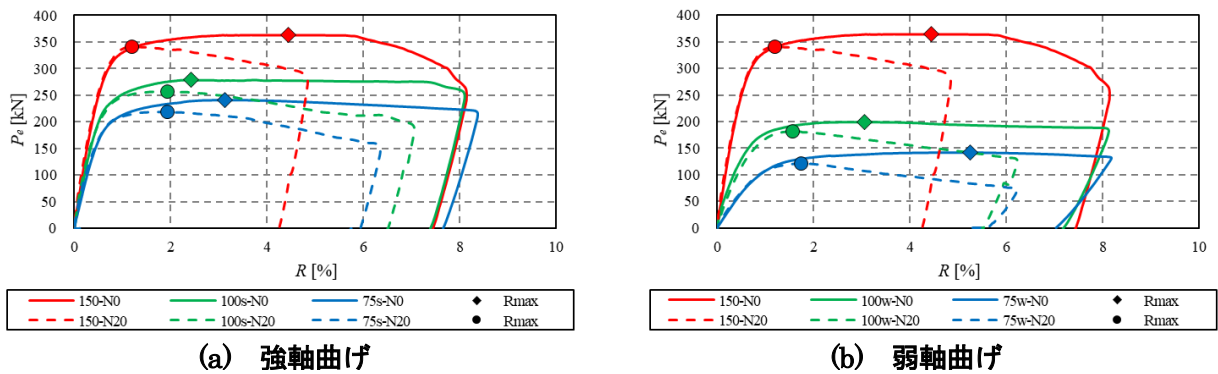


図4 水平力-部材角関係(軸力比 0, 0.2)

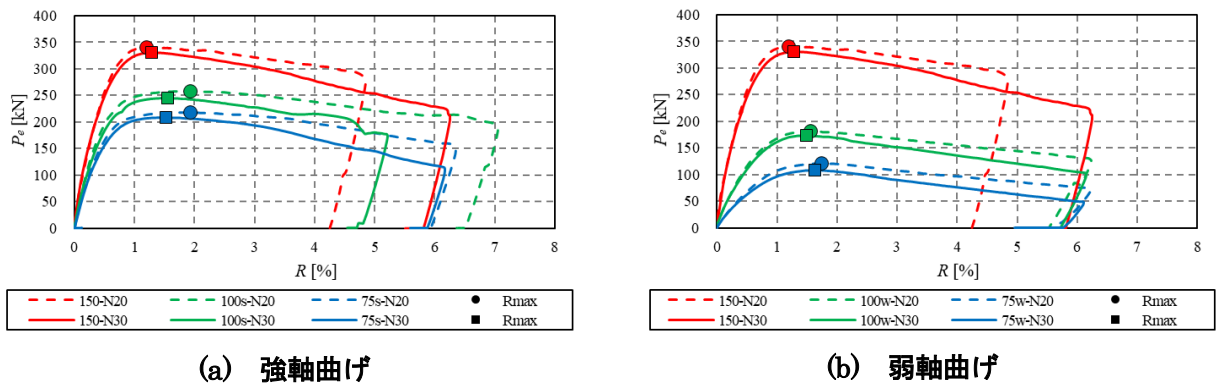


図5 水平力-部材角関係(軸力比 0.2, 0.3)

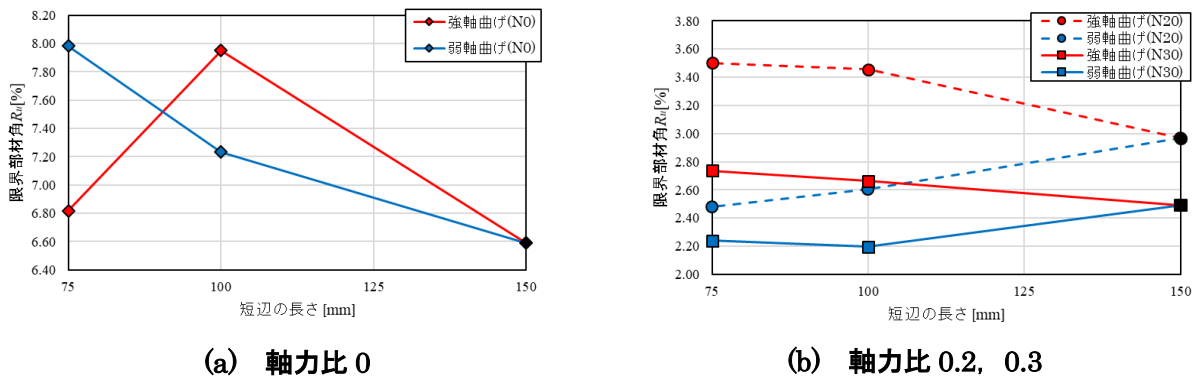


図6 限界部材角と短辺の長さ関係

### 3.4 耐力低下

#### (a) 耐力低下

図7に耐力低下と短辺の長さ関係を示す。図の縦軸は耐力低下、横軸は短辺の長さとし、(a)は軸力比0, 0.2, (b)は軸力比0.2, 0.3としている。なお、縦軸の「耐力低下」は図8に示すように縦軸を $P_d/P_{eu}$ 、横軸を部材角 $R$ とした図の最大荷重点( $P_{eu}/P_{eu}$ )から5%耐力低下した点( $P_d/P_{eu}$ )の傾きと定義する。

図7(a)より、軸力比0.2の弱軸曲げでは短辺の長さが短いほど耐力低下は大きくなっているが、強軸曲げでは大きな差異はない。軸力比0の長方形断面では短辺75mmの方が耐力低下は大きい。

図7(b)より、軸力比0.3は軸力比0.2の結果と同様の傾向を示していることがわかる。軸力が作用した試験体の場合、弱軸曲げの方が断面形状による差が顕著になり、強軸曲げでは弱軸曲げのように大きな差異はない。弱軸曲げでは、座屈長さ径比( $l/D$ )が異なるため差が顕著に表れていると考えられる。

#### (b) 付加曲げモーメントの影響

図9に耐力低下-付加曲げの割合関係を示す。図の縦軸は耐力低下、横軸は付加曲げの割合としている。なお、横軸の「付加曲げの割合」は最大曲げモーメントの実験値のうち付加曲げモーメントが占める割合( $N\delta/M_{eu}$ )と定義する。

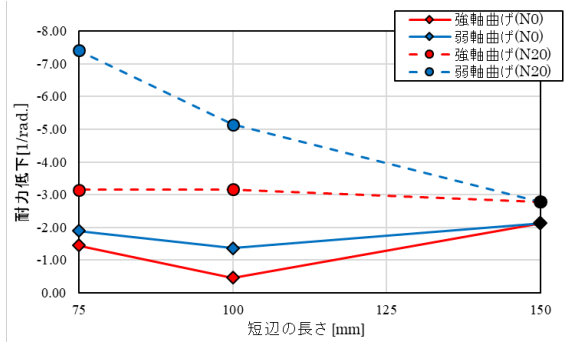
図9より付加曲げの割合は短辺の長さが短いほど大きくなっており、強軸曲げより弱軸曲げの方が大きい。弱軸曲げでは、付加曲げの割合が大きいほど耐力低下が大きくなっている。一方強軸曲げでは、付加曲げモーメントが耐力低下に及ぼす影響は小さいと考えられる。

弱軸曲げかつ短辺の長さが短い方が軸力の影響を大きく受けることがわかる。

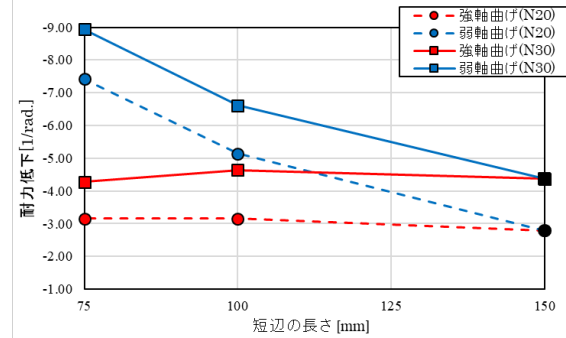
### 4. まとめ

曲げ実験及び一定軸力下の曲げ実験から得られた知見を以下に示す。

- ・ 軸力比0.2, 0.3では最大荷重や $R_{max}$ に大きな差異はない。
- ・ 限界部材角は軸力比が小さいほど大きくなっており、軸力比0.2, 0.3では強軸曲げ>正方形断面>弱軸曲げとなった。
- ・ 耐力低下は弱軸曲げの方が断面形状による差異が大きく、短辺の長さが短いほど大きい。
- ・ 弱軸曲げかつ短辺の長さが短い方が軸力の影響を大きく受ける。弱軸曲げは、座屈長さ径比が異なることが影響していると考えられる。



(a) 軸力比0, 0.2



(b) 軸力比0.2, 0.3

図7 耐力低下-短辺の長さ関係

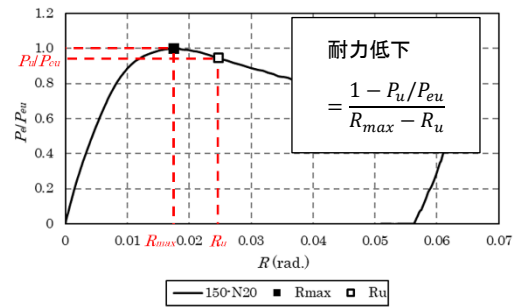


図8 耐力低下の定義例

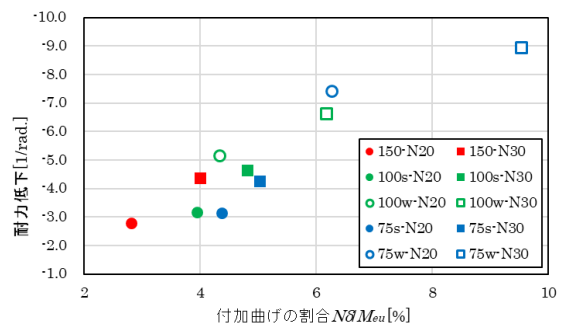


図9 耐力低下-付加曲げの割合関係

#### 参考文献

- 1) 長崎ら：コンクリート充填長方形鋼管の構造性能に関する実験的研究-その1 圧縮性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1537-1538, 2013.8
- 2) 荒井ら：コンクリート充填長方形鋼管の構造性能に関する実験的研究-その2 曲げ性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1539-1540, 2013.8
- 3) 城戸ら：長方形 CFT 柱の圧縮性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1395-1396, 2017.8
- 4) 藤本ら：断面形状を考慮した角形 CFT 柱の設計式, 日本建築学会技術報告集, Vol.15, No.31, pp.757-760, 2009.10