コンクリート充填鋼管柱の構造性能に関する調査研究

RESEARCH STUDY ON STRUCTURAL PERFORMANCE OF CONCRETE FILLED STEEL TUBULAR COLUMNS

藤本利昭 — *1 田中宏和 — *2
出水俊彦 — *3 西内晃二 — *4
上田弘樹 — *5 福元敏之 — *6

Toshiaki FUJIMOTO — *1 Hirokazu TANAKA — *2
Toshihiko DEMIZU — *3 Koji NISHIUCHI — *4
Hiroki UEDA — *5 Toshiyuki FUKUMOTO — *6

キーワード：
コンクリート充填鋼管, 柱材, 曲げせん断実験, 曲げ耐力, 限界部材角, 文献調査

Keywords:
Concrete filled steel tube, Column, Beam-column test, Bending strength, Limit rotation angle, Review of the existing study

Concrete filled steel tubular (CFT) columns have become popular as structural member used for buildings, moreover, a large number of beam-column specimens have been tested. CFT structures are designed by either of the two standards, now. The superposed strength method is basically adopted for the design formulas in both of these standards, only considering the equilibrium of force. However, the lateral force-thrust-rotation angle relationships are not clear. Therefore, in this study, the structural performance of CFT columns have been examined based on the review of existing studies. As a result, the yield strength, the ultimate strength and the lateral force-thrust-rotation angle relationships of the CFT beam-columns have been clarified based on the existing studies.

1. はじめに

近年, コンクリート充填鋼管(Concrete filled steel tube, 以下, CFT とする)は, その優れた構造性能が注目され, 数多くの実験研究が行われている。現在 CFT 構造の設計は, 一般的に新都市ハウジング協会(以下, ANUHT)「CFT 構造技術指針・同解説」¹⁾(以下, CFT 指針とする), および日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」²⁾(以下, SRC 規準とする)が用いられる。

しかしながらこれらの規準では, 異なる耐力式が用いられ, 実際の部材挙動との関係は必ずしも明らかになっているとは言えず, 設計者の判断に委ねられている部分が多い。

そこで本報では, 近年蓄積されてきた CFT 柱部材実験データを既往の文献より調査することによって, 実験データと設計式との対応の比較を行った。特に本報では, 今後の性能設計に対応するべく, 各耐力値を変形性状と関連づけて比較検討を行ったので報告する。³⁾

2. SRC 規準および CFT 指針の概要と適用範囲

表 1 に SRC 規準, 表 2 に CFT 指針の適用範囲を示す。

SRC 規準の適用範囲は比較的広く, 曲げ耐力の算定式は柱長さ径比 $L_k/D=12$ を境に $L_k/D>12$ では柱の全体座屈(P- δ 効果)の影響を考慮した式になっている。それに対して CFT 指針の適用範囲は, 材料強度の適用範囲が若干異なるものの, 基本的には SRC 規準と同一である。ただし曲げ耐力の算定式は柱長さ $L_k/D \leq 12$ の柱を更に $H_u/D=6$ を境に分類している。また, 円形断面は径厚比 $D/t=67$, 角形断面は $B/t=44, 55$ によって用いる式が異なる。一般的に新都市式といわれている鋼管とコンクリートによる相互作用(コンファインド効果)を考慮した式は, 表 2 に示す H_u/D

表 1 SRC 規準の適用範囲²⁾

座屈長さ径比		$L_k/D \leq 12$		$12 < L_k/D \leq 30$
コンクリート強度 F_c (MPa)		$18 \text{ MPa} < F_c < 60 \text{ MPa}$		
鋼管材料強度 (MPa)		400, 490, 520 MPa		
円形断面	径厚比	$D/t \leq 150 \cdot 235/F$	曲げ耐力	
			軸力	短柱式
				長柱式
				-
角形断面	幅厚比	$B/t \leq 72 \cdot \sqrt{235/F}$	曲げ耐力	
			軸力	短柱式
				長柱式
				-

L_k : 柱座屈長さ, D, B : 断面径, 幅, D/t : 径厚比, B/t : 幅厚比, F : 鋼材の基準強度, N_t : 柱制限軸力, A_c : コンクリートの断面積, A_s : 鋼管の断面積, σ_y : 鋼管降伏強度

表 2 CFT 指針の適用範囲¹⁾

座屈長さ径比		$H_u/D \leq 6$		$H_u/D > 6$ かつ $L_k/D \leq 12$	$12 < L_k/D \leq 30$
コンクリート強度 F_c (MPa)		$24 \text{ MPa} < F_c < 90 \text{ MPa}$			
鋼管材料強度 (MPa)		400, 490, 520, 570, 590 MPa			
円形断面	径厚比	$D/t \leq 67$	曲げ耐力	新都市式	SRC 規準短柱式 ($r_u=1.0$)
				SRC 規準長柱式 ($r_u=1.0$)	
				$N_t \leq 1/3 \cdot A_c \cdot F_c + 2/3 \cdot A_s \cdot \sigma_y$	$N_t \leq 0.4 N_e^*$
				$N_t \leq 0.7 N_e$	$N_t \leq 0.4 N_e^*$
角形断面	幅厚比	$44 < B/t \leq 55$	曲げ耐力	新都市式	SRC 規準短柱式 ($r_u=1.0$)
				SRC 規準長柱式 ($r_u=1.0$)	
				$N_t \leq 1/3 \cdot A_c \cdot F_c + 2/3 \cdot A_s \cdot \sigma_y$	$N_t \leq 0.4 N_e^*$
				$N_t \leq 0.7 N_e$	$N_t \leq 0.4 N_e^*$

H_u : 柱の内法階高, r_u : 充填コンクリート強度の低減係数, N_e : 柱の終局圧縮耐力($=A_c \cdot F_c + A_s \cdot \sigma_y$), ※原則値, ただし書きは CFT 指針参照

*1 安藤建設機技術研究所 研究員・博士(工学)
(〒356-0058 埼玉県入間郡大井町中央1-19-61)

*2 榊奥村組

*3 佐藤工業(株)建築本部設計部門 課長・工修

*4 榊鴻池組東京本店建築設計部 工修

*5 新都市ハウジング協会

*6 鹿島建設機技術研究所 主管研究員・工博

*1 Research Engineer, ANDO Corporation Research Center, Dr. Eng.

*2 Okumura Corp.

*3 Manager, Design & Consulting Dept., Building & Architecture Div., Sato Kogyo Co., Ltd., M. Eng.

*4 Tokyo Head Office Building Design Div., KONOIKE Construction Co., Ltd., M. Eng.

*5 Association of New Urban Housing Technology

*6 Chief Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, Dr. Eng.

≤ 6 で $D/t \leq 67$, $B/t \leq 55$ の範囲のみで使用が可能となっている。

3. 収集した実験データの諸元

表 3 に調査した試験体の諸元を示す。既往の文献の調査は、日本建築学会大会梗概集を中心に 1997 年以前の文献^{4)~40)}を収集し調査したが、 $L_k/D > 12$ となるような長柱のデータが殆ど得られなかったことから、比較のために 1999 年に ANUHT にて実施された長柱の曲げせん断実験⁴¹⁾を追加した。採用した試験体は、鋼管の外径 (D) が円形 200mm, 角形 150mm 以上、鋼管の内側表面の突起や補強筋等特別に補強されていないもの、充填コンクリートが高強度を含む普通コンクリートを使用したものとした。また、実験では逆対称加力、または片持ち柱形式で行われるため、せん断スパン比 $M/QD (= 1/2 \cdot H_g/D = 1/2 \cdot L_k/D)$ で分類表示した。

表 3 によれば、採用した試験体の内訳は、 $M/QD \leq 3$ の試験体が全体の約 70% を占め、 $3 < M/QD \leq 15$ の試験体は少ないことがわかる。材料強度、軸力比に関しては、幅広く実験が行われていると考えられるが、径厚比(幅厚比)は、 $D/t \leq 66.7$, $B/t \leq 55.6$ であり、CFT 指針の新都市式の適用範囲となる $D/t \leq 67$, $B/t \leq 55$ を越える試験体は殆どなく、柱長さの比較的短い試験体に関する実験が多いことがわかる。

表 3 実験データの諸元

範囲	円形断面	角形断面
試験体総数	69	164
$M/QD \leq 3$	51	107
$3 < M/QD \leq 6$	12	36
$6 < M/QD \leq 15$	6	21
形状 M/QD	$3 \leq M/QD \leq 12$	$2 \leq M/QD \leq 12$
外形 (D)	$200 \leq D \leq 318.5$	$150 \leq D \leq 300$
鋼管		
径厚比 (D/t), 幅厚比 (B/t)	$21.2 \leq D/t \leq 66.7$	$13.8 \leq B/t \leq 55.6$
降伏強度 σ_y (MPa)	$284 \leq \sigma_y \leq 798$	$277 \leq \sigma_y \leq 825$
引張強度 σ_u (MPa)	$449 \leq \sigma_u \leq 884$	$412 \leq \sigma_u \leq 865$
コンクリート強度 σ_c (MPa)	$29.1 \leq \sigma_c \leq 100.7$	$25.6 \leq \sigma_c \leq 113.5$
軸力比 N/N_0	$0.10 \leq N/N_0 \leq 0.76$	$0.10 \leq N/N_0 \leq 0.87$

※: $M/QD = 1/2 \cdot H_g/D = 1/2 \cdot L_k/D$

4. 曲げ耐力の比較検討

本章では、調査した実験結果より求めた曲げ耐力と各規準 (SRC 規準, CFT 指針) による曲げ耐力設計式による計算値との比較を行った。なお各設計式は、柱長さ径比により区分されていることから、検討は CFT 指針の新都市式の適用範囲であるせん断スパン比 $M/QD \leq 3$ の試験体と、SRC 規準式の適用範囲となる $3 < M/QD \leq 6$, $6 < M/QD$ の試験体を区別して比較した。また各規準の計算曲げ耐力は、実験による耐力が軸力による付加曲げモーメントを含めた値で整理されているため、ここでは表 1, 2 に示す長柱の耐力式の適用範囲になる試験体に関しても、短柱の耐力式を用いて比較した。

4.1 短期許容曲げ耐力

4.1.1 $M/QD \leq 3$ ($L_k/D \leq 6$) 試験体

$M/QD \leq 3$ の試験体に対する CFT 指針, SRC 規準の短期許容曲げ耐力は、充填コンクリートの強度の評価方法が異なる。表 4 に示すように、CFT 指針ではコンクリートの拘束効果を考慮し SRC 規準に比べ高い値を用いることができるため、結果的に曲げ耐力が高く評価される。その割合は材料強度、径厚比・幅厚比により異なるが、今回調査した試験体に対する各規準の計算耐力は、CFT 指針式が SRC 規準式に比べ平均で円形断面が 29%, 角形断面が 11% 高い値であった。

また CFT 柱の曲げ耐力算定式は、両規準とも基本的に累加強度式が

用いられているため、計算耐力に達する時の変形量は明らかではない。SRC 規準では、累加強度式による短期許容曲げ耐力が、平面保持の仮定に基づく短期許容曲げ耐力に比べ大きくなることを指摘し、SRC 断面における短期許容曲げ耐力時の変形量を解析的に検討した結果、部材角 R がほぼ $R=1/200$ に収まることを示している。しかしながら、実験結果について検証されていないこと、更に CFT 柱については触れられていないことから、実験による部材角 $R=1/200$ 時での曲げ耐力と各規準における短期許容曲げ耐力とを比較した。

図 1 に各規準の短期許容曲げ耐力と、実験による $R=1/200$ の曲げ耐力を比較して示す。なお図中では各規準の適用範囲外となる試験体(図中の●, ■)を区別して表示した。適用範囲内の試験体の $R=1/200$ における曲げ耐力は、SRC 規準, CFT 指針の短期許容曲げ耐力を概ね上回っていることから、CFT 柱の短期許容曲げ耐力に到達するときの変形は、ほぼ $1/200$ 以下に収まっていると言える。

また、適用範囲外の試験体に計算耐力を下回るものが認められるが、これら試験体は主に高張力鋼(例えば 80 キロ鋼等)を用いた試験体であった。

表 4 充填コンクリートの設計強度の比較

規準	SRC 規準	CFT 指針
短期許容圧縮強度	$f'_c = \frac{2}{3} \cdot F_c$	$f'_c = \min \left\{ \frac{2}{3} F_c, F_c \right\}$
圧縮強度 (円形)	$c\sigma_{cB} = c\eta_U \cdot F_c + \alpha \cdot k_c \left(\frac{2t}{D-2t} \right) \sigma_y$ ここで、 $\eta_U=0.85$, $\alpha=0.19$, $k_c=4.1$	$cF_c = F_c + \alpha \cdot k_c \cdot \left(\frac{2t}{D-2t} \right) \cdot \sigma_y$ ここで、 $\alpha=0.3$, $k_c=4.0$
圧縮強度 (角形)	$c\sigma_B = c\eta_U \cdot F_c$	$cF_c = F_c + K_R \cdot \left(\frac{t}{B} \right)^2 \cdot \sigma_y$ ここで、 $K_R=21$, $\frac{t}{B} \leq \frac{1}{21}$

(a) 円形 (b) 角形
図 1 短期許容曲げ耐力の比較 ($M/QD \leq 3$)

(a) 円形 (b) 角形
図 2 短期許容曲げ耐力と軸力比との比較 ($M/QD \leq 3$)

図2には、 $R=1/200$ における曲げ耐力と各規準の短期許容曲げ耐力との比を軸力比(N/N_0)と比較して示す。規準により高軸力のデータのプロット数が異なっているが、これは試験体の載荷軸力が各々の短期許容軸圧縮耐力を越えているため、曲げ耐力が算定できない試験体(計算上曲げ耐力が0の試験体)があることに起因している。

同図より、ばらつきが大きいものの軸力比が高くなるほど曲げ耐力比が大きくなる傾向が認められる。これは軸力比が高くなるほど短期許容曲げ耐力時の変形が小さくなることを意味するが、短期許容曲げ耐力の値自体が軸力の上昇に伴い小さくなるのが大きな理由であると考えられる。

4.1.2 $3 < M/QD$ ($6 < L_k/D$) 試験体

図3にSRC規準の短期許容曲げ耐力と、実験による $R=1/200$ の曲げ耐力を比較して示す。

円形断面(図3(a))および角形断面(図3(b))の $R=1/200$ における曲げ耐力は、ばらつきは大きいがSRC規準の計算値とほぼ同等であり、 $3 < M/QD$ のCFT柱の短期許容曲げ耐力に到達するときの変形は、ほぼ $1/200$ 前後と考えられる。また、 $6 < M/QD$ の試験体に関しても、 $3 < M/QD \leq 6$ の試験体とほぼ同様の傾向である。

4.2 終局曲げ耐力

4.2.1 $M/QD \leq 3$ ($L_k/D \leq 6$) 試験体

円形断面CFT柱の終局耐力は、各規準ともコンファインド効果を考慮した式を採用しているが、それぞれにおいて充填コンクリートの圧縮強度 σ_{cb} 、 F_c の取り方が異なっている。具体的に表4に示す強度式において、1) プレーンコンクリートの圧縮強度の取り方(右辺第一項)が、CFT指針では F_c を用いるのに対し、SRC規準では F_c に低減係数 $\gamma_v=0.85$ を乗じること、2) 鋼管の拘束によるコンクリート強度の上昇(右辺第二項)に関してコンクリートの拘束係数 k_c が異なること、3) 鋼管の周方向応力(拘束応力) $\alpha \cdot \sigma_y$ をCFT指針がSRC規準に比べ大きく評価していること、である。これによって、鋼管の曲げモーメント-軸力関係を表す(1)、(2)式における鋼管の軸方向応力比 β_1 、 β_2 が、SRC規準では $\beta_1=0.89$ 、 $\beta_2=1.08$ 、CFT指針では、 $\beta_1=0.82$ 、 $\beta_2=1.12$ となっている。

$$N = \left\{ \beta_1 \cdot \theta_n + \beta_2 \cdot (\theta_n - \pi) \right\} \left(1 - \frac{t}{D} \right) \cdot D \cdot t \cdot \sigma_y \quad (1)$$

$$M = (\beta_1 + \beta_2) \sin \theta_n \frac{(1-t/D)^2}{2} \cdot D^2 \cdot t \cdot \sigma_y \quad (2)$$

次に角形断面に関しては、鋼管の耐力評価は同一であるもののコンクリート強度の取り方は、表4に示すとおり異なり、CFT指針では拘束によるコンクリートの強度上昇を評価した式になっている。

以上のことにより、円形、角形断面ともにCFT指針の終局曲げ耐力式がSRC規準に比べ大きな耐力を与えることになり、その割合は今回調査した試験体に対してCFT指針式がSRC規準式に比べ平均で円形断面が13%、角形断面が9%高い値であった。

各規準の終局曲げ耐力計算値と実験結果との比較を行うにあたり、CFT柱の場合、特に円形断面では実験における最大耐力を発揮するときの部材角 R が大きいと考えることから、まず通常的设计で考えられている部材角を $R=1/100$ と想定して、その時の曲げ耐力について調査を行い比較した。

まず、図4に $R=1/100$ における実験曲げ耐力と、終局曲げ耐力計算値とを比較して示す。各規準の適用範囲外の試験体はばらつきが大きい

図3 短期許容曲げ耐力の比較($3 < M/QD$)

図4 終局曲げ耐力($M/QD \leq 3$)

図5 $R=1/100$ における曲げ耐力と各パラメータの比較($M/QD \leq 3$)

が、適用範囲内の試験体に関しては、概ね実験値と計算値と対応しており、ほぼ $R=1/100$ の変形で終局曲げ耐力計算値に達するものと考えられる。

次に $R=1/100$ における実験曲げ耐力と終局曲げ耐力計算値との比を軸力比 N/N_o 、コンクリート強度 σ_B 、鋼管降伏強度 σ_y と比較して図5に示す。実験データはばらつきがあり、明確なことは言えないが、以下の傾向が認められる。

- (a) 軸力比が高くなると、曲げ耐力の比が大きくなる。
- (b) コンクリート強度による曲げ耐力の比への影響は明確ではない。
- (c) 鋼管の降伏強度が高くなると、曲げ耐力の比が小さくなる。

これらの傾向について、(a)は軸力比が高くなった場合には計算曲げ耐力が小さくなることから $R=1/100$ 以前に計算曲げ耐力に達することが、(c)は鋼管の強度が高くなると弾性変形が大きくなることから $R=1/100$ では計算曲げ耐力に達しないことが推測される。(b)のコンクリート強度に関しては、コンクリート強度が高くなると剛性も高くなることから、曲げ耐力には明確な傾向が現れなかったものと考えられる。

次に、図6に実験における最大耐力と、終局曲げ耐力計算値とを比較して示す。円形、角形断面共に最大耐力は、適用範囲の内外に関わらず終局曲げ耐力計算値と同等以上の値を示し、各計算式は最大耐力のほぼ下限値を表している。

4.2.2 $3 < M/QD$ ($6 < L_k/D$) 試験体

まず、図7に $R=1/100$ における実験曲げ耐力と、終局曲げ耐力計算値とを比較して示す。円形断面、角形断面共に概ね実験値と計算値と対応しているが、計算値を下回る試験体も見受けられる。せん断スパン比が大きくなると、 $P-\delta$ 効果による付加曲げモーメントにより変形が大きくなり、弾性変形が大きくなることが影響しているものと考えられる。

しかしながら各試験体の最大耐力は、図8に示すとおり円形、角形断面共に終局曲げ耐力計算値と同等以上の値を示し、せん断スパン比が大きくなった場合でも、SRC 規準の終局曲げ耐力設計式は最大耐力のほぼ下限値を表している。

5. 変形性能(限界部材角)

実験による CFT 柱の変形能力の評価方法として、ここでは図9に示すように最大荷重到達以降に最大荷重の95%となった時の変形角を限界部材角 R_u と定義して評価した。

5.1 限界部材角評価式の比較($M/QD \leq 3$ ($L_k/D \leq 6$) 試験体)

SRC 規準では、限界部材角評価式を明確には規定していないが文献42)で提案されている限界部材角評価式を最も適用範囲の広い式として

紹介しているので、ここでは比較に用いた。CFT 指針に関しては、限界部材角の評価式の適用範囲は、新都市式の範囲($M/QD \leq 3$ かつ $D/t \leq 67$, $B/\leq 55$)に限られているので、ここでは $M/QD \leq 3$ の試験体について比較を行った。

表5に、各評価式を比較して示す。これらの式の構成から、CFT 柱の限界部材角 R_u は、鋼管の幅厚比(D/t)・径厚比(B/t)が大きいほど、軸力

図9 限界部材角の定義

表5 限界部材角評価式の比較

断面形状	限界部材角の評価式
CFT 指針	円形 $R_u = \left\{ 6.0\eta - 3 \cdot \frac{N}{cN_o} - 0.035 \cdot \frac{D}{t} \cdot \frac{s\sigma_y}{325} \right\} / 100$ $\eta = 1.0 - \frac{c\sigma_B - 39}{206} \leq 1.0, \quad cN_o = 0.82 \cdot sA_s \cdot \sigma_y + cA_c \cdot F_c$
	角形 $R_u = \left\{ 3.25 - 5.0 \cdot \frac{N}{N_o} + 800\eta \left(\frac{t}{B} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{325}{s\sigma_y}} \right\} / 100$ $\eta = \frac{1}{3} \left(4.0 - \frac{c\sigma_B}{39} \right) \leq 1.0$
文献 42)	円形 $R_u = 8.8 - 6.7 \cdot \frac{N}{N_o} - 0.04 \cdot \frac{D}{t} - 0.012 \cdot c\sigma_B$
	角形 $R_u = \frac{100}{0.15 + 3.79 \cdot \frac{N}{N_o}} \cdot \frac{t}{B} \cdot \beta, \quad \beta = 1.0 - \frac{c\sigma_B - 40.3}{566} \leq 1.0$

比(N/N_0)が高いほど、またコンクリート強度(σ_c)が高いほど小さくなるという CFT 柱の変形性能の特徴を表していることがわかる。

図 10 に各評価式により求めた限界部材角と実験結果を比較して示す。CFT 指針式は、適用範囲内の試験体に対してはほぼ下限値を評価する式となっている。また文献 42) の評価式は、実験値に対してはほぼ平均的な値を評価する式であると言える。ただし両式ともばらつきがあり、適用にあたってはある程度のばらつきを考慮する必要があるといえる。

図 10 限界部材角の比較

5.2 軸力制限値と限界部材角の比較

一方、SRC 規準、CFT 指針では、部材の変形能力を確保する目的で柱軸力の上限值が規定されている。その値は各規準によりこととなるが、表 1 に示した SRC 規準の規定では、SRC 柱の既往の実験データに基づき部材角として $R=1/100$ を確保する指標として規定される。このことは、軸力の大小が変形能力に大きく影響をすることを示している。

図 11 に限界部材角の実験値を、作用軸力 N と SRC 規準の短期許容耐力時の軸力制限値 N_t との比 N/N_t と比較して示す。

同図より、全体の傾向を概観すれば、軸力比 N/N_t が低くなるに従い限界部材角が大きくなる右下がりの傾向が認められ、特に角形断面でその傾向が顕著である。また、柱のせん断スパン比 M/QD が異なる場合でも同様の傾向である。

各軸力比 N/N_t における限界部材角の最小値に着目すれば、円形断面では制限軸力 N_t (縦軸が 1.0) に関わらず、 $R=1.5\%$ ($=1/67$) 程度であり、このような幅広い実験データをプロットしているにもかかわらず、優れた変形能力を有していることがわかる。一方角形断面では、SRC 規準の制限軸力 N_t を越える軸力の試験体は、限界部材角が $R=1.0\%$ ($=1/100$) を下回る試験体が見受けられる。逆に制限軸力以下の試験体はほぼ $R=1/100$ を上回っていることから角形断面に対しては、SRC 規準の軸力制限は、 $R=1/100$ の変形能力を確保するための指標となり得ることがわかる。

同様に図 12 に限界部材角の実験値を、作用軸力 N と終局軸圧縮耐力 N_0 との比 N/N_0 と比較して示す。

同図においても図 11 と同様に、軸力比 N/N_0 が低くなるに従い限界部材角が大きくなる右下がりの傾向が認められる。

円形断面では、軸力が $0.7N_0$ 以上の高軸力の試験体に対しても、 $R=1.5\%$ 以上の変形能力を有していることがわかる。また角形断面では、軸力が $0.4N_0$ 以下の試験体は、 $R=1.0\%$ ($=1/100$) を上回っている。軸力が $0.4N_0$ を越える試験体では、限界部材角が $R=1.0\%$ ($=1/100$) を下回る試験体も認められるが、限界部材角の最小値は、 $R=0.8\%$ ($=1/125$) であった。

図 11 SRC 規準軸力比(N/N_t)と限界部材角の比較

図 12 軸力比(N/N_0)と限界部材角の比較

6. まとめ

以上、CFT 柱の曲げせん断実験を対象に既往の実験結果を整理し、現行の設計規準による設計式との比較を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 既往の曲げせん断実験は、せん断スパン比が $M/QD \leq 3$ 、径厚比・幅厚比が $D/t \leq 66.7$ 、 $B/t \leq 55.6$ の試験体が全体の約 70% を占め、 $3 < M/QD$ の試験体は僅かである。
- 2) SRC 規準、CFT 指針の短期許容曲げ耐力は、部材角 $R=1/200$ の曲げ耐力とほぼ対応している。
- 3) SRC 規準、CFT 指針の終局曲げ耐力は、 $R=1/100$ の曲げ耐力とほぼ対応している。
- 4) 実験による最大曲げ耐力は、SRC 規準、CFT 指針の終局曲げ耐力をほぼ上回る。
- 5) CFT 指針の限界部材角評価式は、適用範囲内においてほぼ下限値を評価できる。
- 6) 円形断面 CFT 柱は、SRC 規準、CFT 指針の制限軸力に関わらず、 $R=1.5\%$ ($=1/67$) 以上の変形能力を有する。
- 7) 角形断面 CFT 柱は、SRC 規準、CFT 指針の制限軸力の規定を満足することで $R=1.0\%$ ($=1/100$) の変形能力が確保できる。

謝辞

本報は(社)新都市ハウジング協会の CFT 構造に関する調査、研究の一環として行われたものである。データの詳細は、大学および所属団体の協力によるもので、ここにあらためて謝意を表します。

参考文献

- 1) 新都市ハウジング協会:CFT 構造技術指針・同解説, 2000
- 2) 日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」, 2001
- 3) 田中宏和, 他:CFT 柱の構造性能に関する調査研究(その1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1117-1120, 2001.9
- 4) 松谷輝雄, 他:コンクリート充填鋼管柱の超高層建物への利用についての実験的研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1263-1264, 1987.

- 10
- 5) 上田弘樹, 他: コンクリート充填鋼管柱の超高層建物への利用についての実験的研究 その4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1269-1270, 1987. 10
- 6) 上田弘樹, 他: コンクリート充填鋼管柱の超高層建物への利用についての実験的研究 その6, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1407-1408, 1988. 10
- 7) 武田寿一, 他: 超々高層建築の開発研究(その 1), 大林組技術研究所報, No.36, pp.57-61, 1988
- 8) 長嶋俊雄, 他: 充填型鋼管コンクリート柱の軸力曲げせん断実験—スパイラル補強角形断面—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1601-1602, 1989. 10
- 9) 斉藤豊, 他: 充填型鋼管コンクリート柱に関する研究(その 1~6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1613-1624, 1989. 10
- 10) 前野敏元, 他: 超高強度遠心成形角形鋼管コンクリート柱の実験的研究 (鋼材種, 巾厚比, 軸力比に関する検討と考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1039-1040, 1990. 10
- 11) 前野敏元, 他: 超高強度遠心成形角形鋼管コンクリート柱の実験的研究 (M/QB= 5, 7, 9 の柱の軸力曲げせん断実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1563-1564, 1991. 9
- 12) 中島将好, 他: コンクリート充填鋼管柱の超高層建物への利用についての実験的研究 その12, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1065-1066, 1990. 10
- 13) 吉川真次, 他: コンクリート充填鋼管柱の超高層建物への利用についての実験的研究 その14, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1069-1070, 1990. 10
- 14) 安崎千博, 他: 低降伏比高張力鋼と高強度コンクリートによる鋼管コンクリート柱の性能 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1803-1804, 1992. 8
- 15) 岩岡信一, 他: 鋼管コンクリート構造の開発 (その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1819-1820, 1992. 8
- 16) 東野良之, 他: 中空およびコンクリート充填角形鋼管柱の終局耐力と変形能力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1839-1840, 1992. 8
- 17) 前野敏元, 他: 超高強度遠心成形角形鋼管コンクリート柱に関する実験的研究 (断面中央に中空部を有する柱の軸力曲げせん断実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1841-1842, 1992. 8
- 18) 原田直哉, 他: 充填型鋼管コンクリート構造に関する実験的研究 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1851-1852, 1992. 8
- 19) 岩岡信一, 他: 鋼管コンクリート構造の開発 (その 5~7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1737-1742, 1993. 9
- 20) 飯田智浩, 他: 高軸力下における充填型鋼管コンクリート柱の曲げせん断実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1743-1744, 1993. 9
- 21) 原田直哉, 他: 充填型鋼管コンクリート構造に関する実験的研究 (その 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1763-1764, 1993. 9
- 22) 時野谷浩良, 他: 内ダイアフラム下部に空隙を有する充てん形鋼管コンクリート柱の構造性能の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1771-1772, 1993. 9
- 23) 最相元雄, 他: 超高強度コンクリート充填円形鋼管柱の動的復元力に関する実験的研究 その4~6, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1777-1782, 1993. 9
- 24) 前野敏元, 他: 高強度コンクリート充填角形鋼管柱(RUC 柱)の曲げせん断実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1791-1792, 1993. 9
- 25) 森田耕次, 他: 80 キロ鋼を用いたコンクリート充填角形鋼管柱の力学的挙動に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1801-1802, 1993. 9
- 26) 前野敏元, 他: せん断スパン比の大きな充填型鋼管コンクリート柱の力学挙動に関する研究 その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1587-1588, 1994. 9
- 27) 小森淳, 他: 充填鋼管コンクリート柱の力学的基本特性 —中心圧縮および曲げせん断実験—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1595-1596, 1994. 9
- 28) 井上貴之, 他: 高強度材料を用いたコンクリート充てん角形鋼管の曲げせん断性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1599-1600, 1994. 9
- 29) 竹崎真一, 他: コンクリート充填鋼管柱の構造性能に関する研究(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1613-1614, 1994. 9
- 30) 今村輝武, 他: 遠心成形コンクリート充填鋼管柱の曲げ耐力および変形能力(その 1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.751-754, 1995. 8
- 31) 井上佳大, 他: 耐火被覆を考慮した鋼管コンクリート柱の耐力と変形能力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.781-782, 1995. 8
- 32) 今北博之, 他: SKK490 級鋼管を用いた SC 杭の載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.805-806, 1995. 8
- 33) 岩沢徹, 他: コンクリート充填角形鋼管柱を用いた骨組の弾塑性挙動に関する実験的研究 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.809-810, 1995. 8
- 34) 美野英司, 他: 軸力と曲げせん断を受けるコンクリート充填鋼管長柱の座屈設計法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.965-966, 1996. 9
- 35) 佐々木聡, 他: ノンダイアフラム形式コンクリート充短角形鋼管柱・鉄骨梁構造の柱・梁仕口部接合剛性に関する研究 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.977-978, 1996. 9
- 36) 長谷部廣行, 他: コンクリート充填鋼管骨組の耐力と変形性状に関する実験的研究 その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.983-984, 1996. 9
- 37) 齋藤啓一, 他: 冷間成形円形鋼管と高強度コンクリートを用いた充填型鋼管コンクリート構造の実験的研究 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1017-1018, 1996. 9
- 38) 森浩二, 他: ハイブリッド構造に関する日米共同構造実験研究(CFT-11~15) コンクリート充てん鋼管柱の曲げせん断性状 その 3~7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1027-1036, 1996. 9
- 39) 松井千秋, 他: 中空およびコンクリート充填角形鋼管柱と H 形鋼梁の新接合形式に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集 No.486, pp.133-142, 1996. 8
- 40) 中克己, 他: 遠心成形コンクリート充填鋼管柱の構造性能に関する実験的研究 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.901-902, 1997. 9
- 41) 山口種美, 他: CFT 長柱の構造性能に関する研究—その 1~5—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1185-1196, 2000.9
- 42) Eiichi Inai, Takashi Noguchi, Osamu Mori and Toshiaki Fujimoto, Deformation Capacity and Hysteresis Model of Concrete Filled Steel Tubular Beam-Columns, Proceedings, The 6th ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, Los Angeles, California, USA, March 22-24, 2000

[2002年4月19日原稿受理 2002年7月23日採用決定]