

# 論文 角形 CFT の45° 方向長・短期許容曲げモーメントに与えるコーナー R 部分の影響について

平出 亨<sup>\*1</sup>・金子 洋文<sup>\*2</sup>・中山 信雄<sup>\*3</sup>・小田島 暢之<sup>\*3</sup>

**要旨:**「新都市ハウジング協会：CFT 構造技術指針・同解説，1999」は角形 CFT の短期曲げ耐力の算定に際し、『コーナー R の実態に即して断面性能を評価する』よう定めている。しかし具体的な評価方法は解説されていないため，本論にてコーナーに R 形状を有する角形 CFT の 45° 方向の長・短期曲げモーメントの算定式の精解を示し，R 部分の影響がどの程度のものであるかを若干の例題を通じて考察する。また計算値と実験結果との比較も行う。

**キーワード:** CFT, 角形, コーナー, R 部分, 45°, 耐力, 許容耐力, 算定式, 精解

## 1. はじめに

2 軸曲げを受ける角形 CFT の断面耐力に関して川口ら<sup>1,2)</sup>はファイバーモデルによる解析結果を基に  $\theta=45^\circ$  方向の終局強度を求めれば  $0 < \theta < 90^\circ$  の範囲の解を正確に得られること，解は載荷経路に依存しないことを示している。時野谷ら<sup>3)</sup>は  $\theta=45^\circ$  と  $0^\circ$  の実験結果が異なることを示し，その理由を角形鋼管角部の応力負担が高いこと，さらに鋼管板厚が厚いほど冷間成形に伴う角部の塑性化の程度が著しいためと考察している。角部の扱いに関しては CFT 造技術基準<sup>4)</sup>は『コーナー R の実態に即して断面性能を評価する』よう定めているが具体的な評価方法が解説されていないため，平出・小田島ら<sup>5)</sup>が全塑性曲げ耐力式の精解，ならびに実験結果との比較を示している。本論では引き続き，長・短期許容曲げモーメントの精解を与える算定式の一例を示し，コーナー R 部分の影響がどの程度のものであるかを若干の例題を基に考察する。また計算値と実験結果との比較も行う。

## 2. 許容曲げモーメント算定式

コーナーに R 形状を有する角形 CFT の 45° 方向の長・短期許容曲げモーメントの算定はかなり煩雑で手計算では困難であるが市販の表計算ソフトに以下の式を一度打込んでおけば比較的容易に精解（厳密解）を得ることができる。

### 2.1 断面の要素分割

断面の要素分割方法の一例と記号の定義は全塑性耐力の場合<sup>5)</sup>と同じである(図-1)。R に関わる削片円板要素は 91~94 番の 4 種類、台形要素は 81~89 番の 9 種類である。これによりコンクリート断面内の R 部と一般部とを分離でき，R 半径が鋼管せい半分時には円形 CFT の長・短期耐力と一致するようになっている。

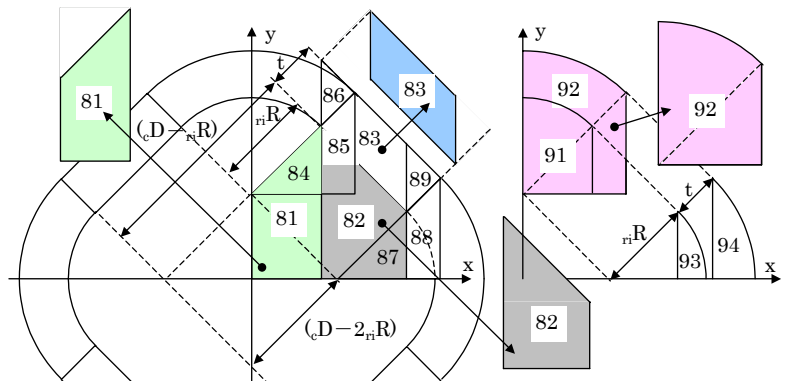


図-1 断面の要素分割方法の一例と記号の定義<sup>5)</sup>

\*1 (株) 竹中工務店 技術研究所 (正会員)

\*2 (株) 竹中工務店 技術研究所 工博

\*3 (株) 竹中工務店 東京本店設計部

## 2.2 軸力算定式

軸力  $N$  (符号は引張正) の式の形自体は全塑性耐力の場合<sup>5)</sup>と同じである。

$$N=2(c_2N+c_3N+t_2N+t_3N+t_3DN) \quad (1)$$

ここで、左下添字“ $c_2, c_3$ ”をコンクリート材料一般・R部, “ $t_2, t_3$ ”を鋼管材料一般・R部, 左添字“ $D, T$ ”を円板・台形要素に各々対応させた。各変数の定義も全塑性の場合<sup>5)</sup>と形は同じである。

$$c_2N=T81^*c_2N+T81^*c_2N+T82^*c_2N+T82^*c_2N -T87^*c_2N-T87^*c_2N \quad (2)$$

$$c_3N=-T84^*c_3N-T84^*c_3N+T87^*c_3N+T87^*c_3N +D91^*c_3N+D91^*c_3N+D93^*c_3N+D93^*c_3N \quad (3)$$

$$t_2N=T83^*t_2N+T83^*t_2N-T86^*t_2N-T86^*t_2N +T89^*t_2N+T89^*t_2N \quad (4)$$

$$t_3N=-T85^*t_3N-T85^*t_3N+T88^*t_3N+T88^*t_3N \quad (5)$$

$$t_3DN=-D91^*t_3N-D91^*t_3N+D92^*t_3N+D92^*t_3N -D93^*t_3N-D93^*t_3N+D94^*t_3N+D94^*t_3N \quad (6)$$

ここで、例えば左上添字“ $T81^*$ ”は台形要素 81 番の  $y$  軸に関する対称要素に対応している。許容耐力の場合、左上添字“ $j$ ”を要素番号添字とし、各円板要素の変数は次式にて与えられる<sup>6)</sup>。なお、以降特記無き場合、左下材料添字 4 種“ $c_2, c_3, t_2, t_3$ ”を省略表記としたので注意されたい。

$$D^jN=2D^jN_{7+1}+3D^jN_{7+1}+2D^jN_{8+1}+3D^jN_{8+1} \quad (7)$$

$$2D^jN_{i+1}=(1/2) \cdot jR^2 \cdot j\sigma_i [j\theta_i - j\theta_{i+1} - (1/2) \times \{\sin(2 \cdot j\theta_i) - \sin(2 \cdot j\theta_{i+1})\}] \quad (8)$$

$$3D^jN_{i+1}=(1/3) \cdot jR^3 \cdot E_{i+1} \cdot \phi [\sin^3(j\theta_i) - \sin^3(j\theta_{i+1})] \quad (9)$$

$$\text{if } \epsilon X_i \leq j_a X, \text{ then } j\theta_i = j\alpha \\ \text{,if } j_b X \leq \epsilon X_i, \text{ then } j\theta_i = j\beta \\ \text{,else } j\theta_i = \cos^{-1} \{(\epsilon X_i - j_0 X) / jR\} \quad (10)$$

$$\epsilon X_i = GX + (\epsilon_i - G\epsilon) / \phi \quad (11)$$

$$j_0 X \sigma_i = \sigma_i + E_{i+1} \cdot \phi (j_0 X - \epsilon X_i) \quad (12)$$

$$E_{i+1} = (\sigma_{i+1} - \sigma_i) / (\epsilon_{i+1} - \epsilon_i) \quad (13)$$

ここで、右下添字“ $i=7,8,9$ ”を応力・歪添字として材料の応力-歪関係を $(\sigma_7, \epsilon_7) - (\sigma_8, \epsilon_8) - (\sigma_9, \epsilon_9)$ という bi-linear にて定義している。 $\sigma_8 = \epsilon_8 = 0$ を原点とし、鋼材においては許容圧縮・引張応力度を各々 $sfc, sft$ とすれば、 $\sigma_7 = -sfc, \sigma_9 = sft$ となる。コンクリートにおいては許容圧縮応力度を $f_c$ とすれば、 $\sigma_7 = -f_c, \sigma_9 = 0$ となる。

図-2 が削片円板要素に関わる変数の定義である。柱断面内の第“ $j$ ”要素内の座標・角度範囲を各々 $[j_a X, j_b X], [j\alpha, j\beta]$ , 図芯位置座標・歪を各々 $G^j X, G^j \epsilon$ , 曲率を $\phi$ とした。鋼管の $G_t \epsilon (= G_{t2} \epsilon = G_{t3} \epsilon)$ ,  $t\phi (= t_2 \phi = t_3 \phi)$ , コンクリートの $G_c \epsilon (= G_{c2} \epsilon = G_{c3} \epsilon)$ , および $c\phi (= c_2 \phi = c_3 \phi)$ の4変数を独立変数としている。4独立変数に値を与えると $\epsilon_i$ に関わる座標 $\epsilon X_i$ , 第“ $j$ ”円板要素半径中心座標 $j_0 X$ に対応する応力 $j_0 X \sigma_i$ , 要素内の $[i, i+1]$ 部分に関わる積分範囲 $[j\theta_i, j\theta_{i+1}]$ が定まる。各削片円板要素の形状を決めるための定数は全塑性耐力の場合<sup>5)</sup>と同じである(表-1)。

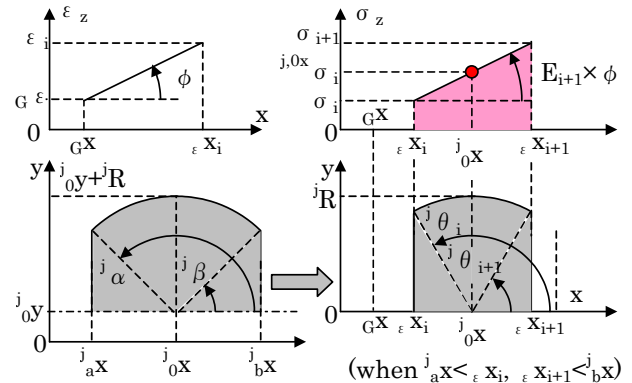


図-2 削片円板要素に関わる変数の定義<sup>6)</sup>

表-1 削片円板要素変数用定数(角45° R有)<sup>5)</sup>

$j$	$j_0 X$	$jR$	$j_a X$	$j_b X$	$j\alpha$	$j\beta$
91	0	$rR$	0	$jR/\sqrt{2}$	$\pi/2$	$\pi/4$
92	0	$rR+t$	0	$jR/\sqrt{2}$	$\pi/2$	$\pi/4$
93	$(cD-2rR)/\sqrt{2}$	$rR$	$j_0 X + jR/\sqrt{2}$	$j_0 X + jR$	$\pi/4$	0
94	$(cD-2rR)/\sqrt{2}$	$rR+t$	$j_0 X + jR/\sqrt{2}$	$j_0 X + jR$	$\pi/4$	0
$j^*$	$j_0^* X = -j_0 X$	$jR$	$j_a^* X = -j_b X$	$j_b^* X = -j_a X$	$\pi - j\beta$	$\pi - j\alpha$

式(2)~(5)中の台形要素に関しては各変数は許容耐力の場合、以下の式にて与えられる<sup>6)</sup>。

$$T^jN = T^jN_{7+1} + T^jN_{8+1} \quad (14)$$

$$T_j^j N_{i+1} = {}^1 T_j^j N_{i+1} + {}^2 T_j^j N_{i+1} + {}^3 T_j^j N_{i+1} \quad (15)$$

$${}^1 T_j^j N_{i+1} = (1/1) \cdot {}^{j,xi} \sigma \cdot {}^j y_i \cdot {}^j B_{i+1} \quad (16)$$

$${}^2 T_j^j N_{i+1} = (1/2) (E_{i+1} \cdot \phi \cdot {}^j y_i + {}^{j,xi} \sigma \cdot {}^j A) \cdot {}^j B_{i+1}^2 \quad (17)$$

$${}^3 T_j^j N_{i+1} = (1/3) E_{i+1} \cdot \phi \cdot {}^j A \cdot {}^j B_{i+1}^3 \quad (18)$$

$${}^j B_{i+1} = ({}^j x_{i+1} - {}^j x_i) \quad (19)$$

$${}^j y_i = {}^j H + {}^j A ({}^j x_i - {}^j a_x) \quad (20)$$

$$\text{if } {}^{\epsilon} x_i \leq {}^j a_x, \text{ then } {}^j x_i = {}^j a_x \\ \text{, if } {}^j b_x \leq {}^{\epsilon} x_i, \text{ then } {}^j x_i = {}^j b_x \\ \text{, else, } {}^j x_i = {}^{\epsilon} x_i \quad (21)$$

$${}^{j,xi} \sigma = \sigma_i + E_{i+1} \cdot \phi ({}^j x_i - {}^{\epsilon} x_i) \quad (22)$$

上式中の変数は図-3 に定義したとおりであり、第”j”台形要素内の [i,i+1] 部分に関わる積分範囲を [{}^j x\_i, {}^j x\_{i+1}], {}^j x\_i 位置応力を {}^{j,xi} \sigma としている。各台形要素の形状を決める定数は全塑性耐力の場合<sup>5)</sup>と同じである(表-2)。

### 2.3 曲げモーメント算定式

柱断面の図芯座標 Gx (一般に Gx=0) に関する曲げモーメント M の式の形自体は全塑性耐力の場合<sup>5)</sup>と同じである。

$$M = 2(c_2 M + c_3 M + {}_{t2} M + {}_{t3,T} M + {}_{t3,D} M) \quad (23)$$

$$c_2 M = T_{81}^{\ast} c_2 M + T_{81} c_2 M + T_{82}^{\ast} c_2 M + T_{82} c_2 M - T_{87}^{\ast} c_2 M - T_{87} c_2 M \quad (24)$$

$$c_3 M = -T_{84}^{\ast} c_3 M - T_{84} c_3 M + T_{87}^{\ast} c_3 M + T_{87} c_3 M + D_{91}^{\ast} c_3 M + D_{91} c_3 M + D_{93}^{\ast} c_3 M + D_{93} c_3 M \quad (25)$$

$${}_{t2} M = T_{83}^{\ast} {}_{t2} M + T_{83} {}_{t2} M - T_{86}^{\ast} {}_{t2} M - T_{86} {}_{t2} M + T_{89}^{\ast} {}_{t2} M + T_{89} {}_{t2} M \quad (26)$$

$${}_{t3,T} M = -T_{85}^{\ast} {}_{t3} M - T_{85} {}_{t3} M + T_{88}^{\ast} {}_{t3} M + T_{88} {}_{t3} M \quad (27)$$

$${}_{t3,D} M = -D_{91}^{\ast} {}_{t3} M - D_{91} {}_{t3} M + D_{92}^{\ast} {}_{t3} M + D_{92} {}_{t3} M - D_{93}^{\ast} {}_{t3} M - D_{93} {}_{t3} M + D_{94}^{\ast} {}_{t3} M + D_{94} {}_{t3} M \quad (28)$$

上式中の変数の内容は許容耐力の場合、次式にて与えられる<sup>6)</sup>。

$$D_j^j M = {}^3 D_j^j M_{7+1} + {}^4 D_j^j M_{7+1} + {}^3 D_j^j M_{8+1} + {}^4 D_j^j M_{8+1} \quad (29)$$

$${}^3 D_j^j M_{i+1} = ({}^j_0 x - Gx) \cdot {}^2 D_j^j N_{i+1} + (1/3) \cdot {}^j R^3$$

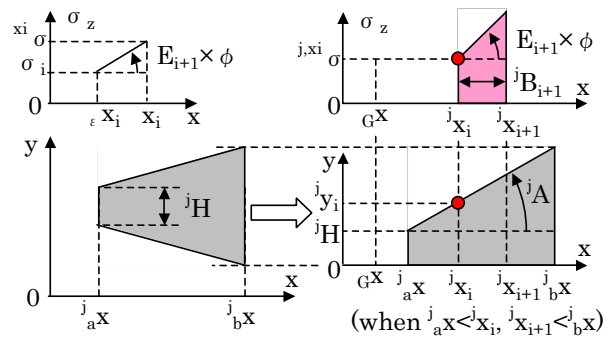


図-3 台形要素に関わる変数の定義<sup>6)</sup>

表-2 台形要素用の定数(角45° R有)<sup>5)</sup>

j	<sup>j</sup> a_x	<sup>j</sup> b_x	<sup>j</sup> H	<sup>j</sup> A
81	0	<sup>j</sup> a_x + r/√2	(cD - 2rR)/√2	1
82	r/√2	(cD - rR)/√2	(cD - 2rR)/√2	-1
83	r/√2	(cD - rR)/√2	√2 · t	0
84	0	<sup>j</sup> a_x + r/√2	0	1
85	r/√2	<sup>j</sup> a_x + t/√2	rR/√2	1
86	r/√2	<sup>j</sup> a_x + t/√2	√2 · t	-2
87	(cD - 2rR)/√2	<sup>j</sup> a_x + r/√2	0	1
88	(cD - rR)/√2	<sup>j</sup> a_x + t/√2	rR/√2	1
89	(cD - rR)/√2	<sup>j</sup> a_x + t/√2	√2 · t	-2
<sup>j</sup> \ast	<sup>j</sup> \ast a_x = - <sup>j</sup> b_x	<sup>j</sup> \ast b_x = - <sup>j</sup> a_x	<sup>j</sup> \ast H = <sup>j</sup> H + <sup>j</sup> A ( <sup>j</sup> b_x - <sup>j</sup> a_x)	<sup>j</sup> \ast A = - <sup>j</sup> A

$$\times {}^{j,0x} \sigma_i [\sin^3({}^j \theta_i) - \sin^3({}^j \theta_{i+1})] \quad (30)$$

$${}^4 D_j^j M_{i+1} = ({}^j_0 x - Gx) \cdot {}^3 D_j^j N_{i+1} + {}^j R^4 \cdot E_{i+1} \cdot \phi \\ \times [{}^j \theta_i - {}^j \theta_{i+1} - (1/4) \{ \sin(4 \cdot {}^j \theta_i) - \sin(4 \cdot {}^j \theta_{i+1}) \}] / 8 \quad (31)$$

$$T_j^j M = T_j^j M_{7+1} + T_j^j M_{8+1} \quad (32)$$

$$T_j^j M_{i+1} = T_j^j N_{i+1} ({}^j x_i - Gx) + [(1/2) {}^1 T_j^j N_{i+1} + (2/3) {}^2 T_j^j N_{i+1} + (3/4) {}^3 T_j^j N_{i+1}] \times {}^j B_{i+1} \quad (33)$$

式(1)の軸力 N が目標軸力に一致することを制約条件とし、式(23)の M を最大とすることを目標に、図芯位置歪・曲率の4変数 G\_t \epsilon, G\_c \epsilon, t, \phi, c \phi を変化させると一般化累加許容曲げモーメントの精解(厳密解)を得ることができる。

### 3. 計算例

表-3 に計算例の諸元、ならびに短期許容耐力の計算結果を示す。検討ケースは 0) R 形状を無視し 4-seam を仮定, 1) 内部コンクリートに角形 CFT の拘束効果を考慮, 2) R 形状を考慮し R 部材料強度に平板部強度を仮定, 3) R 部に約 2 割

表-3 例題の諸元と短期許容曲げモーメント計算結果

ケース	形状	強度		圧縮		計算結果										比率			
		R部	con	軸力		図芯位置歪		曲率 $\phi D/2$		圧縮歪			圧縮軸力				耐力		
		$\sigma_y$	$F_c$	$-N_y$	$-G_t \epsilon$	$-G_c \epsilon$	鋼管	con	$-\epsilon_2$	$-\epsilon_3$	$-\epsilon_c$	$-N$	$-cN$	$-N$	$tM$		$cM$	$M$	
		N/mm <sup>2</sup>		kN		10 <sup>-6</sup>				10 <sup>-6</sup>			kN				kNm		
0	R無	-	144.4	8956	1427	2463	809	0	2571	-	2463	4381	4575	8956	182	0	182	1.00	
1	R無	-	169.5	8956	1168	2892	992	0	2571	-	2892	3586	5370	8956	223	0	223	1.23	
2	R有	527	144.4	8956	1533	2463	810	0	2495	2571	2463	4429	4527	8956	165	0	165	0.91	
3	R有	634	144.4	8956	1533	2463	874	0	2571	2653	2463	4429	4527	8956	178	0	178	0.98	
4	R有	634	169.5	8956	1260	2891	1103	0	2571	2674	2892	3642	5314	8956	224	0	224	1.23	
5	R無	-	144.4	2951	0	1589	1818	709	2571	-	2463	0	2951	2951	409	42	451	1.00	
6	R無	-	169.5	2951	0	1589	1818	1056	2571	-	2892	0	2951	2951	409	62	472	1.05	
7	R有	527	144.4	2951	0	1606	2006	743	2571	-	2463	0	2951	2951	408	43	451	1.00	
8	R有	634	144.4	2951	0	1606	2164	743	2571	2774	2463	0	2951	2951	440	43	483	1.07	
9	R有	634	169.5	2951	0	1606	2164	1115	2571	2774	2892	0	2951	2951	440	64	504	1.12	

※共通事項：鋼管せいD=250mm, 管厚t=16mm, 隅部R=40mm, 平板部 $\sigma_y=527\text{N/mm}^2$   
 $\sigma_B=144.4\text{N/mm}^2$ ,  $E_c=39078\text{N/mm}^2$ ,  $E_s=205000\text{N/mm}^2$ , R無は4-seamの角形鋼管とみなした

の強度上昇を考慮, 4)さらにコンクリートにCFTの拘束効果を考慮したもの, 軸力比約0.6:0~4)と0.2:5~9)の10ケースである。表-3によれば高軸力5ケースのコンクリートは曲げ耐力に寄与せず, 軸力のみ寄与している。従来慣例に従う0)はR部の形状を厳密に考慮した2)より9%危険側に耐力を評価するがR部の材料強度上昇を考慮した3)との差は2%となる。なお強度上昇を考慮したケース3,4)では平板部縁の許容応力で決まっており, R部縁応力は許容値634N/mm<sup>2</sup>まで達していない。低軸力の方は, 逆に8)は5)より7%有利側の耐力を得ていること, 例題より幅厚比が大きい実務設計ケースが多いであろうことから現実的にはあまり問題が生じていない。ただしこの例題はR部の強度上昇が平板部の約2割のケースであり, かならずしも一般にはこの強度上昇が保証されているとも限らないので, 実態に即した検討は必要であろう。

図-4はMN相関上にてケース3)のコーナーR部分の負担をみたものであり, 鋼管平板部の半分近くの曲げ耐力を担っていることがわかる。充填コンクリートはかなり高強度であるが, 単独の曲げ耐力はあまり無く, ほとんど鋼管のMNカーブを上にかさ上げする役割を担っている。図-5は鋼管とコンクリートの図芯位置歪と無次元化曲率を見たものである。コンクリートの図芯位置歪は軸力ゼロ付近にて圧縮歪から無限

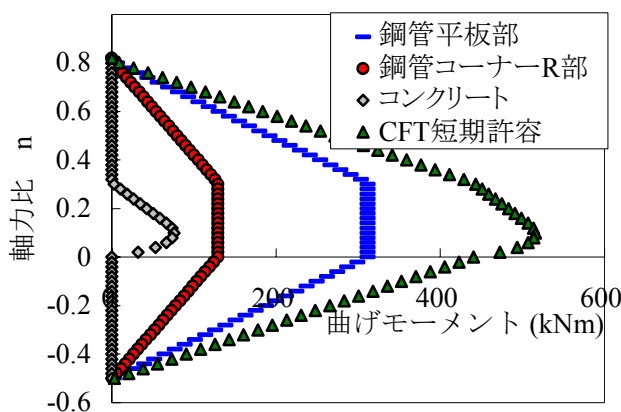


図-4 MN相関 ケース3)

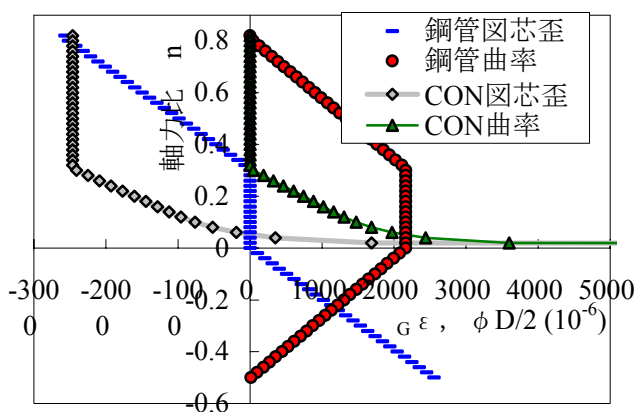


図-5 図芯位置歪, 無次元化曲率 ケース3)

大引張歪に急激に移行し, 曲率も無限大に発散している。これはコンクリートの中立軸位置が圧縮縁に漸近してくるためであり, 軸力・曲げモーメントがゼロに漸近する意味では問題ない。

図-6にてコーナーR部の影響を比較すると, 軸力比が高くなければコーナーRの実態に即し

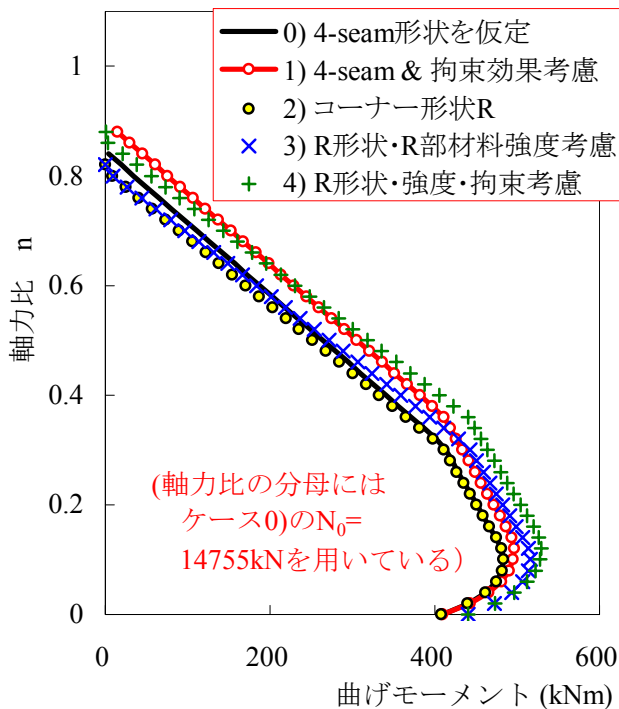


図-6 コーナーR部の影響

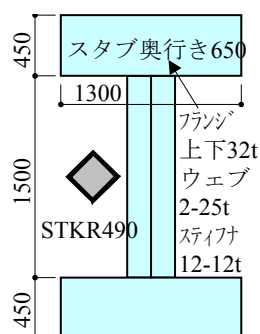


図-7 試験体形状

表-4 鋼管の引張試験結果

採取部位	強度		伸び
	降伏	引張	
	N/mm <sup>2</sup>	%	
平板部分	527	589	17
コーナーR部分	634	677	30

表-5 CONの圧縮試験結果

弾性係数	圧縮強度	$\sigma_B$ 時歪
$E_c$	$\sigma_B$	$-\epsilon_u$
N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	$10^{-6}$
39078	144.4	-4200

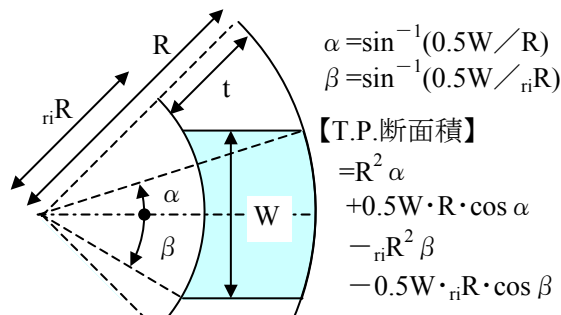


図-8 鋼管コーナーR部分のテストピースの形状

た評価をしなくても安全側であるが、高ければ危険側の耐力を与えていることがわかる。定量的には例題 0)と 2~3) との比較からは高軸力時 9~2%危険側, その低軸力時 0~7%安全側である。

#### 4. 実験結果との比較

##### 4.1 試験体

鋼管は STKR490 の 250×16t (図-7), 鋼管コ

ーナー部の R 半径実測値は 40mm, 強度・伸びは表-4 が示すとおり一般平板部より高い。R 部の引張試験片は削出丸棒ではなく, 図-8 に示す幅  $W=25\text{mm}$  の削片円板断面形状の T.P.を用いた。試験体は座屈長させい比 6, 建研式に対応する上下スタブを外ダイアと兼ね, スタブフランジ開先の突合せ溶接にて鋼管を定着させた柱通し形式である。コンクリート充填方法は落込み, 強

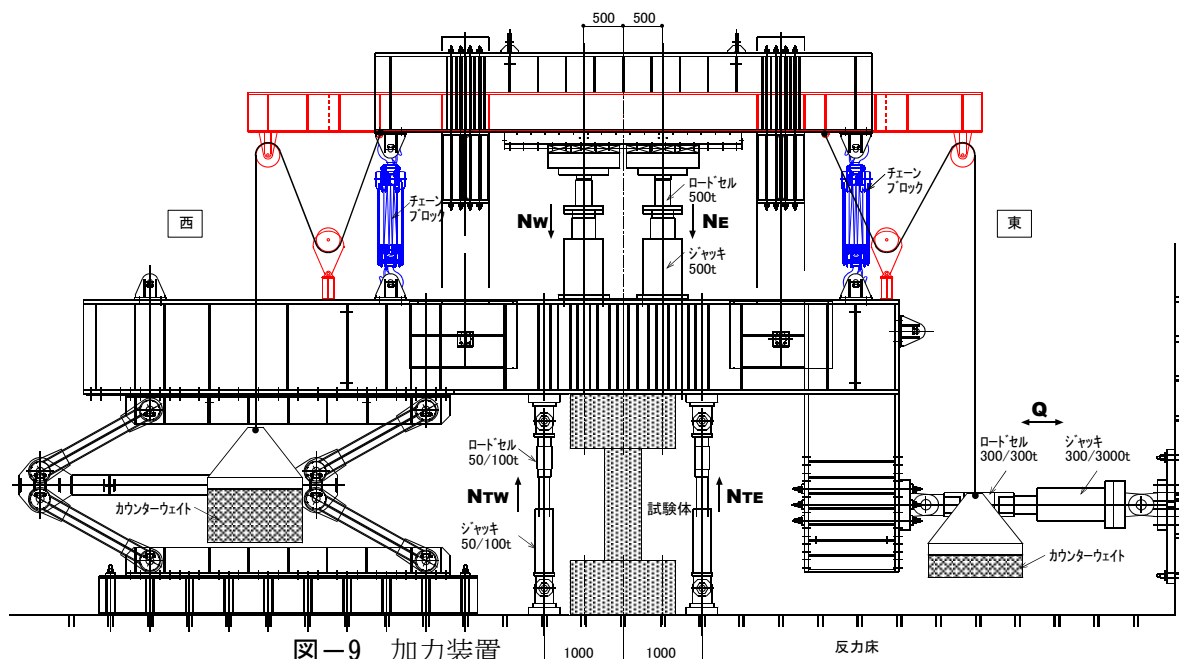


図-9 加力装置

度  $144.4\text{N/mm}^2$  (他諸元も表-3 と同じ) である。

#### 4.2 加力方法

図-9 に示す建研式加力梁上の軸力ジャッキをリニアスライダにて滑らし定軸力逆対称曲げせん断载荷を行った。载荷パターンは上下平均部材角  $0.00125$  ピッチ漸増の正負交番である。

#### 4.3 実験結果, および考察

図-10 に軸力測定結果を示す。目標軸力比  $0.6$  に対し, 部材角  $\pm 5/1000$  時の载荷軸力は  $1\%$  ほど高い。よって評価用軸力比を図に示す  $0.607$  とすることにす。図-11 にせん断力-部材角関係を示す。軸力载荷時の初期変形により部材角は柱上下にて異なっている。また, 载荷軸力の  $0.5\%$  を軸力ジャッキのスライダの転がり抵抗として評価した。CFT 造柱の設計クライテリアを部材角  $1/200$  における短期許容耐力保持とするならば, 実験値はコーナーR 部の形状・材料強度を厳密に考慮し, 拘束効果も考慮した計算値 4) の倍程度の耐力を有していることがわかる。

#### 5. おわりに

コーナーに R 形状を有する角形 CFT の  $45^\circ$  方向の長・短期許容曲げモーメントの精解を与える算定式の一例を紹介した。若干の例題による検討結果は実態に即した R 部分の影響を考慮する必要があることを示した。実験結果は計算値に対し十分安全側の性状を示した。

#### 参考文献

- 川口 淳, 森野捷輔: 軸力と 2 軸曲げを受ける鋼・コンクリート複合断面の終局強度相関曲線(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.C, pp.1731-1732, 1992.8
- 川口 淳, 上田美香, 森野捷輔: 軸力と 2 軸曲げを受ける鋼・コンクリート複合断面の終局強度に関する解析的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.C1, pp.783-784, 1995.8
- 時野谷浩良, 関根誠司: ハイブリッド構造に関する日米共同構造実験(CFT-16)コンクリート充填鋼管柱の曲げせん断性状 その 8

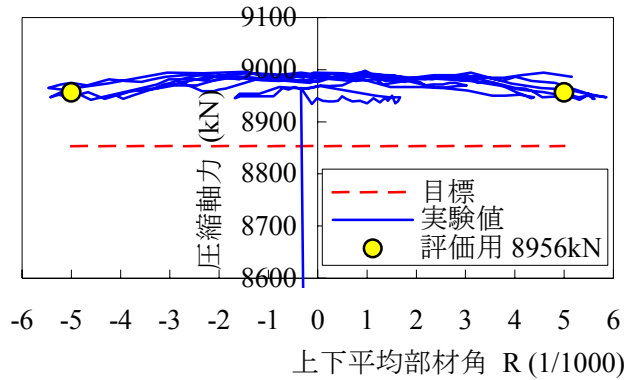


図-10 载荷軸力

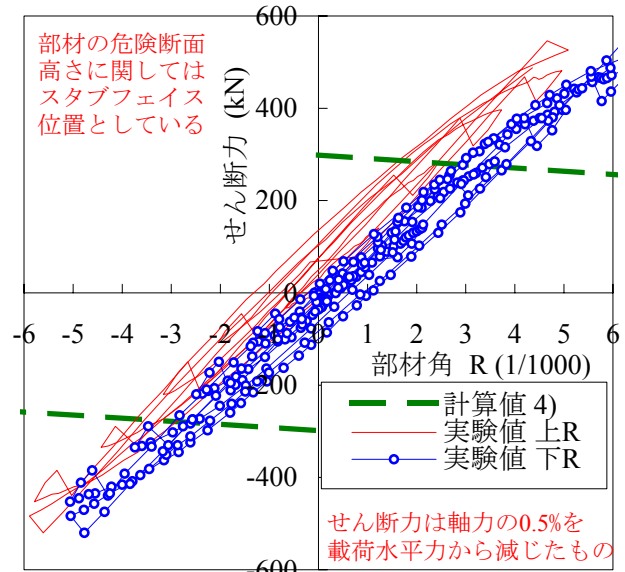


図-11 実験結果との比較

2 軸曲げせん断実験の結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.C1, pp.1037-1038, 1996.9

- (社)新都市ハウジング協会: コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説の運用及び計算例等, pp.2-14, 2002.9
- 平出 亨, 小田島暢之ほか: 角形 CFT の耐力に与えるコーナーR 部分の影響について - その 1  $45^\circ$  方向全塑性曲げモーメント, その 2 実験結果との比較 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.C1, pp.1145-1148, 2005.9
- Hirade, Tooru: Formularization of the Column-Deflection-Curve Calculation Method for CFT Columns, International Journal of Steel Structures, Vol.5, No.4, Korea, pp.325-335, Dec.2005