被覆形鋼管コンクリート柱材における鋼管の幅厚比・径厚比の制限値

LIMITING WIDTH (DIAMETER)-THICKNESS RATIO OF TUBES
OF COMPOSITE STEEL TUBE AND CONCRETE COLUMNS
WITH ENCASED TYPE SECTION松井千秋^{*1}, 津田恵吾^{*2}, 森 武史^{*3}

Chiaki MATSUI, Keigo TSUDA and Takeshi MORI

In AIJ design formula for composite steel tube and concrete structures, the limiting width (diameter) -to-thickness ratio of steel tube is relieved to 1.5 times that for a hollow tube. In this paper, it is investigated whether the limiting value for concrete-encased type section is appropriate or not.

As the experimental parameters, shape of steel tube, section type and width (diameter) -to-thickness ratio are selected. Total thirty-four stub column specimens are tested under concentric load. From the view point of the maximum strength, current limiting width (diameter)-to-thickness ratio is practically appropriate.

Keywords : stub column test, maximum strength, local buckling, encased type, filled type

短柱圧縮試験, 最大耐力, 局部座屈, 被覆形, 充填形

1. 序

鋼管コンクリート柱の断面形状として鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説¹⁾ (以下SRC規準と略す) には, 被覆形・充填形・充填被覆形の3形式 (表-1) が示されている。これらの断面の鋼管の幅厚比・径厚比の制限値は裸鉄骨の場合の値の1.5倍に緩和されている¹⁾ (現行のSRC規準以前には, 円形鋼管のみを対象とした文献²⁾では径厚比は160以下と規定され, 角形鋼管も取り入れられた文献³⁾では, 鋼構造設計規準⁴⁾による事となっていた)。

3つの断面形式のうち角形鋼管を用いた充填形については, 幅厚比の制限値を裸鉄骨の場合の制限値を1.5倍緩和してもコンファインド効果によって耐力と変形能力が確保できることが明らかとなっている^{5), 6)}。充填被覆形については, 充填形と同じ幅厚比・径厚比制限値を規定しておけば問題はないと考えられる。

しかしながら, 被覆形については, 文献^{7) -11)}で種々の荷重条件の下で実験的研究が行われているが, 幅厚比・径厚比を変化させた研究例はなく, 耐力と変形能力におよぼす幅厚比・径厚比の影響は明らかになっていない。鋼管の局部座屈については, 文献¹¹⁾が径厚比21の円形鋼管を用いた被覆形の試験体では局部座屈が観察されなかったこと, 幅厚比が23の角形鋼管を用いた被覆形ではフランジが内側に凸の形となる局部座屈を生じていたことを報告している

だけであり, 幅厚比・径厚比の制限値は, 現在の規定値で良いのかどうか不明である。

以上のことから本研究の目的は, 被覆形の鋼管コンクリート柱材の鋼管の幅厚比・径厚比の制限値が, 現在規定されている値で適切であるのかどうかを, 中空形, 充填形, 充填被覆形も含めて短柱圧縮試験を行い, その最大耐力と変形挙動を調べることにより検討することである。

2. 実験

2. 1 実験計画

研究目的に合致するよう, 以下に示すように実験変数を選んだ。

- 1) 鋼管断面: 角形鋼管, 円形鋼管
- 2) 断面形式: 中空形, 充填形, 被覆形, 充填被覆形
- 3) 幅厚比: 25, 33, 47, 65, 94
径厚比: 37, 52, 72, 103, 138
- 4) 帯筋比: 1.0%, 0.5%

以上を実験変数とし, 計34体の実験を計画した。

以下に, 実験変数の値の設定に関して説明する。

- 1) 鋼管断面については, 鋼管コンクリート柱として一般に使われている正方形角形鋼管および円形鋼管を対象とする。

^{*1} 九州大学工学部建築学科 教授・工博

^{*2} 九州大学工学部建築学科 助手・工博

^{*3} 戸田建設 (当時九州大学4年生)

Prof., Dept. of Architecture, Kyushu Univ., Dr. Eng.

Research Assistant, Dept. of Architecture, Kyushu Univ., Dr. Eng.

Toda Corporation

表-1 鋼管コンクリート構造の断面構成

	被覆形	充填形	充填被覆形
角形鋼管			
円形鋼管			

2) 断面形式については、鋼管のみの中空形、コンクリートを全充填した充填形、鋼管に被覆コンクリートを施した被覆形、およびコンクリートを全充填し、被覆コンクリートを施した充填被覆形を対象とする。充填被覆形については、4種類の断面形式における挙動の違いを検討するために設定するので、裸鉄骨における幅厚比・径厚比制限値に近い幅厚比47・径厚比72のそれぞれ1体ずつとした。

3) 幅厚比・径厚比については、裸鉄骨で規定されている幅厚比・径厚比制限値内ものから鋼管コンクリート構造柱材の幅厚比・径厚比制限値を超えるものまでの広範囲な部分をカバーするように、幅厚比を25～94、径厚比を37～138に設定した。

4) 帯筋比 $w_p = w_a / (b' \cdot x)$ (ここに w_p : 帯筋比 (%), w_a : 一組の帯筋の断面積 (cm^2), b' : 鉄骨フランジ位置でのコンクリート有効幅 (cm), x : 帯筋の間隔 (cm)) については、鋼管コンクリート構造設計例より一般的であると思われる1.0%を設定した。帯筋比の違いが耐力および変形挙動に及ぼす影響を検討するため、帯筋比0.5%のものも加えた。帯筋比0.5%のものは、鋼管コンクリート構造柱材の幅厚比・径厚比の制限値に近い幅厚比65、径厚比103のそれぞれ1体ずつとした。

以上の実験変数のもとで、短柱圧縮試験を行った。

表-2に試験体一覧を示す。試験体の名前は実験条件を示し、最初の英字で鋼管の断面形 (R: 角形, C: 円形) を、次の数字で幅厚比・径厚比を、次の英字で断面形 (V: 中空形, F: 充填形, E: 被覆形, FE: 充填被覆形) を示している。最後に英字のAが付いているものは帯筋比が0.5%, 付いていないものは1.0%である。

2. 2 試験体

a) 断面 試験体の断面は、角形鋼管は150x150mm、円形鋼管は165.2φ、被覆コンクリートは250x250mmである。材長は角形鋼管が450mm、円形鋼管が495.6mmで鋼管幅・径の3倍である。

被覆形における鋼管および主筋の配置については、実際に使われている範囲にあると考えられる鋼管のかぶりを角形鋼管、円形鋼管それぞれ、全せいの0.2倍、0.17倍とし、主筋のかぶりは0.11倍とした。

b) 鋼管 実験に用いた鋼材は、板厚6.0mm、4.5mmの角形鋼管は市販の冷間成形角形鋼管 (STKR400, 公称断面はそれぞれ150×6.0と150×4.5)、板厚4.5mmの円形鋼管は市販の冷間成形円形鋼管 (STK400, 公称断面は165.2φ×4.5) である。板厚3.2mm、2.3mm、1.6mm、1.2mmの鋼管は、SS400相当の鋼板より製作した。角形鋼管 (板厚3.2mm、2.3mm、1.6mm) は、鋼板より溝形鋼を製作し、一対の溝形鋼を溶接することにより製作した (角部の曲率半径は厚さ

表-2 試験体一覧

No.	試験体	幅(径)厚比	断面	帯筋比 (%)	Fc (kg/cm ²)	鋼管
1	R25-V	25	中空	—	—	角形
2	R25-F	25	充填	—	322	
3	R25-E	25	被覆	1.0	—	
4	R33-V	33	中空	—	—	
5	R33-F	33	充填	—	322	
6	R33-E	33	被覆	1.0	340	
7	R47-V	47	中空	—	—	
8	R47-F	47	充填	—	322	
9	R47-E	47	被覆	1.0	340	
10	R47-FE	47	充填被覆	1.0	340	
11	R65-V	65	中空	—	—	円形
12	R65-F	65	充填	—	322	
13	R65-E	65	被覆	1.0	340	
14	R65-EA	65	被覆	0.5	340	
15	R94-V	94	中空	—	—	
16	R94-F	94	充填	—	339	
17	R94-E	94	被覆	1.0	340	
18	C37-V	37	中空	—	—	
19	C37-F	37	充填	—	322	
20	C37-E	37	被覆	1.0	332	
21	C52-V	52	中空	—	—	円形
22	C52-F	52	充填	—	322	
23	C52-E	52	被覆	1.0	332	
24	C72-V	72	中空	—	—	
25	C72-F	72	充填	—	322	
26	C72-E	72	被覆	1.0	332	
27	C72-FE	72	充填被覆	1.0	332	
28	C103-V	103	中空	—	—	
29	C103-F	103	充填	—	322	
30	C103-E	103	被覆	1.0	332	
31	C103-EA	103	被覆	0.5	332	
32	C138-V	138	中空	—	—	円形
33	C138-F	138	充填	—	322	
34	C138-E	138	被覆	1.0	332

(角形鋼管を用いた被覆形の場合)

図-1 試験体 (被覆形)

の中心線で、板厚 t の2.5倍とした)。円形鋼管 (板厚3.2mm、2.3mm、1.6mm、1.2mm) は、鋼板を円形に加工し、溶接によって製作した。角形鋼管・円形鋼管ともに裏当て金はずけず、完全とけ込み溶接となるように溶接した。なお、残留応力除去の熱処理は行っていない。

c) 配筋 被覆コンクリートの主筋・帯筋はともにD6 (SD295) を使用した。主筋間距離は194mmである。帯筋比 w_p は1.0%と0.5%と

図-2 応力度・ひずみ度関係

し、間隔は角形鋼管の $w_p=1.0\%$ で65mm、0.5%で125mm、円形鋼管の1.0%で75mm、0.5%で150mmである。

図-1に試験体の形状・寸法の例として、被覆形の場合を示す。

d) コンクリートの打設 コンクリートの打設は、試験体を立て、上からコンクリートを落とし込んだ。

e) 鋼材の機械的性質 表-3に鋼管および鋼板より切り出したJIS1号A引張試験片による引張試験結果および、主筋・帯筋に用いた鉄筋の引張試験の結果を示す。引張試験は、既製の角形鋼管・円形鋼管からはそれぞれ3本ずつ（鋼管溶接シーム部は含まず）行った。鋼板は、加工前の鋼板からそれぞれ3本ずつ行った。表中 σ_y 、 $m\sigma_y$ はそれぞれ鋼管および鉄筋の降伏応力度、 σ_u は引張強度である。

図-2には引張試験と短柱圧縮試験による応力・ひずみ関係を示している。短柱圧縮試験は表-2に示す中空試験体の実験結果である。なお、図中の記号 t は板厚を示している。

f) 試験体の幅厚比・径厚比と制限値の関係 試験体の幅厚比・径厚比（板厚）と制限値の関係を図-3に示す。横軸は基準化幅厚比・基準化径厚比である（ E は鋼材のヤング係数で 2100 t/cm^2 とした）。図中には、中空鋼管の幅厚比・径厚比制限値、鋼管コンクリート構造の鋼管の幅厚比・径厚比制限値を点線で示している。中空鋼管の

表-3 鋼材の機械的性質

公称板厚 (mm)	実測板厚 (mm)	幅厚比	径厚比	$\sigma_y(\text{ton/cm}^2)$ $m\sigma_y(\text{ton/cm}^2)$	$\sigma_u(\text{ton/cm}^2)$	σ_y/σ_u	伸び (%)
1.2	1.21	—	138	2.39	3.45	0.739	27.3
1.6	1.61	94	103	3.46	4.21	0.822	20.0
2.3	2.19	65	72	2.94	3.66	0.814	21.3
3.2	3.03	47	51	3.20	3.78	0.847	22.2
4.5	4.18	33	—	3.45	4.42	0.785	28.2
4.5	4.26	—	37	3.27	4.23	0.761	29.2
6.0	5.62	25.0	—	3.65	4.43	0.828	24.7
鉄筋D6	—	—	—	3.78	5.97	0.638	23.3

図-3 板厚と幅厚比制限値の関係

表-4 SRC 規準の幅厚比・径厚比の制限値

F 値	角形	円形
F	$(74/F^{0.5}) \times 1.5$	$(240/F) \times 1.5$
2.4 t/cm^2	72	150

表-5 コンクリートの調査

水セメント比 (%)	セメント (kg/m³)	水 (kg/m³)	細骨材 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	混和剤 (kg/m³)	スランプ (cm)
52	346	180	753	1074	0.865	15

幅厚比・径厚比制限値は下式で計算した。

$$(D/t)_{\text{lim}} = 74/\sqrt{F} \quad (\text{角形鋼管}) \quad (1)$$

$$(D/t)_{\text{lim}} = 240/F \quad (\text{円形鋼管}) \quad (2)$$

ここに、 D ：鋼管の全幅および外径（角形断面の場合の幅厚比の取り方は規準類によって異なっており、鋼構造設計規準では平板部に対して幅厚比が規定されているが、角形鋼管の角部の曲率は製法によって変わるので、表現の簡単化のため、ここではSRC規準と同様に全幅 D を用いることとした）、 t ：鋼管の板厚、 F ：許容応力度を求めるための基準値（本論文では引張試験による降伏応力度 σ_y （ t/cm^2 ）を用いた）である。中空鋼管の基準化幅厚比・径厚比の制限値はそれぞれ1.61、0.114となる。これらの値を1.5倍して、鋼管コンクリート構造の鋼管の基準化幅厚比・径厚比の制限値はそれぞれ2.42、0.171となり、幅厚比・径厚比制限値は基準値 $F=2.4 \text{ t/cm}^2$ とするとそれぞれ72と150となる（表-4参照）。

図-3より、裸鉄骨の幅厚比・径厚比制限値に近いのは、幅厚比で33、47、径厚比で72のものであることが分る。鋼管コンクリートの幅厚比・径厚比制限値に近いのは幅厚比で65、径厚比で103、138のものであることが分る。

g) コンクリートの調査と圧縮強度 鋼管に充填および被覆するコンクリートの設計強度は 300 kg/cm^2 とし、スランプは15cmを目標とした（実際はスランプ14cmであった）。骨材の最大寸法は13mmであ

表-6 耐力の比較と耐力時のひずみ度

No.	試験体	実験耐力 Nmax(ton)	Nu (ton)	Nu' (ton)	Nmax/Nu	Nmax/Nu'	最大耐力時の ひずみ度(%)
1	R25-V	135.5	114.7	-	1.18	-	1.20
2	R25-F	188.8	180.4	170.5	1.05	1.11	0.70
3	R25-E	242.0	251.4	231.1	0.96	1.05	0.62
4	R33-V	90.8	81.6	-	1.11	-	0.54
5	R33-F	154.4	149.8	139.6	1.03	1.11	0.56
6	R33-E	194.0	218.6	198.2	0.89	0.98	0.61
7	R47-V	50.4	54.5	-	0.92	-	0.25
8	R47-F	128.4	125.0	114.4	1.03	1.12	0.45
9	R47-E	181.0	192.3	171.8	0.94	1.05	0.56
10	R47-FE	273.5	261.7	230.8	1.05	1.19	0.63
11	R65-V	26.8	37.1	-	0.72	-	0.18
12	R65-F	106.2	109.1	98.3	0.97	1.08	0.41
13	R65-E	153.8	172.5	152.3	0.89	1.01	0.42
14	R65-EA	148.0	173.0	152.7	0.86	0.97	0.46
15	R94-V	15.9	31.7	-	0.50	-	0.18
16	R94-F	99.6	104.8	93.8	0.95	1.06	0.45
17	R94-E	140.6	166.8	146.7	0.84	0.96	0.43
18	C37-V	78.5	69.4	-	1.13	-	1.64
19	C37-F	153.6	150.5	138.4	1.02	1.11	2.96
20	C37-E	193.0	206.6	186.2	0.93	1.04	0.46
21	C52-V	51.4	49.2	-	1.04	-	0.64
22	C52-F	128.9	132.3	119.8	0.97	1.08	1.29
23	C52-E	178.0	185.4	165.2	0.96	1.08	0.37
24	C72-V	34.4	33.2	-	1.04	-	0.30
25	C72-F	113.2	117.6	104.9	0.96	1.08	0.74
26	C72-E	153.8	170.5	150.1	0.90	1.02	0.46
27	C72-FE	245.2	237.3	206.8	1.03	1.19	0.64
28	C103-V	28.4	28.5	-	1.00	-	0.25
29	C103-F	105.0	113.9	101.1	0.92	1.04	0.60
30	C103-E	163.4	166.6	146.1	0.98	1.12	0.48
31	C103-EA	140.2	164.7	144.4	0.85	0.97	0.46
32	C138-V	13.2	15.9	-	0.83	-	0.22
33	C138-F	90.8	101.9	89.0	0.89	1.02	0.49
34	C138-E	132.0	153.6	133.1	0.86	0.99	0.53

る。コンクリートの調査表を表-5に示す。

シリンダー圧縮試験は、断面形の等しい試験体の載荷期間に1日おきで3本ずつ行った。表-2にコンクリート圧縮強度 F_c (kg/cm²)を示す。

なお、断面耐力の算定にあたっては、鋼管・主筋の降伏応力度 σ_y , $m\sigma_y$ は引張試験による値(表-3)を、コンクリート強度 F_c は、断面形の等しい試験体ごとに行ったシリンダー圧縮試験3～6本の平均値(表-2)を用いた。

2. 3 加力・測定方法

載荷は、試験体を500t構造物試験機のベット上に設置し、上下の加圧板を介して、中心圧縮加力となるように軸力を単調載荷した。載荷時の加力端は上端ピン、下端回転拘束状態である。試験体材軸方向の変位測定を、試験機のベット上にマグネットスタンドによって設置した4個の変位計を用いて行った。

3. 実験結果と考察

3. 1 最大耐力

a) 耐力の算定 耐力を下式で算定した。

$$N_u (N_u') = s_A \sigma_y + m_A m \sigma_y + c_A F_c \quad (3)$$

ここで s_A ：鋼管部分の断面積、 c_A ：コンクリート部分の断面積、

表-7 耐力の比較

断面形式	鋼管断面形	Nmax/Nu	Nmax/Nu'
中空形	角形	0.50～1.18	-
	円形	0.83～1.13	-
充填形	角形	0.95～1.05	1.06～1.12
	円形	0.89～1.02	1.02～1.16
被覆形 (wp=1.0%)	角形	0.84～0.96	0.96～1.05
	円形	0.85～0.98	0.97～1.12
被覆形 (wp=0.5%)	角形	0.86	0.97
	円形	0.85	0.97
充填被覆形 (wp=1.0%)	角形	1.05	1.19
	円形	1.03	1.19

m_A ：主筋の全断面積、 σ_y ：鋼管の降伏応力度、 $m\sigma_y$ ：主筋の降伏応力度、 F_c ：コンクリートの圧縮強度、 c_A ： F_c に対する低減係数である。

式(3)左辺の N_u と N_u' の違いは、 N_u はコンクリートの強度低減係数を $c_A=1$ 、 N_u' は $c_A=0.85$ としていることである。以下 N_u を計算耐力、 N_u' を低減計算耐力と呼ぶ。コンクリート圧縮強度に対する低減係数は、SRC規準によると被覆鉄筋コンクリートの部分においては、 $c_A=0.85-0.6s_p$ (s_p ：鋼管比)と定められている。この理由として、鋼管の存在によりコンクリートの充填度が下がること、設計式では鋼管によるコンクリートの断面欠損を考慮に入れていないこと、コンクリートの圧縮ひずみ能力に限界があるため、累加強度が危険側の誤差をまねくことが挙げられている。しかし、今回の試験体について

図-4 耐力の比較 ($c_{fu}=1$)

ては、製作やコンクリートの打設を丁寧に行ったこと、終局圧縮耐力の計算において、あらかじめ鋼管によるコンクリートの断面欠損を考慮していることなどから0.85とした。

表-6に計算耐力 N_u 、低減計算耐力 N_u' を実験最大耐力 N_{max} とともに示し、また、耐力の比較を示している。表-7に断面形式別に耐力比をまとめたものを示す。

b) 幅厚比・径厚比の影響 図-4および5にそれぞれ無次元化耐力 N_{max}/N_u 、無次元化低減耐力 N_{max}/N_u' と基準化幅厚比・径厚比の関係を断面形式別に示す。図中点線は中空鋼管の幅厚比・径厚比制限値とその1.5倍の値となるSRC規準が規定する鋼管コンクリート構造での鋼管の制限値を示している。なお、図中には帯筋比 $w_p=0.5\%$ の被覆形および充填被覆形は示していない。

図-4より、中空形はその実験耐力 N_{max} は角形・円形ともに幅厚比・径厚比制限値内であれば計算耐力 N_u を上回っているのが分る。

充填形は計算耐力 N_u で、危険側の評価をする場合もあるが、比較的精度良く実験耐力を予測している。低減計算耐力 N_u' は幅厚比・径厚比制限値の1.5倍より小さいものから、角形においては幅厚比制限値を越えるものまで安全側に耐力を評価していることがわかる(図-5, 表-7参照)。

被覆形は計算耐力 N_u を上回っているものはない。しかし、低減計算耐力 N_u' で現行のSRC規準の制限値まで、ほぼ安全側にかつ精度良く実験耐力を評価していることがわかる。充填コンクリートによって鋼管の局部座屈形状が変化し、幅厚比の大きなものでも計算耐力 N_u が期待できることは知られているが^(1),5),6)、被覆コンクリー

図-5 耐力の比較 ($c_{fu}=0.85$) 図-6 断面形式の影響 ($c_{fu}=1$)

トによっても同様な効果が期待できることがわかる。

c) 断面形式の影響 図-6に無次元化耐力 N_{max}/N_u と基準化幅厚比の関係で断面形式の影響を示している。なお、帯筋比0.5%の被覆形および充填被覆形は示していない。

角形・円形ともに中空形では幅厚比・径厚比が大きくなるにつれて、無次元化耐力 N_{max}/N_u が小さくなっているのが観察されるが、充填形、被覆形は中空形と比較して、幅厚比・径厚比の影響をほとんど受けていないことが分る。

d) 充填被覆形 表-6より幅厚比47, 径厚比72, の中空形・充填形・被覆形・充填被覆形の無次元化耐力の比較をすると、充填被覆形は、角形鋼管・円形鋼管どちらの場合もその他の断面形式と比較して最も耐力が高くなっているのがわかる。これは、鋼管の局部座屈が充填コンクリートと被覆コンクリートの両者から拘束されるためであると考えられる。

e) 帯筋比の影響 表-6より、幅厚比65, 径厚比103の帯筋比1.0%・0.5%の比較をすると、角形鋼管・円形鋼管どちらの場合も帯筋比が小さくなると、耐力が低くなっているのがわかる。これは、帯筋によるコンクリートの拘束力が低下し、コンクリートの圧壊が早く生じたからだと考えられる。

図-7 圧縮力-軸ひずみ関係

3.2 変形性状

a) 断面形式の影響 図-7は、幅厚比・径厚比を一定として中空形・充填形・被覆形 ($w_p=1.0\%$ の場合) の変形性状の比較を示している。図中の●印は目視による局部座屈、○印は目視によるコンクリートの圧壊開始点を示している。

図より、被覆形はコンクリート圧壊後に抵抗力が急激に低下し、その後の変形挙動は中空形の線とはほぼ平行線をたどっているのが観察される。これは、コンクリートが圧壊した後はコンクリートの耐力がほぼ無くなり、鋼管が主に耐力を受持つからであると推察される。充填形は、中空形・被覆形と比較して最大耐力以後の抵抗力の

図-8 充填被覆形の挙動

図-9 帯筋比の影響

図-10 幅厚比・径厚比の影響

低下が非常に小さい事がわかる。

b) 充填被覆形 図-8は、幅厚比47の角形鋼管、径厚比72の円形鋼管を用いた充填被覆形の変形性状を同じ幅厚比・径厚比の鋼管を用いた異なった断面形式のものと比較している。

図より、被覆形はコンクリート圧壊後の変形挙動は中空形の線とはほぼ平行線をたどっているが、充填被覆形はコンクリート圧壊後の

変形挙動は充填形の線とほぼ平行線をたどっているのが分る。これは、被覆形と同じようにコンクリート圧壊後は、被覆コンクリートの耐力がほぼ無くなり、充填鋼管が主に耐力を受持っているからであると考えられる。

c) 帯筋比の影響 図-9は、幅厚比65の角形鋼管、径厚比103の円形鋼管を用いた帯筋比 $w_p=1.0\%$ と $w_p=0.5\%$ の被覆形の比較を示している。図より、帯筋比が小さい方が、最大耐力は小さく、また耐力の低下が激しいのが分るが、それほど顕著な差は認められない。

d) 幅厚比・径厚比の影響 図-10の各図は、断面形式を一定とし、幅厚比・径厚比を変化させた場合の圧縮力-ひずみ度関係を示している(被覆形の場合は $w_p=1.0\%$)。縦軸は圧縮力を計算耐力 N_u で無次元化している。

図-10より、中空形は幅厚比・径厚比が大きくなるにつれて、最大耐力および最大耐力以後の耐力の低下が大きくなる。充填形は、幅厚比・径厚比が大きくなるにつれて、最大耐力以後の耐力の低下が大きくなるが、無次元化最大耐力はあまり変わらない。被覆形も充填形と同様の傾向が観察されるが、幅厚比で65, 94, 径厚比で72, 103, 138の挙動はあまり差が認められない。

e) 耐力時のひずみ度 表-6に最大耐力時のひずみ度を示している。角形鋼管では幅厚比33以上の充填形、被覆形、円形鋼管では径厚比72以上の被覆形、全ての充填形で中空形よりも最大耐力時のひずみ度が大きくなっているのが分る。本論文の実験で中空鋼管と最大耐力のひずみ度が同じ値となるのは、角形鋼管で幅厚比が33、円形鋼管で径厚比が52~77となることが観察され、これらの値以上で鋼管の局部座屈に対するコンクリートの拘束の効果が大きくなる。

3. 3 局部座屈形状

実験後に観察した鋼管の局部座屈形状の特徴を以下に記す。

a) 中空形 角形鋼管は、一对の平行する板要素が外側に、もう一对の板要素が内側に局部座屈した。円形鋼管(径厚比52を除く)は、エレファントフット形に局部座屈した。径厚比52のものは、外側と内側に折れ曲がるように局部座屈した。

b) 充填形 角形鋼管も円形鋼管も、全ての板要素が外側に座屈した。

c) 被覆形 幅厚比25以外の角形鋼管は、全ての板要素が内側に座屈していた。幅厚比25のものは、中空形のものと同じ形状で、一对の平行する板要素が外側に、もう一对の板要素が内側に局部座屈した。円形鋼管は全て内側に座屈していた。板厚が薄くなるほど局部座屈波の波高が小さかった。角形・円形ともに鉄筋が座屈した位置と、鋼管が局部座屈した位置がほぼ同じ中央部であった。

被覆形で内側に座屈したのは、被覆コンクリートによって局部座屈波が外にでるのを拘束されたためだが、中空形と同様の座屈形状となった幅厚比25の角形鋼管については局部座屈で板要素が外に飛び出す力がコンクリートの拘束力を上回ったからである考えられる。被覆形の局部座屈の形状は中空形とは異なっており、局部座屈荷重が増大したものと考えられる。

d) 充填被覆形 角形鋼管、円形鋼管ともに充填形と同じく外側に局部座屈していた。

3. 4 被覆形鋼管コンクリート柱の幅厚比・径厚比の制限値

幅厚比・径厚比の制限値は、1) 降伏応力度までは局部座屈しないこと、2) 塑性ヒンジの回転能力を確保すること、3) 期待する変形性能の観点から、決められている。

本論文での短柱圧縮試験では、上記2), 3)の観点からの幅厚比・径厚比の制限値は決められないが、1)に関連する断面全体としての耐力の確保という観点からは、SRC標準の幅厚比・径厚比制限値以内であれば低減計算耐力 N_u で実験最大耐力を安全側に評価できることから、現行の幅厚比・径厚比制限値は、概ね妥当である。

4. 結論

現行のSRC標準で規定されている被覆形鋼管コンクリート柱の幅厚比・径厚比制限値の値が適切かどうかを検討するために、鋼管断面、断面形式、幅厚比・径厚比を主な実験変数に選び、短柱の圧縮試験を合計34体行った。

実験より得られた知見は以下の通りである。

- 1) 被覆形は、鋼管コンクリート幅厚比・径厚比制限値以内であれば低減計算耐力 N_u で実験最大耐力を安全側に評価できる。したがって現行の幅厚比・径厚比制限値は、概ね妥当である。
- 2) 中空形は、裸鉄骨の幅厚比・径厚比制限値以内であれば計算耐力 N_u で安全側に評価できることを確認した。
- 3) 充填形は、鋼管コンクリート幅厚比・径厚比制限値以内から制限値を越えるものまで低減計算耐力 N_u で安全側に評価できることを確認した。

今後の課題として、被覆コンクリートの帯筋比の値や鋼管のかぶり厚さが耐力や変形挙動に及ぼす影響を検討することが必要であろう。さらに、柱材の変形性能と幅厚比・径厚比の関係が定量化されることが望まれる。

謝辞

本実験に際して、九州大学技官、有働文久氏、川口昇氏、久島昭久氏、浜辰夫氏、コンクリートの打設に際し、九州大学技官津賀山健次氏の御協力を得ました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算標準・同解説，1987年6月
- 2) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造設計標準・同解説，1967年6月
- 3) 日本建築学会：鋼管コンクリート構造計算標準・同解説，1980年2月
- 4) 日本建築学会：鋼構造設計標準，1973年
- 5) 松井千秋：コンクリート充填鋼管構造の構造性能と設計，鋼構造論文集，第1巻第2号，pp.11-24，1994年6月
- 6) 津田恵吾，松井千秋：コンクリート充填角形鋼管柱の構造性能と幅厚比制限値について，鋼構造論文集，第1巻第2号，pp.25-36，1994年6月
- 7) 若林実，佐々木良一：鋼管コンクリート構造に関する研究(曲げモーメントを受ける被覆鋼管について)，日本建築学会論文報告集，第103号，1964年10月
- 8) 牧野稔，佐藤卓：鋼管コンクリート構造に関する研究(その2・曲げ圧縮を受ける被覆鋼管について)，日本建築学会論文報告集号外，p.334，1965年9月
- 9) 若林実，佐々木良一：鋼管コンクリート構造に関する研究(その3・せん断を受ける被覆鋼管について)，日本建築学会論文報告集号外，p.335，1965年9月
- 10) 羽倉弘人，高津精一：鋼管コンクリート構造に関する研究(被覆鋼管のコンクリートかぶり厚さに関する実験)，日本建築学会論文報告集号外，p.337，1965年9月
- 11) 若林実，南宏一，佐々木良一，小河弘明：鋼管コンクリート柱のせん断強度に関する実験的研究，京都大学防災研究所年報，第21号B-1，1978年4月

(1997年4月30日原稿受理，1997年8月20日採用決定)