遠心成形コンクリート充填鋼管柱の耐力・変形性能

ULTIMATE STRENGTH AND DEFORMATION CAPACITY OF CENTRIFUGAL CONCRETE FILLED STEEL TUBULAR COLUMNS

宮木 聡*, 松井千秋**, 畑戸龍夫***, 今村輝武***

吉野 茂***, 中 克己***

*Satoshi MIYAKI, Chiaki MATSUI, Tatsuo HATATO, Terutake IMAMURA,
Shigeru YOSHINO and Katsumi NAKA*

This paper reports bending shear test result of centrifugal concrete filled steel tubular column using super high strength concrete. The concrete is cast by centrifugal spinning method using super high strength concrete, and the concrete portion has a vacant hole. The evaluation formula of compression strength of consideration for confining effect derived from the results of axial compression test by authors. In this paper, the bending shear test under axial force of the column specimens were carried out in order that we may confirm relation between a vacant hole and structural performance. We proposed ultimate bending strength of consideration for confining effect of concrete filled steel tubular column can be estimated by proposed formula.

Keywords: centrifugal cast, vacant hole, high strength concrete, concrete filled steel tube, flexure and shear experiments, superposed strength, confining effect, deformation capacity
遠心成形, 空洞, 高強度コンクリート, コンクリート充填鋼管柱, 曲げせん断実験, 一般化累加強度, 拘束効果, 曲げ変形性能

1. はじめに

遠心成形コンクリート充填鋼管柱 (Centrifugal Cast Composite Column: CCC 柱) は, 製作工場でコンクリートを遠心成形機によって締め固めるため, コンクリートの高強度化と部材のプレキャストによる施工の省力化がはかれる構造柱である。また製作上の特徴としてコンクリート内部に空洞ができるが, 筆者ら¹⁾は空洞部へのモルタル充填の省力化と部材の軽量化を考え, 空洞があるままで実用化することを提案した。

コンクリート内部に空洞部を有する遠心成形コンクリート充填鋼管柱の実用化を目的として, 筆者ら¹⁾は空洞部の大きさを主要な実験変数とした遠心成形コンクリート充填鋼管短柱の中心圧縮実験を行い, 空洞部の大きさが柱の最大耐力・弾塑性性状などの基礎的性状に及ぼす影響を把握した。その実験結果によれば遠心成形コンクリート充填鋼管柱は, 鋼管の拘束効果によりコンクリートの耐力上昇が期待できることが判った。さらに筆者ら^{2), 3)}は中心圧縮実験の実験結果に基づき, 拘束効果を考慮した軸圧縮耐力式を作成し, 軸圧縮を受ける柱の軸圧縮耐力を精度よく予測できることを示した。

一方, コンクリートを遠心成形によって締め固め, コンクリート内部に空洞部を有するコンクリート充填鋼管柱の曲げせん断実験を行った既往の研究では, 空洞部にモルタルを充填して中実断面とし

たもの⁴⁾と空洞部の大きさを一定としたもの⁵⁾があるが, 空洞部の大きさを実験変数として行った研究はいままでに行われていない。

本研究では, 空洞部の大きさを主要な実験変数とした柱の一定軸力下の曲げせん断実験を行い, 軸力と曲げせん断力を受ける柱の耐力・変形性能についての基礎的性状の把握を行ったものである。また文献^{2), 3)}で作成した拘束効果を考慮した軸圧縮耐力式の妥当性を実験結果と比較することにより検討する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1に試験体の割付けを示す。実験変数は鋼管断面形状・空洞率 (定義は表-1脚注に示す)・径 (幅) 厚比・軸力比とした。鋼管断面形状は円形 (○ -216.3mm, STK400) と角形 (□ -200 × 200mm, STKR400) とし, 市販の冷間成形材を使用し, 熱処理は行っていない。空洞率 HRa は 0, 10, 20, 30, 50% とした。円形鋼管の径厚比 D/t は 26, 48 (板厚 t=8.2, 4.5mm), 角形鋼管の幅厚比 B/t は 17, 33 (t=12, 6mm), 軸力比 N/No は角形試験体の場合 0.3, 円形試験体の場合 0.4 (ただし D/t=48, HRa=50% の場合 N/No=0.3) とし, 高軸力の試験体も円形と角形で 2 体ずつ用意した (円形試験体の場合 D/t=48, HRa=0, 20% で N/No=0.6, 角形試験体の場合 B/t=33, HRa=0, 20% で N/No=0.5)。

本論文の一部は1995年度日本建築学会大会¹⁸⁾で発表している。

* 前田建設工業㈱特殊構造部
九州大学大学院 博士後期課程・工修

** 九州大学工学部 教授・工博

*** 前田建設工業㈱特殊構造部

Advanced Structural Engineering Maeda Corporation
Graduate School of Engineering, Kyushu Univ., M. Eng.
Prof., Faculty of Engineering, Kyushu Univ., Dr. Eng.
Advanced Structural Engineering Maeda Corporation

また、充填コンクリートの圧縮強度 ($F_c=98.1\text{MPa}$)、せん断スパン比 ($a/D, a/B=3.0$) は一定とした。なお試験体名称の定義は表-6 脚注に示す。図-1 に試験体の形状を示す。試験体は試験体の上下に取り付けたスタブ部を介して逆対称曲げモーメントが加えられるようにした両端固定の試験体である。

表-2 に鋼管の機械的性質を、また表-3 にコンクリートの調合を示す。コンクリート強度は JIS A 1136 の遠心力締め固めコンクリートの圧縮強度試験方法より算定し、材令は試験体と同一とし円形試験体の場合 82-93 日、角形試験体の場合 97-112 日である。

2.2 試験体の製作

試験体の製作方法については、試験体のコンクリート充填は、目標の空洞率とコンクリート比重から求めたコンクリート量を鋼管に投入した後、遠心力成形機により締め固め、その後蒸気養生を行った。遠心成形は表-4 に示す初速・中速・高速の3段階の遠心力を所定の時間かけた。また蒸気養生は表-5 に示す前置き・昇温・温度保持・自然冷却の4工程を2サイクル施した。なおコンクリート供試体の遠心成形方法と養生方法は試験体と同一とした。

なお空洞率 0% の試験体は、空洞率 10% 程度の試験体を製作後 (蒸気養生まで終了後)、空洞部に高強度無収縮モルタル (商品名: デンカスコンタイプ U) を充填した。

2.3 実験方法

実験は図-2 に示す (財) 日本建築総合試験所所有の建研式構造物試験機を用い、試験体を上下支持部に固定し、油圧ジャッキにより試験体の軸方向に所定の一定軸力を載荷しながら、押し引き型油圧ジャッキにより試験体に逆対称変形が生じるように水平方向に加力し、正負繰り返し加力による曲げせん断実験とした。水平方向の加力スケジュールは図-3 に示すように、正加力・負加力を1サイクルとして、部材角 0.5% を単位に変位振幅を増加させ 0.5, 1.5, 2.5% で各1サイクル、1.0, 2.0, 3.0, 4.0% で各2サイクル、それ以降は1% を単位に変位振幅を増加させ1サイクル行う漸増変位振幅とした。なお、最終加力は試験体の破壊状況に応じて調整した。

測定項目は水平荷重・試験体各部の変位・鋼管表面のひずみ度とした。図-1 中に変位計測位置とひずみ度測定位置を示す。変位測定項目は部材角・軸方向変形量・材端部回転角である。ひずみ度の測定は鋼管フランジ部 (加力方向と直交する面) とウェブ部 (加力方向と平行な面) について行った。

3. 実験結果および考察

3.1 実験経過および荷重-変形関係

図-4 に円形試験体の、図-5 に角形試験体の荷重-変形関係 (ただし部材角 $R=3\%$ まで) を示す。柱せん断力 Q は、軸力による装置の摩擦力 (軸力の 0.2% 程度) を差し引いた値とした。図中には鋼管に貼り付けたひずみゲージによる鋼管の降伏時 (降伏ひずみ $\varepsilon_y = \sigma_y / E$ に達した時点と定義する) ● (フランジ降伏 FY, ウェブ降伏 WY), 目視により確認した鋼管の局部座屈発生時を◇ (フランジ座屈 FB, ウェブ座屈 WB), 最大耐力を○ (Q_{max}) で示してある。また図中には軸力による付加曲げモーメントを差し引いた、材料強度より求めた一般化累加強度⁶⁾ ($cru=1.0$) の計算値を点線で示し、軸力により柱に生じるせん断力を一点鎖線で示してある。

表-1 試験体の割付

円形試験体					角形試験体				
空洞率 HRa(%)	径厚比 D/t				空洞率 HRa(%)	幅厚比 B/t			
	26		48			17		33	
	軸力比 N/No					軸力比 N/No			
	0.4	0.3	0.4	0.6		0.3	0.3	0.5	
0	○		○	○	0	□	□	□	
10	○		○		10	□	□		
20	○		○	○	20	□	□	□	
30	○		○		30	□	□		
50	○	○			50	□	□		

○:円形断面, □:角形断面

空洞率:鋼管にコンクリートを充填して中実断面としたコンクリートと鋼管の断面積の和に対する空洞部の断面積の割合

N:載荷軸力, $N_o = sA \cdot s \sigma_y + cA \cdot c \sigma_B$

図-1 試験体の形状および計測の概要

表-2 鋼管の機械的性質

鋼管	公称	実測	引張側	圧縮側**	引張		
材質	板厚	板厚	降伏点*	降伏点*	強度	伸び	降伏比
種類	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	
円形 STK400	4.5	4.2	379	338	468	38	0.81
"	"	4.14	431	322	488	32	0.88
"	8.2	8.05	563	510	614	29	0.92
角形 STKR400	6.0	5.7	327	343	438	37	0.74
"	"	5.71	369	381	497	35	0.74
"	12.0	11.44	406	414	482	38	0.84

*降伏点は、0.2%オフセット法により算定した。

**圧縮側降伏点は、中空鋼管供試体の圧縮試験により得られた応力-ひずみ関係より算出した。

表-3 コンクリートの調合

F_c (MPa)	最大粗骨材 (cm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
98.1	15	4±2	2±1	27	35
単位量 (kg/m ³)					
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材*	混和剤**
126	470	635	1184	57	8

*高強度発現用混和材, **高性能減水剤

(1) 円形試験体

全ての試験体は載荷に伴い鋼管のフランジ・ウェブが降伏し、フランジの局部座屈の発生の前後に最大耐力に達した。

高軸力以外の試験体 ($N/N_0=0.3, 0.4$) では軸力導入時または1サイクル目の $R=0.5\%$ に鋼管のフランジが圧縮降伏するとともに2-4サイクル目 $R=0.5-1.4\%$ 時には鋼管ウェブがせん断降伏した。また3-4サイクル目 $R=1.0-1.5\%$ 時には鋼管フランジの局部座屈が生じるのとほぼ同時に最大耐力に達した。これ以降は鋼管のフランジの局部座屈が顕著になり耐力低下を起こした。その後の性状は空洞率によって異なり、空洞率0%では8-9サイクル目の $R=2.1-3.0\%$ 時にウェブの局部座屈が生じたが耐力低下は少なく、 $R=10\%$ に達した時点で実験を終了した。空洞率10-50%では4-7サイクル目の0.5-2.5%時にウェブの局部座屈が生じ、耐力の急激な低下と軸変形の増大が顕著になり、軸力が保持できなくなったために実験を終了した。

高軸力の試験体では、軸力導入時に鋼管フランジが圧縮降伏した後1サイクル目にウェブがせん断降伏し、2-3サイクル目で鋼管フランジに局部座屈が生じるとほぼ同時に最大耐力に至り、それ以降はウェブの局部座屈とともに耐力が急激に低下し実験を終了した。

(2) 角形試験体

全ての試験体は鋼管のフランジ・ウェブが降伏し、フランジの局部座屈の発生の前後に最大耐力に達した。

高軸力以外の試験体 ($N/N_0=0.3$) では1サイクル目の $R=0.5\%$ までに鋼管のフランジが圧縮降伏するとともに2-4サイクル目 $R=0.9-1.4\%$ 時には鋼管ウェブがせん断降伏した。また4-5サイクル目 $R=1.1-1.8\%$ 時には鋼管フランジの局部座屈が生じるのとほぼ同時に最大耐力に達した。これ以降は鋼管のフランジの局部座屈が顕著になり、耐力低下を起こした。その後の性状は空洞率によって異なり、空洞率0%では6-7サイクル目の $R=2.0-2.1\%$ 時にウェブの局部座屈が生じたが耐力低下は少なく $R=10\%$ に達した時点で実験を終了した。空洞率10-50%では4-6サイクル目の $R=1.0-2.0\%$ 時にウェブの局部座屈が生じ、耐力の急激な低下と軸変形の増大が顕著になり、軸力が保持できなくなったために実験を終了した。

高軸力の試験体では、軸力導入時に鋼管フランジが圧縮降伏した後1サイクル目にウェブがせん断降伏し、2-3サイクル目で鋼管フランジに局部座屈が生じるとほぼ同時に最大耐力に至り、それ以降はウェブの局部座屈とともに耐力が急激に低下し実験を終了した。

3.2 破壊性状

円形試験体の場合、鋼管フランジおよびウェブの局部座屈の生じた位置は、空洞率に関わらず径厚比によって異なり、径厚比 $D/t=26$ の場合柱端部から0.2D程度の位置で、 $D/t=48$ の場合0.3D程度の位置で生じていた。角形試験体の場合、鋼管フランジおよびウェブの局部座屈は、円形試験体と同様に空洞率に関わらず幅厚比によって異なり、幅厚比 $B/t=17$ の場合、柱端部から0.25D程度の位置で、 $B/t=33$ の場合0.4D程度の位置で生じていた。

また実験終了後に試験体の鋼管部分を切断し、内部のコンクリートの破壊状況を観察したところ、全ての試験体は鋼管の局部座屈位置に対応してコンクリートが圧壊していた。またコンクリートに材軸方向のひび割れが観察された。

表-4 遠心成形

速 度	遠心力(G)	回転数(r.p.m.)	時間(min.)
初 速	1	90	3
中 速	10	280	2
高 速	32	500	4

表-5 蒸気養生

工 程	項 目	内 容
1	前置き	常温で3時間以上放置
2	昇温	20℃/hで80℃まで蒸気加熱
3	温度保持	80℃で3時間の温度保持
4	自然冷却	常温まで自然冷却

図-2 試験装置概要

図-3 目標加力スケジュール

3.3 耐力

表-6に耐力・変形に関する実験結果の一覧を示す。SRC規準の一般化累加強度式 ($cru=1.0$) による終局曲げ耐力の計算値 M_{cal} に対する最大耐力 M_{exp} (定義は表-6脚注に示す) の比を耐力上昇比として示し、図-6に耐力上昇比と空洞率との関係を示す。

円形試験体の場合、 $D/t=26, HRa=50\%$ 以外の試験体を除いて耐力上昇比は1.08-1.32となり実験耐力は一般化累加強度を上回った。耐力上昇比を実験変数ごとにみると、径厚比による違いは見られないが、空洞率が小さくなるにしたがいまたは軸力比が大きくなるにしたがい耐力上昇比は大きくなるのが判る。

角形試験体の場合、全ての試験体の耐力上昇比は1.13-1.39となり実験耐力は一般化累加強度を上回った。また実験変数の違いによる影響については、幅厚比によって傾向が異なり、幅厚比が小さい

図-4 荷重 - 変形関係 (円形試験体)

図-5 荷重-変形関係(角形試験体)

B/t=17では空洞率が小さくなるにしたがい耐力上昇比は大きくなるが、幅厚比が大きいB/t=33では空洞率が小さくなるにしたがい耐力上昇比は小さくなる事が判る。軸力比による影響は円形試験体の傾向とは異なり、耐力上昇比に違いはあまり見られなかった。

3.4 軸方向ひずみ

図-7に高軸力以外の円形試験体について、軸方向ひずみと空洞率との関係を径厚比ごとに示す。軸方向ひずみは、各载荷サイクル(各1回目の正加力側)の最大部材角時の変位計による軸方向縮み量を試験体長さで除した値とした。図により円形試験体の場合、D/t=26では部材角1.0%まで、D/t=48の場合は部材角1.5%までは軸ひずみの増加の割合は小さいが、部材角が2.0%になると空洞率20%以上では空洞率0-10%の試験体に比べて急激に軸方向ひずみが増加することが判る。空洞率20%以上の試験体の軸方向ひずみが急増するのは、材端部でコンクリートが圧壊し鋼管の座屈が進展したためであると考えられる。

3.5 限界部材角

柱の変形性能の評価をその一指標である限界部材角 R_u で検討することとした。限界部材角 R_u の定義は図-8に示すように軸力による付加曲げモーメントを除いた荷重-変形関係の包絡線上で最大耐力の95%の耐力(耐力が安定しており最大耐力に近い耐力)に低下した時点での部材角とした⁷⁾。図-9に限界部材角 R_u と空洞率との関係を示す。実験変数の違いによる限界部材角の傾向をみると、円形試験体および角形試験体とも、空洞率または径(幅)厚比が大きくなるにしたがいまたは軸力比が高くなるにしたがい、限界部材角 R_u は小さくなる事が判る。

図-8 限界部材角の定義

4. 終局曲げ耐力算定式

前節「3.3 耐力」では実験結果の最大曲げ耐力を、材料強度より求めた一般化累加強度式による曲げ耐力の計算値 M_{cal} との比較を行い、耐力上昇について検討した。ここでは拘束効果を考慮した終局曲げ耐力式を提案し、実験結果と比較することにより提案式の妥当性を確認する。

4.1 終局曲げ耐力の算定式

終局曲げ耐力を図-10に示す応力状態を仮定した鋼管とコンクリートの一般化累加強度とする。円形鋼管にはVon Misesの降伏条件、角形鋼管の圧縮及び引張線強度は鋼管の降伏点 σ_y とする。充填コンクリートの圧縮強度は拘束効果を考慮する^{2), 3)}。

表-6 実験結果一覧

*1 試験体 名称	鋼管幅 D,B (mm)	板厚 t (mm)	空洞率 HRa (%)	軸力 N (kN)	コンクリート 強度 $c\sigma_B$ (MPa)	鋼管 降伏点 σ_y (MPa)	累加*8 圧縮強度 No (kN)	最大*9 曲げ耐力 Mexp (kN·m)	最大*10 せん断力 Qmax (kN)	Qmax時 部材角 maxR (%)	一般化 累加強度 Mcal (kN·m)	Mexp Mcal	限界部材角 実験値 Ru (%)	曲げ耐力 計算値 Mcal' (kN·m)	Mexp Mcal'
C00-2604	217	8.05	(12.8)*2	2442	98.2	510	5789	287	392	2.01	232	1.24	3.40	264	1.09
C10-2604	217	8.05	13.0	2275	98.2	510	5319	278	392	2.01	223	1.25	2.17	247	1.13
C20-2604	217	8.05	20.1	2157	98.9	510	5074	244	352	1.41	219	1.12	1.74	235	1.04
C30-2604	217	8.05	28.1	2030	98.9	510	4783	229	324	1.20	212	1.08	1.56	221	1.03
C50-2604	217	8.05	48.9	1716	94.9	510	3973	176	260	0.81	187	0.95	1.24	176	1.01
C00-4804	216	4.2	(11.1)*3	1785	101	338	4358	166	234	1.52	138	1.20	2.05	148	1.12
C10-4804	216	4.2	11.0	1687	103	338	4019	161	229	1.41	136	1.19	2.00	144	1.12
C20-4804	216	4.2	22.2	1549	104	338	3619	148	214	1.22	130	1.14	1.50	135	1.10
C30-4804	216	4.2	31.4	1402	106	338	3310	140	204	1.01	125	1.12	1.31	128	1.10
C50-4803	216	4.2	49.3	834	106	338	2620	132	189	1.22	112	1.17	1.30	112	1.18
C00-4806	217	4.14	(9.55)*4	2648	94.9	322	4130	146	204	1.01	111	1.32	1.72	125	1.17
C20-4806	216	4.2	21.8	2305	104	338	3633	130	166	0.71	105	1.24	0.92	112	1.16
R00-1703	200	11.4	(10.8)*5	1814	83.4	406	5868	382	607	2.00	274	1.39	2.62	294	1.30
R10-1703	200	11.4	10.1	1765	90.6	406	5733	377	598	2.01	276	1.36	2.54	292	1.29
R20-1703	200	11.4	23.0	1589	83.4	406	5122	353	565	1.80	262	1.35	2.11	275	1.28
R30-1703	200	11.4	30.1	1559	90.6	406	5026	333	535	1.51	260	1.28	2.06	270	1.23
R50-1703	200	11.4	51.9	1344	93.7	406	4287	290	466	1.51	238	1.22	1.98	240	1.21
R00-3303	200	5.7	(10.5)*6	1481	101	327	4979	218	344	1.52	181	1.20	2.05	184	1.18
R10-3303	200	5.7	11.4	1402	103	327	4569	209	332	1.34	180	1.16	1.75	182	1.15
R20-3303	200	5.7	25.3	1177	93.1	327	3762	203	326	1.32	167	1.22	1.56	168	1.21
R30-3303	200	5.7	29.1	1157	98.1	327	3743	199	310	1.22	168	1.19	1.51	169	1.18
R50-3303	200	5.7	50.0	873	93.6	327	2850	186	300	1.32	145	1.28	1.39	146	1.27
R00-3305	200	5.71	(7.52)*7	2491	93.7	369	4919	201	307	1.00	179	1.13	1.08	186	1.08
R20-3305	200	5.7	23.8	1952	93.1	327	3817	189	302	0.83	149	1.27	1.01	154	1.23

*1 試験体名称の定義

C 00-26 04
 鋼管の断面形状(C:円形,R:角形)
 空洞率(%)
 径厚比, 幅厚比(D/t,B/t)
 軸力比(1/10)

*2 モルタル($m\sigma_B=108\text{MPa}$)を充填

*3 " ($m\sigma_B=105\text{MPa}$)
 *4 " ($m\sigma_B=107\text{MPa}$)
 *5 " ($m\sigma_B=111\text{MPa}$)
 *6 " ($m\sigma_B=110\text{MPa}$)
 *7 " ($m\sigma_B=106\text{MPa}$)

コンクリート強度と
同等とみなして、耐
力の計算にはコンク
リート強度を用いた

*8 $No=sA\cdot\sigma_y+cA\cdot c\sigma_B$

*9 $M_{exp}=(Q_{max}+N\cdot\max R)L/2$

*10 正加力時の値を示す

(1) 円形試験体

(1) 円形試験体 (D/t=26, N/No=0.4)

(1) 円形試験体

(2) 角形試験体

(2) 円形試験体 (D/t=48, N/No=0.4,0.3)

(2) 角形試験体

図-6 耐力上昇比と空洞率との関係

図-7 軸方向ひずみと空洞率との関係

図-9 限界部材角と空洞率との関係

円形断面 (D/t=26-48, Fc=58.8-98.1MPa, HRa=0-50%)

$$c \sigma B' = c \sigma B + kc \times 0.21 s \sigma y \left(\frac{2t}{D-t} \right)$$

$$kc = 5.17 - \frac{HRa}{12}$$

角形断面 (B/t=17-33, Fc=58.8-98.1MPa, HRa=0-50%)

$$c \sigma B' = c \sigma B + kr \cdot s \sigma y \left(\frac{2t}{B-t} \right)^2$$

$$kr = 4.3 - \frac{3.3HRa}{50}$$

kc, kr: 円形鋼管, 角形鋼管の拘束係数, HRa: 空洞率 (%)

図-10 鋼管部分とコンクリート部分の応力度の分布

4.2 実験結果と計算値との比較

表-6に実験による最大耐力 M_{exp} と提案した拘束効果を考慮した終局曲げ耐力式による計算値 M_{cal}' との比 M_{exp}/M_{cal}' を示す。また図-11には M_{exp}/M_{cal}' を空洞率ごとに示す。 M_{exp}/M_{cal}' は円形試験体の場合 1.01-1.18, 角形試験体の場合 1.08-1.30 となり, 実験耐力 M_{exp} は曲げ耐力計算値 M_{cal}' を上回っていることが判る。

(1) 円形試験体

(2) 角形試験体

図-11 提案式による計算値と実験値との関係

(1) 円形断面

(2) 角形断面

図-12 計算値と既往文献実験値との関係

4.3 既往文献との比較

図-12に、空洞率0%に相当する既往文献(コンクリート強度 $c\sigma_B=60\sim100\text{MPa}$ 程度, 円形断面^{8)~12)}, 角形断面^{4), 13)~17)})に示された最大耐力と計算値の比較を示す。図により, 円形断面の場合 $M_{exp}/M_{cal}=0.96\sim1.99$, 角形断面の場合 $M_{exp}/M_{cal}=0.96\sim1.53$ となり, 計算値は実験結果の下限を概ね示すことが判る。

5. まとめ

遠心成形コンクリート充填鋼管柱の一定軸力下での曲げせん断実験を行い, 実験の範囲内で以下の結論を得た。

- ①実験結果の最大曲げ耐力 M_{exp} は, 一般化累加強度式による終局曲げ耐力の計算値 M_{cal} を上回った(円形試験体の場合 $M_{exp}/M_{cal}=1.08\sim1.32$, 角形試験体の場合 $M_{exp}/M_{cal}=1.13\sim1.19$)。
- ②拘束効果を考慮した終局曲げ耐力の算定式を提案し, 提案式による計算値は実験最大曲げ耐力の下限を概ね示すことを確認した。
- ③限界部材角は, 空洞率または径厚比が大きくなるほど, または軸力比が高くなるほど小さくなる。

一定軸力下での柱の曲げせん断実験を行い, 弾塑性挙動・耐力及び変形性能などの基礎的性状が把握できた。また拘束効果を考慮した曲げ耐力算定式を提案し, 実験結果と比較することで提案式の妥当性を確認することができた。今後は本構造柱の適切な適用法を把握する必要があると考える。

謝辞

本稿を執筆するにあたり, 九州大学工学部助手津田恵吾博士に貴重な助言を頂戴しました。試験体製作にあたり三谷セキサン(株)技術部 荒木隆・渡辺正登の諸氏のご協力を得ました。また実験実施にあたり(財)日本建築総合試験所 構造物試験室 益尾潔博士・尾谷透・平井義行・井上寿也の諸氏にお世話になりました。ここに記して深く感謝致します。

参考文献

- 1) 宮木 聡・松井千秋・津田恵吾・畑戸龍夫・今村輝武: 遠心成形コンクリート充填鋼管柱の軸圧縮性状, 日本建築学会構造系論文集, 第482号, pp.121-130, 1996.4.
- 2) 宮木 聡・松井千秋・津田恵吾・畑戸龍夫・今村輝武: 遠心成形コンクリート充填円形鋼管柱の軸圧縮耐力式, 日本建築学会構造系論文集, 第482号, pp.151-160, 1996.4.
- 3) 宮木 聡・松井千秋・津田恵吾・畑戸龍夫・今村輝武: 遠心成形コンクリート充填角形鋼管柱の軸圧縮耐力式, 構造工学論文集 Vol.43B, pp.581-586, 1997.3.
- 4) 岡本達夫・前野敏元・西澤英和・金多 潔: 高強度遠心成形角形鋼管コンクリート柱の曲げ耐力および変形性能に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.41B, pp.419-426, 1995.3.
- 5) 前野敏元・岡本達夫・久徳敏治・西澤英和・金多 潔: 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.
- 6) 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, 1987.6.
- 7) 吉野 茂・渡辺朋之・今村輝武・松井千秋: 充填型鋼管コンクリート柱の変形性能の評価式, 鋼構造論文集, 第1巻第2号, pp.67-80, 1994.6.
- 8) 上田弘樹・松谷輝雄・中島將好・澤田誠一郎: 充填型鋼管コンクリート柱に関する研究(その3)円形断面の軸力曲げせん断実験-LHシリーズ-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1617-1618, 1989.10.
- 9) 上田弘樹・松谷輝雄・中島將好・吉川真次・大竹章夫・一戸康生: 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13. 円形鋼管コンクリート柱の等曲げ性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1067-1068, 1990.10.
- 10) 吉川真次・松谷輝雄・中島將好・上田弘樹・大竹章夫・一戸康生: 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. 円形鋼管コンクリート柱の曲げせん断性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1069-1070, 1990.10.
- 11) 前野敏元・金多 潔・西澤英和・瀬川輝夫・岡本達夫・木村 衛・太田秀彦: 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的挙動に関する研究, その1 コンクリート強度 F_{c600} を用いた円形鋼管柱について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1587-1583, 1994.9.
- 12) 斎藤啓一・吉川祐三・植坂武史・古海賢二・小濱洋輔・清水孝悦: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1017-1018, 1996.9.
- 13) 毛井崇博・木村 衛・中島俊雄・沢田 博: 充填型鋼管コンクリート柱に関する研究(その6)角形断面の軸力曲げせん断実験-Mシリーズ-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1623-1624, 1989.10.
- 14) 前野敏元・岡本達夫・久徳敏治・西澤英和・金多 潔: 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, 巾圧比, 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.1841-1842, 1992.8.
- 15) 渡辺朋之・多賀 章・岩岡信一: 鋼管コンクリート構造の開発(その3)高軸力を受ける柱部材の曲げせん断実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1819-1820, 1992.8.
- 16) 井上貴之・福元敏之・林 信之・岡田忠義: 高強度材料を用いたコンクリート充填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.
- 17) 出雲洋治・渡辺英義・竹崎真一・成原弘之・小林 淳・中村敏治: コンクリート充填鋼管柱の構造性能に関する研究(その2)実験結果(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.769-770, 1995.8.
- 18) 今村輝武・畑戸龍夫・多賀 章・吉野 茂・宮木 聡・中 克己: 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)実験概要および角形試験体(その2)円形試験体, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.751-754, 1995.8.

(1996年12月10日原稿受理, 1997年6月4日採用決定)