

論文 高強度長方形断面 CFT 柱の圧縮性能に関する実験的研究

杉本 太一*1・難波 隆行*2・加村 久哉*3・中西 三和*4

要旨: 近年では長方形断面の CFT 柱も実際に採用されているが、長方形断面 CFT 柱に関する実験データは乏しいのが現状である。本研究では長方形断面 CFT 柱の圧縮性能を検討することを目的として、30MN 大型試験機を用いた中心圧縮実験を実施した。実験結果から、長方形断面 CFT 柱の軸圧縮耐力を正方形断面 CFT 柱と同様に累加強度で評価できることを確認した。一方で、最大耐力時ひずみと軟化勾配の比較から、長方形断面の変形性能は正方形断面に比べ脆性的であることがわかった。また、CFT 柱の最大耐力が材料試験強度で計算した累加耐力に達しないケースがあったが、コアコンクリート強度で計算した累加耐力には達した。

キーワード: CFT 柱, 長方形断面, 高強度材料, 中心圧縮実験, 幅厚比, 鋼管耐力比

1. はじめに

CFT(コンクリート充填鋼管)構造は高強度材料の普及により、超高層を中心とした大規模な建築物の高軸力を負担する柱材に数多く採用されてきた。これら CFT 柱の多くは角形断面(正方形断面)もしくは円形断面であり、角形断面では溶接組立箱形鋼管や冷間コラムが使われている。特に、超高層などの大規模建築物では、柱断面が大きくなることから柱の鋼管には溶接組立箱形鋼管が用いられる場合が多い。この溶接組立箱形鋼管では 4 枚の鋼板を溶接するため、柱断面の幅とせい、フランジとウェブの板厚を変えることにより、より合理的な CFT 柱を設計できる。また、近年では長方形断面の CFT 柱も実際に採用されている。しかし、長方形断面 CFT 柱に関する

実験データは乏しく、同じ幅厚比を有する長方形断面と正方形断面の CFT 柱では鋼材とコンクリートの断面積比が異なるなど構造性能を決定する因子が必ずしも明確でないのが現状である。

そこで、本研究では長方形断面 CFT 柱の圧縮性能を検討することを目的として、文献調査を基に鋼管の断面形状・幅厚比・鋼管耐力比をパラメータとして長方形断面 CFT 柱および正方形断面 CFT 柱の中心圧縮実験を実施した。また、全ての CFT 柱試験体の外形寸法に対応するコンクリートのみの実験(プレーンコンクリート柱実験)および鋼管のみの実験(中空鋼管実験)に加え、プレーンコンクリート柱のコア供試体を用いた試験(コア供試体圧縮試験)を同時に行い CFT 柱と比較することで、角形断面 CFT 柱の挙動について分析した。

表一 試験体の構造諸元

試験体	形状	幅	板厚	幅厚比	計算耐力 N_0 [kN]	鋼管耐力比 σ_{Ny}/N_0	
		B [mm]	t [mm]	B/t			
CFT12S-22-6	正方形	360	16.2	22.2	15964	0.59	
CFT12R-31-6	長方形	長辺	500	16.2	30.8	15431	0.60
		短辺	250	12.2	20.5		
CFT12R-23-7	長方形	長辺	500	22.0	22.8	18461	0.68
		短辺	250	12.2	20.5		
CFT13S-40-4	正方形	360	9.1	39.7	13263	0.41	
CFT13R-55-4	長方形	長辺	500	9.1	55.2	12761	0.41
		短辺	250	7.1	35.3		
CFT13R-42-5	長方形	長辺	500	12.1	41.5	14087	0.48
		短辺	250	9.1	27.6		
S12S-22	正方形	360	16.2	22.2	9458	1.00	
S12R-31	長方形	長辺	500	16.2	30.8	9163	1.00
		短辺	250	12.2	20.5		
S12R-23	長方形	長辺	500	22.0	22.8	12507	1.00
		短辺	250	12.2	20.5		
S13S-40	正方形	360	9.1	39.7	5456	1.00	
S13R-55	長方形	長辺	500	9.1	55.2	5180	1.00
		短辺	250	7.1	35.3		
S13R-42	長方形	長辺	500	12.1	41.5	6762	1.00
		短辺	250	9.1	27.6		
C12S	正方形	360	9.1	-	7948	-	
C12R	長方形	長辺	500	9.1	-	7634	-
		短辺	250	7.1	-		
C13S	正方形	360	9.1	-	8722	-	
C13R	長方形	長辺	500	9.1	-	8413	-
		短辺	250	7.1	-		

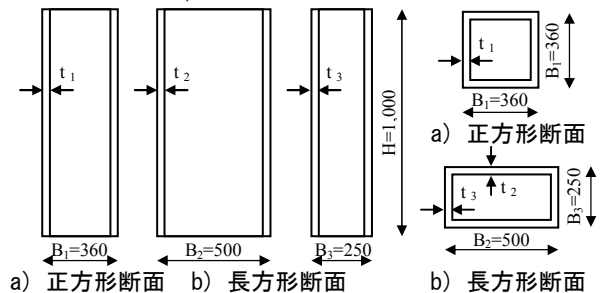
2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体の構造諸元を表一に、試験体名称および試験

[試験体名称例] CFT 12 R - 23 - 7

- ①: 種類 [CFT: CFT, C: プレーンコンクリート柱, S: 中空鋼管]
- ②: 実験年度 [12: 2012 年度, 13: 2013 年度]
- ③: 断面形状 [S: 正方形, R: 長方形]
- ④: 幅厚比 B/t
- ⑤: 鋼管耐力比 σ_{Ny}/N_0 [4→0.4, 5→0.5, 6→0.6, 7→0.7]



図一 試験体名称および試験体形状

*1 日本大学大学院 理工学研究科海洋建築工学専攻 (学生会員)

*2 JFE スチール (株) 土木・建築研究部 (非会員)

*3 JFE スチール (株) 土木・建築研究部 工博 (非会員)

*4 日本大学 理工学部海洋建築工学科 教授 工博 (正会員)

体形状を図-1に示す。試験体材料には、60N/mm²級コンクリートと550N/mm²級鋼板を使用した。コンクリートの配合表、材料試験結果(φ100×200による圧縮試験)を表-2、表-3に、鋼板の材料試験結果を表-4に示す。計算耐力N₀は累加強度(1)式により算出した。

$$N_0 = c_c A_c \sigma_B + s_s A_s \sigma_y \quad (1)$$

c_cA:コンクリート断面積 c_cσ_B:シリンダー強度(材料試験)
 s_sA:鋼管断面積 s_sσ_y:鋼板降伏強度(材料試験)
 N_c=c_cA · c_cσ_B s_sN_y=s_sA · s_sσ_y

CFT柱試験体は幅厚比を変動させた同一面積の正方形断面試験体2体、それぞれの正方形断面試験体と鋼管耐力比を同等とした長方形断面試験体2体および長辺側の幅厚比を同等とした長方形断面試験体2体の計6体を作製した。また、CFT柱の挙動の分析のため、比較対象としてCFT柱試験体の外形寸法Bと同寸法のコンクリートみの試験体(以下、プレーンコンクリート柱試験体)および鋼管みの試験体(以下、中空鋼管試験体)を作製した。全ての試験体の高さHは1,000mmとした。なお、

表-2 コンクリート配合表(kg/m³)

セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
405	170	646	166	979	4.05
水セメント比		42.0%		細骨材率 46.5%	

表-3 コンクリート材料試験結果

試験年度	圧縮強度 c _c σ _B [N/mm ²]	最大強度時ひずみ [μ]	ヤング係数 [N/mm ²]	割裂引張強度 [N/mm ²]
2012	59.7	2487	33152	4.03
2013	67.3	2797	35820	4.00

表-4 鋼板材料試験結果

実験年度	板厚 t [mm]	降伏強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]
2012	12.2	432	589
	16.2	424	582
	22.0	471	599
2013	7.1	408	567
	9.1	424	571
	12.1	416	557

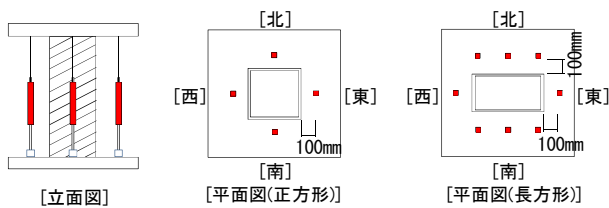


図-2 変位計測位

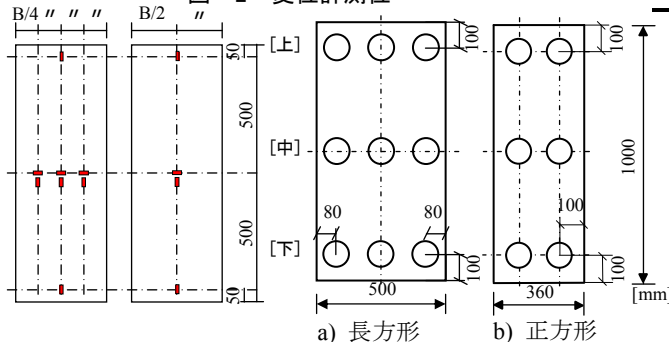


図-3 ゲージ貼付位

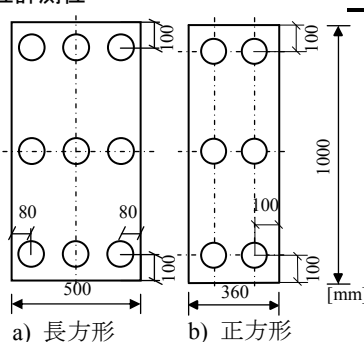


図-4 コア採取位置

全てのCFT柱試験体・中空鋼管試験体の鋼管には溶接組立箱形鋼管を用いた。

2.2 载荷・計測概要

本実験は、日本大学理工学部大型構造物試験センター30MN大型試験機を用いて実施した。試験機のベッドに試験体を据え置き鋼管と充填コンクリートを加圧する平押し試験を行った。一様な荷重が作用するように、CFT柱試験体およびプレーンコンクリート柱試験体ともに上下面に硬質石膏による表面処理を施した。なお、偏芯荷重が作用しないように载荷初期の応力状態が中心圧縮状態であることを確認しながら圧縮試験を行った。

CFT柱・プレーンコンクリート柱・中空鋼管各実験ともに試験体周囲4面の鉛直変位とひずみを計測した。変位計は鋼管の局部座屈による変形を避けるために試験体から100mm離してセットした(図-2)。ひずみゲージ貼付位置を図-3に示す。ひずみは、上段・中段・下段の縦ひずみに加え、中段の横ひずみを計測した。

3. コア供試体

本研究では構造体コンクリートの打込み位置による強度のばらつきの影響を検討するために、本実験の試験体作製と同時にプレーンコンクリート柱を別に作製し、上段・中段・下段からそれぞれ複数数のコア供試体(φ100×200mm)を採取し本実験と同時期にコア供試体の圧縮試験を行った。12シリーズでは長方形断面、13シリーズでは正方形、長方形断面から採取した。図-4にコア供試体の採取位置を示す。12シリーズ・13シリーズ供試体ともに骨材の量や質量に大きな差は見られなかった。しかし、12シリーズにおける上段の供試体は気泡が他の供試体に比べて目立った(写真-1)。

表-5 コア供試体試験結果 最大強度一覧(単位:N/mm²)

採取試験体	採取箇所	左端部	中央部	右端部	平均
	高さ				
2012 長方形	上段	50.2	50.3	50.0	50.2
	中段	61.0	59.3	59.1	59.8
	下段	61.0	60.2	61.4	60.9
2013 正方形	上段	57.8	-	56.7	57.2
	中段	48.0*	-	59.2	59.2
	下段	57.2	-	54.5	55.8
2013 長方形	上段	58.3	56.4	48.3*	57.4
	中段	56.8	60.6	56.0	57.8
	下段	60.9	57.8	61.6	60.1

*値が著しく低いため除外

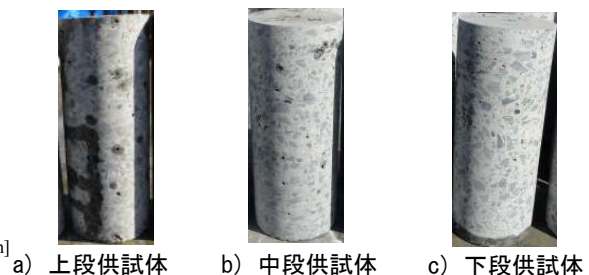


写真-1 コア供試体

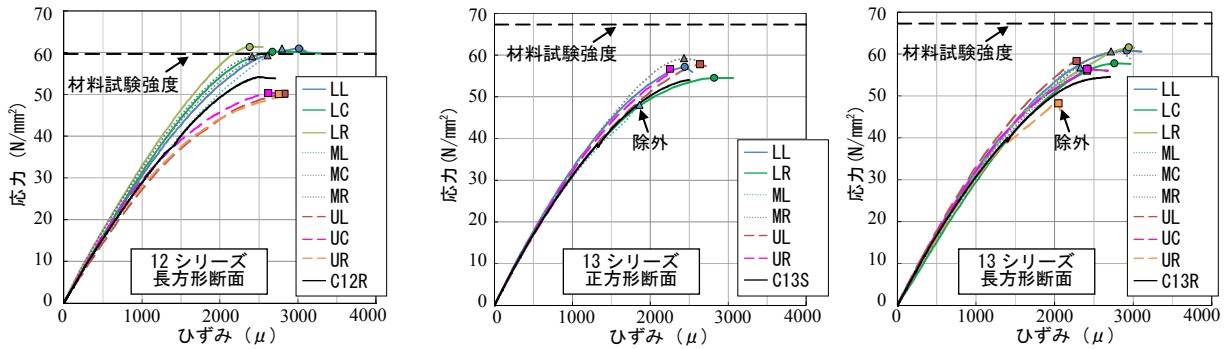


図-5 コア供試体の応力-ひずみ関係

3.1 破壊状況

全ての供試体において破壊過程は同様で、最大耐力を示した直後に耐力を急激に落とした。

3.2 応力-ひずみ関係

実験結果を表-5に、応力-ひずみ関係を図-5に示す。表-5中の平均値の算定にあたっては、他の部位における圧縮強度と比較して明らかに小さな値となった部位の結果は除いている。図5に示すコア供試体の名称は(1文字目 L:下段,M:中段,U:上段,2文字目 L:左,C:中,R:右)から採取したことを表す。図中のマークは最大応力点を示す。

12シリーズでは、中段および下段の試験体が同等の性状を示すのに対し、上段の試験体は他の試験体と比較して応力が 25N/mm^2 を超えた後の剛性が低く、最大応力も低い値を示した。

13シリーズでは、採取箇所による大きな違いは見られなかったが、構造体コンクリートの圧縮強度に対して既往の研究でも指摘^{例えば 1)}されているように、全てのコア供試体の圧縮強度は材料試験強度を下回った。

4. プレコンクリート柱実験結果

4.1 破壊状況

最終破壊状況を写真-2に示す。全ての試験体において、最大耐力を示した直後に爆裂現象を起こし耐力を急激に落とした。C12Rは、コア供試体圧縮試験において強度の低かった試験体上部が破壊した。

4.2 応力-ひずみ関係

実験結果を表-6に、応力-ひずみ関係を図-6に示す。ひずみは、試験体中段中央のひずみゲージの平均値である。今回の試験体は既往の研究^{例えば 2)}と同様に実験値が材料試験強度を下回った。長方形試験体 C12R の最大応力は、破壊箇所である試験体上段から採取したコア供試体よりも高い値を示した。試験体上端付近では載荷面の摩擦による拘束力が強度に影響した可能性がある。

一方、13シリーズ試験体の最大応力は、除外値を除くコア供試体強度の下限値程度となった。最大応力が材料試験強度に達しなかった主な原因として、構造体コンクリートの発現強度の低下が考えられる。また、脆性的に

表-6 プレコンクリート柱実験結果

試験体	材料試験 圧縮強度 [N/mm ²]	最大耐力時			対応試験体 シリーズ
		最大耐力 [kN]	最大応力 [N/mm ²]	ひずみ [μ]	
C12S	59.7	7362	56.2	2394	CFT12S
C12R		6820	54.2	2625	CFT12R
C13S	67.3	8723	54.0	2507	CFT13S
C13R		6820	54.6	2672	CFT13R

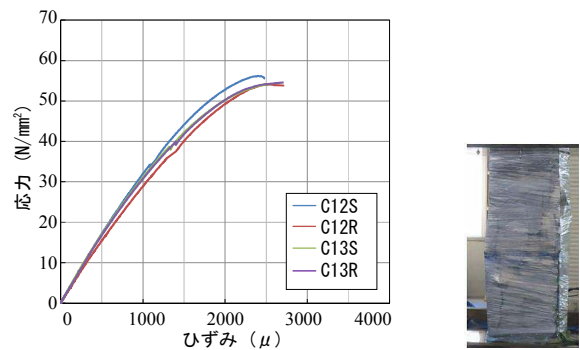


図-6 プレコンクリート柱応力-ひずみ関係



写真-2 プレコンクリート柱破壊状況

破壊するプレコンクリート柱では部分的に弱い箇所が耐力を失うと連鎖的に全体が破壊すると考えると、プレコンクリート柱の最大応力がコア供試体強度の下限値程度となることを説明できる。

5. 中空鋼管実験結果

13シリーズ CFT 試験体の鋼管の幅厚比は CFT 柱における制限値³⁾を満足するが、中空鋼管として使用するには幅厚比は制限値⁴⁾を超えており、中空鋼管として全断面有効とした設計耐力が期待できない試験体である。

5.1 破壊状況

全試験体で柱中段に凹凸の座屈現象を確認した(写真3)。13シリーズでは早い段階での座屈現象を確認した。

5.2 応力-縦ひずみ関係

実験結果を表-7に、応力-ひずみ関係を図7に示す。ひずみは、試験体各面に設置した変位計の測定値から算

表-7 中空鋼管実験結果

試験体	材料試験 降伏強度 [N/mm ²]	降伏応力 [N/mm ²]	最大耐力時		対応試験体
			最大応力 [N/mm ²]	ひずみ [μ]	
S12S-22	424	426	434	6292	CFT12S-22-6
S12R-31	426	420	420	3665	CFT12R-31-6
S12R-23	464	450	479	13144	CFT12R-23-7
S13S-40	424	-	394	2388	CFT13S-40-4
S13R-55	420	-	292	1937	CFT13R-55-4
S13R-42	418	-	374	2199	CFT13R-42-5

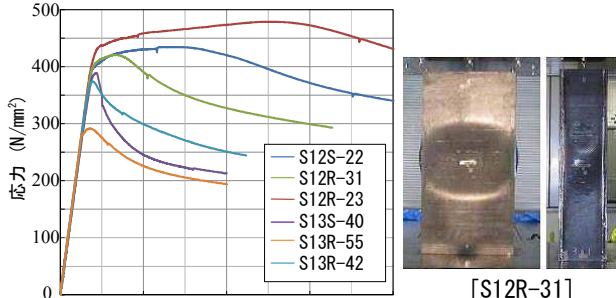


図-7 中空鋼管応力-ひずみ関係

写真-3 中空鋼管破壊状況

定した平均ひずみである。なお、表中の降伏応力は0.2%オフセット値である。13シリーズ試験体では、全ての試験体において最大応力は材料試験降伏強度に達しなかった。これは幅厚比が制限値を超えており、降伏強度に達する以前に早期の局部座屈を起こしたためである。

6. CFT 柱実験結果

CFT 柱試験体の実験結果を表-8 に示す。表には最大耐力を計算耐力で除して基準化した値 (N_{max}/N_0) を併せて示す。計算耐力の算出には、鋼板の材料試験における降伏強度とコンクリートの材料試験強度を用いる。

6.1 破壊状況

CFT 柱の最終破壊状況を写真-4 に示す。全ての試験体で鋼管に凸型の局部座屈が生じ、耐力が低下した。しかし、コンクリートの脆性破壊のような急激な耐力低下

表-8 CFT 柱実験結果

試験体	計算耐力 N_0 [kN]	最大耐力 N_{max} [kN]	N_{max}/N_0	最大耐力時 ひずみ ϵ_u	コンクリート 耐力 ^{※1} N_{C1} [kN]	中空鋼管耐 力 ^{※2} N_S [kN]	$N_{max}/$ ($N_{C1}+N_S$)	コアコンクリート 最大応力平均 N_{C2} [kN]	コアコンクリート 最大耐力平均 N_{C2} [kN]	鋼板 降伏耐力 N_p [kN]	$N_{max}/$ ($N_{C2}+N_p$)	$N_{max}/$ ($N_{C2}+N_S$)
CFT12S-22-6	15964	16146	1.01	3317	6030	9419	1.05	59.8	6416	9493	1.01	1.02
CFT12R-31-6	15431	15416	1.00	3153	5606	9033	1.05	59.8	6188	9201	1.00	1.01
CFT12R-23-7	18461	17801	0.96	2989	5306	11950	1.03	59.8	5855	12559	0.97	1.00
CFT13S-40-4	13263	12628	0.95	2877	6311	5309	1.09	57.4	6708	5392	1.04	1.05
CFT13R-55-4	12761	11562	0.91	2802	6146	5079	1.03	58.4	6596	5180	0.98	0.99
CFT13R-42-5	14087	13331	0.95	2760	5938	6622	1.06	58.4	6373	6757	1.02	1.03

※3 図-9, 10 における最大耐力比はブレンコンクリート短柱強度とCFT柱の最大耐力時ひずみにおける中空鋼管強度(シリーズ13は補正值)を基に算定した耐力に対する比(7節参照)

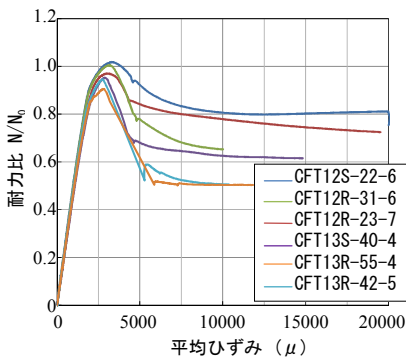


図-8 CFT 耐力比-ひずみ関係

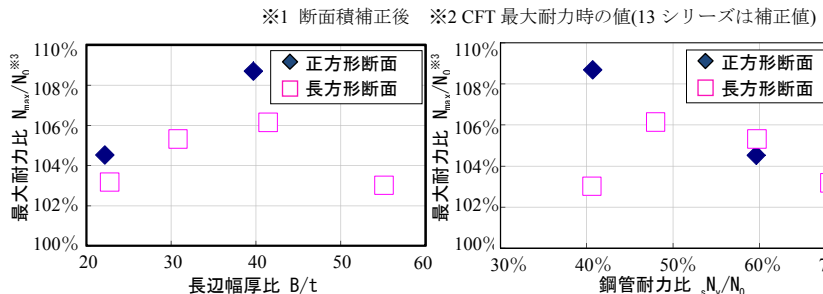


図-9 最大耐力比-幅厚比関係

図-10 最大耐力比-鋼管耐力比関係

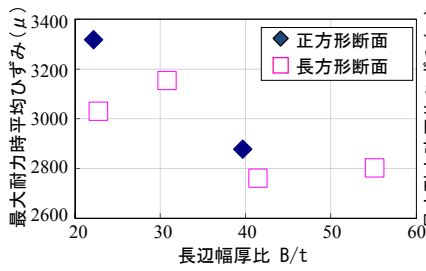


図-11 最大耐力時ひずみ-幅厚比関係

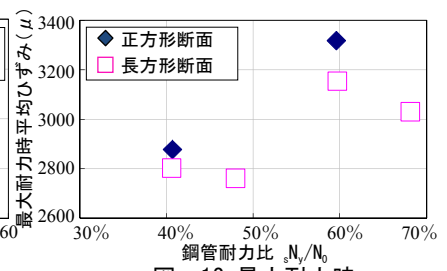


図-12 最大耐力時ひずみ-鋼管耐力比関係



写真-4 CFT 試験体破壊状況

は起こしていない。

6.2 耐力比-ひずみ関係

耐力比 N/N_0 (軸圧縮耐力/計算耐力)-ひずみ関係を図-8に示す。ひずみは、試験体各面に設置した変位計の測定値から算定した平均ひずみである。全ての試験体で同様の初期勾配を示し、最大耐力比 N_{max}/N_0 を示した後の耐力低下勾配は円形 CFT 柱試験体²⁾に比べ急である。最大耐力比直後の軟化勾配が大きい順に、鋼管耐力比が同等の長方形試験体、幅厚比が同等の長方形試験体、正方形試験体であり、正方形断面の拘束力の影響が長方形断面に比べ大きいと考えられる。

6.3 最大耐力比 (最大耐力 N_{max} /計算耐力 N_0)

シリーズごとに、基準となる正方形試験体と長方形試験体で最大耐力比に大きな差がなく、長方形断面 CFT 柱の軸圧縮耐力は正方形断面と同様に評価できると考えられる。13 シリーズの最大耐力比は 12 シリーズと比較してやや小さく、1 未満となるが、計算で使った材料試験強度よりも、実際の試験体コンクリートの強度が低いことが原因と考えられる。CFT 柱の最大耐力 N_{max} は中空鋼管柱の計算耐力 sN_y とコア強度で計算したコンクリート柱耐力 N_{c2} の和で精度良く評価できる (表-8)。文献 5) 等に記載されている管理方法により、構造体コンクリートの強度を設計強度以上とすることは可能である。

コンクリート材料試験強度と構造体コンクリートの強度差の影響を除くため、プレーンコンクリート柱強度

と CFT 柱の最大耐力時ひずみにおける中空鋼管強度(シリーズ 13 は補正值)を基にした評価耐力 $N_{c1} + N_s$ と最大耐力の比を算定し、幅厚比、鋼管耐力比との比較を行った(図-9, 10, 算定方法は次節参照)。この最大耐力比はいずれも 1 を超えた。最大耐力比と試験体形状、幅厚比、鋼管耐力比との相関は確認できない。一方、最大耐力時ひずみは、正方形断面が長方形断面に比べ大きく、同断面間の比較において幅厚比、鋼管耐力比との相関が確認できる(図-11, 12)。拘束効果の大きさは試験体形状、幅厚比、鋼管耐力比の影響を受けるが、最大耐力比に関しては耐力上昇が小さく、材料強度のばらつきにより相関は確認できなかったと考えられる。

7. 相互拘束効果に関する考察

[CFT 荷重と鋼管+コンクリートの累加値との比較]

図-13 は CFT 柱の充填コンクリートがプレーンコンクリート柱の破壊後も破壊直前の軸圧縮耐力を保つと仮定(図中破線)して、プレーンコンクリート柱と中空鋼管との同一ひずみ時における荷重の累加値を算出し、CFT 柱の最大耐力までの実験値と比較したものである。図中に各試験体の横方向ひずみを併記する。ひずみは、いずれも圧縮を正としている。

13 シリーズでは、中空鋼管試験体が早期に局部座屈を起こしたのに対して、CFT 試験体では弾性範囲での座屈現象は確認されなかった。そこで、局部座屈を起こさな

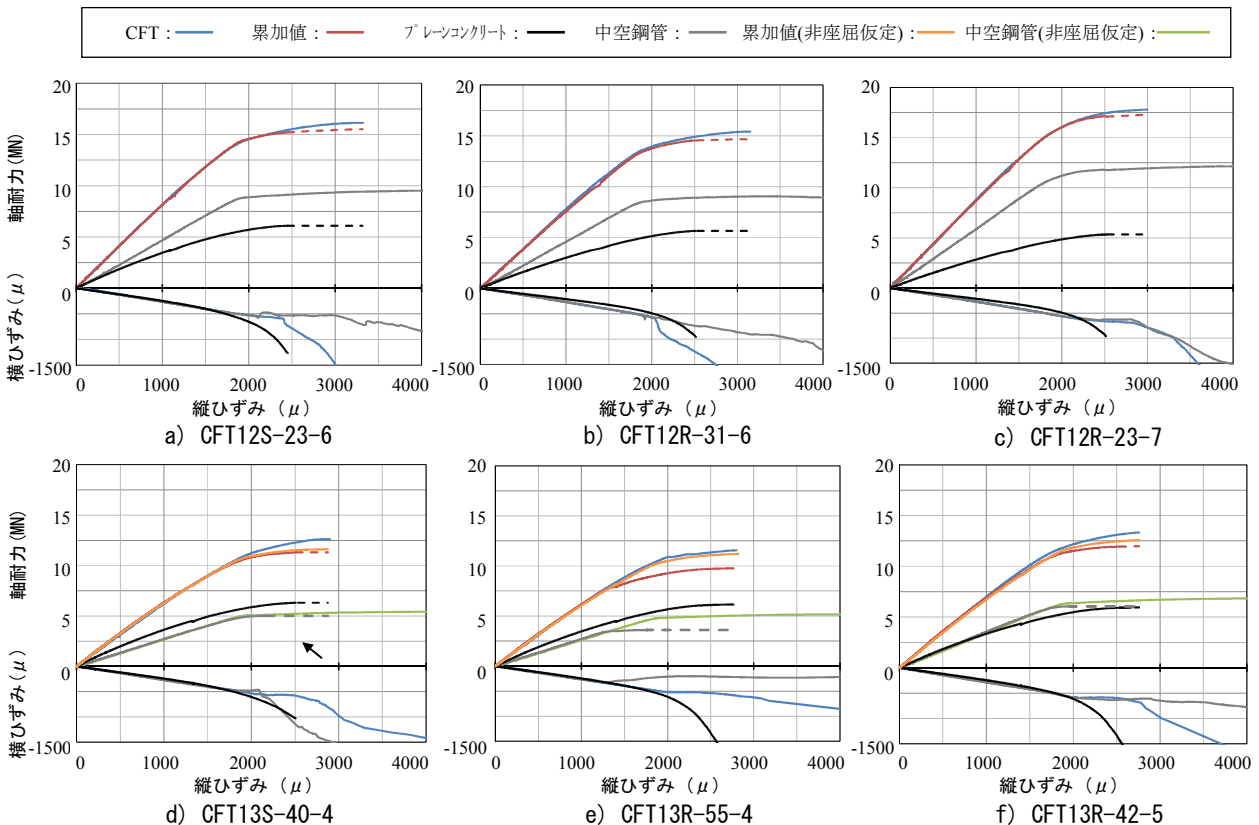


図-13 相互拘束効果の検討 (CFT, 中空鋼管は平均ひずみ, プレーンコンクリートはゲージひずみ)

い場合の中空鋼管の荷重-ひずみ関係として、12 シリーズの中空鋼管試験体の結果に材料強度の補正(弾性域の大きさの調整)と、断面積の補正を加えた曲線を用い、CFT 柱の耐力上昇について検討を加える。

すべての CFT 試験体の最大荷重は、同じひずみにおける中空鋼管試験体とプレーンコンクリート試験体の荷重累加値を上回る。長方形断面 CFT 柱においても相互拘束効果による充填コンクリートの耐力上昇現象が生じると考えられる。

一方、比較基準としたプレーンコンクリート試験体の最大応力はコア供試体の下限値に近い値であったが、鋼管の拘束により最大応力到達後のコンクリートの耐力低下が生じないと仮定すると、ひずみの進行とともにコア供試体の平均応力には到達すると考えられる。そこで 12 シリーズでは CFT 試験体が破壊した試験体中段、13 シリーズでは全てのコア供試体の平均値を基にした耐力 $N_{c2}+N_s$ を算定し、CFT 柱の最大耐力 N_{max} と比較する。CFT の最大耐力はコア供試体の平均応力を用いて算定した累加耐力にほぼ達していた(表-8)。

[横ひずみ-縦ひずみ関係]

横方向ひずみは各面中段中央のひずみの平均値である。

プレーンコンクリートは縦ひずみが概ね 2,000 μ を超えた時点で横ひずみの増加率が上昇しており、同時に CFT 柱の荷重と鋼管+コンクリートの累加値の差が生じ始める。これは充填コンクリートが膨張し鋼管を押し広げようとするため、その反力として鋼管から充填コンクリートへの拘束力が加わるためであり、その結果として応力が上昇することを示している。

CFT 柱の鋼管の横方向ひずみは、円形鋼管試験体の場合²⁾と違い明確にはコンクリートの膨張に対応していない。本実験では測定箇所による差が大きく、平均値は傾向を大まかに示すものである。13 シリーズの長方形 CFT 柱では破壊箇所が中段のゲージ貼付位置から離れており、特に S13R-55 試験体では中段位置で鋼管の横方向の膨張速度が大きくなる前に耐力低下したと考えられる。

[幅厚比の大きい CFT 柱について]

13 シリーズでは幅厚比の大きな鋼管を用いて試験を行っており、中空鋼管試験体の最大応力は材料試験強度を下回ったが、CFT 柱の最大耐力は中空鋼管の全断面有効時の計算降伏耐力とプレーンコンクリート強度で計算された耐力に達した(図-9,10,13)。13 シリーズでは弾性座屈した中空鋼管の結果を図-13 に併記しているが、S13R-55 試験体では対応する中空鋼管が早期に弾性座屈するのに対して、同じひずみでは荷重-ひずみ曲線の勾配に変化がほとんどない。13 シリーズの CFT 試験体では相互拘束効果により、鋼管の早期の座屈が抑制されたと考えられる。

8. まとめ

長方形断面 CFT 柱及びプレーンコンクリート柱、中空鋼管、コア供試体の実験結果から以下の知見が得られた。

- 1) 今回の試験において、辺長比 1:2 の長方形断面 CFT 柱の軸圧縮最大耐力を正方形断面の場合と同様に、鋼管部分とコンクリート部分の累加強度で評価できることを確認した。
- 2) CFT 柱の軟化勾配の比較から、正方形断面の拘束力の影響が長方形断面に比べ大きいと考えられる。
- 3) CFT 柱と中空鋼管・プレーンコンクリート柱の累加値との比較により、角形 CFT 柱は載荷初期においては充填コンクリートと鋼管の相互作用の効果は少なく、充填コンクリートが膨張を始めた後に相互拘束効果による耐力上昇が起こることを確認した。
- 4) 正方形、長方形断面 CFT 柱ともに材料試験強度を用いた計算耐力に達しない場合がある。プレーンコンクリート柱との比較では累加強度に達しており、材料試験強度と構造体コンクリートの強度の差が影響したものと考えられる。
- 5) プレーンコンクリート柱の強度は、コア供試体の下限程度となった。CFT 試験体はそのプレーンコンクリート柱の強度と中空鋼管柱の強度で算定した累加値を上回り、コア供試体の平均と中空鋼管柱の強度で算定した累加値にほぼ達した。

長方形断面 CFT 柱充填コンクリートの応力上昇についての定量的評価は、今後の検討課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり貴重な助言とご指導を頂いた日本大学の安達洋名誉教授と北嶋圭二准教授に深く感謝の意を表す。また、論文の作成にあたり日本大学大学院の坂東美乃利氏から熱心な協力を得た。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人新都市ハウジング協会:CFT 造における構造体コンクリートの強度補正值に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, Vol.17, No.37, pp797, 2011.10
- 2) 難波 他: 高強度 CFT 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会梗概集, 2011, 2012
- 3) 社団法人日本建築学会:コンクリート充填鋼管構造設計施工指針, 2008.10
- 4) 社団法人日本建築学会:鋼構造設計規準, 2005
- 5) 社団法人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, 2009