

鉄筋コンクリート充填鋼管の力学的特性に関する実験的研究

遠藤 考則*, 長谷川 明**, 塩井 幸武***, 王 海軍****

Experimental Study on Reinforced Concrete Filled Steel Tubular Structures

Takanori ENDO, Akira HASEGAWA, Yukitake SHIOI and Haijun WANG

Abstract

Concrete Filled steel Tubular structure (CFT) is well known that it has excellent mechanical performances. In this study, Reinforced Concrete filled steel tubular (RCFT) columns and beams using conventional steel tube or steel tube strengthened by inner ribs were fabricated, and compression tests and bending tests were carried out to investigate the effects of reinforcement and ribs on RCFT performances.

32 pieces of column specimens and 32 pieces of beam specimens, which consisted of 5 kinds of filler and ribbed steel tube or normal steel tube, were tested. From the results, it was observed that RCFT has higher strength and ductility compared with conventional CFT, and reinforcement and ribs can improve strength and ductility of RCFT effectively.

Keywords: reinforced concrete filled steel tubular structures, confined effect coefficient

1. 序 論

コンクリート充填鋼管 (CFT) は合成構造の一種で、優れた耐荷力、変形性能、剛性を有している⁽⁴⁾。その主な理由として (1) コンクリートが鋼管によって拘束されて 3 軸応力状態となりコンクリートの耐荷力が増加する, (2) 鋼管がコンクリートの剝落を防ぐ, (3) コンクリートが鋼管の局部座屈を防ぐ, ということが挙げられる⁽⁵⁾。

1995 年の兵庫県南部沖地震で多くの橋脚が大きな被害を受け, そのほとんどは RC 橋脚のせん断破壊によるものと鋼製橋脚の局部座屈に

よるものであった。震災後, それらの耐震補強の手段として RC 橋脚への鋼板巻き付けや, 倒壊をまぬがれた鋼製橋脚への鉄筋コンクリートの充填が行われた例がある。これらの構造はいずれも鉄筋コンクリート充填鋼管構造 (RCFT) と呼ぶことができ, 通常の耐震部材としても期待されている。しかしその構造の複雑さから十分な研究が行われておらず, RCFT の力学的特性は明らかになっていない。

CFT の力学的特性をさらに向上させる方法として鋼管の端部にダイヤフラムを設けることや, 鋼管の内部にリブを取り付けることなどが知られている。これらはコンクリートの滑りや抜けだしを抑制し, 合成部材としての一体性を向上させる目的で取り付けられるものである。しかしこれらの CFT に関する研究もあまり行われていない。

そこで本研究では RCFT と鋼管にリブを用

平成 12 年 10 月 2 日受理

* 大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程・2 年

** 土木工学科・教授

*** 構造工学研究所・教授

**** 土木工学科・客員研究員

いた RCFT 及び CFT の力学的特性を明らかにするために圧縮試験と曲げ試験を行った。本文は試験結果をもとにそれらの強度, 変形性能, 破壊形態などについて報告するものである。

2. 圧縮試験

2.1 試験体と材料特性

圧縮試験を行った柱試験体の断面図と詳細をそれぞれ図-1, 表-1 に示す。柱試験体は充填状況により中空, 普通コンクリート, かぶりの大きい RC, かぶりの小さい RC, 二重配筋 RC の 5 種類 10 体を, それぞれ普通鋼管使用タイプとリブ付き鋼管使用タイプの 2 種類作成し, 計 20 体について試験を行った。また, 後述の単純累加強度を求めるために RCFT 柱, CFT 柱の充填部分と同様な寸法, 配筋にした RC 試験体 12 体についても同様の試験を行った。

RCFT 柱, CFT 柱試験体に用いられた材料の詳細を表-2 に示す。鋼管には STK400 を用い, 寸法は外径 150 mm, 高さ 300 mm, 板厚 6

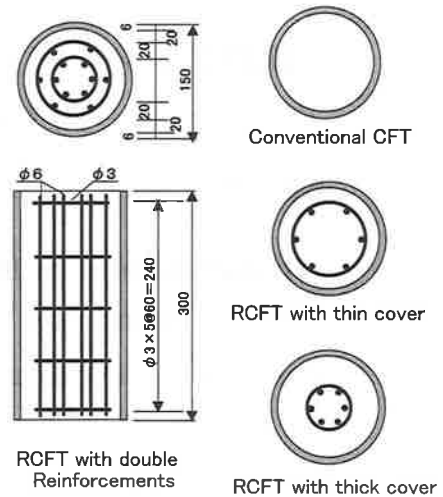


図-1 柱試験体の断面図

mm で, 降伏応力は 354.3 N/mm^2 であった。リブの形状は高さ 4mm の台形状で, 鋼管の円周方向に 36 mm ピッチで取り付けられている。鉄筋は SR295 の $\phi 6$, $\phi 3$ をそれぞれ軸方向鉄

表-1 柱試験体の詳細, 単純累加圧縮強度, 最大圧縮強度, 及び拘束効果

種 類	普通鋼管使用タイプ					リブ付き鋼管使用タイプ				
	試験体 番号	N_0 (kN)	N_u (kN)	N_u Ave. (kN)	α (N_u/N_0)	試験体 番号	N_0 (kN)	N_u (kN)	N_u Ave. (kN)	α (N_u/N_0)
中空鋼管	SNC201	—	1,136	1,118	—	SHC201	—	1,227	1,228	—
	SNC202		1,100			SHC202		1,228		
CFT	SNC203	1,581	1,702	1,728	1.09	SHC203	1,690	1,949	1,957	1.16
	SNC204		1,753			SHC204		1,964		
かぶりの小さい RCFT	SNC205	1,533	1,867	1,883	1.23	SHC205	1,643	2,096	2,109	1.28
	SNC206		1,898			SHC206		2,122		
かぶりの大きい RCFT	SNC207	1,593	1,822	1,847	1.16	SHC207	1,702	2,074	2,101	1.23
	SNC208		1,871			SHC208		2,127		
二重配筋の RCFT	SNC209	1,555	1,915	1,961	1.26	SHC209	1,664	2,146	2,224	1.34
	SNC210		2,007			SHC210		2,301		
平均					1.19					1.25

N_0 : 単純累加圧縮強度 N_u : 最大圧縮強度 α : 拘束効果

表-2 試験体の材料特性

鋼 管	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	最大引張 強度 σ_u (N/mm ²)
	354.3	451.8

コンクリート	試験体	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント (%)	細骨材率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
	柱試験体	15	11.2	7.1	61	47.0	21.6
	梁試験体	15	10.0	4.5	55	47.6	33.4

筋とフープ筋として使用した。充填コンクリートの圧縮強度は 21.6 N/mm² であった。

2.2 試験状況と測定測定項目

試験は図-2 に示すような 1 軸圧縮試験を行った。荷重方法は荷重制御方式で、荷重速度を 5.88 kN/sec (0.6 tf/sec)、荷重増分を 196 kN (20 tf) とし、1,176 kN (120 tf) より 3 回の繰り返し荷重を行った。荷重履歴は図-3 に示すとおりである。測定項目は柱試験体上端部の変位 4 点、鋼管表面のひずみ 12 点、充填コンクリートのひずみ 1 点である。最大荷重到達後、試験体の耐力力が 80% を下回るか、変位が 40 mm を示したときに試験を終了した。

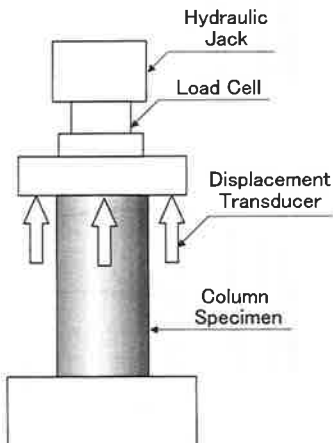


図-2 圧縮試験の状況

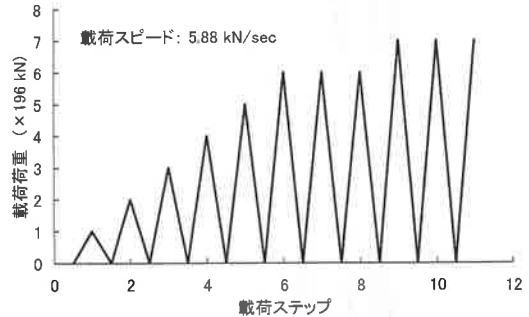


図-3 圧縮試験の荷重履歴

2.3 圧縮試験の結果

(1) 荷重—変位関係

柱試験体の荷重荷重と試験体上端部の変位の関係を図-4 (a)～(t) に示した。中空鋼管は上端部付近で座屈し、耐力が低下した。CFT 及び RCFT の最大圧縮強度、靱性は中空鋼管に比べて大きく、終局時には鋼管の上端部、下端部に座屈が発生したが、最大圧縮強度以後ほぼその強度を保ちながら変位だけが増大した。かぶりの大きい RCFT とかぶりの小さい RCFT の挙動には大きな違いが見られなかった。二重配筋の RCFT が普通鋼管、リブ付き鋼管の両タイプで最も優れた力学的特性を示した。鋼管の種類についてみると、リブ付き鋼管を使用したタイプの方が強度、変形性能共に良い挙動を示した。

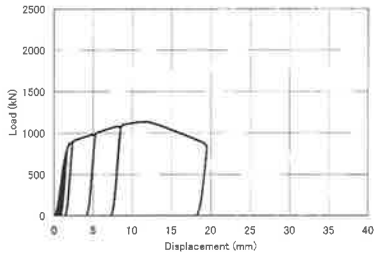


図-4(a) SNC201 (普通中空鋼管)

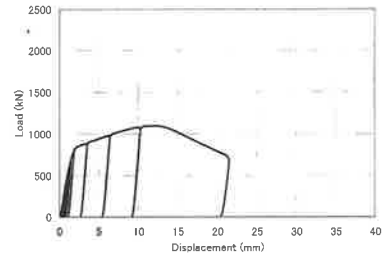


図-4(b) SNC202 (普通中空鋼管)

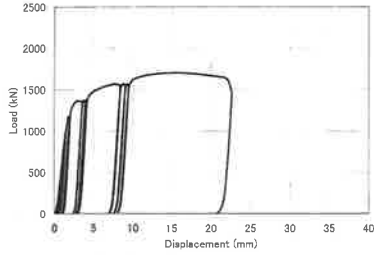


図-4(c) SNC203 (普通鋼管 CFT)

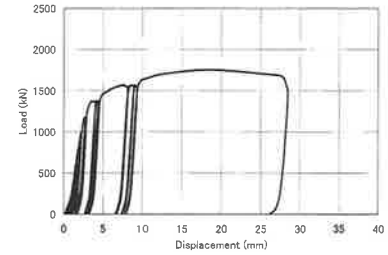


図-4(d) SNC204 (普通鋼管 CFT)

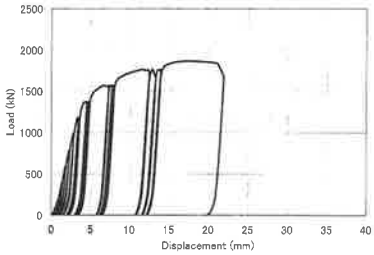


図-4(e) SNC205 (普通鋼管かぶり小 RCFT)

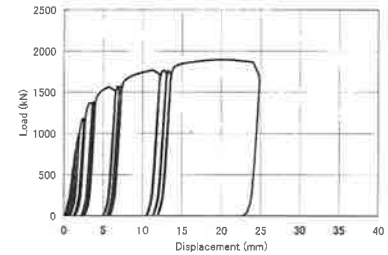


図-4(f) SNC206 (普通鋼管かぶり小 RCFT)

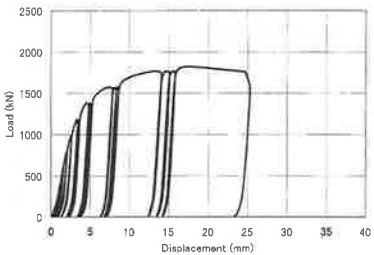


図-4(g) SNC207 (普通鋼管かぶり大 RCFT)

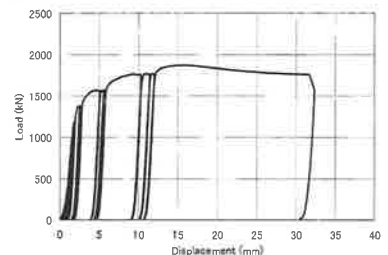


図-4(h) SNC208 (普通鋼管かぶり大 RCFT)

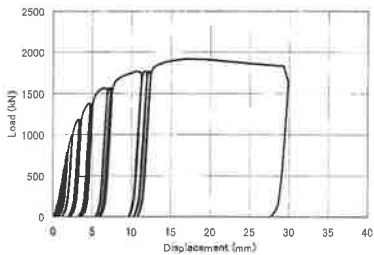


図-4(i) SNC209 (普通鋼管二重配筋 RCFT)

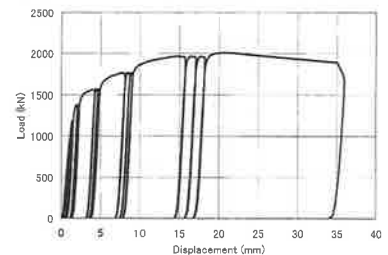


図-4(j) SNC210 (普通鋼管二重配筋 RCFT)

図-4 各試験体の荷重-変位曲線

鉄筋コンクリート充填鋼管の力学的特性に関する実験的研究

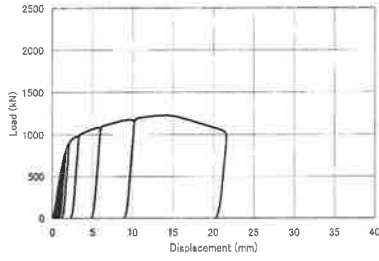


図-4(k) SHC201 (リブ付き中空鋼管)

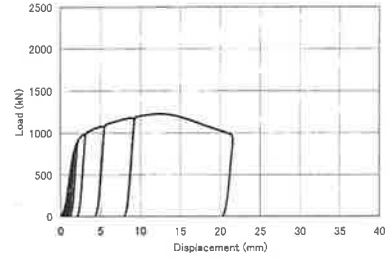


図-4(l) SHC202 (リブ付き中空鋼管)

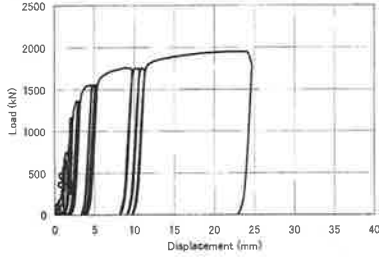


図-4(m) SHC203 (リブ付き鋼管 CFT)

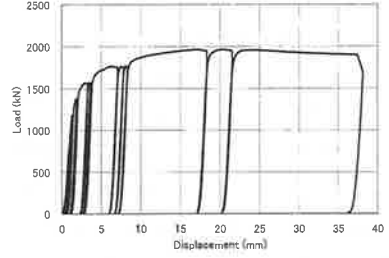


図-4(n) SHC204 (リブ付き鋼管 CFT)

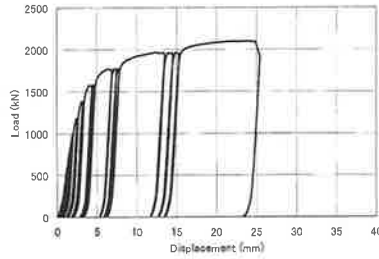


図-4(o) SHC205 (リブ付き鋼管かぶり小 RCFT)

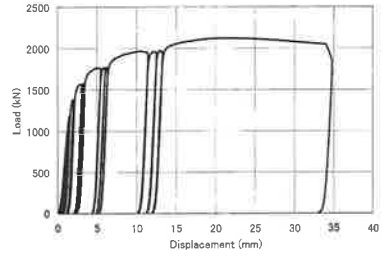


図-4(p) SHC206 (リブ付き鋼管かぶり小 RCFT)

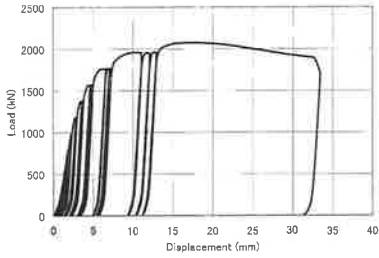


図-4(q) SHC207 (リブ付き鋼管かぶり大 RCFT)

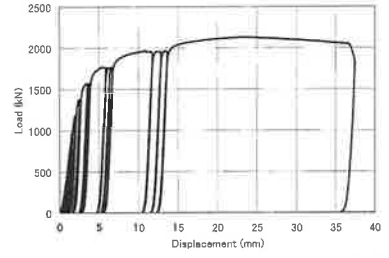


図-4(r) SHC208 (リブ付き鋼管かぶり大 RCFT)

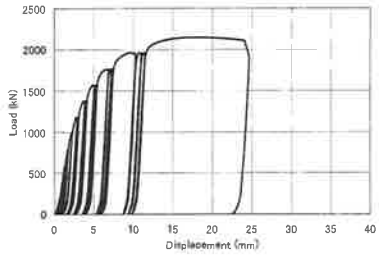


図-4(s) SHC209 (リブ付き鋼管二重配筋 RCFT)

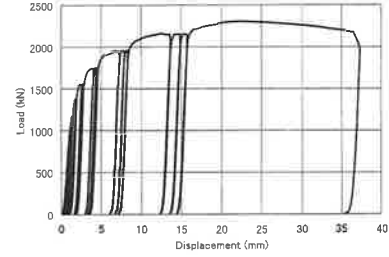


図-4(t) SHC210 (リブ付き鋼管二重配筋 RCFT)

図-4 各試験体の荷重-変位曲線

(1) 圧縮強度と拘束効果

CFTの強度は通常、コンクリートが鋼管に拘束されたときの耐荷力の増分を考慮しない単純累加強度で表される。本文ではRC柱試験体と中空鋼管柱試験体の圧縮強度の和を単純累加強度とした。

$$N_0 = N_c + N_s \quad (1)$$

ここで、

N_0 : 単純累加圧縮強度

N_c : RC柱試験体の圧縮強度

N_s : 中空鋼管の圧縮強度

しかし、実際のRCFT及びCFTの強度は拘束効果によってこの単純累加強度を上回る。したがってRCFTの強度と単純累加強度の差は拘束効果による増分と考えられ、拘束効果 α は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} N_u &= \alpha(N_c + N_s) \\ \alpha &= N_u/N_0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、

N_u : CFTの最大圧縮強度

α : 拘束効果

表-1は各試験体の最大圧縮強度 N_u 、単純累加圧縮強度 N_0 、拘束効果 α を示したものである。従来のCFT柱と比較してRCFT柱は最大圧縮強度、拘束効果ともに上回っている。特に二重配筋のRCFT柱が普通、リブ付き両タイプで最も良い性能を示し、最大圧縮強度はそれぞれ1961 kN, 2224 kN、拘束効果はそれぞれ1.26, 1.34となった。したがって充填材としてコンクリートを用いるより、RCを使用する方が部材の一体化を促進させることができることを示している。

かぶりの小さいRCFT柱はかぶりの大きいRCFT柱に比べて高い拘束効果を示した。しかし実際はRC柱の圧縮試験において、かぶりコンクリートの早期の崩壊によってかぶりの大きいRC柱試験体の強度がかぶりの小さいRC柱試験体の強度より大きくなったために、見かけ上拘束効果が大きくなっているだけである。

表-3は普通鋼管使用タイプとリブ付き鋼管使用タイプの試験体の強度を比較し、リブが最大強度に及ぼす影響を示したものである。リブ

表-3 リブの効果

試験体番号	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ (δ_u/δ_y)	試験体番号	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ (δ_u/δ_y)
SNC201	2.2	11.7	5.3	SHC201	2.2	14.1	6.4
SNC202	2.1	12.3	5.9	SHC202	2.2	12.4	5.6
SNC203	2.2	15.6	7.1	SHC203	2.6	23	8.8
SNC204	2.4	18.1	7.5	SHC204	2.5	20.4	8.2
SNC205	2.4	17.2	7.2	SHC205	2.8	23.5	8.4
SNC206	2.3	12.9	5.6	SHC206	2.3	20.6	9.0
SNC207	2.8	17.5	6.3	SHC207	2.6	17.3	6.7
SNC208	2.3	15.7	6.8	SHC208	2.6	23.6	9.1
SNC209	2.9	19	6.6	SHC209	2.2	17.5	8.0
SNC210	2.5	21.1	8.4	SHC210	2.0	22.3	11.2
平均			6.9				8.6

δ_y : 降伏時の変位 δ_u : 最大荷重時の変位 μ : 靱性率

による最大強度への影響は平均で 1.12 となり、リブ付き鋼管を用いると RCFT 柱または CFT 柱の最大強度は 12% 増大する。

(2) 圧縮試験体の靱性率

圧縮試験体の靱性率は以下の式で表される。

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (3)$$

ここで、

μ : 靱性率

δ_u : 最大強度時の変位

δ_y : 降伏時の変位

表-4 は式-3 で表される靱性率 μ を各試験体で比較したものである。靱性率は試験体によって若干ばらつきがあるが、二重配筋の RCFT 柱が普通、リブ付、両タイプの鋼管で最も大きい靱性率を示した。普通鋼管タイプとリブ付き鋼管タイプの靱性率の平均はそれぞれ 6.9 と 8.6 であった。リブが RCFT 柱および CFT 柱の靱性を向上させることがわかったが、コンクリートのかぶりの厚さが RCFT 柱の靱性率に与える影響は少ないと言える。

(3) 鋼管とコンクリートの一体性

図-5 (a), (b) のグラフは縦軸に RCFT 柱および CFT 柱の鋼管とコンクリートの軸方向ひずみの比を、横軸に正規化荷重を表したものである。普通鋼管を用いた RCFT および CFT について見てみると(図-5 (a)), 荷重初期段階では両者のひずみの間にずれが生じており、ひずみの比は 1.5~3.0 を示している。そして荷重が大きくなるにつれ、ひずみの比は減少し、最大荷重付近では 1.0 に近い値を示した。一方、リブ付き鋼管を使用した試験体について見てみると(図-5 (b)), 荷重初期段階から終局状態まで 1.0 に近い値を示し、荷重の増加に伴うひずみ比の大きな変化は見られなかった。

(4) 柱試験体の破壊状況

RCFT 柱および CFT 柱は局部座屈を伴って破壊した。リブ付き鋼管の特徴として、終局時に鋼管表面のコーティングがリブ模様に剝離する現象が見られた。試験後、鋼管をカットして充填コンクリートの破壊状況を観察した。写真-1, 2 は柱試験体の充填コンクリートの破壊状況を示している。普通鋼管を用いた試験体では、鋼

表-4 柱試験体の靱性率

普通鋼管 使用タイプ	N_{u1} (kN)	N_{u1} 平均 (kN)	リブ付き鋼管 使用タイプ	N_{u2} (kN)	N_{u2} 平均 (kN)	リブの効果 $\alpha_r(N_{u2}/N_{u1})$
SNC201	1,136	1,118	SHC201	1,227	1,228	1.10
SNC202	1,100		SHC202	1,228		
SNC203	1,702	1,728	SHC203	1,949	1,957	1.13
SNC204	1,753		SHC204	1,964		
SNC205	1,867	1,883	SHC205	2,096	2,109	1.12
SNC206	1,898		SHC206	2,122		
SNC207	1,822	1,847	SHC207	2,074	2,101	1.14
SNC208	1,871		SHC208	2,127		
SNC209	1,915	1,961	SHC209	2,146	2,224	1.13
SNC210	2,007		SHC210	2,301		
平均						1.12

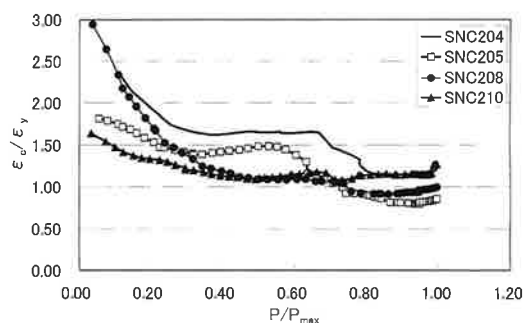


図-5(a) 普通鋼管を使用した柱試験体

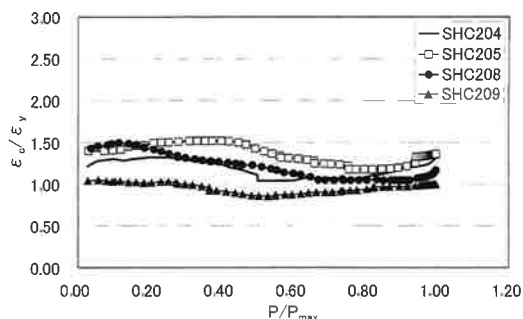


図-5(b) リブ付き鋼管を使用した柱試験体

図-5 鋼管とコンクリートのひずみの関係



写真-1 SNC210 (普通鋼管二重配筋 RCFT) の充填コンクリート破壊状況

管の局部座屈が発生した位置でコンクリートが座屈の形状に沿って膨らんでいたが (写真-1), リブ付き鋼管を用いた試験体では, 同様の位置で圧壊していた (写真-2)。

3. 曲げ試験

3.1 試験体と材料特性

梁試験体は柱試験体と寸法が異なるほかは, 断面の形状, 種類などは同様である (表-5, 図-6)。梁試験体の寸法は外径 200 mm×長さ 2,000 mm, 鋼管の厚さは 6 mm である。鋼管は STK400 を使用し, 降伏強度は 354.3 N/mm², コンクリートの強度は 33.4 N/mm² であった。鉄筋には SR295 を用いた。またリブの断面形状, 取り付けピッチは圧縮試験体と同様である。

3.2 試験状況と測定項目

試験は図-7 に示すような 2 点載荷により行なった。載荷方法は荷重制御方式で, 載荷速度を 2.49 kN/sec (0.3 tf/sec), 荷重増分を 49 kN (5 tf) とした。載荷履歴は図-8 に示す通りである。測定項目は載荷荷重と図-7 に示すたわみ 4 点, 鋼管表面のひずみ 8 点である。曲げ強度が最大曲げ強度の 80% を下回った場合か, 梁中央の変位が 90 mm に到達した場合に試験を終了した。

3.3 曲げ試験の結果

(1) 曲げ強度と拘束効果

梁試験体の最大曲げ耐力と単純累加強度, および拘束効果はそれぞれ以下のように表される。



写真-2 SHC204 (リブ付き鋼管 CFT) の充填コンクリート破壊状況

$$\begin{aligned} M_0 &= M_c + M_s \\ M_u &= \alpha(M_c + M_s) \\ \alpha &= M_u/M_0 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、

- M_0 : 単純累加曲げ強度
- M_c : RC 及びコンクリートのみの曲げ強度
- M_s : 鋼管のみの曲げ強度
- M_u : 最大曲げ強度
- α : 拘束効果

梁試験体の最大曲げ強度 M_u 、単純累加曲げ強度 M_0 、拘束効果 α を表-5 に示した。柱の圧縮試験の結果に反して従来の CFT 梁が普通、リブ付き両タイプにおいて最も優れた曲げ強度と拘束効果を示し、曲げ強度がそれぞれ 153.2 kN・m, 148.8 kN・m、拘束効果がそれぞれ 1.74, 1.69 となった。RCFT 梁が従来の CFT 梁に劣

る結果となってしまった原因には、密な配筋によりコンクリートの充填が不完全となったことが挙げられる。鋼管の種類に着目すると、普通鋼管使用タイプ、リブ付き鋼管使用タイプの両タイプを比較して曲げ強度、拘束効果に顕著な差が見られないことから、リブは RCFT 梁、CFT 梁の曲げ強度増大にあまり寄与しないものと考えられる。

梁試験体に作用するモーメントと曲率の関係を図-9(a)～(t) に示した。従来の CFT である SNB203 と SNB204 が最も良い剛性を示している。

(2) 梁試験体の靱性率

各梁試験体の靱性率を表-6 に示した。梁試験体の靱性率 μ は柱試験体の靱性率と同様に式-3 で表す。密な配筋によりコンクリートの充填が不十分だったためばらつきの多い結果となった。しかし、配筋によるコンクリートの打設不良の恐れがない従来の無筋 CFT 梁のみを比較すると、普通鋼管使用タイプ (SNB203, 204) で平均が約 8.5、リブ付き鋼管使用タイプ (SHB203, 204) で平均が約 14.9 となった。従ってリブは梁の靱性を向上させる効果があると考えられる。

(3) ひずみ分布

図-10(a), (b) は梁中央断面における鋼管表面水平方向のひずみ分布である。中空鋼管梁は荷重点付近で局部座屈が発生し、最大曲げ強度時のひずみは下端部で 2% 程度であった (図-10(a)) が、RCFT 梁、CFT 梁は 4～6% 程度まで対応していた。また、リブ付き鋼管を使用した RCFT 及び CFT に関してはそれより大きい 5.5～10% まで対応している (図-10(b))。これらは充填されたコンクリート及び RC が鋼管の局部座屈を抑制し鋼管の耐力を有効に引き出すことができることを示している。

中空鋼管梁は終局時まで中立軸の変化は無いが (図-10(a))、RCFT 梁及び CFT 梁は引張側コンクリートのひび割れに伴う中立軸の上昇が見られた (図-10(b))。

表-5 柱試験体の詳細, 単純累加曲げ強度, 最大曲げ強度, 及び拘束効果

種類	M_0 (kN・m)	普通鋼管使用タイプ				リブ付き鋼管使用タイプ			
		試験体 番号	M_u (kN・m)	M_u Ave. (kN・m)	α (M_u/M_0)	試験体 番号	M_u (kN・m)	M_u Ave. (kN・m)	α (M_u/M_0)
中空鋼管	—	SNB201	85.3	86.3	—	SHB201	92.4	92.7	—
		SNB202	87.2			SHB202	93.0		
CFT	88.1	SNB203	150.3	153.2	1.74	SHB203	149.2	148.8	1.69
		SNB204	156.1			SHB204	148.4		
かぶりの 小さい RCFT	92.9	SNB205	145.7	144.6	1.56	SHB205	135.1	142.2	1.53
		SNB206	143.5			SHB206	149.2		
かぶりの 大きい RCFT	91.7	SNB207	158.3	151.6	1.65	SHB207	146.3	146.2	1.59
		SNB208	144.9			SHB208	146.0		
二重配筋の RCFT	93.6	SNB209	140.8	139.8	1.49	SHB209	146.4	146.4	1.56
		SNB210	138.8			SHB210	※ 117.3		
平 均					1.61				1.59

M_0 : 単純累加曲げ強度 M_u : 最大曲げ強度 α : 拘束効果

※偏心載荷となったために平均から除外した。

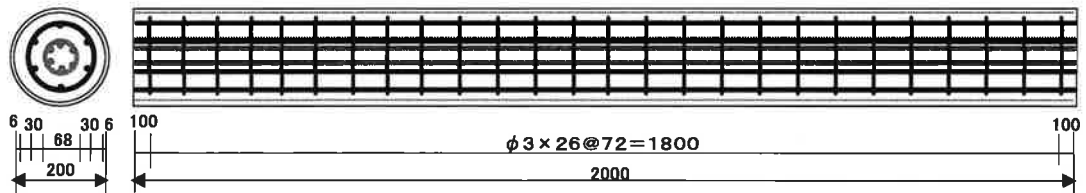


図-6 梁試験体の断面図 (二重配筋 RCFT)

(4) 梁試験体のひずみ挙動

図-11(a)～(h) に中空鋼管梁と CFT 梁の、モーメントと純曲げ区間における軸方向ひずみの関係を示した。中空鋼管梁 (図-11(a)～(d)) はリブの有無に関わらず、最大曲げ強度時まで鋼管側面のひずみ (C3, C7 の平均値) はほぼ 0 で一定であった。最大荷重以後、鋼管側面は小さい値ではあるが圧縮ひずみを受ける。これは鋼管の局部座屈に伴い中立軸が引張側へと移動したためと考えられる。梁の降伏以後、引張側のひずみが卓越しているのは、載荷点付近にお

いて鋼管に局部座屈が発生し、応力が集中したために圧縮側のひずみが増大しなかったと考えられる。

CFT 梁のひずみ (図-11(e)～(h)) は中空鋼管梁のそれと比較して圧縮側、引張側ともに大きな値を示しており、耐荷力、靱性率を向上させる要因となっている。普通鋼管、リブ付き鋼管に関わらず鋼管側面の引張ひずみが増大する前までは圧縮側、引張側双方のひずみはほぼ均等に増大する。その後鋼管側面に引張ひずみが発生し始めると同時にコンクリートの引張縁で

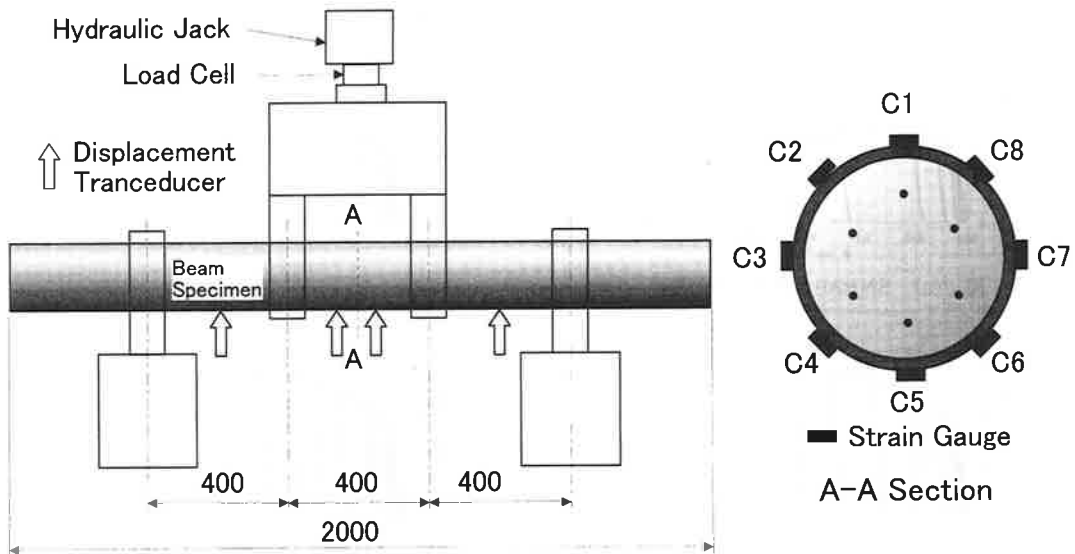


図-7 曲げ試験の状況

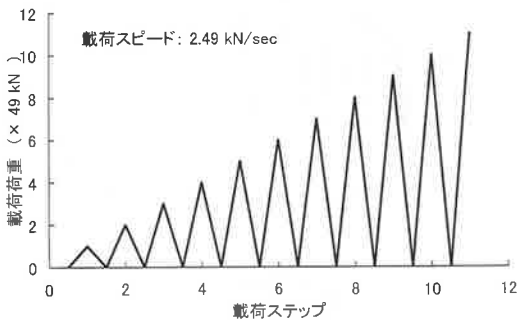


図-8 圧縮試験の荷重履歴

ひび割れが発生することから、引張側鋼管のひずみが増大する。普通鋼管使用 CFT とリブ付き鋼管 CFT を比較すると、リブ付き鋼管使用 CFT の方が早い時期に増大し始め、また増大量も大きく、最大曲げ強度時で 1.5～2 倍のひずみを示していることが分かった。またそれに伴い、リブ付鋼管使用 CFT の方が鋼管のひずみが増大し始めるのが早く、特に引張側のひずみの増大が著しいことがわかる。これらのことから引張側のリブがコンクリートのひび割れ発生を促しているものと思われる。しかし、それに関

わらず両タイプの試験体で曲げ強度が同等であったのは、リブが圧縮側で発生する座屈の抑制に作用するためと、リブが圧縮側のコンクリートを拘束することによって拘束効果が増大するためではないかと推測される。

(5) 梁試験体の破壊状況

全ての試験体で終局時に鋼管の局部座屈がみられた。また、リブ付き鋼管を用いた試験体では、鋼管表面のコーティングがリブの模様には剥離する現象がみられた。鋼管を取り除き、内部のコンクリートの破壊状況を示したのが写真-3, 4 である。従来の無筋 CFT 梁の充填コンクリートは普通鋼管使用タイプ、リブ付き鋼管使用タイプに関わらず、数カ所で斜めまたは鉛直方向に破断した（写真-3）が、RCFT 梁に充填された RC は破断することはなかった（写真-4）。

4. 結 論

本研究では RCFT と、リブを用いた RCFT 及び CFT の力学的特性を明らかにするために、圧縮試験と曲げ試験を行った。一連の試験

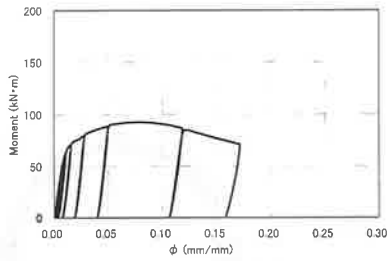


図-9(a) SNB201 (普通中空鋼管)

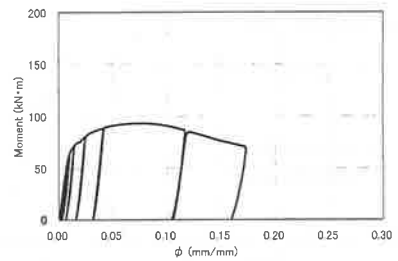


図-9(b) SNB202 (普通中空鋼管)

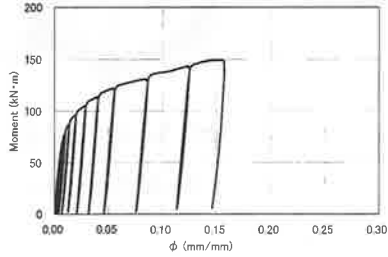


図-9(c) SNB203 (普通鋼管 CFT)

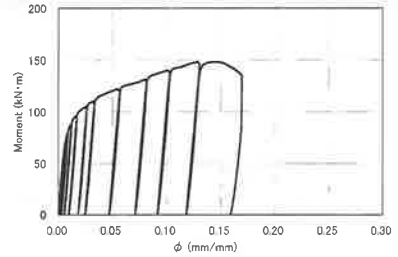


図-9(d) SNB204 (普通鋼管 CFT)

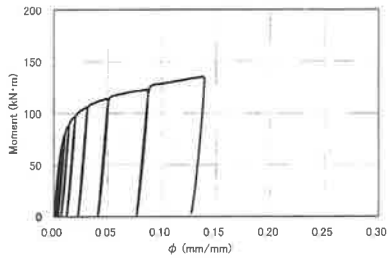


図-9(e) SNB205 (普通鋼管かぶり小 RCFT)

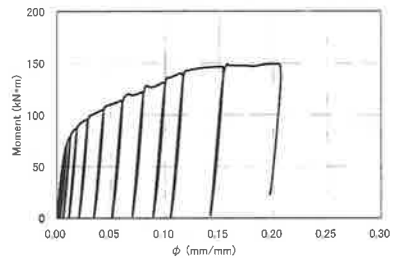


図-9(f) SNB206 (普通鋼管かぶり小 RCFT)

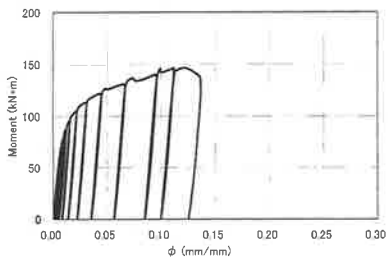


図-9(g) SNB207 (普通鋼管かぶり大 RCFT)

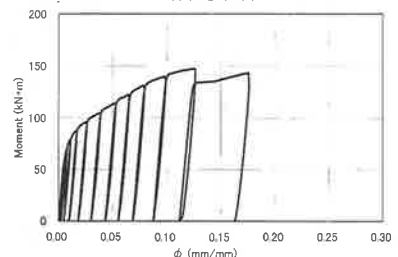


図-9(h) SNB208 (普通鋼管かぶり大 RCFT)

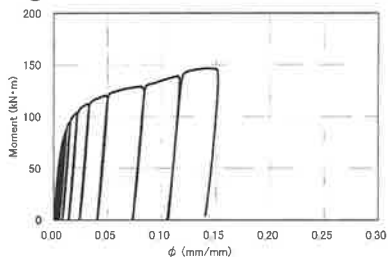


図-9(i) SNB209 (普通鋼管二重配筋 RCFT)

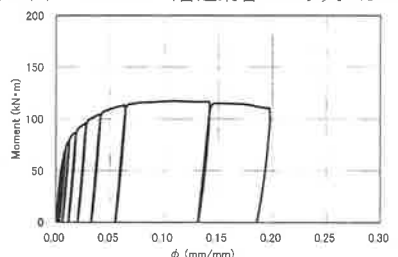


図-9(j) SNB210 (普通鋼管二重配筋 RCFT)

図-9 各試験体のモーメントー曲率曲線

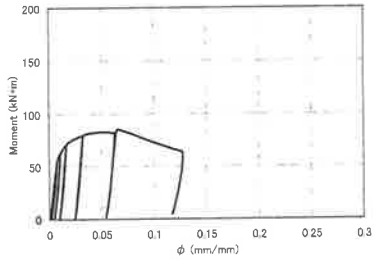


図-9(k) SHB201 (リブ付き中空鋼管)

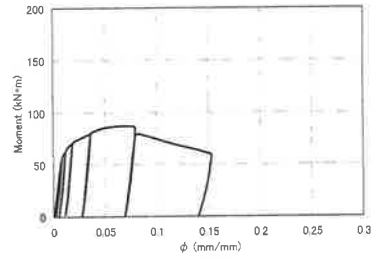


図-9(l) SHB202 (リブ付き中空鋼管)

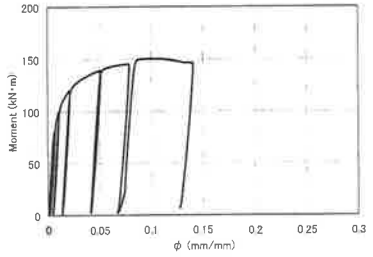


図-9(m) SHB203 (リブ付き鋼管 CFT)

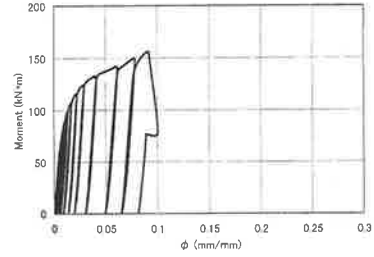


図-9(n) SHB204 (リブ付き鋼管 CFT)

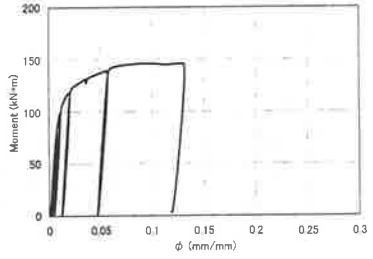


図-9(o) SHB205 (リブ付き鋼管かぶり小 RCFT)

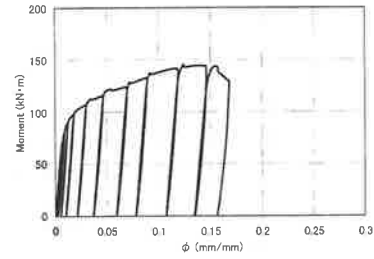


図-9(p) SHB206 (リブ付き鋼管かぶり小 RCFT)

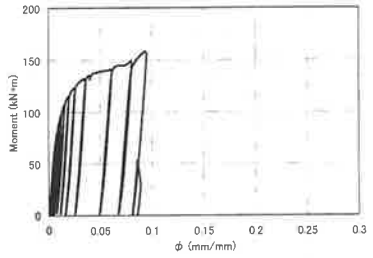


図-9(q) SHB207 (リブ付き鋼管かぶり大 RCFT)

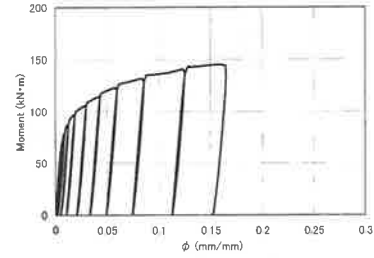


図-9(r) SHB208 (リブ付き鋼管かぶり大 RCFT)

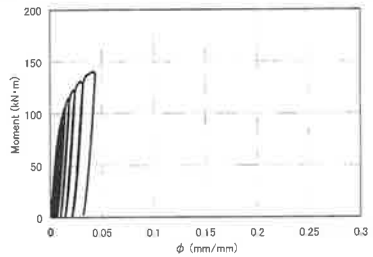


図-9(s) SHB209 (リブ付き鋼管二重配筋 RCFT)

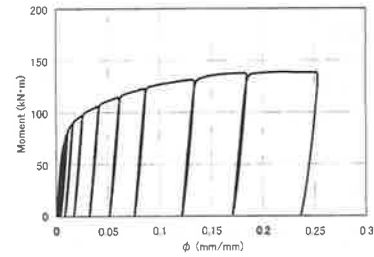


図-9(t) SHB210 (リブ付き鋼管二重配筋 RCFT)

図-9 各試験体のモーメントー曲率曲線

表-6 梁試験体の靱性率

試験体番号	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ (δ_u/δ_y)	試験体番号	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ (δ_u/δ_y)
SNB201	4.8	35.3	7.4	SHB201	5.8	41.0	7.1
SNB202	4.9	37.4	7.7	SHB202	6.4	40.5	6.3
SNB203	6.3	55.8	8.9	SHB203	5.4	79.9	14.8
SNB204	6.1	49.5	8.1	SHB204	4.6	68.4	14.9
SNB205	7.2	50.7	7.0	SHB205	5.6	72.8	13.1
SNB206	6.7	66.9	10.1	SHB206	6.7	107.6	16.2
SNB207	6.8	50.5	7.4	SHB207	6.8	59.2	8.7
SNB208	5.9	85.5	14.4	SHB208	5.7	66.6	11.7
SNB209	7.2	22.5	3.1	SHB209	6.0	76.8	12.7
SNB210	5.5	118.2	21.5	SHB210	5.2	58.2	11.1
平均			10.1				12.9

δ_y : 降伏時の変位 δ_u : 最大荷重時の変位 μ : 靱性率

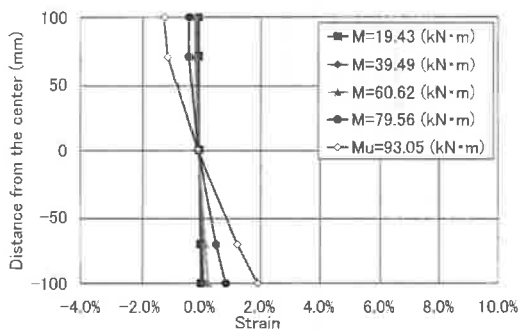


図-10(a) SHB202 (リブ付き中空鋼管)

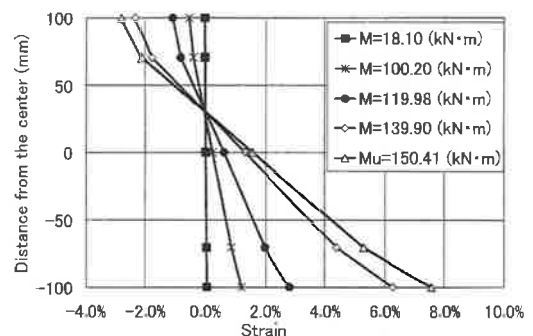


図-10(b) SHB203 (リブ付き鋼管 CFT)

図-10 梁試験体のひずみ分布

から以下の結論が得られた。

圧縮試験

- (1) RCFT 柱, またはリブ付き鋼管を用いた RCFT 柱, CFT 柱は従来の CFT 柱と比べて高い耐荷力, 拘束効果を発揮することがわかった。特に二重配筋の RCFT 柱が最も優れた力学的特性を示した。
- (2) RCFT 柱, またはリブ付き鋼管を用い

た RCFT 柱, CFT 柱は従来の CFT 柱に比べ, 高い靱性率を有している。

- (3) リブ付き鋼管を RCFT または CFT に用いると, 鋼管とコンクリートのひずみは, 荷重初期段階から終局時まで一体となって挙動する。

曲げ試験

- (4) リブ付き鋼管を用いることによる RCFT 梁及び CFT 梁の曲げ強度への

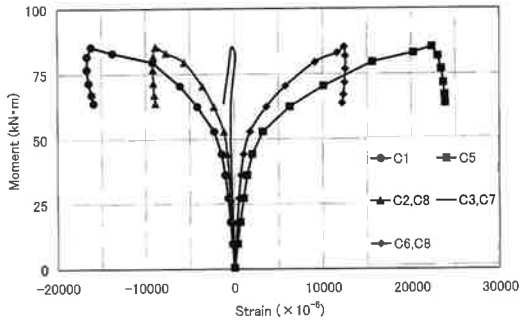


図-11(a) SNB201 (普通中空鋼管)

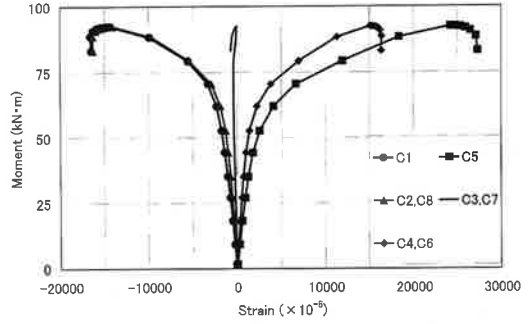


図-11(e) SHB201 (リブ付き中空鋼管)

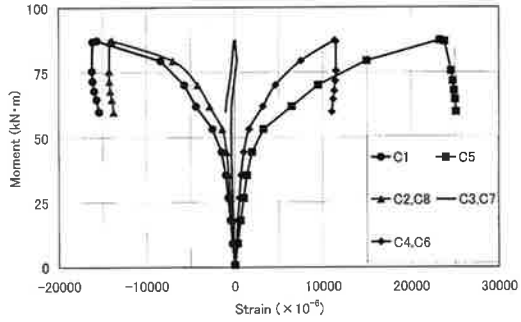


図-11(b) SNB202 (普通中空鋼管)

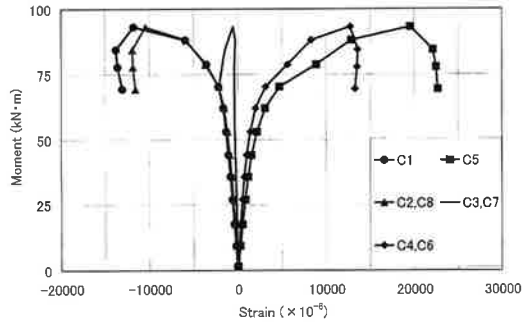


図-11(f) SHB202 (リブ付き中空鋼管)

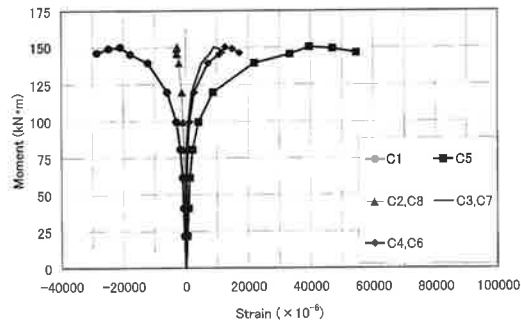


図-11(c) SNB203 (普通鋼管 CFT)

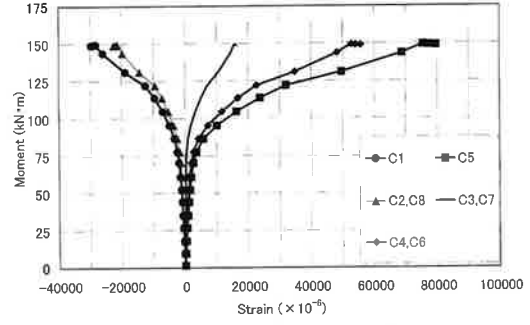


図-11(g) SHB203 (リブ付き鋼管 CFT)

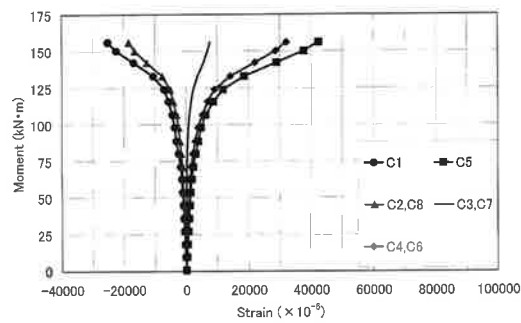


図-11(d) SNB204 (普通鋼管 CFT)

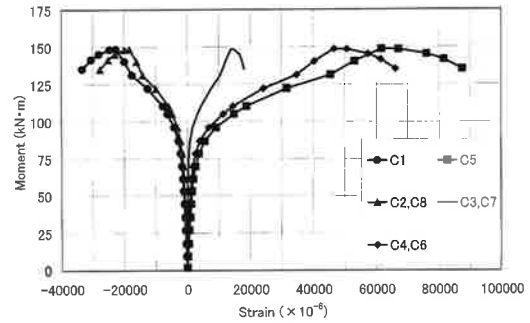


図-11(h) SHB204 (リブ付き鋼管 CFT)

図-11 梁試験体のひずみ挙動



写真-3 SHB203 (リブ付き鋼管 CFT) の充填コンクリート破壊状況



写真-4 SNB (普通鋼管二重配筋 RCFT) の充填コンクリート破壊状況

影響はほとんどないものと考えられるが、靱性率を大幅に向上させることがわかった。また、RCFT 梁内部の鉄筋が充填コンクリートのせん断破壊を抑制することができた。

- (5) 圧縮側のリブがコンクリートに対して拘束効果を生み出す一方で、引張側のリブがコンクリートのひび割れを促進する可能性がある。

なお、RCFT へのコンクリートの充填方法について再度検討し、追加試験をする必要があると考えている。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼・コンクリート複合構造の理論と設計 (1) 基礎編：理論編，1999
- 2) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，1997
- 3) 王 海軍：超長大橋のための鉄筋コンクリート充填鋼管構造に関する研究，八戸工業大学博士論文 2000
- 4) Keigo Tuda, Chiaki Matsui and Eiji Mino, "Strength and Behavior of Slender Concrete Filled Steel Tubular Columns," 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Jan. 2000, No. 0195
- 5) Kenji Sakino and Yuping Sun, "Steel Jack-eting for Improvement of Column Strength and Ductility," 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Jan. 2000, No. 2525