

鋼管が内蔵された RC 柱の中心圧縮実験

Axial Compression Behavior of RC Columns with Built-in Steel Tubes

田野 健治 KENJI TANO

小坂 英之 HIDEYUKI KOSAKA

山中 久幸 HISAYUKI YAMANAKA

本報は、RC 柱に鋼管を内蔵した合成構造の柱の中心圧縮実験結果を報告するものである。本構造は、超高層建物の下層階のような高軸力下の RC 柱について、そのコアコンクリートの拘束とせん断補強を図ることを目的としたものである。実験の結果、鋼管の幅厚比や鋼管内外のコンクリート強度の組合せによって最大荷重およびその後の荷重低下の割合が異なることが確認された。

キーワード：合成構造、充填鋼管コンクリート、柱、圧縮実験

A series of uniaxial compression tests were conducted on composite columns which comprise a steel tube being built into an RC Column. These composite columns have been applied to the lower floors in high-rise buildings, and an effect of confining the core concrete and an increase in the shear strength of the column under high axial forces are expected. From the experimental results, it was confirmed that both the maximum load and the level of decreasing load after the peak were influenced by the depth-thickness ratio of the steel tube and the hoop reinforcement ratio of integument concrete.

Key Words: Composite Structure, Concrete Filled Steel Tube, Column, Compression Test

表-1 試験体一覧

1. はじめに

建築物の高層化・大スパン化が進められており、下層階の柱はより高軸力となり断面が大きくなる傾向にある。柱の断面寸法の増大は、居室空間を狭くするばかりでなく、柱部材の短柱化を助長し、構造性能に悪影響を及ぼす。よって、より断面の小さな柱部材が求められている。

本研究は、このような観点から高軸力下の柱のコアコンクリートの拘束とせん断補強を目的とし、RC 柱内に内法階高分の鋼管を内蔵した合成構造の柱の構造性能に関するものである。

本報では、まずこの構造の基本性状を把握することを目的として実施した、中心圧縮実験の概要と実験結果を報告する。

No.	シリーズ名	鋼管厚 (D/t) mm	外殻部		帯筋比 pw(@mm) %	実験結果	
			外殻部 N/mm ²	鋼管内 N/mm ²		最大荷重 kN	軸縮み率 %
1	幅厚比 (NES-55)	2.3(61)	60	120	1.06(30)	3788	0.70
2		3.2(44)				4036	0.76
3		4.5(31)				4340	0.86
4	コンクリート強度 (NES-55)	3.2(44)	60	60	1.06(30)	3046	1.02
5				100		3849	0.98
6				150		4143	0.97
7				100		3980	0.68
8				100		4120	0.93
9				120		4363	0.88
10	フープ筋比 (NES-55)	3.2(44)	60	120	0.71(45)	3387	0.88
11	CFT中押し (NES-55)	2.3(61)	-	120	-	1999	0.51
12		3.2(44)				2438	0.70
13		4.5(31)				2700	1.00
14		3.2(44)				2303	1.04
15		3.2(44)				2719	0.98
16	外殻部PCa	-	60	120 ^{※1}	1.06(30)	3396	0.60
17			100	100 ^{※1}		3667	0.53
18			100	150 ^{※1}		3644	0.79
19			120	150 ^{※1}		3574	0.95
20	高強度鋼管 (STKR490)	4.5(31)	60	120	1.06(30)	3854	0.89
21			-	-	-	2583	0.73

※1: 鋼管が存在した場合の、CFT部内のコンクリート強度に相当

2. 実験概要

(1) 試験体

表-1 に試験体一覧を、図-1 に試験体図を示す。試験体は縮尺約 1/5 の総数 21 体であり、表-1 に示す

6 シリーズの実験パラメータにより試験体を構成した。No.1~No.10 および No.20 は、柱せい 200mm、柱幅 200mm の正方形断面の柱内に、外径 139.8mm の鋼管が内蔵された合成構造の試験体（以下、鋼管内蔵 RC 試験体）である。

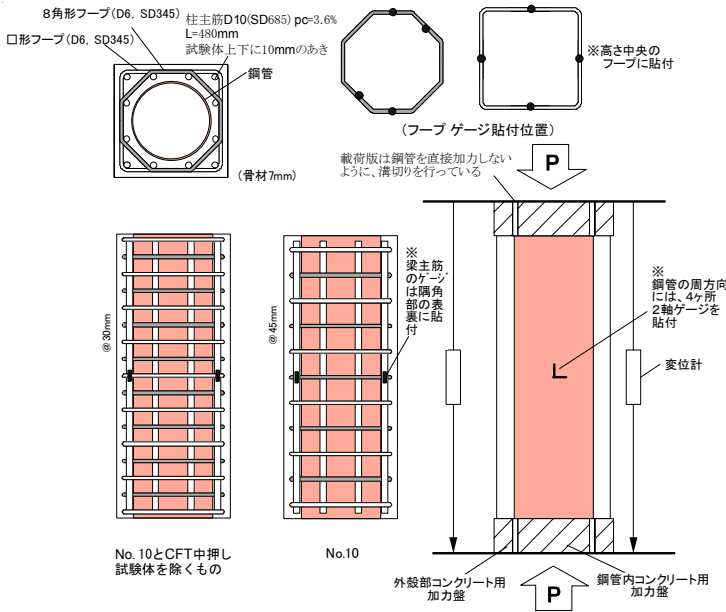


図-1 試験体および加力・計測方法の概要

No.1～No.3 は鋼管の幅厚比を, No.4～No.9 は鋼管の内外のコンクリート強度を, No.3, No.20 は鋼管の強度を各々パラメータとした試験体である。また, 比較検討用として, No.11～No.15, No.21 は柱内部の充填鋼管コンクリート部のみの試験体 (以下, CFT 試験体) とし, No.16～No.19 は鋼管を設けずに柱のコア部と外殻部のコンクリート強度の組合せを変えた試験体 (以下, 外殻 PCa 試験体) とした。

使用した鋼管は, 降伏強度が 550N/mm² 級 (NES-55) および 490N/mm² (STKR490) 級のものであり, 幅厚比 D/t は 61, 44, 31 の 3 種類とした。鋼管の内外のコンクリートは, 圧縮強度を 60, 100, 120, 150N/mm² の 3 種類の組合せとし, 外殻部コンクリートの帯筋比は 1.06%, 0.71% の 2 種類とした。

試験体の製作については, 鋼管を内型枠とし主筋, 帯筋を配した外殻部のコンクリートを先に打設し, その後, 鋼管内のコンクリートを打設した。鋼管のない No.16～No.19 についても内型枠を設けて同様の手順で製作した。主筋は, コンクリートの上下端面より各々 1cm 短くした。コンクリートに使用した粗骨材の最大寸法は 7mm とした。使用材料の材料試験結果を表-2 に示す。

(2) 加力および計測方法

図-1 に加力方法の概要を示す。加力は, 油圧ジャッキ (最大容量 10,000kN) による一方向単調載荷とした。試験体の上下の載荷盤は, 鋼管内コンクリート加力用の円盤と外殻部コンクリート加力用の四角形盤に分け,

表-2 材料試験結果

(1) コンクリート

部位	種類	圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	ポアソン比
外殻部 (薄肉含)	60	58	4.3	3.24*10 ⁴	0.204
	100	99	4.9	3.99*10 ⁴	0.211
	120	127	5.4	4.32*10 ⁴	0.225
鋼管内	60	61	4.0	3.28*10 ⁴	0.213
	100	103	5.7	4.00*10 ⁴	0.216
	120	119	5.7	4.08*10 ⁴	0.223
	150	144	6.6	4.39*10 ⁴	0.223

(2) 鋼材

部位	種類	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	降伏歪み $\mu (\times 10^{-6})$	伸び %
フープ 8角形フープ	D6 (SD345)	406	549	1.94*10 ⁵	2367	19.5
主筋	D10 (UHD685)	799	987	2.14*10 ⁵	3877	14.6
	t=2.3 (NES-55)	466	564	2.04*10 ⁵	4314	26.4
	t=3.2 (NES-55)	469	572	2.14*10 ⁵	4207	25.4
	t=4.5 (NES-55)	450	595	2.14*10 ⁵	4106	26.7
鋼管	t=4.5 (STKR490)	527	637	2.30*10 ⁵	4322	25.2

鋼管を直接加力しないようにした。CFT 試験体でも同様に, 鋼管内部のコンクリート部のみを加力した。計測項目は, 載荷荷重, 試験体の軸縮み, および図-1 に示す位置の主筋, 帯筋, 鋼管のひずみである。ここで, 軸縮みは, 各柱面の 4 箇所に設置したひずみゲージ式変位計により測定した上下の載荷盤間の平均鉛直変形である。

3. 実験結果

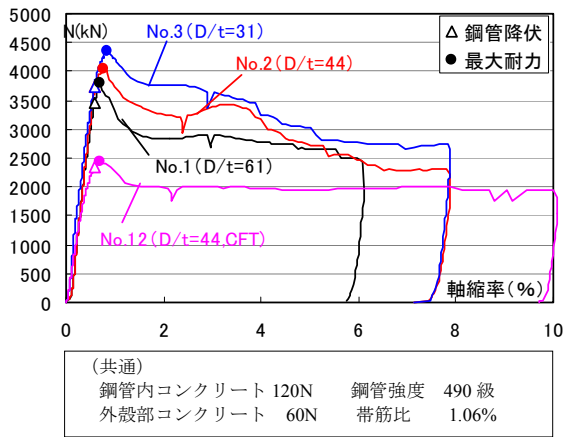
(1) 荷重-軸変形関係

a) 破壊経過概要

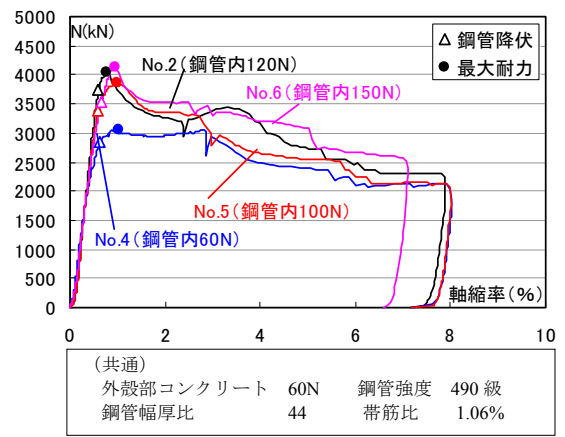
鋼管内蔵 RC 試験体 (No.1～No.10, No.20) は, 軸縮率 ($\epsilon_v = \text{軸縮み} / \text{材長}$) が 0.11～0.26% で上下端のコンクリートに縦ひび割れが発生し, 軸縮率が 0.51～0.66% で柱主筋と鋼管がほぼ同時期に降伏した直後に鋼管の局部座屈によって最大荷重 ($\epsilon_v = 0.68 \sim 1.02\%$ 時) に達した。最大荷重以後は荷重が急激に低下するが, 軸縮率が 3～4% 程度で一旦荷重を保持し, その後, 再び荷重が低下するという性状を示した。この 2 度目の荷重低下は, 被覆コンクリート部の破壊によるものであった。

b) 鋼管の幅厚比の影響

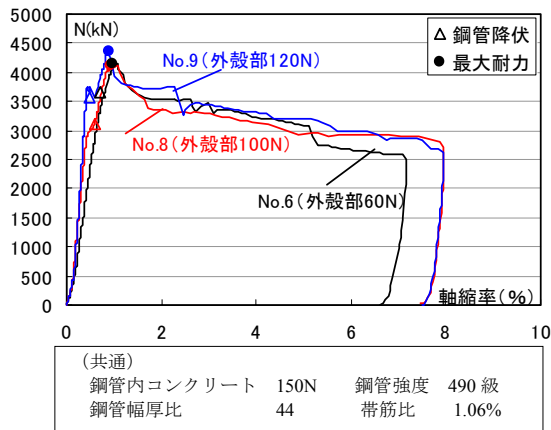
図-2 (1) に鋼管の幅厚比の異なる No.1～No.3 の荷重-軸縮率関係を, CFT 試験体 No.12 と比較して示す。No.1～No.3 を見ると幅厚比が小さいほど, 最大荷重および最大荷重時の軸縮率は大きくなるとともに, 最大荷重後の荷重低下の割合が小さくなっている。軸縮率が約 5% 以上の大変形時の荷重は, CFT 試験体 No.12 の最大荷重と同程度になっており, 載荷荷重の大部分を柱内部の CFT 構造部が負担していることがわかる。



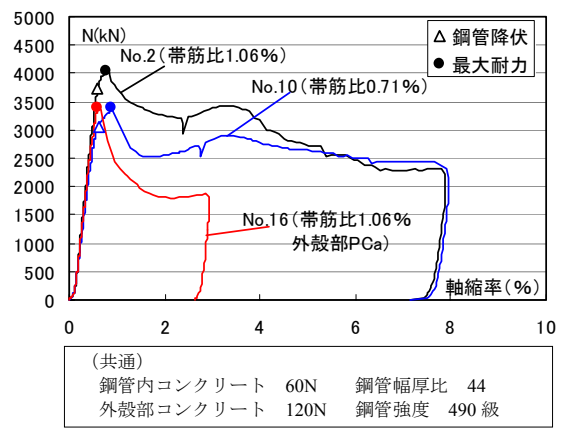
(1) 幅厚比, CFT の比較



(2) 鋼管内コンクリート強度の比較



(3) 外殻部コンクリート強度の比較



(4) 帯筋比, 外殻 PCa の比較

図-2 荷重と軸縮率の関係

c) 鋼管内のコンクリート強度の影響

図-2(2)に外殻部のコンクリート強度が 60 N/mm²で、鋼管内のコンクリート強度が 60~150 N/mm²の試験体 (No.2, No.4, No.5, No.6) の荷重-軸縮率関係を示す。鋼管内のコンクリート強度が 60N/mm²の No.4 では最大荷重は小さいものの、軸縮率が 3%程度までは荷重の低下は小さく安定した性状を示している。これに対し、No.2, No.5, No.6 (100, 120, 150 N/mm²) では、鋼管内のコンクリート強度が大きい試験体でも、最大荷重はあまり大きくならずその差異は比較的小さい。また、最大荷重後の荷重低下は No.4 よりも大きくなっている。これは、鋼管内の高強度コンクリートに対して鋼管の幅厚比が大きいことにより、鋼管の座屈で最大荷重に至ったためであり、高強度コンクリートを用いる場合の幅厚比の設定について検討する必要があると考える。

d) 外殻部のコンクリート強度の影響

図-2(3)に、鋼管内のコンクリート強度が 150N/mm²で、外殻部のコンクリート強度が 60~120 N/mm²の試験体 (No.6, No.8, No.9) の荷重-軸縮率関係を示す。コン

クリート強度が大きい試験体ほど初期剛性が高くなっているが、最大荷重は同程度であり、外殻部のコンクリート強度の影響はあまり見られない。

e) 鋼管および帯筋による拘束の影響

図-2(4)に、外殻部の帯筋比が異なる No.2, No.10 の荷重-軸縮率関係を、鋼管のない外殻 PCa 試験体の No.16 と比較して示す。帯筋比が 1.06% の No.2 は、帯筋比が 0.71% の No.10 に比べて最大荷重が大きく、その後の荷重低下の割合が小さくなっている。これは、帯筋比の小さな No.10 では主筋の座屈が早めに生じたためである。

鋼管内蔵 RC 試験体 No.2 と外殻 PCa 試験体 No.16 を比較すると、No.16 は最大荷重に至るまでは No.2 とほぼ同様の関係を示すが、最大荷重は No.2 に比べて小さく、最大荷重後の荷重の低下が著しい。なお、両者間の最大荷重の差は、ほぼ鋼管の軸降伏耐力と一致している。

(2) 軸縮率と鋼管の応力度比

図-3に軸縮率と鋼管の応力度比を示す。縦軸の応力度比は、鋼管のひずみから求めた周方向応力度 $s \sigma_h$ および

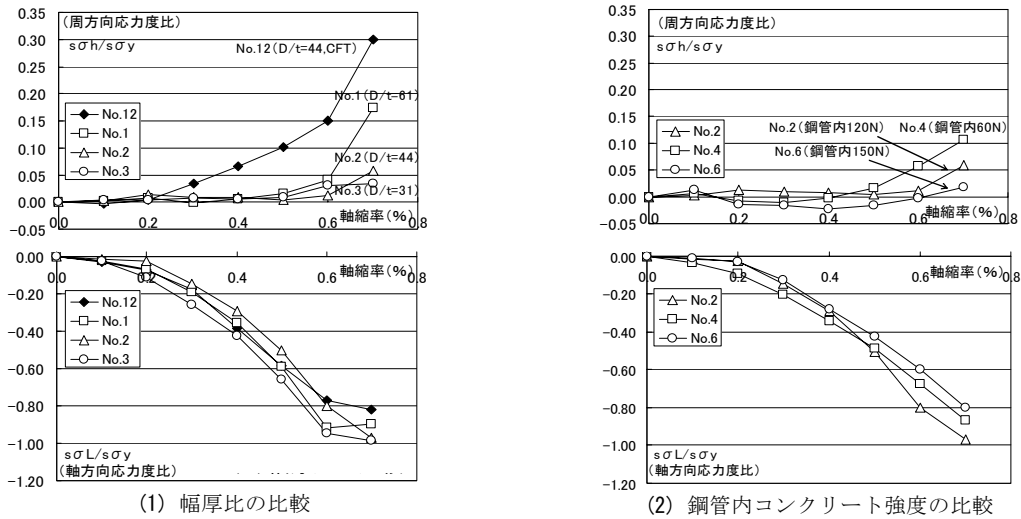


図-3 軸縮みと鋼管の応力度比

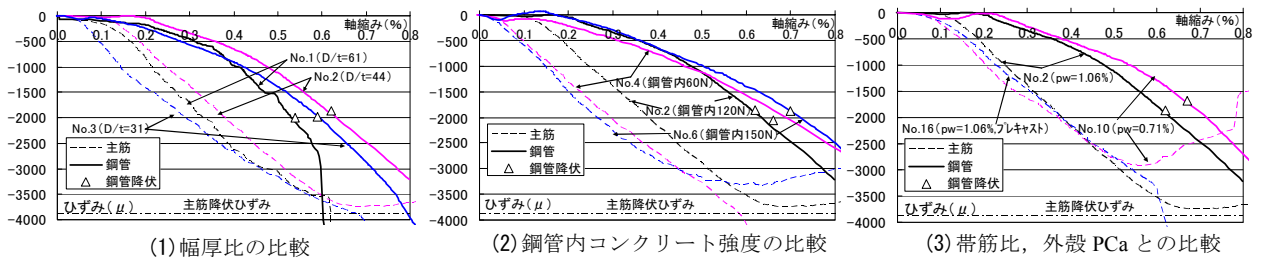


図-4 軸縮率と主筋、鋼管の軸方向ひずみ

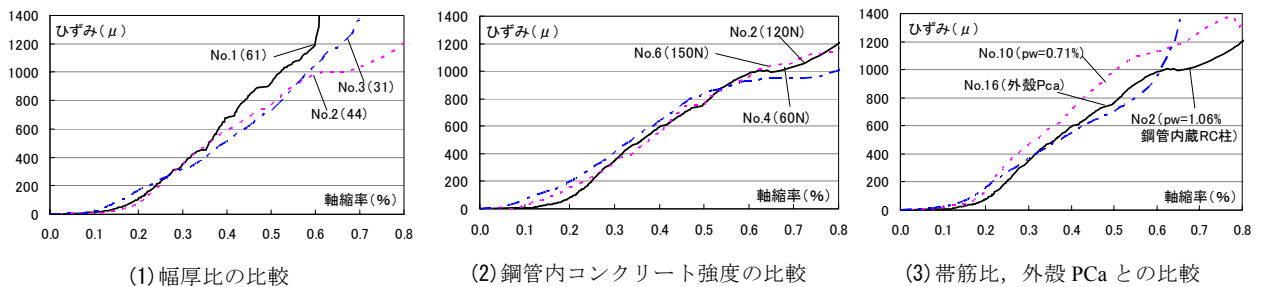


図-5 軸縮率と帯筋のひずみ

軸方向応力度 $s\sigma_L$ を、鋼管の一軸降伏応力度 $s\sigma_y$ で除した値である。なお、鋼管の降伏はミーゼスの降伏条件により判定し、降伏以降の応力は塑性流れ理論により求めた。CFT 試験体の No.12 は、軸縮率 0.2% 付近より周方向応力が大きくなっており、コンクリートの体積膨張が始まっていることがわかる。一方、鋼管内蔵 RC 試験体の No.2 の周方向応力度は、鋼管が降伏する軸縮率 0.5% 以降で増大している。この鋼管降伏以降の周方向応力度比は、鋼管の幅厚比が大きく、鋼管内のコンクリート強度が小さいほど大きな値を示している。

鋼管の軸方向応力度比は、試験体による大きな差異は認められず、鋼管の降伏する 0.6% 付近までは軸変形の増加に伴い増加し、その後一定の値となった。

(3) 鋼管および主筋、帯筋のひずみ

図-4 に軸縮率と主筋および鋼管のひずみの関係を示す。主筋のひずみは、帯筋比が小さく主筋が座屈した No.10 を除き、降伏までは軸変形の増加とともに直線的に大きくなっている。主筋が降伏する軸縮率時(0.6% 付近)の鋼管のひずみは、主筋のひずみの 50% 程度となっている。

図-5 に軸縮率と帯筋のひずみの関係を示す。帯筋のひずみは柱端部に縦ひび割れが生じた軸縮率 0.1~0.2% から増加し始め、No.10 (帯筋比 0.71%) を除き、ほぼ同様な性状を示している。No.10 の帯筋は、小変形時より、主筋の面外方向のはらみ出しを抑える効果を果たしていたものと思われる。

4. まとめ

RC 柱内に鋼管が内蔵された合成構造の柱について、基本性状の把握を目的とし中心圧縮実験を実施した。結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 本合成構造の柱は、外殻部のコンクリートの破壊後、最終的には内部の CFT 構造部で鉛直荷重を負担する。
- ② 柱に内蔵された鋼管の幅厚比が小さいほど最大荷重が大きく、その後の荷重低下の割合は小さい。
- ③ 鋼管内外のコンクリート強度が 60N/mm^2 で、幅厚比が 44 の試験体では、最大荷重後の荷重低下の少ない良好な性状を示した。しかし、鋼管内のコンクリート強度が 100N/mm^2 以上の場合には、幅厚比をさらに小さくする必要があると思われる。