

報告 鉄筋を内蔵した CFT 柱の実大施工実験

梅本 宗宏^{*1}・渡邊 秀仁^{*2}・大内 一之^{*3}・寺井 靖人^{*4}

要旨：鉄筋を内蔵したコンクリート充填鋼管柱の施工性および高強度コンクリートの充填性・品質を確認するため、実大規模の実験柱（3層分を想定）を用いて、圧入工法および落とし込み充填工法による実験施工を行った。その結果、圧入施工時の鋼管内のひずみ挙動や側圧の状況から、鋼管内に配筋した CFT 柱と配筋のない CFT 柱の施工時の大きな差異は認められなかった。また、圧入および落とし込み工法のどちらにおいても十分な品質を確保できることが確認できた。

キーワード：コンクリート充填鋼管柱，高強度コンクリート，圧入工法，落とし込み充填工法

1. はじめに

近年、鋼とコンクリートの複合構造であるコンクリート充填鋼管構造（以下 CFT 造と略記）は、その構造性能・耐火性能および施工性から中層建築物から高層建築物まで幅広く採用されるようになってきた。また、告示により技術基準が定められ、これに適合するものは特別な手続きを行うことなく建築確認が可能になった。しかしながら、従来 CFT 造は特殊な構造形式として取てり扱われおり、筆者らも施工性ならびにコンクリートの充填性・品質を確認するため、実大モデルの施工実験¹⁾や施工時の模擬柱²⁾による実験を行ってきた。

本研究では、CFT 造の超高層化、鉄骨量や耐火被覆の低減を目的に、CFT 柱内部に鉄筋を配筋した鉄筋コンクリート造と CFT 造を組合せた鉄筋内蔵型コンクリート充填鋼管構造（以下 SCFT 造と略記）を開発し、すでに構造性能ならびに設計手法について報告³⁾している。

本報告では、SCFT 柱の施工性ならびに高強度コンクリートの充填性・品質を確認するため、実大規模の実験柱（3層分を想定）に圧入工法および落とし込み充填工法による実験施工を実施し、

施工時における測定結果ならびにコンクリートの充填性・品質結果について報告する。

2. SCFT 柱の概要

図-1 に SCFT 柱の概要図を示す。内ダイアフラム形式の鋼管内に鉄筋を配筋するため、柱梁接合部のダイアフラム中央部の開口を大きくとり、耐力を確保するため開口端部に補強リブを設けた形式となっている。

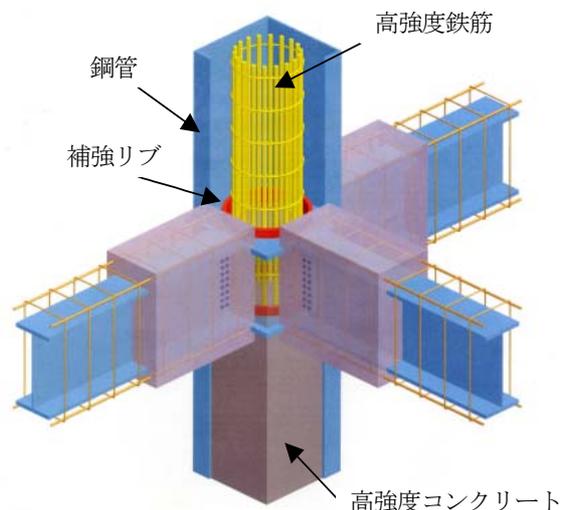


図-1 SCFT 柱の概要図

*1 戸田建設(株) 技術研究所材料グループ 工修 (正会員)

*2 戸田建設(株) 構造設計部主管

*3 戸田建設(株) 技術研究所材料グループ主管 工修 (正会員)

*4 戸田建設(株) 建築工事技術部技術課課長 (正会員)

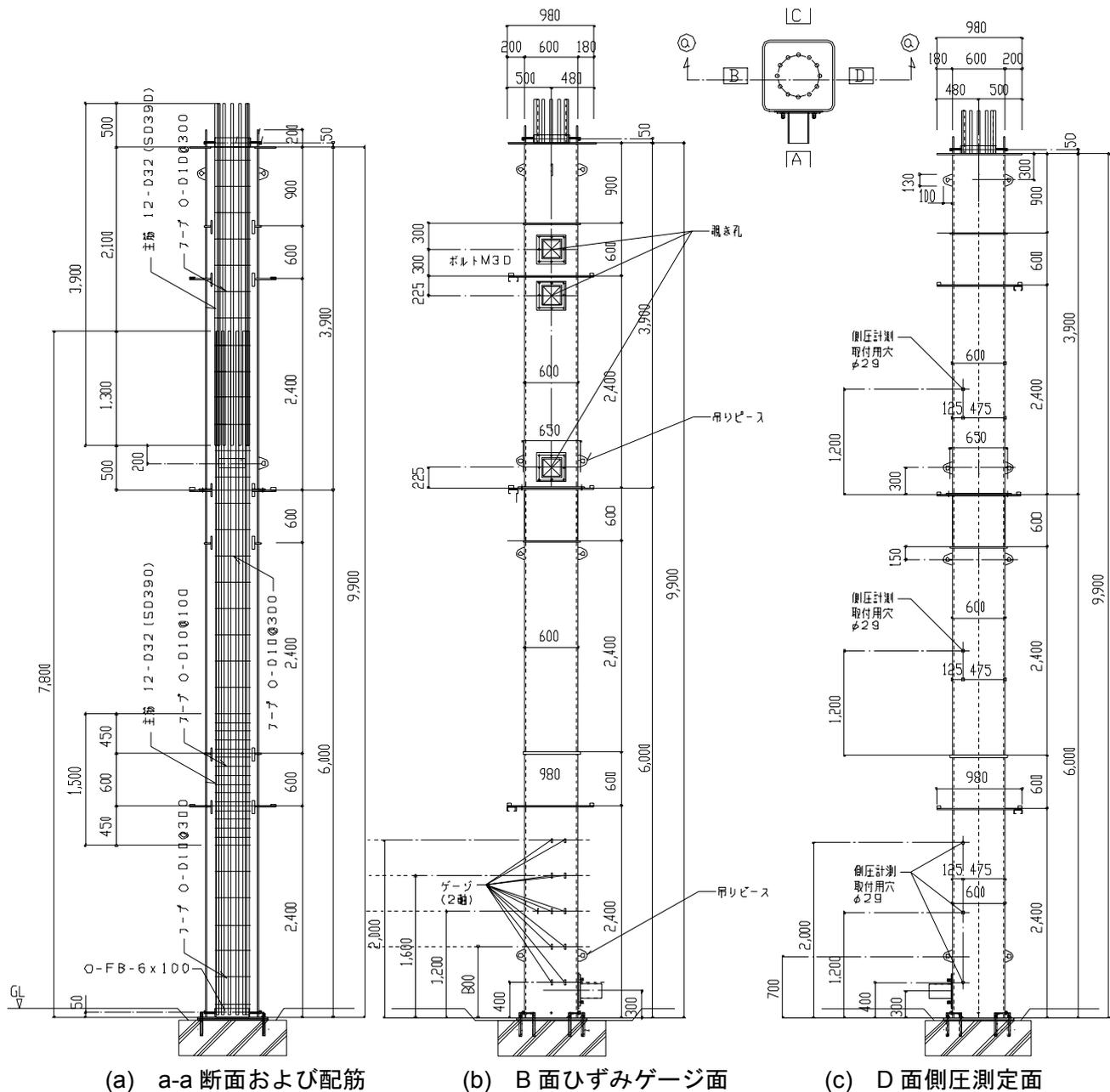


図-2 試験体形状

3. 実験概要

3.1 試験体

図-2に実験に使用した SCFT 柱の試験体形状を示す。試験体は、高さ 9900mm とし、実大建物の 3 層を想定して 3 箇所 6 枚のダイアフラム部を設け、内部に鉄筋を配筋した 2 体とした。

(1) 鋼管および鉄筋の仕様

試験体に用いた鋼管は、角型の $600 \times 600 \times t16$ (BCP325) とした。鉄筋は、主筋 12-D32 (SD390)、補強筋 $O-D10@300$ (一部 $@100$) とした。

(2) ダイアフラムの形状

図-3にダイアフラムの形状およびコア抜き位置を示す。ダイアフラムの四隅には、通常の CFT 造と同様に空気抜き孔を設けた。

3.2. 実験要因

実験要因を表-1に示す。実験要因は、充填コンクリートの施工方法とし、コンクリートポンプ車を用いた圧入工法ならびにコンクリートバケットによる落とし込み充填工法 (パイプレータ併用) により施工 (3 月) を行った。なお、圧入の試験体(A 柱)は、誘導管を用いていない。

3.2 コンクリートの仕様 および製造

使用するコンクリートは、設計基準強度(F_c) 60N/mm^2 級とし、CFT 造のコンクリート強度の補正值(m_{Sn} 値) 10N/mm^2 を想定して、呼び強度 70N/mm^2 級を用いた。コンクリートの目標スランブフローは 65cm 、目標空気量は 3% とした。表-2 にコンクリートの使用材料を、

表-3 にコンクリートの調合をそれぞれ示す。セメントは低熱ポルトランドセメントとし、水セメント比を 27% とした。コンクリートの製造は、輸送時間約 30 分のレディーミクストコンクリート工場で行った。コンクリートは二軸強制練りミキサー(容量 3m^3)を用い、1 バッチ $1.75\text{m}^3 \times 3$ 回練りで 1 台分とした。コンクリートの練混ぜは、モルタルを先行して 120 秒練り混ぜた後、粗骨材を投入して 120 秒練り混ぜた。コンクリートは、トラックアジテータ内で 5 分静置後、荷卸ししてフレッシュ試験を行い、実験現場に出荷した。

3.3 コンクリートの打込み

図-4 にポンプ配管経路を示す。コンクリートポンプは、理論最大吐出圧 11.7MPa 、シリンダーサイズ $\Phi 220 \times 1800\text{mm}$ の揺動弁形ピストン式を用い、配管は 5B(125A)管を用いた。バケツは、電動開閉式(容量 2.5m^3)を用い、排出口に $\Phi 150\text{mm}$ のビニルホースを取り付け、打込み中にホース先端がコンクリート中にあるようにし、コンクリート天端の 1m 下方でバイブレータを使用しながら打込みを行った。両工法とも、打上り速度が 0.5m/分 となるように設定した。

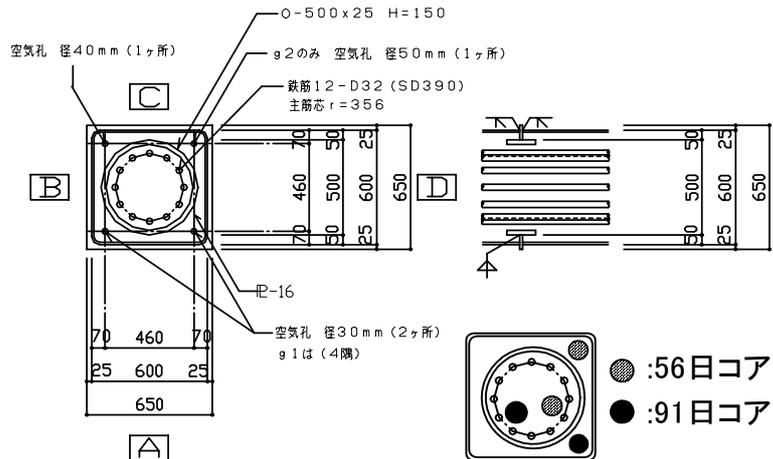


図-3 ダイアフラムの形状およびコア抜き位置

表-1 実験要因

試験体記号	施工条件	
	ダイアフラム	打込み方法
A 柱	リング付	圧入
B 柱		落とし込み

表-2 使用材料

セメント	低熱ポルトランドセメント： 密度 3.20g/cm^3	
細骨材 1	鹿島産陸砂	表乾密度 2.63g/cm^3
細骨材 2	葛生産砕砂	粗粒率 2.66(混合後)
粗骨材	岩瀬産砕石：表乾密度 2.65g/cm^3 ， 粗粒率 6.67，実積率 60%，最大寸法 20mm	
混和剤	高性能 AE 減水剤：ポリカルボン酸系	

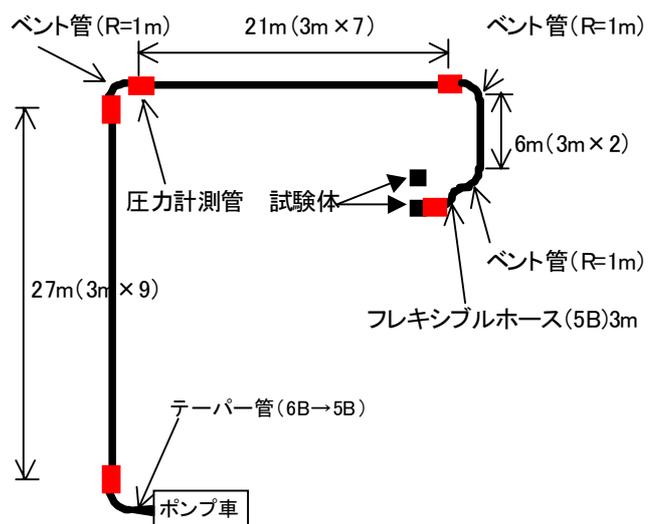


図-4 ポンプ配管経路

表-3 コンクリートの調合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)					
		水	セメント	細骨材 1	細骨材 2	粗骨材	混和剤
27	46.4	175	649	507	217	843	$C \times 1.1\%*$

*セメント量(C)×%，代表値

3.4 実験項目

表-4に、主な実験項目を示す。試験体はコンクリート打込み後、材齢1週で横置きにして養生し、切断・コア供試体採取を行った。

4. 実験結果

4.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を表-5に示す。フレッシュコンクリートの状態は、両柱ともプラント出荷時から受入れ時で大きな変化はなかった。A柱圧入の筒先のデータで、スランプフロー値が小さくなっているのは、A柱のコンクリートを打込み前に予備圧送をしており、配管内の残コンが十分排出できなかったためと思われる。また、A柱柱頭では、受入れ時と同様のスランプフロー値であった。ブリーディング試験結果(A柱にて測定)では、ブリーディングは生じなかった。沈降量の測定結果(B柱にて測定)は、最大で、1.66mmであった。

4.2 施工中の測定結果

コンクリートの打込み時間は、A柱で約20分、B柱で約28分でほぼ設定速度を満足していた。

(1) 鋼管圧入時の管内圧力

図-5に、A柱圧入時の圧入口に取り付けた計測管の管内圧力測定結果を示す。圧入口の管内圧力は、液圧換算時のほぼ1.0~1.1倍程度である。途中で圧力が上がっているのは、圧入速度を切り替えたことによるものである。図中には、液圧×1.3倍のラインを示している。これより、SCFT柱でもCFT柱と同様に、圧送負荷の算定時に用いる鋼管内圧力の割り増し係数は、1.0~1.3を考慮すれば問題ないと考えられる。

表-4 実験項目

分類	試験項目・試験方法
フレッシュコンクリート	スランプフロー試験(JIS A 1150) 空気量試験(JIS A 1128) コンクリート温度(温度計)
	ブリーディング試験(JIS A 1123) 沈降量試験(新都市ハウジング)
硬化コンクリート	圧縮強度試験(標準養生・簡易断熱養生・コア供試体, JIS A 1108) 静弾性係数試験(JIS A 1149)
打込み中の測定	配管内圧力(配管4箇所, 圧入口)
	鋼管内側圧(柱5箇所)
	鋼管ひずみ(柱3面)
	コンクリートの充填状況(カメラ)
硬化後の測定	コンクリートの充填性(柱切断)

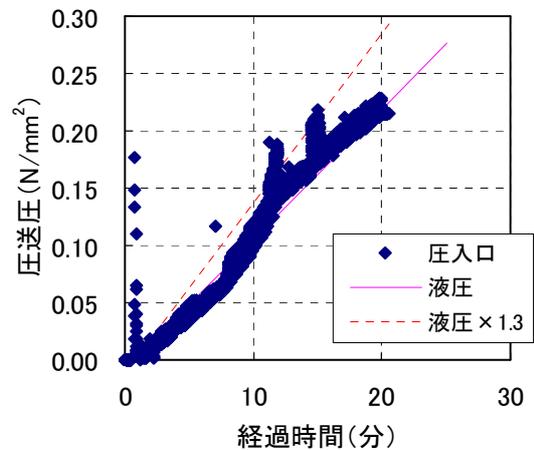


図-5 圧入口の管内圧力測定結果

(2) 鋼管内の側圧

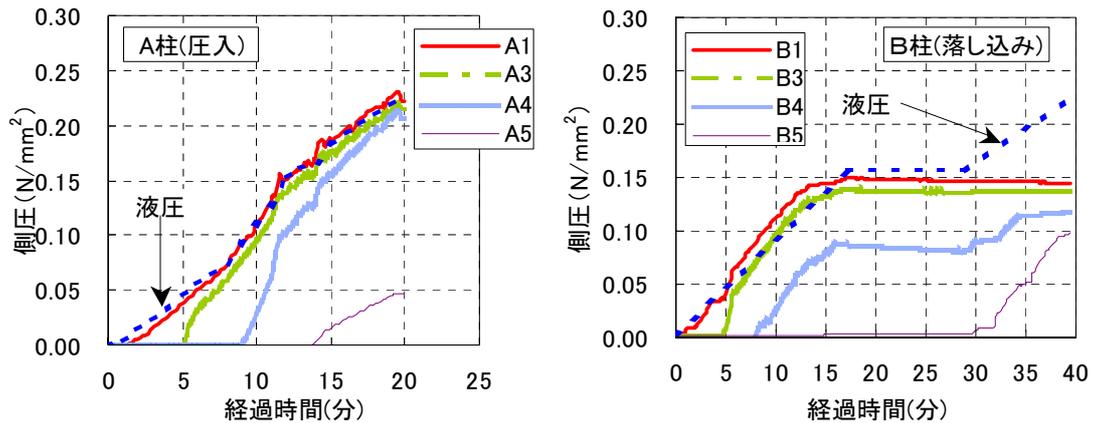
図-6に、鋼管内の側圧の測定結果を示す。圧入および落とし込みとも、液圧より最大10%程度大きな側圧が生じている。また、落とし込みでは、打継ぎ箇所の下層では上部のコンクリートが打込まれても側圧がほぼ一定で、側圧の頭打ちが見られ、締固めの影響によるものと思われる。

(3) 鋼管のひずみ

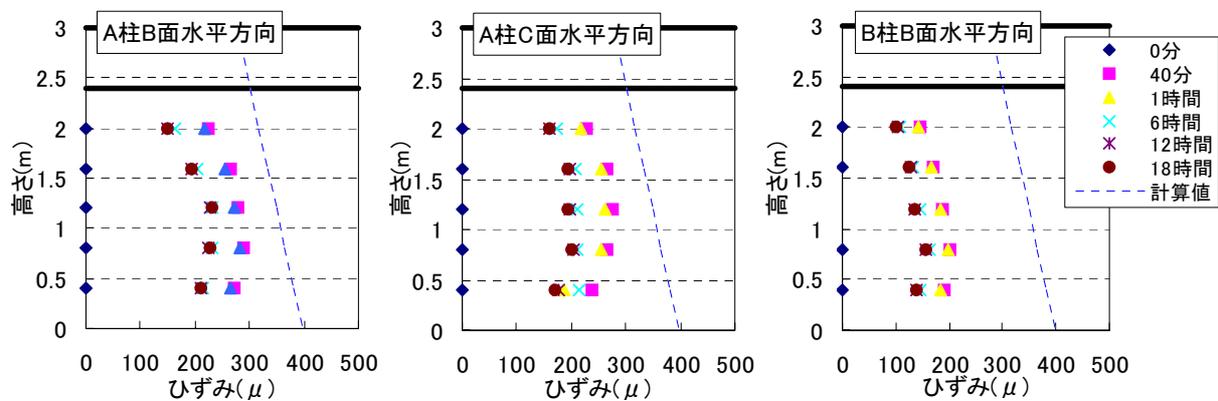
鋼管ひずみの測定結果を、図-7に示す。図

表-5 フレッシュコンクリートの試験結果

柱(工法)	試験場所(試験時間)	スランプフロー(cm)	50cm時間(秒)	停止時間(秒)	空気量(%)	CON温度(°C)	外気温(°C)
A柱(圧入)	プラント	73.0 × 71.0	4.0	43	2.5	14.0	—
	受入時	72.3 × 70.2	5.3	56	2.7	15.5	13.5
	筒先	63.3 × 61.2	6.0	34	2.2	15.0	13.0
	柱頭	73.8 × 71.9	3.9	54	2.7	15.0	13.0
B柱(落とし込み)	プラント	73.0 × 71.0	4.0	43	2.5	14.0	—
	受入時	70.8 × 68.3	5.6	53	2.6	14.0	13.0
	経時(140分)	59.2 × 58.8	6.7	27	2.9	12.5	13.0



図—6 側圧の測定結果



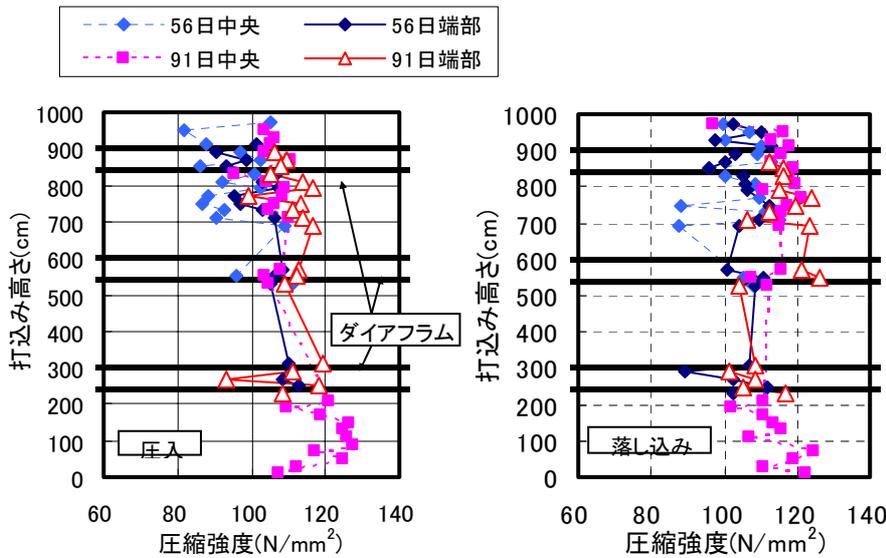
図—7 鋼管ひずみの測定結果

中の計算値は、鋼管の一边を材長とした両端固定梁に置き換え、コンクリートの単位容積質量が液圧で作用するものとして導いたものである。ひずみの最大値は計算値の約 80%程度で、配筋のないCFT柱の実験結果¹⁾とほぼ同様であった。今回の鋼管には誘導管を用いていないが、A柱のB面とC面に大きなひずみの差が見られない。A柱とB柱の比較では、ひずみの分布は高さ0.8mが最大になるなど傾向が同じである。また、ひずみの最大値は、A柱がB柱の1.43倍であり、ほぼ側圧の比率に等しくなっている。以上のことから、SCFT柱と配筋のないCFT柱のひずみ挙動に大差はなく、また、誘導管がなくても鋼管のひずみは大きくならないものと思われる。

4.3 圧縮強度試験結果

標準養生供試体の圧縮強度は、A柱B柱とも、 $100N/mm^2$ を超え、また、圧入時の受入れ時と柱頭の標準養生供試体圧縮強度に差異はなかった。

図—8に、コア強度分布を示す。図のコア強度の分布から、圧入および落とし込みの両方において、ダイアフラムの上下にて、若干のコア強度のばらつきがある。また、圧入に比べて落とし込みの方が、柱上部の強度がやや大きく、コア強度全体のばらつきも小さい。圧入では、柱の側圧の分布に近く、上部に行くほどやや強度が低下する傾向が見られる。表—6に、材齢91日コア強度結果を示す。表より、圧入に比べて落とし込み工法のほうが、コア強度の標準偏差が小さい。これらの結果から、圧入および落とし込み工法の両方において、十分なコア強度の確保が可能と判断できる。本実験で行ったSCFT柱におけるコンクリート強度の補正值(mSn 値)を表—7に示す。通常採用される $_{28}S_{91}$ 値で考察すると、平均値では、圧入-10.8、落とし込み-14.1 N/mm^2 とかなり小さい。不良率を考慮した評価でも、不良率2.3%で、圧入4.84、落とし込み-1.18 N/mm^2 程



図—8 コア強度の分布

度で小さい。通常の低熱ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートで強度補正值 3~5N/mm²程度が考えられ、標準偏差の採用値と合わせると、高強度コンクリートの補正值で問題ないと考えられる。

4.4 充填性

鉄筋継ぎ手部では、鉄筋の内外で骨材の分布に偏在など見られなかった。写真—1に、A柱(圧入)ダイアフラム部の充填状況を示す。ダイアフラムの上下のリング内部に均一に骨材が存在し、十分充填されている。写真に示していないが B柱(落とし込み)ダイアフラムも、問題なく充填されていた。

4. まとめ

鋼管内に鉄筋を配筋した SCFT 柱の 3層モデルによる実大施工実験を行い、その施工性および品質について検討した。

本実験の結果をまとめると以下ようになる。

- (1) フレッシュコンクリートの状態は、プラント出荷時から受入時で大きな変化は見られなかった。また、圧入時の柱頭でもほぼ同様であった。
- (2) 圧入施工時の鋼管内のひずみ挙動や側圧の状況から、鋼管内に配筋した SCFT 柱と CFT 柱の施工時の大きな差は認められない。
- (3) SCFT 柱におけるコンクリートの充填性・圧

表—6 コア強度結果

材齢 単位(MPa)	91日	
	A柱	B柱
全平均	111.0	114.1
標準偏差	7.82	6.46
最大	127.5	126.0
最小	93.4	97.1
変動係数 (%)	7.04	5.66

表—7 mSn 値の結果

mSn 値 単位(MPa)	28S ₉₁	
	A柱	B柱
平均値	-10.8	-14.1
最大	6.6	2.9
不良率-4%	2.73	-2.92
不良率-2.3%	4.84	-1.18



写真—1 ダイアフラム部の充填状況(A柱)

縮強度は、圧入および落とし込み充填工法にどちらにおいても十分な品質を確保できることを確認した。

参考文献

- 1) 梅本宗宏ほか：高強度コンクリートを用いた CFT 柱の実大施工実験（その1～その3），日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），A-1，pp.515-520，1999.9
- 2) 石塚馨ほか：200tf オイルダンパー制振装置を有する超高層 CFT 構造集合住宅の施工，コンクリート工学，Vol.39，No.12，pp.32-37，2001.12
- 3) 渡辺秀仁ほか：鉄筋内蔵型鋼管コンクリート構造に関する実験的研究 その5 リブ付き大口径有孔通しダイアフラムの設計式，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），C-1，pp.1113-1114，2004.8