

Fc100N/mm<sup>2</sup> 級 CFT 柱の実大施工実験EXPERIMENTAL STUDY ON CONSTRUCTION WITH FULL-SCALE CFT COLUMN MODEL  
USING Fc100N/mm<sup>2</sup> CLASS CONCRETE

梅本 宗宏\*, 端直 人\*\*, 井戸 康浩\*\*\*, 右田 周平\*\*\*  
Munehiro UMEMOTO, Naoto HASHI, Yasuhiro IDO and Shuhei MIGITA

In order to examine the filling and quality of high-strength concrete and workability, applied high-strength concrete Fc100N/mm<sup>2</sup> class to fill concrete of CFT column, the authors carried out the experiment on construction with full-scale CFT Column Model by pumping method and by the dropped casting method by bucket. In this paper, we report on the filling resistance and compressive strength of concrete results and measurements in construction at the time.

Result of the experiment, it was confirmed that it is possible to ensure a sufficient quality in both the pumping method and the dropped casting method by bucket.

**Keywords :** Concrete filled Steel Tube, Experiment on Construction, Diaphragm, High-strength Concrete, Pumping Method, Dropped Casting Method by Bucket

コンクリート充填鋼管柱, 施工実験, ダイアフラム, 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り、高層化に伴い使用材料の高強度化が進んでいる<sup>1)</sup>。CFT 造に用いる充填コンクリートでは、調合設計時にダイアフラム近傍での強度変動を考慮した強度補正值  $Sc (=mSn + Sd)$  を用いているが、設計基準強度（以下 Fc）60N/mm<sup>2</sup> を超える範囲では、実験データも少ない<sup>2)</sup>。

本研究では、CFT 造の超高層化や鉄骨量の低減を目的に、CFT 柱の充填コンクリートに Fc100N/mm<sup>2</sup> 級の高強度コンクリートを適用し、施工性ならびに高強度コンクリートの充填性・品質を検討した。本報告では、実大規模の実験柱に圧入工法（3 層分を想定）および落とし込み充填工法（1 層分を想定）による施工実験を実施し、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・圧縮強度結果について報告する。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体

写-1 に試験体を、図-1 に実験に使用した試験体形状を示す。試験体は、圧入工法用 A 柱は高さ 10,238mm とし、実大建物の 3 層を想定して 3 箇所 8 枚のダイアフラムを設け、落とし込み充填工法用 B 柱は高さ 4,300mm とし、実物件を想定したダイアフラ

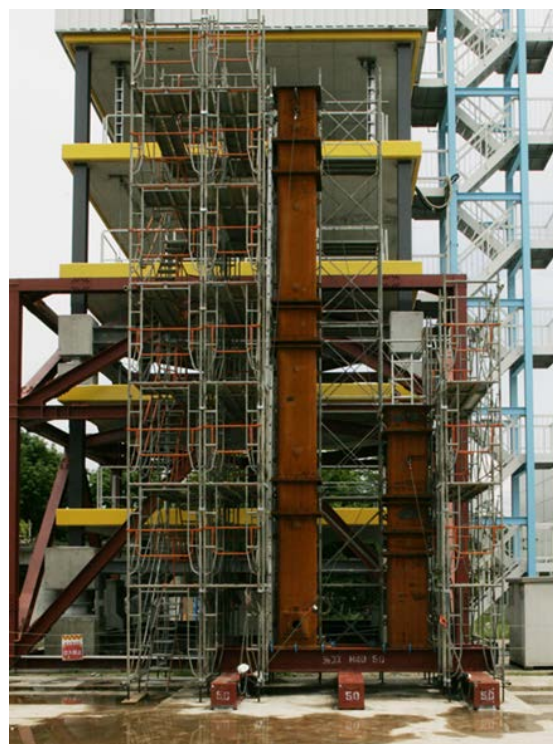


写真-1 試験体

ム 5 枚とした計 2 体とした。また、A、B 両柱とも最小ダイアフラム間隔を内法で 100mm とした。試験体に用いた鋼管は、角型の 700×700×t19mm (BCP235) とした。図-2 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

\* 戸田建設(株)技術研究所 工学修士

\*\* 戸田建設(株)建築工事技術部 修士(工学)

\*\*\* 戸田建設(株)技術研究所 修士(工学)

Technical Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

Architectural Engineering Dept., TODA CORPORATION, M.Eng.

Technical Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

造と同様に空気抜き孔 (4-φ30mm) を設けた。

### 2.2 実験要因

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により施工を行った。なお、圧入工法の試験体には、誘導管を用いていない。

### 2.3 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、Fc100N/mm<sup>2</sup>級とし、コンクリート強度の補正值 (mSn 値) 9.4 N/mm<sup>2</sup>を加えた管理強度 109.4N/mm<sup>2</sup>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 1%とした。表-1 にコンクリートの使用材料を、表-2 にコンクリートの調合をそれぞれ示す。セメントはシリカフェウム混入セメントとし、水セメント比を 19.4%とした。コンクリートの製造は、東京湾岸地域の運搬時間約 90 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 6m<sup>3</sup>)を用い、1 バッチ 2.0m<sup>3</sup>×2 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 180 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、フレッシュ試験を行い、実験現場に出荷した。

### 2.4 コンクリートの打込み

コンクリートポンプは、理論最大吐出圧 21.6 MPa, シリンダーサイズφ200×2100mm のピストン式を用い、配管は 5B(125A)管を用いて水平配管実長 91.4m (直管 81m, バント管 6.4m, フレキシブルホース 4m)とした。バケットは、電動開閉式(容量 2.5m<sup>3</sup>)を用い、排出口にφ150mm 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、コンクリートの打込みを行った。両工法とも、打上り速度が 1.0m/分以下となるように設定した。

### 2.5 実験項目

表-3 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、ダイアフラム下部の観察・コア供試体採取を行った。

表-1 使用材料

セメント	シリカフェウム混入セメント： 密度 3.08g/cm <sup>3</sup>
細骨材	万田野産山砂：表乾密度 2.59g/cm <sup>3</sup> 粗粒率 2.62
粗骨材	桜川産砕石：表乾密度 2.64 g/cm <sup>3</sup> ， 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

表-2 コンクリートの調合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
19.4	4.01	160	920	567	824	14.72

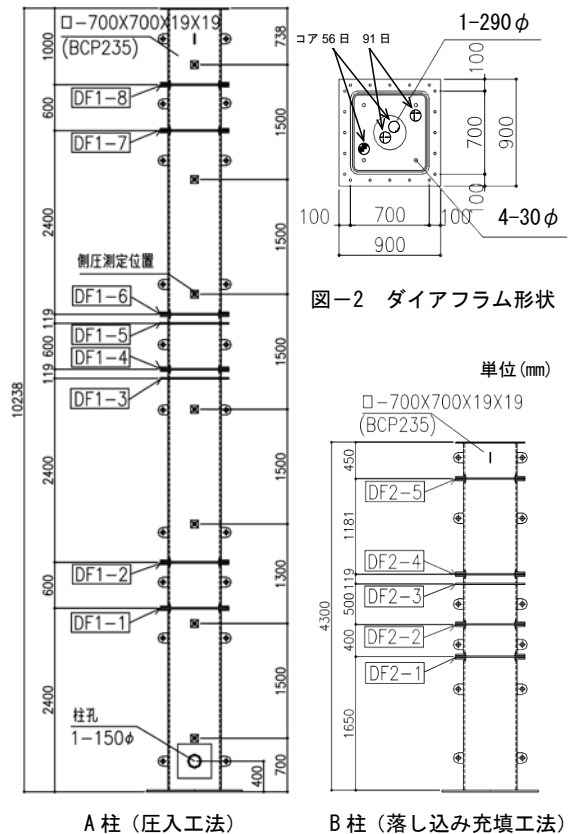


図-1 試験体形状

表-3 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	スランブフロー試験(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(JASS 5 T-503)
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 8 箇所, 圧入口)
	鋼管内側圧(柱 7 箇所)
	打上がり速度(レーザー変位計)
硬化後の測定	コンクリートの充填状況(カメラ)
	コンクリートの充填性

表-4 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)	スランブフロー (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)	荷卸し 1 台目	68.2 × 67.5	10.1	105.2	1.5	20.5	17
	荷卸し 2 台目	68.5 × 68.2	10.7	91.1	1.2	20.7	17
	筒先(開始)	72.1 × 70.9	7.3	76.4	1.9	19.5	17
	柱頭	46.3 × 45.2	—	10.2	1.4	19.5	17
	筒先(終了)	53.8 × 51.6	19.3	42.1	1.4	19.5	17
B 柱 (落とし込み)	荷卸し 3 台目	72.5 × 72.3	9.6	75.5	1.2	19.5	17

### 3. 実験結果

#### 3.1 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-4 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は、スランブフロー値がやや大きくなったが、A 柱のコンクリートの打込み前にモルタル圧送をしており、配管内のモルタル分を十分排出できなかったためと思われる。A 柱柱頭では、スランブフロー値が大きく低下していた。また、圧入終了時の筒先のスランブフロー値も柱頭同様に低下しており、圧送および経時変化の影響でスランブフロー値が低下したと思われる。

ブリーディング試験結果 (A 柱 1 台目にて測定) では、ブリーディングは生じなかった。沈降量の測定結果 (A 柱 1 台目にて測定) は、最大で 0.28mm であった。

#### 3.2 打込み中の測定結果

コンクリートの打込み時間は、A 柱で約 12 分、B 柱で約 10 分で、打込み速度の予定値の 1m/分以下に対して、圧入は平均 0.78m/分と概ね目標値に近く、落とし込みは 0.43m/分と小さくなっていた。

##### 1) 鋼管圧入時の管内圧力

図-3 に、A 柱圧入時の管内圧力と水平換算長さの関係を示す。配管実長は 91.4m で、水平換算長さ 108.2 m であった。代表的な直管 P5-P6 間 (36.3m) の圧力差から管内圧力損失を計算すると、0.068 MPa/m であった。

##### 2) 鋼管内の側圧

図-4 に、A 柱圧入時の鋼管内の側圧の測定結果を示す。また、図-5 に打上がり時の側圧分布を示す。最大側圧は、液圧計算値の 0.96~1.1 程度でほぼ液圧に等しかった。

##### 3) 充填状況

柱内部のコンクリートの充填状況をビデオ撮影により確認した。写真-2 に A 柱のダイアフラム部充填状況 (圧入工法) を示す。コンクリートが打設孔から上昇し、空気抜き孔から上昇するコンクリートを塞ぐことなく充填している状況を確認した。また、B 柱 (落とし込み充填工法) でも同様であった。

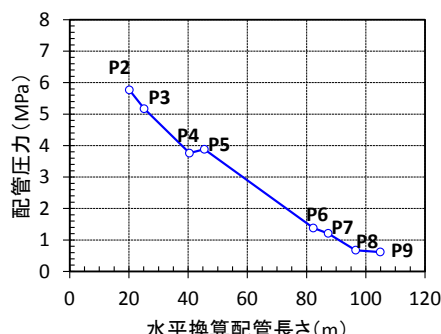


図-3 管内圧力と水平換算長さの関係

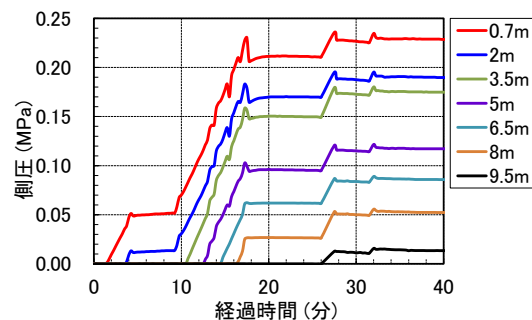


図-4 側圧の測定結果

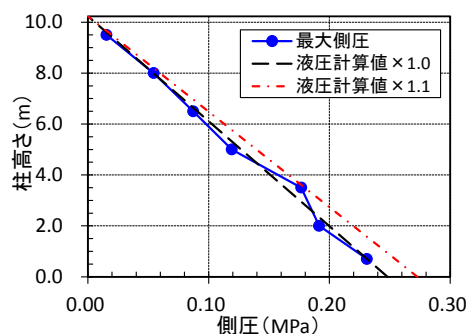


図-5 打ち上がり時の側圧分布



写真-2 柱内部の充填状況 (圧入工法)

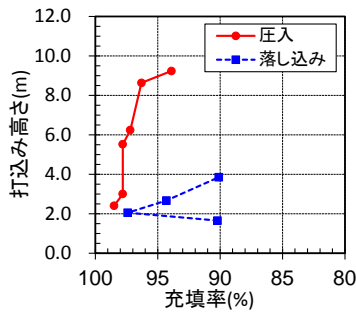


図-6 充填率の測定結果

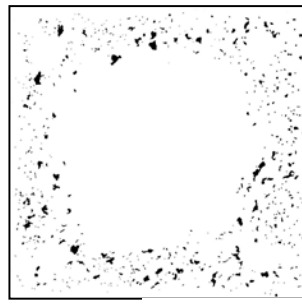


図-7 気泡状況 (ダイアフラム 1-6)

単位(N/mm <sup>2</sup> )	A 柱	B 柱
全平均	170.7	167.7
標準偏差	11.0	5.43
最大	206.4	181.5
最小	148.6	149.5
変動係数(%)	6.44	5.43

単位(N/mm <sup>2</sup> )	A 柱	B 柱
標準 28 日	140.1	151.4
91 日コア平均値	170.7	167.7
コア不良率-5%	152.7	152.8
Sc 値(平均)	-30.6	-16.3
Sc 値(不良率-5%)	-12.6	-1.4

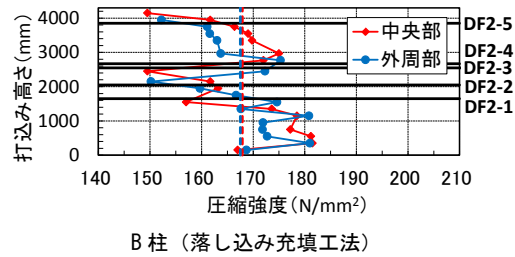
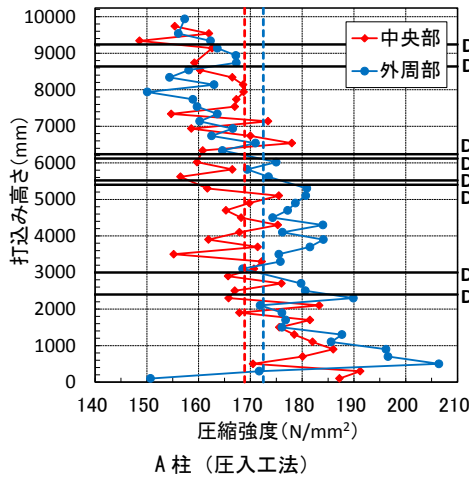


図-8 コア強度の分布 (材齢 91 日)

### 3.3 硬化後の充填性

図-6に、硬化後のダイアフラム下部の充填率の測定結果を、図-7に気泡状況(ダイアフラム1-6)の状況を示す。圧入工法の充填率は、最上部を除いていずれも95%以上と高い充填率であった。落とし込み充填工法についても、いずれも90%以上であり、両工法ともダイアフラム間隔が100mmの場合でも十分な充填性を確保していた。なお、落とし込み工法のダイアフラム2-1および2-5の充填率は、それぞれ90.1%、90.2%であり、他と比較してやや低くなっているが、ビデオ撮影による充填状況より、ダイアフラム通過時にホース先端がコンクリート天端より上部にあることを確認しており、ホース先端がコンクリート天端より下部にある場合は十分な充填性が確保できると考えられる。

### 3.4 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、材齢28日で135N/mm<sup>2</sup>を超え、また、A柱の受入れ時、圧入前筒先および圧入後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、コア強度の分布(材齢91日)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、圧入と落とし込みを比較すると、落とし込みは圧入の柱上部の強度と同様な強度分布となっている。圧入では、柱の側圧の分布と同様に、上部に行くほどやや強度が低下する傾向が見られる。表-5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。表-6に本実験で行ったCFT柱におけるコンクリート強度の補正值(Sc値)を示す。通常採用される標準材齢28日とコア材齢91日で考察すると、平均値では、圧入-30.6N/mm<sup>2</sup>、落とし込み-16.3N/mm<sup>2</sup>とかなり小さい。不良率を考慮した評価でも、不良率5%で、圧入-12.6N/mm<sup>2</sup>、落とし込み-1.4N/mm<sup>2</sup>程度で小さい。今回の実験ではシリカフェーム混入セメントを用いた高強度コンクリートの強度補正值9.4N/mm<sup>2</sup>を採用しているが、標準偏差の採用値と合わせると、Sc=0でも構造体コンクリート強度の確保には問題ないと考えられる。

### 4. まとめ

Fc100N/mm<sup>2</sup>級高強度コンクリートを用いたCFT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、圧入時の柱頭ではスランプフローが低下したが圧送および経時変化の影響と考えられる。
- (2) 圧入施工時の側圧の状況や充填状況の観察によると、Fc100N/mm<sup>2</sup>級高強度コンクリートでも通常のCFT柱の施工時との大きな差は認められない。

(3) CFT 柱におけるコンクリートの充填性・圧縮強度は、圧入および落とし込み充填工法の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。

#### 謝辞

実験に協力いただきました(有)TRD、竹本油脂(株)ならびに晴海小野田レミコン(株)に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 青木義彦・岩清水隆・山田佳博・永野浩一:Fc150N/mm<sup>2</sup>の超高強度コンクリート CFT 柱の施工, コンクリート工学, Vol.50, No.8, pp.683-688, 2012.8
- 2) 新都市ハウジング協会 CFT 造施工技術研究会: 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, 第 17 巻, 第 37 号, pp.797-802, 2011.10