

Fc150N/mm²級超高強度コンクリートを用いた CFT 柱の圧入施工実験EXPERIMENTAL STUDY OF PUMPING CONSTRUCTION OF CFT COLUMNS USING Fc150N/mm² CLASS
ULTRA HIGH-STRENGTH CONCRETE

右田 周平*¹, 梅本 宗宏*¹, 久須 美真悟*¹
Shuhei MIGITA, Munehiro UMEMOTO and Shingo KUSUMI

In order to investigate the workability of press-in construction of CFT columns using ultra high-strength concrete of Fc150N/mm² class, a diaphragm filling test using a small CFT mock-up column and a full-scale construction test were conducted. The experimental results of a small CFT mock-up column showed that the filling performance could be improved by changing the arrangement of the air vent holes in the diaphragm. A press-in construction test using full-scale columns was conducted, which demonstrated that there were no problems with the workability and quality of the concrete in terms of the freshness of the concrete before and after pumping, the pressure loss in the pipe, the filling performance of the bottom of the CFT column diaphragm, and the strength of the filled concrete.

Keywords : Concrete filled Steel tube columns, Ultra High-Strength Concrete, Pumping-up Construction, Fresh properties, Pressure loss
CFT 柱, 超高強度コンクリート, 圧入施工, フレッシュ性状, 圧力損失

1. はじめに

コンクリート充填鋼管（以下 CFT）構造は、優れた剛性・耐力・変形性能・耐火性能を有し、これまで、多くの大規模建築物で採用されている。近年では使用材料の高強度化も進んでおり、充填コンクリートにおいては、設計基準強度（以下 Fc）100N/mm²を超える施工も報告されている¹⁾²⁾。

筆者らも、すでに Fc120N/mm²級の超高強度コンクリートを使用した CFT 柱の実大施工実験について、実験結果を報告しており³⁾、今回、更なる高強度化となる、Fc150N/mm²級の超高強度コンクリートを使用した CFT 柱を実現するために、小型 CFT 模擬柱によるダイアフラム下への充填性確認実験および、圧入工法による実大施工実験を行った。本報では、その実験概要ならびに結果について報告する。

2. 小型 CFT 模擬柱によるダイアフラム下充填性確認実験

2.1 実験概要

Fc150N/mm²超高強度コンクリートを用いた CFT 柱の施工結果に関する報告はまだ少なく²⁾、CFT 柱への充填性能が十分に明らかではない。そこで、実大施工実験を行う前に、小型 CFT 模擬柱によるダイアフラム下への充填性確認実験を行った。

実験では、ダイアフラムの空気抜き孔について、個数、直径、配置を変更して、充填性能への影響を確認した。図 1 に小型 CFT 模擬柱概要図を、図 2 にダイアフラムの形状を示す。模擬柱は□600（内径 580）mm×高さ 1200mm で、中央部にダイアフラムを 1 枚設けた。ダイアフラムは空気抜き孔の数が 4, 8, 12 個の他、4 隅に 4 個、内側に 4 個設けた、8 個（変則）の 4 種類とし、空気抜き孔の大きさによる影響を確認するため、φ30mm と φ40mm の空気抜き孔が左右対称となるように配置した。実験には、ブーム長 32m、理論最大吐出圧 13.0MPa、シリンダーサイズ φ230×2100mm のピス

トン式のコンクリートポンプ車を用いた。ポンプ車のブームを水平に伸ばし、小型 CFT 模擬柱下側に圧入口を設け、コンクリートを圧入した。打上がり速度は 1m/min.以下となるよう低速で圧送を行った。

2.2 充填コンクリート概要

表 1 に充填コンクリートの使用材料を、表 2 に調合を示す。使用するコンクリートは、大臣認定取得済みの指定強度 157N/mm² 超高強度コンクリートである。セメントはシリカフェュームプレミックスセメントを使用し、強度や流動性の改善を目的に、混和材としてシリカフェュームを 5%内割で別添加した。コンクリートの水結合材比（W/B）は 13.1%とし、目標スランプフローは 65±10cm、目標空気量は 2.0±1.5%とした。

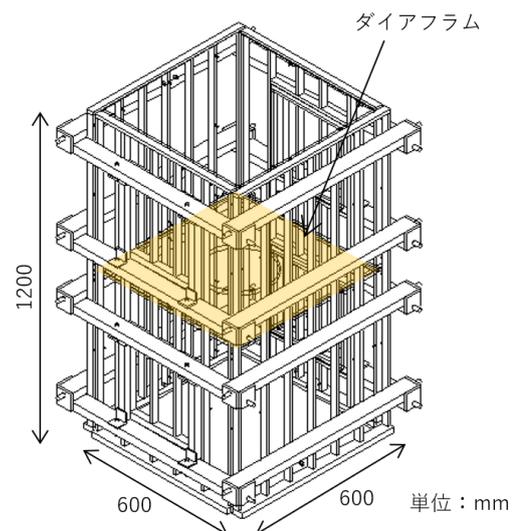


図 1 小型模擬柱概要図

*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士（工学）

Technology Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

2.3 測定項目

表3に測定項目を示す。フレッシュコンクリートは、出荷時およびポンプ車のブーム先端から採取したコンクリートで2回（試験体圧入前：筒先①、全試験体圧入完了後：筒先②）の、計3回試験を実施した。コンクリート圧入時は、ポンプ主油圧、試験体の打上がり速度を測定した。硬化後のコンクリートについては、圧縮強度（材齢7、28日）およびダイアフラム下の充填率（柱断面積に対する、空隙等の未充填部を除いた充填部の面積の割合）を測定した。

2.4 実験結果

表4にフレッシュコンクリートの試験結果および圧縮強度試験結果を示す。出荷時と比較して、筒先ではスランブフローが大きくなり、50cm到達、O漏斗流下時間ともに短くなった。シリカフェウムプレミックスセメントは低発熱系セメントを使用していることか

表1 使用材料

セメント	C	シリカフェウムプレミックスセメント 密度：3.08g/cm ³
細骨材	S	千葉県富津市産山砂 表乾密度：2.62g/cm ³ 、粗粒率：2.64g/cm ³
粗骨材	G	茨城県桜川産碎石 表乾密度：2.64g/cm ³ 、実績率：60.0%
混和材	SF	シリカフェウム（ロシア産） 密度：2.20g/cm ³
混和剤	SP	茨高性能減水剤（I種）：ポリカルボン酸系
	SRA	収縮低減剤：ポリエーテル誘導体

表2 割合

W/B (%)	S/a (%)	単位量 kg/m ³					
		W	C	SF	S	G	SRA
13.1	27.3	160	1160	61	298	808	10

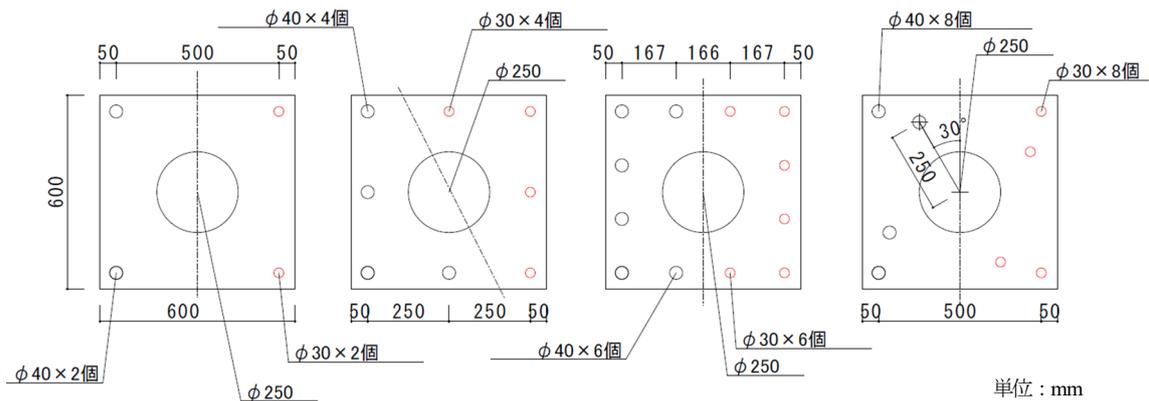


図-2 ダイアフラムの形状

表4 フレッシュコンクリート試験結果

試験	経過時間 (分)	スランブフロー (cm)	50cm到達時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)	O漏斗流下時間 (秒)	圧縮強度 (N/mm ²)	
								7日	28日
出荷時	—	64.4×63.2	17.5	1.5	18	4	77.4	122.1	164.6
筒先①	60	71.0×69.8	11.5	1.8	17	4	62.3	119.6	169.4
筒先②	120	74.8×72.6	10.3	1.4	17	4	35.3	120.6	167.7

ら、時間経過による影響が大きいと考えられる。また、圧縮強度では、圧送による影響は確認されなかった。表5にダイアフラム下充填率の測定結果を示す。空気抜き孔を全て外縁に配置したものについては、空気抜き孔個数が多くなるにつれて充填率が大きくなる傾向となったが、内側にも空気抜き孔を設けた8個（変則）が最も充填率が大きい結果となった。図3に、8個（変則）におけるコンクリート天端がダイアフラム位置到達した直後の打上がり状況を示す。本実験で使用した、スランブフローが70cmを超えるようなコンクリートは、柱内をほぼ水平に打上がっていく。そのため、ダイ

表3 測定項目

フレッシュコンクリート	スランブフロー (JISA 1150)
	空気量 (JISA 1128)
硬化コンクリート	O漏斗流下時間 (JSCE-F 512)
	圧縮強度試験 (標準養生)
打込み中の測定	JISA 1108
	ポンプ主油圧
硬化後の測定	打上がり速度
	コンクリートの充填状況 (カメラ撮影)
	コンクリートの充填性 (ダイアフラム下)

表5 ダイアフラム下充填率測定結果

空気抜き孔	充填率 (%)		
	全体	φ30mm	φ40mm
4個	91.4	91.2	91.5
8個	92.5	91.1	93.9
12個	96.8	96.4	97.2
8個（変則）	97.8	97.4	98.2

アフラム中央部のコンクリート打設孔と外縁にある空気抜き孔の間に空気がたまり、空隙が生じやすい状況となる。そのため、打設孔と空気抜き孔の間に、更に空気抜き孔を設けることで、空隙の発生を抑え、充填率が向上したと考えられる。また、 $\phi 30\text{mm}$ と 40mm の空気抜き孔の中間でダイアフラムを2分し、充填率を比較したところ、 $\phi 40\text{mm}$ の方が、充填率が大きくなることが確認できた。なお、ダイアフラム近傍での打ち上がり速度は、いずれも 0.6m/分 程度であった。

3. 実大施工実験

3.1 実験概要

小型模擬柱による実験結果から、 150N/mm^2 級の超高強度コンクリートでも、ダイアフラムの内側にも空気抜き孔を設けることで、十分な充填率を確保できることが確認できたため、実大柱への圧入施工実験を行った。なお、充填コンクリートは小型模擬柱による実験と同様のものを使用し、レディーミクストコンクリート工場から実験場所まで、60分～90分かけてトラックアジテータにより運搬

した。また、各柱にはそれぞれ別のトラックアジテータから運搬されたコンクリートを使用した。

3.2 試験体

図4に試験体形状を、図5にダイアフラム形状を示す。試験体は $718 \times 718 \times$ 厚さ 19mm \times 高さ 5m (No.1)、 $612 \times 312 \times$ 厚さ 16mm \times 高さ 5m (No.2) の2体とし、それぞれ4枚のダイアフラムを設けた。No.1は、ダイアフラムに設ける空気抜き孔を、模擬柱試験で最も充填率が高かった8個(変則)タイプとした。長方形断面であるNo.2は、中央2か所にコンクリート流入孔を設け、空気抜き孔は4隅に設けた。

3.3 コンクリートの打込み

図6にポンプ配管経路を示す。配管には5B(125A)管を用い、水平に約 50m を配管した。コンクリートの圧送には、理論最大吐出圧 22.0MPa 、シリンダーサイズ $\phi 200 \times 2100\text{mm}$ のピストン式ポンプ



図3 ダイアフラム通過時打ち上がり状況

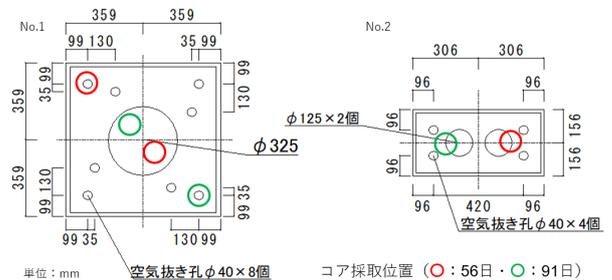


図5 ダイアフラム形状

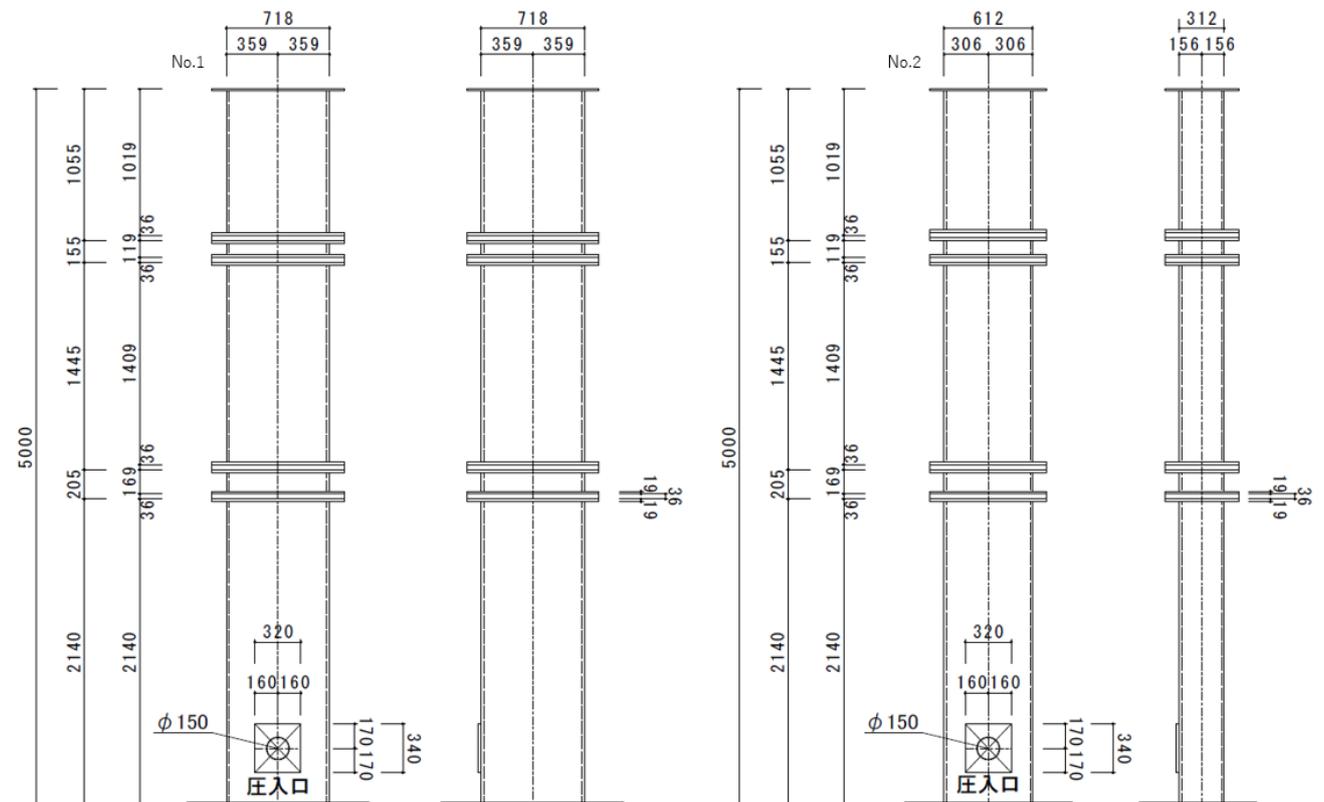


図4 試験体形状

た標準養生供試体との比較を示す。コア強度は、いずれも柱頭から柱脚に向かって徐々に強度が上昇していく傾向となった。柱脚部が、コンクリートの自重によって緻密化されたためと考えられる。材齢 91 日でのコア強度は、No.1 では平均 173.5N/mm²、標準偏差 6.02N/mm²、No.2 では平均 172.6N/mm²、標準偏差 6.34N/mm² と、バラつきも小さく、設計基準強度に対して十分大きな強度を発現していることを確認した。材齢 28 日標準養生供試体と比較すると、No.1 で 4.5N/mm²、No.2 で 8.6N/mm² 上回る結果となった。更に、No.1、No.2 とともに最低強度は 160N/mm² 以上であり、CFT 柱における強度補正値 (Sc 値) は 0N/mm² として問題ないことが確認できた。

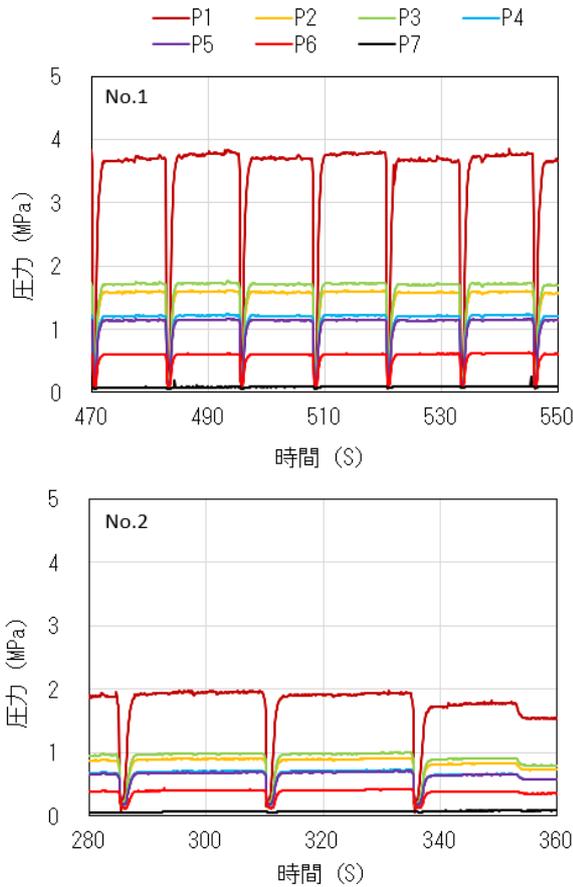


図9 配管内圧力測定結果 (一例)

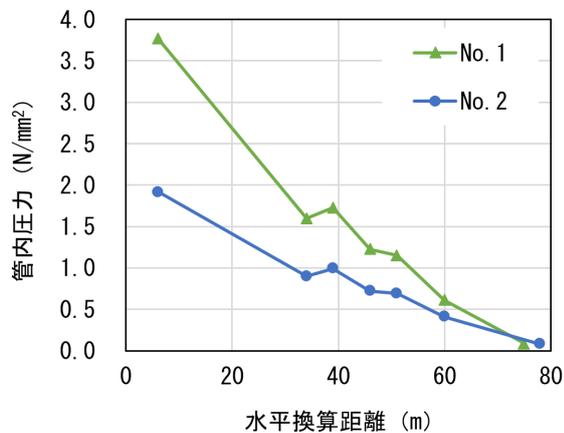


図10 水平換算距離と管内圧力の関係

4. まとめ

充填コンクリートに Fc150N/mm² 超高強度コンクリートを用いた CFT 柱の圧入施工の検討のために、小型 CFT 模擬柱実験および実大施工実験を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) ダイアフラム下の充填率について、小型 CFT 模擬柱による確認実験を行ったところ、外縁部とは別に、内側にも空気抜き孔を設けることで、充填率が向上した。
- 2) コンクリートのフレッシュ性状は、圧送しても大きく変わらないことを確認した。
- 3) 本実験における K 値は、コンクリート吐出量が約 16m³/h の場合は、は約 0.07N/mm²/m となった。また、約 7m³/h の場合は、約 0.03N/mm²/m となった。

記号	No.1	No.2
A	 95.9%	 99.8%
B	 97.6%	 99.9%
C	 97.3%	 99.2%
D	 97.3%	 99.9%

図11 ダイアフラム下充填状況および充填率

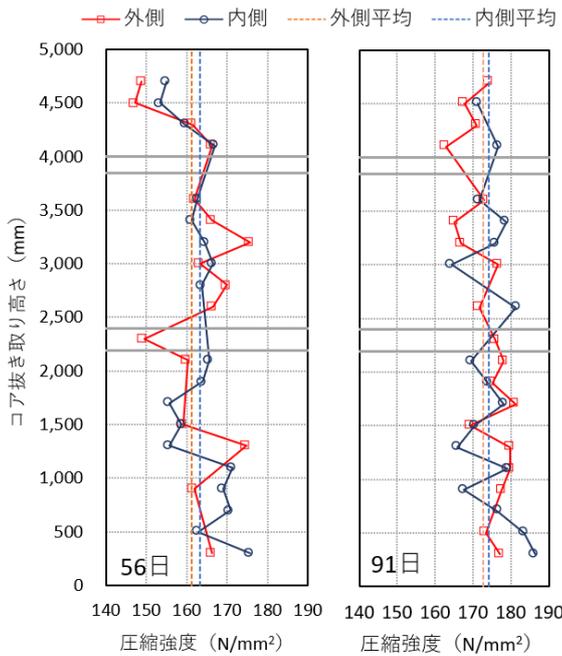


図 12 圧縮強度試験結果 (No. 1)

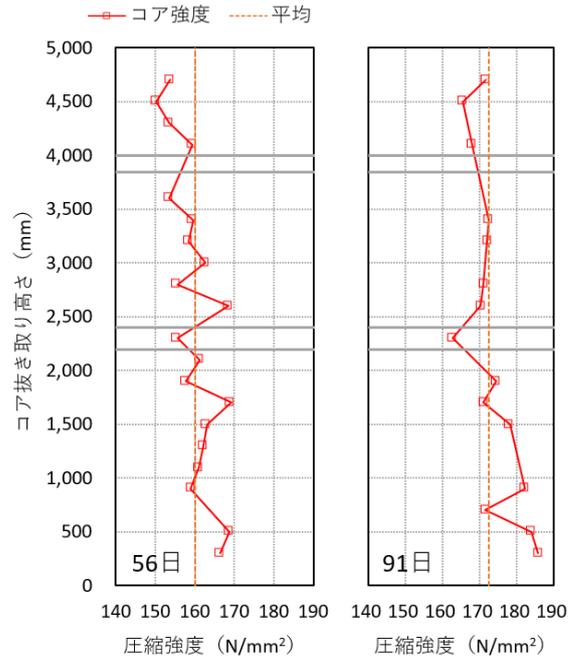


図 13 圧縮強度試験結果 (No. 2)

表-7 圧縮強度試験結果

試験体	No.1	No.2
91日コア強度 (N/mm ²)	173.5	172.6
最大値 (N/mm ²)	186.4	185.8
最小値 (N/mm ²)	162.6	163.3
標準偏差 (N/mm ²)	6.02	6.34
変動係数 (%)	3.5	3.7
28日標準養生 (N/mm ²)	169.3	163.6
Sc 値 (N/mm ²)	-4.2	-8.9

4) 材齢91日でのコア強度の平均は、No.1は172N/mm²、No.2は171N/mm²となり、設計基準強度や材齢28日標準養生供試体に対して十分な強度発現を確認し、CFT柱における充填コンクリートの強度補正値は、0N/mm²でも問題ないことを確認した。

5) 実大施工実験の結果から、150N/mm²級超強度コンクリートのCFT柱への圧入施工について、施工性およびコンクリートの品質に問題ないことを確認した。

参考文献

- (1) 大屋常昭ほか：虎ノ門ヒルズの構造計画とCFT柱へのコンクリート充填施工，コンクリート工学，pp.205-212，vol.53，No.2，2015.2
- (2) 青木ほか：Fc150N/mm²の超強度コンクリートCFT柱の施工-高さ300m超高層複合ビル「あべのハルカス」-，コンクリート工学，pp.205-212，vol.50，No.8，2012.8
- (3) 端直人ほか：Fc120N/mm²級高強度コンクリートを用いたCFT柱の実大施工実験（その1～2），日本建築学会学術講演梗概集，pp.761-764，2018