

10. C F T小規模モデル実験

1 Story Mockup Test of Concrete Filled Tube Column

木村建治*	石原誠一郎*
立松和彦*	高見錦一* ²
恩村定幸*	内井栄二*
谷中隆博*	山崎順二*
西田雅和* ³	澤田洋児* ³

要 旨

実施工物件を対象に、断面が850×1300mmで、内部にダイアフラムを有するCFT柱（1層）への圧入施工試験を実施した。側圧、柱の変形およびひずみ、内部温度、柱頭採取試料の性状、内部およびダイアフラム近傍のコア強度などについて調査した結果、大断面のCFT柱ではあるが事前に十分な検討を行った上で施工すれば所要の品質をほぼ満足できることが確認できた。

キーワード：CFT／圧入／高強度コンクリート／ダイアフラム／空隙率／コア強度／経時変化

1. はじめに

近年、構造形式の多様化、高強度材料の発展にともなって、コンクリート充填鋼管（以下CFTとする）構造が多く採用されるようになってきた。当社においても、超高層建物にCFT構造の採用を予定していることから、その予備試験として実大（1層分；高さ5.1m）の小規模モデル試験体への圧入試験（以下、「CFT小規模モデル実験」とする）を実施した。引き続いて行うモデル施工試験（3層分；高さ約11m）へ対応するために、高強度コンクリートの物性、鋼管柱に作用する側圧などを把握することを主な目的とした。

本報告は、CFT小規模モデル実験の概要と結果についてまとめたものである。

表－1 コンクリートの使用材料

材料名	銘柄・産地・主な物性
セメント	低熱ポルトランドセメント [L] 密度3.24g/cm ³ (U社製)
細骨材	大槌島産海砂 表乾密度 2.56g/cm ³ 、吸水率 2.04% 赤穂産砕砂 表乾密度 2.60g/cm ³ 、吸水率 1.44% 合成比率＝海砂70：砕砂30、合成粗粒率 2.80
粗骨材	赤穂産砕石（流紋岩質凝灰岩） 表乾密度 2.62g/cm ³ 、吸水率 0.68%、粗粒率 6.70
練混ぜ水	工業用水
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 SP-8SB（M社製）

表－2 コンクリートの調査

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
32L	32.0	50.0	547	175	805	820	C×1.45%

2. 実験概要

2.1 CFT小規模モデル実験の概要

CFT小規模モデル実験の概要は以下に示す2項目に区分できる。

①小規模モデル試験体圧入試験

コンクリートをCFT柱試験体に圧入し、圧入前後のコンクリートの性状、圧入時にCFT柱へ加わる側圧・ひずみ・変形、圧入口直前での管内圧力、圧入後のコンクリート天端の沈降量、各ダイアフラム下面の空隙率、コア強度などについて調べた。

②コンクリートの輸送試験

プラント出荷時（練混ぜ直後）・現場到着時・現場到着後のコンクリートの性状の経時変化について調べた。

なお、試験は当社技術研究所内で行った。コンクリートの輸送時間は約60分であった。また、同時に行ったポンプ圧送試験については別報にまとめた。

2.2 コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの使用材料を表－1に、調査を表－2に示す。コンクリートは、設計基準強度60N/mm²に相当す

*建築工法・材料研究室

*²東京分室

*³大阪本店建築部

表－3 コンクリートの目標値

項 目	目 標 値
スランプフロー	60±5cm
空気量 ^{*1}	3.0±1.5%
ブリーディング量 ^{*2}	0.1cm ³ /cm ² 以下 ¹⁾
沈降量 ^{*2}	2mm以下 ¹⁾

^{*1}荷卸し時試料

^{*2}柱頭採取試料

る強度が得られ、かつ圧入に必要なワーカビリティが得られるように、室内試験練り・実機試験練りなどを行って調査を決定した。セメントは低熱ポルトランドセメントを用い、水セメント比を32%とした。スランプフローは、荷卸し時で60cmとした。コンクリートの目標値を表－3に示す。

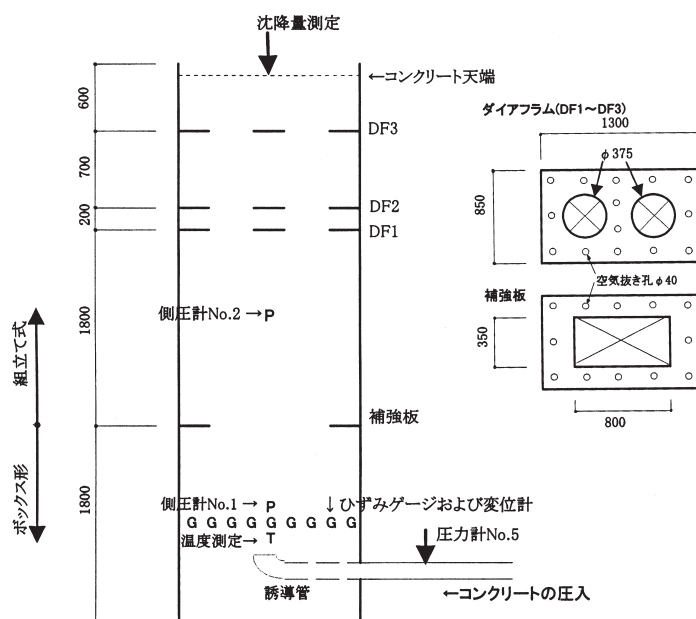
2.3 試験体・試験方法・試験項目

(1)試験体概要

CFT柱試験体の概要を図－1に示す。試験体は1体とし、断面は850×1300mm、高さは1層分5.1mとした。なお、CFT柱の足元から高さ1800mm分については、圧入時にCFT柱へ加わる側圧・ひずみ・変形を測定するため、実施工のCFT柱と同様に工場溶接によりボックス形に製作した。1800mmより上部は側板およびダイアフラムがはさめるようにすべて組立て式とした。ダイアフラムはCFT柱上部に1層分設けた。柱のボックス形部分と組立て式部分の間には、実施工の場合と同様に、側圧に対する補強用鋼板を1枚設けた。ダイアフラムおよび補強板の周囲には径40mmの空気抜き孔を設けた。組立て接合部はゴムシートを挟み高力ボルトで接合して、ノロ漏れを防止した。足元には水抜き孔を、側面（長辺側）には蒸気抜き孔を設けた。圧入口は短辺側とし、内部に上向きの誘導管を取り付けた。

(2)試験項目・試験方法

試験項目および試験方法を表－4に示す。コンクリートの打ち上がり速度は50cm/分を目標とした。今回の柱断面では約33m³/hの打設速度となる。充填確認孔（一部蒸気抜き孔兼用）からのコンクリート吹き出しによってコンクリートの充填を確認し、レーザー距離計で打ち上がり高さを計測した。図－2にCFT柱のひずみ・変形の測定位置を示す。ひずみは3軸ゲージを貼り付けて、主ひずみおよび主応力が求められるようにした。圧入終了後に天端の沈降量を測定した。

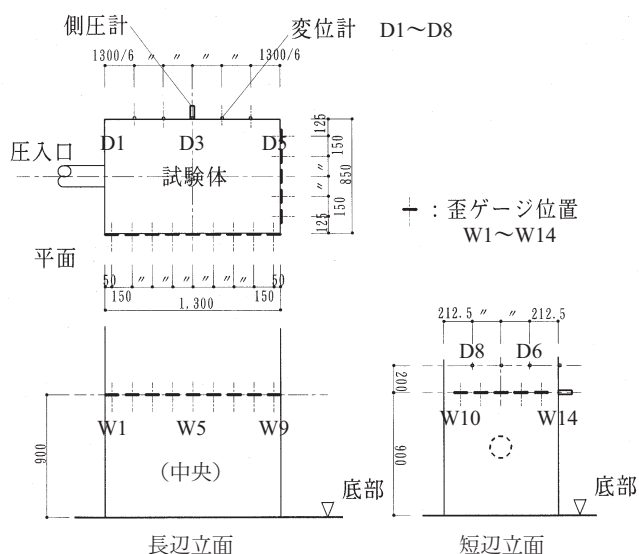


図－1 CFT柱試験体の概要（単位：mm）

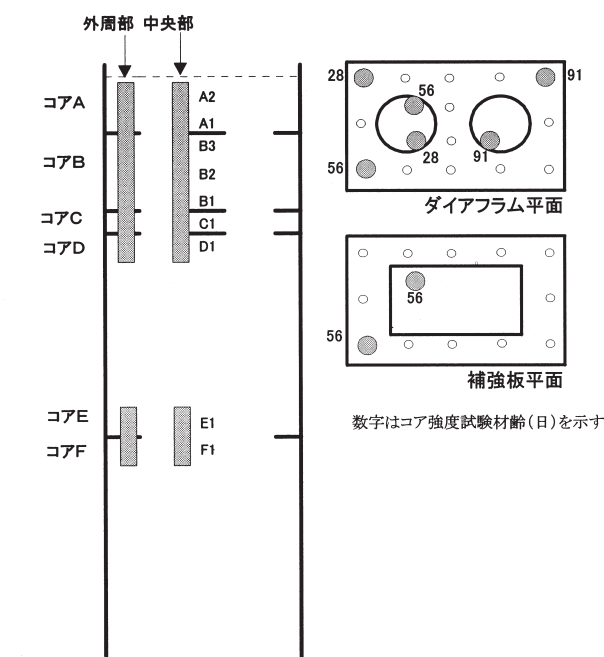
表－4 CFT小規模モデル実験における試験項目・試験方法

	試験項目	試験・計測方法・頻度など
フレッシュコンクリート	スランプフロー、空気量、ブリーディング量	荷卸し時、圧入直前、圧入直後、柱頭採取試料で測定
	圧入口に加わる圧力	圧入口直前にスチールダイアフラム型圧力計を設置(圧力計No.5)し、動ひずみ測定器で打設開始から終了まで管内圧力を計測
圧入時	CFT柱に加わる側圧	側圧計(No.1－H900mm, No.2－H2700mm)によりCFT柱に加わる側圧を圧入開始から圧入終了後7日間計測
	CFT柱のひずみ・変形	CFT柱試験体下部の短辺および長辺各面にワイヤストレインゲージ(3軸ゲージ;14点)と変位計(8点)を設置し、CFT柱のひずみおよび変形を圧入開始から圧入終了後7日間計測
	コンクリートの打上がり速度および状況	柱頭部に取り付けたレーザー距離計で打上がり速度を計測、およびビデオカメラにて柱頭部から打上がり状況を記録
圧入後	天端の沈降量	圧入終了後、天端を木ゴテで均し、流動パラフィンで水分の蒸発を抑え、レーザー変位計(2点)により圧入終了後24時間、沈降量を計測
	空隙率	コンクリート硬化後各ダイアフラム部分で試験体を分断し、コンクリート下面における3mm角程度以上の空隙をトレースして、画像解析によって空隙率を求める
	コア強度	材齢28日、56日、91日で各ダイアフラム近傍からφ100mmのコアを中央部と端部から採取して強度を測定
	温度上昇	CFT柱内部に設置した熱電対により打設後約14日間計測

コンクリート硬化後、材齢2週で試験体をダイアフラム部で分断し、ダイアフラム下面の空隙率を測定するとともに、乾燥による強度低下を防ぐためにシーリング材あるいは塗布型防水材を全面に塗布し、所定の材齢で材軸



図－２ CFT柱のひずみ・変形の測定位置



図－３ コア採取位置

方向にコア採取して強度を確認した。図－３にコア採取位置を示す。

コンクリートの輸送試験では、プラント出荷時・現場到着時・現場到着後のコンクリート性状の経時変化について調べた。なお、現場到着後の経時変化試験は静置状態でいった。試験項目は、スランプフロー、空気量、50 cmフロー時間とした。

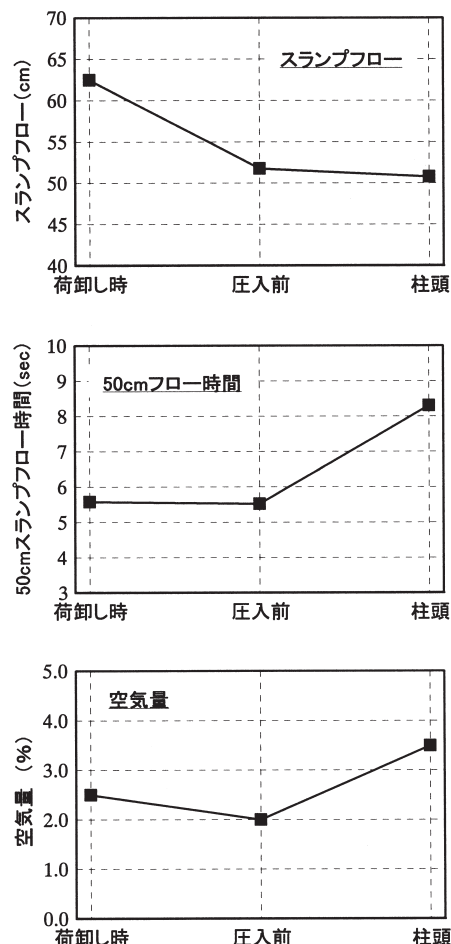
3. 試験結果および考察

3.1 小規模モデル試験体圧入試験

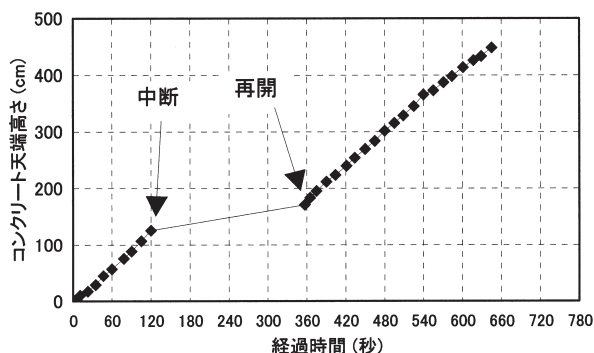
(1) フレッシュコンクリートの性状

図－４に圧入前後のフレッシュコンクリートの性状変化を示す。「圧入前」のコンクリートは柱足元の圧入口（写真－１）直前で採取した試料で荷卸し後25分、「柱頭」は圧入終了後に柱頭で採取した試料であり荷卸し後50分経過している。なお、圧入試験でのポンプの水平配管は約165m（ベント管8ヶ所）である。圧送試験およびその結果については、別報に示したのでここでは省略する。

荷卸し時の値は、スランプフロー・空気量ともに目標値どおりであった。荷卸しと圧入前とは、スランプフローで約10cm低下している。出荷から荷卸しまで既に60分程度経過しているなどの経時変化の影響と、165mの水平圧送による加圧の影響とによって低下したと考えられる。柱頭で採取した試料については、スランプフロー



図－４ 圧入前後のフレッシュコンクリートの性状



図－５ 圧入時のコンクリート天端高さ

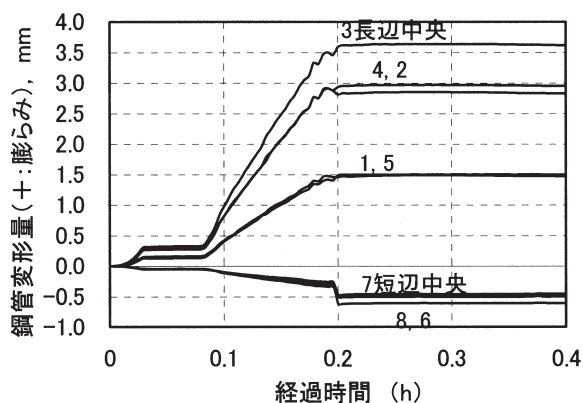
は圧入前と変化がなかったが、50cmフロー時間がやや長く、空気量が少し大きくなった。圧入および経時によって粘性が少し増大したためと考えられる。なお、高周波加熱乾燥法によるフレッシュコンクリートの水セメント比の推定結果(32L-1台目)は、出荷時31.7%、荷卸し時30.6%であり、計画調合の32.0%とほぼ等しい値であった。

(2) 打上り速度

圧入時のコンクリート天端高さを図－５に示す。圧入を開始して約２分後に、アジテータ車の入れ替えのために約２分間中断した。中断時間を除いた平均の打上り速度は、約59cm/分であった。計画より若干早い打上り速度であった。

(3) CFT柱の変形およびひずみ

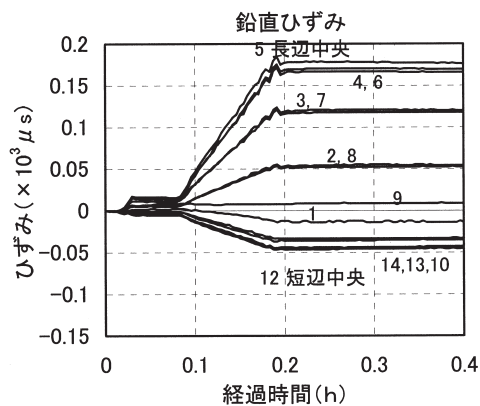
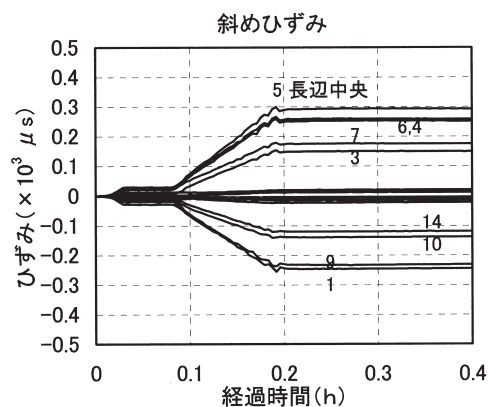
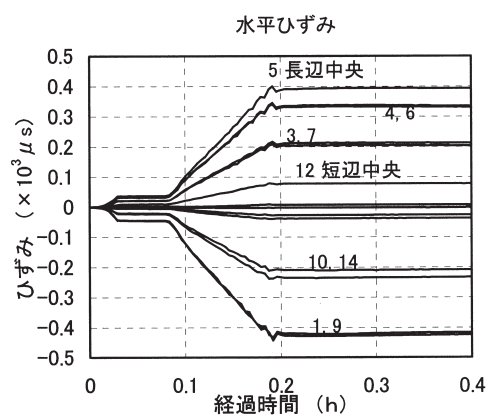
CFT柱の変形を図－６に、ひずみを図－７に示す。圧入時には長辺側が凸に膨らみ、短辺側がわずかであるが凹に変形した。変形量は長辺側が約3.7mm短辺側が約0.6mmとなり、事前に行った計算結果に近い値であった。



図－６ CFT柱の変形



写真－１ 圧入口付近



図－７ CFT柱のひずみ

(4)CFT柱の側圧

CFT柱の側圧を図-8に示す。下部の側圧計(No.1)は、6分過ぎから測定値が小さくなっているが、これは柱の変形による影響あるいは異物の接触など何らかの異常によるものと推測される。上部の側圧計(No.2)は、コンクリートヘッドが側圧計の位置に達した時間(図中の7分)から圧入終了する時間(図中の11分)までほぼ直線的に圧力が増加している。この間は、図-5に示したように、圧入速度は一定であった。液圧で計算した場合、上部の側圧計の位置における圧入終了時(図中の経過時間では約11分の時点)の側圧は 52kN/m^2 となり、測定値にほぼ一致する。

(5)骨材量の比較

荷卸し時の試料および柱頭採取試料の、まだ固まらないコンクリートを洗い出し、骨材量を比較した結果を図-9に示す。荷卸し時の試料では調査計画上の値とほぼ一致したが、柱頭採取試料では若干低い値であった。

(6)コンクリート天端の沈降量

コンクリート天端の沈降量を図-10に示す。荷卸し時試料($\phi 15 \times 30\text{cm}$)による測定値(32L)も同図に示した。

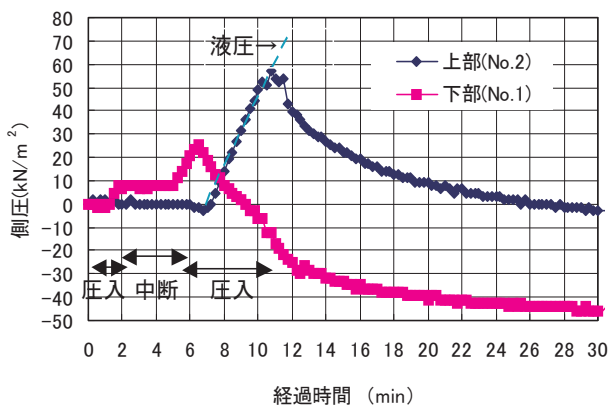


図-8 CFT柱の側圧

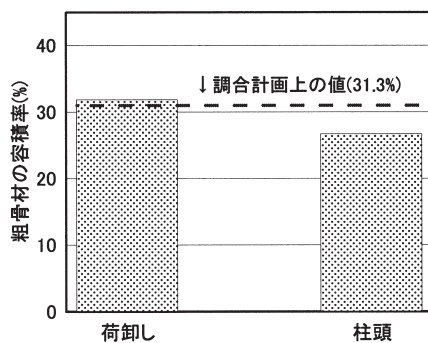


図-9 骨材量の比較

沈降量は柱頭2点の平均で約 1.0mm であり、目標値の 2mm 以下を十分に満足した。なお、ブリーディングはほぼ 0cc/cm^2 であり、目標値を満足した。

(7)CFT柱の内部温度

CFT柱の内部温度を図-11に、ブロック試験体の温度を図-12に示す。CFT柱中央部の最高温度は 57.8°C (打設後約19時間)であった。一方、ブロック試験体($1050 \times 1050 \times 900\text{mm}$)中央部の最高温度は 67.2°C (打設後約25時間)であり、CFT柱よりも約 10°C 高い温度であっ

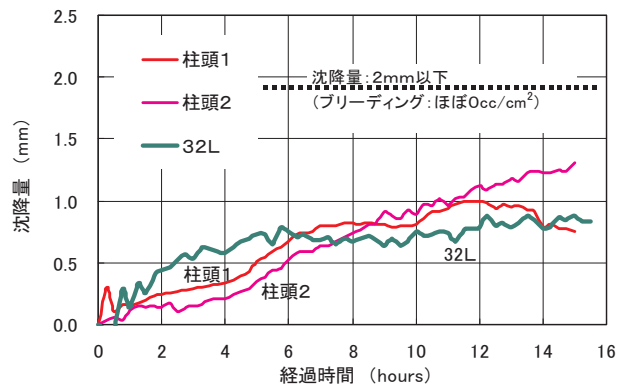


図-10 コンクリート天端の沈降量

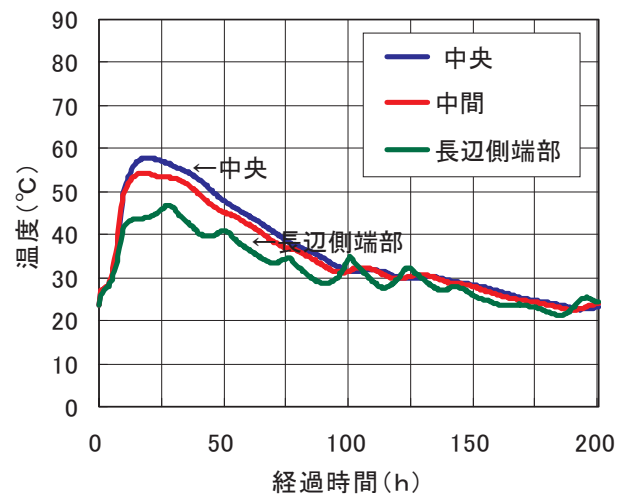


図-11 CFT柱の内部温度

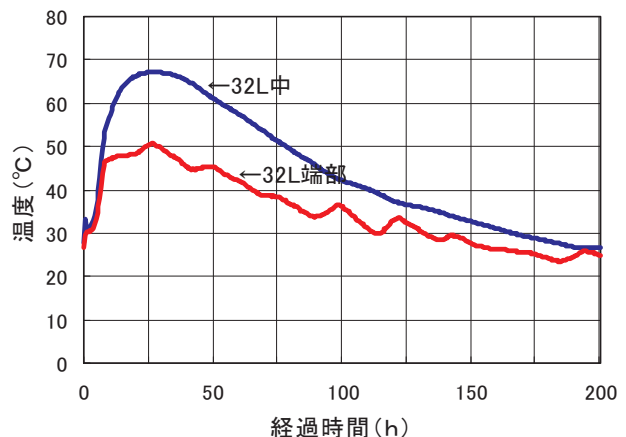


図-12 ブロック試験体の温度

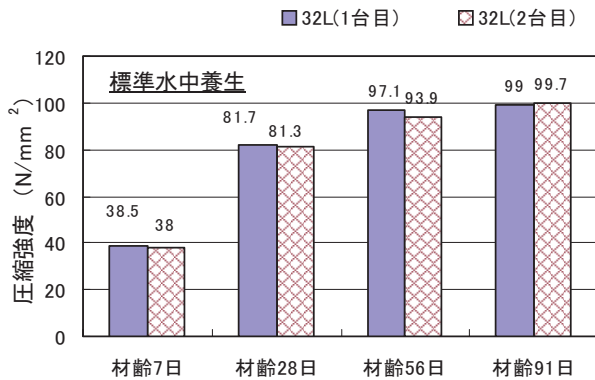
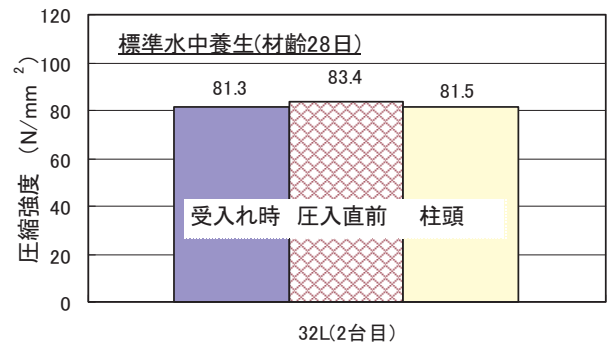


図-13 テストピースの圧縮強度



た。断面の大きさは両者に大きな差はないが、CFT柱は鋼板であるために熱伝導率が木製型枠よりも高く、その結果表面の放熱が大きくなって最高温度が低くなったのではないかと考えられる。

(8) コンクリートの圧縮強度

供試体の圧縮強度を図-13に、ブロック試験体から採取した材齢28,56,91日のコア強度を図-14に示す。供試体の強度発現は、目標通りの強度であり、圧入直前および柱頭採取試料でも受入れ（荷卸し）時試料との強度の差はなかった。材齢56日のコア強度を構造体コンクリートの強度管理の基準として、標準養生28日の供試体強度との差即ちS値(S_{56} 値)を求めると、約 10N/mm^2 となる。打設の時期が標準期であり、低熱セメントを用いているために、供試体強度、コア強度とも材齢28日以降の強度の伸びが大きくなったと考えられる。

(9) CFT柱内の強度分布

表-5に、CFT柱の各部から採取したコア供試体の強度分布を示す。表中の太線は、柱内のダイアフラム(DF1～DF3)および補強板とコアとの位置関係を示している(図-3参照)。コア強度の平均値では、材齢によらず外(外周部)と中(中央部)の強度差はほとんど見られない。しかし変動係数では材齢56日で外が4.3%、中が6.7%と、中の変動が外よりやや大きい結果であった。ダイアフラム近傍でのコア強度についても、個別の数値では、著しい低下を示すものは見られなかった。

(10) ダイアフラム下面の空隙率

図-15は各ダイアフラム下面の空隙をトレースした図であり、黒く塗りつぶした部分が空隙である。いずれの図も、右側が圧入口側である。各面の空隙率を、表-6に示す。空隙率はCFT柱内部の全断面積に対する空隙面積の比率とした。ダイアフラム間隔の最も狭いDF2下面の空隙率がやや大きかったがいずれも7%程度以下であ

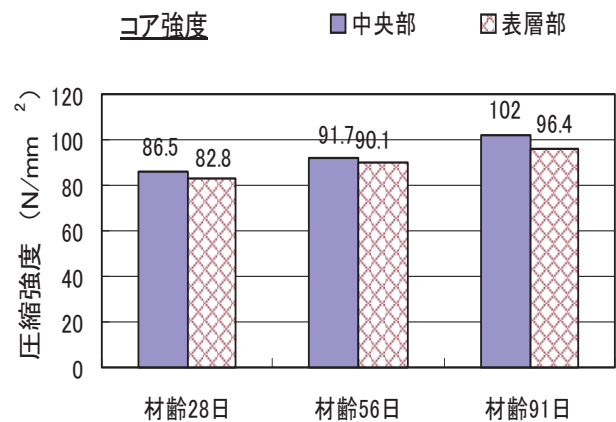


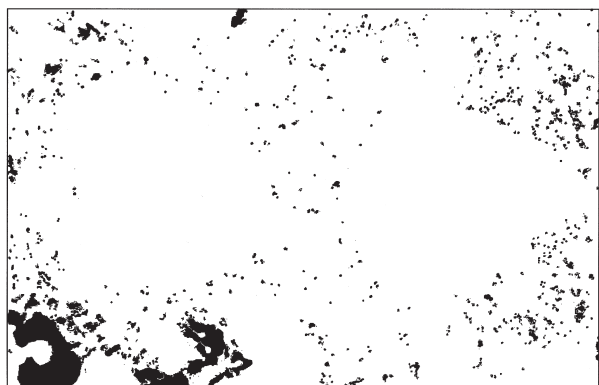
図-14 ブロック試験体のコア強度

表-5 CFT柱内のコア強度分布

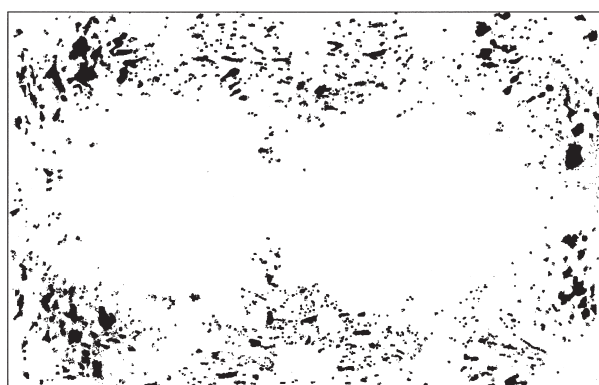
コア記号	コア強度 (N/mm²)					
	材齢28日		材齢56日		材齢91日	
	外	中	外	中	外	中
A2	88.1	92.3	86.7	94.5	97.3	81.5
A1	85.0	87.4	82.7	86.7	96.6	95.2
B3	87.5	82.3	90.1	95.7	101.3	103.5
B2	86.6	92.1	93.4	95.6	103.2	108.7
B1	83.8	89.3	93.3	88.8	103.6	100.7
C1	86.5	86.0	85.9	81.3	88.6	107.6
D1	88.6	85.6	92.4	87.9	102.9	108.1
E1	91.2	92.6	91.3	101.0	—	—
F1	—	—	86.5	96.3	—	—
平均	87.2	88.5	89.1	92.0	99.1	100.8
変動係数	2.6%	4.3%	4.3%	6.7%	5.5%	9.7%

表-6 ダイアフラム下面の空隙率

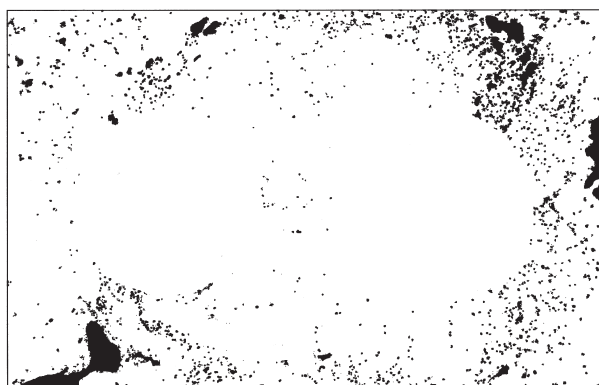
ダイアフラム	空隙率(%)
DF3	5.74
DF2	7.26
DF1	5.46



DF3 下面



DF2 下面



DF1 下面

図-15 ダイアフラム下面の空隙

り、コンクリートの充填性にはほとんど問題がないと考えられる。

通常のCFT(断面寸法で600～800mm角)柱における圧入時のコンクリート天端の状況は、上に凸の状態で上昇するため周囲へ空気を押し出す形になる。この場合はダイアフラムの周囲に設けた空気抜き孔が効果的に働くことになる。しかし今回の実験では断面が850×1300mmとかなり大きいため、コンクリート天端の上昇時にほと

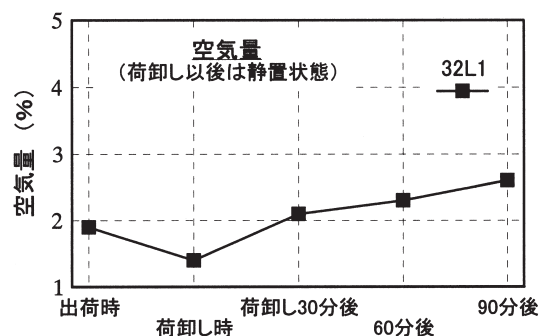
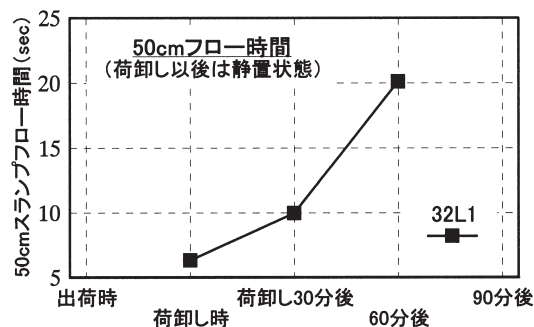
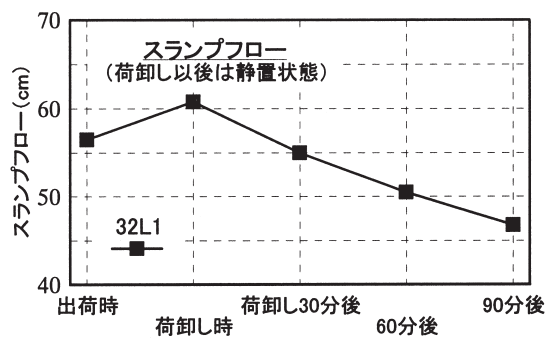


図-16 コンクリートの輸送試験
および経時変化試験の結果

んど凸の状態にならず、平面に近い状態でダイアフラムに接触し、ダイアフラム通過時に少し凸になるだけであった。そのため、空隙を空気抜き孔から十分に押し出す形になりにくかったと考えられる。

3.2 コンクリートの輸送試験の結果

コンクリートの輸送試験および経時変化試験の結果を図-16に示す。圧入試験を優先させたため、荷卸し後の試料は静置状態での試験となった。スランプフローは、出荷時の56.5cmから荷卸し後90分（出荷後約150分）で約47cmに低下した。スランプフローの低下に伴って粘性が増加したために、50cmフロー時間が増加している。空気量は、ほぼ安定した状態であるが、粘性の増加に伴ってエンラップドエアが抜けにくくなるため、若干増加している。なお、事前に行った予備の実機試験では、同

じ調合のコンクリートで、アジテータ車に積載した状態での経時変化を測定しており、スランプフローは、現場到着時63cm、到着後60分で60cm、同120分で57.5cmであり、非常に良好なスランプ保持性を示していた。

4. まとめ

内部にダイアフラム3枚、補強板1枚を含む1層分のCFT柱（小規模モデル試験体）への圧入施工実験の主な結果をまとめると以下の通りとなる。

(1)小規模モデル圧入試験について

- ・柱頭で採取した試料のフレッシュ性状は、圧入前の試料と大きな変化はなかった。
- ・圧入時には圧入の圧力により、CFT柱の長辺側は凸に膨らみ、短辺側はわずかであるが凹に変形した。
- ・CFT柱に作用する側圧は、液圧にほぼ一致した。
- ・柱頭のコンクリートの沈降量およびブリーディングは、目標値を十分に満足した。
- ・CFT柱中央部の温度上昇量は、ブロック試験体よりも約10℃低い値であった。
- ・CFT柱内の強度分布については、外周部と中央部の強度差はほとんど見られなかった。
- ・ダイアフラム下面の空隙率は、ダイアフラム間隔の最も狭いDF2下面の空隙率がやや大きかったがいずれも7%程度以下であった。

(2)コンクリートの輸送試験について

- ・荷卸し後の経時変化試験は静置状態で行ったので、スランプフローは、出荷時の56.5cmから荷卸し後90分（出荷後約150分）で約47cmに低下したが、空気量はほぼ安定した状態であった。

以上の結果から、大断面のCFT柱では打上がり時の天端の状況は従来のCFT柱と若干異なるものの、(社)新都市ハウジング協会の技術指針などに示された従来の施工方法に則れば所要の品質をほぼ満足できると考えられる。今回の結果を参考にして、次回のモデル施工実験（3層分）を行う予定である。

〔参考文献〕

- 1) 新都市ハウジング協会：CFT構造 技術指針・同解説
4章 施工、2001.8