

大断面CFT工事モデル施工試験

3 Story Mockup Test of Concrete Filled Tube Column with Large Size Section

立松 和彦* 木村 建治* 石原誠一郎*
高見 錦一*² 山崎 順二*
西田 雅和*³ 澤田 洋児*³

要 旨

大断面CFT柱（850×1300mm）のモデル施工試験（3層分；高さ10.7m）を行い、圧入前後のコンクリートの品質変化、CFT柱内のコンクリートの強度分布、圧入時に鋼管柱に作用する側圧、ポンプ圧送時の管内圧力などを測定した。その結果、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、従来の技術指針などに示された施工方法に則れば強度などの所要の品質をほぼ満足させることが可能であることが確認できた。

キーワード：CFT／圧入／モデル施工試験／高強度コンクリート／大断面

1. はじめに

実建物においてコンクリート充填鋼管（以下CFTと略記）柱工事を施工するに当たって、圧入前後のコンクリートの品質変化、CFT柱内の強度分布、圧入時に鋼管柱に作用する側圧、ポンプ圧送時の管内圧力等を把握するために、実大のモデル施工試験（3層分；高さ10.7m）を、平成13年6月に実施した。以下に、その試験概要と結果について報告する。なお、当試験は社団法人新都市ハウジング協会の技術指導を受けて実施した。工事概要は表－1の通りである。

表－1 工事概要

項 目		内 容
構 造		CFT構造
規 模		地下1階、地上50階、延べ床面積55,474m ²
CFT 工事 概要	鉄 骨	750～850mm×750～1300mm 厚さ16～32mm の四面溶接角形鋼管（内ダイアフラム形式）
	コンクリート	Fc42～60N/mm ²
	施工法	地下部はトレミー管を用いた落とし込み充填 工法、地上部は圧入工法

2. 試験概要

モデル施工試験は、大きく3項目に区分でき、その概要は以下の通りである。

(1) コンクリートの輸送試験

プラント出荷時、現場到着時および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。



写真－1 モデル施工試験 試験体

(2) 圧入試験

コンクリートをCFT柱（断面850×1300×高さ10700

* 建築工法・材料研究室 *²東京分室 *³大阪本店建築部

mm)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。なお、CFT柱試験体は1体とした。

(3) ポンプ圧送試験

実工事での使用が予想されるFc60N/mm²クラスのコンクリート（記号；32L,W/C=32%）を、圧送速度を3段階に変化させながら約80mの水平配管内を圧送して、管内圧力損失・吐出圧および圧送前後のコンクリートの性状変化などについて調べた。

なお、試験場所は当社技術研究所（大阪府高槻市）とし、コンクリートは実施工において使用する生コン工場から輸送した。輸送時間は約60分である。

3. コンクリートの使用材料と調査、試験体、試験項目および試験方法

3.1 コンクリートの使用材料と調査

コンクリートの使用材料を表-2に、調査を表-3に

表-2 コンクリートの使用材料

材料名	銘柄・産地・主な品質
セメント	低熱ポルトランドセメント[L] 密度3.24g/cm ³ 三菱マテリアル製
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（エヌエムビー製）

* 現場で再添加する場合も同じ混和剤を使用

表-3 コンクリートの調査

調査 記号	W/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
32L	32.0	175	547	805	820	C×1.5%

表-4 コンクリートの目標値

項 目	目 標 値
スランプフロー ^{*1}	65±7.5cm
空 気 量	3.0±1.5%
ブリーディング量 ^{*2}	0.1cm ³ /cm ² 以下
沈 降 量	2mm以下

*1 荷卸し時試料 *2 柱頭採取試料

示す。コンクリートの調査は、Fc60N/mm²に相当する強度が得られ、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、実機試験練りおよびCFT小規模モデル施工試験によって決定した。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65cmとした。モデル施工試験におけるコンクリートの目標値を表-4に示す。なお、ブリーディング量・沈降量の目標値は柱頭での値ではなく柱頭から採取したコンクリート試料による試験の目標値である。

3.2 試験体、試験方法、試験項目

3.2.1 コンクリートの輸送試験

プラント出荷時（練混ぜ直後）、現場到着時および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。試験項目は、スランプフロー、空気量、50cmフロー時間とした。

3.2.2 圧入試験

(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3層分10.7mとした。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に、実施工のCFT柱と同様に工場溶接によってボックス形に製作した。1800mmより上部はすべて組立て式とした。

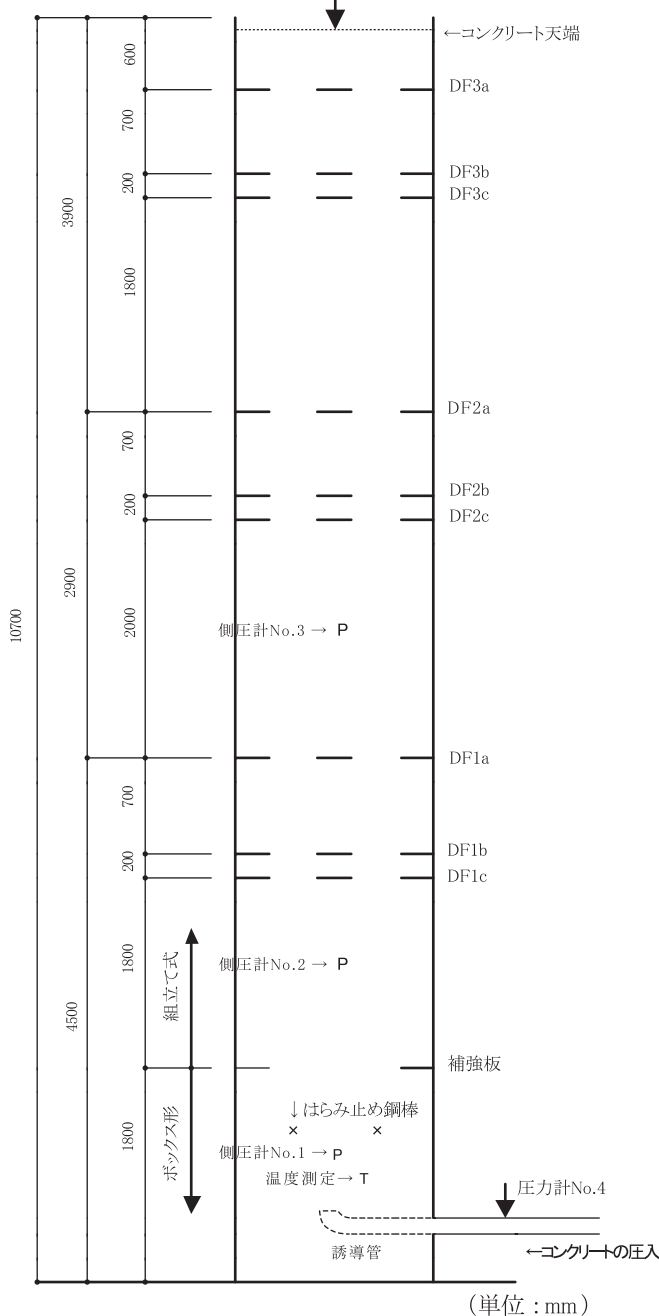
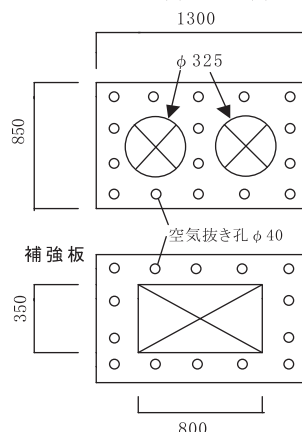
ダイアフラムは3層分設け、柱のボックス形部分と組立て式部分との間には、実施工の場合と同様に、側圧に対する補強用鋼板を1枚設けた。また、ダイアフラムは後に解体できるよう、柱側面の鋼板に挟み込むようにしてボルトで緊結した。ダイアフラムおよび補強板の周囲には径40mmの空気抜き孔を設けている。また、鋼板を組立てる場合の接合部にはゴムシートを挟んでノロ漏れを防止している。

水抜き孔を足元に、蒸気抜き孔を側面（長辺側）に2列設けた。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。なお、柱のボックス形部分は過大な変形が予測されたため、その中央（足元から高さ1000mmの位置）に2本のはらみ止め鋼棒を取り付けた。

(2) 試験項目および試験方法

圧入試験における試験項目・試験方法を表-5に示す。コンクリートの打上がり速度は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上がり高さを計測した。図-2にCFT柱のひずみ及び

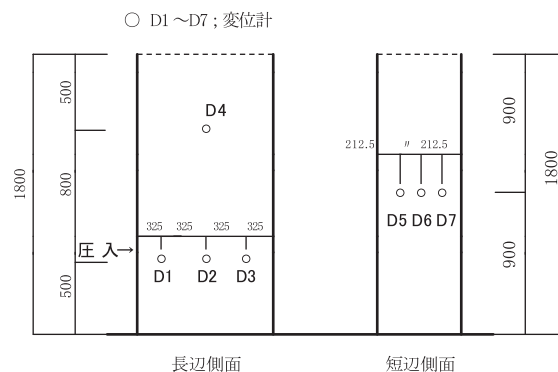
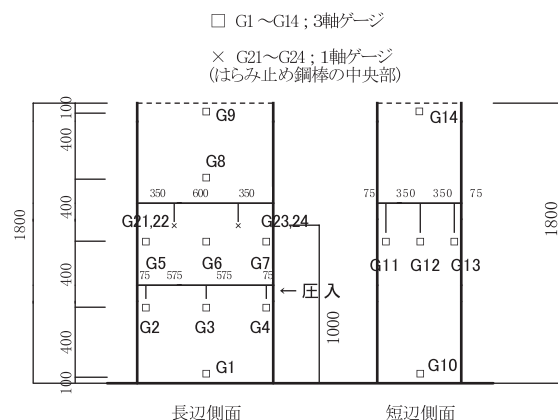
ダイアフラム(DF1a,b,c～DF3a,b,c)



図－１ CFT柱試験体の概要

表－５ 圧入試験における試験項目および試験方法

	試験項目	試験・計測方法・頻度など
フレッシュ	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
圧入時	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.4）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
	CFT柱に加わる側圧	側圧計（No.1-H900mm, No.2-H2700mm, No.3-H5400mm）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ーンゲージ(3軸ゲージ17点, 1軸ゲージ4点)と変位計(7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、流動パラフィンをして水分の蒸発を抑え、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径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のコアを中央部と外周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



図－２ CFT柱のひずみ・変形の測定位置

変形の測定位置を示す。ひずみは3軸ゲージを貼付けて、主ひずみおよび主応力が求められるようにした。沈降量は、柱天端（2点）のほか、φ150×300mmの鋼製型枠（2体）についても測定した。コンクリート硬化後、材齢20日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塗布型防水材を全面に塗布し、所定の材齢で材軸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。なお、比較用に1050×1050×900mm（高さ）のブロック状試験体を1体作成した。ブロックの上下には、厚さ150mmの断熱材をセットした。

3.2.3 ポンプ圧送試験

(1) 試験概要

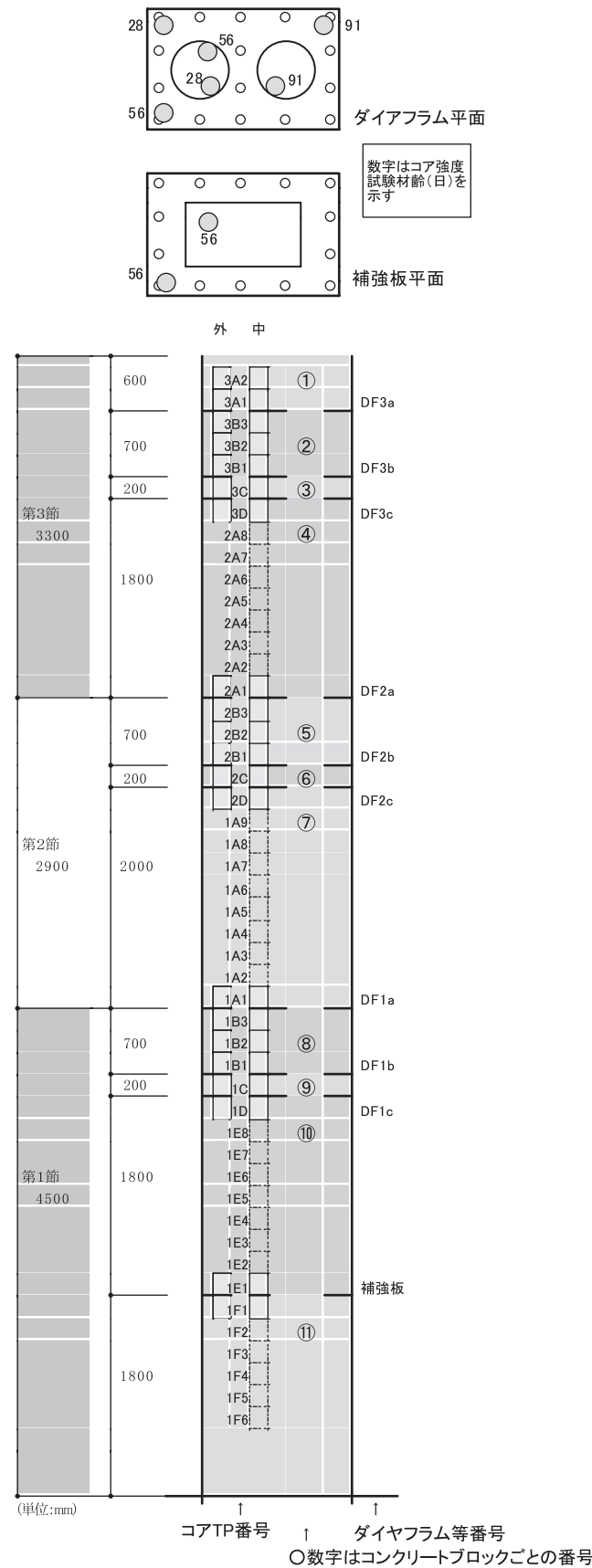
ポンプ圧送試験は、低熱ポルトランドセメントを使用したコンクリート（32L）をCFT柱試験体に圧入充填し、圧入口位置での圧入圧力を測定した後、約80mの水平配管内を循環させて行った。打設速度を3水準として管内圧力を測定すると共に、圧送前後のコンクリート品質の変化を調べた。

(2) 試験方法

使用したポンプ車の仕様を表－6に、配管状況を図－4に示す。ポンプ車は、高圧圧送が可能なピストン式配管車であり、本工事での採用を予定している。輸送管は125Aとし圧入施工時で約65m、循環時で約76mの配管を行った。図－4に示す配管経路を3回程度循環させながら、低速→中速→高速→中速→低速と打設速度を変化させた。一定の速度状態時に10ストローク程度ずつ、配管各所に取り付けたスチールダイアフラム型圧力計（No.1-No.3）で管内圧力を0.02秒毎に動ひずみ計で測定した。また、ポンプ主油圧やピストンストローク数も計測した。なお、圧力計No.2までは高圧配管とし、圧送は標準圧で行った。

表－6 ポンプ車の仕様

分 類		ピストン式ブーム無し配管車	
型 式		PT80-10（極東開発工業）	
シリンダ径×ストローク		165×1650mm	
ホッパ容量		0.5m³	
最大吐出圧 （最大吐出力）	標準	52kgf/cm²（80m³/h）	
	高圧	125kgf/cm²（31m³/h）	
輸送管径		125A	



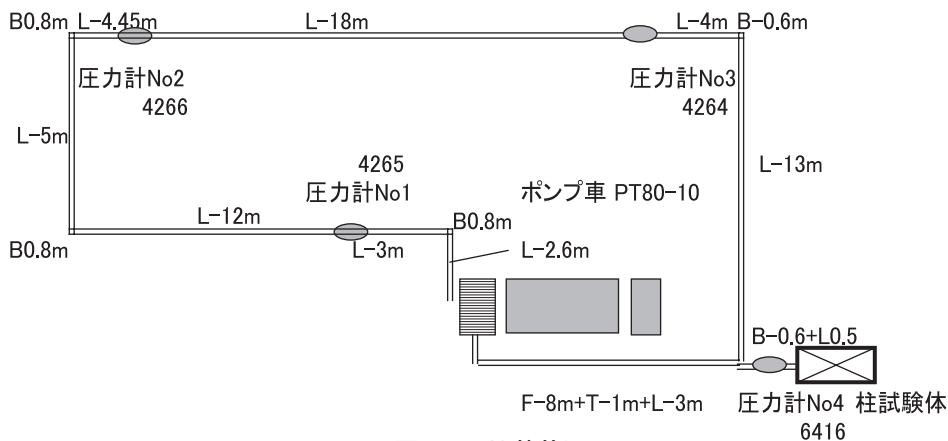


図-4 配管状況

1台目の2バッチ目と同一の添加量とした。

約60分間の輸送によりスランプフローは平均で約5cm低下し、60cmを下回っていた。そこで、以後の経時変化および圧入時の施工性の確保を考慮し、4台とも現場再添加を行った。現場再添加は、練混ぜ時と同じ混和剤（ $C \times 0.1\%$ [1,2台目], $C \times 0.05\%$ [3,4台目]）

を投入し、スランプフローを8～10cm増大させた。

再添加後の経時変化性状は、アジテータ車に積載したままの4台目のコンクリートについて、60分まで試験を行った。再添加後60分経過（練混ぜ後約150分）時で、スランプフローは約3cmの低下にとどまっており、非常に良好なスランプ保持性を示した。空気量は、混和剤の現場再添加によってもあまり変動せず、出荷時から（練混ぜ後）約150分経過後まではほぼ安定した状態であった。

4.2 モデル施工試験の結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

表-7に圧入前後のフレッシュコンクリートの性状を、図-6に荷卸し時のフレッシュコンクリートの性状を示す。「圧入直前」のコンクリートは柱足元の圧入口手前で採取した試料で荷卸し（現場再添加）後約40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約70分経過している。

荷卸し時の値は、1台目の空気量が現場再添加によって少し小さくなったが、それ以外は全てスランプフロー、空気量とも目標値を満足した。高流動コンクリートの流動性を簡便に評価する一つの手法である円筒貫入試験の結果も、ほぼ適切な値（高流動コンクリートにおける目標値は20mm～40mm）であった。高周波加熱乾燥法による推定水セメント比の試験結果も、4台とも調査計画上の値32.0%にほぼ合致する値が得られた。また、圧入直前から柱頭間の性状変化（スランプフロー）も2cm程

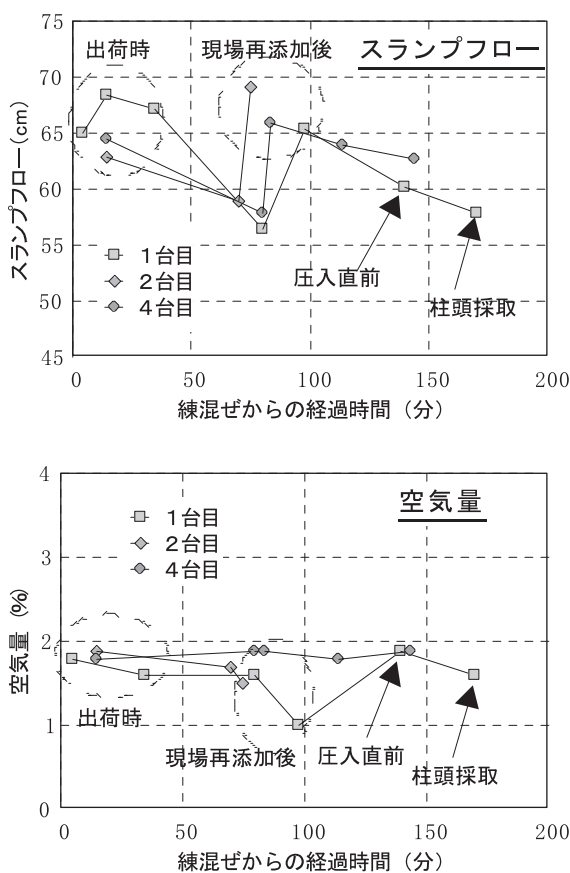


図-5 コンクリートの輸送試験および経時変化試験の結果

4. 試験結果および考察

4.1 コンクリートの輸送試験の結果

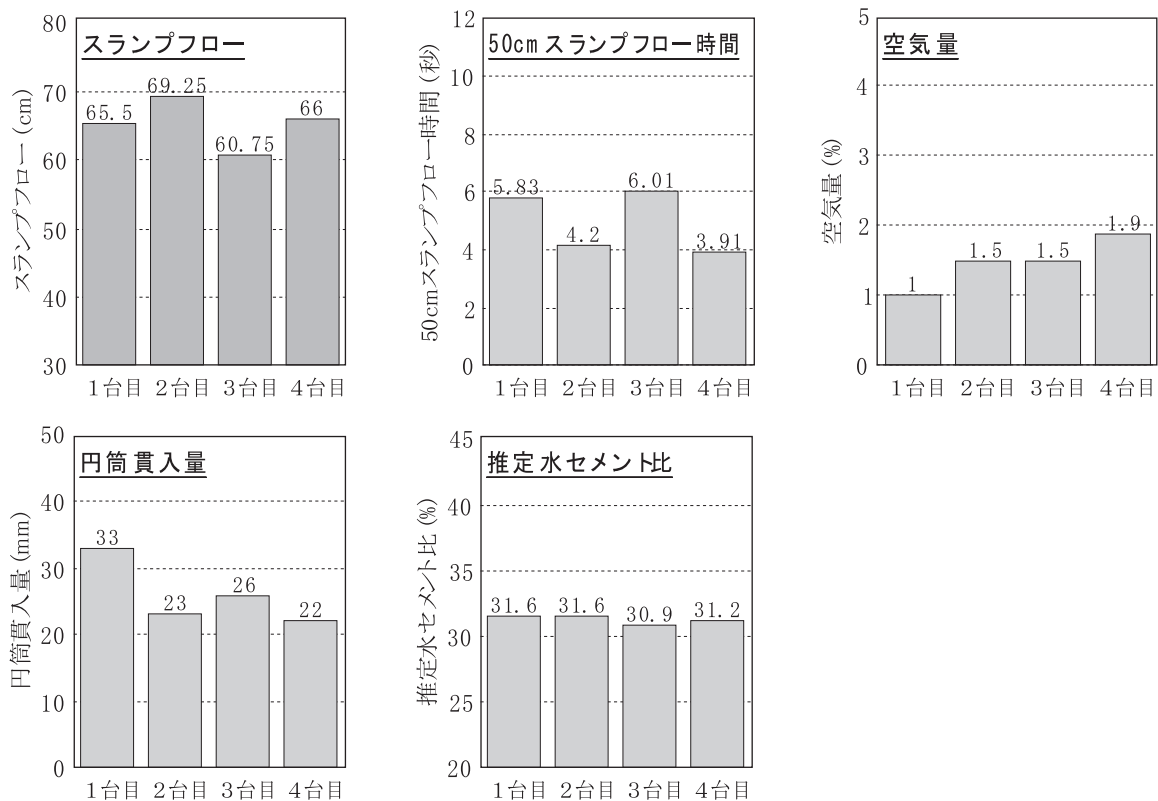
コンクリートの輸送試験および経時変化試験の結果を図-5に示す。アジテータ車4台分のコンクリート（合計18m³）を輸送した。1台目は、混和剤の適切な添加量を見極めるため、スランプフロー、空気量を出荷時に3回（1バッチ目練上がり時、1バッチ目再添加後、2バッチ目練上がり時）測定している。2台目から4台目は、

表-7 圧入前後のフレッシュコンクリートの性状

	荷卸し ^{*1}	圧入直前 ^{*2}	柱 頭
スランプフロー (cm)	66.5×64.5	61.5×59.0	59.0×57.0
50cmフロー時間 (秒)	5.83	5.32	7.58
空気量 (%)	1.0	1.9	1.6
コンクリート温度 (℃)	31.0	32.5	31.0

*1 1台目、現場再添加後の値

*2 CFT柱の圧入口手前で試料採取



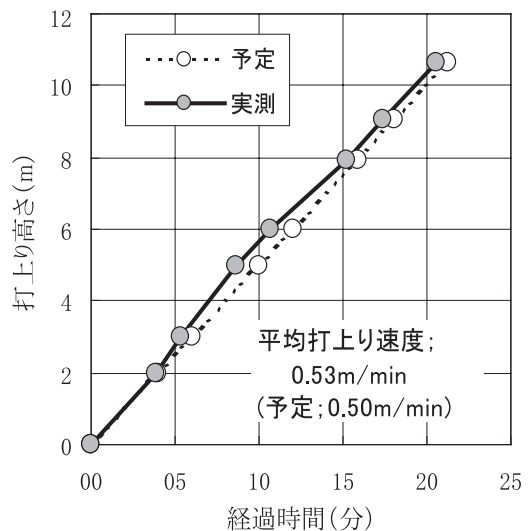
図－6 荷卸し時のフレッシュコンクリートの性状

度と小さなものであった。これらより、本試験における荷卸し時のコンクリートは、現場再添加を行うことによってCFT柱への圧入に適した性状のものが得られたと考えられる。なお、CFT柱内を最初に通過する1台目のコンクリートはCFT柱内壁およびダイアフラムにモルタル分を取られ易いため、その分も考慮して流動性の良い状態のもので圧入する必要がある。今回のような大断面では比較的影響は小さいと思われるが、1台目は荷卸し時で（分離していない状態で）フロー65～70cmを目安にするのが良いと考えられる。また、現場での混和剤の再添加については、輸送時間、打設量、経時変化、温度などを総合的に勘案した高度な判断が必要になるので、その手順については施工計画書などにおいて明記しておくことが望ましい。

(2) 打上り速度および打上り状況

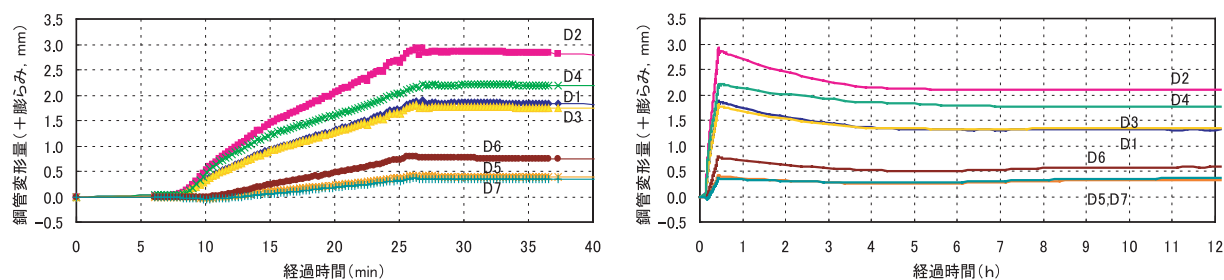
圧入時の打上り高さを図－7に示す。今回は、アジテータ車をポンプ車に2台付けできるような配置としたので、圧入開始から圧入終了まで中断することなく打設できた。平均の打上り速度は、0.53m/分であり、ほぼ計画どおりの打上り速度であった。

なお、圧入時に、ダイアフラムDF1a付近から若干の漏水が見られた。これは、組立て時のゴムシート部に僅かな隙間が生じたため、圧入時にコンクリート中の自由



図－7 圧入時の打上り高さ

水が加圧を受けて漏水に至ったと考えられる。解体後にコンクリートの状態を確認したが、（例えば砂じまなどの）漏水の痕跡もほとんど認められなかった。また、打上り途中での天端はほぼ平坦であった。これは、通常の（600～800mm角の）CFT柱圧入では天端がドーム状になって上昇する状況とは大きく異なっている。



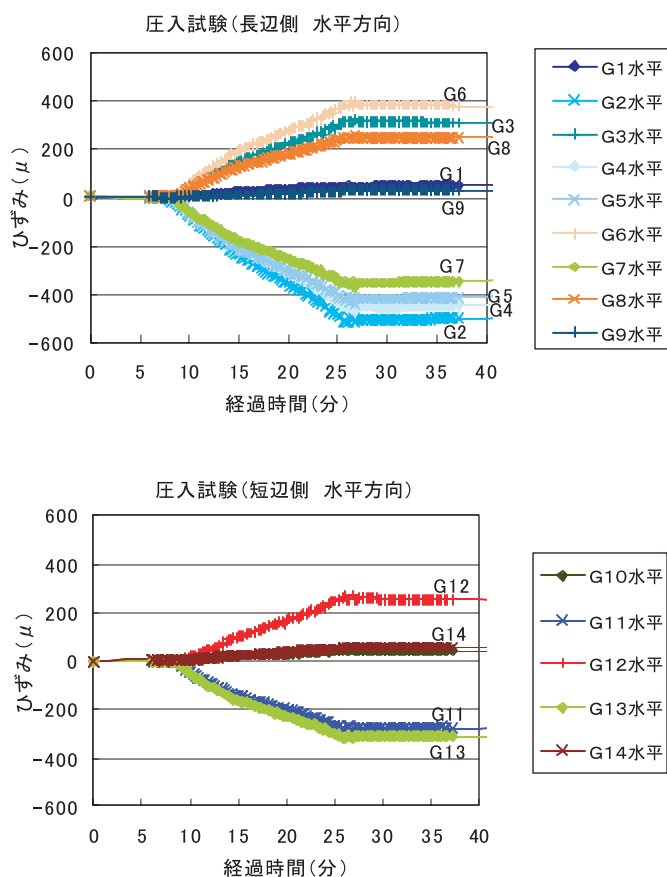
図－8 CFT柱の変形

(3) CFT柱の変形およびひずみ

圧入時におけるCFT柱の変形の測定結果を図－8に、ひずみの測定結果を図－9に示す。また、柱最下部ボックス部分の変形解析の結果を図－10に示す。ひずみゲージによる測定は、水平・鉛直・斜めの3方向で行っているが、図－9では最も大きなひずみとなった水平方向のひずみのみを示した。図－10は、はらみ止め鋼棒なしの場合だと長辺側中央部の最大変形の解析値が6mm程度となったため、鋼棒を2本配置して3mm程度に抑えることを計画して解析した結果である。その際に鋼棒にかかる荷重は1本当たり7.5tと仮定した。

変位計による変形測定の最大値は、圧入終了時に示したD2の約2.9mmであった。変形は圧入終了直後から緩やかに戻り始め、約4時間で収束し、最終的には2.2mm前後であった。なお、事前に行った小規模実験¹⁾では長辺側が凸、短辺側が凹の変形であったが、今回は、はらみ止め鋼棒の設置により長辺側の変形が抑制されたため、短辺側(D5, D6, D7)も凸の変形となった。これは、事前の解析結果(図－10(b))と一致している。また、ひずみの測定値は、最大でG6(水平)380 μ 、G2(水平)-550 μ 、G3(鉛直)300 μ であり、解析値のG6(水平)310 μ 、G2(水平)-350 μ 、G3(鉛直)375 μ 、と比較して柱コーナー近傍のG2以外は解析値と測定値は近似した値であった。

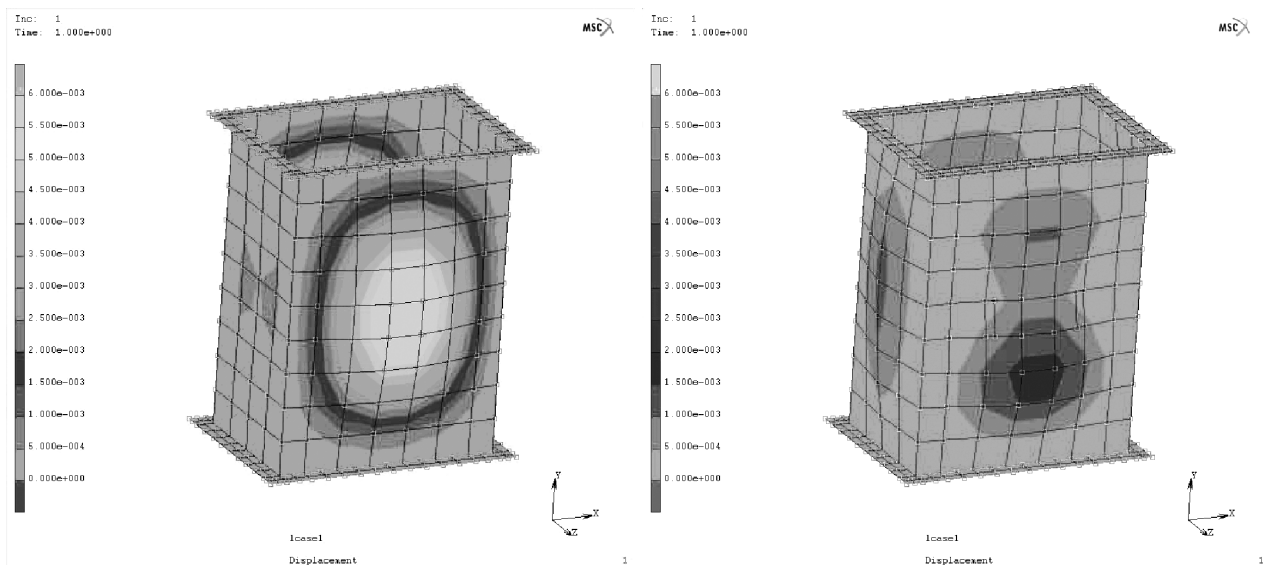
はらみ止め鋼棒の最大ひずみ(G21～G24)は2本とも約600 μ であり、単純に計算すると1本当たり5.3tの引張力が鋼棒にかかっていることになる。CFT柱鋼板の変形が若干進んでから鋼棒に荷重がかかるように鋼棒をセットしたので、この値は、ほぼ予測どおりといえる。図－8においてもD2の変形増加の勾配が9分過ぎから(変形が0.5mm程度になってから)やや緩やかになっていることから、同様のことがわかる。



図－9 CFT柱のひずみ

(4) CFT柱の側圧

CFT柱の側圧を図－11に示す。3点とも、コンクリートがそれぞれの側圧計に達したと思われる時間どおりに圧力がかかり始め、経過時間すなわち圧入の進行に伴って直線的に圧力が増加している。その勾配は、3点とも液圧にほぼ等しい値であったが、側圧計No.2は、圧入後半において、液圧の1.10倍に近い値を示した。圧入終了時の側圧計No.1およびNo.2における液圧の値は、



(a) はらみ止め鋼棒なし

(b) はらみ止め鋼棒あり

図-10 CFT柱（最下部のボックス部分）の変形解析

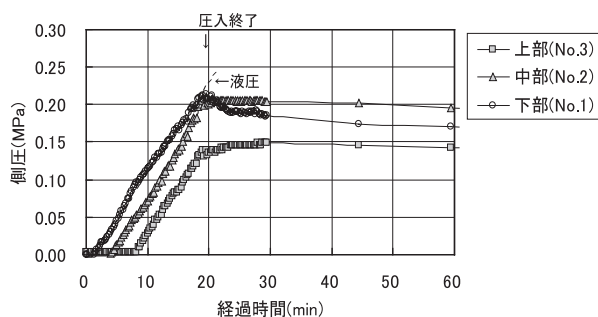


図-11 CFT柱の側圧

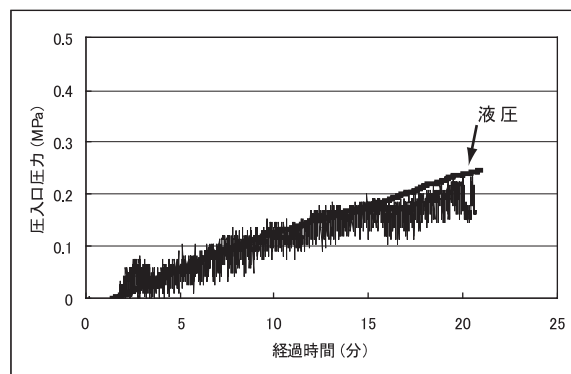


図-12 圧入口での管内圧力

0.23MPaおよび0.19MPaとなるが、実測値は圧入終了時点の最大値で0.214MPaおよび0.211MPaであった。

(5) 圧入時の圧入口での管内圧力

圧入口での管内圧力とコンクリートの液圧との関係を図-12に示す。コンクリートヘッドの位置から算出した圧入口位置（BPL+500mm）でのコンクリート液圧と圧入口管内圧力を比較すると、圧入当初のピーク時における圧入口管内圧力は、液圧より少し大きな値であったが、コンクリートヘッドの位置が上昇すると圧入口管内圧力は液圧より小さな値を示した。事前に行った小規模実験でも同様の傾向が認められた。なお、柱（10.8m³）へのコンクリート充填は、336ストロークで完了した。なお、（同じコンクリートを同日に打設した）ブロック試験体（1.05×1.05×0.9m）へコンクリートを充填するには、

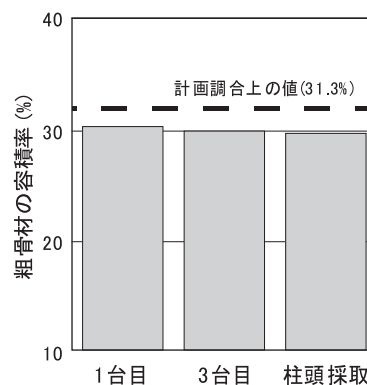


図-13 骨材量の比較

31ストローク必要であった。両者の結果からポンプ車ピストンシリンダーの容積効率を算定すると約90%である。

(6) 骨材量の比較

荷卸し時の試料（1台目と3台目）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-13に示す。荷卸し時の試料、柱頭採取試料ともに調合計画上の値とほぼ一致した。

(7) コンクリート天端の沈降量およびブリーディング量

コンクリート天端の沈降量を図-14に示す。荷卸し時試料（ $\phi 150 \times 300\text{mm}$ ）による測定値も同図に示した。32L1は1台目のコンクリートから作製した試料、32L3は3台目のコンクリートから作製した試料である。沈降量は荷卸し試料2点の平均で約0.42mmであり、目標値の2mm以下を十分に満足した。柱頭2点の平均で約0.74mmであった。なお、ブリーディング量は荷卸し試料、柱頭採取試料ともほぼ $0\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であった。

(8) CFT柱の内部温度

コンクリート打設後の、CFT柱内部のコンクリート温度を図-15に示す。同じコンクリートで打設したブロッ

ク試験体の結果も同様に示した。CFT柱中央部の最高温度は 71.3°C （打設後約25時間）であり、ブロック試験体（ $1050 \times 1050 \times 900\text{mm}$ ）中央部の最高温度（ 66.5°C ）よりも約 5°C 高い温度であった。ブロック試験体は中央部と端部との温度差が小さく、短時間で温度上昇してその

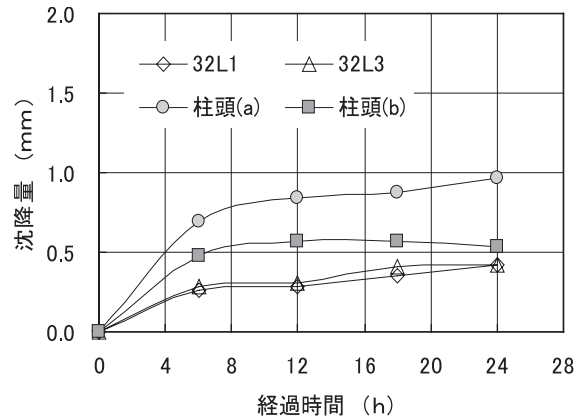


図-14 コンクリート天端の沈降量

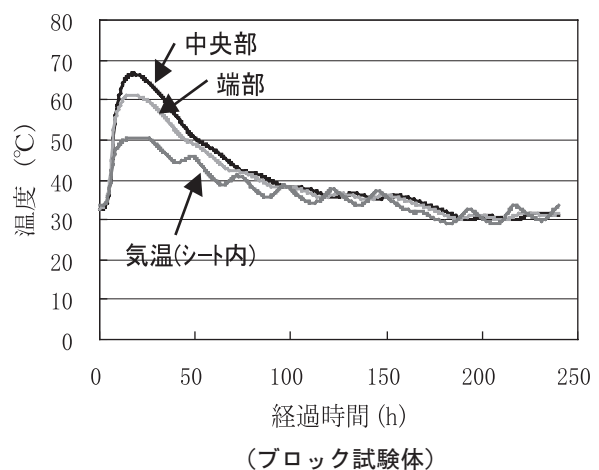
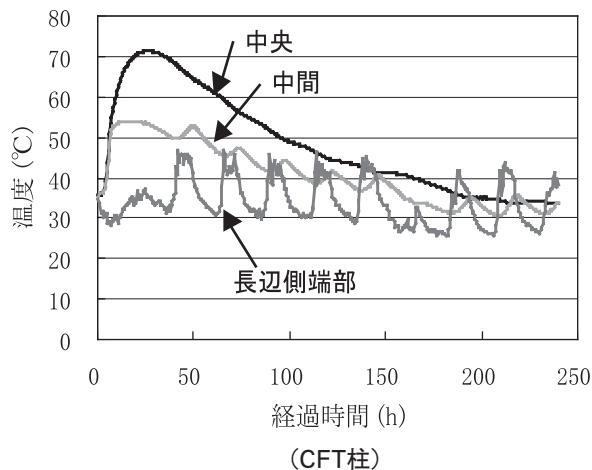
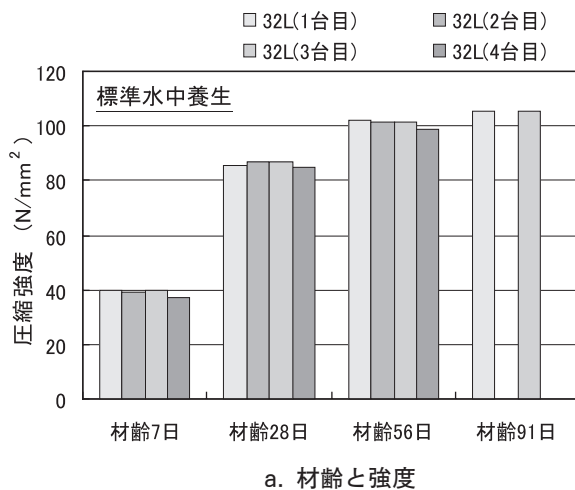
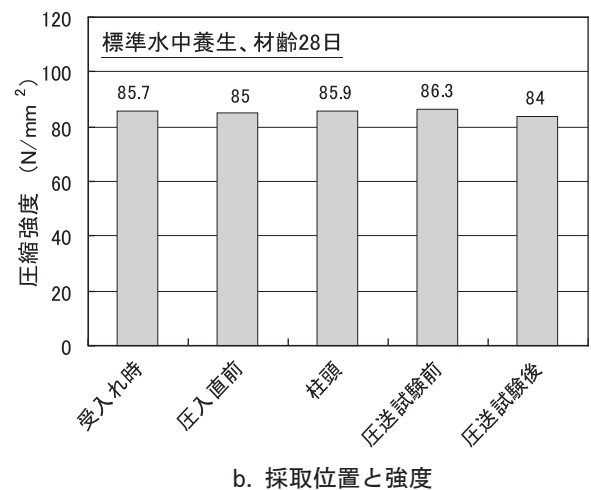


図-15 コンクリートの温度上昇



a. 材齢と強度



b. 採取位置と強度

図-16 供試体の圧縮強度

後短期間で温度が下降していることがわかる。一方、CFT柱では鋼板表面からの放熱によって長辺側端部（鋼板から内部へ約2cm）の温度はあまり上昇せず、中央部は大断面の影響によってブロック試験体よりも上昇及び下降の温度勾配が緩やかである。

(9) コンクリートの圧縮強度

供試体の圧縮強度を図-16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-17に示す。

供試体の強度（荷卸し、標準養生、4台平均）は、材齢28日で86.0N/mm²、材齢56日で101.0N/mm²、材齢91日で105.4N/mm²と目標よりやや高く、小規模試験時に比べて約5%高い値であった。また、アジテータ車ごとの強度のバラツキも非常に小さく、安定した製造が行われていることがわかる。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。一方、コア強度については、材齢28, 56, 91日のいずれにおいても、中央部の方が端部（コーナーから100mm）よりも10%近く強度が高かった。低熱セメントのため、初期の発熱による強度増進の阻害が少ないこと、また夏期の打設のため端部は型枠解体（材齢24日に解体）以降の乾燥の影響を受けて、以後の強度増進が緩慢になったと考えられる。CFT柱の場合は、内部のコンクリートが乾燥の影響を受けることはないので、ブロック試験体の中央部コアに近い状態であると思われる。

材齢28日から91日までの強度増進は、標準水中養生供試体では約22%伸びているが、コアでは7~8%にとどまっている。標準期に打設した小規模実験ではコア強度の伸びは約17%であったが91日のコア強度としては今回の夏期打設とほぼ等しかったことから、この強度増進の鈍化は打設時期による影響と考えられる。

ブロック試験体の材齢56日コア強度（中央部と端部の平均；92N/mm²）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（_sS₅₆値）を求めると、-6N/mm²となる。材齢56日の簡易断熱養生（荷卸し試料；4台平均）の強度85.6N/mm²をその管理指標とすると、28S56値は0.4N/mm²となる。

(10) CFT柱内の強度分布

試験体は、材齢20日で解体した。DF1a, DF2aの位置で各節に分断した後、順次鋼板を外して各ブロック（柱頭部から①~⑪とした。図-3参照）ごとに解体した。その際、ダイアフラムの上側に削岩機等を入れて分断しているので、その周辺および中央のつながっている部分の割裂面の上下では衝撃などによるコンクリートへの悪影響が懸念された。また、厚さの薄いブロック③、⑥、

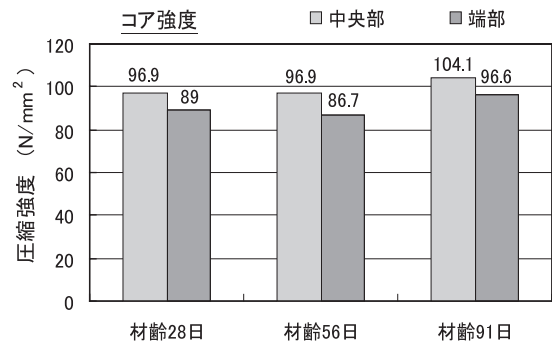


図-17 ブロック試験体のコア強度

⑨は2~5ピースに割れてしまった。各ブロックは分断後、乾燥防止のため、全面に養生剤として躯体防水材を塗布した。

所定の材齢でコアを採取し、強度試験を行った結果を図-18に示す。ダイアフラム直上部分のコア強度に、低いものが多く見られた。最近の研究では、ダイアフラムによってコンクリートの流れが乱されることによってその直上部の強度が低下する事例も報告されている。同様のことが今回の圧入においても生じた可能性がある。また、各コア供試体の動弾性係数Edも測定しているので、解体時のダメージの有無を他の供試体との比較により推測した。その結果、材齢56日のコアでは内部のコア強度はブロックの中央部コア強度とほぼ一致していることから、ダイアフラム上下付近における中央部コアでは、解体時にダメージを受けたために強度が低くなった可能性も否定できない。単純にダイアフラムの上下のコア強度のみを比較すると、中央部よりも外周部のほうが強度が高くなるが、解体時にダメージを与えずに健全な状態でコア供試体を採取できていれば、中央部と外周部はほぼ等しい強度であったと推測できる。また、ブロック試験体のコア強度との比較ができるように図中に実線および点線で示したが、解体時にダメージを受けていないと考えられるものはブロック試験体のコア強度にほぼ一致することがわかる。また、強度低下したものを含めても、設計基準強度60N/mm²を下回るものはなかった。

なお、材齢56日コアの、外周部17本、中央部（48本の内、動弾性係数の低下および上下・外周部との差により正しい供試体でないと判断できるもの6本を除いた）42本の平均値・標準偏差・変動係数を表-8に示す。標準偏差を単純に平均すると6.2N/mm²となり、供試体の標準偏差（当該生コン工場の実施工出荷実績ではFc60クラスで4N/mm²程度、当社の実施工実績では3.6~4.8N/mm²）

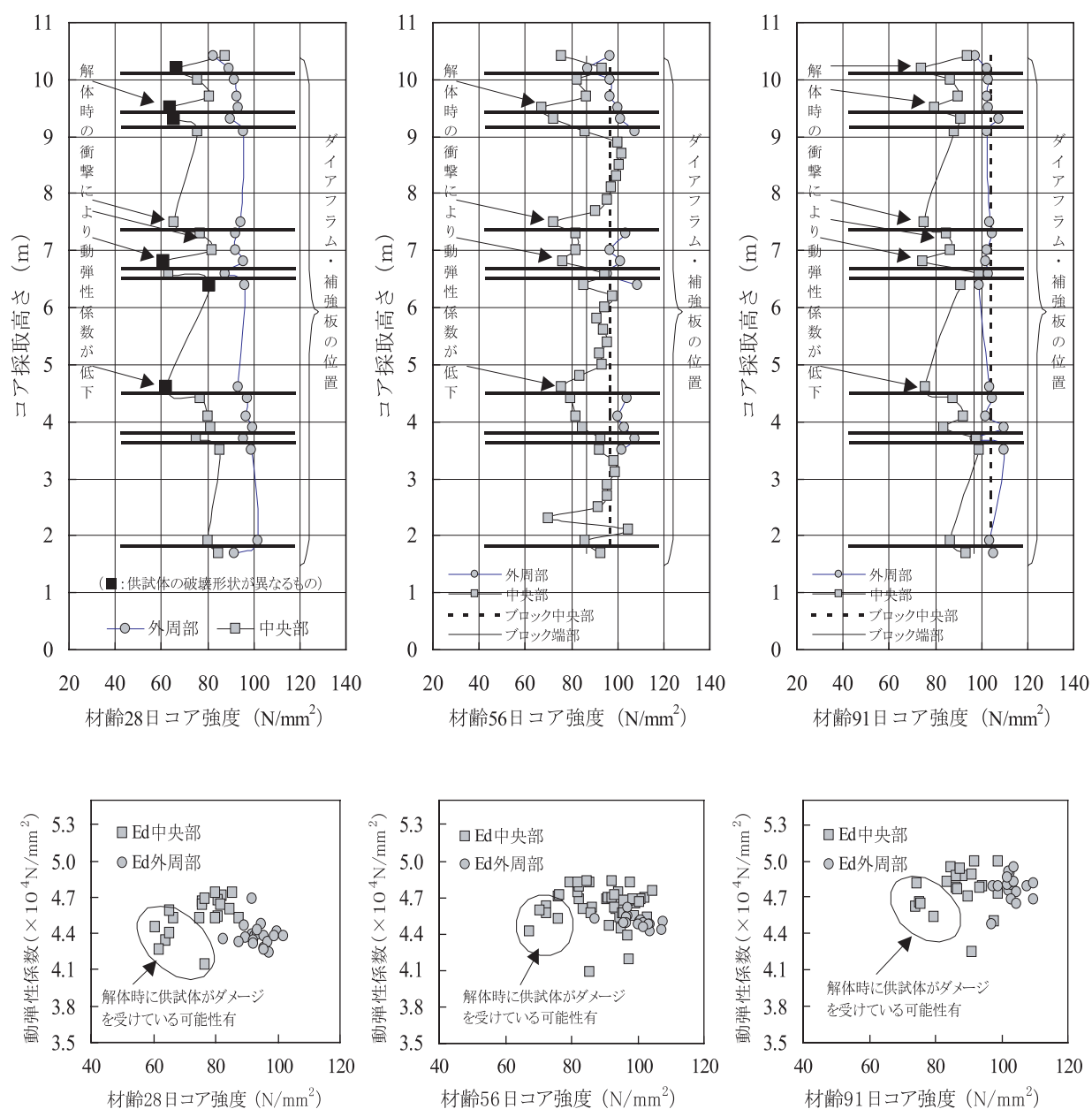
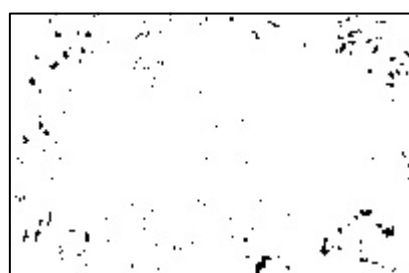
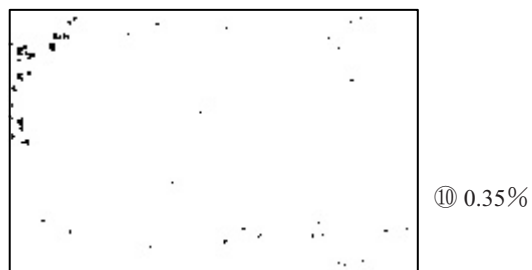
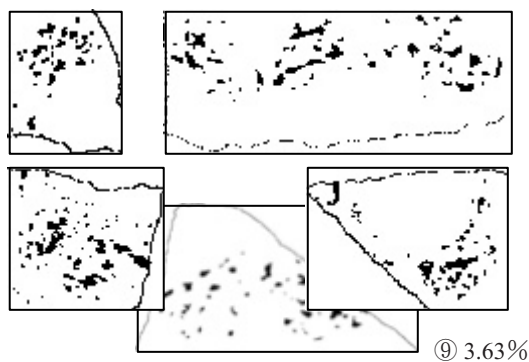
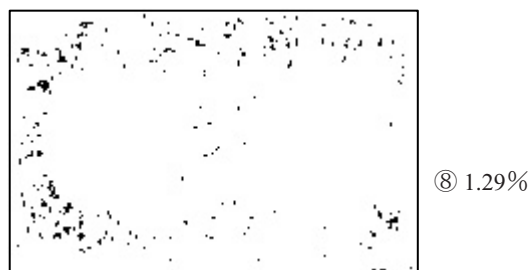
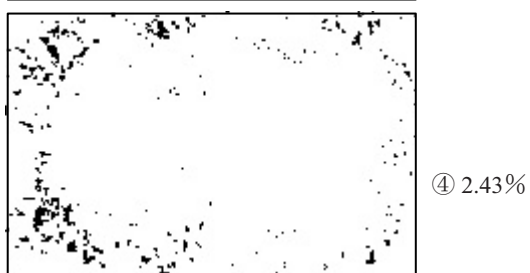
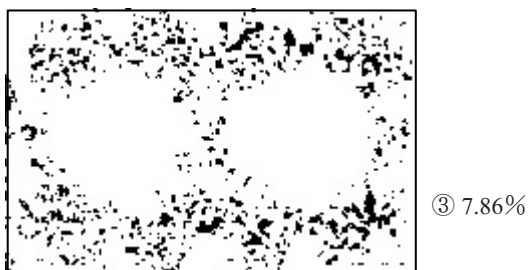
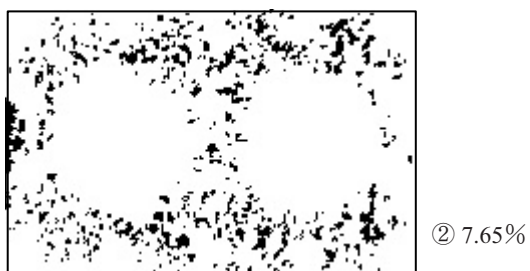


図-18 CFT柱内の強度分布（コア強度試験結果）

に対して1.3～1.5倍程度と考えられる。この程度であれば、構造体強度のバラツキに対する特別な配慮は不要と思われる、今回のような大断面であっても、通常の高強度コンクリートにおけるS値および新都市ハウジングの技術指針に示された値以上のものを設定しなくてもよいと考える。（今回の実験結果のみにもとづけば、S値は $_{28}S_{56}$ 、 $_{28}S_{91}$ ともにほぼ $0N/mm^2$ とすることができると考えられるが、調査については打設時期、施工性（圧入）、などを総合的に勘案して慎重に定める必要がある。）

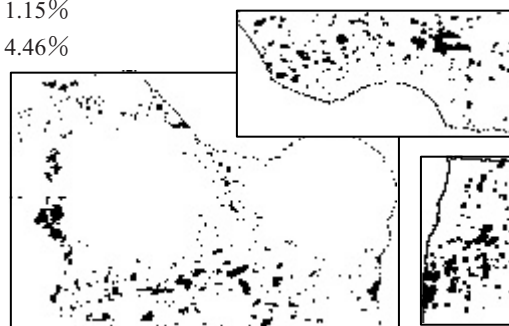
表-8 材齢56日コアの平均値・標準偏差・変動係数

	外 周 部	中 央 部
データ数 n	17	42
平均値m N/mm^2	100.6	92.5
標準偏差 σ N/mm^2	5.3	7.0
変動係数v %	5.29	7.60



⑤ 1.15%

⑥ 4.46%



⑦ 5.03%

図-19 ダイアフラム下面の空隙
(○数字はブロック番号を示す。図-3 参照)

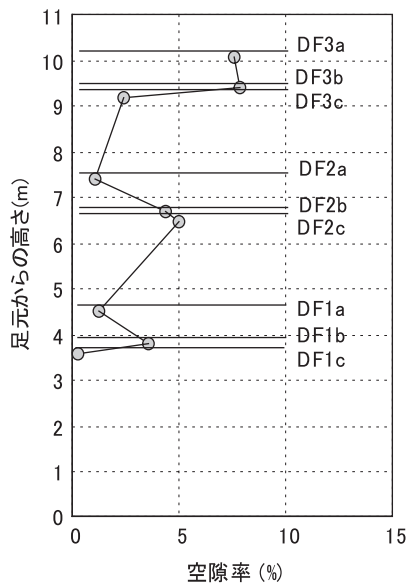


図-20 ダイアフラム下面の空隙率

(11) ダイアフラム下面の空隙率

ダイアフラム下面の空隙の状況を図-19に、空隙率を図-20に示す。図-19では、丸数字の各ブロック番号ごとにその上面の空隙を示している。小規模実験では5.46～7.26%（平均6.15%）であったが、今回は0.35～7.86%と値の範囲は少し広くなり平均値では3.76%と小さくなった。また、試験体の足元から1層目（下から⑩⑨⑧）→2層目（同⑦⑥⑤）→3層目（同④③②）と上部になるに伴って空隙率が増加する傾向が見られた。ダイアフラム通過時に空気を巻き込んでいること、また、下部ほど長い時間圧入の圧力がかかるために、徐々に空隙が押し出されることおよび圧縮されて小さくなることがその原因と考えられる。しかし、いずれの値も空隙率は10%以下であり、充填性には問題がないと考えられる。今回および小規模実験の結果から、50cm/分程度で打ち上げればコンクリートの充填性にはほとんど問題はないことがわかる。

4.3 ポンプ圧送試験の結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

圧送によるフレッシュコンクリートの変化を図-21に示す。小規模実験時では、コンクリートが出荷から長時間経過した後であり、また、そのスランプフロー値も50cm程度と小さかったためロスが認められなかったが、今回の実験では、圧送によってスランプフローが荷卸から筒先（圧送前）で約5cm、循環によって10cm低下した。これは圧送によって、①柱圧入時に最大1.8MPa、配管循環時に2.8MPa程度の圧力がコンクリートに加わったことと（高圧力下における $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出に伴う混和

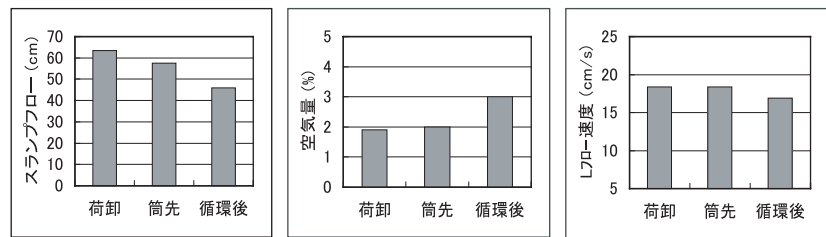


図-21 圧送によるフレッシュコンクリートの性状変化

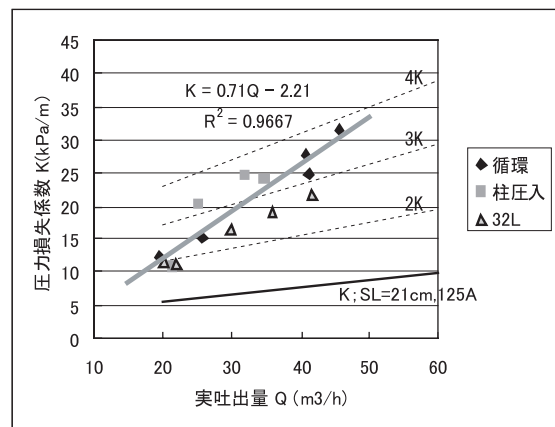


図-22 圧力損失係数と実吐出量の関係

剤吸着量の増大)、②循環による影響（同一試料で循環しているため、コンクリートが圧送によってせん断変形を受け微粒分が増大して混和剤吸着量が増大）が主な原因と推定される。空気量は、循環後の値が大きくなっているが、これは循環させる際にホッパー部で空気を巻き込んだものと考えられる。

(2) 硬化コンクリートの性状

圧縮強度は、荷卸時に採取した供試体の強度、筒先（圧送前）の強度、循環圧送後の強度すべてほぼ同一（約85N/mm²；図-16参照）の強度であった。循環後は空気量がやや多いので見かけ上やや低い強度になっている。これより、圧送による圧縮強度への影響は、空気量の変動による要因を除けばほとんど無いと考えられる。

(3) 管内圧力損失

実吐出量は、1ストローク時間から理論吐出量を求めてその容積効率を90%として算定した。さらに、管内圧力は配線が長いいためその補正を行った。圧力計No.1～No.3で求めた圧力損失係数と実吐出量の関係を図-22に示す。なお、配管長は、ベンド管を3倍、テーパ管とフレキシブルホースを2倍に換算した。図中には、前回の小規模実験での結果（図中32L）も載せた。

圧力損失係数（K値）は、本工事で予定している50cm/分の圧入速度（約30m³/h）では、通常示されているスランプ21cm・125AのK値と比べ事前の小規模実験時（32L）では2.5倍、今回は約3倍の値であった。また、その勾配は通常の勾配に比べかなり急なものであった。

5. まとめ

断面が850×1300mmで、内部にダイアフラム9枚、補強板1枚を有する3層分のCFT柱（モデル施工試験体）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) コンクリートの輸送試験について

- ・約60分の輸送により、スランプフローは平均で約5cm低下した。
- ・混和剤の現場再添加によってスランプフローを8～10cm増大させた後60分経過（練混ぜ後約150分）時で、スランプフローは約3cmの低下にとどまっており、非常に良好なスランプ保持性を示した。
- ・空気量は、混和剤の現場再添加によってもあまり変動せず、出荷時から練混ぜ後約150分までは安定した状態であった。

(2) モデル施工試験について

- ・柱頭で採取した試料のフレッシュ性状は、圧入直前の試料と大きな変化はなかった。
- ・打上路途中での天端はほぼ平坦であった。これは、断面の小さいCFT圧入における天端の状況とは大きく異なっていた。
- ・圧入時の圧力によるCFT柱の変形は事前の解析結果にほぼ一致し、はらみ止め鋼棒によって適切な補強が行えることが確認できた。
- ・CFT柱に作用する側圧は、液圧にほぼ一致したが、圧入口の管内圧力はコンクリートヘッドの位置が上昇すると液圧よりやや小さな値となった。
- ・柱頭のコンクリートの沈降量は約0.74mm、ブリーディング量はほぼ0cm³/cm²であった。
- ・CFT柱中央部の温度上昇量は、ブロック試験体よりも約5℃高い値であった。
- ・圧入直前および柱頭採取試料の圧縮強度は荷卸し時試料との差はなかった。
- ・CFT柱内の中央部ダイアフラム上下のコア供試体は、ダイアフラム直上部のものに強度の低いものが見られたが、これはダイアフラムによるコンクリート流の乱れおよび解体時のダメージの影響などが理由と考えられる。

- ・解体時にダメージを受けていないコア強度は、ブロック試験体のコア強度にほぼ一致した。
- ・ダイアフラム下面の空隙率は、0.35～7.86%であり、平均値では3.76%であった。

(3) ポンプ圧送試験について

- ・今回の試験では圧入および循環の影響による圧送前後のフレッシュ性状および硬化性状の著しい変化は認められなかった。
- ・圧力損失係数（K値）は、50cm/分の圧入速度（約30m³/h）では、通常示されているスランプ21cm・125AのK値と比べ約3倍の値であった。また、その勾配は通常の勾配に比べかなり急なものであった。

以上の結果から、大断面のCFTでは打上がり時の天端の状況は従来のCFTと異なるものの、（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。

〔謝 辞〕

モデル施工試験を行うに当たり、（社）新都市ハウジング協会の丁寧な技術指導を賜りました。ここに記して深甚の謝意を表します。

〔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
- 2) 新都市ハウジング協会：平成13年度 調査研究発表会 講演資料集、2001.11
- 3) 木村建治ほか：CFT小規模モデル実験、浅沼組技術研究所報、No.13, pp.59-66, 2001.11