

1. 高強度コンクリートのポンプ圧送性と品質に関する実験的研究

木村建治 立松和彦 崎山和隆 谷沢 晋 石原誠一郎
吉野 弘^{*1} 山内博記^{*2} 島垣利久^{*3} 中上明義^{*4}

要 旨

高強度コンクリートのポンプ圧送については、その施工実績および資料が少なく、仕様なども十分に整備されていない。本研究は、高強度コンクリートをポンプにて施工する場合の基礎資料を得ることを目的として、東京理科大学清水研究室と共同で、平成2年1月～4月にかけて行った。

下記の、その1はポンプ圧送による管内抵抗とフレッシュコンクリートの品質、その2は硬化コンクリートの品質、その3は実大構造部材へのコンクリートの打設性状に関するものである。

キーワード

高強度コンクリート／ポンプ／圧送／圧力損失／筒先／構造体強度／コア／シリンダー／ボーリング／
分離打設／連続打設

目 次

その1	ポンプ圧送による管内抵抗と フレッシュコンクリートの品質	その2	硬化コンクリートの品質	その3	実大構造部材への打設 性状
1.	はじめに	1.	はじめに	1.	はじめに
2.	実験方法	2.	実験方法	2.	実験方法
3.	実験結果および検討	3.	実験結果および検討	3.	実験結果および検討
4.	まとめ	4.	まとめ	4.	まとめ

1. EXPERIMENTAL RESEARCH ON PUMPABILITY AND QUALITY OF HIGH - STRENGTH CONCRETE

Kenji Kimura Kazuhiko Tatematsu Kazutaka Sakiyama
Susumu Tanizawa Seiichiro Ishihara Hiroshi Yoshino
Hiroki Yamauchi Toshihisa Shimagaki Akiyoshi Nakagami

Abstract

There have been only few construction records and data on pumpability of high-strength concrete, and feeding specifications have not been well arranged. We cooperated with Shimizu Research Laboratory of Science University of Tokyo to conduct this research from January through April in 1990 with a view to obtaining basic data for using concrete pump to place high-strength concrete.

Chapter 1 describes pressure loss and the quality of fresh concrete, using concrete pump; Chapter 2 explains about the quality of setting concrete; Chapter 3 deals with placing properties of full scale wall with column and beam specimen.

^{*1} 東京本店プレハブ工場 ^{*2} 大阪本店建築部技術課 ^{*3} 東京本店建築部技術課 ^{*4} 東京本店建築部工事課

その1 ポンプ圧送による管内抵抗とフレッシュコンクリートの品質

1. はじめに

高強度コンクリートをポンプ圧送した場合、普通強度のコンクリートを圧送する場合と違って、その施工性および品質に様々な問題の生じることが予想される。

ここでは、高強度コンクリートをポンプ圧送したときの管内抵抗とフレッシュコンクリートの品質を調査する目的で以下の実験を行った。

- ① 3種類の強度の異なる高強度コンクリートを、種類ごとに吐出量をそれぞれ3段階に変えて水平圧送後に垂直圧送し、その時の圧送管の管内圧力およびフレッシュコンクリートの品質変化の調査（以下この実験を垂直圧送実験という）。
- ② 1種類の高強度コンクリートを水平圧送した時の圧送管の管内圧力およびフレッシュコンクリートの品質変化の調査（以下この実験を水平圧送実験という）。

なお、水平圧送実験では、上記実験のほか、圧送したコンクリートで実大構造部材を作り、後記その3で報告する構造物試験体とした。

2. 実験方法

2.1 コンクリートの使用材料と調査

(1) 使用材料

実験に用いたセメントは普通ポルトランドセメント、骨材はすべて栃木産のもので、粗骨材は川砂利と碎石を混合したもの、細骨材は陸砂と砕砂を混合したものである。

なお混和剤としては、ナフタリン系の高性能A E減水剤を使用した。

表-1 にその使用材料を示す。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	陸砂 ¹⁾ と砕砂 ²⁾ の混合砂(混合比1:1)
粗骨材	川砂利 ¹⁾ と碎石 ²⁾ の混合砂利(混合比1:1)
混和剤	高性能A E減水剤(ナフタリン系)

¹⁾ 栃木県思川産 ²⁾ 栃木県葛生町産

(2) 調査

コンクリートは設計基準強度 F_c (kgf/cm^2) が 365, 440, 600 の3種類、スランブはいずれも21cmとした。

表-2 にそれぞれの調査を示す。

表-2 コンクリートの調査

記号	目標設計 基準強度 (kgf/cm^2)	目 スランブ (cm)	目 空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m^3)				
						セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
Fc 365	365	21.0	4.0	45	48.1	385	173	836	915	4.8
Fc 440	440	21.0	4.0	37.5	46.2	462	173	773	915	6.2
Fc 600	600	21.0	4.0	27.5	41.3	629	173	635	915	12.6

コンクリートはレデーミクストコンクリート工場で製造し、アジテーター車によって所要時間約5分で実験場に運搬して、製造後約60分経過してからポンプ圧送を行った。

2.2 使用圧送用ポンプと配管状況

(1) 圧送用ポンプ

圧送用ポンプ（以下ポンプという）は、吐出圧の高い、しかも市場にもっとも普及しているものを使用した。

表-3 にポンプの型式と能力を示す。

表-3 ポンプの型式と能力

型 式		IPF 110B
能 力	吸入吐出形式	滑り弁式
	最大吐出量(m^3/h)	68 (高压時)
	理論吐出量(m^3/h)	82.6 (高压時)
	シリンダーサイズ(mm)	205 (径), 1,400 (長さ)
	ホッパー容積(m^3)	0.45
	最大圧送距離(m)	210 (V) × 920 (H)

(2) 配管状況

配管は荷卸し地点のポンプから筒先のフレキシブルホースまですべて5B管(125A)を用いた。図-1 にポンプから筒先までの配管の概要とその配管長さ(m)を示す。

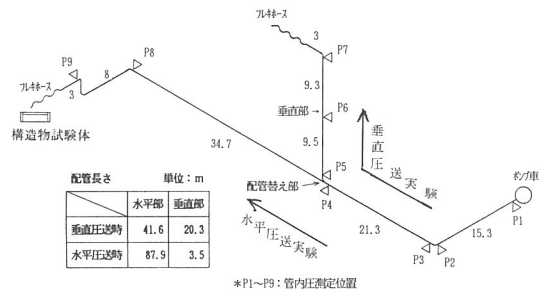


図-1 配管の概要

垂直圧送実験を行うための配管は、水平部を約42m、垂直部を約20mとして全長を約62mにした。垂直部の高さおよび全長は文献等を参考にして決めたが、これが圧送できる限度と考えた。垂直管は、写真-1のように実験場に高さ約20mの枠組足場を組み立て、その外側にこれをそわせて固定した。

なお、ポンプから垂直管の立ち上がり用曲がり管手前までは、垂直圧送実験用と水平圧送実験用の水平管を兼用することとした。

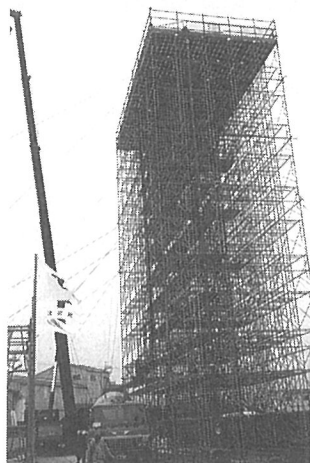


写真-1 垂直配管

水平圧送実験用の配管は、ポンプから垂直管足元を経てさらに水平に配管し、筒先直前に一部垂直管（3.5m）を配管して、筒先までの全長を約91mとした。なお、水平圧送実験の配管長さは、ポンプの性能から、計算では120m程度まで可能であったが、実験場の敷地の関係でやむをえず上記のように短くした。

垂直圧送実験と水平圧送実験の配管換えは、垂直圧送実験完了後に垂直管の立ち上がり用曲がり管手前の継手部をはずし、水平圧送実験用の水平管と繋いで行った。

写真-2に垂直管の足元配管状況を示す。

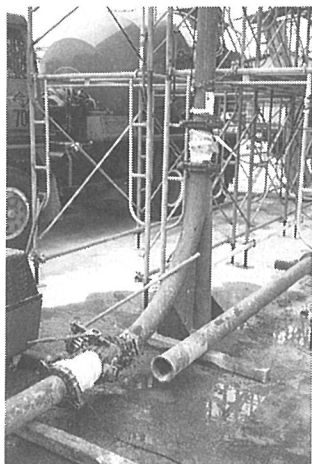


写真-2
垂直管足元

水平圧送実験の配管の筒先付近には、その3で報告する実大構造部材の型枠を組立て、水平圧送実験と並行してコンクリートを打設し、構造物試験体とした。

写真-3に実大構造部材型枠にコンクリートを打設している状況を示す。

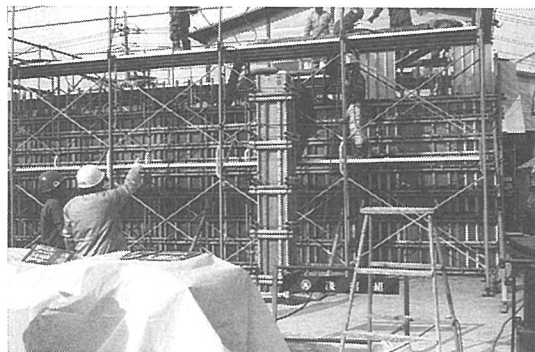


写真-3 実大構造部材へのコンクリート打設

2.3 管内圧力・吐出量の測定方法

(1) 管内圧力

管内圧力は、図-1の配管概要図に示す位置（P1～P9）にダイヤフラム式の圧力計を取り付け（ビニルシートで養生）、それに動ひずみ計を接続して、データレコーダーおよび電磁オシロにて記録した。図-2に計測ブロック図を示す。

また、写真-4に圧力計取り付け管を示す。

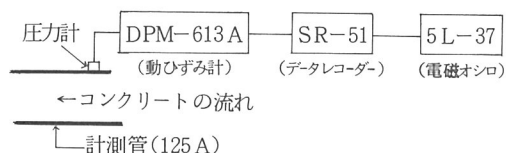


図-2 管内圧力計測ブロック図)

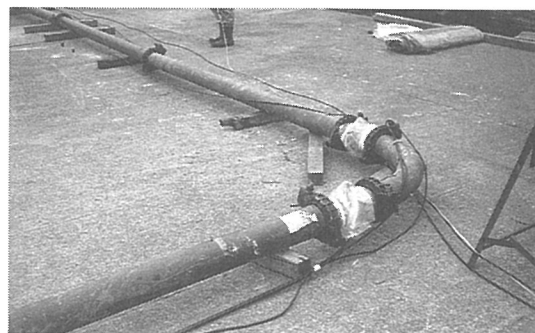


写真-4 圧力計取り付け管

(2) 吐出量

設定吐出量は垂直圧送実験の場合 20, 35, 45 m^3/h とし、水平圧送実験では 20, 35 m^3/h とした。

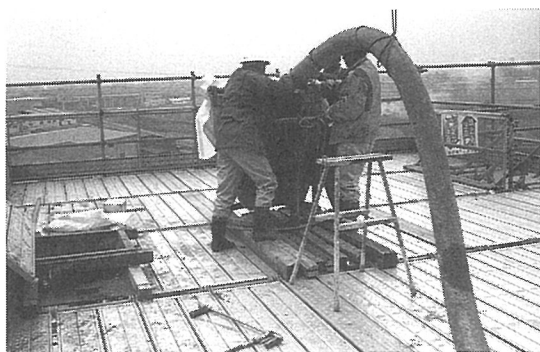
なお、実吐出量はシリンダーのストローク数と圧送時間および圧送量から計算で求めた。

2.4 試料の採取、試験項目

(1) 試料の採取

フレッシュコンクリートの試料は、圧送前にアジテーター車から採取したものを圧送前の試料とし、圧送後に筒先で採取したものを圧送後の試料とした。

高所へ垂直圧送したコンクリートは、クレーン車で足場上に吊り上げたバケツ（0.5 m³の容量）に、筒先を入れて採取した。写真－5 に圧送後の試料をバケツで採取している状況を示す。



写真－5 垂直圧送後(筒先)の試料採取

(2) 試験項目

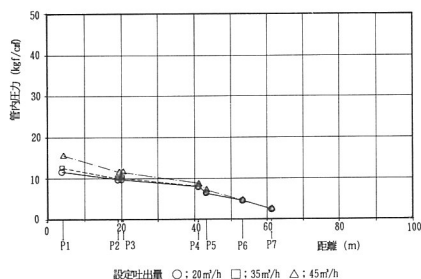
フレッシュコンクリートは、スランプ、スランプフロー、空気量、コンクリート温度を測定することとし、それぞれ JIS の試験方法にならって行った。

3. 実験結果および検討

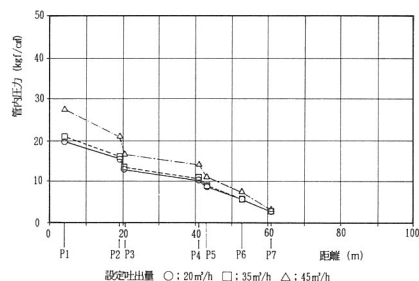
3.1 ポンプ圧送性

図－3 ～ 5 に垂直圧送時の各計測点の位置と管内圧力の関係を、図－6 に水平圧送時の各計測点の位置と管内圧力の関係を示す。

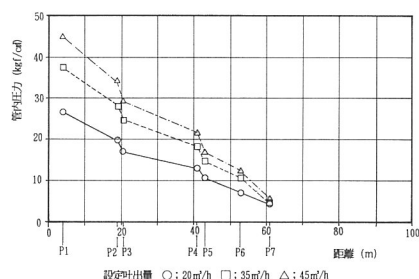
図－3 ～ 6 においては、各計測点の管内圧力を結んだ線の勾配が垂直に近いほど、各計測点間の管内圧力損失が大きいことを示している。これを表－4 に数値で示す。



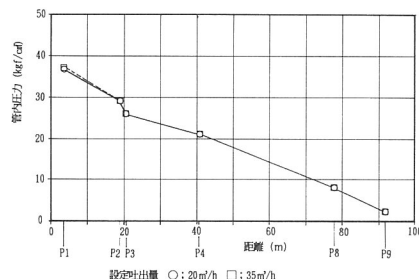
図－3 垂直圧送時の計測点の位置と管内圧力の関係 (Fc 365)



図－4 垂直圧送時の計測点の位置と管内圧力の関係 (Fc 440)



図－5 垂直圧送時の計測点の位置と管内圧力の関係 (Fc 600)



図－6 水平圧送時の計測点の位置と管内圧力の関係 (Fc 600)

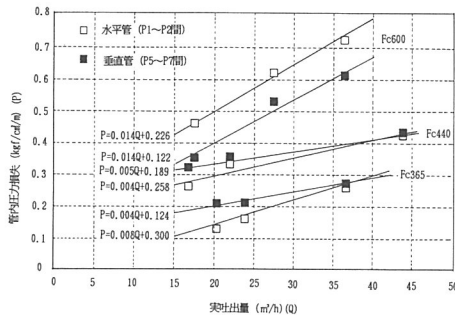
表－4 計測位置間での管内圧力損失

(単位 直管: kgf/cm²/m, 曲管: kgf/cm²/箇所)

圧送種類	計測点区間	調査 番号	設定 吐出量 m ³ /h	実 吐出量 m ³ /h	P 1 ↓ P 2 直管 水平	P 3 ↓ P 4 直管 水平	P 5 ↓ P 7 直管 水平	P 4 ↓ P 8 直管 水平	P 8 ↓ P 9 直管 水平	P 2 ↓ P 3 曲管 水平	P 4 ↓ P 5 曲管 垂直
垂	Fc 365		2.0	20.2	0.13	0.09	0.21	—	—	0	1.5
			3.5	23.8	0.16	0.09	0.21	—	—	0	2.0
			4.5	36.5	0.26	0.14	0.27	—	—	0	1.5
	Fc 440		2.0	16.7	0.26	0.12	0.32	—	—	—	2.5
			3.5	21.8	0.33	0.12	0.35	—	—	2.5	2.0
			4.5	43.7	0.42	0.14	0.43	—	—	4.0	3.0
直	Fc 600		2.0	17.4	0.46	0.19	0.35	—	—	2.5	2.5
			3.5	27.3	0.62	0.31	0.53	—	—	3.5	3.5
			4.5	36.2	0.72	0.38	0.61	—	—	4.5	4.5
	Fc 600		2.0	18.2	0.46	0.24	—	0.37	0.49	3.5	—
			3.5	27.6	0.52	0.24	—	0.37	0.49	3.5	—

注) 曲管とはバンド管をいう

図－7には垂直圧送実験時の水平管(P 1～P 2間)における実吐出量と管内圧力損失の関係および垂直管(P 5～P 7間)における実吐出量と管内圧力損失の関係を示す。



図－7 垂直圧送実験時の実吐出量と管内圧力損失の関係

図－3～5で分かるように、各調査とも吐出量が大きいほど管内圧力は大きくなっている。また、ベンド(曲)管の前後では管内圧力が大きく変化している。

図－6からFc600の水平圧送においては、吐出量が変わっても管内圧力にはほとんど差が見られない。

表－4において垂直圧送時の設定吐出量が同じ場合には、直管およびベンド管ともに W/C が小さいほど圧力損失は大きくなっている。ベンド管の管内圧力損失を、水平直管(P 1～P 2間)と比較してみると、水平および垂直ベンド管ともに大きく、各調査間で5～13倍程度大きくなった。これはベンド管の抵抗以外に単位セメント量が増加するほど粘性が増したためと考えられる。垂直圧送の場合ポンプに近い水平管(P1～P 2間)とそれより遠い水平管(P 3～P 4間)での圧力損失の間に1.4～3.0倍程度の差が見られた。水平圧送の場合も同様の傾向を示しているが、垂直圧送の場合に比べ各測定位置での差は少ない。

図－7から実吐出量と管内圧力損失の間には極めて高い相関関係が認められる。Fc 365およびFc 440では垂直管の管内圧力損失の方が水平管のそれよりやや大きい、Fc 600では逆に水平管の方が1.2～1.3倍程大きい結果となった。普通強度のコンクリートの場合と比較すると¹⁾ Fc 365では約3倍、Fc 440では約5倍、Fc 600では約8～9倍それぞれ大きかった。水平管(P 3～P 4間)の管内圧力損失の結果を基準にすると、各調査において垂直管の方が水平管の管内圧力損失より1.4～3.0倍程大きい結果が示された。

3.2 圧送前後のフレッシュコンクリートの性質

表－5にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。

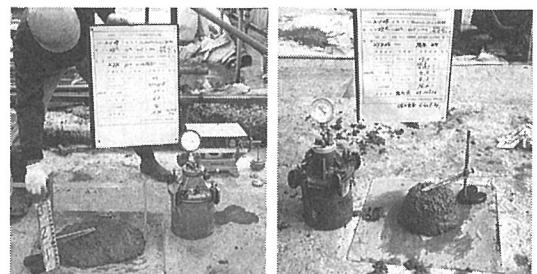
圧送によりスランプおよびフロー値はそれぞれ1～6 cm, 3.5～13.0 cm低下した。特にFc 600の垂直圧送後には著しい低下を示した。空気量は、 W/C が小さい場合、垂直圧送後にやや減少することが分かった。なお単位容積重量およびコンクリート温度には大きな変化は見られなかった。

表－5 圧送前後のフレッシュコンクリートの試験結果

(設定吐出量; 35 m³/h)						
調査記号	採取場所	スランプ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/m³)	コンクリート 温度 (℃)
Fc365	荷卸	22.5	42.0	3.2	2314	10.5
	筒先(垂直)	21.5	38.5	3.3	2310	12.0
Fc440	荷卸	21.5	38.5	4.8	2311	14.0
	筒先(垂直)	19.0	30.3	4.2	2342	12.0
Fc600	荷卸	23.0	41.5	4.9	2423	16.0
	筒先(垂直)	17.0	28.5	4.3	2367	16.0
Fc600	荷卸	21.5	38.0	4.4	2348	15.0
	筒先(水平)	19.0	30.5	4.5	2372	15.0

注) 荷卸とは圧送前をいい、筒先とは圧送後をいう。

写真－6にFc 600の垂直圧送前後の試験状況を示す。



圧送前

圧送後

写真－6 Fc 600の垂直圧送前後の試験状況

4. まとめ

本研究により、高強度コンクリートでは普通強度のコンクリートに比べ、調査および吐出量の違いによって、3～9倍の高い圧送負荷を示した。また、 W/C の小さい高強度コンクリートは垂直圧送により著しいスランプ低下を示したが、それ以外では水平および垂

直圧送前後のコンクリートの品質に大きな変化が見られなかった。したがって、Fc 600 程度の高強度コンクリートの圧送についてはほとんど問題がないと考えられる。

以上、高強度コンクリートのポンプ圧送による管内抵抗・コンクリートの品質変化について明らかにすることができたが、今後はさらに実施工を行って締め固め等の施工性についても実験を重ねていきたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会 コンクリートポンプ工法施工指針
案同解説

その2 硬化コンクリートの品質

1. はじめに

ここでは、その1に引き続き3種類の高強度コンクリートに関して、各採取場所における強度変動、ポンプ圧送前後のコア強度、凍結融解に対する抵抗性、乾燥収縮および材料分離性状について検討した結果を述べる。

2. 実験方法

実験に使用したコンクリートの材料、計画調査および製造は、その1に示したとおりである。

2.1 試料の採取

試験に供したコンクリート試料の採取は、以下の各地点で行った。〔 〕は、試料採取場所を示す。

圧送前;

- ・練り上がり直後（レーダーミクストコンクリート工場（プラント）にて試験を実施した）
- ・実験場荷卸地点（練上がり後60分）

圧送途中;

- ・ポンプ圧送中の荷卸地点から30m位置の水平管内（ただしFc600のみ）〔途中〕

圧送後;

- ・水平配管 41.6m、垂直配管 20.3mにおける打込み地点の配管（垂直圧送）先端〔筒先V〕
- ・水平配管 91.4m、垂直配管 3.50mにおける打込み地点の配管（水平圧送）先端〔筒先H〕

打設方法（垂直圧送、水平圧送）、試験コンクリートの記号（Fc365、Fc440、Fc600）、試料採取の場所を表-1に示す。強度試験用の供試体は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のシリンダー供試体およびコア供試体とし、シリンダー供試体の養生は標準養生、現場水中養生、現場封かん養生とした。コア採取用のブロック試験体は、各強度とも垂直圧送時の荷卸および筒先V（ $35\text{m}^3/\text{h}$ ）の試料で作成した（各記号とも2体ずつ、計6体）。コア供試体は、図-1に示す無筋のブロック試験体から材令24～25日あるいは86～87日に、コンクリートの打込み方向に $\phi 10 \times 90\text{cm}$ のコアをそれぞれ3本採取した。1本のコアから、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のコア供試体を4体作成し、材令28日あるいは91日で強度試験を実施した。ブロック試験体は、現場空气中養生とした（試験体作成後、材令28日までの平均気温は約5℃であった）。

写真-1にブロック試験体を、写真-2に供試体の作成状況を示す。

表-1 試料の区分（○印：試料採取）

打設方法	コンクリート記号	試料採取場所					
		プラント	荷卸	筒先V		途中	筒先H
				20 m^3/h	35 m^3/h		
垂直圧送	Fc365	○	○*	○	○*	...	...
	Fc440	○	○*	○	○*	...	...
	Fc600	○	○*	○	○*	○	...
水平圧送	Fc600	...	○	...	...	...	○

- ・水平圧送: (その3)に示す実大試験体打設
- ・*: コア採取用ブロック試験体も作成

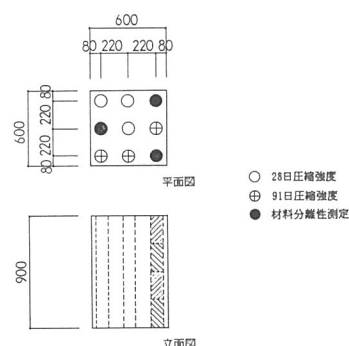


図-1 ブロック試験体の形状とコア採取位置



写真-1 ブロック試験体（コア採取時）



写真-2 供試体の作成状況

2.2 試験項目および試験方法

試験項目を表－2に示す。それぞれの試験は、該当するJISに定める方法に従って行った。材料分離性は、JISA 1110（粗骨材の比重および吸水率試験方法）に準じて測定した。即ち、ブロック試験体から材令27日で採取した3本のコアの垂直上下方向間を3cm等間隔でスライスした薄板状供試体の比重を測定し、各供試体比重と平均比重との差により調べた。

表－2 試験項目

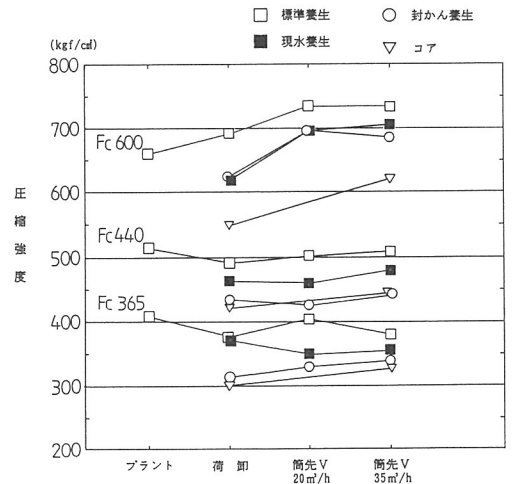
- ・圧縮強度(シリンダー供試体およびコア供試体)
 - ・引張強度(割裂)
 - ・凍結融解抵抗性(300サイクル)
 - ・長さ変化率
 - ・材料分離性

3. 実験結果および検討

3.1 硬化コンクリートの強度

コンクリートの強度試験結果を表－3に示す（コアは12本の平均を、それ以外は3本の平均を示す）。また、図－2に、試料採取場所と圧縮強度（材令28日）の関係を示す。Fc 600の場合はプラント時の強度に比

較して、荷卸時、筒先Vとコンクリートの移動に伴って各地点の強度は増大し、圧送後の筒先Vでは11%程度の増加となった。Fc 365, Fc 440 の場合には、プラント時の強度に比べて若干減少しているが、各採取場所間の変動は小さい。なお各調査での目標設計基準強度については、Fc 365 の場合にやや設計基準強度との差が小さかったが、Fc 440, Fc 600 ではほぼ目標強



図－2 試料採取場所と圧縮強度(材令28日)の関係

表－3 コンクリート強度試験結果

(単位: kgf/cm²)

コンクリート記号	材令 (d)	プラント	荷 卸					筒 先 V 20m/h			筒 先 V 35m/h				途 中			筒 先 H		
		標準	標準	現水	封かん	コア	標準	現水	封かん	標準	現水	封かん	コア	標準	現水	封かん	標準	現水	封かん	
Fc 365 (垂直圧送)	7	311	267	163	160	...	273	191	182	276	191	185	...							
	28	408	375 29.8	370	314	302	405	349	328	380 28.1	356	327	338							
	91	...	...	...	397	407	...	...	384	...	...	395	398							
Fc 440 (垂直圧送)	7	409	376	260	244	...	365	281	270	376	293	268	...							
	28	515	488 32.4	463	438	422	502	458	426	509 37.4	481	443	445							
	91	...	...	...	512	518	...	...	465	...	...	522	554							
Fc 600 (垂直圧送)	7	530	539	386	368	...	580	453	436	571	462	446	...	611	453	443				
	28	662	692 40.7	619	624	550	733	696	696	733 51.8	709	685	621	754 51.5	696	689				
	91	...	...	...	685	626	...	...	762	...	...	781	701	...	...	776				
Fc 600 (水平圧送)	7		...	...	...	...											...	...	...	
	28		696 50.1	643	633	...											760 42.8	656	686	
	91		...	...	718	...											...	...	792	

(材令28日の欄の上段：圧縮強度、下段：引張強度)

度を達成していると考えられる。養生の違いによる圧縮強度への影響は、各調査及び圧送前後において、ほぼ標準水中>現場水中>現場封かんの順となった。これらの強度差は、養生温度の影響によるものと思われる。

材令28日の引張強度は各調査において圧縮強度の1/13~1/17程度となり、普通コンクリートよりも圧縮強度に対する割合は小さかった。

コア強度は、Fc 440 の荷卸時を除いてブロック試験体の下部ほど強度は高く、最上部より5~28%程大きい値であった。これは側圧、圧密等の影響によるものと考えられる。

図-3に、セメント水比(C/W)と圧縮強度との関係を示す。C/W 2.2~3.7 (W/C=27.5~45%)では、圧縮強度はC/Wにはば比例していると考えられる。

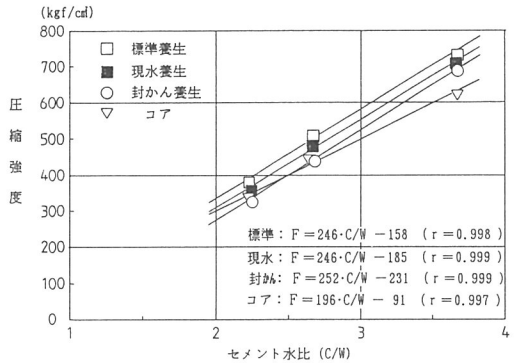


図-3 セメント水比(C/W)と材令28日圧縮強度(筒先V: 35m³/h)の関係

3.2 凍結融解抵抗性

凍結融解試験の結果を表-4に示す。荷卸時および筒先VともにW/Cが小さいほど相対動弾性係数は大きくなった。特にFc 600では、動弾性係数の低下はほとんど見られず、凍結融解に対して十分な抵抗性があると考えられる。Fc 365, Fc 440では、荷卸時の結果はJASS 5の高耐久性コンクリートの品質目標値(耐久性指数70以上)を上回ったが、筒先Vでは目標値に達せず、Fc 365では135~165サイクル間で破壊した。この原因としては、Fc 365は空気量が少なめであったこと、ポンプ圧送による空気量の変動(減少)、供試体作成時の空気量のばらつき等が考えられる。

表-4 凍結融解抵抗性試験結果(300サイクル)

コンクリート記号	荷卸		筒先V (35 m³/h)	
	相対動弾性係数(%)	質量変化率(%)	相対動弾性係数(%)	質量変化率(%)
Fc 365	70	-7.2	破壊 ¹⁾	-
Fc 440	73	-1.6	42	-1.3
Fc 600	98	-0.1	97	-0.1

1) 135サイクルと165サイクルの間

3.3 長さ変化試験

乾燥収縮による長さ変化率の試験結果を表-5に示す。荷卸時ではFc 365が若干大きな収縮量を示したが、筒先Vではコンクリート強度が小さいほど、即ちW/Cが大きいほど大きな収縮量を示した。

表-5 長さ変化試験結果(乾燥期間26週)

コンクリート記号	荷卸		筒先V (35 m³/h)	
	長さ変化率(×10⁻⁶)	質量減少率(%)	長さ変化率(×10⁻⁶)	質量減少率(%)
Fc 365	858	3.0	967	3.2
Fc 440	734	1.9	793	1.9
Fc 600	737	1.1	640	1.0

3.4 材料分離性

材料分離性試験の結果を図-4に示す。各調査間の平均比重とW/Cとの間には、明確な関係はみられなかった。W/Cの小さいコンクリートほど、上部では平均比重との差は小さい傾向を示しているが、Fc 600では上下方向間の比重差は小さく、構造体全体の均質性が高いと考えられる。

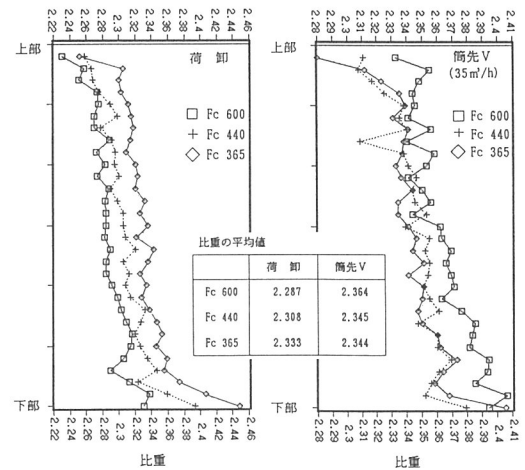


図-4 材料分離性測定結果

4. まとめ

その1で示した計画調査によってほぼ目標とする強度が達成された。また、ポンプ圧送による強度変化もほとんど見られず、品質の良好な高強度コンクリートが得られた。しかし、中性化等他の耐久性性状についても今後さらに検討が必要と考えている。

その3 実大構造部材への打設性状

1. はじめに

ここでは、その1の実験で圧送した高強度コンクリートの、実大構造部材（柱・はり付壁）への打設性状を調べるために行った構造体強度試験結果を述べる。

2. 実験方法

使用材料、計画調査および製造は、その1に示したとおりである。ただし試料はFc 600のみとし、ポンプ圧送の配管はその1で示した水平圧送とした。

2.1 構造物試験体および試験項目

前掲その1、その2で用いたコンクリートFc 600を使用して、実大規模の構造部材をポンプ圧送により打設し、硬化後の構造体強度を調べた。構造物試験体の平面図、立面図を図-1に示す。

構造物試験体の打設に際しては、VH分離打設・連続（一体）打設を想定して打込み方法を次の2種類とした。一方は、はり底で一旦コンクリートを打止め、はり部分を後日に打込む分離打設（今回の実験では、分

離打設の、はり底までの部分は2日前に打設し、残りの部分を連続打設と同じ日に打設した）による方法であり、もう一つの方法は、構造体部分をはり天端まで一度に打ち上げる連続（一体）打設による方法である。

コア供試体は、図-1に示す各位置で、材令21～24日あるいは86～87日にコアボーリングし、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ に成形した。試験は、材令28日および91日に圧縮および引張強度試験を行った。比較用として圧送後のコンクリートから $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のシリンダー供試体を作成し、標準水中養生、現場水中養生および現場封かん養生を行い、それぞれについて材令28日の圧縮強度を求めた（その2の、表-3；筒先Hに相当する）。

なお、初期硬化時の部材の内部温度履歴を調べるため、柱部材の高さ方向の中央において表層部分（4～5cm内側）および中心（表面から40cm）の温度を、また、同じ高さの壁部材の中心（表面から15cm）の温度を熱電対により測定した。写真-1に構造物試験体を、写真-2にコンクリート打設の状況を示す。

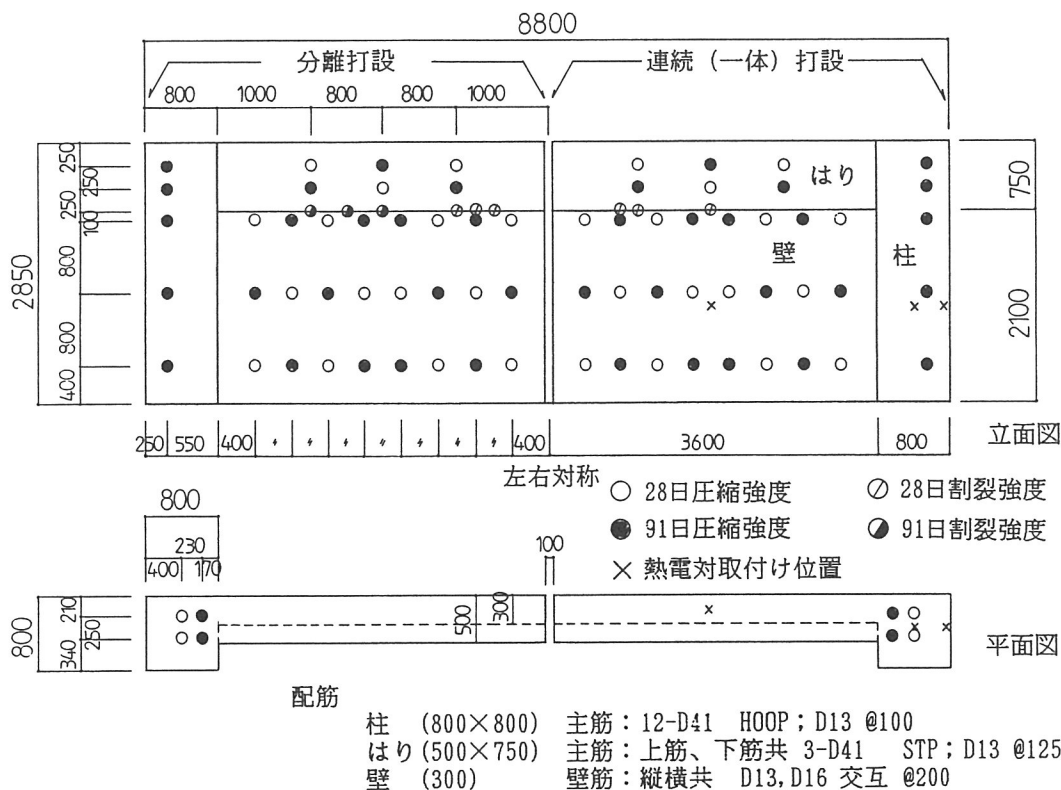


図-1 構造物試験体およびコア採取位置

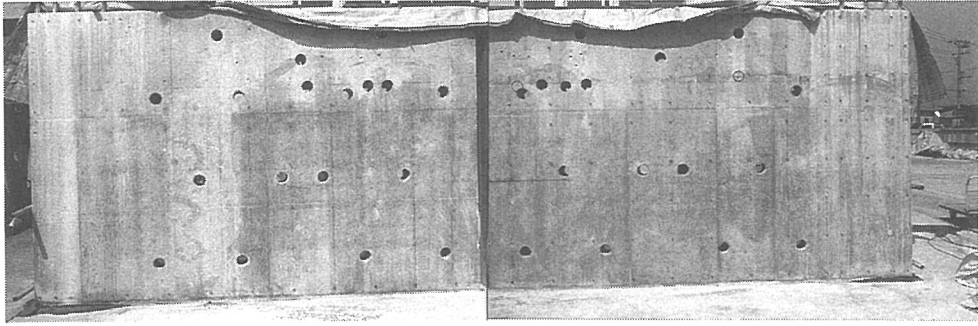


写真-1 構造物試験体裏面（右側が分離打設）

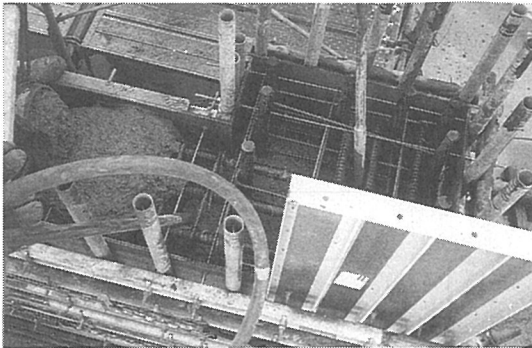


写真-2 コンクリート打設の状況
（分離打設の、後打ちコンクリート部分）

3. 結果および検討

3.1 構造体強度

構造体強度の試験結果を表-1に、柱および壁構造体の鉛直方向強度分布を図-2および図-3に示す。柱部材の強度は、柱の上部においてバラツキが若干大きくなった。これは、柱の上部では鉄筋が錯綜しているため、作成したコア供試体に鉄筋を部分的に含んでいたものもあったことが主な原因と考えられ、全体としては、柱部材上下間の強度差は最上部を除いてほとんど無いものと思われる。壁部材の強度は、連続打設の場合は下部が上部および中央部に比べ8～18%程度大きくなったが、分離打設の場合には上下方向の強度差はほとんど見られなかった。

図-4にコア強度とシリンドー強度との比較の結果を示す。柱、はり、壁の各部材間の強度では、壁が若干高くなったが、大きな差は認められなかった。コア強度とシリンドー強度とを材令4週の強度で比較すると、シリンドー強度では、標準水中養生が最大で、コア強度より16～21%大きく、現場水中養生のシリンドー強度はコア強度とほぼ等しい値となった。

表-1 コア供試体の強度試験結果

部材	試料採取方向	項 目	分離打設		連続打設	
			材令4週	材令13週	材令4週	材令13週
柱	垂直	試料数	29	30	30	30
		平均強度(kgf/cm ²)	644	719	644	693
		標準偏差(kgf/cm ²)	44.0	44.4	35.9	64.8
	水平	変動係数(%)	6.8	6.2	5.6	9.4
		試料数	...	10	...	10
		平均強度(kgf/cm ²)	...	647	...	659
はり	水平	標準偏差(kgf/cm ²)	...	43.3	...	46.5
		変動係数(%)	...	6.7	...	7.1
	垂直	試料数	6	6	6	6
		平均強度(kgf/cm ²)	651	693	629	699
		標準偏差(kgf/cm ²)	22.0	23.8	18.0	25.7
	壁	変動係数(%)	3.4	3.4	2.9	3.7
壁	水平	試料数	12	12	10	12
		平均強度(kgf/cm ²)	661	742	658	737
		標準偏差(kgf/cm ²)	27.0	25.6	32.3	49.5
	垂直	変動係数(%)	4.1	3.4	4.9	6.7

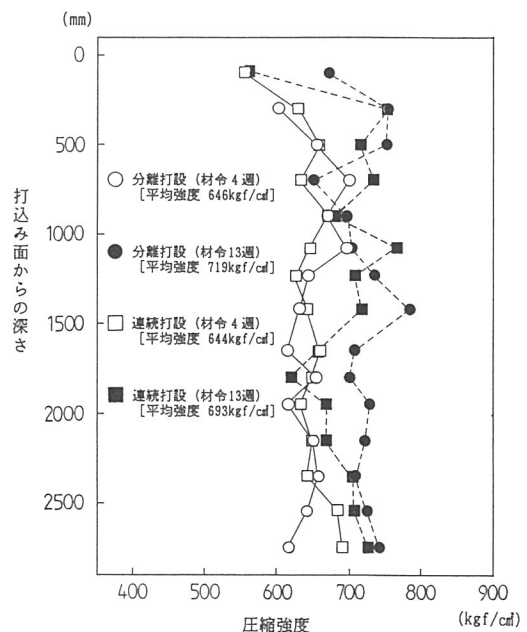
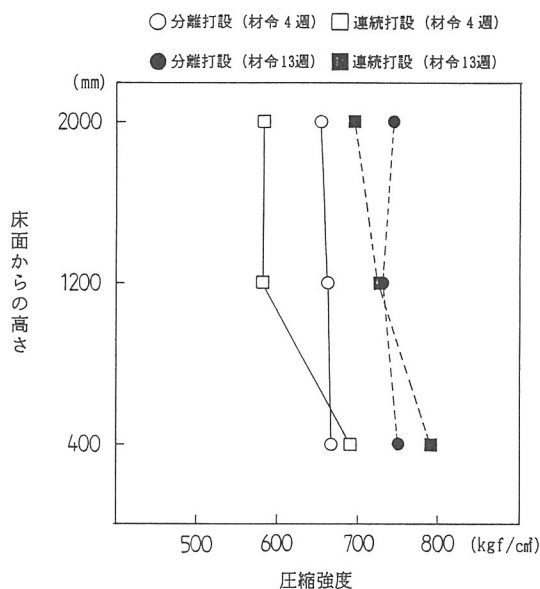
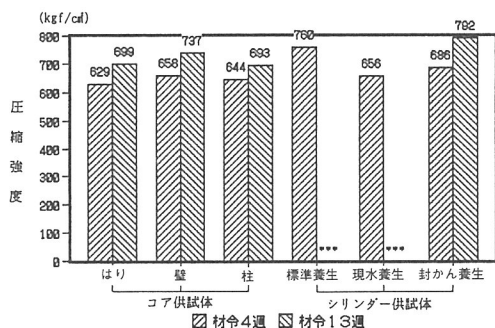


図-2 柱部材の鉛直方向強度分布



図－3 壁部材の鉛直方向強度分布



図－4 コア強度とシリンダー強度との比較

3.2 分離打設と連続打設の差異

分離打設の打継ぎ部分（はり下端）と、連続打設の同一位置の引張強度試験結果を表－2に示す。打継ぎ面が供試体の中央にならなかったものもあったせいか、分離打設の方がやや大きい結果となった。この結果が、分離打設の場合の打継ぎ部の性状を適切に示しているとは必ずしも言えないが、図－3および表－2の結果と合わせて考えると、打設方法の違いによる打継ぎ部分の性状の明確な相違は認められないものと考えられる。

表－2 はり・壁境界部コアの引張強度試験結果

(単位：kgf/cm²)

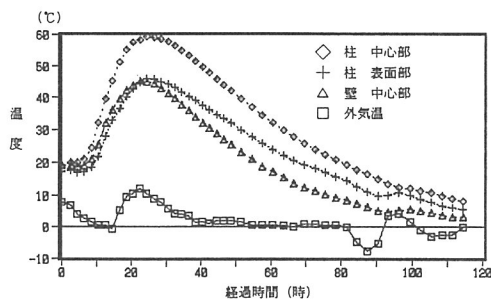
※ 載荷方向	分 離 打 設		連続打設
	材令 4週	材令 13週	材令 4週
N	50.5	43.7	49.4
R	52.0	41.3	44.5

※：Nは、載荷方向が打継ぎ面に直角の場合。

Rは、載荷方向が打継ぎ面に平行の場合。

3.3 柱および壁部材の内部温度

柱および壁部材の、硬化初期の水和発熱による内部温度履歴を図－5に示す。柱中心部と外気温との最大温度差は打設後32.5時間において52.2℃であったが、柱中心部と表層部との最大温度差は13.4℃であった。部材表面には、ひびわれの発生は見られなかった。



図－5 柱および壁の温度履歴

4. まとめ

本実験の結果から、目標設計基準強度600 kgf/cm²程度の高強度コンクリートを用いた構造部材のポンプ圧送による打設は可能と考えられる。高強度になると、設計上の制約から部材内部の鉄筋量が増大し、打込み、締固めが通常のコンクリートに比べ若干難しくなるが、目標強度を有する均質で良好なコンクリート構造体が得られた。また、VH分離打設と連続打設についても、本実験の範囲では構造体の強度性状には明確な相違は認められず、ほぼ同等の品質の構造体が得られたが、ポンプ圧送性、施工性、打継ぎ部の性状等を含めて今後さらに検討が必要と考えられる。

謝辞

その1～その3の研究を行うにあたり御指導いただいた東京理科大学清水研究室の各位に深甚の謝意を表します。