

高強度コンクリートの鉛直・水平部材一体打設に関する実大施工実験

杉山 英祐*¹・中込 昭*¹・梶田 秀幸*¹・宮野 和樹*¹

Experiment of High-Strength Concrete Placing for Column and Beam with Full-Scale Model

Eisuke SUGIYAMA, Akira NAKAGOME, Hideyuki KAJITA, Kazuki MIYANO

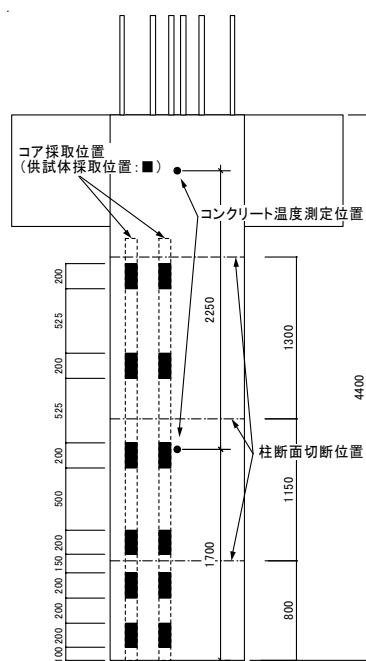


図 実大柱試験体

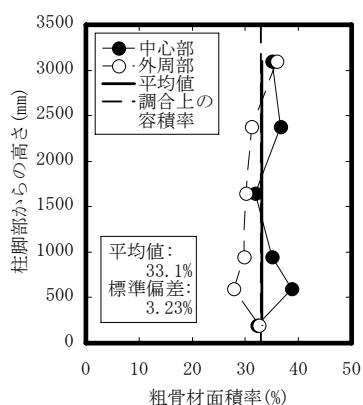


図 粗骨材面積率と柱脚部からの高さの関係(120-SFC)

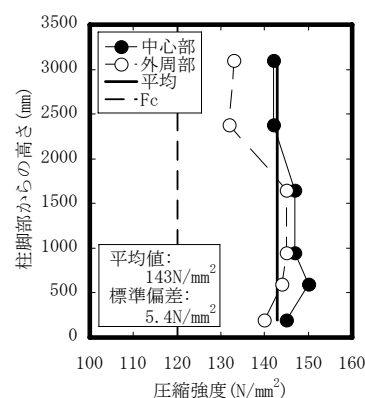


図 圧縮強度と柱脚部からの高さの関係(120-SFC)



(1) 60-M

(2) 80-M

(3) 120-SFC

写真 コンクリートの充填状況

研究の目的

高強度コンクリートを使用する建物では、一般に配筋量が多いため、高強度コンクリートの打設方法は、鉛直部材（柱部材）を密実に締め固められる鉛直・水平部材分離打設が一般的である。しかしながら、高強度コンクリートは、粘性が高いため材料分離が生じにくく、自己充填性を有することから、鉛直・水平部材一体打設が可能であると考えられる。また、鉛直・水平部材一体打設が可能になれば工期を短縮することも可能になる。そこで本報では、鉛直・水平部材一体打設を行っても充填性および強度に問題のない施工方法を、予備実験および実大施工実験により検討した。

技術の説明

通常強度のコンクリートと同様に、高強度コンクリートを鉛直・水平（柱・梁）部材一体で打設する方法、打設の合理化により、工期短縮およびコストダウンが可能となる。

主な結論

実験による検討の結果、打設したコンクリートは均質かつ密実に充填されていること、および、コア供試体の圧縮強度は設計基準強度を十分上回り、高さ方向の変動も少なくいことから、鉛直・水平一体打設方法を適用しても、コンクリートの品質は良好であることが確認できた。

* 1 本店 技術本部 ものづくりセンター

高強度コンクリートの鉛直・水平部材一体打設に関する 実大施工実験

杉 山 英 祐^{*1} 中 込 昭^{*1}
梶 田 秀 幸^{*1} 宮 野 和 樹^{*1}

要 旨

高強度コンクリートを使用する建物では、一般に配筋量が多いため、高強度コンクリートの打設方法は、鉛直部材（柱部材）を密実に締固められる鉛直・水平部材分離打設が一般的である。しかしながら、高強度コンクリートは、粘性が高いため材料分離が生じにくく、自己充填性を有することから、鉛直・水平部材一体打設が可能であると考えられる。また、鉛直・水平部材一体打設が可能になれば工期を短縮することも可能になる。

そこで本報では、鉛直・水平部材一体打設を行っても充填性および強度に問題のない施工方法を、予備実験および実大施工実験により検討した。その結果、鉛直・水平部材一体打設を行ったコンクリートは均質かつ密実に充填されていること、および、コア供試体の圧縮強度は設計基準強度を十分上回り、高さ方向の変動も少ないことから、鉛直・水平一体打設方法を適用しても、コンクリートの品質は良好であることが確認できた。

キーワード 高強度コンクリート／施工／打設／フレッシュコンクリート／圧縮強度

目 次

- | | |
|---------|-----------|
| 1. はじめに | 3. 実大施工実験 |
| 2. 予備実験 | 4. まとめ |

EXPERIMENT OF HIGH-STRENGTH CONCRETE PLACING FOR COLUMN AND BEAM WITH FULL-SCALE MODEL

Eisuke SUGIYAMA Akira NAKAGOME
Hideyuki KAJITA Kazuki MIYANO

Synopsis:

In general, high-strength concrete is placed in vertical members (columns) separately from horizontal members (beams), because the amount of reinforcement bars in columns and beams are larger than that of ordinary strength concrete. However, the property of high-strength concrete such as viscosity or self-compacting ability may well make it possible to place high-strength concrete into vertical member and horizontal member at the same time. In addition, it may be able to make the duration of construction shorter.

Then, authors carried out the experiments of high-strength concrete placing for column and beams with full-scale mode in order to confirm the quality of column concrete placed with beam.

From the results of the tests, it turns out that the column concrete placed with beam has sufficient quality such as uniformity, density and strength. We also confirm that the strength variable of test pieces derived from core specimens is quite subtle and all data of the compressive strength are far stronger than specified strength.

* 1 本店 技術本部 ものづくりセンター

1. はじめに

高強度コンクリートを使用する建物では、一般に配筋量が多いため、高強度コンクリートの打設方法は、鉛直部材（柱部材）を密実に締固められる鉛直・水平部材（以下、VH とする）分離打設が一般的である。しかしながら、高強度コンクリートは、粘性が高いため材料分離が生じにくく、自己充填性を有することから、VH 一体打設が可能であると考えられる（図-1 に VH 分離打設と VH 一体打設の模式図を示す）。また、VH 一体打設が可能になれば工期を短縮することも可能になる。

そこで本報では、VH 一体打設を行っても充填性および強度に問題のない施工方法を、予備実験および実大施工実験により検討した。

2. 予備実験

VH 一体打設の実現性を検討するための予備実験として、コンクリートを柱梁接合部の上部から流し込み、配筋量の多い柱梁接合部を通過させる場合の施工方法、分離の有無、充填性、コア供試体による圧縮強度等の確認を行った。

2.1 使用材料および調合

表-1 に使用材料を、表-2 に使用材料の組合せを、表-3 に調合をそれぞれ示す。設計基準強度（以下、 F_c とする） 80N/mm^2 では、セメントおよびポリプロピレン（以下、PP とする）による影響を、 $F_c 120\text{N/mm}^2$ では PP の有無による影響を検討した。

2.2 試験体

図-2 に予備実験試験体として、 $F_c 80\text{N/mm}^2$ の試験体を例示する。上記の実現性を検討するための項目が確認できる最小限の試験体として、柱の断面は実断面の 1/4 断面とし、試験体高さは柱梁接合部を含め $1,500\text{mm}$ とした。配筋は後述する実大柱試験体の配筋仕様と同様とした。

2.3 試験項目および打設方法

表-4 に試験項目および試験方法を示す。コア供試体の

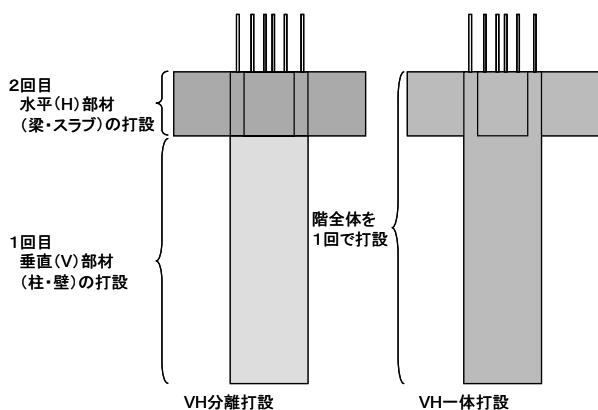


図-1 VH 分離打設と VH 一体打設

圧縮強度試験は材齢 28 日で行った。

コンクリートは、 0.30m^3 バケットを用いて、柱梁接合部の上部から流し込み、バイブレータによる締固めを行った。打設範囲は試験体下端から 550mm までとした。

表-1 予備実験の使用材料

区分	記号	種類	品質・特徴
セメント (C)	MC	中庸熟ポルトランドセメント	密度 3.21g/cm^3
	LC	低熱ポルトランドセメント	密度 3.22g/cm^3
	SFC	シリカフェム混入セメント	密度 3.08g/cm^3
細骨材 (S)	S1	陸砂	密度 2.60g/cm^3
	S2	石灰砕砂	密度 2.64g/cm^3
粗骨材 (G)	G1	硬質砂岩碎石	密度 2.65g/cm^3
混和剤 (SP)	SP1	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物
	SP2	高性能減水剤	ポリカルボン酸系化合物
ポリプロピレン(PP)	Po	ポリプロピレン樹脂粉末	$18\mu\text{m}/2\text{mm}$, 密度 0.91g/cm^3
	P10	ポリプロピレン短繊維	$48\mu\text{m}/10\text{mm}$, 密度 0.91g/cm^3

表-2 予備実験の使用材料の組合せ

調合No.	F_c (N/mm^2)	C	S	G	SP	PP
80-M-Po	80	MC	S1+S2*	G1	SP1	Po
80-M-P10	80	MC	S1+S2*	G1	SP1	P10
80-L-Po	80	LC	S1+S2*	G1	SP1	Po
80-L-P10	80	LC	S1+S2*	G1	SP1	P10
120-SFC	120	SFC	S1+S2*	G1	SP2	-
120-SFC-P10	120	SFC	S1+S2*	G1	SP2	P10

*混合質量比 S1:S2=8:2

表-3 予備実験の調合

調合No.	スランプフロー (cm)	Air (%)	W/C (%)	単位量(kg/m^3)				SP 使用量 ($\text{C}\%$)	PP 混入量 (kg/m^3)
				W	C	S	G		
80-M-Po	65	2.0	25.0	170	680	715	859	2.00	1.0
80-M-P10	65	2.0	25.0	170	680	715	859	2.00	1.0
80-L-Po	65	2.0	25.0	170	680	716	859	1.55	1.0
80-L-P10	65	2.0	25.0	170	680	716	859	1.55	1.0
120-SFC	70	1.5	17.0	150	883	468	859	1.60	1.0
120-SFC-P10	70	1.5	17.0	150	883	468	859	1.60	1.0

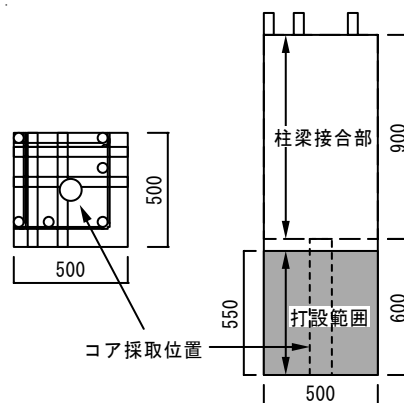


図-2 予備実験試験体

表-4 予備実験の試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
フレッシュ コンクリート	スランプフロー	JIS A 1150
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	棒状温度計により測定
	粘性・降伏値	メッシュ透過試験 ¹⁾
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108 (標準養生)
		JIS A 1107 (コア)

2.4 予備実験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

表-5 にフレッシュコンクリート試験結果を示す。PP 樹脂粉末および PP 繊維を混入した場合も含め、いずれの調査においてもフレッシュコンクリートの品質目標値（スランプフロー値は Fc80N/mm^2 : $65 \pm 10\text{cm}$, Fc120N/mm^2 : $70 \pm 10\text{cm}$, 空気量は Fc80N/mm^2 : $2.0 \pm 1.0\%$, Fc120N/mm^2 : $1.5 \pm 1.0\%$) を満足した。

図-3 にメッシュ透過試験結果として、メッシュ透過試験により求まる見かけの粘性 I（以下、粘性 I とする）および見かけの降伏値 T_y （以下、降伏値 T_y とする）を示す。粘性 I については、 Fc80N/mm^2 ではいずれのセメントでも PP 樹脂粉末（Po）を使用した調査の方が高く、 Fc120N/mm^2 では PP の有無によらず同程度であった。降伏値 T_y については、 Fc80N/mm^2 の中庸熱セメントを使用した調査が他の調査よりもわずかに大きくなった。これらの結果から、 Fc80N/mm^2 では、粘性 I および降伏値 T_y が最も高かった中庸熱セメントと PP 樹脂粉末の調査が施工条件の最も厳しい調査と判断した。

(2) 打設状況および充填状況

試験体への打設については、いずれの調査においても、バケット放出口の閉塞などは見られず、スムーズに打込むことができた。

型枠脱型後の外観を目視観察した結果、各試験体とも、型枠と接した部分に色むらや空隙がなく、隅々までコンクリートが密実で、かつ均質な状態で充填されていることが確認できた。

(3) 密度および圧縮強度

図-4 にコア供試体の見かけ密度を、図-5 にコア供試体の圧縮強度をそれぞれ示す。高さ方向の密度変動が小さいことから、打設されたコンクリートに材料分離はないものと思われる。また、120-SFC ではややばらつきが見られるものの、いずれの調査においても想定した設計基準強度を超える十分な圧縮強度が発現し、VH 一体打設による圧縮強度の低下は認められなかった。

2.5 予備実験まとめ

予備実験の結果から得られた知見を以下に示す。

- 1) Fc80N/mm^2 では、粘性 I および降伏値 T_y が最も高かった中庸熱セメントと PP 樹脂粉末の調査が施工条件の最も厳しい調査と判断した。 Fc120N/mm^2 では、PP の有無による明確な影響は見られなかった。
- 2) 試験体への打設については、いずれの調査においても、バケット放出口の閉塞などは見られず、スムーズに打込むことができた。
- 3) 各試験体とも、型枠と接した部分に色むらや空隙がなく、隅々までコンクリートが密実で、かつ均質な状態で充填されていることが確認できた。

- 4) 高さ方向の密度変動が小さいことから、打設されたコンクリートに材料分離はないものと思われる。
- 5) いずれの調査においても想定した設計基準強度を超える十分な圧縮強度が発現し、VH 一体打設による圧縮強度の低下は認められなかった。

表-5 予備実験のフレッシュコンクリート

試験結果

調査No.	スランプ フロー値 (cm)	50cmフロー 到達時間 (s)	フロー停 止時間 (s)	空気量 (%)	コンクリート 温度 ($^{\circ}\text{C}$)
80-M-Po	65.0	6.1	41.5	1.1	32.0
80-M-P10	69.0	5.0	44.6	1.2	34.0
80-L-Po	62.0	5.7	31.8	1.3	32.0
80-L-P10	57.0	6.1	33.9	1.6	32.5
120-SFC	74.0	5.3	81.2	0.9	32.0
120-SFC-P10	71.0	5.7	64.6	1.4	34.0

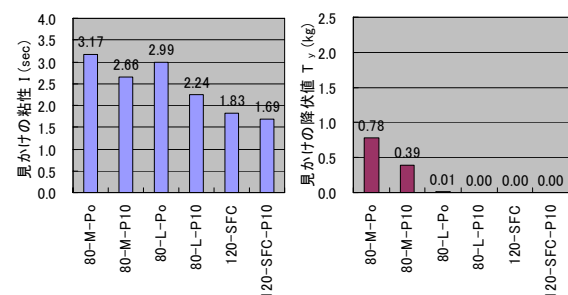


図-3 予備実験のメッシュ透過試験結果

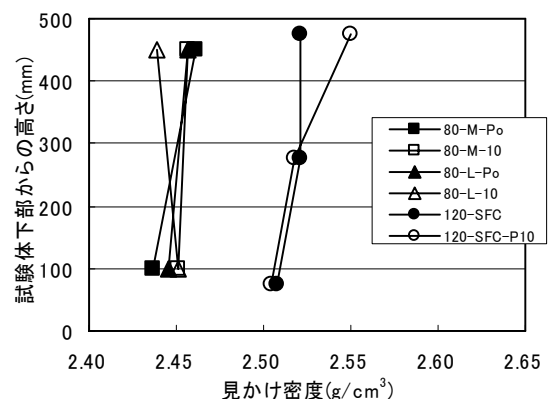


図-4 予備実験のコア供試体の見かけ密度

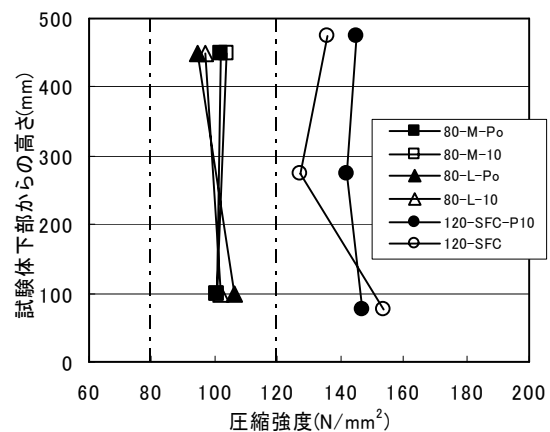


図-5 予備実験のコア供試体の圧縮強度

3. 実大施工実験

予備実験の範囲では、VH 一体打設を行ってもコンクリートの品質に問題はないことが確認でき、この打設方法が高強度コンクリートを用いる場合においても十分合理的な方法であると判断した。そこで、予備実験結果をふまえて実大規模試験体を用いた施工実験を行った。

3.1 使用材料および調査

表-6 に使用材料を、表-7 に使用材料の組合せを、表-8 に調査をそれぞれ示す。Fc は 60,80,120 N/mm² の 3 種類とした。予備実験の結果から Fc80N/mm² では施工条件の最も厳しい中庸熟ポルトランドセメントと PP 樹脂粉末の調査を用いた。Fc120N/mm² では一般的に施工条件が厳しいとされる PP を使用する調査を用いた。

3.2 試験体

図-6 に実大柱試験体を、表-9 に試験体の配筋仕様をそれぞれ示す。試験体は、柱・梁接合部を含む実大柱試験体とした。試験体の高さは、高層 RC 建物で階高が最も高くなる下層階を想定して 4,400mm とした。

3.3 試験項目

表-10 に試験項目および試験方法を示す。打設したコンクリートの材料分離の有無を確認するために、圧縮強度試験用のコア供試体を用いて粗骨材面積率の分布を調べた。

3.4 打設方法

コンクリートは、3.0m³ バケットを用いて、柱梁接合部の上部から打込んだ。1 層の打込み高さは 1m 程度とし、柱梁接合部の上部から挿入したバイブレータにより柱断面の四隅を各 15 秒程度締固めた後に、次の層を打込んだ。また、柱側面部は木槌によるたたきを行った。

表-8 実大施工実験の調査

No.	スランプフロー (cm)	Air (%)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				SP 使用量 (C×%)	PP 混入量 (kg/m ³)
				W	C	S	G		
60-M	55	3.0	31.5	170	540	764	915	1.35	—
80-M	60	2.0	25.0	170	680	715	859	1.75	1.0
120-SFC	65	1.5	17.0	150	882	570	870	1.75	1.0

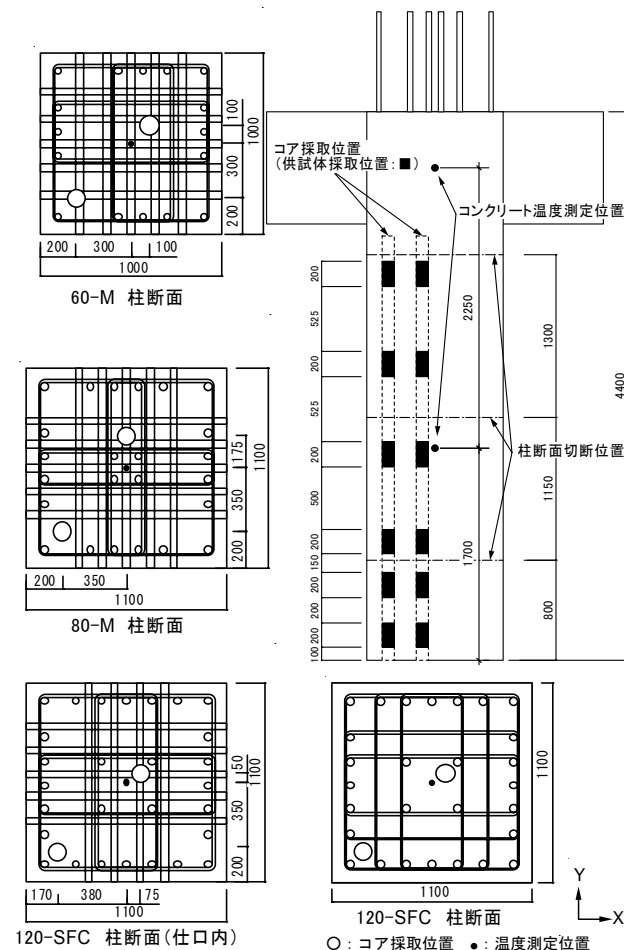


図-6 実大柱試験体

表-6 実大施工実験の使用材料

区分	記号	種類	品質・特徴
セメント (C)	MC	中庸熟ポルトランドセメント	密度 3.21g/cm ³
	SFC	シカフェーム混入セメント	密度 3.08g/cm ³
細骨材 (S)	S1	陸砂	密度 2.60g/cm ³
	S2	石灰砕砂	密度 2.64g/cm ³
	S3	山砂	密度 2.59g/cm ³
粗骨材 (G)	G1	石灰砕石	密度 2.65g/cm ³
	G2	硬質砂岩砕石	密度 2.65g/cm ³
	G3	硬質砂岩砕石	密度 2.64g/cm ³
混和剤 (SP)	SP1	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物
	SP2	高性能減水剤	ポリカルボン酸系化合物
ポリプロピレン(PP)	Po	ポリプロピレン樹脂粉末	18μm/2mm, 密度 0.91g/cm ³
	P10	ポリプロピレン短繊維	48μm/10mm, 密度 0.91g/cm ³

表-7 実大施工実験の使用材料の組合せ

No.	Fc (N/mm ²)	C	S	G	SP	PP
60-M	60	MC	S1+S2*	G1	SP1	-
80-M	80	MC	S1+S2*	G2	SP1	Po
120-SFC	120	SFC	S3	G3	SP2	P10

*混合質量比 S1:S2=8:2

表-9 実大施工実験の配筋仕様

No.	柱			X方向梁		Y方向梁	
	主筋	芯筋	帯筋 (仕口内)	上端筋	下端筋	上端筋	下端筋
60-M	16-D38	-	4-4-D13@100 (4-4-D13@100)	7-D38	5-D38	8-D38	8-D38
80-M	20-D41	4-D41	4-4-D13@100 (4-4-D13@100)	8-D41	5-D41	8-D41	5-D41
120-SFC	24-D41	4-D41	6-6-D13@100 (4-4-D13@100)	7-D38	7-D38	8-D38	8-D38

表-10 実大施工実験の試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
フレッシュ コンクリート	スランプフロー	JIS A 1150
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	棒状温度計により測定
	粘性・降伏値	メッシュ透過試験 ¹⁾
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108(標準養生) JIS A 1107(コア)
	粗骨材面積率	目視によるトレースおよび画像処理

3.5 実大施工実験結果

(1) フレッシュコンクリートの性状

表-11 にフレッシュコンクリート試験結果を示す。いずれの調合においても、スランプフロー値および空気量の目標値（スランプフロー値は 60-M:55±10cm, 80-M:60±10cm, 120-SFC:65±10cm, 空気量は 60-M:3.0±1.5%, 80-M:2.0±1.5%, 120-SFC:1.5±1.0%）を満足した。

図-7 にメッシュ透過試験結果を示す。粘性 I については、中庸熱セメントを使用した 80-M が最も高く、シリカフューム混入セメントを使用した 120-SFC は中庸熱セメントを使用した 60-M とほぼ同程度であった。降伏値 T_y については、いずれの調合もほぼ 0kg であり、 $F_{c60} \sim 120N/mm^2$ のコンクリートは良好な自己充填性を有していると考えられる。

(2) 打設時間

図-8 にコンクリートの打上り高さと打設時間の関係を示す。本実験では、打上り高さ約 1m ごとに柱へのコンクリート打設を中断し、その都度パイプレータによる締固めを行っているが、同図ではこの締固めやバケット移動による打設の中断時間を除いた形で表している。

打設時間は、60-M、120-SFC、80-M の順に長くなった。60-M の打設時間が最も短くなったのは、柱断面が他の試験体より小さく、配筋量も少ないことによるものと思われる。80-M が最も長くなったのは、粘性 I の影響によるものと思われる。

(3) 温度履歴

図-9 に柱試験体中のコンクリートの温度履歴を示す。柱試験体中央部の硬化時の最高温度は、60-M、80-M、120-SFC でそれぞれ、68.2、82.4、71.9℃となった。80-M の温度上昇量が最も大きくなったのは、80-M が結合材に中庸熱ポルトランドセメントを使用したのに対して、120-SFC では低熱ポルトランドセメントを主成分としたものをを用いたためであると思われる。

(4) コンクリートの充填状況

写真-1 に柱試験体の切断面におけるコンクリートの充填状況の一例として、試験体の柱脚部から 800mm の位置

における切断面を示す。いずれの切断面においても大きな空隙は見られず、コンクリートが密実に充填されていることが確認できた。

表-11 実大施工実験のフレッシュコンクリート試験結果

調合No.	台数	スランプフロー値 (cm)	50cmフロー到達時間 (s)	フロー停止時間 (s)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
60-M	1台目	47.5	-	14.1	3.0	26.0
	2台目	60.0	5.4	26.0	1.9	26.0
80-M	1台目	54.0	7.5	26.0	1.2	28.5
	2台目	72.5	7.3	143.7	1.5	28.5
120-SFC	1台目	72.0	8.7	113.3	1.2	28.0
	2台目					

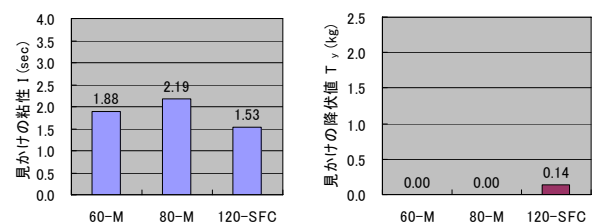


図-7 実大施工実験のメッシュ透過試験結果

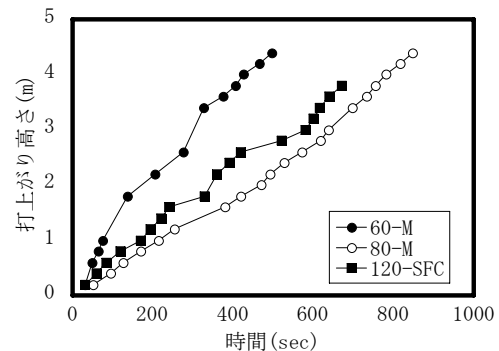


図-8 コンクリートの打上り高さと打設時間の関係

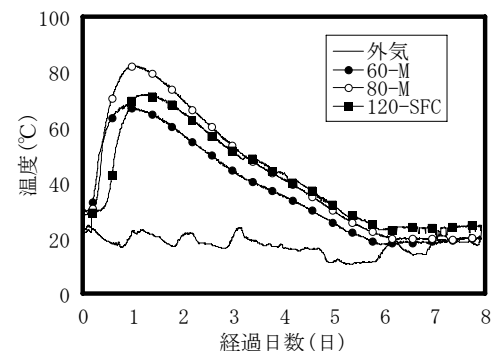


図-9 コンクリートの温度履歴



(1) 60-M



(2) 80-M



(3) 120-SFC

写真-1 コンクリートの充填状況

(5) 粗骨材面積率

図-10 に粗骨材面積率と柱脚部からの高さの関係を示す。粗骨材面積率は、試験体から採取した材齢 91 日の圧縮強度確認用のコア供試体を用いて、供試体側面の粗骨材（5mm 以上）部分について画像処理を行い、測定面積に対する粗骨材面積の割合として算出した。

粗骨材面積率は、60-M、80-M、120-SFC でそれぞれ 32.2、31.8、33.1% となり、これらは調合上の単位粗骨材容積を百分率表記したもの（60-M：34.5%、80-M：32.4%、120-SFC：32.9%）とほぼ同値となった。また、高さ方向と粗骨材面積率の間に明確な相関は見られず、その変動も小さいことから、材料分離のない均質な状態であることが確認できた。

(6) 圧縮強度

標準養生供試体の材齢 28 日圧縮強度は、60-M、80-M、120-SFC でそれぞれ 71.2、104、140N/mm² となった。コア供試体の材齢 91 日圧縮強度は、60-M、80-M、120-SFC でそれぞれ 78.3、104、143N/mm² となった。

図-11 にコア供試体の材齢 91 日における圧縮強度と柱脚部からの高さの関係を示す。いずれの場合においても、コア強度は想定した設計基準強度を上回り、十分な圧縮強度が確保できた。また、各試験体内における圧縮強度の標準偏差も小さく、均質な状態のコンクリートが打設されているといえる。

3.6 実大施工実験まとめ

実大施工実験の結果から得られた知見を以下に示す。

- 1) 打設時間は、60-M、120-SFC、80-M の順に長く、これは試験体および粘性 I の影響によるものと思われる。
- 2) 粗骨材面積率が調合上の値とほぼ等しく、高さ方向の分布についても問題はないことおよび柱切断面の目視確認により、試験体が均質かつ密実に充填されていることが確認できた。
- 3) 試験体から採取したコア供試体の圧縮強度は想定した設計基準強度を十分上回った。
- 4) 高さ方向におけるコア供試体の圧縮強度の変動は小さく、自由落下高さが 4,400mm の今回の打設条件において

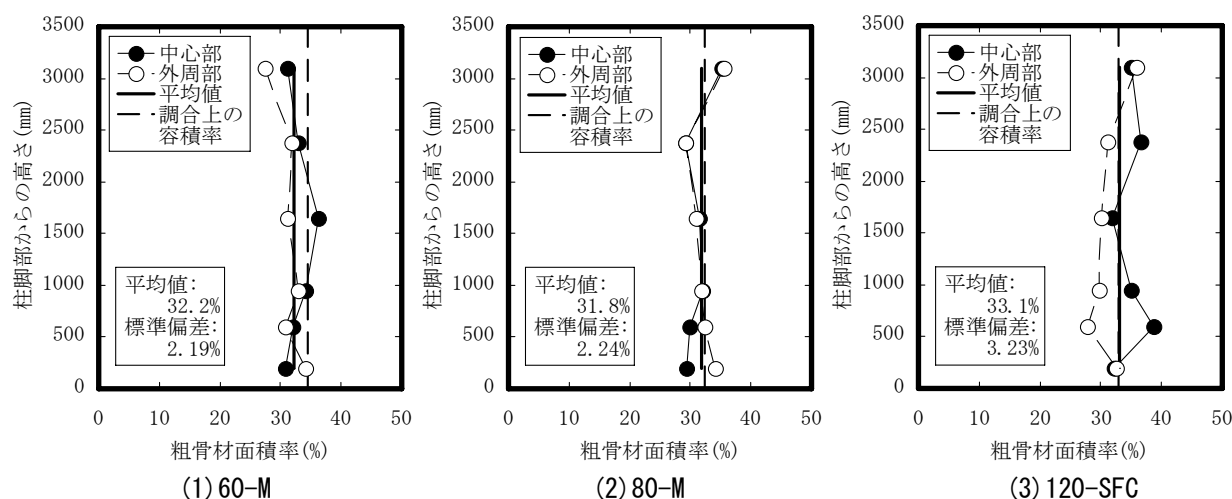


図-10 粗骨材面積率と柱脚部からの高さの関係

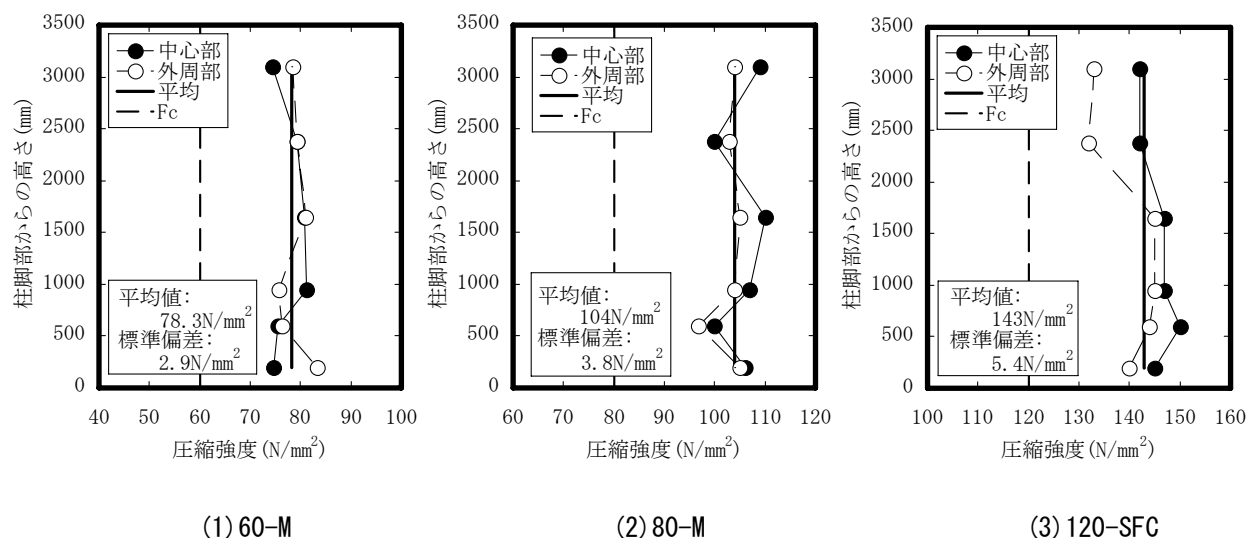


図-11 コア供試体の圧縮強度と柱脚部からの高さの関係

てもコンクリートの品質は良好であることが確認できた。

以上の点から、VH 一体打設を適用しても打設した高強度コンクリートの品質は安定していることが確認できた。

なお、VH 一体打設の適用が可能な高強度コンクリートは、所定の材料分離抵抗性および自己充填性を有するものである。今回の結果から、適用性の評価は、メッシュ透過試験により求まる見かけの粘性 I および見かけの降伏値 T_y を用いて行うことが可能であると考えられ、粘性 I が 1.5sec 以上 3.5sec 以下、かつ降伏値 T_y が 1.0kg 以下の場合が、適用の目安になると考えられる。

4. まとめ

小型試験体を用いた予備実験を行い、VH 一体打設方法の施工性およびコンクリートの充填性を確認した。その結果、VH 一体打設を行ってもコンクリートの品質上の問題が少ないことが確認でき、この方法が十分適用可能で

あると判断した。

続いて、高強度コンクリートの VH 一体打設方法の妥当性を確認することを目的として実大施工実験を行った。その結果、打設したコンクリートは均質かつ密実に充填されていること、および、コア供試体の圧縮強度は設計基準強度を十分上回り、高さ方向の変動も小さいことから、鉛直・水平一体打設方法を適用しても、コンクリートの品質は良好であることが確認できた。

本報は、（株）錢高組との共同研究として実施した結果をとりまとめたものである。

参考文献

- 1) 寺西浩司，谷川恭雄，森博嗣，江口清：超高強度コンクリートのワーカビリティ評価手法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.1，pp.131-136，1991.