

現場添加型高流動化コンクリートの拡充

－高炉セメントの利用－

Expansion of High-Superplasticized Concrete for On-Site Addition

- Usage of Portland Blast-Furnace Slag Cement -

赤星博仁* 河野政典** 伊藤 淳* 藤田基記***

要 旨

近年、環境負荷低減の観点から、コンクリート工事においては、高炉セメントの利用が推進されている。そこで、既開発の「奥村式現場添加型高流動化コンクリート」の適用範囲の拡充として、高炉セメント B 種を用いた調合を加えるために、製造実験及び施工実験を行った。トラックアジテータによる製造実験では、スランブフローの保持性能、圧縮強度、及び材料分離抵抗性を確認した。施工実験においては、9m の横流しを行ったコンクリートの粗骨材の状態と圧縮強度特性を検証した。その結果、実案件の施工に必要な性能を有していることを確認した。以上のことから、現場添加型高流動化コンクリートに高炉セメント B 種を用いることが可能になった。

キーワード：コンクリート、高流動、流動化、高炉セメント、材料分離抵抗性、施工実験

1. まえがき

近年のコンクリート躯体は、形状が複雑な部材、配筋が密な部材が増えつつあり、コンクリート工事においては、それらに対応すべく、流動性、充填性を高めたコンクリート、すなわち高流動コンクリートのニーズが高まっている。「高流動コンクリート」については、現在、JIS A 5308 レディーミクストコンクリート（以下、JIS コン）への追加が検討されているものの、現状では JIS 化されていない。そのため、建築工事では、スランブフローにより管理する大臣認定高強度コンクリートで代用されていることが多い。しかしながら、大臣認定高強度コンクリートを製造できる生コン工場は限定されている。

このような背景の中、全国の建設現場で高流動コンクリートが製造できる「奥村式現場添加型高流動化コンクリート」を開発した。本高流動化コンクリートは、生コン工場でスランブ 15～21cm の JIS コンを製造、出荷し、建設現場で受入れた後、トラックアジテータに増粘成分を有する高流動化剤を添加することで製造でき、高い流動性と材料分離抵抗性を有する特長がある。本高流動化コンクリートを製造するための条件を表-1に示す。使用するセメントは最も汎用性の高い普通ポルトランドセメントに限定している。なお、本技術は（一財）日本建築総合試験所から建築技術性能証明（GBRC 性能証明第 16-16 号）を取得し、これまでに 6 案件、2000m³ 以上の実績を有している。

表-1 高流動化コンクリートの製造条件

		流動化目標スランブフロー					
		45cm		50cm		55cm	
調合管理密度(N/mm ³)		27~33	36~45	27~33	36~45	36~45	
ベースコンクリートの条件 ^{*1}	減水剤種類 ^{*2}	AE SP	SP	AE SP	SP	SP	
	スランブ(cm)	15		18		21	
使用材料の条件		セメント：普通ポルトランドセメント 流動化剤：増粘剤一液タイプ					

*1 ベースコンクリート：JIS A 5308 に適合する流動化前のコンクリート

*2 減水剤種類記号：AE は AE 減水剤、SP は高性能 AE 減水剤

他方、現在、地球温暖化対策として CO₂ の排出量削減が喫緊の課題であり、その対応が全ての産業に求められている。多くの建設工事では、コンクリートが大量に使用され、その主材料であるセメントの種類を使い分けることによって、排出量を削減する対策が検討されている²⁾。すなわち、より CO₂ の排出量が少ないセメントまたは混和材の使用を推進し、コンクリート工事における CO₂ の排出量を抑えようとするものである。特に着目されているセメントとして、産業副産物である高炉スラグ微粉末を混入した高炉セメントが挙げられる³⁾。ポルトランドセメントを製造する過程における CO₂ の排出量は 772kg-CO₂/t であるが、高炉セメント B 種は 437kg-CO₂/t であり、高炉セメント B 種を使用することで 43.4%の CO₂ 排出削減効果が認められている⁴⁾。

このような社会的情勢を踏まえ、「奥村式現場添加型高流動化コンクリート」の適用範囲を拡充すべく、高炉

*技術研究所建築研究グループ **技術研究所企画・管理グループ ***九州支店土木部

セメント B 種を用いた現場添加型高流動化コンクリートの実用化を目指すこととした。そこで、実用化に必要な流動化後のフレッシュ性状の維持性能、材料分離抵抗性、及び強度性状を確認するため、トラックアジテータによる高流動化コンクリートの製造実験を行った。また、高流動化コンクリートの部材への打込み施工性を確認するため、実大部材を用いた施工実験を実施した。本報ではこれらの開発成果について報告する。

2. トラックアジテータによる製造実験

2.1 実験概要

a. 実験計画

実用化の対象範囲は、開発済みである表-1の普通ポルトランドセメントを用いた場合りと同一とした。実験に用いたコンクリートの使用材料を表-2に、調合を表-3に示す。流動化前のコンクリート（以下、ベースコン）の調合は、実験を行った生コン工場の標準配合（JIS コン）を用い、AE 減水剤と高性能 AE 減水剤を用いた調合のそれぞれ 2 調合を選定した。AE 減水剤を用いる調合の呼び強度については、対象範囲の下限値である 27 と上限値である 33 とした。高性能 AE 減水剤については使用頻度の高い呼び強度である 33 と対象範囲の上限値である 45 とした。なお、実験は標準期、冬期、夏期の 3 期で実施した。

流動化の方法を表-4に示す。製造方法についても、普通ポルトランドセメントの場合と同様とし、ベースコンを実機ミキサで 2m³ 練混ぜ、トラックアジテータに積載した後、現場への搬入時間を想定して練混ぜから 30 分後に流動化を行った。

b. 試験項目

試験項目を表-5に、フレッシュの管理値を表-6に示す。材料分離抵抗性を円筒貫入試験⁵⁾及び粗骨材沈下割合試験により評価した。既往の文献⁵⁾により、材料分離抵抗性を評価する試験は数例紹介されているものの、それを正確に管理できる手法が確立されていないのが現状である。その中で円筒貫入試験は非常に簡便に評価できるとされる手法である。また、円筒貫入試験は円筒貫入計に流入するモルタル量を計測する試験であるのに対し、粗骨材沈下割合試験は骨材の分離評価に基づく手法であるため、両者の評価対象は異なるものである。粗骨材沈下割合試験の概要を表-7及び写真-1に示す。粗骨材の水中重量を各部位毎に測定後、(1)式より材料分離指数(SI)⁶⁾を求めた。

$$SI = \frac{G_1 - G_2}{G_1 + G_2} \times 100 \quad (1)$$

ここに、

SI : 材料分離指数 (%)

表-2 コンクリートの使用材料

		物性値	
セメント	C	高炉セメントB種	密度:3.04g/cm ³
細骨材	S	山砂	砕砂=7:3 密度:2.63g/cm ³
		山砂	千葉県富津産 砕砂 青森県八戸産
粗骨材	G	碎石 2005 石灰岩碎石(八戸産)	密度:2.69g/cm ³
化学混和剤	Ad	AE	AE 減水剤
		SP	高性能 AE 減水剤
		VSP	増粘剤-液タイプ流動化剤

表-3 コンクリートの調合

(a) 標準期、冬期

記号	呼び強度	SL →SF ^{*1} (cm)	W/C (%)	S/A (%)	単位量(kg/m ³)				Ad(C×%) ^{*2}	
					W	C	S	G	AE (SP)	VSP
27F45AE	27	15→45	53.8	45.5	171	318	813	995	1.00	0.60
33F50AE	33	18→50	46.4	44.9	181	390	763	958	1.00	0.50
33F50SP	33	18→50	47.8	46.0	173	362	802	963	(1.00)	0.50
45F55SP	45	21→55	38.2	45.2	172	451	754	936	(0.90)	0.40

(b) 夏期

記号	呼び強度	SL →SF ^{*1} (cm)	W/C (%)	S/A (%)	単位量(kg/m ³)				Ad(C×%) ^{*2}	
					W	C	S	G	AE (SP)	VSP
27F45AE	27	15→45	52.7	44.9	175	332	792	995	1.10	0.60
33F50AE	33	18→50	45.5	43.7	186	409	729	960	1.10	0.50
33F50SP	33	18→50	46.9	45.8	173	369	794	960	(0.85)	0.40
45F55SP	45	21→55	37.6	44.9	172	458	747	936	(0.95)	0.40

*1 SL は流動化前のスランプ、SF は流動化後のスランプフロー

*2 Ad の値は、セメントに対する割合(%)

表-4 流動化の方法

回転速度	10 回転/分
流動化剤投入方法	半量投入→1 分攪拌→残り半量投入→2 分攪拌
積載量	2.0m ³ (10t 車)

表-5 試験項目

試験項目と方法	
基本	スランプフロー JIS A 1150
フレッシュ性状	空気量 JIS A 1128 コンクリート温度 JIS A 1156
凝結性状	ブリーディング JIS A 1123
材料分離抵抗性	円筒貫入試験による流入モルタル値の測定 ⁵⁾ 粗骨材沈下割合試験(表-7、写真-1)
強度特性	圧縮強度 JIS A 1108 標準養生 材齢 7, 28 日

表-6 フレッシュの管理値

スランプフロー	27F45AE:45±7.5cm
	33F50AE:50±7.5cm
	33F50SP:50±7.5cm
	45F55SP:55±10cm
空気量	4.5±1.5%

表-7 粗骨材沈下割合試験

- 手順
- ①φ150×高さ 450mm の容器にコンクリート試料を採取する
 - ②試料採取した容器をフローテーブルの上に設置し、5 秒間で 5 回の落下運動を与え、60 秒間静置した後、上部・中部・下部に試料を三等分する
 - ③三等分した試料をそれぞれ 5mm 目のふるいかごに入れ、粗骨材を洗い出し、粗骨材の水中重量を測定する

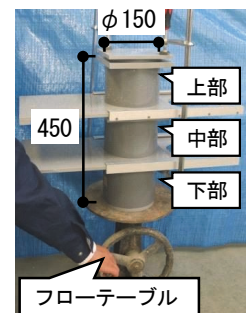


写真-1 粗骨材沈下割合試験

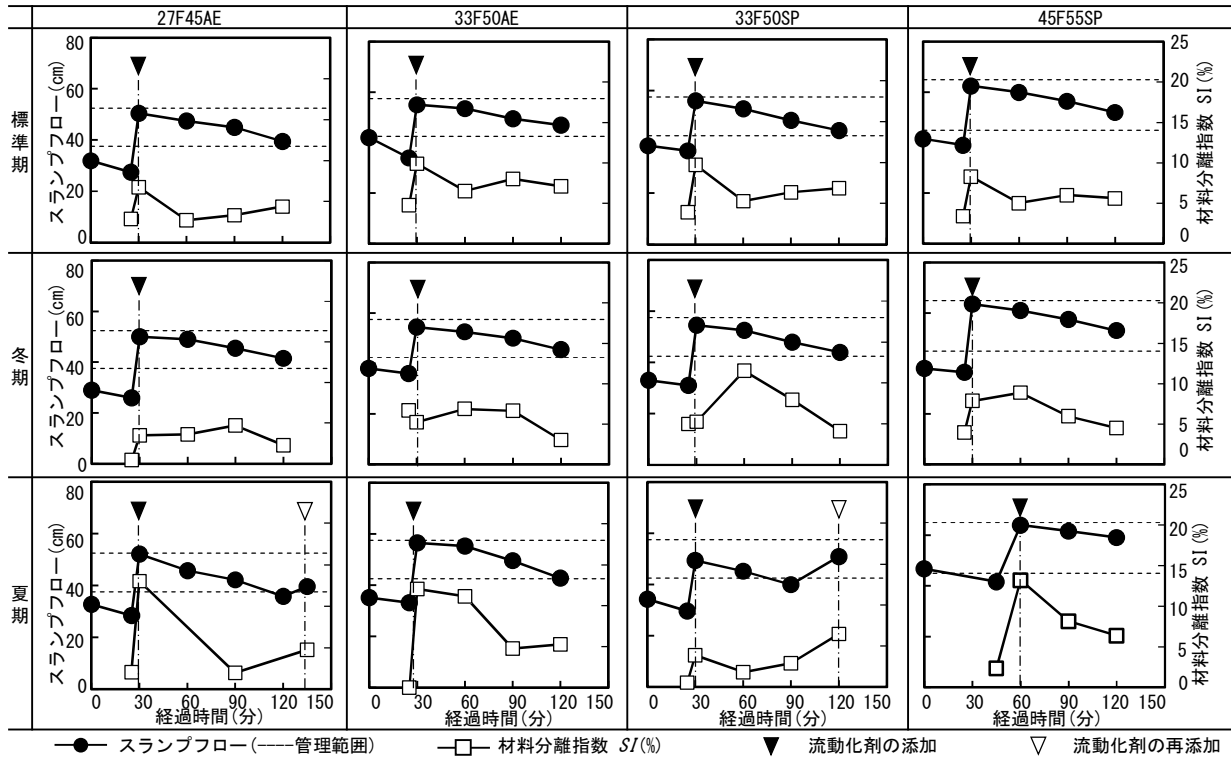


図-1 スランプフロー及び材料分離指数の時間変化

G₁ : 下部コンクリート中の粗骨材重量 (g)
 G₂ : 上部コンクリート中の粗骨材重量 (g)

JASS5⁷⁾では、練混ぜから打込み終了に要する時間の限度が120分であるため、スランプフロー、空気量、コンクリート温度及び材料分離抵抗性に関する試験を練混ぜから120分まで実施した。また、ブリーディングについては流動化による影響を確認するため、流動化前後に試料を採取した。圧縮強度については流動化前後に加え、120分経過時と流動化剤再添加時に採取した。なお、スランプフロー及び円筒貫入試験による流入モルタル値は、開発済みの普通ポルトランドセメントを使用した調査の結果⁸⁾と比較して検証した。

2.2 試験結果

a. 基本フレッシュ性状

スランプフロー及び材料分離指数の時間変化を図-1に示す。何れも流動化後のスランプフローは時間経過と共に小さくなる傾向を示した。夏期は、標準期に比べ、スランプフローの低下がやや大きく、27F45AEの調査においては120分経過時に、33F50SPの調査においては90分経過時に管理値を下回ったが、流動化剤の再添加を行うことでフローが回復することを確認した。この結果から、高炉セメントB種を使用したコンクリートは普通ポルトランドセメントを使用した場合と同等のスランプ保持性能を有しているといえる。なお、空気量については何れの調査とも、120分経過時及び流動化剤再添加時においても管理範囲内であった。また、図-1中の材料分離指数の時間変化については次項で述べる。

表-8 ブリーディングの測定結果 単位:cm³/cm²

	標準期	冬期	夏期
27F45AE	0.12	0.13	0.09
	0.14	0.10	0.09
33F50AE	0.07	0.07	0.06
	0.08	0.06	0.07
33F50SP	0.08	0.05	0.07
	0.07	0.04	0.07
45F55SP	0.04	0.01	0.05
	0.03	0.00	0.04

*上段:ベースコン、下段:流動化後

ブリーディングの測定結果を表-8に示す。流動化後のブリーディング量はベースコンと同等であり、流動化による影響はみられなかった。

b. 材料分離抵抗性

スランプフローと流入モルタル値の関係を図-2に示す。スランプフローの増加に応じて流入モルタル値が大きくなる傾向がみられた。また、普通ポルトランドセメントを使用した調査に比べ、流入モルタル値がやや大きくなる傾向が確認され、材料分離抵抗性が普通ポルトランドセメントに比べ、小さいことが推測される。

材料分離指数の時間変化を図-1に、流入モルタル値と材料分離指数の関係を図-3に示す。図-1に示すように、標準期及び夏期において流動化直後に材料分離指数が大きくなる傾向を示した。図-3に示す黒塗りは流動化直後の材料分離指数である。材料分離指数が最も高い3点は何れも流動化直後であり、他に比べて突出している。それを除けば、流入モルタル値が大きくなるほど材料分離指数も大きくなる傾向を確認した。また、何れ

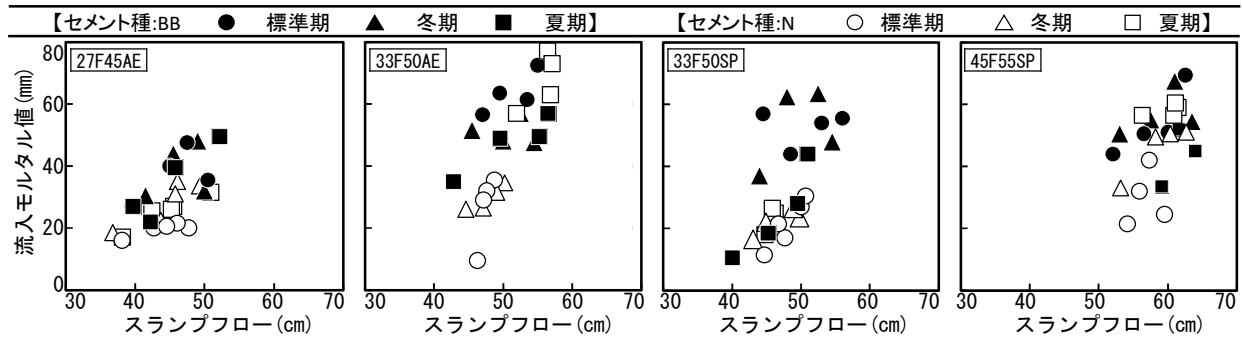


図-2 スランプフローと流入モルタル値

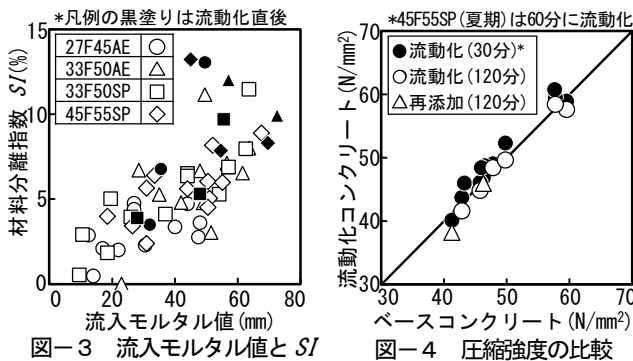


図-3 流入モルタル値と S1

図-4 圧縮強度の比較

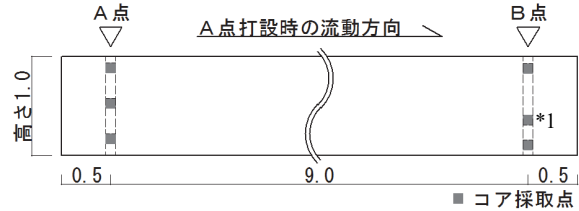


図-5 試験体の形状とコア採取位置

の調査においても、スランプフロー試験後の状態を目視で確認したところ、骨材は均一に分布され、周辺部にペーストや遊離水はみられなかった。

c. 圧縮強度

ベースコンと流動化コンクリートの材齢 28 日における圧縮強度の比較を図-4 に示す。流動化直後、120 分経過時（流動化 90 分後）、及び再添加後の強度は、ベースコンと同等であった。

3. 施工実験

3.1 実験概要

a. 実験計画

施工実験に用いた試験体の形状を図-5 に示す。試験体は実案件を模擬した基礎構造物とし、寸法は高さ 1m、幅 1m、長さ 10m とし、コンクリートを試験体端部から横流しにより打込む計画とした。すなわち、図-5 に示す A 点にポンプ配管の筒先を配置し、B 点側へ横流しを行い、A 点での充填高さ 1m に達するまで継続し、A 点を打ち上げた後、筒先を反対側の B 点に移動して、同様に B 点での充填高さが 1m に達するまで打込む計画とし、締固めを行わずにコンクリートを充填した。流動性の評価は A 点打上げ時における A 点と B 点の充填高さの差を A-B 間の距離 9m で除して算出した流動勾配で行った。

コンクリートの使用材料を表-9 に、コンクリートの調査を表-10 に示す。本実験では、現場添加型コンクリートに加え、今後「高流動コンクリート」が

表-9 コンクリートの使用材料

		物性値	
セメント	C	高炉セメント B 種	密度:3.02g/cm ³
	S1	海砂 北九州市白鳥産	密度:2.60g/cm ³
細骨材	S2	混合砂 海砂：砕砂=1：1	密度:2.61g/cm ³
		海砂 北九州市長間北産 砕砂 北九州市柄杓田産	
粗骨材	G	碎石 2005 北九州市柄杓田産	密度:2.70g/cm ³
化学混和剤	Ad	SP 調合 1:高性能 AE 減水剤	
		SPv 調合 2:増粘剤-液タイプ高性能 AE 減水剤	
		VSP 調合 1:増粘剤-液タイプ流動化剤	

表-10 コンクリートの調査

調査	製造方法	SF [SL] ¹⁾ (cm)	呼び強度 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単位量(kg/m ³)				Ad(C×%) ²⁾			
						W	C	S1	S2	G	SP	SPv	VSP
1	現場添加	60 [21]	36	42.0	53.3	175	417	548	366	829	0.65	-	0.65
2	工場製造	60	36	42.0	53.3	175	417	548	366	829	-	1.35	-

*1 SF はスランプフロー、[SL]はベースコンのスランプ
*2 Ad の値は、セメントに対する割合(%)

表-11 試験項目

試験項目と方法		管理値
基本フック性状	スランプ JIS A 1101 ¹⁾	21±1.5cm
	スランプフロー JIS A 1150	60±5cm
	空気量 JIS A 1128	3.0±1.5%
	コンクリート温度 JIS A 1156	10~35°C
材料分離抵抗性	円筒貫入試験(2 回平均)	-
	粗骨材沈下割合試験(表-7)	-
流動性	コア断面の粗骨材面積率(表-12)	-
	コンクリートの流動勾配	-
強度特性	圧縮強度 JIS A 1108	呼び強度以上
	標準養生及びコア 材齢 28 日	

*1 調査 1、2 の流動化前

表-12 コア断面による面積率の算出方法

手順	算出方法
1	試験体より採取した φ100 のコアを直径方向に二等分する。その切断面の骨材分布をトレースし、二値化処理により、粗骨材面積率(対象範囲における粗骨材面積の比率)を算出する

JIS コンに追加されることを想定し、工場の実機ミキサで直接製造するコンクリートの2種類を用いた。表-10の調合1は現場添加型で、ベースコンの製造には高性能AE減水剤を使用し、現場にて増粘剤一液タイプの流動化剤を添加した。調合2は工場製造型で、増粘剤一液タイプの高性能AE減水剤を使用した。

建築技術性能証明の適用範囲におけるスランプフローの最大値は55cmで、その管理幅は±10cmである。その上限値55+10cmにおけるコンクリートの分離抵抗性を評価するために、本実験ではスランプフローの管理値を60±5cmとした。

b. 試験項目

試験項目を表-11に示す。材料分離抵抗性を確認するため、円筒貫入試験と粗骨材沈下割合試験に加え、採取したコアの粗骨材面積率の算出を、表-12に示す手順で行った。コアの寸法はφ100とし、コアの採取は、打込み位置(図-5中のA点)と水平流動距離9mの位置(図-5中のB点)で行った。充填高さの測定は水平方向に1m間隔で行い、A点の充填高さが0.5mに達する時点と1mに達する時点を目安に測定を行った。なお、充填高さを測定する毎に、生コンのバッチを変更する計画とした。

圧縮強度を把握するために、標準養生供試体に加え、打込み位置と流動端部からコアを採取し、比較した。なお、図-5中のB点中間部のコア採取点はA点の充填高さが1mに達した時点でのB点のコンクリート天端直下の位置となるように調整した。

3.2 試験施工結果

a. 基本フレッシュ性状

フレッシュ試験結果を表-13に示す。いずれの調合においても、スランプ、スランプフロー、及び空気量は所定の管理値を満足した。

b. 流動勾配

調合ごとの充填高さを図-6に示す。A点の充填高さが1m時の流動勾配は、調合1では1/16、調合2では1/29となり、調合2の方が勾配は緩やかで、流動性が高い結果を示した。

なお、調合1の流動勾配は、既往の高強度系高流動コンクリートの流動勾配⁸⁾とほぼ等しく、同等の流動性を有していた。

c. 材料分離抵抗性と充填性

コア採取による調合1の粗骨材面積率の算出結果を図-7に示す。図-5に示すA点とB点で、それぞれコア上部、中間部、及び下部の粗骨材面積率を算出した。なお、粗骨材面積率の算出に用いたコアは、高さ方向1mのコアを採取した後に、部位毎に分割したものである。分割したコアのうち、B点の中間部と下部は9m横流しされたコンクリートであり、A点上部のコア、B点中間部、及び下部は同一バッチのコンクリートと考えら

れる。それらの粗骨材面積率は、流動先であるB点の方が4%程度低下している。一方、A点とB点の上部は、共に打込み元で打上げられたものであり、粗骨材面積率に5%程度の差がある。それを踏まえれば、流動距離9mに達するまでに減少した粗骨材は少量であったため、粗骨材が十分存在しているといえる。なお、調合2においても流動先のコアに同程度の粗骨材が分布しており、良好な材料分離抵抗性を有していた。よって、表-13に示す粗骨材沈下割合試験による材料分離指数が7.0%以下であれば、9mの横流しを行っても良好な材料分離抵抗性を有することが確認された。一方、製造実験(図-3)においても流入モルタル値は40mm以下であれば、材料分離指数は7.0%を超えることはなかったことから良好な材料分離抵抗性の評価指標として、「流入モルタル値40mm以下」とすることは妥当といえる。

d. 圧縮強度

標準養生供試体及びコア採取供試体の材齢28日における圧縮強度を表-14に示す。いずれも管理値である36N/mm²を満足する結果を示し、調合1の流動化後の圧縮強度は、ベースコンと同等であった。

前述のように、A点上部のコア、B点中間部、及び下部は同一バッチのコンクリートと考えられる。それらと比較すると、調合1では圧縮強度、静弾性係数共に同程度の値を示した。以上のことから、9mの横流しがコンクリートの強度特性に及ぼす影響は確認されなかった。

4. まとめ

「奥村式現場添加型高流動化コンクリート」の適用範囲を拡充すべく、高炉セメントB種を用いた現場添加型高流動化コンクリートを対象とし、本高流動化コンク

表-13 フレッシュ試験結果

	SF [SL] ^{*1} (cm)	空気量 (%)	CON 温度 (°C)	流入モルタル値 (mm)	材料分離指数 SI(%)
管理値	60±5	3.0±1.5	10~35°C	-	-
調合1	64.5 [21.0] ^{*2}	2.0 [2.5] ^{*2}	27 [28] ^{*2}	31	4.6
調合2	59.0	1.7	29	27	7.0

*1 SFはスランプフロー、[SL]はベースコンのスランプ

*2 []内は、ベースコンの値

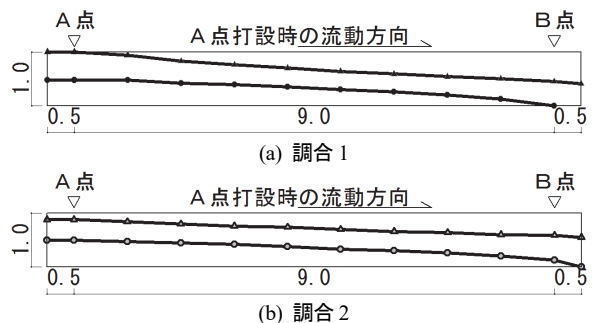


図-6 A点打込み時の充填高さ

リートの諸性状を確認するために製造実験と施工実験を行った。

トラックアジテータによる製造実験では、スランプフローの保持性能等のフレッシュ性状は実用上支障なく、圧縮強度は流動化前のコンクリートと同等であることを確認した。

施工実験では、材料分離抵抗性と強度特性を検証し、本高流動化コンクリートは、9m の横流しに適用できるワーカビリティを有することを実証した。さらに材料分離抵抗性については、円筒貫入試験で評価できることを確認した。

以上のことから、「奥村式現場添加型高流動化コンクリート」に高炉セメント B 種を用いることが可能となった。

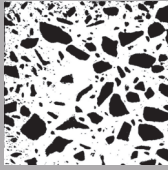


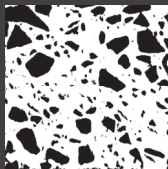
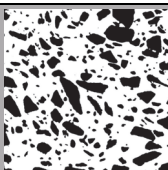
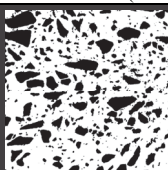
5. あとがき

本高流動化コンクリートは、自己充填性を有し、締め作業の負担を低減でき、生産性向上を実現する材料である。施工実験により、高炉セメント B 種を用いたコンクリートにおいても所定の品質を有することを実証した。

現在、環境配慮セメントである高炉セメント B 種を用いた「奥村式現場添加型高流動化コンクリート」の現場適用を進めている。今後、積極的に展開を図るべく、データの蓄積を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 河野政典、「現場添加型の高流動化コンクリートの実用化」、奥村組技術研究年報、2016.10
- 2) 日本建設業連合会、「低炭素型コンクリートの普及促進に向けて」、2016.4
- 3) 経済産業省、「地球温暖化対策計画」、p.41、2016.5.13
- 4) 日本建築学会、「高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針（案）・同解説」、pp.164-165、2017
- 5) 日本建築学会、「高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針（案）・同解説」、p.140、1997
- 6) 河井 徹他、「高流動域まで流動化したコンクリートに対する粘稠剤の効果について」、土木学会第 43 回次学術講演会、pp.358-359、1988
- 7) 日本建築学会、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2015」、2015
- 8) 杉本 貢、「高流動コンクリートのコンシステンシー評価試験方法（その 4:型枠内の充填状況）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.189-190、1995

	A 点	B 点
上部		
	33.8%	28.7%
中間部		
	36.8%	30.4% (横流し)
下部		
	33.0%	29.3% (横流し)

*数値：粗骨材面積率(対象範囲における粗骨材面積の比率)

図-7 調査 1 の粗骨材面積率

表-14 材齢 28 日の圧縮強度

調査	標準養生 圧縮強度 (N/mm ²)	採取位置	コア供試体			
			圧縮強度(N/mm ²)		静弾性係数(kN/mm ²)	
			A 点	B 点	A 点	B 点
1	46.3 [43.5]*1	上部	51.2	51.0	31.5	31.6
		中間部	-	51.6	-	29.6
		下部	53.4	51.4	30.9	30.0
2	53.0	上部	48.7	52.5	36.5	34.8
		中間部	-	58.8	-	32.5
		下部	56.9	57.4	30.6	35.7

* 網掛けは、横流し 9m 地点
*1 []内は、ベースコンの値