特集≫ コンクリートエ, コンクリート構造

周辺環境に配慮した現場添加型 高流動化コンクリートの実用化

河 野 政 典

建設現場において、レディミクストコンクリートを積載したトラックアジテータに、分離抵抗性を有する流動化剤を添加し、ドラムを回転させて製造する高流動化コンクリートを実用化するため、トラックアジテータによる製造実験と、実工事への適用性に関する実機実験を行った。その結果、ドラムの回転速度を抑制し、発生する騒音を抑えた製造方法で安定したフレッシュ性状が得られ、実工事への適用に際して必要となるフレッシュ性状が十分維持でき、圧縮強度は流動化前後で同等であることを確認した。本実験結果に基づき、コンクリートに流動性、充填性が求められる部材への本現場添加型の高流動化コンクリートの適用を進めている。

キーワード:高流動化コンクリート, 現場添加, 増粘剤一液タイプ流動化剤, トラックアジテータ, 回転 速度

1. はじめに

近年, 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, 充填性が高い高流動コンクリートの ニーズが高まってきている。高流動コンクリートとし ては、JIS A 5308 高強度コンクリート(以下、「JIS 高 強度コン」と称す)や、大臣認定高強度コンクリート (以下、「認定コン」と称す)が使用されている。しか し、これらのコンクリートを用いた場合、必要以上に 強度が高くなることが多く、さらに、セメント量が多 いためひび割れ発生リスクが高まる。また、JIS 高強 度コンや、認定コンの製造については、レディミクス トコンクリート工場が限定される。これらの問題の解 決手段として. 建設現場で JIS A 5308 普通コンクリー ト(以下、「JIS普通コン」と称す)を積載したトラッ クアジテータのドラムに流動化剤, あるいは, 高性能 AE 減水剤を投入し、ドラムを回転して流動性を高め たコンクリートを製造する方法がある。しかし、これ らの混和剤を投入すると流動性が高められる一方、材 料分離が懸念されることから、JASS5では流動化コン クリートのスランプの上限を条件付きで 23 cm として いる1)。このような背景から、近年、材料分離を抑え るために増粘成分が配合された流動化剤(増粘剤一液 タイプ)が開発されている20。この流動化剤を用いる ことによって、全国の現場で、より流動性の高いコン

クリートが使用できるようになる。しかしながら、現場添加型の高流動化コンクリートについては、安定したフレッシュ性状を得るためのトラックアジテータによる製造方法の確立と、実現場への適用にあたり、各季節におけるフレッシュコンクリートの経時変化や、圧縮強度への影響を把握する必要がある。また、トラックアジテータによる製造においては、ドラムの回転時に大きな騒音を伴うため、市街地での工事でも適応可能な周辺環境に配慮した製造方法が望まれる。

そこで、今回、現場添加型の高流動化コンクリートの実用化を目的として、トラックアジテータによる製造実験と、実工事への適用性に関する実機実験を行った。本報では、その概要および得られた結果について報告する。

2. 高流動化コンクリートの対象範囲と条件

現場添加型の高流動化コンクリートの流動化前のコンクリート(以下、「ベースコン」と称す)には、調合管理強度 $27 \sim 45 \text{ N/mm}^2$ の JIS 普通コンを用いた。

流動化の目標スランプフローについては、JIS 普通コンの規格外となるスランプ 23 cm に相当するフロー45 cm を最小とし、50 cm、55 cm の計 3 点を設定した。一般的な調合設計では、スランプやスランプフローに応じ、ワーカビリティを考慮し、最適な細骨材率を決定する。しかし、流動化後の細骨材率はベースコンと

変わらないため、そのスランプフローに対しての最適な細骨材率とずれが生じる。そこで、事前の室内実験により、流動化後のワーカビリティに不具合が生じないベースコンのスランプの条件を検討した。その結果に基づき、目標スランプフローを55cmとするベースコンのスランプを21cm、スランプフロー50cmでは18cm、スランプフロー45cmでは15cmとした。

一般的に、目標スランプフローが大きいほど、分離抵抗性が小さくなると考えられ、また、JASS5ではスランプを 21~cm とする条件として調合管理強度 $33~N/mm^2$ 以上としている。これらを考慮し、ここでは、スランプ 21~cm をベースコンとするスランプフロー 55~cm については、調合管理強度を $36~N/mm^2$ 以上とした。また、JASS5では単位水量を $185~kg/m^3$ 以下としていることから、AE 減水剤を用いたベースコンについては、スランプ 18~cm で単位水量が $185~kg/m^3$ 程度となる調合管理強度 $33~N/mm^2$ までとした。以上の条件をまとめると、表— 1~cm となる。

		流動化目標スランプフロー					
		45 cm 50 cm				55 cm	
調合管理強度 (N/mm²)		27 ~ 33	36 ~ 45	27 ~ 33	36 ~ 45	36 ~ 45	
ベースコンの	使用する 減水剤	AE 減水剤 高性能 AE 減水剤	高性能 AE 減水剤	AE 減水剤 高性能 AE 減水剤	高性能 AE 減水剤	高性能 AE 減水剤	
条件	スランプ (cm)	15		18		21	

表一1 高流動化コンクリートの対象範囲と条件

3. トラックアジテータによる製造実験

(1) 実験概要

(a) 実験要因と組合わせ

トラックアジテータのドラムの回転, 撹拌によって, 均一なフレッシュ性状を有する流動化コンクリートの製造条件を検討するため, 生コンの積載量, 流動化剤の添加方法, 撹拌時間, および撹拌速度を実験要因とした。実施した製造実験の組合わせの一覧を表一2に示す。実験は3工場で行い, A工場では夏期, 標準期, 冬期の3期で実施した。実験に用いるコンクリートについては, セメント量が少なく, また, ベースコンのスランプが小さいほど, 所定の流動化フローを得るために要する撹拌時間が長くなると考え, ベースコンは調合管理強度 27 N/mm², スランプ 15 cm の調合とした。なお, 実用化の対象範囲の上限とした 45 N/mm², スランプ 21 cm の調合についても, 確認のため実験水準の一つに加えた。

表一2 製造実験の組合わせ一覧

				試験内容			
工場	時期	ベースコンの 管理強度と 混和剤種類	ベースコンスラ ンプ→流動化 フロー (cm)	積載量 (m³)	流動化剤 投入方法	撹拌時間 (分)	回転速度 (回転/分)
	夏期	27 N/mm^2	15 → 45	4	一括	2	10 [中速]
	发791	AE	13 - 43	4	2 分割	1+2	10 [中速]
	Inc. Mr.	2		4	2 分割	1+2	10 [中速]
	期		15 → 45	4	一括	2	15 [高速]
A		112		2	一括	2	10 [中速]
	冬期	27 N/mm² AE	15 → 45	4	2 分割	1+2	10 [中速]
	で期	45 N/mm² SP	21 → 55	4	2 分割	1+2	10 [中速]
В	冬期	27 N/mm² AE	15 → 45	5 (11.5 t 車)	2 分割	1+2	10 [中速]
С	標準期	27 N/mm² AE	15 → 45	4	2 分割	1+2	10 [中速]

*[ベースコン混和剤種類(AE:AE 減水剤, SP 高性能 AE 減水剤)]

ドラムの回転によるコンクリートの撹拌については、これまで一般的に、ドラムの回転を最大速度、すなわち高速回転による撹拌が行われてきた。そこで、20 台のトラックアジテータについて最大回転速度を調査したところ、1 分間あたりの回転数は最小 13.0、最大 20.7、平均 15.6 回であり、トラックアジテータにより異なることが確認された。この結果から今回の実験では、いずれのトラックアジテータでも撹拌ができ、比較的騒音が抑えられる 10 回転/分(中速)を標準の回転速度として採用した。ドラムの回転速度を抑えることにより、発生する騒音が従来の高速撹拌より約 7.5 dB 抑制される。

撹拌時間については、「流動化コンクリート施工指針・同解説」(以下、「流動化指針」と称す)を参考に、2分および3分を実験水準としたが³⁾、後述の実験結果に示す通り、積載量 4.0 m³で2分間の撹拌では均一性が得られなかった。そのため3分間の撹拌を基本とし、さらに、流動化剤の分散性を高めるため、流動化剤の投入を2回に分け、初めに所要の半量を投入し、1分間撹拌後、残りの半量を投入し、2分間撹拌する方法とした。

積載量は 10 t 車で、満載に近い 4.0 m³ を基本とした。なお、近年都心で見られる 11.5 t 車についても実験を行い、その場合については満載に近い 5.0 m³ で行った。また、10 t 車の実験においては、約半量となる 2.0 m³ の積載条件でも実験を行った。

(b) 調合

コンクリートの調合を表 3 に示す。セメントには 普通ポルトランドセメントを,流動化剤には増粘剤 一 液タイプを用いた。流動化後のフレッシュ管理値を表 —4に示す。ベースコンの空気量はいずれの調合も4.5% とし,流動化後のコンクリートの空気量も同様とした。

表—3	コンクリー	トの調合
-----	-------	------

工場時期		管理強度	スランプ	W/C S	S/A	単位量(kg/m³)				Ad
上场	时规	(N/mm²)	(cm)	(%)	(%)	W	С	S	G	Cx%
	夏期	27	15	53.7	44.5	175	326	792	1011	1.1
A	標準期	27	15	54.9	45.2	172	314	813	1009	1.0
A	冬期	期 27	15	34.9	43.2	172	314	013	1009	0.9
	冬期	45	21	39.4	46.0	172	437	781	936	0.9
В	冬期	27	15	55.0	49.0	173	315	878	940	0.75
С	標準期	27	15	54.8	48.0	172	314	863	944	1.2

表一4 スランプフローと空気量の管理幅

		管理幅
法制 化	スランプフロー	$45 \pm 7.5 \text{cm}$
流動化 コンクリート	X / 2 / / la-	$55 \pm 10 \text{cm}$
3279-1	空気量	$4.5 \pm 1.5\%$

(c) 実験方法と試験項目

コンクリートを実機で練り上げ、一般的な現場荷卸 し時間として25分後を想定し、ベースコンのフレッ シュ試験(スランプ, 空気量, コンクリート温度)を 実施した。荷卸しのフレッシュ性状確認後. 表一2に 示す条件で流動化を行った。ドラムミキサ内の均一性 を確認するため、流動化後、ドラムミキサからコンク リートを連続排出し、初流、中流、終流のコンクリー ト試料を採取してフレッシュ試験、および圧縮強度用 の供試体を製作した。

均一性の判定について,流動化指針には,トラック アジテータ内のコンクリートのおよそ 1/4 と 3/4 のと ころから試料を採取してスランプ試験を行った場合, 両者のスランプの差が 3 cm 以内であることが記され ている³⁾。ここで、スランプ管理における管理幅 ± 2.5 cm に対して、均一性の判定基準3cm の比は0.6であ る。これを参考に、スランプフローにおける均一性の 判定基準は、フローの管理幅 ± 7.5 cm に対して 0.6 よ り小さい,約0.3となる5cm以内とした。すなわち, 初流、中流、終流から採取したスランプフロー値を用 い、3つのスランプフローの差が5cm 以内であれば 均一性を有すると判断した。

圧縮試験供試体は標準養生とし、材齢 7. および 28 日に試験を行った。

(2) 実験結果

(a) スランプフロー

スランプフローの比較を \mathbf{Z} \mathbf{Z} 1, 2に示す。 \mathbf{Z} \mathbf{Z} \mathbf{Z} \mathbf{Z} に示すように、A 工場の夏期において実施した撹拌 時間2分の結果では、スランプフローの測定値の差が 5 cm を超える結果となった。しかし、撹拌時間 3 分 とした場合、測定値の差が5cm以内であったため、

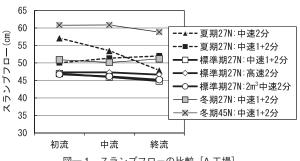
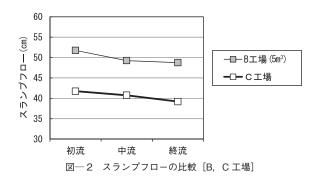


図-1 スランプフローの比較 [A 工場]



均一性を有すると判断した。

標準期において実施した高速撹拌(15回転/分) の実験では、中速と回転数が同一となる2分間の撹拌 で均一性が得られた。また、積載量を半量とした $2.0 \,\mathrm{m}^3$ の実験においては、中速2分の撹拌で均一性が得られ た。さらに,調合管理強度の上限とした 45 N/mm² に おいても、中速3分の撹拌で均一性が得られることを

図─2に示すように、B工場で実施した5.0 m³ 積 載でも、4.0 m³ 積載と同一撹拌条件で均一性が得られ ることを確認した。

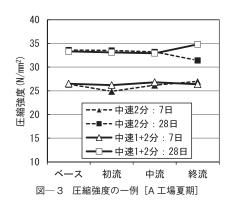
実験結果から、通期にわたり、均一性が確保される 撹拌の条件を表一5に示す。

表一5 撹拌の条件

流動化剤投入方法と 撹拌時間	流動化剤を半量投入→1分間撹拌 →残り半量を投入→2分間撹拌 (撹拌時間は計3分間)
ドラムの回転速度	10 回転/分
コンクリートの積載量	10 t 車では 4.0 m ³ まで, 11.5 t 車では 5.0 m ³ まで

(b) 圧縮強度

圧縮強度の比較の一例を図一3に示す。ベースコ ンクリート、流動化後の初流、中流、終流の圧縮強度 はいずれの条件においても、ほぼ同じであった。さら に、フレッシュ試験において均一性を満足しなかった A工場の夏期の撹拌時間2分においても、圧縮強度 については、初流、中流、終流ともほぼ同じであった。



4. 実工事への適用性に関する実機実験

(1) 実験概要

(a) コンクリートの概要

流動化後のフレッシュコンクリートの経時変化,圧縮強度等への影響について検討した実機実験の一覧を表一6に示す。コンクリートの調合管理強度は,実用化の対象範囲とした $27 \sim 45 \,\mathrm{N/mm^2}$,流動化フローは $45 \sim 55 \,\mathrm{cm}$ とした。また,製造実験同様,実験は $3 \,\mathrm{T}$ 場で行い,A T 場では $3 \,\mathrm{J}$ 期にわたり実施した。

(b) 調合

コンクリートの調合を表一7に示す。流動化剤は

記号 27F45AE 30F50AE | 33F50AE | 33F50SP 36F55SP 45F55SP 管理強度 27 30 33 33 36 45 (N/mm^2) 混和剤種類 ΑE ΑE ΑE SP SP SP ベースコンスランブ →流動化フロー 15 → 45 18 → 50 18 → 50 18 → 50 21 → 55 21 → 55 夏期 標準期 工場 冬期 B 工場 冬期 C工場 標準期

表―6 実機実験の一覧

*[ベースコン混和剤種類(AE:AE 減水剤,SP 高性能 AE 減水剤)]

表—7	コンクリー	トの調合

工場	時期	記号	W/C	S/A		単位量	(kg/m^3)		Ad
1.2777	上物 时期		(%)	(%)	W	С	S	G	Cx%
		33F50AE	46.5	43.6	186	400	736	974	1.1
	夏期	33F50SP	48.5	46.5	173	357	818	963	1.2
		45F55SP	38.8	45.8	172	444	773	936	1.15
		33F50AE	47.4	44.4	182	384	760	974	1.0
A			17.1	11.1	102	301	100	371	(0.9)
	標準期	33F50SP	49.4	46.8	173	351	826	960	1.1
	冬期	期							(1.0)
		45F55SP	39.4	46.0	172	437	781	936	1.0
		401 0001		10.0	1,2	107	,01	000	(0.9)
В	冬期	30F50AE	50.8	48.5	183	360	839	915	0.75
В	D 冬期	36F55SP	45.6	51.7	175	384	894	859	0.75
С	標準期	30F50AE	51.7	47.5	185	358	821	915	1.4
	7水牛州	36F55SP	47.4	49.6	175	370	866	885	1.0

A 工場 27F45AE は表—3の通り、Ad () 内は冬期添加率

製造実験同様,増粘剤一液タイプの流動化剤を用いた。経時変化によりスランプフローが管理幅を下回った場合,スランプフローを回復させるため,流動化剤を再添加した。その際は、増粘成分を含まない通常の流動化剤を用いた。これは、再添加の時点で、既にコンクリートに最初の流動化剤に含まれている増粘成分が混入されているからである。

流動化後のフレッシュ管理値を表一8に示す。

表一8 スランプフローと空気量の管理幅

		管理幅
流動化 コンクリート		$27F45:45 \pm 7.5 \text{ cm}$
	スランプフロー	$30F50$, $33F50:50 \pm 7.5$ cm
		$36F55:55 \pm 7.5 \text{ cm}$
		$45F55:55 \pm 10 \text{ cm}$
	空気量	4.5 ± 1.5%

(c) 実験方法と試験項目

コンクリートの練り量を 2.0 m³ とし、製造実験と同様に、コンクリートを実機で練り上げ、25 分経過後にベースコンのフレッシュ試験を行い、その後、流動化を行った。流動化の撹拌の条件は表一5に準じた。

流動化後,スランプフロー,空気量試験に加えて, 表一9に示す間隙通過性と材料分離抵抗性に関する 試験を練り上がりから120分経過まで実施した。

表一9 間隙通過性と材料分離抵抗性に関する試験項目

試験項目	試験方法
J リング試験 (J リング フロー)	スランプコーンの周囲に障害物となる直径 $300~\text{mm}$ のリングに等間隔に ϕ 16 の鋼棒を 16 個取り付けた治具をセットし(写真 -1),スランプフロー試験の要領でスランプコーン を引き抜いた後,スランプフローの広がり距離を測定。
円筒貫入試験	内径 ϕ 30 の筒の周囲に ϕ 7 mm の穴が 28 個空いた円筒貫入試験器 (写真 -2) を、コンクリート試料を詰めた ϕ 150、深さ 300 mm の容器に挿入し、 10 秒後に引き上げる。流入したモルタルの高さを測定(2 回平均)。



写真-1 Jリング試験状況



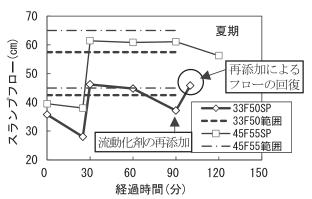
写直-2 円筒貫入討験器

さらに、ベースコンと流動化後の圧縮強度を比較す るため、供試体をそれぞれで採取し、標準養生を行っ て、材齢7、および28日に圧縮強度試験を行った。

(2) 実験結果

(a) スランプフロー

夏期におけるスランプフローの経時変化の一例を図 ─4に、標準期の一例を図─5に示す。流動化後の スランプフローは、時間経過とともに小さくなる傾向 にあった。夏期(外気温25℃以上)においては、打 込み終了までの時間の限度を90分と想定した。図― 4 に示すように、A 工場で実施した夏期の 33F50SP では、流動化直後のフローが管理幅の下限近傍であっ たため、90分後にフローが管理値を下回ったが、そ の後、流動化剤の再添加によりフローが回復すること を確認した。一方、標準期、および冬期においては、 打込み終了までの時間の限度を120分と想定した。図 -5に示すように、A工場の標準期の実験では、い ずれも 120 分までフローが管理範囲内にあったが、流 動化剤の再添加によりフローが回復することを一部の 調合で確認した。なお、BおよびC工場におけるス ランプフローの経時変化の傾向については、A工場 と大きな違いはなかった。



図―4 スランプフローの経時変化の一例 [A 工場夏期 SP 調合]

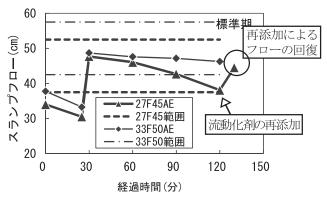


図-5 スランプフローの経時変化の一例 [A 工場標準期 AE 調合]

一般的な流動化コンクリートにおいては、流動化後 のスランプ低下が大きいとされている1)。しかし、今 回用いている流動化剤で製造した高流動化コンクリー トにおいてのスランプフローの低下はなだらかであ り、また、フローの管理値を下回った場合でも、再添 加することでフローの回復が可能であることから、実 工事への適用性を十分有するものであった。

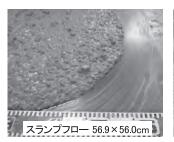
なお. A 工場で実施した夏期の 33F50AE では. 管 理値の上限近傍であったが、写真―3に示すように、 スランプフローの状態から分離傾向は確認されなかっ た。

(b) 空気量

流動化前後の空気量の比較を図―6に示す。流動 化後の空気量の変化は、-0.5~+0.3%の範囲であり 大きな変化はなかった。また、再添加においての空気 量の変化は $, -0.1 \sim +0.5\%$ の範囲で, ベースコンを流動化した場合よりわずかにプラス側であるが、大き な違いはなかった。

(c) I リングフロー

Jリング試験の結果として、Jリングフローとスラ ンプフローとの差の一例を図一7に示す。フロー差 に変動はみられるものの、その差は多くの場合で-5 ~ 0 cm の範囲内となり、ASTM C1621/C1621M-14 の判定では「極端なブロッキングは見られない」との 評価である。すなわち、間隙通過性については問題の ない程度の性能を有していると判断した。



スランプフローの状態 [夏期 33F50AE]



4 Jリングフローの状態 [夏期 33F50AE]

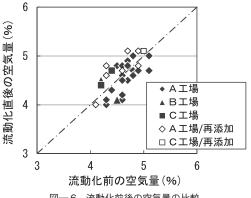


図-6 流動化前後の空気量の比較

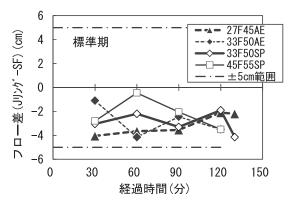


図-7 Jリングフローとスランプフローとの差の一例 [A 工場標準期]

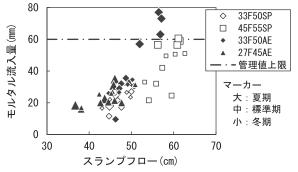
スランプフローの上限値であった A 工場 \overline{g} 期 33F50AE は、 \overline{g} \overline{g}

(d) 円筒貫入のモルタル流入量

A 工場におけるモルタル流入量とスランプフローの 関係を図―8に示す。スランプフローが大きいほど 流入量が多い傾向にあり、ベースコンクリートに高性 能 AE 減水剤(SP)を使用した調合より、AE 減水剤 (AE) を使用した調合のほうがやや多く. 夏期 33F50AE が最も流入量が多い結果となった。前述の ように、夏期 33F50AE はスランプフロー、および J リング試験において分離傾向は見られなかった。しか しながら、別途実施した現場添加型高流動化コンク リートの施工実験実績において、流入量が40mm程 度のコンクリートでは、部材の打込みにおいて粗骨材 の沈降は見られなかったが、60 mm を超えたコンク リートでは、粗骨材が沈降する傾向にあった。そのた め, 円筒貫入による分離抵抗性の指標として, ここで は流入量の上限を60mmとした。したがって、夏期 33F50AE については、スランプフローを 50 cm 程度 までに抑えることが望ましい。

(e) 圧縮強度

試験結果の一例として、A工場における流動化前後の材齢28日圧縮強度の比較を図—9に示す。流動化直後の強度、経時120分(流動化後90分)までの



図―8 モルタル流入量とスランプフローの関係 [A 工場]

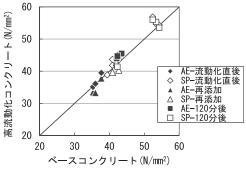


図-9 流動化前後の圧縮強度の比較 [A 工場]

強度、および再添加後の強度は、ベースコンと同等の 強度であった。また、BおよびC工場の結果におい ても同様であった。

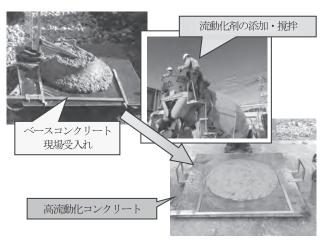
5. まとめ

現場添加型の高流動化コンクリートを実用化するため、トラックアジテータでの製造実験と、実工事への適用性の確認として夏期、標準期、冬期の3期において実機実験を行った。その結果、ドラムの回転速度を抑制し、発生する騒音を抑えた製造方法で安定したフレッシュ性状が得られ、製造したコンクリートについては、打込みに必要となるフレッシュ性状を十分維持することができ、圧縮強度は流動化前後で同等であり、実工事への適用性を有していることを確認した。

6. おわりに

建設現場周辺に、高強度コンクリートの出荷実績を有する工場がない場合、高流動コンクリートの手配が困難となることが多い。そのような地域において、本技術は非常に有効な手段となる。また、製造方法については、ドラム回転時に発生する騒音を従来より低減した方法で標準化し、周辺環境に配慮が必要である市街地の建設現場での採用にも対応している。現在、実験結果に基づき、本現場添加型の高流動化コンクリートを免震下部の基礎コンクリートや、耐震補強工事の後打ち補強コンクリートなど、合計1000 m³以上適用している(図一10適用状況の一例)。さらに今後、i-Constructionにおける「コンクリート生産性向上」の項目に挙げられているコンクリート打設の効率化に対応する技術としての展開も進めていく予定である。

なお、本技術については、「奥村式現場添加型高流動化コンクリート」として、(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)を取得している。



図― 10 現場添加型高流動化コンクリートの現場適用状況の一例

《参考文献》

- 1)日本建築学会,「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2015」, pp.457-466, 2015.7
- 2) 齊藤和秀, 土谷 正,森本孝敏、「JIS A 6204 コンクリート用化学混和剤の変遷~平成における各種混和剤の技術進歩~」、コンクリート工学、Vol.54、No.52、pp.508-513、2016.5
- 3) 日本建築学会,「流動化コンクリート施工指針・同解説」, pp.85-91, 1989.9



[筆者紹介] 河野 政典 (こうの まさのり) ㈱奥村組 技術研究所 建築研究グループ 上席研究員

J C M A

