

現場添加型の高流動化コンクリートの実用化

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

Practical Application of Site-Mixed High-Superplasticized Concrete

- Mixing Test Using Truck Agitator and Practical Application Test -

河野政典* 横山聡司**

要旨

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、トラックアジテータを用いて安定したフレッシュ性状のコンクリートを製造するための攪拌条件が得られ、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：現場添加、高流動化コンクリート、トラックアジテータ、流動化剤

1. まえがき

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に流動化剤、あるいは、高性能 AE 減水剤を投入し、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 23cm 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²⁾。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が必要であり、また、実現現場へ適用するためには、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。

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

実用化を目指す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 27~45N/mm² 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 23cm に相当するフロー45cm を最小とし、50cm、55cm 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

*技術研究所 **東日本支社建築工務部

ため、そのスランブ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ブの条件を検討した。その結果に基づき、目標スランブフローを 55cm とするベースコンのスランブを 21cm、スランブフロー50cm では 18cm、スランブフロー45cm では 15cm とした。

一般的に、目標スランブ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 ではスランブを 21cm とする条件として調査管理強度 33N/mm² 以上としている。これらを考慮し、ここでは、スランブ 21cm をベースコンとするスランブフロー55cm については、調査管理強度を 36 N/mm² 以上とした。また、JASS5 では単位水量を 185kg/m³ 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、スランブ 18cm で単位水量が 185kg/m³ 程度となる調査管理強度 33 N/mm² までとした。以上の条件をまとめると、表-1となる。

3. トラックアジテータによる製造実験

3.1 実験概要

a. 実験要因と組合せ

トラックアジテータのドラムミキサの回転、攪拌によって、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、攪拌時間、および攪拌速度を実験要因とした。実施した製造実験の組合せの一覧を表-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ブが小さいほど、所定の流動化フローを得るために要する攪拌時間が長くなると考え、ベースコンは調査管理強度 27N/mm²、スランブ 15cm の調査とした。なお、実用化の対象範囲の上限とした 45 N/mm²、スランブ 21cm の調査についても、確認のため実験水準の一つに加えた。

トラックアジテータの最大回転速度、すなわち高速回転速度について、20 台のトラックアジテータで調査したところ、1 分間あたりの回転数は最小 13.0、最大 20.7、平均 15.6 回であった。そこで今回の実験では、いずれのトラックアジテータでも攪拌ができ、比較的騒音が抑えられる 10 回転/分を標準の回転速度として採用した。

攪拌時間については、「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 4.0m³ で 2 分間の攪拌では均一性が得られなかった。そのため 3 分間の攪拌を基本とし、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 分間攪拌

表-1 高流動化コンクリートの対象範囲と条件

	流動化目標スランブフロー				
	45cm		50cm		55cm
調査管理強度 (N/mm ²)	27~33	36~45	27~33	36~45	36~45
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
ベースコンの条件	スランブ (cm) 15		18		21

表-2 製造実験の組合せ一覧

工場	時期	試験内容					
		ベースコンの管理強度と混和剤種類	ベースコンスランブ→流動化フロー (cm)	積載量 (m ³)	流動化剤投入方法	攪拌時間 (分)	回転速度 (回転/分)
A	夏期	27N/mm ² AE	15→45	4	一括	2	10[中速]
				4	2分割	1+2	10[中速]
	標準期	27N/mm ² AE	15→45	4	2分割	1+2	10[中速]
				4	一括	2	15[高速]
	冬期	27N/mm ² AE	15→45	4	2分割	1+2	10[中速]
				45N/mm ² SP	21→55	4	2分割
B	冬期	27N/mm ² AE	15→45	5 (11.5t車)	2分割	1+2	10[中速]
C	標準期	27N/mm ² 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)]

表-3 コンクリートの調査と使用材料

工場	時期	管理強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	W/C (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m ³)				Ad Cx%
						W	C	S	G	
A	夏期	27	15	53.7	44.5	175	326	792	1011	1.1
	標準期	27	15	54.9	45.2	172	314	813	1009	1.0
	冬期									0.9
B	冬期	45	21	39.4	46.0	172	437	781	936	0.9
B	冬期	27	15	55.0	49.0	173	315	878	940	0.75
C	標準期	27	15	54.8	48.0	172	314	863	944	1.2

【使用材料】

セメント：普通ポルトランドセメント

細骨材：A工場 山砂(富津産)+砕砂(八戸産)

B工場 砕砂(菅野産)+砕砂(横瀬産)+山砂(成田産)

C工場 砕砂(相模原産)+山砂(富津産)+砕砂(横瀬産)

粗骨材：A工場 2005 石灰岩砕石(八戸産)

B工場 2010+1505 石灰岩砕石(横瀬産)

C工場 2005 石灰岩砕石(相模原産)+硬質砂岩砕石(奥多摩産)

混和剤：A工場 x社製 AE 減水剤(管理強度 27N/mm²)

y社製 高性能 AE 減水剤(管理強度 45N/mm²)

B, C工場 y社製 AE 減水剤

流動化剤 y社製増粘剤一液タイプ

後、残りの半量を投入し、2 分間攪拌する方法とした。

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

b. 調査と材料

コンクリートの調査と使用材料を表-3に示す。流動化剤には増粘剤一液タイプを用い、全ての工場で同一の

ものを使用した。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査も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。

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-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3cm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±2.5cm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±7.5cm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。

3.2 実験結果

a. スランプフロー

スランプフローの比較を図-1(1)、(2)に示す。図-1(1)に示すように、A工場の夏期において実施した攪拌時間2分の結果では、スランプフローの測定値の差が5cmを超える結果となった。しかし、攪拌時間3分とした場合、測定値の差が5cm以内であったため、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攪拌(15回転/分)の実験では、中速と回転数が同一となる2分間の攪拌で均一性が得られる。また、積載量を半量とした2.0m³の実験においては、中速2分の攪拌で均一性が得られる。さらに、調査管理強度の上限とした45N/mm²においても、中速3分の攪拌で均一性が得られることを確認した。

図-1(2)に示すように、B工場で実施した5.0m³積載でも、4.0m³積載と同一攪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攪拌の条件を表-5に示す。

b. 圧縮強度

圧縮強度の比較の一例を図-2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

表-4 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	スランプフロー	45±7.5cm 55±10cm
	空気量	4.5±1.5%

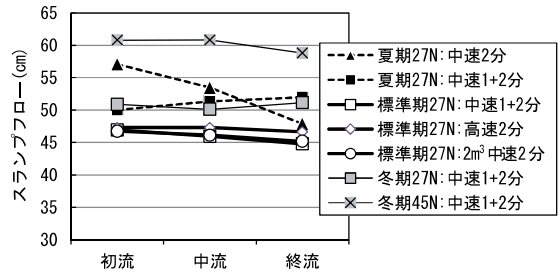


図-1(1) スランプフローの比較[A工場]

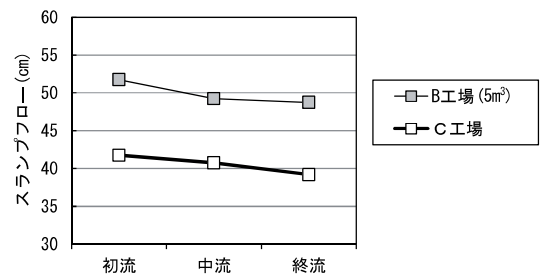


図-1(2) スランプフローの比較[B、C工場]

表-5 攪拌の条件

回転速度	10回転/分
攪拌時間	1+2分
流動化剤投入方法	初めに半量、1分間攪拌後、残り半量を投入
積載量	10t車では4.0m ³ まで、11.5t車では5.0m ³ まで

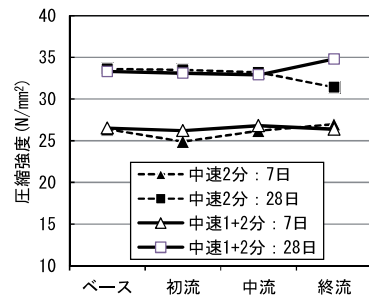


図-2 圧縮強度の一例[A工場夏期]

レッシュ試験において均一性を満足しなかったA工場の夏期の攪拌時間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

4.1 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-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 27~45N/mm²、流動化フローは 45~55cmとした。また、製造実験同様、実験は3工場で行い、A工場では3期にわたり実施した。

b. 調合と材料

コンクリートの調合を表-7に示す。使用材料は表-3と同じである。流動化剤は全ての工場で同一のものとした。経時変化によりスランブフローが管理幅を下回った場合、スランブフローを回復させるため、流動化剤を再添加する。その際は、増粘成分が含まれていない通常の流動化剤を用いることとした。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-8に示す。

表-6 実機実験の一覧

記号	27F45AE	30F50AE	33F50AE	33F50SP	36F55SP	45F55SP	
管理強度 (N/mm ²)	27	30	33	33	36	45	
混和剤種類	AE	AE	AE	SP	SP	SP	
ベースコン→流動化フロー (cm)	15→45	18→50	18→50	18→50	21→55	21→55	
A工場	夏期	○	—	○	○	—	○
	標準期	○	—	○	○	—	○
	冬期	○	—	○	○	—	○
B工場	冬期	—	○	—	○	—	
C工場	標準期	—	○	—	○	—	

*[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と使用材料

工場	時期	記号	W/C (%)	S/A (%)	単位置量 (kg/m ³)				Ad Cx%
					W	C	S	G	
A	夏期	33F50AE	46.5	43.6	186	400	736	974	1.1
		33F50SP	48.5	46.5	173	357	818	963	1.2
		45F55SP	38.8	45.8	172	444	773	936	1.15
	標準期	33F50AE	47.4	44.4	182	384	760	974	1.0 (0.9)
		33F50SP	49.4	46.8	173	351	826	960	1.1 (1.0)
		45F55SP	39.4	46.0	172	437	781	936	1.0 (0.9)
B	冬期	30F50AE	50.8	48.5	183	360	839	915	0.75
		36F55SP	45.6	51.7	175	384	894	859	0.75
C	標準期	30F50AE	51.7	47.5	185	358	821	915	1.4
		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

表-8 スランブフローと空気量の管理幅

		管理幅
流動化 コンクリート	スランブフロー	27F45 : 45±7.5cm 30F50, 33F50 : 50±7.5cm 36F55 : 55±7.5cm 45F55 : 55±10cm
	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 2.0m³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。流動化の攪拌の条件は表-5に準じた。

流動化後、スランブフロー、空気量試験に加えて、表-9に示す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。

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。

4.2 実験結果

a. スランブフロー

夏期におけるスランブフローの経時変化の一例を図-4(1)に、標準期の一例を図-4(2)に示す。流動化後の

表-9 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	スランブコンの周囲に障害物となる直径300mmのリングに等間隔にφ16の鋼棒を16個取り付けた治具をセットし(写真-1)、スランブフロー試験の要領でスランブコンを引き抜いた後、スランブフローの広がり距離を測定。
L型フロー試験	図-3に示すL型フロー試験器を用いて流動後のスランブ、フロー(流動距離)を測定。
L型フロー粗骨材洗い試験	フロー後の流動先端部と流動元のコンクリート試料を3リッター採取し、粗骨材を洗い出し、水中質量を測定。
円筒貫入試験	内径φ30の筒の周囲にφ7mm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φ150、深さ300mm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 写真-2 円筒貫入試験器

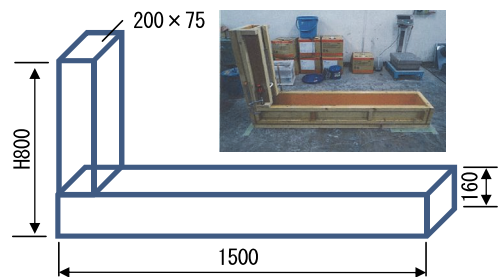


図-3 L型フロー試験器の形状

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 (1) 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-4 (2) 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査で確認した。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。

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、

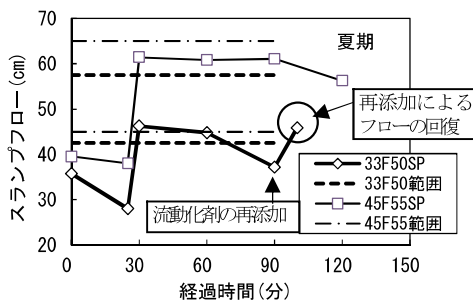


図-4 (1) スランプフローの経時変化の一例 [A工場夏期 SP 調査]

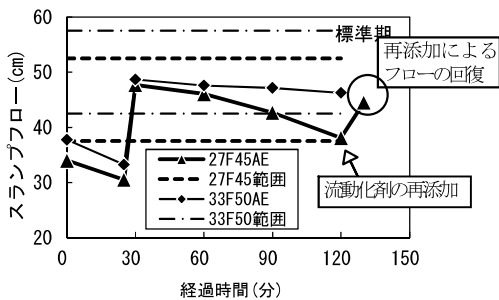


図-4 (2) スランプフローの経時変化の一例 [A工場標準期 AE 調査]



写真-3 スランプフローの状態[夏期 33F50AE]

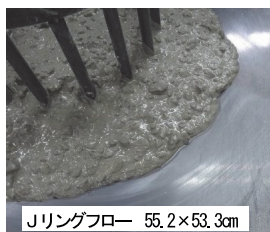


写真-4 Jリングフローの状態[夏期 33F50AE]

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-5 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、再添加における空気量の変化は、-0.1~+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. J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-6 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-5~0cm 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、間隙性や分離抵抗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。

スランプフローの上限値であった A 工場夏期 33F50AE は、写真-4 に示すように、J リングフローの状態からも分離傾向は確認されなかった。

d. L型フロー

L型フローの状況を写真-5 に示す。写真に示すように、いずれの調査においても、流動先端部まで粗骨材は良好に流動し、分離しなかった。

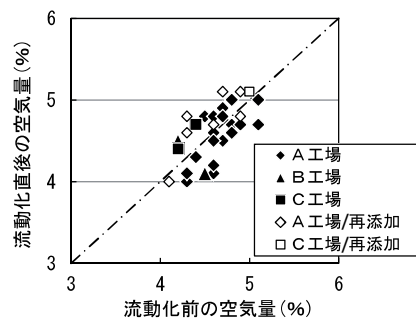


図-5 流動化前後の空気量の比較

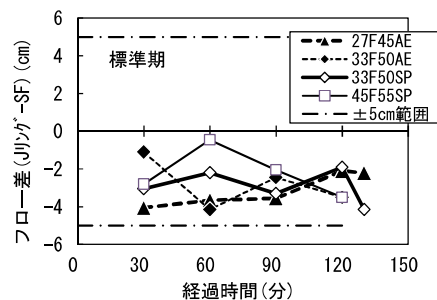


図-6 Jリングフローとスランプフローとの差の一例 [A工場標準期]

また、粗骨材洗い試験で測定した流動元の粗骨材水中質量に対する流動先端部の粗骨材質量の比は、いずれも 1.0 以上であり、粗骨材の良好な流動性を示した。

e. 円筒貫入量

A 工場における円筒貫入量とスランプフローの関係を図-7 に示す。スランプフローが大きいほど貫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) を使用した調査より、AE 減水剤 (AE) を使用した調査のほうがやや多く、夏期 33F50AE が最も貫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ず、また、L 型フロー試験におけるフロー先端部分にも粗骨材が良好に流動していた。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、円筒貫入量が 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、60mm 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、ここでは貫入量の上限を 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 50cm 程度までに抑えることが望ましい。

f. 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-8 に示す。流動化直後の強度、経時 120 分 (流動化後 90 分) までの強度、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、安定したフレッシュ性状の高流動化コンクリートが製造できる条件として、流動化剤のドラムミキサへの投入方法、および攪拌方法が得られた。また、その方法で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。現在、実験結果に基づき、本

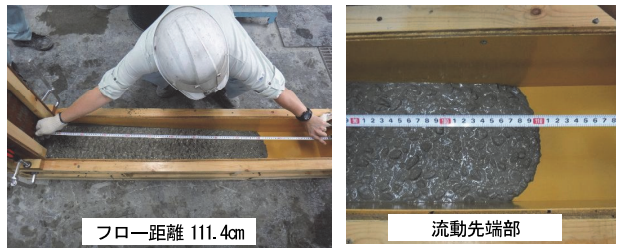


写真-5 L型フローの状況 [A工場標準期 33F50AE]

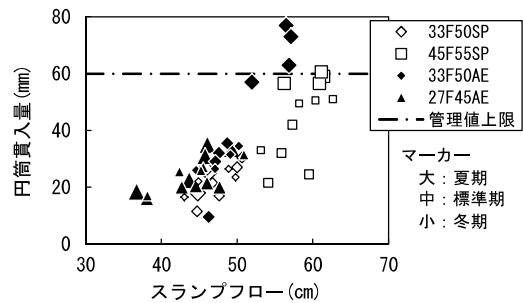


図-7 円筒貫入量とスランプフローの関係 [A工場]

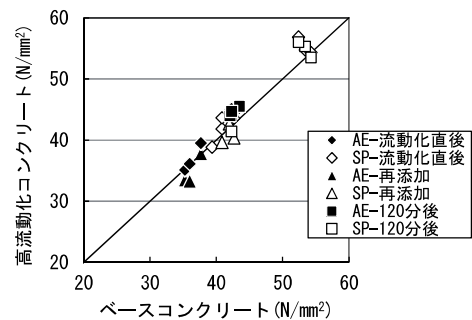


図-8 流動化前後の圧縮強度の比較 [A工場]

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などに適用を進めている。また、昨今、増加傾向にある耐震補強工事においても、流動性を有するコンクリートが必要となる場合も多い。今後、そのような工事を含め積極的に適用を進めたい。

なお、本技術については、第三者評価機関より建築技術性能証明を取得している。

【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