

報告 中・高流動コンクリートの適用範囲に関する実験的検討

依田 和久^{*1}・新谷 彰^{*2}・浅岡 茂^{*3}・山越 広志^{*4}

要旨: スランプフローを 45~55cm として流動性・充填性を高めた中・高流動コンクリートのニーズが高まってきている。ここで提案する中・高流動コンクリートは、JIS 製品であるレディーミクストコンクリートをベースとし、荷卸試験後に流動化するものである。本研究では、目標性能をコンクリートの流動性、材料分離抵抗性、圧縮強度とし適用範囲を検討するための実験を行った。室内実験では目標性能を満足するためのスランプフローと調合管理強度の組合せを明らかにした。実機練り実験では代表的なコンクリートについてアジテータ車から排出されるコンクリート流による始め・中・終わりの試料の品質変動を把握した。

キーワード: 中・高流動コンクリート, 流動化剤, 目標性能, 流動性, 材料分離抵抗性, 圧縮強度

1. はじめに

近年、コンクリート工事において複雑な形状の具現化や部材断面の制約に伴う過密配筋化に対応すべくスランプフローを 45~55cm として流動性・充填性を高めた中・高流動コンクリートのニーズが高まってきている¹⁾。ここでいう中・高流動コンクリートとは、図-1 に示す通り、流動性の点で普通コンクリートと高流動コンクリートの間に位置し、対象物に適合した軽微な締め固めにより躯体を構築するものである。JIS 製品であるレディーミクストコンクリートを基本的には調合修正せずにベースコンクリートとし、荷卸し試験後に流動化するものである。使用する流動化剤は本コンクリート用に増粘性を付与させたものである。本コンクリートは狭隘な部材や免震基礎など様々な用途で実績がある。しかし、従来個別の案件ごとの対応をしてきたため適用範囲について網羅的な検討を行っていなかった。このため、本報告では、本コンクリートの適用範囲について室内実験と実機練り実験により検討した結果について述べる。

2. 実験計画

2.1 実験概要

コンクリートの目標性能は流動性、材料分離抵抗性、圧縮強度とした。目標性能と判断基準を表-1 に、実験の要因と水準を表-2 に、コンクリートの種類を表-3 に示す。室内実験では目標性能を満足するスランプフローと調合管理強度の組合せを明らかにした。実機練り実験ではベースコンクリートの試験後トラックアジテータ（以下、アジテータ車という）を用いて流動化し、アジテータ車から排出されるコンクリート流における始め・中・終わりの試料（以下、流始、流中、流終という）

を対象に、主に流動性および材料分離抵抗性の試験を行い、それらの品質変動を検討した。実機練り実験で対象としたコンクリートのうち、SH40 は3シーズン（標準・夏・冬）別に、AL24 は標準期で試験を実施した。

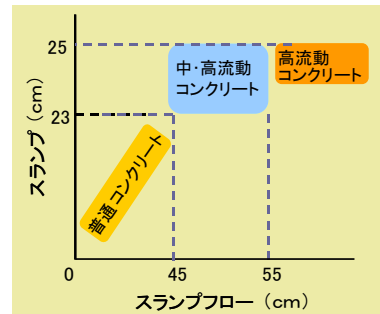


図-1 中・高流動コンクリートの概念

表-1 目標性能と判断基準

目標性能	判断基準
流動性	所定のベーススランプに対し、流動化後のスランプフローを満足すること
	ベーススランプと流動化後のスランプフローの対応
	15±2.5cm→45±7.5cm
	18±2.5cm→50±7.5cm 21±1.5cm→55±7.5cm
材料分離抵抗性*	中心部に粗骨材が偏在しないこと 周辺部にセメントペースト及び水が偏在しないこと
圧縮強度	各々の調合管理強度 (21~45N/mm ²) を満足すること

*スランプフロー試験後の状態を目視観察した。判断基準は文献²⁾による。一部の試料ではL型フロー試験により充填性を兼ねた評価を行う。コンクリートの空気量は全て4.5±1.5%とする

表-2 実験の要因と水準

実験	要因	水準	
室内	スランプフロー (cm)	45, 50, 55	
	調合管理強度 (N/mm ²)	高性能AE減水剤 ^{*1}	27, 30, 33, 45
		AE減水剤 ^{*1}	21, 24, 30
実機練り	コンクリート種類	SH40, AL24	
	コンクリートの温度 ^{*2} (°C)	10, 20, 30	

*1. ベースコンクリート用混和剤

*2. 目標温度であり、季節別(標準, 夏, 冬)に製造

*1 鹿島技術研究所 建築生産グループ 上席研究員 博士 (工学) (正会員)

*2 鹿島技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 (正会員)

*3 鹿島 建築管理本部 建築技術部技術コンサルグループ 次長 (正会員)

*4 鹿島 建築管理本部 建築技術部技術管理グループ 課長

2.2 使用材料・調合および練混ぜ

使用材料を表-4に、コンクリートの種類と調合を表-5に示す。本研究で用いた流動化剤³⁾は、ポリカルボン酸系の減水剤を主剤とし、少量で増粘効果を示し、凝結遅延が生じ難い多糖誘導体をプレミックスした液体であり、高性能減水剤の品質基準(JIS A 6204)を満足している。本コンクリートは材料分離抵抗性の付与の点から高流動コンクリートで示されている増粘剤系⁴⁾に近いものであるといえる。調合は、生コン工場S社の標準調合をベースにJASS 5に示されている単位水量及び単位セメント量の条件⁵⁾を勘案し、最大単位水量は185 kg/m³以下とし、高性能AE減水剤を用いたコンクリートの最低セメント量を290kg/m³として調合設計を行った。この時の目標空気量は4.5%とした。

2.3 練混ぜ方法および試料採取方法

室内練りは強制二軸ミキサ(容量60L)を用いて粗骨材、細骨材、セメントを投入後15秒空練りし、混練水を投入後60秒混練した。練混ぜ量は35Lとした。練上り後ベースコンクリートのフレッシュ時の試験を実施した後、試料をミキサに戻し、所定量の流動化剤を添加後30秒練混ぜた。実機練りは容量3m³の強制二軸ミキサで全材料投入後40秒混練した。練混ぜ量は2.25m³とした。練上り後、最大積載量3m³のアジテータ車に積載した試料からベースコンクリートのフレッシュ時の試験を直ちに実施した後、残りのコンクリートに所定量の流動化剤を添加後120秒間攪拌した。流動化は注水後25~60分以内に実施した。

実機練り実験では図-2に示す通り、流動化に用いたアジテータ車から別のアジテータ車にコンクリートを移し変えることにより、流始、流中、流終のコンクリート試料で試験を行うとともに、別のアジテータ車に移した試料を用いてスランプフローと空気量の経時変化試験を実施した。

2.4 試験項目及び方法

試験項目および方法を表-6に示す。材料分離抵抗性の評価はスランプフロー試験時の目視観察で行った。また、室内実験においてスランプフローが最も大きく材料分離が懸念されたSH33は、図-3に示すL型フロー試験においても充填性および材料分離抵抗性の評価を行った。充填性は、図-3に示すA室にコンクリートを充填させた後、仕切り板を引き上げ、コンクリートをB室に充填させたときの流動停止までの時間、コンクリートの到達長さ、流動勾配で評価した。材料分離抵抗性はL型フロー試験終了後各部(元・中・先端)から試料を採取し、5mmふるいでモルタル分を洗い流して粗骨材を採取し、各部の粗骨材量の質量割合を比較して行った。また、実機練り実験ではブリーディング試験も実施した。

表-3 コンクリートの種類

実験	記号 ^{*1}	ベースコンクリート用混和剤 ¹⁾	ベーススランプ(cm)	目標スランプフロー ²⁾ (cm)	調合管理強度 ³⁾ (N/mm ²)
室内	SL27	高性能AE減水剤[S]	15	45[L]	27
	SL45		15	45[L]	45
	SM30		18	50[M]	30
	SH33		21	55[H]	33
	SH45		21	55[H]	45
	AL21	AE減水剤[A]	15	45[L]	21
	AL30		15	45[L]	30
	AM24		18	50[M]	24
	AM30		18	50[M]	30
	SH40		[S]	21	55[H]
実機練り ^{*2}	AL24	[A]	15	45[L]	24

*1.記号は1~3)の組合せを意味する。また、[]内は記号
*2.SH40は3シーズン(標準・夏・冬)、AL24は標準期のみ実施

表-4 使用材料

材料	種類	密度(g/cm ³) ^{*2}
セメント	普通ポルトランドセメント(S社製)	3.15
細骨材 ^{*1}	砂(山砂・茨城・神栖産)	2.60
	砕砂(栃木・佐野産)	2.68
粗骨材 ^{*1}	硬質砂岩砕石(茨城・笠間産)	2.65
	石灰岩砕石(栃木・佐野産)	2.70
混和剤	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)	1.06
	AE減水剤(リグニン系)	1.10
水	地下水	-

*1.細骨材は砂:砕砂=7:3、粗骨材は1:1(いずれも容積比)で混合
また、粗粒率は混合砂が2.50、混合砕石(最大寸法20mm)が6.60
*2.骨材の密度は表乾密度

表-5 コンクリートの調合

実験	記号	W/C (%)	s/a (%)	水	セメント	細骨材混合砂	粗骨材砕石	混和剤 [*] (C×%)	流動化剤(kg/m ³)
室内	SL27	56.9	47.0	165	290	861	990	SP:0.75	1.5
	SL45	40.2	43.9	165	410	761	990	SP:0.65	2.1
	SM30	53.1	48.3	170	320	867	944	SP:0.70	1.7
	SH33	50.0	51.4	175	350	902	869	SP:0.70	2.1
	SH45	40.2	50.2	175	435	861	869	SP:0.65	2.1
	AL21	62.1	46.0	174	280	835	1001	AE:0.80	2.1
	AL30	50.9	43.5	178	350	761	1006	AE:0.60	2.1
	AM24	57.2	46.5	183	320	817	960	AE:0.80	2.1
	AM30	50.0	45.0	185	370	770	960	AE:0.60	2.1
	実機練り	SH40	43.8	49.3	175	400	845	894	SP:1.05 ~1.1
AL24		57.9	45.5	175	302	817	1006	AE:1.0	1.7

*ベースコンクリート用:SPが高性能AE減水剤(夏季は遅延剤)、AEがAE減水剤を表す。

中型車(最大3m³積)

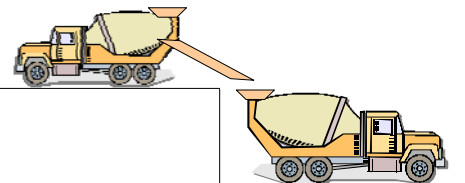


図-2 試料の採取方法

表-6 試験項目及び方法

区分	試験項目	試験方法	室内実験	実機練り実験 ^{*1}			
				標準	夏	冬	
フレッシュ	スランプ	JIS A 1101	○	○	○	○	
	スランプフロー	JIS A 1150	○	○	○	○	
	空気量	JIS A 1128	○	○	○	○	
	温度	JIS A 1156	○	○	○	○	
	材料分離抵抗性	目視		○	○	○	○
		L型フロー試験 ^{*3}		○	-	-	-
	ブリーディング ^{*2}	JIS A 1123		-	○	○	○
強度	圧縮強度 ^{*3,4}	JIS A 1108	○	○	○	○	

*1.SH40は3シーズン(標準・夏・冬)、AL24は標準期のみ実施
*2.コンクリート温度は図-7参照
*3.供試体の作り方はJIS A 1132に準拠、ただし突き数は半減とした
*4.室内は試験材齢7・28日、実機練りは材齢30日、いずれも標準水中養生

3. 実験結果及び考察

3.1 室内実験

(1)スランプフローと空気量

コンクリートのスランプフローと空気量を図-4 に示す。単位セメント量や単位水量の制限に関わらず、いずれも目標値に対し許容範囲であるスランプフローは±7.5cm、空気量は±1.5%を満足するものが得られた。

(2)材料分離抵抗性³⁾

混和剤種類及び目標スランプフロー別に単位セメント量が最も少なく材料分離が懸念される SL27, SM30, SH33, AL21, AM30 のスランプフロー試験時のコンクリートの状態を写真-1~6 に示す。なお、SH33 のみ流動化剤を再添加することによりスランプフローを上限值に近いものについてもその状態を確認した。目視観察の結果、いずれのコンクリートにおいても中心部に粗骨材が偏在せずかつ周辺部にセメントペースト及び水が偏在していないことが確認された。また、スランプフローが最大の 55cm であるため材料分離が最も懸念された SH33①の L 型フロー試験の結果を写真-7 に示す。コンクリートの先端は B 室の妻壁に到達し、その到達時間は 9.1 秒であり、流動勾配は 14.7° であった。これらの値は先に優れた充填性を確認した砂岩碎石を用いた水セメント比 43.5%の中・高流動コンクリート¹⁾と同等の性状であった。また、到達距離別粗骨材の質量割合を図-5 に示す。粗骨材量は、到達距離が長いほど多くなる傾向を示している。試験装置内壁をモルタルが被覆するため、到達距離が長いほどモルタルが少なくなる可能性がある。しかし、目視では粗骨材とモルタルマトリックスが先端まで流動障害に関わらず分離せず一体となって流動しており、スランプフロー試験の状態と考え合わせると優れた材料分離抵抗性を有していると言える。

(3)圧縮強度

コンクリートの圧縮強度を図-6 に示す。圧縮強度は各コンクリートとも管理材齢 28 日において調合管理強度を満足した。

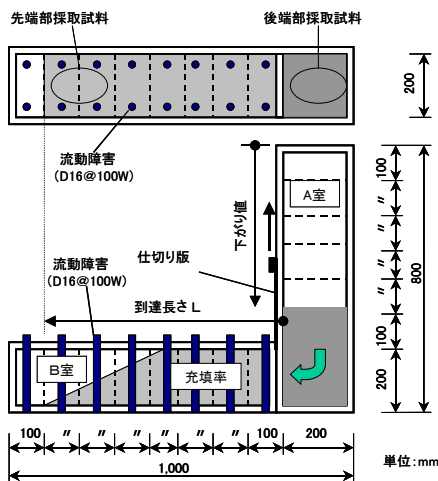


図-3 L型フロー試験装置³⁾

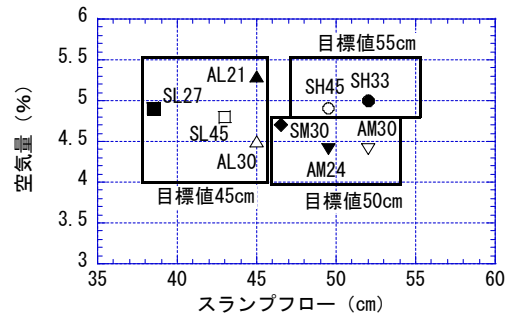


図-4 スランプフローと空気量の結果



写真-1 SL27 (38.5cm) 写真-2 SM30(46.5cm)



写真-3 SH33① (52.0cm) 写真-4 SH33②(60.5cm)



写真-5 AL21 (45.0cm) 写真-6 SM30(49.5cm)

注) () 内はスランプフロー値

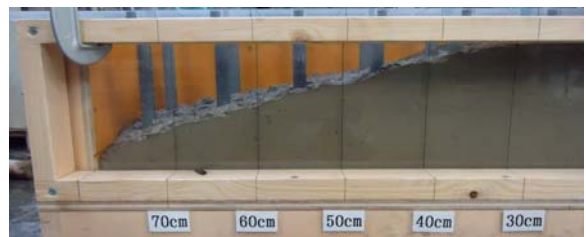


写真-7 L型フロー試験での流動状況(SH33①)

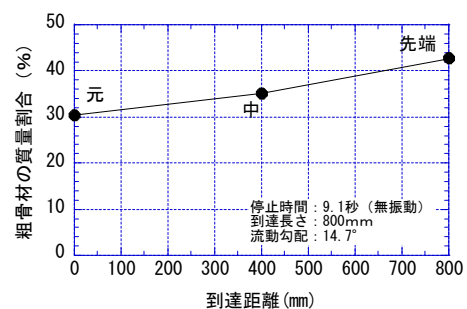


図-5 到達距離別粗骨材の質量割合

3.2 実機練り実験

(1) コンクリートの温度

コンクリートの温度を図-7に示す。SH40のコンクリート温度は、流動化の有無や採取時点に関わらず、標準期は22~23℃、夏期は32℃、冬期は10℃であり、AL24の標準期は20~21℃となり、いずれも実機練り実験としてはほぼ理想的なコンクリート温度となった。

(2) スランプフローと空気量

アジテータ車から排出される中・高流動コンクリート流の始め、中、終わりのコンクリート試料 (SH40, AL24) のスランプフローの試験結果を図-8に示す。SH40は標準期・夏・冬において流動化剤の添加量を調整することでスランプフローは全て目標範囲を満足し、その変動は最大5cmであった。標準期のAL24のスランプフローは全て目標範囲を満足し、その変動は最大6cmであった。

同一の試料による空気量の試験結果を図-9に示す。SH40において標準期・夏・冬の季節に関わらず空気量は全て目標範囲を満足し、その変動は最大で1.2%であった。標準期に実施したAL24においても空気量は全て目標範囲を満足し、その変動は最大で0.8%であった。

(3) 材料分離抵抗性

目視観察の結果、いずれのコンクリートにおいても中心部に粗骨材が偏在せずかつ周辺部にセメントペースト及び水が偏在していないことが確認された。

(4) ブリーディング量

コンクリートのブリーディング量を図-10に示す。SH40のブリーディング量は冬>標準>夏となり、温度が低いほど多くなった。また、冬季・夏季においてベースコンクリートと中・高流動コンクリートは同等なブリーディング量となった。AL24のブリーディング量はベースコンクリートと同等以下であった。また、JIS A 1123ブリーディング試験の温度条件とほぼ一致している標準期のブリーディング量はSH40が $0.03\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であり、AL24が $0.12\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であった。これらの値は既往指針(案)⁶⁾においてコンクリート目標値として示されている $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ に比べ十分に小さいといえる。

(5) 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度を図-11に示す。SH40において標準期・夏・冬の季節に関わらず圧縮強度は、全て管理材齢28日において調合管理強度を満足し、流動化剤添加前のベースコンクリートの圧縮強度と同等以上であった。標準期に実施したAL24においても管理材齢28日の調合管理強度を満足し、流動化剤添加前のベースコンクリートの圧縮強度と比べ同等であった。

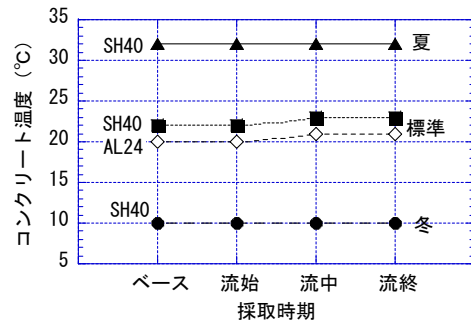


図-7 コンクリートの温度

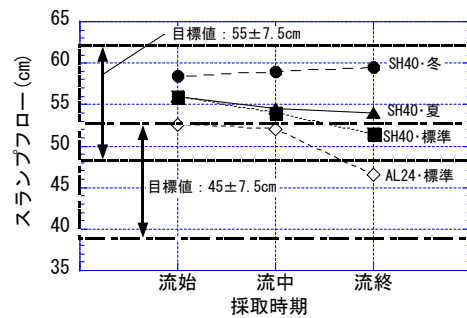


図-8 コンクリートのスランプフロー

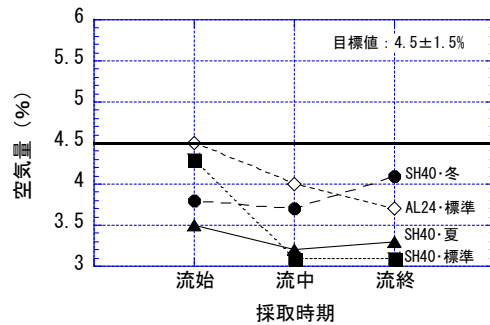


図-9 コンクリートの空気量

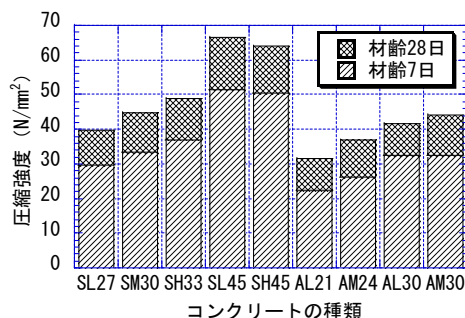


図-6 コンクリートの圧縮強度

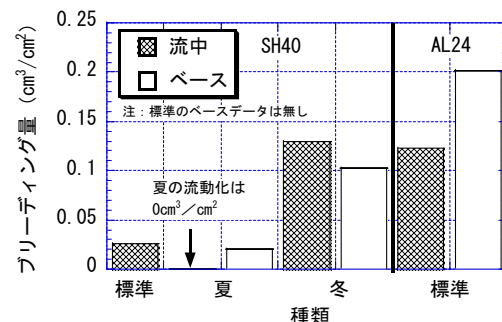


図-10 コンクリートのブリーディング量

(6) スランプフローの経時変化

スランプフローの経時変化のうち、SH40を図-12に、AL24を図-13に示す。SH40において流動化してから目標範囲外となる時間は、夏期が30分、標準期が60分、冬期が130分であった。コンクリート温度が低いほどスランプフローの保持性が高い結果となった。また、標準期に実施したAL24において流動化してから目標範囲外となる時間は、標準期が90分であり、SH40よりも30分ほど長い結果となった。

(7) 空気量の経時変化

スランプフローの経時変化と同一試料による空気量の経時変化のうち、SH40を図-14に、AL24を図-15に示す。空気量の試験を実施した範囲においていずれのコンクリートにおいて目標範囲である $4.5 \pm 1.5\%$ を満足していた。

(8) 再添加によるコンクリートの品質への影響

経時変化によりスランプフローが目標範囲外となった場合、流動化剤を再添加して品質が回復するか調べた結果を図-16に示す。対象とした標準期のSH40に、流動化剤を 1.4kg/m^3 再添加後アジテータ車で再攪拌後、スランプフロー、空気量、圧縮強度について調べた。スランプフローは再添加前後で38.0cmから49.5cmと11.5cm大きくなり、管理目標値である $55 \pm 7.5\text{cm}$ の範囲内まで回復した。空気量は1.2%増加したがこれも目標範囲内であった。また、圧縮強度は再添加前後に関わらず同等な値となった。

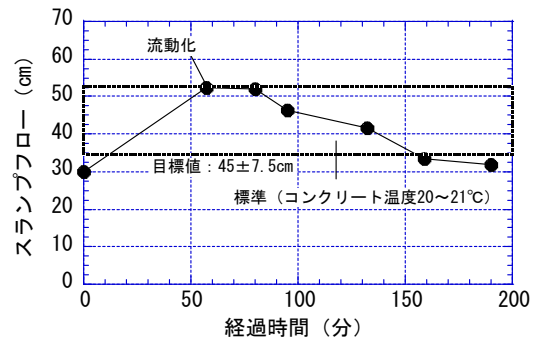


図-13 スランプフローの経時変化(AL24)

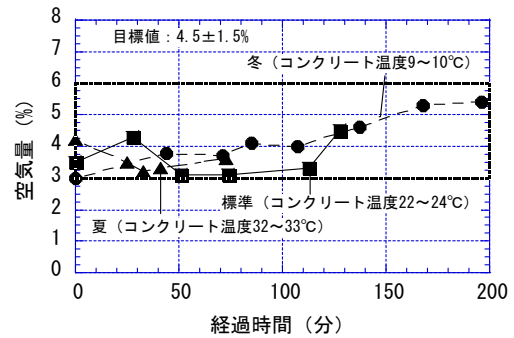


図-14 空気量の経時変化(SH40)

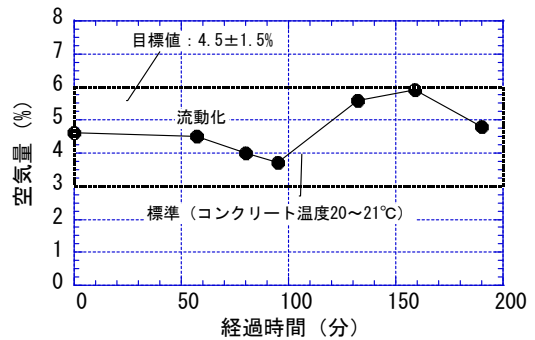


図-15 空気量の経時変化(AL24)

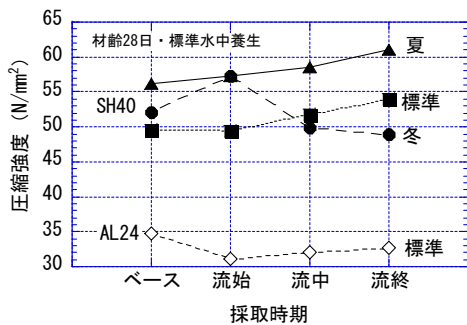


図-11 コンクリートの圧縮強度

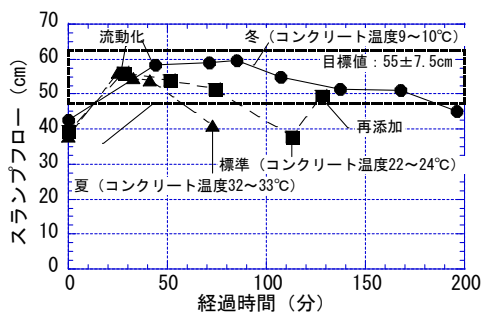


図-12 スランプフローの経時変化(SH40)

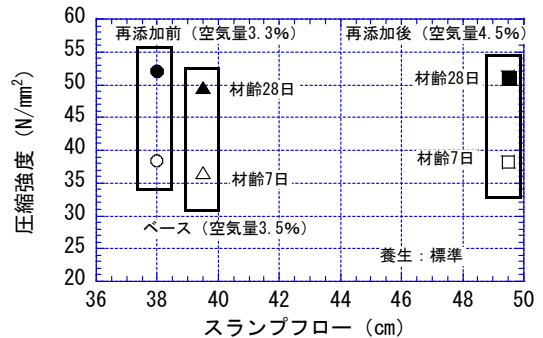


図-16 再添加による品質へ影響

4. 適用範囲の検討

室内実験及び実機練り実験により検討した高性能 AE 減水剤及び AE 減水剤の種類別に適用範囲を図-17に示す。高性能 AE 減水剤の範囲を実線で、AE 減水剤の範囲を点線で示す。また、実験を実施した点は高性能 AE 減水剤を黒丸で、AE 減水剤を白丸で示す。高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートでは、スランプフロー45cm で調合管理強度 27N/mm²以上、スランプフロー50cm で同 30 N/mm²以上、スランプフロー55cm で同 33 N/mm²以上とした場合目標性能を満足するものが得られた。このコンクリートの調合管理強度の上限は 45 N/mm²とした。AE 減水剤を用いたコンクリートでは、スランプフロー45cm で調合管理強度 21 N/mm²以上、スランプフロー50cm で 24 N/mm²以上とした場合目標性能を満足するコンクリートが得られた。このコンクリートの調合管理強度の上限は 30 N/mm²とした。適用範囲は JASS 5 で示されていた範囲に比べ、スランプフローの値を 45cm から 55cm まで大きくしたものを提案した。ただし、材料分離抵抗性の確保の観点から最低セメント量を定める必要があると考えられる。このため、今回の実験結果を踏まえ、かつ資料^{2, 4)}を参考にして高性能 AE 減水剤による最低単位セメント量を表-7に、AE 減水剤による最低セメント量を表-8にそれぞれ目標スランプフロー別に提案する。

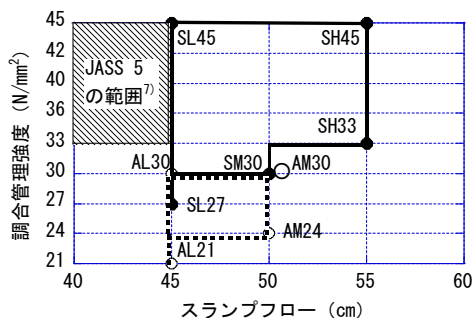


図-17 中・高流動コンクリートの適用範囲

表-7 高性能 AE 減水剤の場合の最低セメント量

目標スランプフロー (cm)	最小ベーススランプ (cm)	最低セメント量 (kg/m ³)	本報告で実験を行ったコンクリートの記号
45	15	290	SL27
50	18	320	SM30
55	21	350	SH33

表-8 AE 減水剤の場合の最低セメント量

目標スランプフロー (cm)	最小ベーススランプ (cm)	最低セメント量 (kg/m ³)	本報告で実験を行ったコンクリートの記号
45	15	280	AL21
50	18	320	AM24

5. まとめ

室内実験および実機練り実験の結果をもとにしたまとめを以下に示す。

- (1) 本コンクリートの適用範囲として、高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートではスランプフロー45～55cm において調合管理強度 27～45N/mm²とし、AE 減水剤を用いたコンクリートではスランプフロー45～50cm において調合管理強度 21～30N/mm²とするものを提案した。
- (2) 目標とするスランプフローおよび空気量は、アジテータ車で流動化剤を添加して製造した高性能 AE 減水剤を用いたコンクリート及び同 AE 減水剤を用いたコンクリートにおいてコンクリート流の始め、中、終わりのいずれの試料においても目標とするスランプフローおよび空気量を満足した。
- (3) スランプフローおよび空気量の経時保持性は、アジテータ車で流動化剤を添加して製造した高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートにおいて夏期は 30 分、標準期は 60 分、冬期は 130 分程度まで、また、同 AE 減水剤を用いたコンクリートにおいて標準期で 90 分程度まで目標範囲内にあることが確認された。

謝辞

本研究の実施に際し、花王(株)、山宗化学(株)、佐倉エスオーシー(株)の各位に、実験協力やご助言を頂きました。紙面を借りて謝意を表します。

参考文献

- 1) 依田和久ほか：ひび割れ低減性を付与した後添加型中流動コンクリートの施工，コンクリート工学，Vol.45, No.10, pp.51-56, 2007.10
- 2) 日本建築学会編：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.24, 1997
- 3) 依田和久ほか：流動化剤を用いた中流動コンクリートの開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, No.1, pp.1249-1254, 2005.6
- 4) 土木学会編：高流動コンクリート施工指針，p.34, 1998
- 5) 日本建築学会編：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，p.232～237, 2009
- 6) 日本建築学会編：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，p.7, 1991
- 7) 日本建築学会編：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，p.400, 2009