

論文 高流動モルタルの流動性の保持性能に及ぼす混和剤種類の影響

武田 均^{*1}・木ノ村 幸士^{*2}・松元 淳一^{*3}・宮原 茂禎^{*4}

要旨：高温環境における高流動モルタルの流動性の経時的な低下を抑制することを目的として、市販の混和剤を用いて、高性能 AE 減水剤と減水剤の組合せが高流動モルタルの流動性の保持性能に及ぼす影響を検討した。その結果、ある種の混和剤の組合せでは、スランプフローの大きさとスランプフローの経時変化を独立してコントロールでき、20 ～ 60 の間で変動するような環境温度下においても良好な流動性の保持性能が得られることが明らかとなった。

キーワード：高流動モルタル，流動性保持性能，混和剤，高温環境

1. はじめに

近年、過密配筋への対応のために流動性や材料分離抵抗性を高めることが必要とされる工事に代表されるように、単位水量の増加を最小限に抑制しつつ練上がりの目標スランプを大きく設定することを目的として高性能 AE 減水剤が使用される事例が増加しつつある。高流動コンクリートを製造する場合にも高性能 AE 減水剤の使用が前提となる。このような高性能 AE 減水剤の利用のされ方は、コンクリート構造物の耐久性確保のための方策の一つとして普及しているといった側面もあると推察される。

一方、構造物の施工においてコンクリートを確実に打設するためには、練上がりのワーカビリティのみならず、ワーカビリティの経時的な低下を防止することが重要である。高性能 AE 減水剤を使用することによりワーカビリティを改善したコンクリートは、時間の経過に伴って高性能 AE 減水剤のワーカビリティ改善効果が低下すると、急激にワーカビリティが低下し、充填不良など、施工に重大な影響を及ぼす場合も想定される。

本論文は、最高温度 60 までの範囲で変動する温度環境下で、無人化施工に適用される充填モルタルを確実に施工するために、ワーカビリティの経時変化を抑制可能な市販の混和剤の組合せについて検討したものである。経時変化を改善する方法として、高性能 AE 減水剤を改良し、いわゆる流動性保持成分を調整する方法もあるが、ここでは市販の混和剤の組合せによって経時変化を制御する方法を選択した。これは、日々変化する現場環境や材料の品質変動に対して、改良品の使用では即時に対応することが困難であると考えたからである。検討の結果選定された混和剤の組合せは、ここで想定した特殊な高温環境や配合のみならず、ワーカビリティの経

時変化の抑制が要求される一般のコンクリートに対しても適用可能なものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

(1) 使用材料

使用材料を表 - 1 および表 - 2 に示した。粉体材料としてセメント、フライアッシュ、膨張材、石灰石微粉末を使用している。粉体のうち、セメント、フライアッシュおよび膨張材は結合材に分類される。石灰石微粉末については、産地の違いが高流動モルタルの流動性に及ぼす影響を検討するため、産地の異なる 2 種を使用した。空気量を調整するために空気量調整剤を使用した。

さらに、本論文における主要な検討項目である流動性に及ぼす混和剤種類の影響を検討するために、表 - 2 に示した 4 種の高性能 AE 減水剤および 2 種の減水剤を使

表 - 1 使用材料

材料	記号	種類, 品質
セメント	LPC	低熱ポルトランドセメント, 密度 3.22 g/cm ³ , 比表面積 3530 cm ² /g
フライアッシュ	FA	フライアッシュ II 種, 密度 2.29 g/cm ³ , 比表面積 3980 cm ² /g
膨張材	LEX	石灰系膨張材, 密度 3.05 g/cm ³
石灰石微粉末	LS1	石灰石微粉末(産地 A), 密度 2.70 g/cm ³ , 比表面積 5390 cm ² /g
	LS2	石灰石微粉末(産地 B), 密度 2.71 g/cm ³ , 比表面積 5510 cm ² /g
細骨材	S	石灰石砕砂, 表乾密度 2.66 g/cm ³ , 吸水率 1.07%, 粗粒率 2.68
混和剤	As	空気量調整剤, 主成分: ポリアルキレングリコール誘導体
	SP, Ad	高性能 AE 減水剤および減水剤表-2 に示す

*1 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 工博 (正会員)

*2 大成建設(株) 原子力本部原燃サイクル部 工修 (正会員)

*3 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 工博 (正会員)

*4 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 工修 (正会員)

表 - 2 使用混和剤

混和剤種類		記号	主成分	密度 g/cm ³	減水率 %	本論文における使用量の範囲, P* × %
高性能 AE 減水剤	標準形(I 種)	SP0	カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物	1.044	19	0.50 ~ 0.60
	標準形(I 種)	SP1	ポリカルボン酸エーテル系化合物と配向ポリマーの複合体	1.043	18	0.70 ~ 0.80
	標準形(I 種)	SP2	ポリカルボン酸エーテル系化合物	1.065	18	0.55
	遅延形(I 種)	SP3	ポリカルボン酸エーテル系化合物	1.090	18	0.60
減水剤	遅延形(I 種)	Ad1	変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸化合物の複合体	1.116	7	0.20 ~ 0.30
	遅延形(I 種)	Ad2	ポリオール複合体	1.134	6	0.20 ~ 0.45

*:P は表-3 に示す粉体質量

表 - 3 高流動モルタルの配合

目標スラン プフロー mm	目標 空気量 %	水粉体比 W/P %	水結合材 比 W/B %	単位量, kg/m ³					
				水 W	粉体 P			石灰石微 粉末 LS1, LS2	細骨材 S
					結合材 B				
					セメント LPC	フライアッ シュ FA	膨張材 LEX		
750 ± 50	2.5 ± 1.5	28.0	45.0	230	338	153	20	307	1205

混和剤の使用量 (P × %) の範囲は表-2 に示した。

用した。これらの混和剤は JIS A 6204 「コンクリート用化学混和剤」に適合する市販品である。メーカー資料によれば、これらの高性能 AE 減水剤は主成分の相違により、流動性保持成分の作用機構が若干異なるものである。減水剤は凝結遅延効果によりコンクリートの凝結時間をコントロールする目的でも使用されるものである。これらの高性能 AE 減水剤と減水剤を種々の組合せで併用した場合の、高流動モルタルの流動性および流動性の保持性能への影響について検討した。

(2) 配合

高流動モルタルの配合を表 - 3 に示す。高流動モルタルは狭隘な部位への確実な充填と無人化施工を想定して配合設計されたものであり、種々の性能が明らかにされている^{1), 2), 3)}。高性能 AE 減水剤を使用して、目標スランブフローを 750mm するとともに、水粉体比を 28% とすることによって材料分離抵抗性を極力高めた配合である⁴⁾。本検討では、表 - 3 に示した基本配合は変更せず、混和剤の種類と使用量のみによって流動性の保持性能の向上を図った。

2.2 練混ぜ方法

20 の恒温室内においてモルタルを製造した。練混ぜには二軸強制練りミキサを使用した。練混ぜ量は 50 リットルを基本とした。練混ぜ方法は以下のとおりである。

1) 水・混和剤を除く材料を全量ミキサに投入し 30 秒間空練りする。

2) 混和剤と水を全量投入し 90 秒間練り混ぜる。

表 - 4 試験測定項目

試験測定項目	経過時間, 分				
	5	30	60	90	120
モルタル温度	○	○	○	○	○
スランブフロー JIS A 1150	○	○	○	○	○
500mm フロー到達時間	○	○	○	○	○
モルタル V 漏斗流下時間	○	○	○	○	○
空気量 JIS A 1128	○	-	-	-	-
単位容積質量 JIS A 1116	○	-	-	-	-
塑性粘度 (円筒型回転粘度計)					

○印：試験測定実施， 印：一部のケースで測定実施

表 - 5 経時変化試験の静置温度条件

温度条件	経過時間		
	0 分(練上がり)	60 分	120 分
20 環境	20 (室内)		20 (室内)
40 環境	20 (室内)		40 (温水槽内)
60 環境	20 (室内)		60 (温水槽内)

3) 90 秒間の練混ぜ後ミキサを停止して掻落しを行なう。

4) さらに 90 秒間練り混ぜる。

5) 90 秒間の練混ぜ完了後ミキサを停止し 5 分間ミキサ内にて静置する。

6) 静置後 30 秒間かくはんして排出する。

7) 排出後、直ちに練上がり性状確認試験を実施する。

2.3 経時変化試験方法

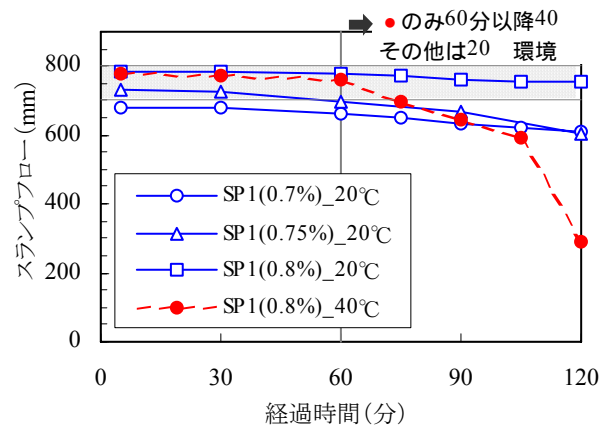
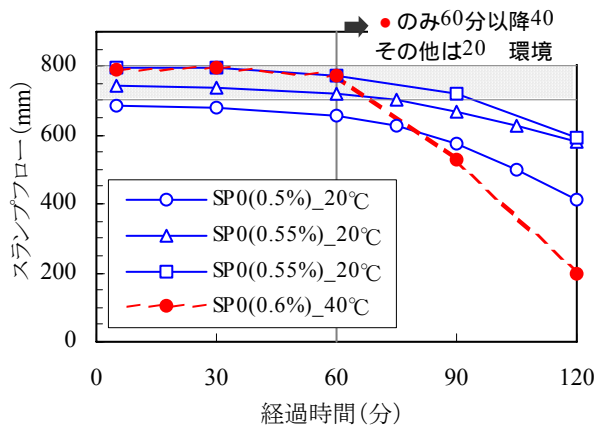
経過時間と環境温度を要因として、各種混和剤を使用



図 - 1 高温環境下の試料静置状況



図 - 2 湯せん用カゴ



凡例は、”混和剤種類(使用量 P × %) _ 60 分経過以降の環境温度”を示す。

図 - 3 高性能 AE 減水剤を単独使用したモルタルのスランブフローの経時変化 (SP0, SP1)

したモルタルの流動性の経時変化試験を実施した。各経過時間における試験測定項目を表 - 4 に示す。練上り時を経過時間の起点として 30 分間隔(一部 15 分間隔)で 120 分までフレッシュ性状の試験を実施した。ただし、排出時の試験は経過時間 5 分で実施した。

試料の静置条件は表 - 5 に示したとおりであり、経過時間 60 分までは、いずれの静置温度条件でも 20 の室内に静置した。20 室内での静置中は水分の逸散を防止するためにビニールシートで被覆した。引き続き 60 分経過時点以降は各温度条件下に静置した。40 および 60 の静置温度条件の試料は、60 分経過時点までにフレッシュ性状確認試験 1 回分の容量毎にビニール袋に移しておき、60 分経過時点で 40 および 60 の温水槽内のカゴに移動した。温水槽への試料の静置状況を図 - 1 に示す。温水槽は電熱ヒーターにより一定温度に制御した。十分な容量の温水槽としたことで、モルタル試料の投入による温度変化は観察されなかった。

図 - 2 に示したように、温水槽内のカゴには幅 150mm となるように仕切り網が設置されており、袋詰めモルタル試料を静置すると、静置試料は厚さ 150mm の平板状の形状で両面から温度の影響を受けることになる。こ

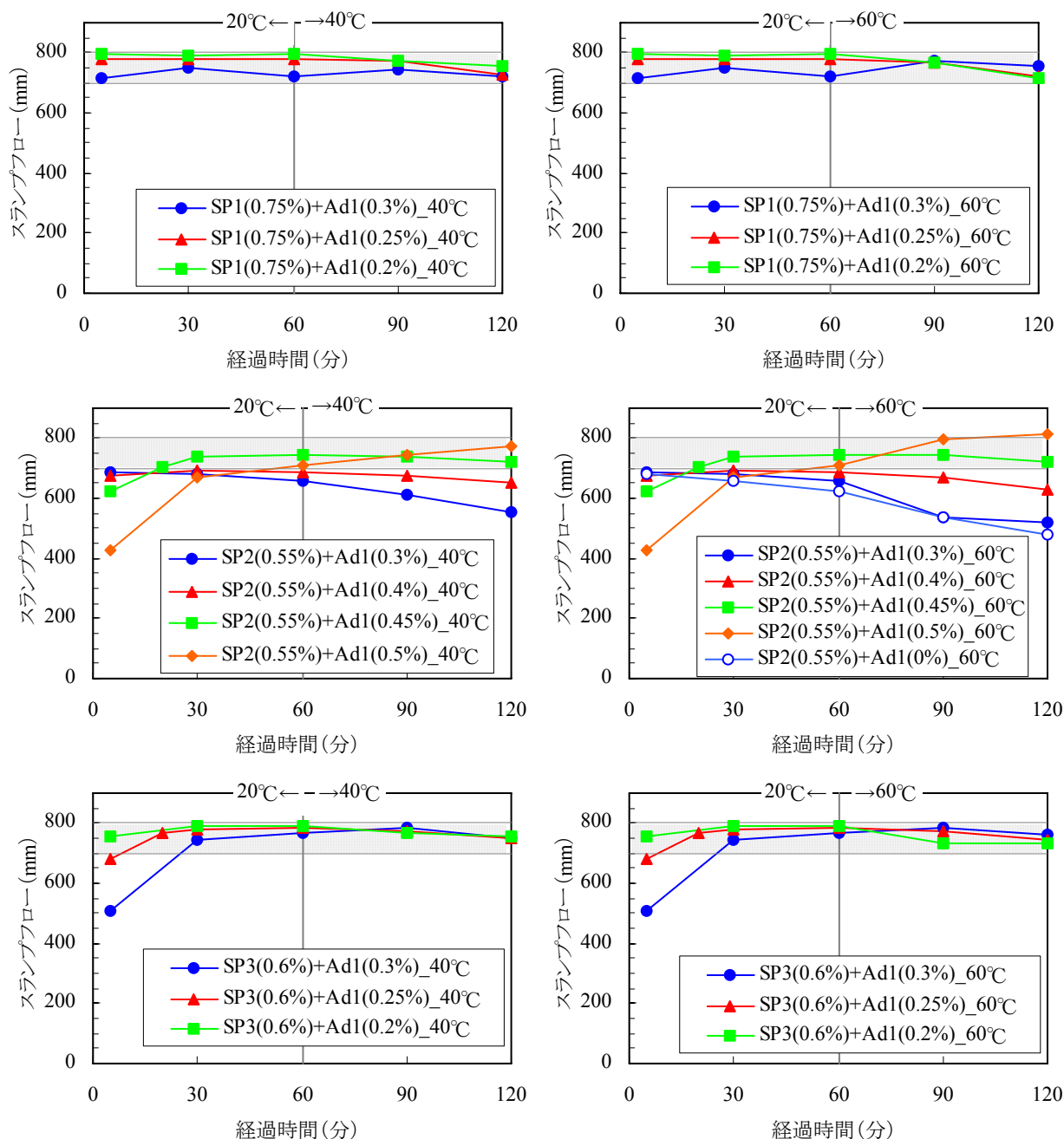
れは本論文で想定した施工条件である間隙 150mm における温度影響を再現したものである。

3. 実験結果および考察

3.1 スランブフローの経時変化

(1) 高性能 AE 減水剤の単独使用

高性能 AE 減水剤を単独で使用した場合のスランブフローの経時変化試験結果を図 - 3 に示す。ここでは、SP0 と SP1 の実験結果を示した。各図には目標範囲を網掛けで示した。各混和剤の使用量 0.05% の変動に対し、練上り時のスランブフローは 60mm ~ 70mm 程度変動する。20 一定の環境に静置した場合には、SP1 が SP0 と比較して 60 分以降のスランブフローの低下量が小さかった。同じ標準形高性能 AE 減水剤であっても、流動性の保持性能は混和剤種類によって変動することがわかった。60 分以降 40 となる環境では、いずれの混和剤を使用しても明らかにスランブフローの低下量が大きくなる傾向がある。特に 120 分後の状態は図中の写真に示したようにほとんどフローが広がらない状態にまで流動性が低下した。ここには、示していないが SP2, SP3 についても高温環境では同様の傾向を示した。



凡例は，" 混和剤種類(使用量 P×%)_60 分経過以降の環境温度 " を示す。

図 - 4 高性能 AE 減水剤と減水剤を併用したモルタルの高温環境におけるスランプフローの経時変化

(2) 高性能 AE 減水剤と減水剤の併用

3 種の高性能 AE 減水剤と減水剤 Ad1 との組合せについて実施した高温環境下のスランプフローの経時変化試験結果を図 - 4 に示す。SP1 と Ad1 を併用することで，60 分以降 40 および 60 となる高温環境下でも 120 分までスランプフローの目標範囲である 750 ± 50mm(図中に直線で示した) を満足した。SP1 と Ad1 の併用では，Ad1 の使用量の増加にともない練上りのスランプフローがやや低下する傾向があるが，管理範囲を越えるものではなかった。また，Ad1 の使用量が 0.2% の場合には，60 分以降に若干スランプフローが低下している。SP1 と

Ad1 の併用の場合には，Ad1 の使用量を 0.20% ~ 0.30% の範囲で調整することで練上りのスランプフローに過大な影響を与えずに経時変化を抑制できる。

一方 SP2 および SP3 と Ad1 を併用した場合には，Ad1 の使用量が増加することによる練り上り時のスランプフローの低下が顕著である。本実験の範囲では，SP3 と Ad1 との組合せの場合，練上がり時には管理目標を外れたが 30 分経過までに管理範囲内にまでスランプフローが大きくなり，その後は安定した。したがって，品質管理上の困難さはあるが，所要の流動性の保持性能は達成されたと考えられる。一方 SP2 と Ad1 との組合せでは，

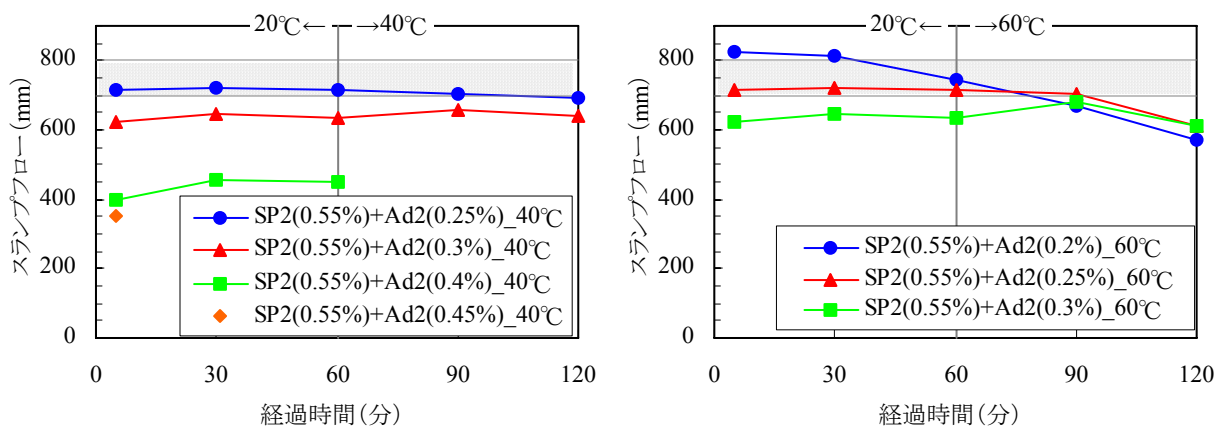


図 - 5 種類の異なる減水剤(Ad2)を併用した場合のスランブフローの経時変化

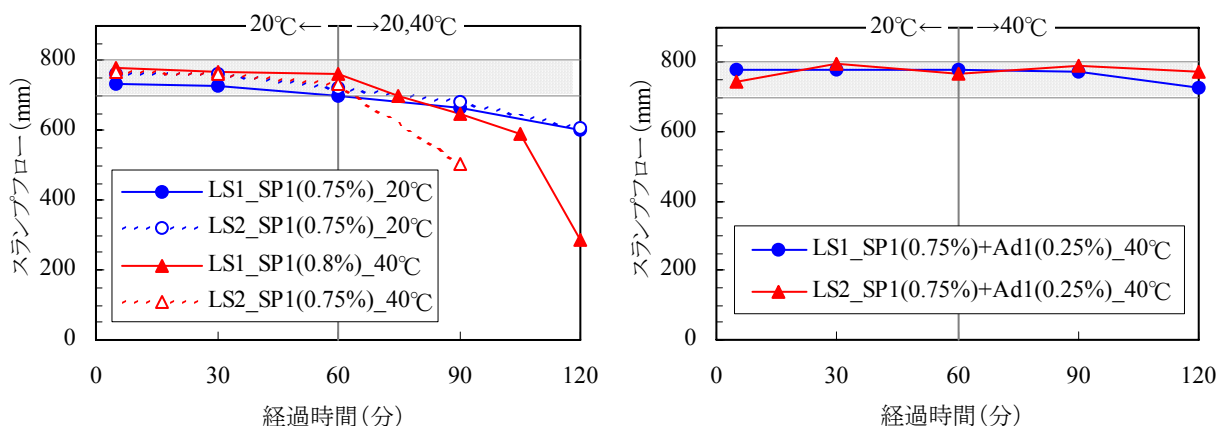


図 - 6 産地の異なる石灰石微粉末(LS2)を使用した場合のスランブフローの経時変化

Ad1 の使用量の影響が練上がりのスランブフローの大きさおよび 60 分以降の経時変化に現れている。すなわち、Ad1 の使用量が少ない場合には、60 分以降スランブフローのロスが大きくなる。逆に、使用量が多い場合には練上がりのスランブフローが小さく、60 分以降スランブフローが大きくなる。どちらの場合にも管理目標値を外れる場合がある。SP2 と Ad1 の組合せでは Ad1 の使用量に対して流動性の変化が敏感であり、実用上の困難があると考えられる。

次に、SP2 と Ad2 を併用した場合のスランブフローの経時変化を図 - 5 に示す。40 環境では、Ad2 の使用量に対して練上がりのスランブフローが敏感であることは Ad1 を使用した場合よりも顕著だが、使用量 0.25% の場合 120 分経過までスランブフローの管理目標範囲を満足した。60 環境においては、Ad2 の使用量を 0.3% まで増加しても 90 分以降のスランブフローロスを改善することができなかった。Ad2 の使用量を 0.3% 以上とすると、スランブフローが小さくなり管理範囲を外れると考えられる。これを SP2 の増量で対処することも考えられるが、結果的に SP2、Ad2 とともに使用量が増加する。

図 - 6 には産地の異なる石灰石微粉末(LS2)を使用し

た場合の経時変化試験結果を示した。図 - 6 左図は、SP1 のみを使用した場合である。LS1 を使用した場合よりも LS2 を使用した場合の方が 40 環境での 60 分以降のスランブフローロスが顕著であった。しかし、図 - 6 右図に示したように、SP1 と Ad1 とを併用することで、LS2 を使用した場合も、LS1 を使用した場合と同等の流動性の保持性能を達成することができた。

以上から、本検討の範囲では、SP1 と Ad1 を併用すれば、SP1 の使用量の調整によりスランブフローの大きさを、Ad1 の使用量の調整によりスランブフローの経時変化の改善量を、それぞれほぼ独立に制御することができるとわかった。また、石灰石微粉末の品質変動に対しても有効であった。このような調整が可能なことは、日々施工環境が変化する実施工への適用上大きなメリットがあると考えられる。

3.2 モルタル V 漏斗流下時間の経時変化

図 - 7 にモルタル V 漏斗流下時間の経時変化を示す。Ad1 を併用しない場合、図 - 7 に白抜き記号で示したように、60 分以降の V 漏斗流下時間の増大が顕著である。一方、Ad1 を併用し 60 分以降高温環境に静置した場合には、V 漏斗流下時間はむしろ低下する。すなわち、高温

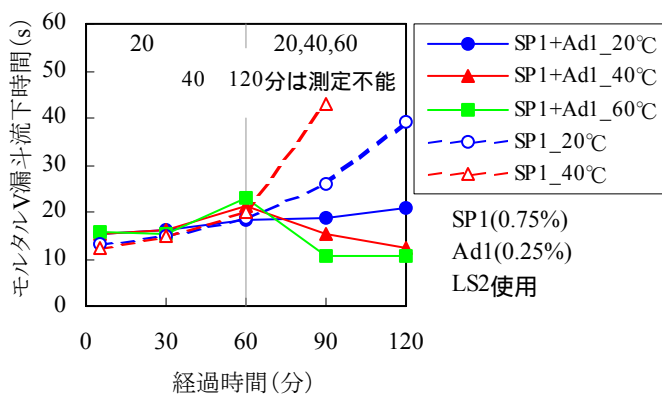


図 - 7 モルタル V 漏斗流下時間の経時変化

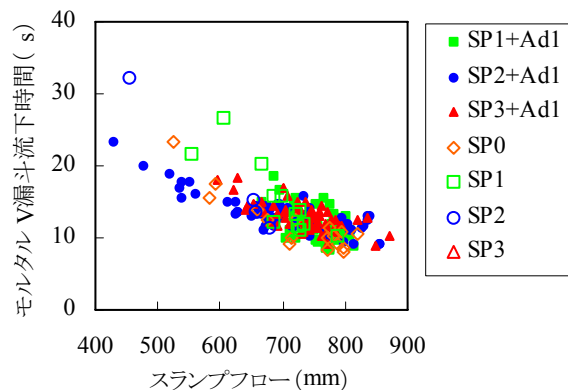


図 - 8 スランプフローとモルタル V 漏斗流下時間の関係

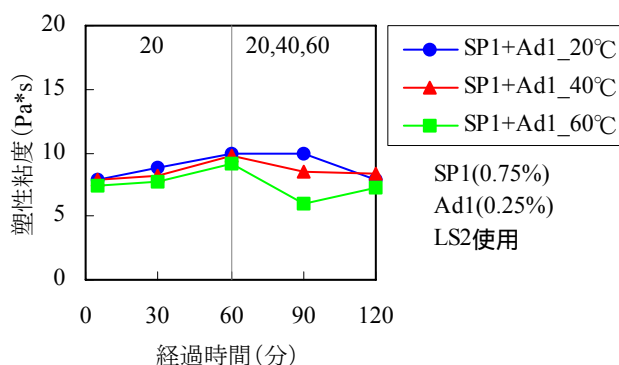
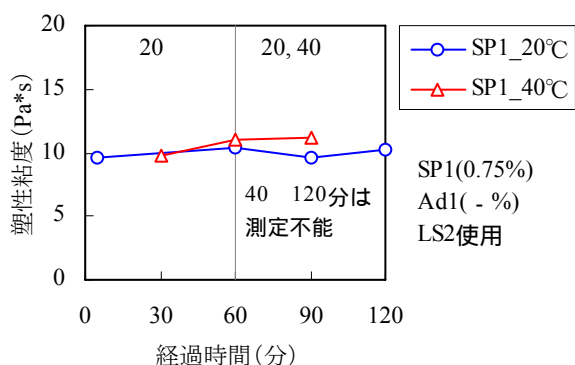


図 - 9 モルタルの塑性粘度の経時変化

環境下で粘性が低下することを示している。図 - 8 に示したように、V 漏斗流下時間はスランプフローと相関があるが、モルタルの粘性の指標としては V 漏斗流下時間の方が敏感であるといえる。図 - 9 には塑性粘度の経時変化を示した。V 漏斗流下時間の経時変化と同様に、高温環境において塑性粘度の低下が観察された。モルタルの粘性の低下は材料分離のリスクを高める要因となるが、SP1 と Ad1 との組合せに関して別途実施したブリーディング試験結果では、高温環境下ではブリーディング率 1%以下であり、高温環境における粘性の低下量は許容される範囲にあると考えられる。一方、20 環境では 4%程度であり、Ad1 の併用によりブリーディング率が大きくなる傾向があった。20 環境下でのブリーディングについては今後改善する予定である。

4. まとめ

市販の高性能 AE 減水剤と減水剤との併用により、高温環境における高流動モルタルの流動性の保持性能の改善について検討した。その結果、混和剤種類および組合せによって流動性の保持性能は大きく変動することが明らかになった。検討の結果、練上がり時のスランプフローの大きさと 120 分までの経時的なスランプフローの低下量をほぼ独立に調整可能な混和剤の組合せが選定された。本論文の範囲では、減水剤の使用により流動

性保持効果を調整することができた。このような混和剤の使用方法は高温環境下においても確実な施工が要求されるような一般の構造物に対しても有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 根木政広, 寺田賢二, 秋山吉弘, 山田憲和, 佐藤哲也, 加藤博康: 地下空洞型処分施設性能確認試験におけるセメント系材料の拡散抑制に関する検討, 土木学会第 64 回年次学術講演会, CS5-025, pp.183-184, 2009.9
- 2) 庭瀬一仁, 金子岳夫, 枝松良展, 杉橋直行, 西川洋二: 低熱ポルトランドセメントとフライアッシュ, 膨張材を使用したコンクリートおよびモルタルの材齢 2 年までの諸特性 (その 1), 土木学会第 64 回年次学術講演会, CS5-026, pp.185-186, 2009.9
- 3) 杉橋直行, 庭瀬一仁, 金子岳夫, 枝松良展: 低熱ポルトランドセメントとフライアッシュ, 膨張材を使用したコンクリートおよびモルタルの材齢 2 年までの諸特性 (その 2), 土木学会第 64 回年次学術講演会, CS5-027, pp.187-188, 2009.9
- 4) 土木学会: コンクリートライブラリー93 高流動コンクリート施工指針, pp.48-49, 1998.