

# 論文 寒冷期における凝結時間調整のための混和材の効果に関する検討

石井 泰寛\*<sup>1</sup>・宮口 克一\*<sup>2</sup>・浦野 真次\*<sup>3</sup>・依田 侑也\*<sup>4</sup>

**要旨:** 寒冷期のコンクリートの施工では、低温環境下のため凝結の遅延により仕上げ終了まで長時間となる。コンクリート工事の生産性向上のためには、寒中コンクリートの仕上げ作業時間の短縮は重要な課題である。本報では表面仕上げまでの時間短縮による作業の効率化と品質の向上を目的とし、現場添加型の凝結時間短縮可能な混和材について検討を実施した。サルフォ系塩を主成分とする混和材を用いて現場施工を想定した実機練り試験を行った結果、硬化後に品質に大きな影響を及ぼさずに、凝結時間を短縮しブリーディングを大幅に抑制できることが分かった。

**キーワード:** 寒冷期, 仕上げ時間, 凝結始発時間, ブリーディング, スランプ

## 1. はじめに

現在、『i-Construction』の施策の1つとしてコンクリート工事の生産性向上が求められている<sup>1)</sup>。年間を通じたコンクリート施工を考えた場合、寒冷期ではコンクリートの流動性の保持が良好である一方で、低温による凝結遅延によって、左官仕上げ終了時間の遅延など、生産性を低下させるという課題がある。また、減水性能の高い化学混和剤を使用したコンクリートでは、凝結遅延が助長されてしまう場合もある。このような寒冷期の凝結遅延は、コンクリート工事の生産性を低下させるばかりでなく、ブリーディングの増大など、コンクリートの品質を低下させる要因ともなっている。

寒冷期のコンクリートの凝結時間を早めるための対策としては、耐寒促進剤<sup>2)</sup>や早強剤<sup>3)</sup>などの使用が考えられる。しかし、その多くは液状の混和剤であり、添加量が比較的多くなるため単位水量の一部として添加する必要がある。したがって生コン工場での製造時に添加することが一般的であり、現場の外気温などの施工当日の条件に応じて適宜調整することが困難であるなどの課題がある。

そこで、コンクリートの凝結時間を調節し、主として寒中コンクリートの仕上げ作業時間を短縮して作業を効率化するとともに、生コン工場ではなく現場で簡易に添加できる混和材の検討を実施した。また、凝結時間の調整によりブリーディングの低減などによる品質の向上などの効果も期待できることから、混和材を添加したコンクリートの硬化後の性状について検討を行った。本報ではまず、混和材の添加量の最適化について、モルタルを用いて検討を実施した結果について報告し、次にコンク

リートへの適用を検討するため実機試験を実施し、現場での混和材のアジテータ車への投入、混和材の均一性、フレッシュ性状、硬化後の品質等の検討を実施した結果について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料と配合

#### (1) 使用材料

本実験で使用した材料を表-1に示す。凝結時間を調整するための混和材（以降、混和材Aと称する）は、サルフォ系塩を主成分とし、主な化学成分は  $Al_2O_3$  : 28~30%、 $SO_3$  : 68~70%である。混和材Aは現場でアジテータ車への投入を想定し、粉末状のものとした。

#### (2) モルタルおよびコンクリートの配合

モルタルは、表-2に示すコンクリートの配合から粗

表-1 使用材料

材料名	記号	仕様
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.15g/cm <sup>3</sup> , プレーン値 3240cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S	川砂, 表乾密度 2.61g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	川砂利, Gmax : 25mm, 表乾密度 2.66g/cm <sup>3</sup>
水	W	上水道水
減水剤	AD	AE 減水剤 (リグニン系スルホン酸塩)
AE 剤	AE	アルキルエーテル系 陰イオン界面活性剤

\*1 デンカ (株) 青海工場 セメント・特混研究部 研究員 (正会員)

\*2 デンカ (株) 青海工場 セメント・特混研究部 主席研究員 博(工) (正会員)

\*3 清水建設 (株) 技術研究所 建設基盤技術センター 主任研究員 博(工) (正会員)

\*4 清水建設 (株) 技術研究所 建設基盤技術センター 研究員 博(工) (正会員)

表-2 コンクリートの配合

配合	Gmax (mm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S	G	AD	AE
Plain	25	55	4.5	47.2	164	299	859	979	Cx1.0%	適宜

骨材を除いた配合を用いた。混和材の添加量が及ぼす影響を検討するため、混和材 A の添加量は 0, 4, 4.5, 5, 5.5, 6kg/m<sup>3</sup> の 6 水準とした。

コンクリートの実験における配合は、表-2 に示すとおりであり、生コン工場から出荷されるレディーミクストコンクリートを対象とし、呼び強度 24N/mm<sup>2</sup>、粗骨材の最大寸法 25mm の配合を採用した。

## 2.2 モルタル実験概要

### (1) 練混ぜ方法

あらかじめ水と細骨材を入れ 10 秒低速撹拌を行い、セメントを投入した後に 1 分間撹拌し、掻き落とし後、さらに低速で 1 分間撹拌した。コンクリートに現場で添加することを想定しているため、混和材 A はモルタルの練混ぜ後に投入し、高速で 1 分間撹拌を行った。ただし、混和材無添加のものは、添加しないで高速で 1 分間撹拌し、撹拌時間が同一となるようにした。

### (2) 試験項目と条件

混和材 A の添加によるモルタルの性状への影響について、フロー測定 (JIS R 5201 に準拠)、凝結試験 (JIS A 1147 に準拠) および圧縮強度試験 (JIS R 5201 に準拠) を行った。

フロー測定では、モルタルフローの経時変化を観察するため、練上がり直後、30 分後、60 分後、90 分後に測定した。

凝結試験では、プロクターによる貫入抵抗値を測定し、凝結の始発が到来するまでの時間を比較した。

圧縮強度試験では、4×4×16cm の供試体を作製し、材齢 1 日で脱型後、材齢 7 日まで封緘養生し、材齢 1, 4, 7 日で試験した。これらの試験はすべて寒冷期のコンクリート温度を想定しているが、モルタル試験では、モルタルの練り上がり温度を 10℃程度とし、混和材添加後の影響を定性的に評価するため、10℃恒温室で行った。

## 2.3 コンクリートの実験概要

### (1) 混和材投入方法

表-2 に示した配合のコンクリートを生コン工場から 4m<sup>3</sup> 積載可能なアジテータ車に 2m<sup>3</sup> 積載した状態で 20～30 分間運搬し、運搬後混和材をアジテータ車内に投入した。混和材 A の添加量は、無添加の配合 (配合名: Plain) と混和材を 4kg/m<sup>3</sup> 添加した配合 (配合名: A4) の 2 種類とした。この添加量は、モルタル試験の結果から流動性の低下と凝結時間を考慮した結果から定めたものであ

る。混和材 A は、水溶性の紙製の袋にあらかじめ封入し、所定量アジテータ車に投入できるようにした。投入後、3 分間高速撹拌を実施した。

投入した混和材がアジテータ車内で均一に混ぜられるのか確認するため、アジテータ車から排出するコンクリートの採取量が均等になるように、採取時期を 3 段階に分け、それぞれ、前、中、後とし、性状を比較した。この実験は、荷卸地点箇所の外気温が 3～4℃の場所において実施した。

### (2) コンクリートの試験項目

アジテータ車から採取した試料は、以下の試験を実施した。なお、硬化後の曲げ、長さ変化は Plain 配合と混和材を添加した試料の前、後で測定した。

#### 1) スランプ: JIS A 1101 に準拠。

初めの荷卸し時の試料について、容器に静置しスランプの経時変化を測定した。(荷卸し直後、30 分後、60 分後、90 分後)

#### 2) 空気量: JIS A 1128 に準拠。

#### 3) 温度: JIS A 1156 に準拠。

#### 4) ブリーディング試験: JIS A 1123 に準拠。

#### 5) 凝結試験: JIS A 1147 に準拠。(採取した時間を基準とした。)

#### 6) 圧縮強度試験: JIS A 1108 に準拠。

#### 7) 曲げ強度試験: JIS A 1106 に準拠。

#### 8) 長さ変化測定: JIS A 1129-3 に準拠。基長は脱型直後に測定。材齢 182 日まで実施予定。

### (3) 養生条件

供試体の養生条件と測定材齢を表-3 に示す。

表-3 養生条件と測定材齢

試験項目	養生条件	測定材齢
圧縮強度	(1) 1 日封緘。その後、20℃水中養生。	28 日
曲げ強度	(2) 1 日封緘。その後、湿布養生(外気温)	28 日
長さ変化	1 日封緘。その後、材齢 7 日まで 20℃水中養生。その後、20℃、60%RH にて気乾養生。	1 日、7 日、28 日 (～182 日)

### 3. モルタルの性状に及ぼす混和材添加量の影響

モルタルの凝結、フロー試験は、モルタルへの混和材 A の添加量を 0, 4, 4.5, 5, 5.5, 6kg/m<sup>3</sup> の 6 水準とした。圧縮強度試験は、混和材 A の添加量を 0, 4, 5, 6kg/m<sup>3</sup> の 4 水準とした。それらの結果について以下に示す。モルタルの結果における配合の表記は、混和材 A と添加量の数値の組合せとし、例えば A4 では混和材 A を 4kg/m<sup>3</sup> 添加した配合であることを示す。

#### 3.1 始発までの凝結性状

10℃環境下でのモルタルの始発 (3.5N/mm<sup>2</sup>) までの凝結試験の結果を図-1 に示す。混和材無添加である Plain は凝結始発に至るまで概ね 450 分程度を要した。一方で、混和材 A を添加したモルタルでは、凝結始発に至るまでの時間が添加量の増加に伴い、短縮される結果となった。A4 配合では約 300 分、A6 配合では概ね 150 分程度まで凝結始発の時間が短縮された。

#### 3.2 モルタルフロー

時間経過に伴うモルタルフロー変化の試験結果を図-2 に示す。混和材 A を添加すると練上がり直後のフローは Plain 配合と同等であるが、時間経過に伴うフローの低下の傾向は Plain より大きかった。また、添加量の増加に伴い、フローの低下傾向が顕著になった。添加量が最も多い A6 配合以外の配合では 90 分の段階で、モルタルをフローコーンに流し込むのは可能であったが、A6 配合は困難な状況であった。このように混和材 A は凝結を早める効果を有しているものの、コンクリートの施工に関わる流動性の低下を早める影響もあることが分かった。したがって、コンクリートの施工が可能な流動性を確保しつつ、凝結時間を早めるための添加量の設定が必要であると考えられた。

#### 3.3 圧縮強度

10℃で封緘養生したモルタルの材齢初期における圧縮強度について図-3 に示す。材齢 1~7 日に関しては、混和材 A を添加したモルタルの圧縮強度は Plain 配合と比較して若干低下する傾向となった。混和材の添加による圧縮強度への影響は少ないと考えられるが、供試体作製時のモルタルのフローやブリーディングの発生などの影響があるのではないかと推測される。また、各材齢における混和材 A の添加量変化による圧縮強度への影響は小さく、わずかにばらつきがあるが、この原因については水和反応の観点から今後検討する予定である。

### 4. 混和材の添加がコンクリートの性状に及ぼす影響

表-2 に示した配合のコンクリートにおいて、混和材の添加量(4kg/m<sup>3</sup>)は、モルタルにおいて凝結の始発が無添加のものと比較して概ね 150 分 (2 時間半) 程度早められること、添加量が大きいと流動性の低下も大きいこ

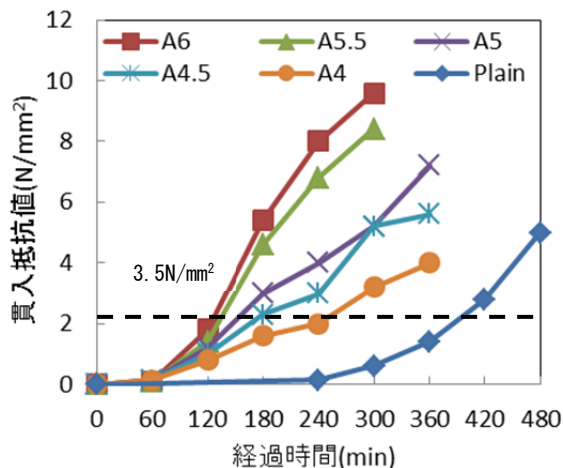


図-1 10℃環境下モルタル凝結試験

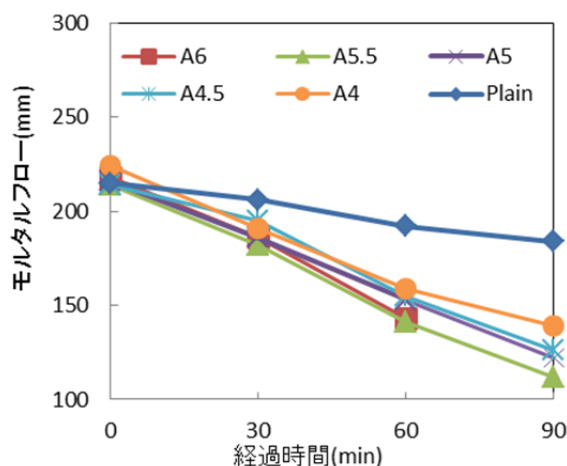


図-2 モルタルフロー変化

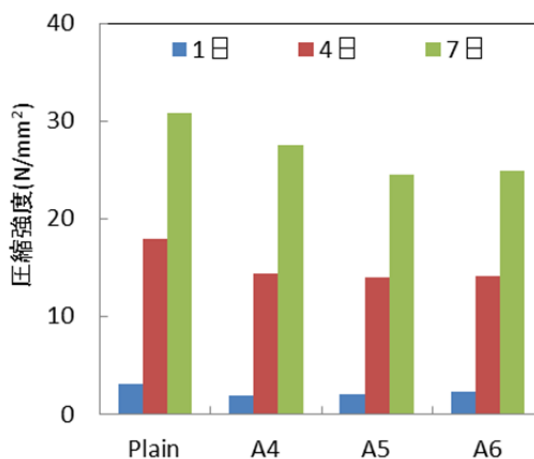


図-3 モルタルの圧縮強度

となどから本実験の範囲内では適切な量と判断して決定した。なお、水溶性紙袋に封入した混和材は、アジテータ車への投入を問題なく実施でき、非常に簡便であった。

#### 4.1 コンクリートのフレッシュ性状

生コン工場から出荷し、20~30分程度の運搬後に荷卸

しして採取した Plain 配合のコンクリートと、荷卸し前に混和材 A を  $4\text{kg}/\text{m}^3$  添加してから採取した A4 配合についての空気量、温度およびスランプを表-4 に示す。なお、スランプの 30 分以降の経時変化は、容器に採取した静置試料で実施した。

Plain 配合のアジテータ車からの荷卸し直後の空気量は 3.8%、コンクリート温度は  $10.0^\circ\text{C}$ 、スランプは 16.5cm であった。混和材 A を添加した A4 配合は、初めの荷卸しのコンクリート（表記：A4-前）はスランプが低下せず、16.0cm となり Plain 配合と同等であった。空気量は高速攪拌直後であったことから、5.5%と増加した。コンクリート温度は  $13.4^\circ\text{C}$  と Plain 配合より増加した。これは混和材 A を添加したことにより、水和反応が促進された影響であると考えられる。

コンクリートの試料採取をアジテータ車の中間、最後付近とした A4-中、A4-後は、アジテータ車の最初付近とした A4-前と比較してスランプは低下した。これは、初めの荷卸し時から 15~25 分程度時間が経過したことが影響していると考えられる。コンクリート温度は、いずれも Plain 配合より増加し A4-前と同程度であった。空気量は、高速攪拌で巻き込んだ空気が減少して Plain 配合と同等の 3.9%となった。

Plain 配合と A4-前のコンクリートのスランプの時間変化を比較すると、モルタルフローの場合と同様 Plain 配合よりも混和材を添加した A4-前のコンクリートのスランプの低下が大きくなる傾向が示された。

ブリーディング試験の結果を図-4 に示す。図にはブリーディング率とブリーディングの停止時間を示した。ブリーディング試験におけるブリーディングが終了するまでの時間は、Plain 配合で 360 分程度であったのに対して、A4 配合では 60 分程度であり、短時間で終了していることが分かる。また、Plain 配合のブリーディング率は 0.53%であったのに対して、A4 配合では 0.02%と著しく低下した。ブリーディング試験とは別に打ち込んだ供試体（ $\phi 50 \times$ 高さ 80cm）の表面の観察状況を写真-1 に示す。(a)は Plain 配合の打込み後約 5 時間経過後、(b)は A4 配合の打込み後約 3 時間経過後である。Plain 配合では、ブリーディングの影響によって打込み後 5 時間でも上面に浮き水とペーストがあり、コンクリート中に指が差し込める状態であった。一方、A4 配合ではブリーディングやコンクリート表面の光沢は確認されず、指で押しても挿入することが Plain 配合より困難な状態であった。このような観察の結果からも混和材 A のブリーディング抑制効果が大きいことを確認できた。

図-5 に凝結試験の始発までの実験結果について示す。Plain 配合は凝結始発までに 720 分程度要しており、 $10^\circ\text{C}$  環境下のモルタルの実験より 4 時間半程度遅くなってい

る。一方、A4 配合では、試料採取の前、中、後で貫入抵抗の試験誤差内と考えられるばらつきはあるものの、平均して 580 分程度であった。外気温が低い状況であったため、凝結の始発を著しく早めることはできていないが、モルタルの場合と同様に、無添加の場合と比較して概ね 150 分（2 時間半）程度早められる結果となった。

表-4 コンクリートのフレッシュ性状

配合	Plain	A4			
		前	中	後	
空気量 (%)	3.8	5.5	3.9	3.9	
コンクリート温度( $^\circ\text{C}$ )	10.0	13.4	12.3	14.5	
スランプ (cm)	直後	16.5	16.0	12.0	11.5
	30 分	10.5	8.0	-	-
	60 分	7.0	4.0	-	-
	90 分	6.0	-	-	-

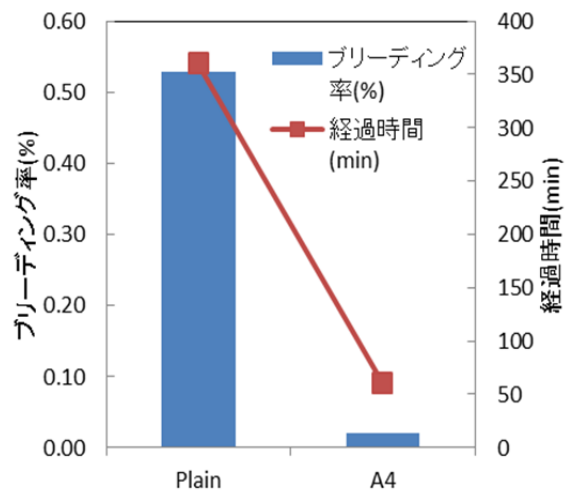


図-4 コンクリートのブリーディング率



(a) Plain 配合 (5 時間後)



(b) A4 配合 (3 時間後)

写真-1 数時間経過後のコンクリートの表面の状態

また、混和材の練り混ぜが不十分であると、部分的な偏りが生じ、モルタルの凝結試験の A6 配合のように急激に凝結が早まるが、今回の試験体ではそのような様子は確認されなかった。そのため、投入した混和材 A は概ねアジテータ車内で均一に混和されていると判断した。

#### 4.2 コンクリートの硬化体性状

##### (1) 圧縮強度

図-6にコンクリートの材齢28日における圧縮強度の結果を示す。モルタルの材齢7日までの強度は混和材の有無で若干の強度の違いが認められたが、コンクリートの材齢28日の強度は、Plain 配合、A4 配合のいずれも、同一の養生方法のもとで同程度となった。これは、モルタルの圧縮強度試験では混和材の添加量が少ない A4 配合は、Plain 配合と比較して材齢7日における圧縮強度への影響が他の配合より小さく、さらにコンクリートとした際にさらに影響が小さくなったためと推察される。

##### (2) 曲げ強度

コンクリートの材齢28日における曲げ強度の結果を図-7に示す。曲げ強度についても圧縮強度と同様、Plain 配合とほぼ同等となり、いずれも  $5\text{N/mm}^2$  程度であった。圧縮強度試験および曲げ強度試験の結果から、材齢初期に及ぼす影響については十分に検討できていないものの、材齢28日の強度特性に対しては、混和材の添加の影響はほとんどないものと考えられる。

##### (3) コンクリートの長さ変化

図-8に材齢28日までのコンクリートの長さ変化の結果を示す。材齢28日までの結果では Plain 配合と A4 配合で概ね同程度の長さ変化率である。しかし、材齢初期の挙動について、材齢7日までの水中養生期間と材齢7日以降の乾燥開始後付近において、Plain 配合と A4 配合で若干異なる傾向を示しており、混和材 A の反応が影響している可能性があるものと推測される。また、混和材 A を添加したものはブリーディングを抑制していることから、乾燥に伴う水分の逸散量についても異なる可能性がある。今後より多くの配合の事例について今後検討し、長さ変化に及ぼすメカニズムについて考察する予定である。

#### 4.3 実際のコンクリートへの適用に向けた課題

本実験結果により、混和材 A を製造されたコンクリートに対し、現場において後添加することによって、凝結時間を早めることができ、さらにブリーディングの抑制効果を有することが明らかとなった。一方で、コンクリートの施工性に関わるスランプの低下が無添加のものと比較して大きくなる傾向にあり、施工時間の範囲内において施工性の確保できる添加量などの設定が必要である。

また、本実験でのコンクリートへの添加量では、材齢28日の硬化性状には影響を及ぼさないことが明らかと

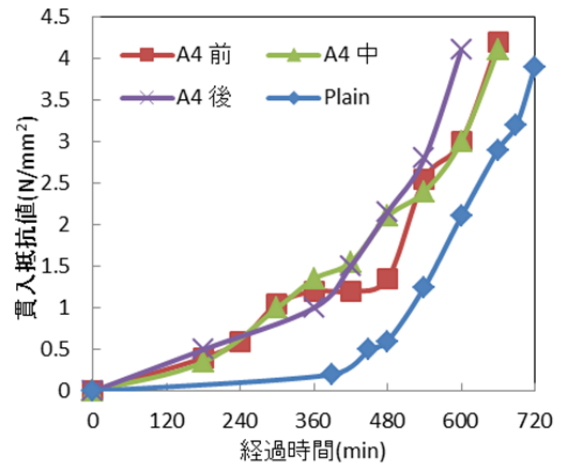


図-5 コンクリートの凝結性状

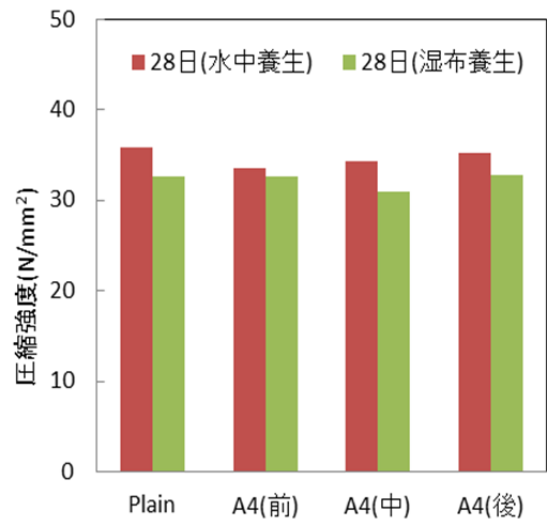


図-6 コンクリートの圧縮強度

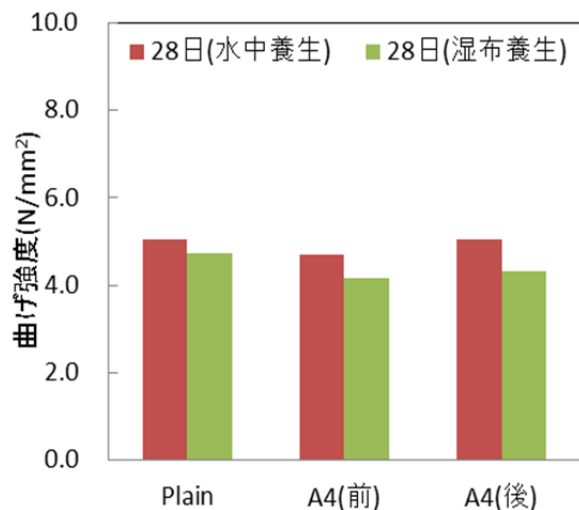


図-7 コンクリートの曲げ強度

なったが、ブリーディングの抑制効果があったにも関わらず、強度特性や長さ変化性状に Plain 配合に対して優位性が見られなかった。今後は、スラブ状のコンクリー

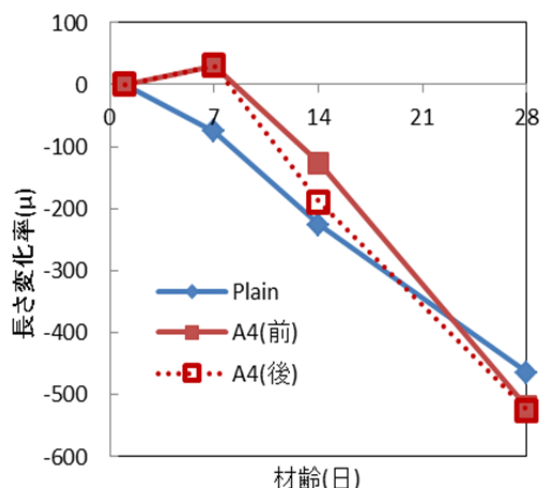


図-8 コンクリートの長さ変化率

トを施工し、金ゴテやスクリードなどの実際の仕上げ作業を行ったうえで、仕上げ面のコンクリートの強度や緻密さについて比較検討を実施する必要があると考えている。

## 5. まとめ

コンクリート仕上げの作業効率化とブリーディング抑制などの高品質化を目的とし、施工現場で直接アジテータ車に投入することを想定した混和材の検討を実施した。混和材添加量の最適化のためのモルタル試験と現場を想定した実機練り試験の結果から、本実験の範囲内で以下のことについて確認できた。

- (1) 混和材 A の添加により、凝結促進効果があることが確認できた。添加量の増加に伴い、促進効果も増加した。
- (2) 混和材 A は凝結促進効果を有している一方で、モルタルの時間経過に伴うフロー低下は Plain 配合より大きく、コンクリートの施工に関わる流動性の低下

を早める影響もあることが分かった。

- (3) 混和材 A の添加量を  $4\text{kg/m}^3$  としてコンクリートの実機練り混ぜ試験を実施した結果、コンクリートにおいても混和材 A の添加により、凝結促進効果があり、無添加の Plain 配合より 2 時間半程度促進できることが確認できた。
- (4) 混和材 A を添加しても、添加直後のスランプはほとんど変化しないものの、経過時間に伴うスランプの低下は無添加のものより大きくなった。
- (5) 混和材 A を添加することにより、ブリーディングを大幅に抑制し、早期に終了することができた。
- (6) アジテータ車の試料採取を荷卸しの前、中、後で行った実験結果から、凝結時間、圧縮強度、曲げ強度等がそれぞれほぼ同等であり、投入した混和材 A は概ねアジテータ車内で均一に混和されていると判断された。

以上より、混和材 A は低温環境下における凝結時間促進に効果があると考えられ、現場での添加の容易性なども有効であると考えられる。今後は施工性の改良や硬化コンクリートの耐久性への寄与について更に検討する予定である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 HP 参照：  
<http://www.mlit.go.jp/tec/i-con-concrete.html>
- 2) 浜幸雄，鎌田英治：耐寒促進剤を用いたコンクリートの特性，コンクリート工学，Vol.37, No.11, pp.3-8, 1999.11
- 3) 井元晴丈，榊原直樹，田中泰司，佐藤和徳：C-S-H 系早強剤を使用したフライアッシュコンクリートの冬期施工性および表層品質評価，セメントコンクリート論文集，Vol.70, pp.297-304, 2017.3