

# 論文 貧配合コンクリートのスランプロス発生機構とその低減方法に関する研究

高橋 直也\*1・鈴木 翔太\*1・馬場 勇介\*2・笠井 哲郎\*3

**要旨:** 本研究では、貧配合コンクリートのスランプロス低減を目的とし、スランプロス低減効果が得られる増粘剤と AE 減水剤を併用した貧配合コンクリートのフレッシュ性状および硬化性状について検討した。その結果、増粘剤と AE 減水剤を併用することにより、貧配合コンクリートのブリーディングを抑え、保水性を確保させることでスランプロスを低減できることを示した。また、増粘剤と AE 減水剤の併用により、凝結時間が遅延したが、極初期材齢からの強度発現性は良好であった。

**キーワード:** 貧配合コンクリート, スランプロス, 保水性, 増粘剤

## 1. はじめに

所要の性能を有するコンクリート構造物を構築するためには、コンクリートの施工が適切に行われることが肝要である。このためには、フレッシュコンクリートがその施工時に作業に適したワーカビリティを有していることが重要である。一般に、ワーカビリティはフレッシュコンクリートのスランプ試験により評価され、このスランプが練混ぜ直後から打設完了までの間に徐々に低下する現象、すなわちスランプロスは施工作業に制限を与えるため、ワーカビリティの向上だけでなくその保持が不可欠となる。このため、現在までに流動化コンクリートの実用化・普及を経て<sup>1), 2)</sup>、スランプロスの小さい高性能 AE 減水剤の使用が主流となっている。これは、フレッシュコンクリート中のセメント粒子の分散を一定時間保持することによりスランプロスを低減するものである<sup>3)</sup>。これらの高性能 AE 減水剤は中・高強度（低水セメント比）の比較的富配合のコンクリートに使用された場合、良好なスランプロス低減効果を発揮する。しかし、本研究で対象とする土木分野で使用されることの多い低強度（高水セメント比）の単位セメント量の少ない貧配合コンクリートに単独で適用した場合、その効果が得られにくい<sup>4)</sup>。このため、貧配合コンクリートにおいても、スランプロスの低減方法の確立が求められる。

一方、著者らは貧配合コンクリートを構成するモルタルの流動性が、練混ぜ水の保水状態に左右されることに着目し、練混ぜ水の一部を後添加した場合や脱水した場合の流動性の変化について検討し、単位水量が同一でも加水・脱水の有無により流動性に差が現れることを示した<sup>5)-7)</sup>。更に、増粘剤と AE 減水剤を併用し保水性を維持および向上させることで、モルタルのフローロス低減および貧配合を想定したコンクリートのスランプロスを低

減できることを示した<sup>8)</sup>。

本研究では、文献 8) の結果を踏まえ、保水性の向上が得られる増粘剤と AE 減水剤の併用による貧配合コンクリートのスランプロス低減効果の再現性を検証するとともに、これらのコンクリートの凝結特性および強度発現性について実験的検討を行い、貧配合コンクリートのスランプロスを低減する本方法の有効性を示すことを目的とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1、コンクリートの配合を表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は菊川支流産の山砂、粗骨材は青梅産の硬質砂岩砕石、増粘剤はセルロース系のものを使用した。AE 減水剤は従来から広く使用されている Ad1、従来の AE 減水剤よりスランプ保持効果が高い Ad2 の 2 種類を使用した。増粘剤と AE 減水剤を併用する場合は Ad2 を使用した。また、併用使用の比較として、増粘剤が一体化されている高性能 AE 減水剤 (SP) も使用した。配合は W/C=65% のコンクリートについて検討した。単位水量は混和剤無添加で 183kg/m<sup>3</sup>、混和剤添加で 165kg/m<sup>3</sup> とした。また、V は W に対し外割りで、Ad1, Ad2 および SP はそれぞれ W の内割りで添加した。

### 2.2 練混ぜ方法

コンクリートの製造はパン型強制ミキサ（公称容量 55L）を用い、セメント、細骨材、粗骨材、増粘剤を投入後 15 秒間空練りし、その後 AE 減水剤および高性能 AE 減水剤を添加した練混ぜ水を投入し、105 秒間練り混ぜた。コンクリートは練混ぜ直後にスランプ試験、空気量試験を行い、後のスランプ測定時までシートで覆い静

\*1 東海大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (学生会員)

\*2 BASF ジャパン(株) 建設化学品事業部 技術開発センター デプティマネージャー 博(工) (正会員)

\*3 東海大学 工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

表-1 使用材料

	種類	記号	物性または主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度：3.16g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：3300cm <sup>2</sup> /g
細骨材	菊川支流産山砂	S	表乾密度：2.59g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：2.18%，粗粒率：2.42
粗骨材	青梅産硬質砂岩碎石	G	表乾密度：2.70g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：0.62%，最大寸法：20mm
混和剤	増粘剤	V	メチルセルロース系
	AE 減水剤	Ad1	リグニンスルホン酸化合物とポリオールとの複合体
		Ad2	高変性ポリオールとポリカルボン酸エーテルの複合体
	高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体

表-2 コンクリートの配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				V (W×%)	Ad1 (C×%)	Ad2 (C×%)	SP (C×%)
			W	C	S	G				
65-non	65	44.9	183	282	800	1023	-	-	-	-
65-Ad1							-	1.0	-	-
65-Ad2							-	-	1.7	-
65-SP							-	-	-	1.5
65-V0.20							0.20	-	2.5	-
65-V0.35							0.35	-	2.5	-

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101 「コンクリートのスランブ試験方法」
空気量	JIS A 1128 「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」
ブリーディング	JIS A 1123 「コンクリートのブリーディング試験方法」
凝結時間	JIS A 1147 「コンクリートの凝結時間試験方法」
圧縮強度	JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」 試験材齢 3, 7, 28 日（標準養生），試験材齢 7, 28 日（封かん養生）

置し、測定直前にスコップにて練返し（切返し）を行った。

### 2.3 試験項目および方法

本実験のフレッシュ性状に関する試験として、スランブ試験（JIS A 1101）、空気量試験（JIS A 1128）、ブリーディング試験（JIS A 1123）、凝結時間試験（JIS A 1147）を行った。練混ぜ直後のスランブおよび空気量の目標値は 12.0±1.5cm、4.0±1.5%とした。スランブは 0.1cm 刻みに計測し、コンクリートの練混ぜ直後と 30 分経過ごとに 90 分まで測定した。空気量は練混ぜ直後および経時 90 分に測定した。なお、試験室の温度は 18～24℃、湿度は 45～70%、コンクリートの温度は練混ぜ直後から経時 90 分まで 21±2℃の範囲であった。

硬化性状に関する試験は、65-Ad2、65-V0.20、65-V0.35 の 3 配合について圧縮強度試験（JIS A 1108）を行った。試験体は φ100×200mm の円柱供試体とし、標準養生お

よび一般の現場における養生を想定した封かん養生の 2 種類の方法にて作製した。標準養生は型枠に打設後、24 時間経過してから脱型し、試験材齢まで 20℃の水中にて養生する方法である。封かん養生は型枠に打設後、材齢 7 日まで 20℃の封かん養生とし、脱型後 20±2℃、湿度 65±5%にて気中養生する方法である。標準養生した供試体は材齢 3 日、7 日、28 日に、封かん養生した供試体は材齢 7 日、28 日に圧縮強度を測定した。

### 2.4 モルタルの遠心力脱水試験

貧配合コンクリートを構成するモルタルの保水性を評価する<sup>6)8)</sup>ため、遠心分離機にて脱水試験を行った。モルタルの使用材料は表-1 と同様とし、表-2 のコンクリートから粗骨材を除いた配合のモルタルを製造した。練混ぜにはホバート型ミキサ（公称容量 10L）を使用し、練混ぜ水にセメントを低速回転（160rpm）で 15 秒間投入後、細骨材を低速で 15 秒間投入し、150 秒間高速回転

表-4 スランプおよび空気量試験結果

経過時間 (分)		スランプ (cm)				空気量 (%)	
		0	30	60	90	0	90
記号	65-non	11.2	7.4	6.2	5.4	2.5	2.8
	65-Ad1	11.2	8.2	6.0	3.4	5.0	4.3
	65-Ad2	12.1	9.9	6.4	4.3	3.8	4.4
	65-SP	11.3	7.7	6.3	4.9	2.8	3.3
	65-V0.20	12.5	12.0	10.5	8.6	4.1	4.5
	65-V0.35	12.5	12.2	11.1	10.4	3.6	4.3

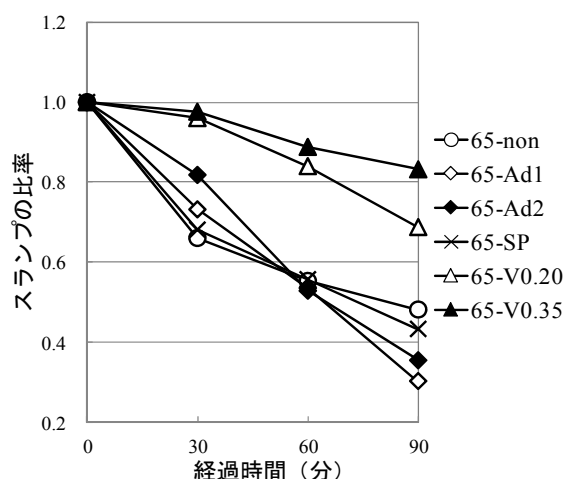


図-1 経過時間とスランプの比率の関係

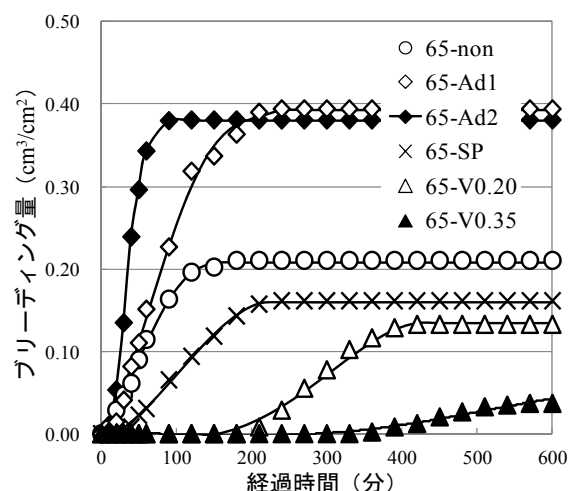


図-2 経過時間とブリーディング量の関係

(330rpm)で練り混ぜた。モルタルは4個の円筒容器(φ101×125mm)に1.5kgずつ入れ、遠心分離機に配置し、回転数100rpm(加速度2G)で1分間脱水した後、容器内に浮き出た水の量を計測した。以後、同一の試料を用いて回転数100rpmと同様に回転数150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 750, 1000rpm(加速度5, 9, 13, 19, 26, 34, 43, 53, 77, 120, 213G)の順に各回転数で1分間脱水し、各回転数において浮き出た水の量を計測した。浮き出た水は各回転数までに溜った水の累計とした。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 コンクリートのフレッシュ性

表-4はコンクリートのスランプおよび空気量試験の結果を示したものである。表よりスランプおよび空気量は練混ぜ直後において目標の範囲内となった。また、経時90分の空気量は練混ぜ直後との差が1.0%の範囲内であり、いずれの配合でも経過時間に伴う空気量の変化は小さかった。

図-1はコンクリートの各経過時間のスランプを練混ぜ直後のスランプで除した値をスランプの比率とし、スランプロスを表す指標として示したものである。65-nonおよび65-SPは経時30分でスランプが大きくロスするが、

表-5 経時90分および最終のブリーディング量

記号	ブリーディング量 (cm³/cm²)	
	経時90分	最終ブリーディング量
65-non	0.16	0.21
65-Ad1	0.23	0.39
65-Ad2	0.38	0.38
65-SP	0.07	0.16
65-V0.20	0.00	0.13
65-V0.35	0.00	0.04

それ以降のロスはいずれも小さい傾向を示した。65-Ad1および65-Ad2は経時30分でのスランプロスが小さいが、その後大きなロスが生じた。また、65-Ad1よりも65-Ad2の方がわずかだが経時30分でのスランプロスが小さくなり、その後は同程度のロスとなった。増粘剤とAE減水剤を併用した場合は既往の研究<sup>8)</sup>の通りスランプロスの低減がみられた。また、増粘剤の添加量を0.20および0.35(W×%)と2種類の配合で行った結果、増粘剤を多く添加した方が経時90分におけるスランプロスが低減した。

図-2はコンクリートのブリーディング量の経時変化を経過時間600分まで測定した結果を示したものである。また、表-5はこの結果におけるスランプの測定時間90

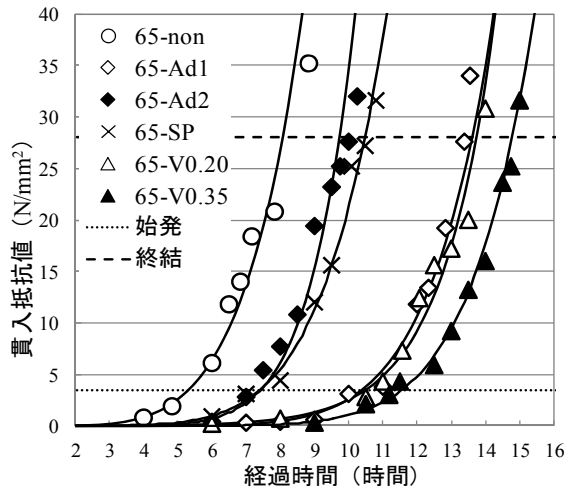


図-3 経過時間と貫入抵抗値の関係

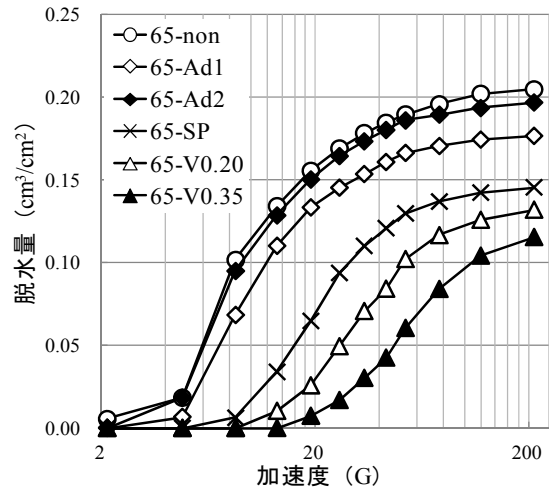


図-4 加速度と脱水量の関係

表-6 凝結の始発および終結時間

記号	凝結時間 (時間-分)	
	始発	終結
65-non	5-30	8-05
65-Ad1	10-25	13-25
65-Ad2	7-30	9-45
65-SP	7-35	10-25
65-V0.20	10-30	13-45
65-V0.35	11-45	14-45

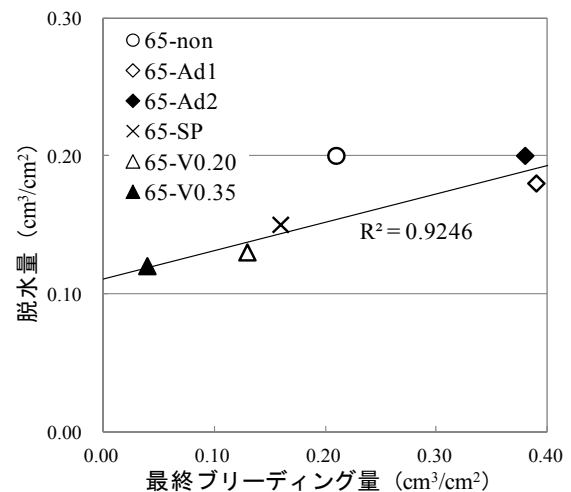


図-5 最終ブリーディング量と脱水量の関係

分時および図-2における最大ブリーディング量(最終ブリーディング量)を示したものである。図-2より最終ブリーディング量は65-Ad1, 65-Ad2, 65-non, 65-SP, 65-V0.20, 65-V0.35の順で多くなった。また、ブリーディングの終了時間は65-Ad2, 65-non, 65-Ad1, 65-SP, 65-V0.20, 65-V0.35の順で早かった。本実験の配合は貧配合であることから単位水量および単位セメント量が少なく、単位骨材量が多い配合である。65-Ad1, 65-Ad2は単位水量が少ないにも関わらず、65-nonに比べ、最終ブリーディング量が多くなった。これはAE減水剤によりセメント粒子の分散性が高くなり、添加しない場合と比べてセメント粒子の凝集構造が変化したため、凝集内部拘束水<sup>9)</sup>が減少し、自由に移動可能な間隙水が増加したことが一要因であると推察される。一方、65-SPは高性能AE減水剤に増粘剤が一体化されている混和剤であるため65-Ad1, 65-Ad2に比べて最終ブリーディング量が小さくなったと考えられる。表-5より65-V0.20は最終ブリーディング量が65-SPと同程度であるが、経時90分までブリーディングは発生しておらず、スランブの経時変化の測定範囲においては十分にブリーディングが抑えられている。更に、65-V0.35では増粘剤の添加量が多

いためブリーディングの発生時期が遅くなり、また、最終ブリーディング量も大幅に小さくなり、ブリーディングが長時間抑制される結果となった。

図-3はコンクリートの凝結試験における経過時間と貫入抵抗値の関係を示したものである。また、表-6は図-3の結果から始発および終結時間を示したものである。凝結時間は始発、終結ともに65-non, 65-Ad2, 65-SP, 65-Ad1, 65-V0.20, 65-V0.35の順に遅くなった。増粘剤は凝結遅延性を有しているため、65-V0.20, 65-V0.35の凝結時間が遅くなったと考えられる。また、65-Ad1の凝結時間が遅延した理由として目標スランブを得るためのAE減水剤の添加量が標準的な添加量の範囲(200~500ml/C=100kg)の2~4倍程度と多かったためであると考えられる。

### 3.2 モルタルの遠心力脱水試験

図-4にモルタルの遠心力脱水試験の結果を示す。本試験では遠心脱水した水量を円筒容器上面の断面積で除

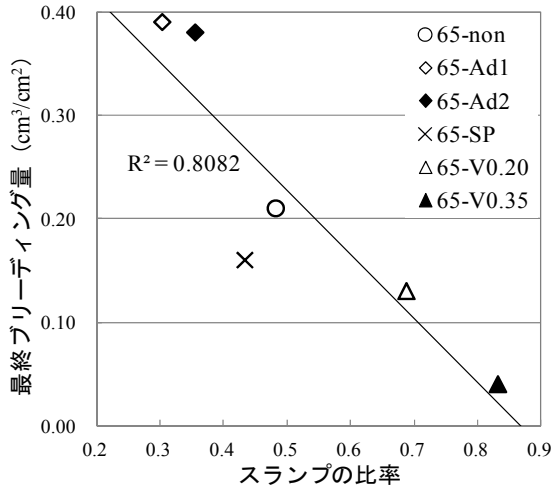


図-6 スランプの比率と最終ブリーディング量の関係

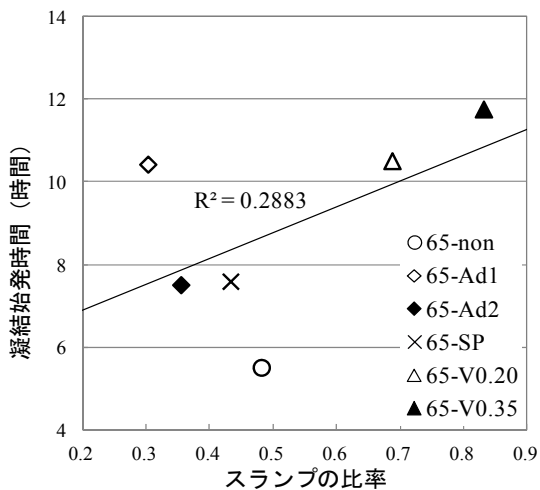


図-7 スランプの比率と凝結始発時間の関係

した値を脱水量 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ ) とした。単位水量の多い 65-non は加速度が大きくなるとともに脱水量も多くなった。65-Ad1 および 65-Ad2 は 65-non よりも単位水量が少ないにも関わらず、同程度の脱水量であった。一方、65-SP、65-V0.20、65-V0.35 は同順で脱水量が少なくなっており、脱水が発生し始める加速度が大きくなっている。また、脱水量が少なければモルタルは高い保水性を有する<sup>(6-8)</sup>と考えられる。遠心力脱水試験と前節のブリーディング試験結果の関係を図-5 に示す。図より単位水量の多い 65-non を除いた各配合において脱水量とブリーディング量に高い相関性がみられ、ブリーディングの小さいモルタルほど保水性が高いものと考えられる。なお、65-non は AE 減水剤を添加したものに比べ、セメントの凝集構造が異なり、前述した凝集内部拘束水の量が変化したため、脱水挙動に相違が生じたものと推察される。

### 3.3 スランプロス低減効果のメカニズム

前節の図-1 と図-2 の結果から、図-6 にスランプの

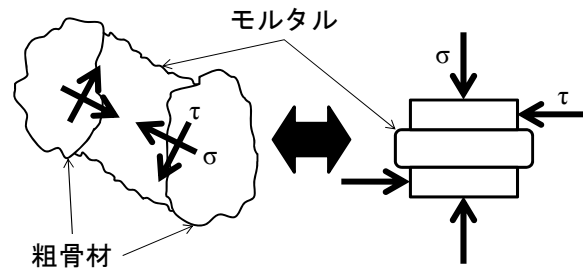


図-8 モルタルに作用する直応力とせん断変形抵抗性の概念図<sup>10)</sup>

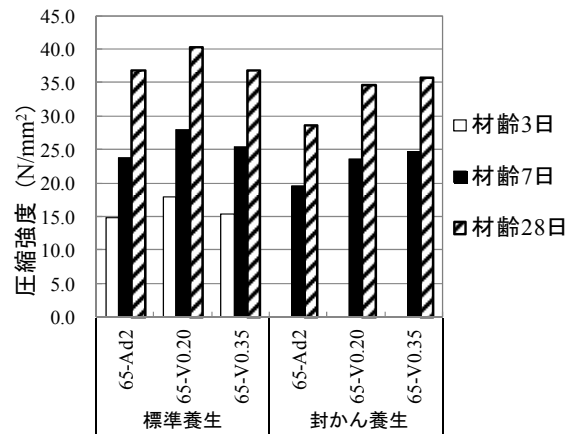


図-9 圧縮強度試験結果

比率と最終ブリーディング量の関係を示す。図より最終ブリーディング量が小さい場合ほどスランプの比率が大きくなり、スランプロスが低減される傾向が明確に現れている。一方、図-7 は図-1 と図-3 からスランプの比率と凝結始発時間の関係を示したものである。図よりスランプの比率と凝結始発時間（極初期の水和の程度）の相関性は低く ( $R^2=0.2883$ )、本試験の範囲ではスランプロスに及ぼす凝結の影響は小さいものと考えられる。

本実験で使用した増粘剤は水溶性高分子のものであり、その増粘作用は水分子と溶解した高分子との摩擦による運動エネルギーの消失が粘性を生み出すことによって得られる。したがって、水溶性高分子は練混ぜ水の粘度を上昇させ、セメントペーストおよびモルタルの粘性が増加し、材料分離抵抗性を獲得している。よって、フレッシュペーストおよびフレッシュモルタルの保水性を向上させることにより、流動性の確保が可能であることを示唆するものである。更に、フレッシュコンクリートが流動するためには、粗骨材間でのモルタルが変形することが必要である。大内らは、コンクリートをモルタルと粗骨材の二相材料と捉え、モルタル部の変形にともない粗骨材同士が接触し、その際、図-8 に示すようにモルタルに発生する直応力がせん断変形抵抗性を増加させ、その

度合いが、フレッシュモルタルを構成する粒子の物理特性、すなわち、セメントや細骨材の物理特性、細骨材容積比が個体粒子間の摩擦に大きな影響を与えると論じている<sup>10)</sup>。このことから、フレッシュコンクリートを構成するモルタルの流動性が低下し、時間経過とともに粗骨材粒子同士が接近しやすくなる条件で、フレッシュコンクリートのスランプロスが発生すると考えられる。したがって、AE 減水剤と増粘剤を併用し、モルタルの流動性を確保しつつ、保水性を向上させることで、粗骨材粒子間の接近が抑制され、スランプロス低減効果が発揮されたと考えられる。

### 3.4 硬化性状

図-9 にコンクリートの圧縮強度試験の結果を示す。スランプロス低減効果を示した増粘剤と AE 減水剤を併用したコンクリートは凝結時間が遅延したことから強度発現も遅れると考えられるが、図に示す通り本実験において圧縮強度は材齢 3 日でも AE 減水剤のみを添加したコンクリートと同程度または大きくなる結果となった。標準養生で作製した供試体は各材齢で増粘剤の有無による強度の差があまりみられなかった。これは標準養生では供試体に常に水が供給される状態にあるため、養生が十分に行われたことで差が現れなかったと考えられる。一方、現場配合を想定した封かん養生では増粘剤を添加したコンクリートは添加しないコンクリートより 2 割ほど高い強度となり、また、標準養生と同程度の強度が得られた。これは増粘剤を添加することによりコンクリート内部の保水性が向上し、重松らが報告しているような内部養生効果<sup>11)</sup>と同様な効果により十分な水和反応が得られたことから高い強度発現につながったと考えられる。また、一般に型枠の存置期間は材齢 4~6 日程度であり<sup>12)</sup>、本研究における標準養生での材齢 3 日や封かん養生での材齢 7 日では、凝結遅延の影響は認められず、強度発現上、実施工に問題が生じないことが確認された。

## 4. 結論

貧配合コンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を測定し、貧配合コンクリートのスランプロス低減効果について検討した結果、以下の結論が得られた。

- (1) 貧配合コンクリートにおいて AE 減水剤および高性能 AE 減水剤のみの添加では、スランプロスの保持効果が得られにくい。
- (2) 増粘剤と AE 減水剤を併用した貧配合コンクリートはブリーディングを抑えることができる。その結果、フレッシュコンクリートを構成するモルタルの保水性が向上することで良好なスランプロス低減効果を得られることを示唆するものである。
- (3) 一般に型枠の存置期間は材齢 4~6 日程度であり、

本研究では短期材齢における凝結遅延の影響は認められず、強度発現上、実施工に問題が生じないことが確認された。

## 謝辞

本研究の一部は、平成 22-24 年度科学研究補助金（基盤研究(C)）を受けて行ったものである。

## 参考文献

- 1) 例えば 笠井芳夫, 坂井悦郎 編著: 新セメント・コンクリート用混和材料, p.209, 2007.1
- 2) 例えば 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, pp.439-448, 2009.2
- 3) 笠井芳夫, 坂井悦郎 編著: 新セメント・コンクリート用混和材料, pp.199-202, 2007.1
- 4) フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題 (II), コンクリート技術シリーズ, 土木学会編, No.54, pp.45-46, 2003
- 5) 馬場勇介, 小野広道, 笠井哲郎: 練混ぜ水の挙動がフレッシュコンクリートの流動性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1143-1148, 2004
- 6) 高橋直也, 清田正弘, 高橋涼, 笠井哲郎: 貧配合コンクリートのスランプロス発生機構とその低減方法に関する研究, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 第 5 部門, 24, 2012
- 7) 高橋直也, 高橋涼, 笠井哲郎: 貧配合コンクリートを構成するモルタルのフローロス発生機構とその低減方法に関する研究, 東海大学工学部紀要, Vol.52, No.2, pp.241-248, 2012
- 8) 高橋直也, 鈴木翔太, 馬場勇介, 笠井哲郎: 貧配合コンクリートのスランプロス発生機構とその低減方法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1183-1188, 2013
- 9) 太田顕, 名和豊春, 大沼博志: セメント粒子の凝集構造とセメントペーストの流動性の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.271-276, 2001
- 10) 大内雅博, 枝松良展, 小澤一雅, 岡村甫: 自己充填コンクリート中の粗骨材・モルタル粒子間相互作用の簡易評価表, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 2, pp.451-456, 1999
- 11) 重松明, 温品達也, 木村守, 佐藤良一: 廃瓦粗骨材の内部養生による高炉 B 種コンクリートの性能向上について, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.205-210, 2009
- 12) 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, 2009.2