

# 論文 粘性低減効果に優れた高性能 AE 減水剤によるフレッシュモルタルの性状改善効果

亀島 健太\*1・作榮 二郎\*1・小泉 信一\*2・杉山 知巳\*3

**要旨:** 本研究では、主成分の異なる2種類の高性能 AE 減水剤を用いたフレッシュモルタルの粘性、チキソトロピー性および圧送性について実験的に検討を行った。その結果、近年主流となっている粘性低減型のポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤に比べて、新規芳香族系櫛形高分子化合物を主成分とする高性能 AE 減水剤は練上がりから経時後にかけて粘性が低減され、且つ、チキソトロピー性が小さく、圧送前後の粘性の増加が起りにくいいため圧送性にも優れていることを確認した。これにより、新規芳香族系櫛形高分子化合物を主成分とする高性能 AE 減水剤は、経過時間に伴う状態の変化を小さくする可能性が示唆された。

**キーワード:** 高性能 AE 減水剤, フレッシュ性状, 経時変化, 粘性, チキソトロピー性, 圧送性

## 1. はじめに

コンクリート施工の合理化および省力化を図るうえで、圧送による打込みが重要な役割を担っていることは広く認識されている。一方で圧送による打込みの際には、コンクリートの粘性が高い場合に圧力損失が大きく圧送性が低下するため、粘性の低いコンクリートが求められている<sup>1)</sup>。しかし、近年、天然資源の枯渇により品質の悪い骨材の利用や環境負荷低減による副産物の利用拡大に伴いフレッシュコンクリートの粘性増大のリスクが高まっており、そのようなコンクリートを利用した場合、スランプロスや圧力損失の観点から圧送性の低下が懸念される。また、様々な骨材や副産物の利用を含め、粘性の低いコンクリートを製造する上で必要となる化学混和剤であるが、化学混和剤の中でも比較的圧送性に優れているとされているポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤（以下、SP1 と称す）を利用した場合でも、圧送で問題が生じていることが報告されている<sup>1)</sup>。

このような状況の中、著者らはコンクリートの粘性を低減することができ、さらに時間の経過に伴うコンクリートの粘性の増加を抑制する新規芳香族系櫛形高分子化合物<sup>2)</sup>（以下、PAE 化合物と称す）を主成分とした高性能 AE 減水剤（以下、SP2 と称す）を開発した。

そこで本研究では、これら主成分の異なる高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの粘性低減効果の検証を目的とし、近年主流となっている粘性低減型の SP1 を対比に SP2 を用いた場合のフレッシュモルタルの変形性、粘性、チキソトロピー性および圧送性について検討を行った。

## 2. 本研究の構成

本研究では、粘性低減効果が得られる異なる高性能 AE

減水剤を用いたフレッシュモルタルの変形性、粘性、チキソトロピー性および圧送性について、以下に示す Phase-1~3 の流れで検討を行った。

### Phase-1: 変形性および粘性の評価

水と化学混和剤は、いずれも変形性や粘性を変化させることが可能であるが、そのメカニズムは異なる。既往の研究<sup>3) 4)</sup>では、水粉体比、高性能減水剤の種類および添加量をパラメータとしてモルタルの相対フロー面積比（以下、 $\Gamma_m$  と称す）およびモルタルの相対漏斗速度比（以下、 $R_m$  と称す）を求め、その結果から水の効果や化学混和剤の効果を確認している。本研究では、上記の手法を参考として、水セメント比（以下、 $W/C$  と称す）や細骨材セメント比（以下、 $S/C$  と称す）を変化させた条件でフレッシュモルタルの変形性および粘性の挙動を確認した。

### Phase-2: チキソトロピー性の評価

チキソトロピーは、ずり変形を与えたときに生じる構造の破壊と回復の不均衡によって起こる時間依存性の現象である。コンクリートでは練混ぜやトラックアジテータによる運搬時の攪拌および圧送時に受けるせん断力、セメントペーストの凝集構造が一旦破壊されるが、せん断力が停止する静置条件ではチキソトロピー性が発現するため、凝集構造が復活する。既往の研究<sup>5)</sup>では、静置状態から外力を与えてコンクリートを流動させるのに要する力の相違をチキソトロピー性の違いと定義し、1) 回転粘度計によるセメントペーストのヒステリシスループから得られる面積の違いや 2) 静置を保った状態と測定前に練混ぜによるせん断力を加えた状態の変形性（フロー）の違いによりチキソトロピー性を評価している。本研究では、簡易的な手法として 2) のモルタルフローの差の違いにより、SP1、SP2 を用いたフレッシュモルタル

\*1 BASF ジャパン (株) 建設化学品事業部 エンジニア 修士 (工学) (正会員)

\*2 BASF ジャパン (株) 建設化学品事業部 マネージャー 博士 (工学) (正会員)

\*3 BASF ジャパン (株) 建設化学品事業部 シニアマネージャー

表-1 使用材料

		W/C (%)	S/C		
Phase 1	変形性と粘性	30.0	1.2	1.5	1.8
		32.5			
		35.0			
Phase 2	チキソトロピー性	30.0	1.5		
		35.0			
Phase 3	圧送性	30.0	1.8		

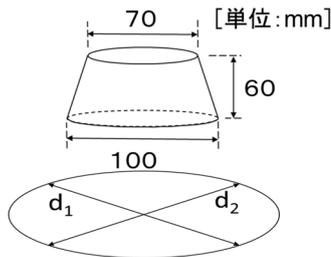


図-1 モルタルフロー試験

表-2 配合条件

材料	記号	産地・主成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S	大井川水系陸砂 (表乾密度: 2.58g/cm <sup>3</sup> )
水	W	上水道水
高性能AE減水剤	SP1	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	SP2	PAE化合物
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール誘導体

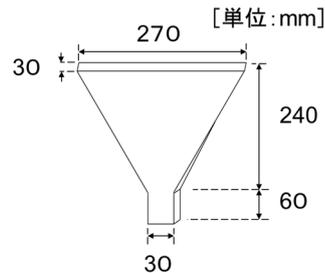


図-2 モルタルV漏斗流下試験

ルのチキソトロピー性の評価を行った。

#### Phase-3: 圧送性の評価

圧送性は、圧送前後におけるコンクリートの状態の変化が大きい場合に低下すると考えられている。既往の研究<sup>6)</sup>では、フレッシュモルタルをモルタルポンプで圧送することで、圧送性を評価している。本研究でも同様の手法で輸送管内の圧送環境を模擬的に想定し、圧送がモルタルの変形性と粘性に与える影響について検討を行った。

### 3. 使用材料・配合・練混ぜ方法

使用材料を表-1に示す。化学混和剤は、主成分の異なる2種類の高性能AE減水剤(SP1, SP2)を用いた。モルタルの配合を表-2に示す。モルタルの粘性の違いを確認しやすくするために、粘性が高い条件になるようにW/C=30.0%、32.5%および35.0%で評価を行った。

また、通常、W/C=30%の条件においてはS/C=1.3%程度、W/C=32.5%の条件においてはS/C=1.5%程度、W/C=35.0%の条件においてはS/C=1.6%程度が一般的な配合であるが、本実験においてはS/Cを1.2、1.5および1.8の条件とし、S/Cによってモルタルの粘性を変化させて試験を行った。Phase-1およびPhase-2の練混ぜにはモルタルミキサを用い、自転107rpm公転63rpmで180秒間の練り混ぜを行った。Phase-3の練混ぜには公称容量55リットルのパン型強制練りミキサを用い、全材料投入後60rpmで180秒間練り混ぜた。練上がり温度は20°Cで各測定を行った。

表-3 圧送条件

使用ポンプ	スネークモルタルポンプ DM15
配管	フレキシブルホース (φ25mm×5m)
吐出量	約0.24m <sup>3</sup> /h
圧送時間	10分 20分 30分

### 4. 試験方法

フレッシュモルタルは、図-1、図-2に示すモルタルコーンとモルタル用V漏斗を用い、変形性と粘性を定量的に評価した<sup>7)</sup>。それら物性・値の評価方法として、下式(1)、(2)に示すΓmおよびRmを適用した。

$$\Gamma_m = (d_1 \times d_2 - 100^2) / 100^2 \quad (1)$$

$$R_m = 10/t \quad (2)$$

ここで、d1、d2:モルタルフロー値(mm)

t:流下時間(秒)

Γmは、変形性を表し、値が大きいほど変形性が高く降伏値が低いことを示している。一方、Rmは、値が大きいほど粘性が低いことを表している。モルタルは複合材料であるため、ここで言う粘性は、見かけの粘性のことを指すが、本実験においては粘性と表現した。同一配合での変形性は、高性能AE減水剤の添加量を変化させて調整した。高性能AE減水剤の使用量は同一配合ではSP1とSP2の使用量差はほぼなく、C×1.0%~C×2.5%前後で試験を行った。また、空気量は増減による変形性および粘性への影響をなくすため、消泡剤を添加して空気量が2.0±1.0%となるように調整した。

Phase-1では、練混ぜ直後と経時30分および60分後

に  $\Gamma_m$  および  $R_m$  を測定し、変形性と粘性の評価を行った。この際、経時のモルタルは、測定前に練りさじで5回練り混ぜたうえで測定を行った。

Phase-2 では、チキソトロピー性を評価するにあたり練混ぜ直後のモルタルを2つに分け、一つは経時30分後まで静置し、測定前に練りさじで5回練り混ぜ  $\Gamma_m$  を測定した。もう一方は、練混ぜ直後のモルタルを直ぐにモルタルコーンに充填し、その後経時30分まで静置させ  $\Gamma_m$  (以降、 $\Gamma_m$  静置と称す) を測定した。

Phase-3 では、圧送前後における  $\Gamma_m$  および  $R_m$  をそれぞれ測定し、粘性の評価を行った。圧送条件を表-3に示す。所定のモルタルをパン型強制練りミキサーで練り混ぜた後、モルタルポンプに投入して、内径25mm長さ5mのフレキシブルホースの中を圧送速度が0.24m<sup>3</sup>/hとなる条件で圧送を行った<sup>6)</sup>。また、輸送管出口をモルタルポンプのホッパーに接続し、同一のモルタルを順次輸送管内に循環させた。測定間隔は、練混ぜ直後のモルタルを静置用と圧送用に分け、静置用のモルタルは、練り上がったモルタルをモルタル試験時に用いたステンレス製の練鉢に分取し、経時0分、10分、20分および30分後の間隔で測定前に練りさじで5回練り混ぜたうえで各種測定を行った。圧送用のモルタルは、練混ぜ直後のモルタルをモルタルポンプに投入し、輸送管内を循環させ、経時10分、20分および30分後の間隔で測定を行った。

## 5. 試験結果および考察

### 5.1 Phase-1: 変形性と粘性の評価

図-3、図-4および図-5に各W/Cにおける練混ぜ直後の  $\Gamma_m$  と  $R_m$  の関係を示す。ここで、既往の研究<sup>8)</sup>によれば、高性能AE減水剤の使用量を変化させた時の  $\Gamma_m$  と  $R_m$  の関係は式(3)に示す累乗近似で表わされる。同一変形性における粘性を比較するために、式(3)の近似式を適用し、同一  $\Gamma_m$  における  $R_m$  を比較することにより、高性能AE減水剤の違いによる粘性の低減効果を定量的に評価することを試みた。

$$R_m = A \times \Gamma_m^X \quad (3)$$

なお、いずれの近似式も決定係数は0.9以上であり、本近似式の適用は妥当であると考えた。はじめに、配合の影響で考察すると、W/Cが高くなる程、S/Cが低いもの程、 $R_m$  は大きくなる傾向にあった。また、高性能AE減水剤の違いで比較すると、いずれの条件でもSP1に比べてSP2の方が  $R_m$  は大きく、SP2の方が粘性は低い位置づけであった。次に、SP2の粘性低減効果を定量的

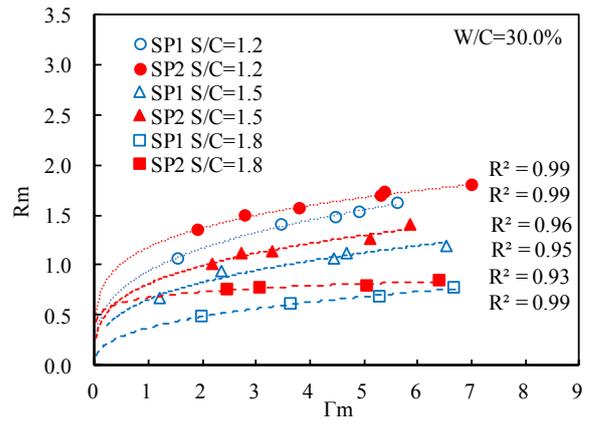


図-3 練混ぜ直後の  $\Gamma_m$  と  $R_m$  の関係 (W/C=30.0%)

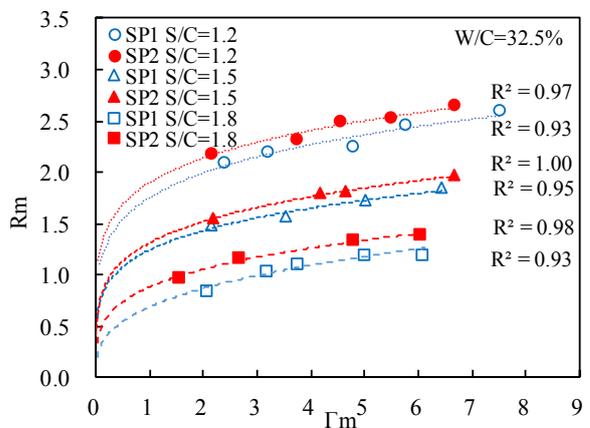


図-4 練混ぜ直後の  $\Gamma_m$  と  $R_m$  の関係 (W/C=32.5%)

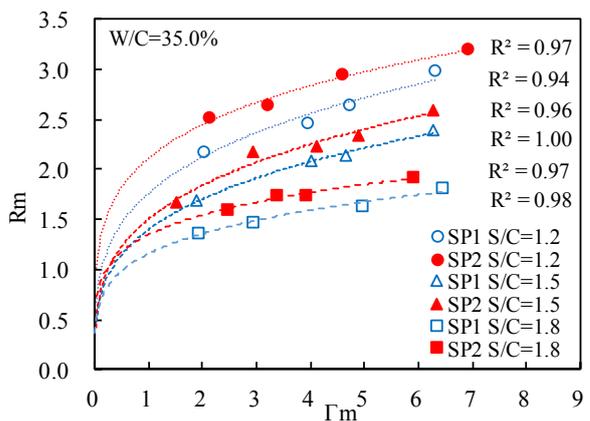


図-5 練混ぜ直後の  $\Gamma_m$  と  $R_m$  の関係 (W/C=35.0%)

的に表すため、便宜的にそれぞれの近似式により  $\Gamma_m=4$  の時の  $R_m$  値で比較を行った。図-6に  $\Gamma_m=4$  におけるW/Cと  $R_m$  の関係を、図-7に  $\Gamma_m=4$  におけるS/Cと  $R_m$  の関係を示す。混和剤の種類をSP1からSP2に変更することにより、W/C換算とS/C換算でどの程度粘性が低減できるかをSP1とSP2をそれぞれ直線近似し、各パラメータの差分により評価した。その結果、SP2と

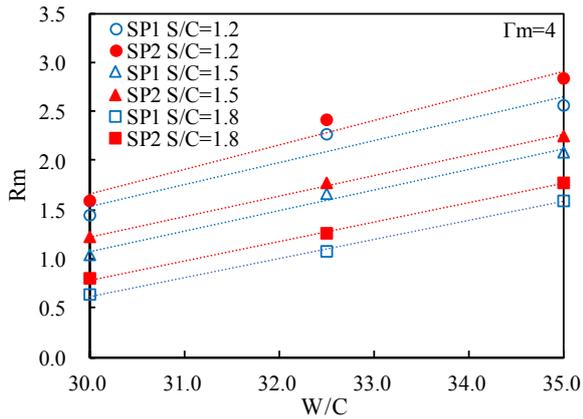


図-6  $\Gamma_m=4$ におけるW/CとRmの関係

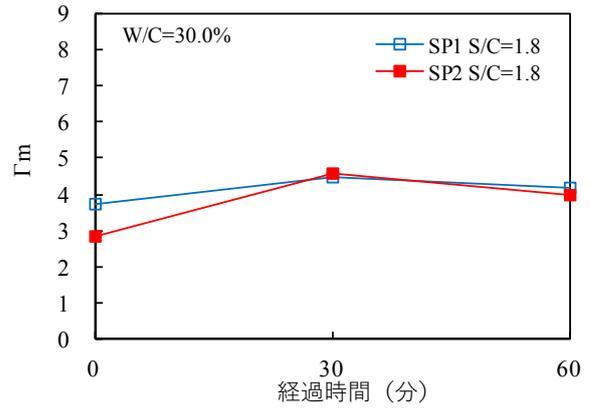


図-8  $\Gamma_m$ の経時変化

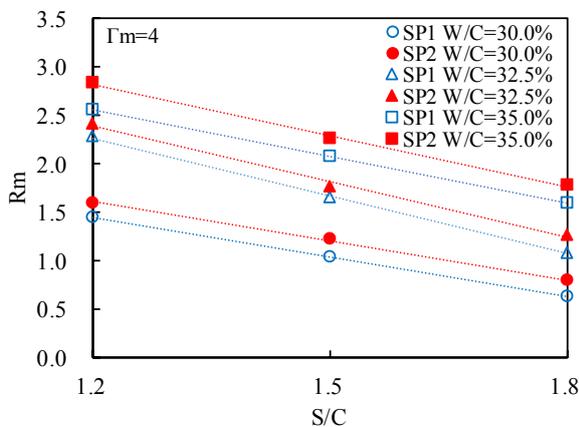


図-7  $\Gamma_m=4$ における練混ぜ直後のS/CとRmの関係

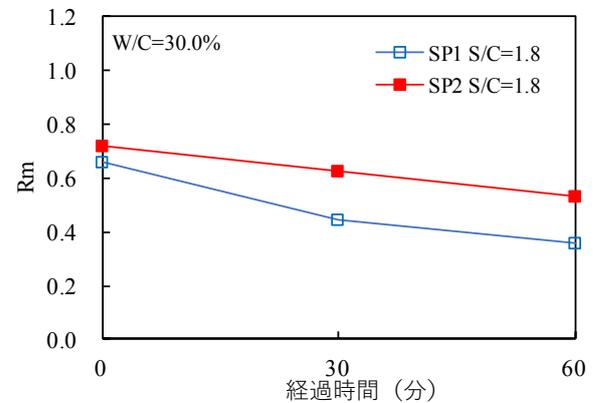


図-9 Rmの経時変化

同程度のRmを得るうえでW/Cに換算すると、S/C=1.2の条件で約0.5%相当、S/C=1.5の条件で約0.7%相当、S/C=1.8の条件で約0.9%相当、W/Cを上げる必要があり、SP2の粘性低減効果が認められた。また、同一W/CでSP2と同程度のRmを得るうえでS/Cに換算すると、いずれのW/Cでも約0.1程度のS/Cを下げる必要があり、同一配合でのSP2の粘性低減効果が認められた。ここで、粒子形状が悪い骨材や副産物の利用は、材料間同士の接触や噛み合いによる影響が顕著となり摩擦が大きくなるため、結果的に粘性が増大する。本研究では、S/Cを高めて材料間の摩擦を大きくすることにより、その現象を簡易的に模擬した。その結果、S/Cが高く細骨材同士の摩擦が大きい条件でも、SP間の粘性の違いが確認された。これより、粒子形状が悪い骨材や副産物の利用で摩擦が大きくなり粘性が高くなる条件においても、混和剤の種類をSP1からSP2に変更することにより、フレッシュ性状の改善効果が得られる可能性があると考えられる。

次に、SP1、SP2を用いたフレッシュモルタルの経時に伴う性状変化について比較検討した。図-8、図-9に $\Gamma_m$ 、

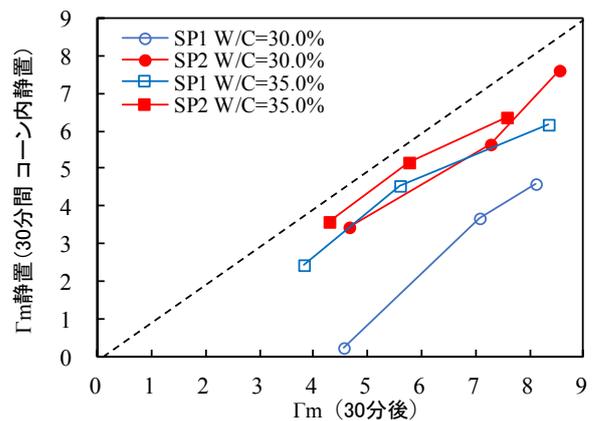


図-10 経時30分後の $\Gamma_m$ 、 $\Gamma_m$ 静置の関係

Rmの経時変化をそれぞれ示す。経時変化は、粘性が最も高くなるW/C=30.0%、S/C=1.8の条件で比較した。その結果、 $\Gamma_m$ は、SP1、SP2ともに練上がり直後に比べて経時60分後の方がやや増加傾向であった。Rmは、SP1、SP2ともに経時0~60分にかけてやや低下する傾向にあるものの、SP1に比べてSP2の方がRmの低下は小さく、SP2を用いることで粘性低減効果がより持続されること

が確認された。

### 5.2 Phase-2: チキソトロピー性の評価

図-10 に経時 30 分後の  $\Gamma_m$ 、 $\Gamma_m$  静置の関係を示す。いずれの条件も  $\Gamma_m$  に比べて  $\Gamma_m$  静置の値の方が小さい側に分布し、その差は SP1 よりも SP2 の方が小さくなる傾向にあった。特に、W/C=35.0%に比べて 30.0%における  $\Gamma_m$  と  $\Gamma_m$  静置の差は大きくなる傾向にあるが、SP2 は SP1 よりもその差が生じにくく、SP1 の W/C=35.0%の差と同程度の結果となった。すなわち、SP1 よりも SP2 の方が静置状態においてセメントペーストの凝集構造が形成されにくい性質を有するため、コンクリートを再流動・再圧送させるために必要な外力が低減できることを示唆しているものと考えられた。以上の結果から、いずれの W/C においても、SP2 を使用した方がチキソトロピー性は低いと考えられるため、バケットによる打込み作業、圧送を一時中断し再び圧送した時の圧送における輸送管内のコンクリート圧力負荷、さらには均し作業の軽減といった圧送性および施工性の向上につながる可能性があると考えられる。

### 5.3 Phase-3: 圧送性の評価

図-11 にモルタルの圧送時および静置時における  $\Gamma_m$  の経時変化を示す。静置したモルタルの  $\Gamma_m$  は、いずれの高性能 AE 減水剤も練混ぜ直後から経時 30 分で概ね同程度であった。また、本実験では W/C=30%においては細骨材の割合が S/C=1.8 の高い条件とし、骨材同士の摩擦により圧力損失が大きくなることでモルタルの変形性の低下が生じることを想定したが、いずれの高性能 AE 減水剤を用いた条件でも、圧送による変形性の大きな低下は起こらず、安定した経時変化を示した。図-12 にモルタルの圧送時および静置時における  $R_m$  の変化を示す。静置したモルタルの  $R_m$  は、いずれの高性能 AE 減水剤を使用しても、練混ぜ直後から経時 30 分でやや小さくなる傾向にあったが、SP2 は SP1 に比べて粘性が低い位置づけにあり、この挙動は Phase-1 の結果と同様であった。一方、圧送を行った場合には、SP1、SP2 ともに静置時にみられた  $R_m$  の低下は認められず、練混ぜ直後の粘性を維持する結果となった。そこで、圧送の有無による粘性の変化率に着目し評価を行った。

図-13 に圧送による  $R_m$  の変化率を示す。なお、 $R_m$  の変化率は下式 (4) に示す方法で求めた。

$$R_m \text{ の変化率 (\%)} = \frac{(\text{圧送時の } R_m - \text{静置時の } R_m)}{\text{圧送時の } R_m} \times 100 \quad (4)$$

$R_m$  の変化率は、SP1 に比べて SP2 の方が変化率は小さい。また、その挙動は時間が経過するほど顕著となる傾向にあった。圧送性は、圧送前後におけるコンクリー

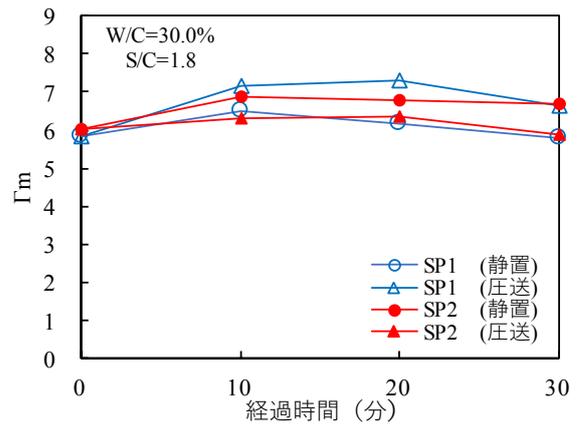


図-11 圧送による  $\Gamma_m$  の経時変化

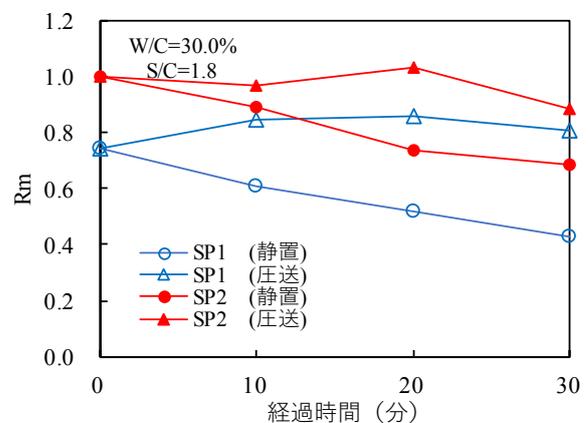


図-12 圧送による  $R_m$  の経時変化

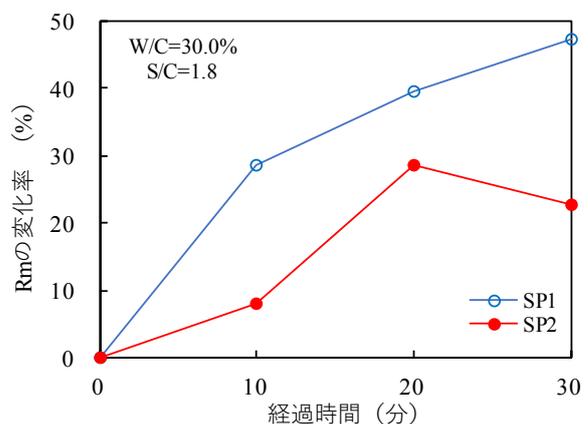


図-13 圧送による  $R_m$  の変化率

トの状態の変化が大きい場合に低下すると考えられている。本試験において、SP1、SP2 ともに圧送時の変形性は静置時とほぼ変化がないのに対して、粘性は静置時よりも圧送時の方が減少し、その変化率は SP1 に比べて SP2 の方が小さい。以上の結果から、SP2 は SP1 に比べて練上がりから経時後にかけてモルタルの粘性を低減し、且つ、圧送前後の  $R_m$  の変化率が小さいため、粘性の増加

が起こりにくく、圧送による圧力損失が小さくなる可能性が示唆された。

## 6. まとめ

本研究では、主成分の異なる2種類の高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの粘性低減効果の検証を目的とし、フレッシュモルタルの変形性、粘性、チキソトロピー性および圧送性の違いを評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 練混ぜ直後の粘性は、SP1 に比べて SP2 の方が低い。
- (2) 経時後の粘性は、静置および圧送時のいずれも SP1 に比べて SP2 の方が低い。
- (3) SP2 は SP1 に比べて、チキソトロピー性は低い。
- (4) SP2 は SP1 に比べて、粘性の増加が起こりにくい。

本研究では、基礎的なモルタル実験により主成分の異なる高性能 AE 減水剤の粘性やチキソトロピー性ならびに圧送性の違いを確認した。引き続き、骨材やその他の因子がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を確認するとともに、SP2 を用いた場合の粘性やチキソトロピー性の低減メカニズムについて検討を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートポンプ施工技術調査委員会報告書，P.82，pp.42-45，2007.9
- 2) A. Kraus, O. Mazanec, J. Dengler, N. Hillesheim, J. Bokern : Influence of PAE , SMD and PCE superplasticizers on the rheological properties of mortars and concretes , International RILEM Conference on Application of Superabsorbent Polymers and Other New Admixtures in Concrete Construction, pp.115-126, 2014
- 3) 大内雅博・日比野誠・小澤一雄・岡村甫：自己充填コンクリート用モルタルの配合設計法，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No1, p.p19-24, 1997
- 4) 菅俣匠・枝松良展・大内雅博・岡村甫：ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の粒子分散作用に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No2, p.p91-96, 1999
- 5) 菅俣匠・杉山知巳・梅沢健一・岡沢智：超高強度コンクリート用高性能減水剤「レオビルド SP8HU」によるフレッシュ性状改善効果について，エヌエムビー研究所報，No.14, p.p8-16, 2002
- 6) 松尾茂美，永峯秀則，太田晃：新規なポンプ圧送上剤の作用機構，セメントコンクリート論文集，No.52, pp.224-229, 1998
- 7) 大内雅博・枝松良展・小澤一雄・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法，コンクリート工学年次論文報告，Vol.21, No2, p.p451-456, 1999
- 8) 菅俣匠・枝松良展・大内雅博：高性能 AE 減水剤の分散保持作用に関する定量評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22, No2, pp.163-168, 2000