

報告 界面活性剤系増粘剤を含有した現場添加型高性能流動化剤の開発

右田 周平^{*1}・梅本 宗宏^{*1}・守屋 健一^{*2}・小池 晶子^{*3}

要旨：夏期におけるコンクリートのスランプロスの回復や流動化のために，現場で容易に添加でき，添加後も長時間良好な流動性を維持できる，半固形状の高性能流動化剤の開発を行った。開発した流動化剤の性能を室内試験により検証したところ，従来品相当の減水性と，高い保持性能を兼備していることが確認された。また，実機試験により実用性を検証したところ，トラックアジテータのドラム内に直接投入した際の流動化剤の分散性状も問題が無く，製造された流動化コンクリートは材料分離抵抗性および充填性に優れていることが確認された。通常のコンクリートと比較した場合，打ち込み時間の短縮や作業者の削減が期待できる。

キーワード：流動化剤，増粘剤，流動化コンクリート，フレッシュ性状，経時変化，凝結時間

1. はじめに

夏期に施工されるコンクリートでは，練上りの温度が上昇するため，スランプの低下が発生する危険性があり，十分な対策を講じなければ施工性や品質について，悪影響を及ぼす可能性がある。また，コンクリート工事の生産性向上¹⁾においては，打ち込み速度を向上させるため，締固め作業の軽減化を図ることが有効であり，そのため，流動性の高いコンクリートを使用することが効果的である。

しかしながら，一般的な高流動コンクリートでは，単位粉体量を増やすことで適切な流動性と材料分離抵抗性を高めており，必要以上の単位粉体量やコンクリート強度を有する調合を用いる場合もある。また，JIS A 5308の適用範囲外になるため，国土交通大臣の認定を取得する必要がある，コストの増大や煩雑な品質管理の必要が生じてくる。そういった背景から，近年では増粘剤一液型の流動化剤の研究²⁾が進められている。筆者らは，さらに高性能な流動化剤の開発を目指し，以下の条件を満足する界面活性剤系増粘剤を含有した，現場添加型高性能流動化剤の研究，開発を行った。

- ・ トラックアジテータ（以下，アジテータ車）のドラムに容易に投入できる
- ・ 暑中コンクリートのスランプロスを回復できる
- ・ 細骨材率を変更せずに，良好な性状の流動化コンクリートを製造できる
- ・ 流動化後も，良好なフレッシュ性状を長時間保つ
- ・ 投入量について，厳密な管理を必要としない

本報では開発に際し実施した一連の実験とその結果について報告する。

2. 高性能流動化剤の検討

2.1 試験概要

一般の流動化剤（主成分ポリカルボン酸系）は，ベースコンクリートの細骨材率の調合修正が必要となる上に，流動化後のコンクリートはスランプ保持性が低い欠点がある。一方，近年開発された流動化剤（増粘剤一液タイプ）は，材料分離することなく流動性を高めることが可能であるが，ベースコンクリートの調合修正はやはり不可欠と言える。本検討では，室内実験により，ベースコンクリートの細骨材率を調整しなくとも，適切な材料分離抵抗性を付与し，所定の流動化性能および流動化後のコンクリートのスランプ保持性能を確保した新たな流動化剤の検討を行った。実験は，従来の増粘剤一液タイプの流動化剤（SPV:従来品）との比較試験を行い，流動化剤の構成成分を選定・調整することで新たな流動化剤を開発し，次にこの開発品について諸性能の確認試験を実施した。

2.2 コンクリートの使用材料と調合

表-1にコンクリートの使用材料を，表-2に調合を示す。本試験における粗骨材はJIS A 5308 附属書 A に規定される範囲内で，材料分離が生じやすい粒度に調整している。ベースコンクリートの調合条件は，水セメント比 50%，目標空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ ，目標スランプ $18.0 \pm 2.5\text{cm}$ である。

2.3 試験方法

表-3 に試験項目を示す。流動化剤は，ベースコンクリートを任意の時間まで静置し，スランプが低下したことを確認してからミキサ内にコンクリートを戻して添加し，練混ぜを行うこととした。また，経時変化の測定は，練混ぜ後所定の時間までコンクリートを静置し，練り返

*1 戸田建設（株） 技術開発センター 社会基盤ユニット 工修（正会員）

*2 （株）フリーリック 技術本部 技術部 工修（正会員）

*3 （株）フリーリック 技術本部 技術部（正会員）

しを行った後に実施した。

2.4 試験結果および考察

(1) 開発品と従来品との比較

環境温度 20℃にてベースコンクリート練混ぜ後 60 分で流動化剤を添加し、流動化後の経時変化試験を行った。なお、流動化剤の添加量はいずれも $C \times 0.5\%$ である。図-1 にスランプ、スランプフローおよび空気量の経時変

表-1 使用材料(室内 20℃用)

材料名	記号	種類・物性等
水	W	つくば市上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント(3社等量混合), 平均密度: 3.16g/cm^3
細骨材	S	掛川産陸砂, 表乾密度: 2.57g/cm^3 , 吸水率 2.27%, F.M. 2.60
粗骨材	G	青梅産砕石, 表乾密度: 2.64g/cm^3 , 吸水率 0.77%, F.M. 6.68, 実積率 55.0%
化学混和剤	HWR	高性能 AE 減水剤 標準形 I 種, ポリカルボン酸系化合物
	SPV:従来品	流動化剤 標準形 I 種, ポリカルボン酸系化合物と界面活性剤系特殊増粘剤の複合体
	SPV:開発品-1,2*	流動化剤, ポリカルボン酸系化合物と界面活性剤系特殊増粘剤の複合体

*:SPV 開発品-1,2 は, 構成成分量の違いによる

表-2 コンクリートの調合

W/C (%)	単位粗骨材かさ容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)				
		W	C	S	G	HWR
50	0.665	170	340	799	966	3.06

表-3 試験項目

項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
スランプフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
コンクリート温度	JIS A 1156
経時変化	コンクリートの練上がり時から 30 分毎に測定
凝結時間	JIS A 1147
圧縮強度	JIS A 1132, JIS A 1108

化試験結果を示す。従来品は, 流動化後 30 分毎に約 2.5cm スランプが低下する結果となった。一方で, 開発品は流動化後のスランプロスが低減され, 構成成分量を調整し保持性能を高めた開発品-2 は, 非常に良好な保持性であることが確認された。空気量に関しては, 何れの流動化剤も流動化前後において著しい変化は認められなかった。図-2 に凝結試験結果を示す。ベースコンクリートに対して従来品は約 2 時間, 始発および終結時間が遅延している。開発品は, スランプ保持性能を大幅に改善しているにも関わらず, 従来品とほぼ同様の凝結時間であることが確認できた。

(2) 開発品の添加量による影響

図-3 に開発品-2 の添加率および流動化前後のスランプ比を示す。ベースコンクリートのスランプは 15cm としている。なお, 本試験より, 流動化剤を液状から半固形とし, 標準使用量を $C \times 0.4\%$ とした。開発品-2 は目標品質を確保するため, 材料分離抵抗性を満足するための増粘剤量の確保, 保持性能を高めるための好適化合物の選定と有効成分量の増加が設計の必須条件となる。増粘剤および複数の分散剤を高濃度で調整した液状形態では製品安定性に問題があるため, 半固形にすることで目標性能を満足する製品設計を可能とした。

添加率 0.3~0.4%は流動化効果が高く, 0.4%以降の流動化効果はやや緩慢になる傾向が確認され, 0.6%でも分離を生じることはなかった。開発品-2 はある程度の添加率以降, 鈍感な流動性(減水性)を示すと考えられる。図-4 に圧縮強度試験結果を示す。添加率に関わらず, 材齢 7 日, 28 日とも開発品-2 の圧縮強度はベースコンクリートとほぼ同程度であり, 圧縮強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

(3) 高温環境における性状

開発品-2 の温度依存性を確認するため, 環境温度 30℃にて, 表-4, 表-5 に示す材料, 調合のベースコンクリートが, スランプ 15cm および 18cm の時に $C \times 0.4\%$ 添加し, 経時変化試験を実施した。図-5 に経時変化試験結果を示す。ベースコンクリートのスランプに関わらず材

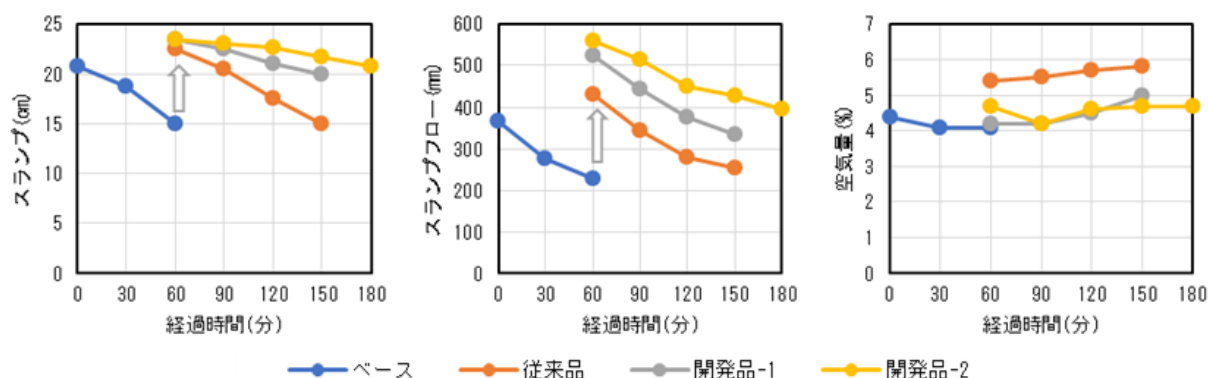


図-1 経時変化試験結果

料分離を生じずにスランプを回復し、流動化後 60 分程度はスランプを保持する結果となり、開発品-2 は、夏期の高温環境下においても良好な流動化およびスランプの経時安定性を示すことが分かった。以降、開発品-2 を用いて各試験を実施することとした。

3. 実機施工実験

3. 1 アジテータ車投入実験

前述の一連の実験により、開発した高性能流動化剤の基礎性能が確認できたため、アジテータ車のドラムへ、直接流動化剤を投入し、攪拌方法や流動化コンクリートの性状を確認した。なお、本実験より、扱い易さや投入のし易さを考慮し、流動化剤を個包装(400g/個)することとし、写真-1 に示すように、投入前に必要量をバケツに準備した。表-4 にコンクリートの使用材料を、表-6 に調合を示す。コンクリートの調合は、水セメント比

50%，目標空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ ，目標スランプ $18.0 \pm 2.5\text{cm}$ とした。また、攪拌方法および測定条件を表-7 に示す。

表-4 使用材料(室内 30℃, 実機試験用)

材料	記号	種類・物性
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント，表乾密度： 3.16g/cm^3
細骨材	S1	茨城県行方産陸砂，表乾密度： 2.58g/cm^3
	S2	栃木県佐野産砕砂，表乾密度： 2.69g/cm^3
粗骨材	G	栃木県佐野産石灰砕石，表乾密度： 2.70g/cm^3
混和剤	HWR	高性能 AE 減水剤 標準形 I 種
流動化剤	SPV	SPV:開発品-2

表-5 コンクリートの調合(室内 30℃)

W/C (%)	単位量 (kg/m^3)					
	W	C	S1	S2	G	HWR
50	170	340	533	228	1012	3.06

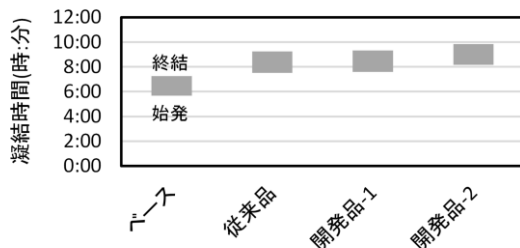


図-2 凝結試験結果

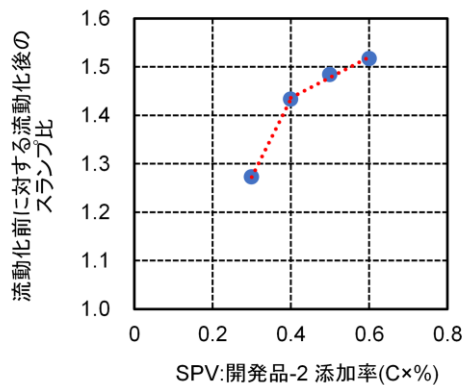


図-3 SPV:開発品-2 の添加率とスランプ比の関係

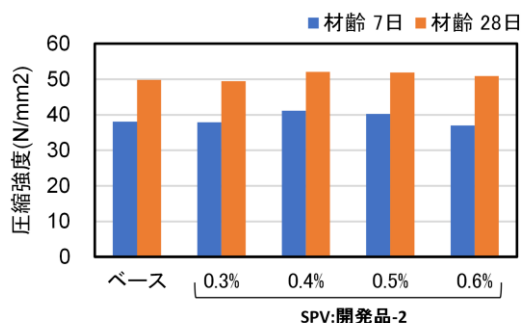


図-4 圧縮強度試験結果(標準養生)

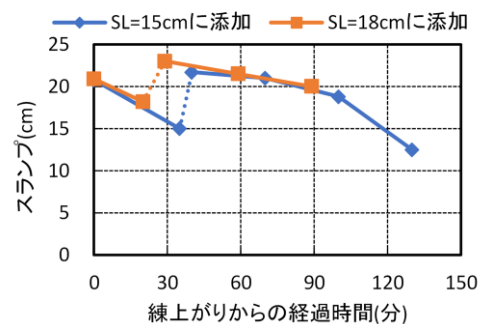


図-5 経時変化試験結果 (30℃)



写真-1 半固形流動化剤

表-6 コンクリート調合

W/C (%)	単位量(kg/m^3)					添加量(C×%)	
	W	C	S1	S2	G	HWR	SPV
50.0	167	334	581	261	968	0.9	0.4

表-7 試験条件

NO.	攪拌方法	測定条件
1	2 分間中速攪拌	排出コンクリート流の始め，中，終わり
2	2 分間の高速攪拌 +採取前 30 秒の高速攪拌	経時変化 流動化後 0, 30, 60, 90 分

流動化剤はレディミクストコンクリート受入れ後に、写真-2 に示すように、アジテータ車のドラム内に手で投入し、所定の時間攪拌することとした。測定項目はスランプフロー、空気量とし、アジテータ車から排出されるコンクリート流の始め、中（積載量の半分程度が排出された頃）、終わり（積載量のほぼ全てが排出された頃）の部分で直接一輪車に受け取り、性状および、経時変化を測定した。それぞれの測定結果を図-6 および図-7 に示す。攪拌方法を2分間の中速攪拌とした条件では、コンクリートが流動化しことは確認できたが、流動化前と比較し空気量が約3%まで減少し、また、排出されたコンクリート内に分散されていない流動化剤の塊が見られた。一方、攪拌方法を2分間の高速攪拌とし、さらに試料を採取する直前に30秒の高速攪拌を行うこととした条件では、空気量の減少は比較的抑制され、排出されたコンクリートに流動化剤の塊も確認されなかった。また、コンクリートの流動性については、コンクリート流の始め、中、終わり部分でいずれもフロー値は50cm以上で、材料分離も無く良好なフレッシュ性状が得られた。終わり部分で若干フロー値が低下しているが、これは後述する経時変化による影響が考えられる。経時変化については、流動化直後から、時間経過と共に徐々にフロー値が低下しているが、流動化後90分経過後もフロー値は40cm以上あり、良好な性状を維持できている結果となった。

3. 2 模擬柱壁部材打込み実験

前述のアジテータ車投入実験に使用したのと同じ材料、調合のコンクリートを製造して、模擬柱壁部材への打込みを行い、高性能流動化剤を使用した流動化コンクリートの施工性を確認した。コンクリートの流動化手順および方法については、アジテータ車投入実験と同様とした。図-8 に模擬部材平面図および立面図を示す。模擬部材は3体とし、それぞれ、流動化前のベースコンクリート、流動化コンクリート、スランプ回復コンクリートを打込んだ。スランプ回復コンクリートについては、流動化前のベースのコンクリートがスランプロスするまで（ベース測定から35分）静置し、その後流動化剤を添加した（ベース測定から45分）。図-9 に打込み中に採取したコンクリートの測定結果を、図-10 スランプ回復コンクリートの測定結果を示す。また写真-3 にベースコンクリート、写真-4 に流動化コンクリート、写真-5 にスランプロスを回復したコンクリートの模擬部材への打込み状況を示す。打込みは模擬部材の柱部に、アジテータ車から直接コンクリートを流し込んだ。各コンクリートのフレッシュ性状に関して、流動化コンクリートについては、流動化直後に空気量が増大する傾向が見られた。これは、アジテータ車投入実験の際に空気量の減少が見られたため、流動化剤に内添してある消泡剤の添加



写真-2 流動化剤投入状況

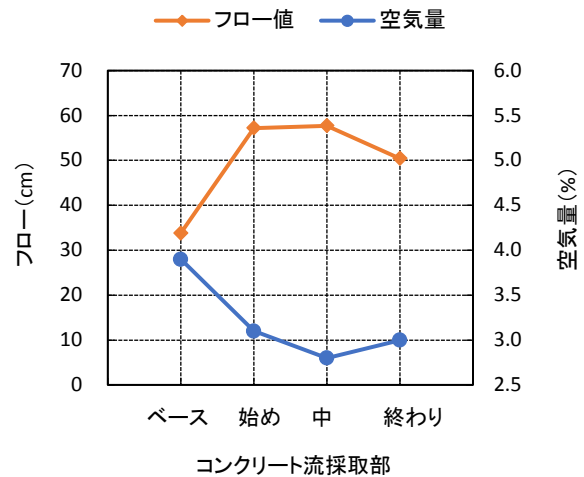


図-6 コンクリート流各部の測定結果

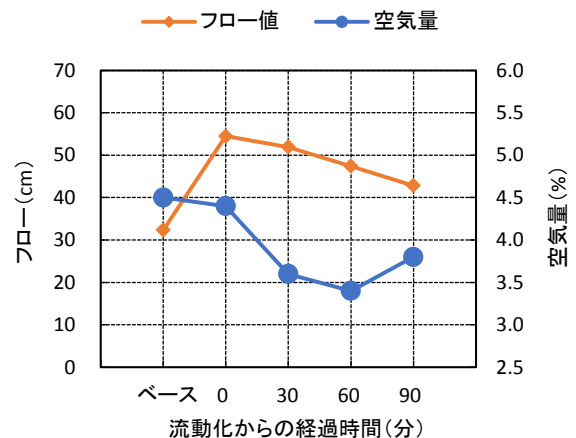


図-7 経時変化測定結果

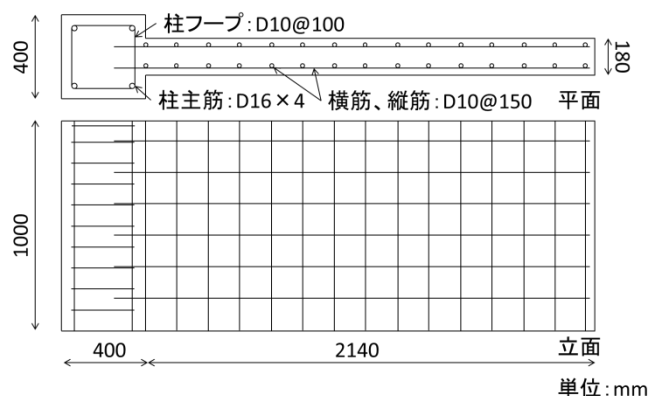


図-8 模擬部材平面および立面図

量を減らしたことが原因であると考えられる。消泡剤の添加量に関しては今後の検討課題とする。流動性については、後流動化直後から打込み終了まで良好な流動性を維持できていた。また、スランプ 15cm、フロー値 26.5cm 程度までスランプが低下したコンクリートについても、流動化剤の十分な減水作用により、良好な流動化コンクリートが製造できた。施工性については、ベースコンクリートは型枠内でコンクリートが横に広がらず、バイブレーターをかけなければ打込めない状況であった。一方、流動化コンクリートについては、流動化前のコンクリートの状態に関わらず、型枠内で水平に近い角度で広がっており、バイブレーターをほとんど使用せずに打込み可能なほど自己充填性に優れた結果であった。打込み速度についても、コンクリートの打込み開始から終了まで（約 0.5m³）、ベースコンクリートでは 20 分以上の時間を要したのに対し、流動化コンクリートはいずれも 10 分程度であり、打込み速度が大幅に向上することが確認できた。

4. おわりに

新たに開発した、高性能な流動化剤について、一連の

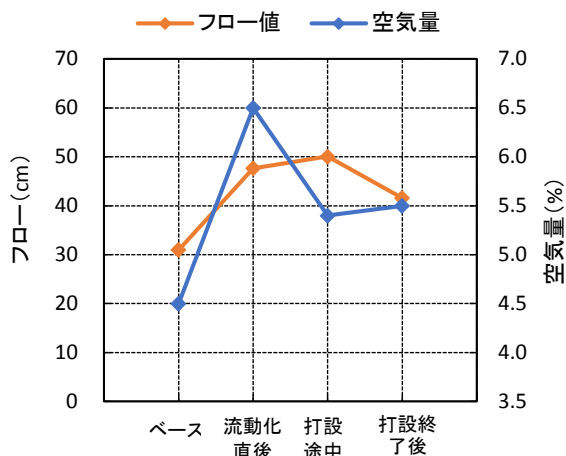


図-9 打込み中のコンクリートの測定結果

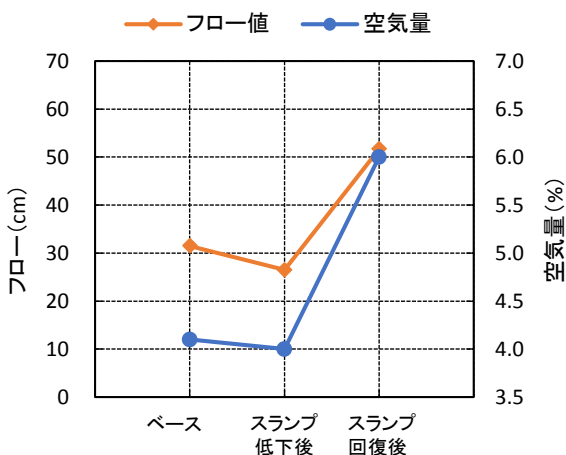


図-10 スランプ回復コンクリートの測定結果

実験から以下の知見を得られた。

- (1) 非常に高い材料分離抵抗性と流動化直後もスランプを長時間保持する製品設計は、多成分・高濃度化を招くため従来の技術では困難であったが、半固形状の新たな製品形態を採用することで、目標性能を満足する製品設計を行えた。
- (2) 高性能流動化剤は、流動化から 30℃の環境下でも 60 分以上も高い流動性を確保しており、従来の流動化剤と比べて、非常に高いスランプ保持性能を有していることが確認された。また、条件の厳しい夏季を想定した高温環境下であっても、その性能が損なわれることは無い。
- (3) 高性能流動化剤は、環境条件に関わらず必要十分な減水作用を有しているため、スランプが低下したコンクリートも十分に流動化できることが確認された。一方で、十分な材料分離抵抗性を有しているため、標準使用量の 1.5 倍程度を添加しても、材料分



写真-3 模擬部材打込み状況（ベースコンクリート）



写真-4 模擬部材打込み状況（流動化コンクリート）

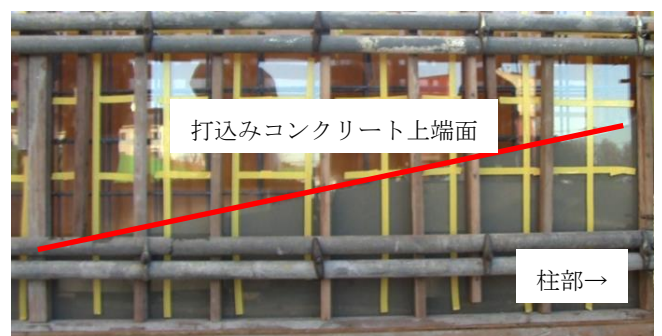


写真-5 模擬部材打込み状況（スランプ回復コンクリート）

離を生じない特徴がある。

- (4) 高性能流動化剤は新たな半固形状の形態であるが、トラックアジテータのドラム内に投入し高速攪拌することで、十分に有効成分が分散することが検証された。
- (5) 模擬部材へのコンクリート打込み実験では、高性能流動化剤を使用することで、打込み時間の短時間化と高い充填性が確認された。
- (6) 高性能流動化剤は、投入個数での管理が可能なため計量作業が省かれる。さらに、高い材料分離抵抗性により投入個数が過大になった場合でも材料分離

を生じないため、添加による作業ミスを著しく減じることができる。コンクリートの性能のみではなく、作業性や流動化コンクリートの製造安定性を改善することが期待される。

参考文献

- 1) たとえば国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性革命～，国土交通省 HP.より
- 2) たとえば古川他：増粘剤一液型高性能 AE 減水剤を用いた高流動コンクリートの諸性状に関する研究
コンクリート工学年次論文集, pp1432-1437, Vol.36, No.1, 2014