

# 論文 こわばり抑制剤を用いたフレッシュコンクリートの性状改善に関する実験的検証

根本 浩史\*<sup>1</sup>・平野 修也\*<sup>2</sup>・西 祐宜\*<sup>3</sup>・伊達 重之\*<sup>4</sup>

**要旨**：静置したコンクリートのこわばりを抑制する粉末状の混和剤を新規に開発し、高性能 AE 減水剤を用いたベースコンクリートに助剤として添加した場合のこわばり抑制効果について、フレッシュコンクリート試験を通じて検証した。非吸着の粉末化合物を新規混和剤の主成分とした場合、セメントの水和を阻害することなくコンクリートに適度な保水性が付与され、静置したコンクリートのスランプの経時変化や衝撃に対する変形性が改善された。また、回転粘度計を用いて静置したコンクリートのヒステリシスループを導出し、新規混和剤の添加によるこわばりの抑制がチキソトロピーの低減に寄与する可能性を確認した。

**キーワード**：こわばり抑制剤、高性能 AE 減水剤、静置スランプ、経時変化、回転粘度計

## 1. はじめに

筆者は、これまでに高密度配筋であるオールケーシング工法による場所打ち杭の施工<sup>1)</sup>や配管長 2000m を超える長距離圧送によるインバートコンクリートの施工<sup>2)</sup>、既設コンクリート下部の大断面部材への逆打ち工法の適用<sup>3)</sup>に際して、高い流動性を長時間保持できるコンクリートの配合検討を実施し、施工実績に基づき各工法で求められるコンクリートの性能を整理した。上述した工法で共通するのは、先行して打込まれたコンクリートが静置した状態でこわばると、後から打込まれるコンクリートの充填性が阻害される恐れがあることや、コンクリートポンプを使用した圧送工法では圧送負荷が過大となり、配管閉塞を招く大きな要因となることである。従って、これらの工法においては、流動性の保持性能に優れ、こわばりが少なく、静置状態から流動させるのに要する外力が少ないことがコンクリートに求められる。ここでいうこわばりとは、静的状態のコンクリートを動かす外力が動的状態のコンクリートの降伏値以上になる現象と定義している。

静置したコンクリートがこわばる現象が、セメント粒子の近接や凝集に起因すると仮定すると、粒子間距離を保持させた上で沈降分離等の現象を抑制することがこわばりを解消する上で有効と考えられる。コンクリートの流動性を定常状態に保つために攪拌してせん断力を加えること、化学混和剤を用いてセメントの分散性を保持させることやセメントの水和を遅延させることは、日常的にコンクリートの製造現場で実践されている。しかしながら、静置してこわばったコンクリートのフレッシュ性状を定量的に評価し、こわばりによる影響の緩和を試み

た事例は既往の報告にはない。

以上を踏まえ、フレッシュコンクリートに助剤として添加することで静置後のこわばりによる影響を抑制し、施工性の改善に寄与できる混和剤を開発した。本論文では、この新規混和剤をこわばり抑制剤と称し、静置状態のコンクリートを対象にこわばり抑制剤の効果を検証することを目的とした。

## 2. 本論文の構成

本報告では、先ず Phase-1 として、高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートをベースコンクリートとし、こわばり抑制剤を用いることでフレッシュコンクリートの性状がどのように変化するかを確認した。次に Phase-2 として、こわばった状態のコンクリートのコンシステンシーを評価するために、通常のスランプ試験と並行して、スランプコーン内に試料を一定時間静置させたスランプ試験(以降、静置スランプ試験と称する)を実施した。比較対象の中にこわばり抑制剤を使用するものを加えて、その効果を検証した。さらに回転粘度計を用いて、せん断ひずみ速度を増減させた場合のせん断応力の履歴を求め、コンクリートのチキソトロピーに対してこわばり抑制剤がどのような効果を示すのかを検証した。

## 3. こわばり抑制剤を用いたフレッシュコンクリートの性状に関する検証 (Phase-1)

### 3.1 実験概要

#### (1) 使用材料

Phase-1 の実験で使用した材料を表-1 に示す。主剤となる混和剤には高性能 AE 減水剤標準形を使用し、こわ

\*1 清水建設株式会社 土木技術本部基盤技術部 コンクリートグループ グループ長 修士(工学) (正会員)

\*2 株式会社フローリック 技術本部コンクリート研究所 修士(工学) (正会員)

\*3 株式会社フローリック 技術本部コンクリート研究所 主席研究員 博士(工学) (正会員)

\*4 東海大学 工学部土木工学科 教授 博士(工学) (正会員)

表-1 使用材料

材料	記号	概要・品質・主成分
水	W	上水道水(つくば市)
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	S1	山砂(千葉県市原市 表乾密度:2.59g/cm <sup>3</sup> 吸水率:2.43% F.M.:2.51)
	S2	石灰砕砂(高知県仁淀川町 表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup> 吸水率:1.91% F.M.:2.11)
粗骨材	G	石灰砕石 2005(北海道北斗市 表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> 吸水率:0.49% 実積率:60.2%)
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤標準形 I 種(ボリカルボン酸系化合物 密度:1.08g/cm <sup>3</sup> )
助剤	AE	AE 剤(ボジニカルウム塩系)
	FI	こわばり抑制剤(カリコルエーテル系誘導体,オキシカルボン酸塩 薄黄色粉末)

表-2 コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				W	C	S1	S2	G
50	47.3	23程度	4.5±0.5	175	350	412	412	953

混練手順: G+S1+C+S2→10 秒→W+SP+AE→90 秒→(FI→30 秒)→排出

表-3 試験項目

試験項目	規格・基準	施工性への影響要因
スランプ試験	JIS A 1101:2014	流動性の保持性能
凝結試験	JIS A 1147:2007	圧送後の凝結遅延
ブリーディング試験	JIS A 1123:2011	材料分離による閉塞
加圧ブリーディング試験	JSCE-F502-2010	適度な脱水特性

こわばり抑制剤を併用した場合の効果を検証した。こわばり抑制剤は粉末状で、使用時にコンクリートに万遍なく散布し、強制二軸ミキサで混練してから試験に供した。構成成分の比率の異なる2種類(FI-1 および FI-2)を用いて、各々の効果を比較検討した。こわばり抑制剤は、化合物にセメントへの吸着官能基があり、分散性と水和調整機能を有する成分と、非吸着で液相中に残存しデプレッション作用による弱い分散性とコンクリートのフレッシュ性状に寄与する保水性を有する成分からなり、FI-1 は前述の成分、FI-2 は後述の成分の組成比率が高い。デプレッションは、液相に残存した成分に由来して、粒子の近接時に粒子間で濃度差が生じ、これを均一化すべく斥力が生じる現象とされる。どちらも 1m<sup>3</sup> 当たり 250g に相当する量を算出して、試料に添加した。この量は、本開発品の標準使用量に相当するものと捉えている。

(2) コンクリートの配合

表-2 にコンクリートの配合を示す。表中のスランプおよび空気量の目標値が得られるように混和剤と助剤の添加率を調整した。

(3) 試験項目

表-3 に試験項目を示す。各試験結果が施工性や圧送性に影響を及ぼすと考えられる要因<sup>2),4)</sup>について、こわばり抑制剤による効果を確認した。

3.2 実験結果および考察

高性能 AE 減水剤を用いたベースコンクリート(以降、

Base と略記する)と Base にこわばり抑制剤を添加したコンクリートの各種試験結果を比較検討し、考察を述べる。

(1) 流動性の保持性能

図-1 に経過時間とスランプの関係を示す。Base は添加率 C×0.85% で目標スランプに到達し、経時的にスランプロスした。こわばり抑制剤 FI-1 をコンクリートの練混ぜ時に添加した場合は、Base よりもスランプ初期値が約 1cm 増加し、スランプ保持性が著しく向上した。Base とスランプ初期値を揃えるべく高性能 AE 減水剤添加率を C×0.1% 減らしたが、FI-1 の効果により Base に比べてスランプ保持性は増加した。FI-1 には分散性があることが示唆され、本実験では、目標スランプを得る上で主剤の添加量が微減したが、スランプ保持性向上に寄与した。

次に、工事現場でアジテータ車の荷卸し時にこわばり抑制剤を添加することを想定し、練上がりから 30 分経過した Base にこわばり抑制剤を添加する実験を行った。実験では練上りから 25 分後に Base のスランプを確認した後、強制二軸ミキサ内に試料を移し、こわばり抑制剤添加後に 30 秒攪拌し試験に供した。FI-1 を添加して目標スランプを得た後は、添加から 30 分後ではスランプロスが殆ど認められず、練混ぜ時に添加した場合に比べてスランプ保持性に優れる結果が得られた。これは後添加効果によるもので、こわばり抑制剤が間隙相の初期水和によって消費されずに液相に残存し、流動性保持に効率良く寄与したものと考える。FI-2 は非吸着成分の比率が高いことからデプレッション作用によるものと考える。

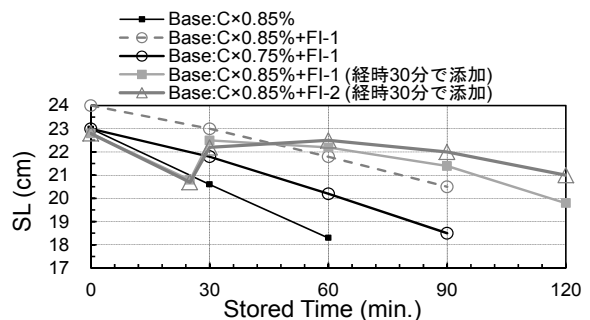


図-1 経過時間とスランプの関係

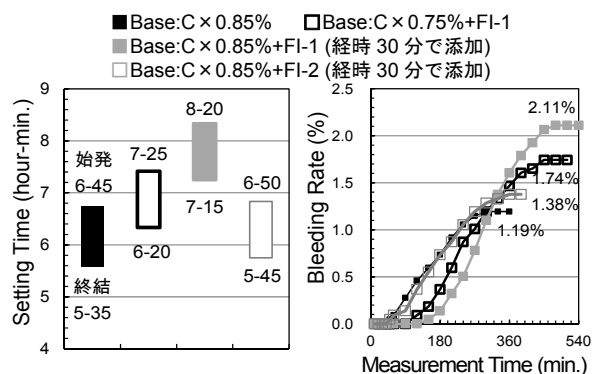


図-2 凝結試験結果

図-3 ブリーディング試験結果

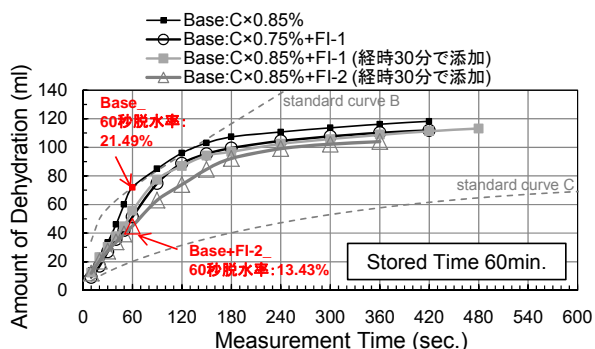


図-4 加圧ブリーディング試験結果

## (2) 凝結特性

図-2に凝結試験の結果を示す。Baseの凝結時間に比べて、Baseの混練時にFI-1を添加した場合は、凝結時間が45分遅延した。練上がりから30分経過したBaseにFI-1を添加すると、1時間35分凝結が遅延し、後添加効果によって凝結遅延が顕著となった。一方で、FI-2の後添加では凝結遅延は殆ど認められず、非吸着の成分が多いことから水和を殆ど阻害しなかったものと推察される。

## (3) ブリーディング

図-3にブリーディング試験の結果を示す。Baseのブリーディング率が1.19%であるのに対して、練混ぜ時にFI-1を添加した場合は1.74%に増加した。練上がりから30分経過した時点でFI-1を添加すると2.11%まで上昇し、凝結試験同様に遅延成分の後添加効果が顕著となった。FI-2では、ブリーディング率の増加は比較的少ない結果となった。

## (4) 脱水特性

図-4に加圧ブリーディング試験の結果を示す。練上がりから60分経過後の結果について考察すると、Baseの脱水量曲線が標準曲線Bを若干上回る箇所があるのに対して、こわばり抑制剤を添加した脱水曲線は、いずれも標準曲線BおよびCで囲まれた領域内に収まり、圧送性の改善を示唆する結果となった。中でもFI-2を用いると初期の脱水量が抑制される傾向を示し、Baseの60秒脱水率が21.49%であったのに対して、FI-2を併用することで13.43%に低減した。FI-2の主成分は保水性が高い特徴を有していることから、加圧による試料の自由水の放出をある程度抑制したものと推測される。例えば、ポンプ配管内のような高圧環境下に晒されたコンクリートに対しても、ある程度継続的に脱水を抑制できるものと考えられる。

### 3.3 Phase-1のまとめ

こわばり抑制剤を添加することで高性能AE減水剤を用いたコンクリートの流動保持性能が向上し、後添加効果が顕著となった。FI-2を使用することで、凝結を阻害することなく、適度な脱水特性となることが判明した。

## 4. 静置したコンクリートに対するこわばり抑制剤の効果の検証 (Phase-2)

Phase-2では、こわばり抑制剤を使用した場合、静置したコンクリートの流動性、衝撃に対する変形性、チキントロピー性にどのような影響を及ぼすのかを検証した。

表-4 本実験で行った試験の一覧

試験項目	練上がり後	経時30分	経時60分
スランブ試験	○	○	○
静置スランブ試験	-	○	○
シリング・テーパーフロー試験	□	□	□
静置(加圧)シリング・テーパーフロー試験	-	□	□
Oロート試験	△	△	△
静置Oロート試験	-	△	△
回転粘度計	○	-	●
静置回転粘度計	-	-	○

□ : W/C=50% の配合に対して実施。

△ : W/C=35% の配合に対して実施。

● : 静置した試料を測定した後に実施したため、経時85分程度。

表-5 使用材料

材料	記号	概要・品質・主成分
水	W	上水道水(つくば市)
セメント	C	普通ポルトランドセメント(三種等量混合 密度:3.16g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S	山砂(静岡県掛川市 表乾密度:2.58g/cm <sup>3</sup> 吸水率:1.90% F.M.:2.78)
粗骨材	G	硬質砂岩砕石 2005(東京都青梅市 表乾密度:2.65g/cm <sup>3</sup> 吸水率:1.05% 実積率:59.5%)
混和剤	SP-S	高性能AE減水剤標準形I種(ポリカルボン酸系化合物 密度:1.08g/cm <sup>3</sup> )
	SP-R	高性能AE減水剤遅延形I種(ポリカルボン酸系化合物 密度:1.09g/cm <sup>3</sup> )
助剤	AE	AE剤(ロジンカリウム塩系)
	FI	こわばり抑制剤(グリコールエーテル系誘導体、オキシカルボン酸塩 薄黄色粉末)

表-6 コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
				W	C	S	G
50	49	21程度	4.5±0.5	175	350	846	904
35	49	23程度	4.5±0.5	175	500	787	840

混練手順 : (W/C=50%) G+S/2+C+S/2→10秒→W+SP+AE→90秒→(FI→30秒)→排出 (W/C=35%) S/2+C+S/2→10秒→W+SP+AE→90秒→G→60秒→5分静置→(FI→)30秒→排出

## 4.1 実験概要

### (1) 評価方法

本実験では静置によるこわばりの影響を確認すべく、試料を攪拌して凝集構造を破壊した場合、静置により凝集や材料の沈降分離が進行した場合の2水準を設定し、比較検討した。表-4は本実験で行った試験の一覧である。いずれも静置したコンクリートの経時変化を明らかにするために、高性能AE減水剤を用いたBaseとBaseにこわばり抑制剤を添加したものの結果を比較した。

### (2) 使用材料

表-5に実験の使用材料を示す。本実験では、高性能AE減水剤を標準形から遅延形に切り替えた場合について

表-7 試験方法の概要

試験項目	概要・規格
スランブ試験	JIS A 1101:2014
静置スランブ試験	スランブコーンの中で試料を所定の時間静置させ、こわばりによる影響を評価。
シリンダーテーブルフロー試験	φ20×17.5cmのシリンダーコーン(スランブコーンと同等の容積)を用いて、JIS R 5201のフローテーブルを応用し、コンクリートの変形性を評価。
静置(加圧)シリンダーテーブルフロー試験	上述の試験を所定の時間静置させた試料に対して行い、こわばりによる影響を評価。静置中に打設面から載荷し、圧力環境下を模擬。
Oロート試験	JSCE-F512:2007
静置Oロート試験	Oロートの中で試料を所定の時間静置させ、こわばりによる影響を評価。
回転粘度計	回転翼型粘度計(丸東製作所製 CF-50)により、せん断ひずみ速度を増減させてせん断応力の履歴を求め、試料のキネマティックを評価。
静置回転粘度計	上述の試験を所定の時間静置させた試料に対して行い、こわばりによる影響を評価。

でも検討した。こわばり抑制剤は、3.1と同様に構成成分の比率の異なる2種類(FI-1およびFI-2)を使用した。

(3) コンクリート配合

表-6にコンクリートの配合を示す。水セメント比(W/C)の異なる2水準を対象に、目標スランブおよび空気量が得られるように混和剤と助剤の添加率を調整した。W/C=35%では、セメントの接水後の極初期に優先的に間隙相に混和剤が吸着されるのを考慮して、練上がり後に5分の静置時間を設けた。こわばり抑制剤の添加は、Phase-1で後添加が有利であったのを踏まえ、不利側となる混練手順の一環で添加した場合の効果を検証した。

(4) 試験方法

表-7に表-4に示した試験項目の試験方法の概要を示す。試料を静置させる際は、必要に応じて容器の外縁を油粘土で止水し(試験直前に除去)、漏水を予防した。以下に、静置したコンクリートの試験について補足する。

a) 静置スランブ試験

スランブコーンの中で試料を静置させることで、外力を受けることなく凝集や沈降分離が進行する。この影響を既報<sup>1)~3)</sup>と同様に、従来のスランブ試験を応用して簡単に評価した。

b) 静置(加圧)シリンダーテーブルフロー試験

スランブコーンの形状は円錐台形であることから、充填された試料は、自重によってフローが比較的発現し易い状態にある。容器の形状を円筒形にすると同一容積では試料を充填する高さが低くなり、試料の位置エネルギーが小さくなることに着目した。これに、一定の衝撃(せん断)を加えることで見かけの粘性を包含したコンクリートの変形性を評価できると考えた。併せて、所定の時間、容器内に静置した試験を並行し、こわばりによる影響を評価した。本実験では静置の際に打設面から加圧し、圧力により粒子の近接や凝集が助長される影響を考慮した。加圧ブリーディング試験に

おいて3.5N/mm<sup>2</sup>の圧力を10分間保持することを参考に、本実験では、60分間でこの1/100の圧力が加わるように所定の荷重(約18.8kg)を載荷した。これは、事前の検討で1/50の圧力を加えた際に脱水過多となり、衝撃による変形が著しく鈍化したことを考慮した。

c) 静置Oロート試験

試料をOロートの中に静置することで材料の沈降分離が促進され、閉塞し易い状態となる。この時の流下時間を測定し、こわばり抑制剤による効果を検証した。

d) 静置回転粘度計

容器内で回転翼を貫入したまま試料を静置することで、形成された凝集構造を回転翼で直接破壊できるものと考えた。これにより、試料を攪拌して定常状態にする従来の方法に比べて、チキソトロピーの影響が大きく発現するものと推察される。

4.2 実験結果および考察

高性能 AE 減水剤を用いたベースコンクリート(Base)とBaseにこわばり抑制剤を添加したコンクリートの試験結果を比較し、以下に考察を述べる。

(1) 静置スランブ試験による評価

スランブ試験および静置スランブ試験の結果を基に、図-5に経過時間とスランブの関係を示す。凡例のstandは静置を意味し、静置スランブの結果を破線で示し、実線で示した通常のスランブ試験の結果と比較した。先ず、上図に示したW/C=50%の結果では、Baseの混和剤を標準形(SP-S)とした場合は緩やかにスランブロスし、静置スランブの履歴はこわばりの影響を受けてロスが助長さ

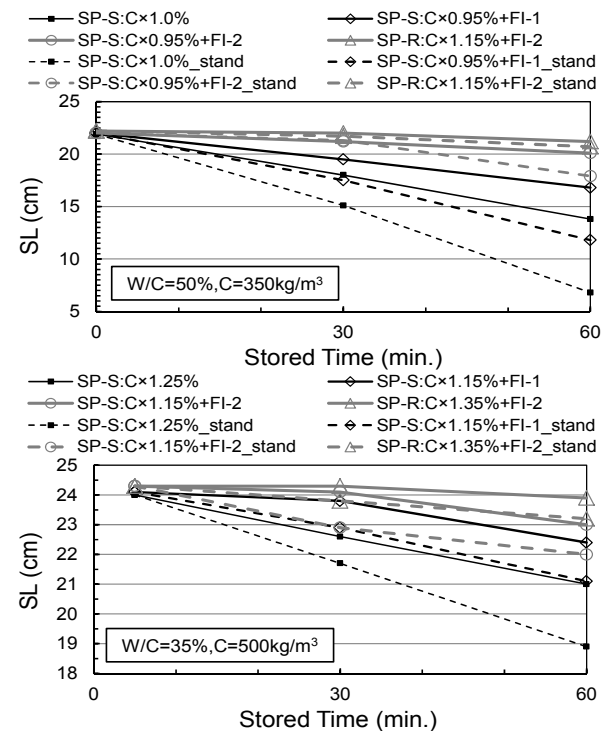


図-5 経過時間とスランブの関係

れた。一方、こわばり抑制剤を添加したものは、静置スランプ試験におけるスランプ保持性が著しく向上した。中でもFI-2を用いたもののスランプロスが著しく少なく、SP-S単体の静置スランプが経時60分でスランプ初期値から約10cmロスしたのに対して、FI-2との併用系は4cmのロスに収まった。Base混和剤を遅延形(SP-R)に置換すると、目標スランプを得るのに必要な添加量が増えて、SP-Sに比べてスランプロスが抑制された。SP-RにFI-2を添加した場合は、経時60分では殆どスランプロスせず、破線の静置スランプの結果においても約1.5cmのロスに収まった。下図のW/C=35%の配合においても、W/C=50%と同様にこわばり抑制剤によるスランプ保持性の向上が認められた。本実験の範囲では、単位セメント量が増えた配合に対してもセメント粒子の近接や凝集が抑制されて、流動性が保持される結果に繋がったものと推察する。

W/Cに関わらず、こわばり抑制剤を添加することで、通常のスランプ試験と静置スランプ試験の差異は減少した。静置スランプの発現はこわばりの程度に支配的であるとすれば、こわばり抑制剤による明らかな効果が本試験により確認できたといえる。

### (2) 衝撃に対する変形性の評価

静置(加圧)シリンダーテーブルフロー試験を通じて、コンクリートの変形性の評価を試みた。W/C=50%の配合を対象に実施した試験結果を図-6に示す。経時60分のデータからテーブル打数とシリンダーフローの関係を図示し、比較の対象に試料をスコップで切返し流動させた場合の結果を破線で示す。試料を攪拌した場合、混和剤種別とこわばり抑制剤の有無によって、自重によるフローの初期値(以降、0打フロー値とする)が異なる値を示し、こわばり抑制剤FI-2を添加したものがSP-S単体に比べて大きな値となった。0打フローが大きいものほど、衝撃による変形は次第に緩慢となるため、この試験結果から変形性を純粋に評価することは困難と考える。これに対して静置中に試料を加圧した場合は、水準を問わず0打フローは同等の値に収まった。加圧によって強制的に試料の粒子間距離が縮まり、自重によるフローの発現が鈍化したものとする。その後の衝撃による変形を比較すると、SP-RとFI-2の併用系が卓越した変形性を示し、こわばり抑制剤を使用することで圧力作用下におけるコンクリートの変形性が著しく改善することが示唆された。Base(SP-S単体)とのフレッシュ性状を比較すると、写真-1に示すようにこわばり抑制剤を添加したコンクリートは水気があり変形性が保持されていた。

### (3) 静置Oロート試験による評価

W/C=35%の配合に関するOロート試験および静置Oロート試験の結果を基に、経過時間とOロート流下時間の関係を図-7に示す。試料を切返し流動させてからロ

ート内に充填するため、破線で示した通常のOロート試験では、どの水準も試料は円滑に流下した。一方、静置Oロート試験では経時30分に比べて経時60分の流下時間が顕著に長くなり、SP-S単体は唯一閉塞したOロート試験では骨材の沈降も影響し、一部で骨材のアーチングが見受けられたが、最もスランプ保持性に優れたSP-RとFI-2の併用系が、静置Oロート試験においても良好な結果を示した。Oロート試験によってコンクリートの材料分離抵抗性を評価できているとすると、こわばり抑制剤の使用により静置したコンクリートの材料分離抵抗性が向上する可能性が示唆された。

### (4) 静置回転粘度計による評価

W/C=35%の配合の経時変化を対象に、回転粘度計による測定で得られたせん断応力 $\sigma$ とせん断ひずみ速度 $\gamma$ の履歴(ヒステリシスループ)を図-8に示す。一台の回転粘度計を用いて、容器中に60分間静置した試料を測定した後、練り舟に静置していた試料を定常状態にして速やかに測定したが、両試験には約25分の時間差が生じた。どの結果も $\gamma$ が上昇する履歴(上昇曲線)と下降する履歴(下降曲線)が異なる軌跡となり、試料の内部構造の破壊と回

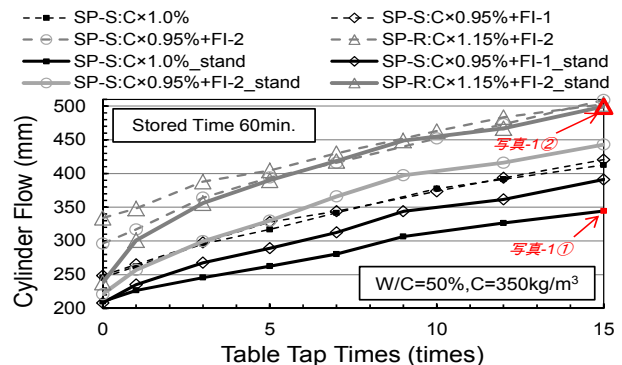


図-6 静置(加圧)シリンダーフロー試験の結果



写真-1 経時60分の加圧シリンダーフローの比較

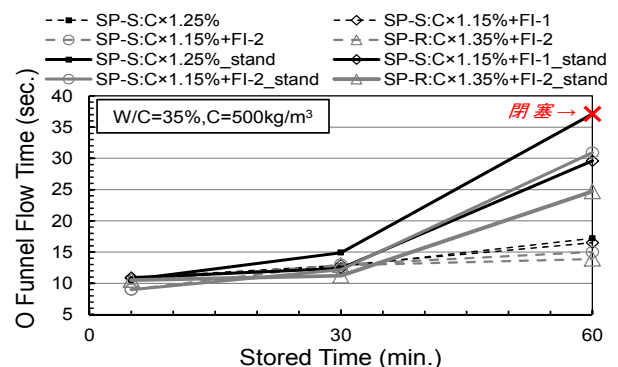


図-7 経過時間とOロート流下時間の関係

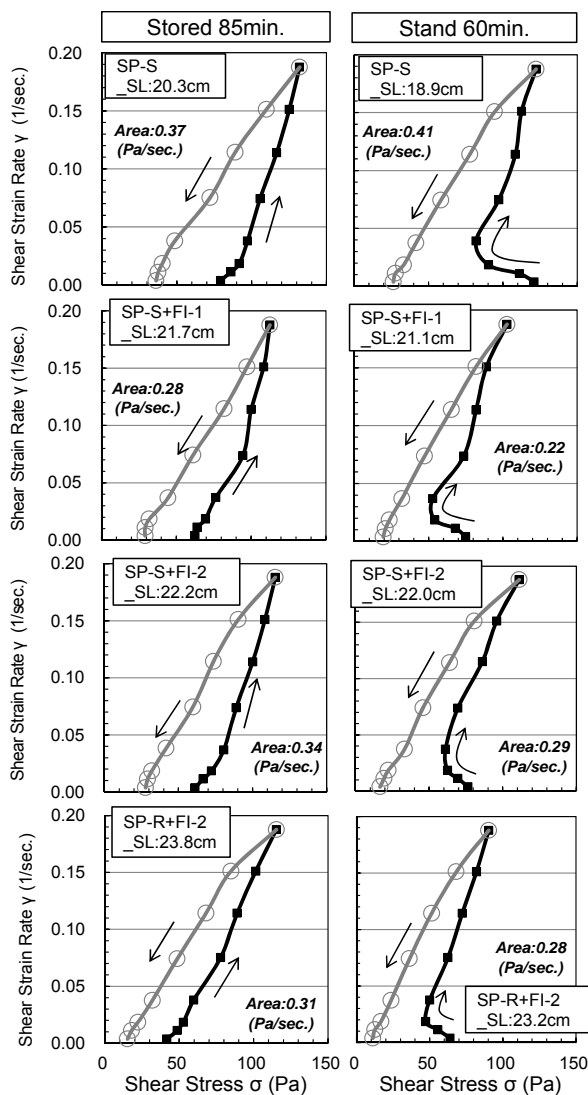


図-8 ヒステリシスループの比較

復の不均衡<sup>5)</sup>が示唆され、チキソトロピー性を有することが分かる。図の右の列は静置した試料の履歴であり、いずれも上昇曲線の立上がりは湾曲したことから、静置により形成された凝集構造がせん断抵抗力として検出されたものとする。こわばり抑制剤を添加したものは、Base(SP-S 単体)に比べて $\sigma$ の初期値が低下しており、凝集がある程度緩和したものと推察される。なお、既往の研究<sup>6)</sup>では、セメントペーストを対象に外筒回転式の回転粘度計を用いてヒステリシスループを得ており、曲線を滑らかな二次関数で近似できたのに対して、本実験では回転翼がコンクリート試料の骨材に接触したことが影響し、履歴に起伏が認められた。図中に示した Area の数値は、ヒステリシスループで囲まれた面積を算出したものである。Base に比べて、こわばり抑制剤を用いることで面積が3~5割縮小し、静置状態から流動させるのに要する外力が少なくて済むこと、即ち、チキソトロピー性が小さくなることが示唆された。中でも遅延成分の多い FI-1 の効果が高く、攪拌では破壊されない水和物の膜に

よる結合の生成を遅らせることが、チキソトロピー低減に効果的である<sup>5)</sup>ことが示唆された。

## 5. まとめ

本論文では、新規に開発した静置したコンクリートのこわばりを抑制する混和剤(こわばり抑制剤)の効果の検証を目的として、実験を通じて以下の知見を得た。

- (1) こわばり抑制剤を助剤として添加することでコンクリートの流動保持性能が向上し、後添加効果が顕著であることが分かった。
- (2) こわばり抑制剤の主成分に非吸着の粉末化合物を採用することで凝結を阻害することなく、適度な脱水特性を付与できる可能性が示唆された。
- (3) こわばり抑制剤を用いることで静置スランブ試験におけるスランブ保持性が向上した。
- (4) 加圧によって著しくこわばり、セメント粒子の凝集や近接および材料の沈降分離が促進された場合においても、コンクリートにこわばり抑制剤を添加しておくことで衝撃に対する変形性は著しく改善した。
- (5) こわばり抑制剤を用いることで静置状態からコンクリートを流動させるのに必要となる外力が低減し、凝集構造の形成や水和物の生成を遅延させることで、チキソトロピーを低減する可能性が示唆された。

## 参考文献

- 1) 大川 了, 岡本 茂, 野村朋宏, 根本浩史: 場所打ち杭に用いるコンクリートの施工性能評価に関する実験的検討, 土木学会 コンクリートの施工性能の調査・検査システム研究小委員会 (341 委員会) 委員会報告書, 2011
- 2) 根本浩史, 田之倉誠, 橋本紳一郎, 吉田匠吾: 2000m を超える長距離圧送におけるコンクリートの配合および品質管理に関する一考察, コンクリート工学, Vol.54, No.8, pp.768-776, 2016.8
- 3) 根本浩史, 浦野真次, 竹村瑞元: 逆打ち工法に適用する高流動コンクリートの配合検討, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部門, pp.1141-1142, 2013.
- 4) 公益社団法人 土木学会: コンクリートのポンプ施工指針, 土木学会, 2012.6
- 5) 三島直生: フレッシュコンクリートのチキソトロピーに関する研究, コンクリート工学, Vol.49, No.3, pp.43-49, 2011.3
- 6) 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のフレッシュ性状改善効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.927-932, 2002.