

論文 長時間の攪拌によりスランプが低下したコンクリートに高性能 AE 減水剤を再添加してスランプを回復させた場合の諸性状

筒井 照高*1・田村 裕治*2・坂本 久史*3・島 弘*4

要旨：インバータによって回転速度を調整した傾胴型試験練りミキサでコンクリートを低速攪拌し、運搬に伴うスランプの低下を再現した。その後、長時間の攪拌によってスランプが低下したコンクリートに高性能 AE 減水剤を再添加し、基準コンクリートと同程度までスランプ値を回復させ、供試体を作製し、基準コンクリートとの特性の違いを検討した。その結果、スランプ回復のための高性能 AE 減水剤の再添加が凝結特性及び硬化コンクリートの特性に及ぼす影響は小さいことが分かった。また、再添加後のスランプ及び粘性の変化を測定した結果、再添加による粘性の増加は、再添加までの時間により異なることが分かった。

キーワード：スランプ低下, 高性能 AE 減水剤, 再添加, スランプ回復, 硬化特性, 粘性

1. はじめに

生コンクリート工場は、荷卸し地点到着時のスランプが購入者の指定する値となるように運搬によるスランプの低下を見込んでコンクリートを製造している。しかし、施工現場においてトラブル等が発生し、アジテータ車の待機時間が長くなった場合、スランプ及び施工性が低下し、場合によっては持ち帰りが指示される。持ち帰ったコンクリートの大半は産業廃棄物として処理されることになる。

近年、暑中コンクリートにおけるコールドジョイントの防止やスランプ低下抑制対策、水槽・サイロなどの一体化を図ることを目的に超遅延型の混和剤を使用するケースがあるが¹⁾、通常の運搬時間及び施工の範囲内ではそこまでの性能は必要とされず、日常的には使用されていない。また、スランプの増大及び回復を目的として流動化剤を添加する方法もあるが、計画的な使用が主であるために、常時保有しているケースは少ないと思われる。

現在、生コン工場において一般的に使用されている混和剤は、AE 減水剤（高機能タイプ）及び高性能 AE 減水剤である。この中で、高性能 AE 減水剤は、高い減水性能と優れたスランプ保持性能を有する混和剤として一般強度から高強度・高流動コンクリートまで幅広く使用されている。

高性能 AE 減水剤は練混ぜ時に添加するケースが殆どではあるが、再添加用として使用することによって、スランプを回復させることは可能と考えられる。また、日常的に使用されている材料であるために利便性も大きい。そのため、高性能 AE 減水剤の再添加によるスランプ回復が認められれば、廃棄物の削減に繋がり、地球環境保

護の観点からも有効な手段となる。

そこで、本研究は、練混ぜから長時間経過してスランプが低下したコンクリートに高性能 AE 減水剤を再添加して、スランプを回復させた場合のフレッシュ性状、硬化特性を実験的に確認することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 配合及び使用材料

コンクリートの配合は、表-1 に示すように、スランプ 18cm の建築用配合及びスランプ 12cm の土木用配合とした。土木用配合についてはセメントを普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種に変えた 2 種類とした。なお、以下、本論文では配合の区分をスランプ及びセメントの種類を表す 18N, 12N, 12B で表記する。

使用材料を表-2 に示す。混和剤は JIS A 6204 : 2011（コンクリート用化学混和剤）に規定されるものとし、練混ぜに高機能タイプの AE 減水剤（標準形）、再添加には高性能 AE 減水剤（標準形）を使用した。両混和剤ともに実験を実施した生コンクリート工場で日常的に使用されているもので、混和剤貯蔵槽から直接抜き取って使用した。

表-1 コンクリートの配合

区分	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	AD
W/C=45%-18-20N	47.0	185	412	795	915	3.71
W/C=55%-12-20N	47.4	168	306	864	980	3.06
W/C=55%-12-20BB	47.4	166	302	864	980	2.11

*1 本川生コン工業（株）（正会員）

*2 鏡生コンクリート（株）

*3 高知県生コンクリート工業組合 技術センター 東部試験所

*4 高知工科大学 大学院工学研究科教授 工博（正会員）

表-2 使用材料

材料名	種類・物性等
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm ³
	高炉セメントB種, 密度 3.04 g/cm ³
水	上水道水
細骨材	石灰砕砂 (70%), 密度 2.66 g/cm ³
	海砂 (30%), 密度 2.60 g/cm ³
粗骨材	石灰碎石2005, 密度 2.70 g/cm ³
混和剤	AE減水剤 (高機能), リグニンスルホン酸塩, オキシカルボン酸塩とポリカルボン酸系化合物
	AE剤, 樹脂酸系界面活性剤
	高性能AE減水剤, ポリカルボン酸系化合物

2.2 実験方法

実験は室内試験練りにより行い、練混ぜ及びスランブを低下させる為の低速撹拌には容量50Lのインバータ付き傾胴型試験練りミキサを用いた。

練混ぜたコンクリートのスランブ、空気量及び温度を確認後、通常の運搬によるスランブの低下を想定し、アジテータ車のドラム回転速度と同一になるように、インバータによって回転速度を調整(2回転/分)した同じミキサで低速撹拌を行ってスランブを低下させた。

18Nシリーズはスランブが荷下し時の目標スランブ18cmとなる低速撹拌時間15分を基準とし、スランブ、空気量及び温度の確認を行った後に各試験用供試体を作製した。次に、同配合を練混ぜた後、低速撹拌時間を50分、90分及び120分に延長してスランブが基準よりも大きく低下したコンクリートに高性能AE減水剤を再添加し、スランブを基準と同じ値まで回復させたものについて供試体を順次作製した。12Nシリーズ及び12Bシリーズは、スランブが12cmとなる低速撹拌時間20分を基準とし、約30分、50分及び70分低速撹拌したコンクリートに高性能AE減水剤を再添加してスランブを基準と同じ程度まで回復させた。1バッチの練混ぜ量は40L、実験要因はスランブ回復量とし、基準を含めて4水準の供試体を作製し、表-3に示す項目について試験を行った。

表-3 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
凝結時間	JIS A 1147 : 2019 温度20±2℃, 湿度60±5%に管理された恒温恒湿室内で測定
圧縮強度	JIS A 1108 : 2018 試験材齢: 7日, 28日, 182日 養生条件: 20±2℃ 水中養生
静弾性係数	JIS A 1149 : 2017 圧縮強度試験と同一の供試体において測定 コンプレッソメータ使用
長さ変化	JIS A 1129 - 2 : 2010 コンタクトゲージ法 最長測定材齢: 182日

2.3 粘性評価

高性能AE減水剤の再添加によってスランブを回復させたコンクリートの粘性を評価するために、18Nシリーズと同じ配合を用いてスランブ試験及び写真-1に示すようなスランブコーンを逆さに使用して流下速度を測定する試験²⁾を実施した。

平板上にスランブコーンを上下逆さに設置し、JIS A 1101 : 2014 (コンクリートのスランブ試験)と同様に試料をほぼ等しい量の3層に分けて詰め、コンクリートの上面をスランブコーンの上端に合わせてストレートエッジでならした後、スランブコーンを鉛直に3秒で30cm引き上げ、引き上げ開始から、全てのコンクリートが流下し途切れるまでの時間を流下時間とした。

試験は高性能AE減水剤を再添加していない基準コンクリート(練混ぜ開始後20分経過時)と、練混ぜ開始から90分及び120分経過後に高性能AE減水剤を再添加してスランブを基準コンクリートと同程度の値まで回復させたものについて実施し、スランブ回復後から15分間隔で測定した。ただし、最初の測定以降の経時変化については、練舟に移した状態で静置させて行った。



写真-1 逆スランブ流下試験

3. 実験結果及び考察

3.1 経時変化, 再添加量, スランブ回復量

スランブの経時変化、高性能AE減水剤の再添加量及び再添加後のスランブを表-4に示す。なお、区分については、18N, 12N, 12Bの後に、基準を1として低速撹拌時間が長くなる順に2~4の数字を付した記号で表記している。

経時に伴うスランブの低下は図-1に示すように18Nシリーズでは緩やかに進行し、90分後にJIS A 5308:2019 (レディーミクストコンクリート)に規定される許容範囲から外れる結果となった。12Nシリーズ及び12Bシリーズの経時に伴うスランブ低下は急速に進行し、およそ50分でJIS A 5308の許容値となり、その後の低下量も18Nシリーズに比べて大きい値となった。この違いは、

表-4 スランプの経時変化及び添加後のスランプ値

区分	練り上り			低速撹拌 時間 (分)	低速撹拌後			スランプの 経時変化量 (c m)	高性能AE減 水剤再添加量 (C×%)	高性能AE減水剤再添加後			スランプ 回復量 (c m)
	スランプ (c m)	空気量 (%)	C T (°C)		スランプ (c m)	空気量 (%)	C T (°C)			スランプ (c m)	空気量 (%)	C T (°C)	
18N-1	19.0	4.2	17.0	15	18.0	3.5	17.0	-1.0	—	—	—	—	—
18N-2	19.0	5.2	17.0	50	16.0	2.8	17.0	-3.0	0.045	18.0	3.6	17.0	2.0
18N-3	19.5	5.2	18.0	90	15.0	3.1	18.0	-4.5	0.060	18.0	4.0	18.0	3.0
18N-4	20.0	5.0	18.0	120	14.0	2.5	18.0	-6.0	0.080	18.0	4.0	18.0	4.0
12N-1	14.5	6.6	26.0	20	12.0	4.9	26.0	-2.5	—	—	—	—	—
12N-2	14.5	6.8	26.0	30	10.5	4.0	26.0	-4.0	0.025	12.5	4.5	26.0	2.0
12N-3	14.5	6.4	26.0	45	9.5	3.9	26.0	-5.0	0.040	12.0	5.0	26.0	2.5
12N-4	14.0	6.8	27.0	75	8.0	3.2	27.0	-6.0	0.075	11.5	4.2	27.0	3.5
12B-1	14.5	6.0	16.0	20	12.0	4.2	16.0	-2.5	—	—	—	—	—
12B-2	14.0	5.5	16.0	35	10.5	4.0	16.0	-3.5	0.025	12.0	4.3	16.0	1.5
12B-3	14.5	5.5	17.0	50	9.5	4.0	17.0	-5.0	0.035	12.0	4.0	18.0	2.5
12B-4	14.5	5.6	18.0	70	7.5	3.3	18.0	-7.0	0.065	12.0	4.0	18.0	4.5

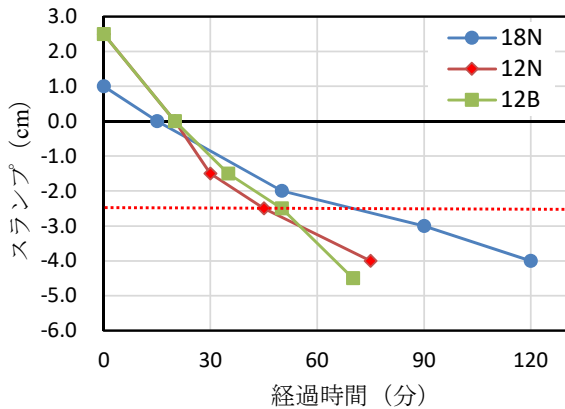


図-1 経過時間とスランプ低下量

単位水量，単位セメント量及びAE減水剤使用量の差によるものと考えられる。

高性能AE減水剤の再添加によるスランプ回復量は，18Nシリーズが2.0cm～4.0cmで，用いた高性能AE減水剤の使用量は $C \times 0.045\%$ ～ $C \times 0.080\%$ であり，12Nシリーズが2.0cm～3.5cm及び $C \times 0.025\%$ ～ $C \times 0.075\%$ ，12Bシリーズが1.5cm～4.5cm及び $C \times 0.025\%$ ～ $C \times 0.065\%$ であった。これは，今回使用した高性能AE減水剤の練混ぜ時の標準使用量である $C \times 0.5\%$ ～ $C \times 2.5\%$ に対して非常に少ない³⁾。また，この再添加量を単位水量の一部として加算した場合の水セメント比の増加も最大で0.08%と小さい。本実験で使用したポリカルボン酸系の高性能AE減水剤は吸着した高分子層の立体障害効果による高い分散性を有しており⁴⁾，再添加によるスランプ回復を目的として使用した場合，少ない使用量でスランプを回復させることができている。

3.2 凝結時間

凝結時間を図-2，図-3及び図-4に示す。なお，凝結時間は高性能AE減水剤を再添加した時間に関係なく，すべて練混ぜ開始からの時間とした。

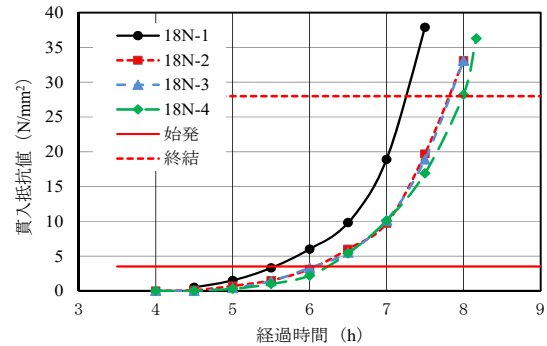


図-2 凝結時間 (18N シリーズ)

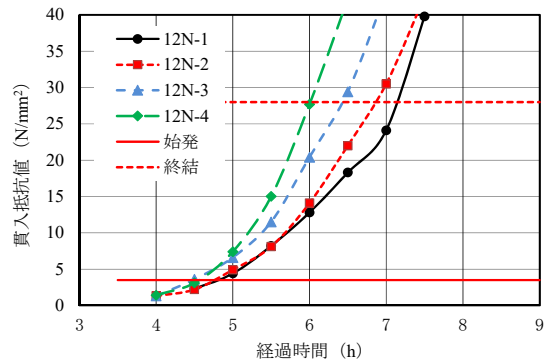


図-3 凝結時間 (12N シリーズ)

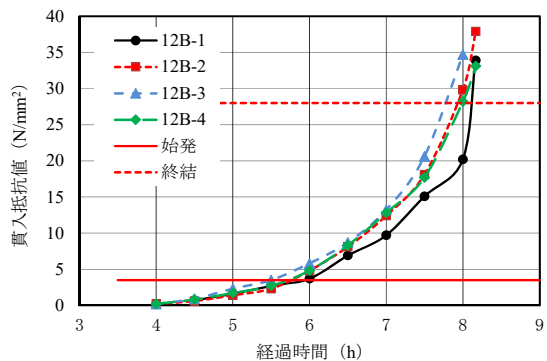


図-4 凝結時間 (12B シリーズ)

18N シリーズでは高性能 AE 減水剤の再添加によってスランブを回復させた場合の凝結時間が、基準配合よりも始発、終結ともに 30 分～45 分遅くなった。ただし、練混ぜからの経過時間及びスランブ回復量の違いによる明確な差は見られなかった。12N シリーズは高性能 AE 減水剤を再添加した場合の凝結時間が基準コンクリートよりも始発で 0～15 分、終結で 20 分～70 分早くなった。また、再添加までの時間が長くなるに連れて早まる傾向も示した。12B シリーズも 12N シリーズ同様に、高性能 AE 減水剤の再添加によって凝結時間が基準配合よりも早くなったが、その差は 15 分～30 分と小さく、また、再添加までの時間による違いも明確には現れなかった。

18N シリーズのスランブは 18cm であり、単位水量、単位セメント及び練混ぜ時の AE 減水剤使用量が多い配合のために、スランブの経時変化が遅いことが示すように初期の水和反応がゆっくりと進行している中で、再添加した高性能 AE 減水剤が遅延作用として働き、凝結が遅れたものと考えられる。12N シリーズ及び 12B シリーズは高性能 AE 減水剤の再添加によるセメントの再分散により初期の水和反応が活発化し、凝結が早まったと考えられる。12N シリーズはコンクリート温度が高かったためにこの傾向が顕著に表れた。

再添加後の凝結時間は環境温度や高性能 AE 減水剤の再添加量及び再添加後のスランブの低下傾向により変化するため、使用条件に応じた事前確認が必要と思われる。

3.3 圧縮強度

圧縮強度の試験結果を図-5 に示す。なお、圧縮強度については、空気量の影響を排除するために空気量の差 1% に対して強度を 5% の割合で増減させた値とした⁵⁾。

18N シリーズの圧縮強度は基準に対して 99～95% と若干低下する結果となったが、凝結時間と同様に再添加までの時間による差は見られなかった。12N シリーズでは、凝結時間と同様に、再添加までの時間による差が見られ、12N-4 が各材齢とも基準に対して 94～92% と低下が大きくなった。12B シリーズは、材齢 182 日での強度比が 102～99% となり、基準コンクリートと同等の強度となった。これは、高性能 AE 減水剤を分割投入した場合の特性と同じであり⁶⁾、種類の異なる混和剤の再添加が圧縮強度に与える直接的な影響のないことを示している。

圧縮強度への影響に差が見られたことの原因については不明であるが、再添加した際、例えば、均一性の変化や水和反応への影響も考えられるため、今後の検討課題としたい。

3.4 静弾性係数

静弾性係数の結果を図-6 に示す。材齢 28 日における静弾性係数は、基準コンクリートに対して、18N シリーズが 101～98%，12N シリーズが 103～98%，12B シリー

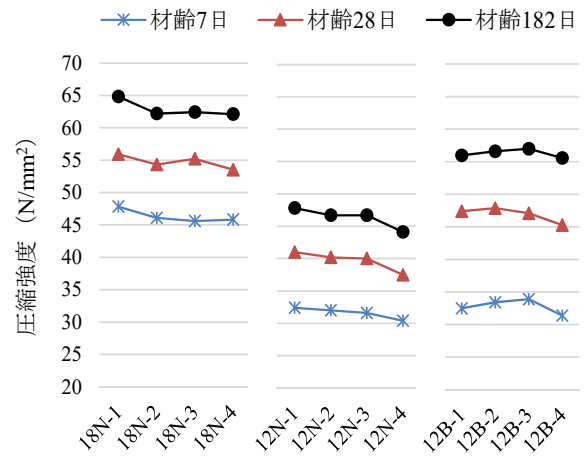


図-5 圧縮強度

ズが 98～95% と同等の値となり、再添加までの時間による傾向も見られなかった。材齢 182 日については、12N シリーズにおいて再添加までの時間が長くなるに従って静弾性係数が低下し、12B シリーズでは逆に回復している印象を受けるが、一定の傾向は示していない。コンクリートの静弾性係数は、日本建築学会式に示されるように、コンクリートの圧縮強度及び単位容積質量ならびに使用する粗骨材及び混和材の種類と関係しており、構成する材料の平均的な性質を表す物性とされている⁷⁾。今回の実験では、同一種類の材料を用いた同一配合での比較であるため、使用材料及び単位容積質量の違いによる影響は排除できる。圧縮強度と静弾性係数の関係は図-7 のように相関を示しており、圧縮強度に影響を及ぼさない範囲内での再添加であれば、静弾性係数への影響も小さいと考える。また、圧縮強度が同じ領域の静弾性係数を比較した場合、単位水量の少ない 12N シリーズ及び 12B シリーズが 18N シリーズよりも大きいことから、モルタル量及び粗骨材量の差も影響していると考えられるが、単位水量を増加させることなくスランブを回復させ

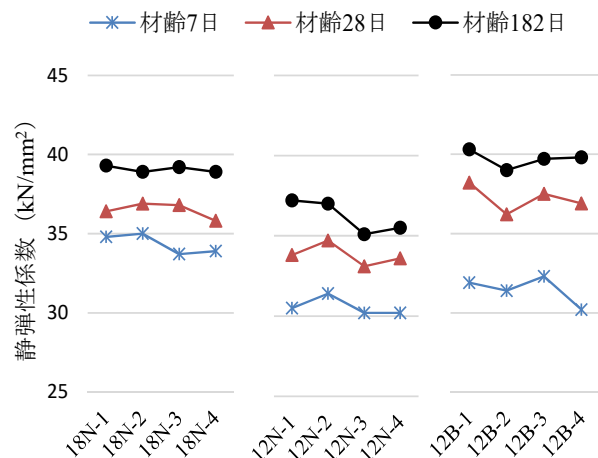


図-6 静弾性係数

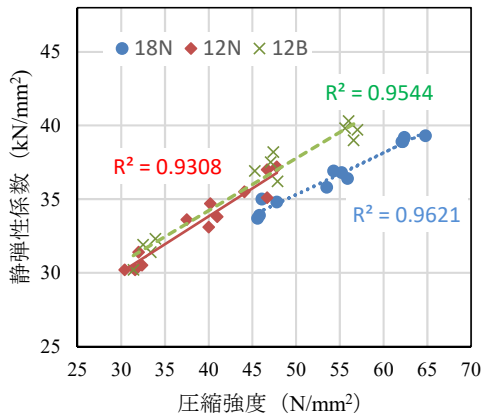


図-7 圧縮強度と静弾性係数

る高性能 AE 減水剤の再添加は、モルタル量を増加させないために、静弾性係数の低下を大きくする要因とはならないと考えられる。

3.5 コンクリートの長さ変化

長さ変化率の結果を図-8、図-9 及び図-10 に示す。18N シリーズ及び 12N シリーズの材齢 182 日における長さ変化率は、基準コンクリートが小さく、再添加した場合に大きくなる傾向を示した。ただし、その差は最大でも 48×10^{-6} 及び 32×10^{-6} と小さい。12B シリーズでは 12B-4 が小さな値となったが、この値を除けば他シリーズと同様な傾向である。また、最大値と最小値の差も 43×10^{-6} と同程度であった。長さ変化に差が見られたことについては、同一材料及び同一配合での比較であることから、低速攪拌時間の相違や高性能 AE 減水剤の再添加量が原因である可能性も考えられるが、試験誤差範囲を含めると有意な差であるとは言えない。

文献⁸⁾では、スランブ 18cm のコンクリートについて、アジテータ車のアジテート時間が JIS A 5308 に規定される運搬時間の上限値 (90 分) 以内であればアジテート時間が長さ変化率に及ぼす影響は小さいが、120 分を超えると長さ変化率が急激に大きくなることが報告されている。本実験における 18N シリーズの低速攪拌時間の最大値は 18N-4 の 120 分であるが、18N-2 (50 分) 及び 18N-3 (90 分) の長さ変化率と同程度であり、大きな値とはなっていない。12N シリーズ及び 12B シリーズの低速攪拌時間は 18N シリーズとは異なるが、スランブの低下量で見た場合に、12N-4 及び 12B-4 は運搬時間の限度を超えていると判断することができ、18N シリーズと同じ傾向であると言える。以上のことから、高性能 AE 減水剤の再添加によるスランブの回復は、長時間の攪拌に伴う収縮量の増大を抑制する効果はあると考えられる。

3.6 粘性の変化

逆スランブ流下時間及びスランブ値を表-5 に、流下時間とスランブ値の関係を図-11 に示す。

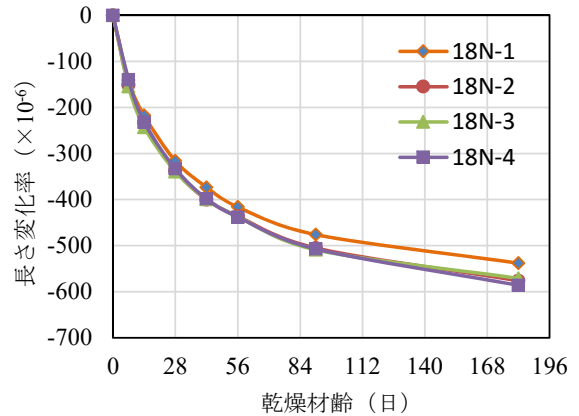


図-8 長さ変化 (18N シリーズ)

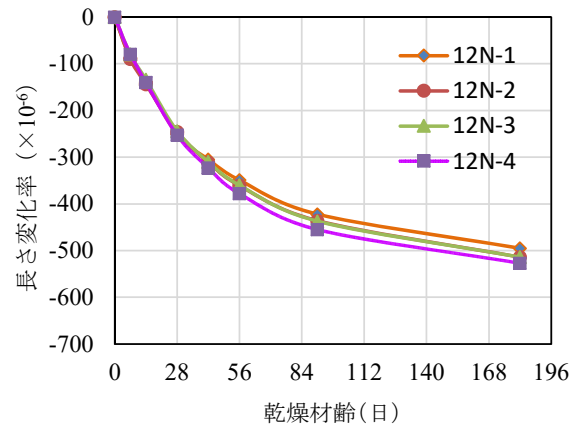


図-9 長さ変化 (12N シリーズ)

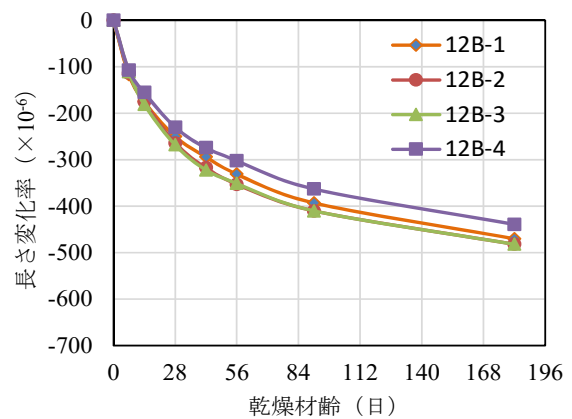


図-10 長さ変化 (12B シリーズ)

同一スランブにおいても高性能 AE 減水剤を多量に用いた場合には粘性が大きくなる可能性が考えられるが、高性能 AE 減水剤の再添加による粘性の増加の有無に関して、再添加した直後における同一スランブでの流下時間は基準コンクリートに対してやや長くなったが、流動状況の見目では粘性の差は感じられなかった。経過時間 15 分における基準コンクリートと 90 分後に再添加したものも同様であり、高性能 AE 減水剤の再添加による粘性の増加は小さい。ただし、再添加からの経過時間が 30 分以上となると、再びスランブ低下の影響が顕著とな

表-5 逆スランブ流下時間及びスランブ値

区分・項目		経過時間 (分)			
		0	15	30	45
基準 (20分)	逆SL	2.84	3.20	3.89	4.10
	SL	19.5	17.5	16.5	15.0
再添加 (90分)	逆SL	3.33	3.40	4.01	5.68
	SL	19.5	17.5	15.0	14.0
再添加 (120分)	逆SL	3.06	3.58	5.37	×
	SL	19.5	15.5	14.0	11.5

逆SL：逆スランブ流下時間 (秒) SL：スランブ値 (cm)

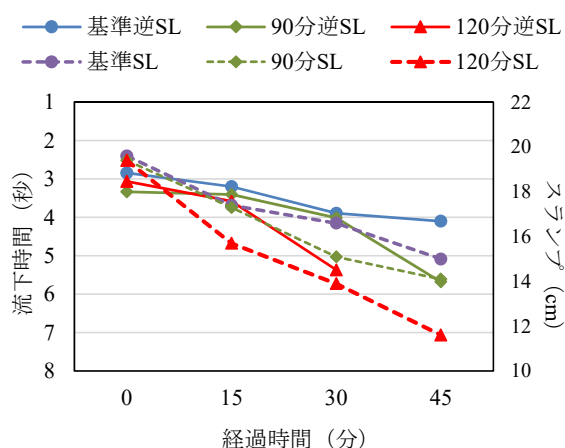


図-11 流下時間とスランブ値

り、流下時間も長くなった。この高性能 AE 減水剤再添加後のコンクリートのスランブ低下及び粘性の増加は、再添加までの時間が長くなるほど早くなった。したがって、再添加によるスランブ回復後は速やかに施工する必要がある。

4. まとめ

練混ぜから長時間経過してスランブの低下が生じたコンクリートに高性能 AE 減水剤を再添加してスランブを回復させたコンクリートの性状に関する実験によって得られた知見を以下に示す。

- (1) 生コン工場で日常的に使用されている高性能 AE 減水剤をスランブの回復を目的として再添加した場合、少量の使用量でスランブを荷卸し時の目標スランブ値まで回復させることができる。
- (2) 凝結特性は、スランブが大きい場合に遅延し、スランブが小さい場合は早まる傾向を示す。また、コンクリート温度が高い場合の終結時間は再添加までの時間が長くなるに連れて 20 分～70 分早くなる。
- (3) 圧縮強度への影響はセメントの種類とスランブの違いで異なる結果となった。高炉セメント B 種を用い

たものでは影響は小さく、普通ポルトランドセメントのスランブ 18cm では、数%低下し、スランブ 12cm では 92%程度まで低下した。

- (4) 静弾性係数は圧縮強度と相関関係を示しており、圧縮強度に影響を及ぼさない範囲内であれば静弾性係数への影響は小さい。
- (5) 長さ変化率は圧縮強度が低下した場合に大きくなる傾向を示すが、その差は最大でも 48×10^{-6} と小さい。また、アジテート時間が相当に長くなったコンクリートにおいては、長時間の攪拌に伴う収縮量の増大を抑制する傾向がある。
- (6) 高性能 AE 減水剤の再添加によるコンクリートの粘性の増加は小さい結果となった。スランブ回復後の再スランブ低下及び粘性の増加は、再添加までの時間が長くなるほど早まる。

謝辞：本研究は、JCI 四国支部「四国の生コン技術力活性化委員会【第 4 期】」の活動として実施した。実験に際し多大なる協力をいただいた、高東生コンクリート(株)並びに(株)フローリックの皆様、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'19, p.33, 2019
- 2) 黒岩秀介, 黒羽健嗣, 早川光敬, 渡辺健治, 細萱理子: 高強度高流動コンクリートのポンプ圧送性に関する研究, 大成建設技術研究所報, 第 30 号, pp.25-30, 1997
- 3) コンクリート用化学混和剤協会：https://jisa6204.com/product/pdf/high_ae_gensui_190701.pdf (閲覧日：2019 年 12 月 18 日)
- 4) 坂井悦郎: 化学混和剤, コンクリート工学, Vol.51, No.1, pp.40-44, 2013.1
- 5) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点'19, p.67, 2019
- 6) 宮部義章, 中田善久, 斉藤丈士, 西 祐宜: 高性能 AE 減水剤を分割して使用した高強度コンクリートの基礎的性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1252-1257, 2012
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説, pp.191-194, 2018
- 8) セメント協会: 耐久性専門委員会ひびわれ分科会報告 H-23, コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討, 1992