

スランブ保持剤を用いたコンクリートのフレッシュ性状の経時変化と長時間経過後に作製した供試体の硬化性状について

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム
(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム

○山越 一輝
吉田 行

近年、コンクリート需要の減少等による工場の集約化が進んでおり、これに伴うコンクリートの長時間運搬による施工性や品質の低下が懸念されている。著者らは、その対策の一つとして、スランブ保持剤を用い、スランブ保持性が高まることを確認してきた。本研究ではスランブ保持剤を用いたコンクリートの暑中期を想定したフレッシュ性状の経時変化とともに、長時間経過後に作製した供試体の硬化性状について検討した。その結果、スランブ保持剤を添加することで暑中期でもコンクリートのスランブ保持性能を確保できること、およびスランブ保持剤によって凝結始発時間は遅延するものの、圧縮強度に影響しないことを確認した。

キーワード：コンクリート、長時間運搬、混和剤、スランブ

1. はじめに

レディーミクストコンクリートの運搬時間はその流動性や施工性の確保のために、「JIS A 5308:2024 レディーミクストコンクリート」で1.5時間以内と規定されている。また、2023年制定の土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕では¹⁾、コンクリート練混ぜから打込み完了までの時間は、外気温が日平均で25℃以下のときは2.0時間以内、25℃を超えるときは1.5時間以内を目安に計画すると良いとされている。さらに、コンクリートの打重ね許容時間は、外気温が25℃以下のときは2.5時間、25℃を超えるときは2.0時間以内とされている。

しかし、近年、地方部と都市部の建設需要の偏在化やプレキャスト製品の活用によるコンクリート出荷量の減少等に起因したコンクリート工場の集約化が進んでいる²⁾、今後、コンクリート工場から荷下ろし地点までの運搬距離が伸びることが予想される。コンクリートの運搬距離が長くなると上述の規定時間内に運搬や打込みが完了できなくなる懸念があり、その場合、コンクリートの流動性が低下して、打込み、締固め、仕上げ等の作業に支障をきたし、充填不良やコールドジョイントなどの初期欠陥が生じる可能性が高まるため、対策が求められている。

一方、主に暑中コンクリートのワーカビリティ（施工性）を確保する方法の一つとして、スランブ保持型の混和剤（以下、スランブ保持剤）の開発・導入が進んでいる³⁾。寒地土木研究所では、長時間経過後のコンクリートのワーカビリティ確保を目的に、複数の種類のス

ランブ保持剤によるスランブ保持性能を検討し、添加量を変えた場合のフレッシュコンクリートのスランブおよび空気量の経時変化について検討を行ってきた⁴⁾。その結果、スランブ保持剤によりその効果は異なるが、添加量を増やした場合にスランブや空気量の保持効果が高まることや、凝結始発時間が遅延することを確認してきた。

本研究では、北海道でも夏場の気温が30℃程度近くまで上昇することを踏まえて、これまで検討を行ってきた20℃環境に加え、30℃環境における長時間経過後のフレッシュ性状の経時変化について検討した。また、長時間経過後に作製した供試体の硬化性状についても検討した。

2. 実験概要

(1) 使用した材料とコンクリートの配合

実験に使用したセメントは、普通ポルトランドセメント（密度3.16 g/cm³、比表面積3,230 cm²/g）を用いた。骨材は、細骨材に苫小牧市樽前産の陸砂（密度2.69 g/cm³、吸水率0.85 %）を、粗骨材に小樽市見晴産の碎石（密度2.68 g/cm³、吸水率1.71%，最大寸法20 mm）を使用した。

本検討で使用した混和剤を表-1に示す。使用したスランブ保持剤は、既往の検討⁴⁾からスランブ保持性能が高かった、コンクリートプラントで練混ぜ水と同時にミキサに添加するプラント添加型のAE減水剤高機能タイプを2種類（スランブ保持剤a、b）抽出した。また、練混ぜ後のコンクリートにプラント出荷時あるいは現場到着後に添加するあと添加型のスランブ保持剤1種類（スランブ保持剤c）を新たに追加し、比較のために一般的な

表-1 使用した混和剤

記号	分類	主成分	スランプ保持剤の標準添加量 (C質量*)
n	AE減水剤 標準形	リグニンスルホン酸化合物とポリオールとの複合体	—
a	AE減水剤高機能・スランプ保持タイプ 標準形	リグニンスルホン酸塩、オキシカルボン酸塩、ポリカルボン酸系化合物	0.5～2
b	AE減水剤 遅延型 超保持型高機能タイプ	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体	0.5～2
c	あと添加型スランプ保持剤	ポリカルボン酸系化合物	0.1～1
AE剤1	AE剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤	—
AE剤2	AE剤	樹脂酸塩系界面活性剤	—

表-2 コンクリートの配合

配合記号	練混ぜ温度(°C)	スランプ保持剤		AE減水剤		C種類	w/c (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE剤(C質量%)		スランプ (cm)	空気量 (%)
		種類	添加量 (C質量×%)	種類	(C質量×%)				W	C	G	S	AE剤1	AE剤2		
n20	20	—	—	n	2.9	NP	55	45	155	282	1047	867	0.0025	—	16.5	5.4
n30	30	—	—	n	2.9							861	0.0025	—	14.5	4.2
a20	20	a	1.0	—	—							867	—	0.0047	17.7	4.6
a30	30	a	1.0	—	—							861	—	0.0055	18.6	4.7
b20	20	b	1.0	—	—							867	0.0056	—	19.7	4.5
b30	30	b	1.0	—	—							861	0.0033	—	17.5	4.4
c20	20	c	1.0	—	—							861	0.0065	—	18.0	4.7
c30	30	c	1.0	—	—							861	0.0065	—	15.3	4.6

AE減水剤（混和剤 n）も加えた。スランプ保持剤の添加量は、スランプ保持剤a、bについては既往研究⁴⁾でスランプ保持効果が確認されたセメント質量の1.0%とし、スランプ保持剤cについては標準添加量上限の1.0%とした。なお、あと添加型のスランプ保持剤は、既報⁴⁾では単位水量の一部として補正していたが、本研究では現場での使用実態を考慮して、スランプ保持剤を単位水量の一部として補正を行わず、外割で加えた。

添加方法は、プラント添加を想定したスランプ保持剤a、bは、強制練混ぜミキサーに水とスランプ保持剤を同時に添加し90秒間の練り混ぜ後にミキサーから排出した。あと添加を想定したスランプ保持剤cは、保持剤以外の材料を90秒間の練り混ぜ後に保持剤を別途添加し、30秒間の練り混ぜ後に排出した。

AE剤は使用するスランプ保持剤と同メーカーのものを表-1に示す2種類使用した。

表-2に実験に用いたコンクリートの配合と練り上がり直後のスランプおよび空気量の実測値を示す。水セメント比は55%の1水準とし、単位水量は全配合155kg/m³に統一した。目標空気量は4.5±1.0%としてAE剤で調整し、目標スランプは15±2.5 cmとした。なお、スランプ保持剤を用いた一部の配合でスランプが目標範囲を上回ったが、本研究ではスランプ保持剤の効果を確保するため添加量を全てセメント質量の1.0%に設定しており、コンクリートに材料分離は確認されなかったことから、スランプの調整は行わずそのまま供試体を作製した。コンクリートの練混ぜ温度は標準の20℃と暑中期を想定した30℃

に設定した。

(2) フレッシュコンクリートのスランプおよび空気量の経時変化測定

スランプ保持剤がコンクリートのスランプや空気量の保持性に与える影響を把握するために、20℃および30℃に設定した試験室で練混ぜたコンクリートのスランプ試験をJIA A 1101に準拠して、空気量をJIS A 1128に準拠し測定した。経時変化の測定は、コンクリートを巻きだした鋼製の練り舟にビニールシートをかけて水分が蒸発しないようにした状態で静置し、スランプおよび空気量の計測時にコンクリートが均一になるまで練り返して行った。練混ぜ温度20℃の配合については、運搬時間の上限である90分経過時点を経時変化測定の目安としたが、練混ぜ温度20℃の配合の一部、練混ぜ温度30℃の配合およびあと添加型スランプ保持剤cを用いた配合については、90分経過後から180分経過後まで、もしくはスランプが10cmを下回るまで、30分毎に計測を行った。

なお、既報³⁾におけるスランプの経時変化では、スランプ保持剤を用いた配合でも90分経過以降にスランプの低下量が大きくなったが、その原因の一つとして、同じ練置き試料を30分毎に練り返したり、スランプ測定後の試料を戻したりするたびに水分が逸散するなどしたことが影響したと考えられた。このため、本研究では、練り上がりコンクリートを2分割して保管し、片方の試料は練置き後90分と120分で、もう一方の試料は練置き後150分と180分で計測した。

(3) 凝結時間試験

スランプ保持剤がコンクリートの凝結時間に与える影響を把握するために、JIS A 1147に準拠し20℃および30℃環境下の試験室で練混ぜたコンクリートをウェットスクリーニングして抽出したモルタル分に対して、凝結時間試験を実施した。なお、コンクリートの打重ね時間間隔を管理する際の目安として、凝結始発時間が重要と考え、本試験では凝結の始発時間までの計測とした。凝結時間試験は、練混ぜを行ったときと同じ温度環境で実施した。

(4) 長時間経過後に作製した供試体の圧縮強度試験

スランプ保持剤を加えたコンクリートの長時間運搬後を想定し、配合b20にて、20℃環境下で90分間練り舟に静置したコンクリートでφ100×200mmの円柱供試体を作製して長時間運搬した場合の強度への影響を調べた。圧縮強度は、20℃で水中養生を行った供試体により、JIS A 1108に準拠し材齢3、7、28日で測定した。

3. 試験結果および考察

(1) フレッシュコンクリートのスランプの経時変化

図-1に20℃および30℃環境で実施したフレッシュコンクリートのスランプの経時変化を、図-2にスランプの変化量を示す。

スランプの経時変化は、スランプ保持剤によって効果にばらつきはあるものの、環境温度によらずスランプ保持剤を添加したいずれの場合も、一般的なAE減水剤nを添加したベースコンクリートと比較してスランプの低下がゆるやかになっており、スランプ保持性能が高まることが確認できた。

スランプ保持剤の種類と環境温度について詳細にみると、AE減水剤nとスランプ保持剤aは、20℃と30℃で90分経過時の変化量に差がなかった。スランプ保持剤bは、20℃の方が30℃より90分経過時のスランプ変化量が小さかったが、スランプの許容差（±2.5cm）の範囲内でありその差は小さかった。一方、あと添加型のスランプ保持剤cを添加したコンクリートは、30℃では差が小さいものの、いずれの温度でも練り上がり直後より90分経過後のスランプの方が大きくなった。今回の実験では、2.(1)に示したように、あと添加型の混和剤を添加してから練混ぜ時間が30秒でありスランプ保持剤の攪拌が十分でなかったこと、およびスランプ保持剤の添加量を単位水量から減じることなく外割で添加したことが影響していると考えられる。他方、90分以降のスランプの経時変化を見ると、スランプ変化量が最も小さく、スランプ保持効果が高いことを確認した。

なお、配合b30とc30のスランプの経時変化は、120分時点でスランプが低下したが、150分時点でスランプが

大きくなっている。今回の実験では、スランプの経時変化を測定する際の練り返しや測定後の試料の戻しに伴う水分逸散等の影響を低減するために、90分と120分で計測する試料と150分と180分で計測する試料に分けて経時変化の計測を行った。このため、150分のスランプは90分と同様に一度も練り返しや計測を行っていない試料で計測した値であり、90分時点と150分時点のスランプの変化量が小さいことから、スランプ保持剤bとcは30℃環境においてもスランプ保持性が高いといえる。

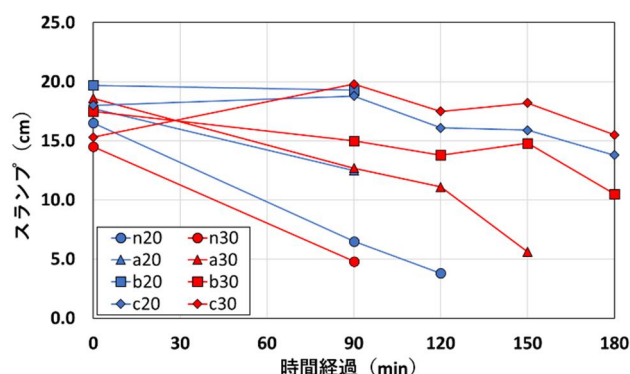


図-1 スランプの経時変化

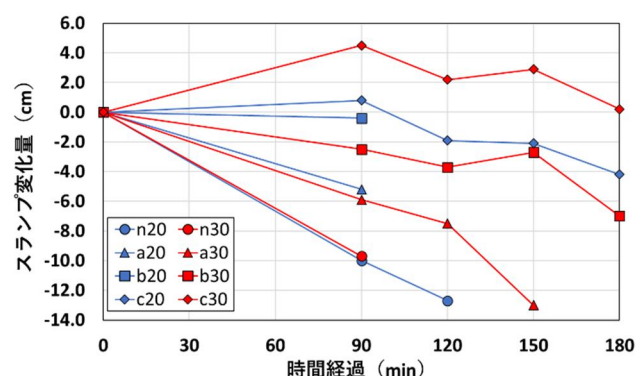


図-2 スランプの経時変化量

(2) フレッシュコンクリートの空気量の経時変化

図-3に20℃および30℃で実施したフレッシュコンクリートの空気量の経時変化を、図-4に空気量の変化量を示す。

一般的なAE減水剤nを添加したベースコンクリートの空気量は時間の経過とともに直線的に減少し、空気量の変化量に着目すると、JISA 5308レディーミクストコンクリートで規定されている荷下ろし地点での空気量の許容差の下限値-1.5%に30℃環境で90分、20℃環境で120分後達した。これに対して、プラント添加型のスランプ保持剤a、bを添加したコンクリートは経時的に測定値の上下はあるものの、各配合で計測終了まで本研究で目標空気量として設定した4.5%±1.0%を満たしており、変化量の下限値も-1.0%の範囲内であることから、スランプ保持剤を添加することで、一般的なAE減水剤nよりも空気量の保持性能が高いことを確認した。

一方、あと添加型のスランプ保持剤cを添加したコンクリートは、一般的なAE減水剤nを添加したコンクリートと同様に、120分までは空気量が減少傾向にあり、120分後の空気量の低下は30℃環境で-1.5%には達しなかったものの20℃環境では-2.5%程度低下しており、プラント添加型のスランプ保持剤a、bのような空気量保持効果は確認できなかった。

なお、空気量の経時変化測定は、スランプの経時変化と同様に90分と120分で計測する試料と150分と180分で計測する試料に分けて行っている。このため、一度も練り返しや計測を行っていない試料で計測した150分時点の値をみると、30℃環境では90分時点よりも空気量の低下は小さく180分でも変化量は-1.1%程度、空気量変化が大きい20℃環境では150分と180分で差がなくいずれも変化量は-1.5%程度で、120分時点よりも変化量は小さかったもののスランプ保持剤aやbのような空気量の保持効果は確認できなかった。また、スランプ保持剤cを添加したコンクリートの90分以降の空気量の経時変化の上下動は、スランプ保持剤a、bとは逆の傾向を示しており、その原因については特定できなかったため、添加方法が空気量の経時変化に及ぼす影響については、さらに詳細な検討が必要である。

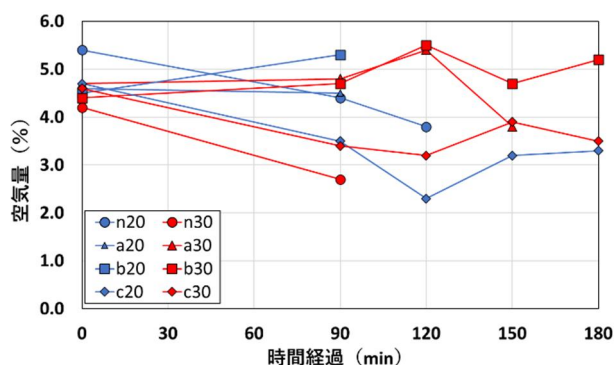


図-3 空気量の経時変化

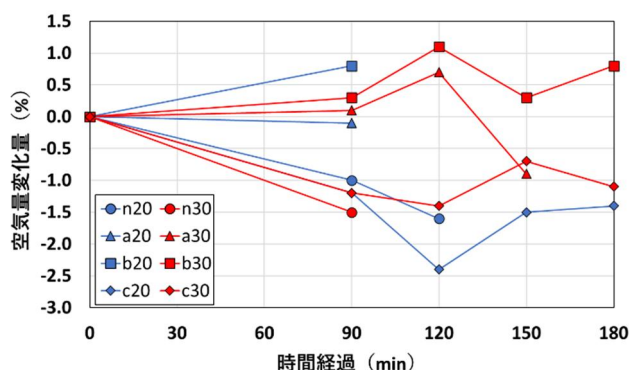


図-4 空気量の経時変化量

(3) 凝結時間試験結果

図-5に20℃および30℃で実施した各コンクリートの凝結始発時間を示す。

20℃および30℃でスランプ保持剤を添加したときの凝結始発時間は、一般的なAE減水剤nを添加したベースコンクリートと比較して、凝結始発時間がいずれも遅延した。詳細には、20℃では、スランプ保持剤aを添加したコンクリートで92分、スランプ保持剤bを添加したコンクリートで171分、スランプ保持剤cを添加したコンクリートで158分の遅延を確認した。また、30℃では、スランプ保持剤aを添加したコンクリートで13分、スランプ保持剤bを添加したコンクリートで123分、スランプ保持剤cを添加したコンクリートで52分遅延したが、環境温度が上昇すると遅延の程度は小さくなることを確認した。

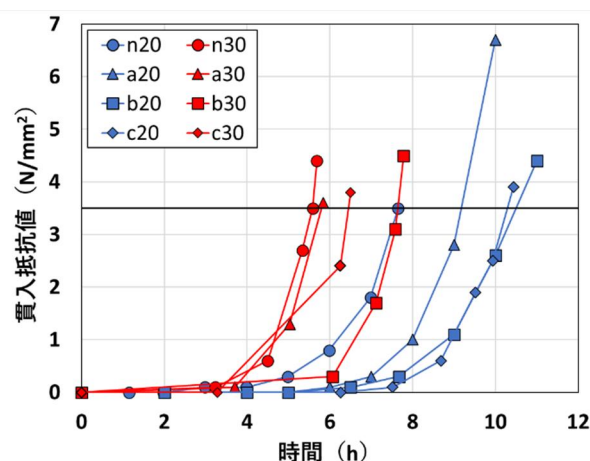


図-5 凝結時間試験結果

(4) 長時間経過後に作製した供試体の圧縮強度試験

図-6にAE減水剤nを添加し、練り上がり直後に作製した供試体（即打設）とスランプ保持剤bを添加したコンクリートで、練り上がり直後に作製した供試体（即打設）および90分練り置き後に作製した供試体の圧縮強度を示す。材齢3日と7日時点では、スランプ保持剤bを添加し90分練り置き後に作製したコンクリートの圧縮強度が若干低かったものの、28日時点で強度は同等となり、90分経過後に供試体を作製しても圧縮強度に影響がないことを確認した。

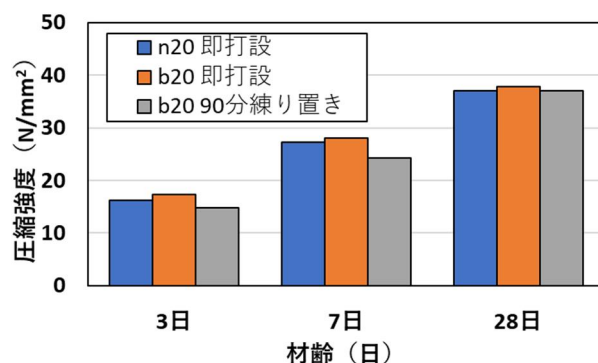


図-6 練り置きしたコンクリートの圧縮強度

4. まとめ

本研究では、スランブ保持剤を用いたコンクリートのフレッシュ性状の経時変化と長時間経過後に作製した供試体の硬化性状について検討した。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1)スランブ保持剤を用いることで、コンクリートのスランブ保持性能は向上し、プラント添加型のスランブ保持剤よりあと添加型のスランブ保持剤の方が暑中期のスランブ保持効果が高かった。
- 2)プラント添加型のスランブ保持剤による空気量の保持効果が確認されたが、あと添加型スランブ保持剤については、本検討の範囲内ではその効果が確認できなかった。
- 3)スランブ保持剤を用いることで、一般的なAE減水剤のみを用いたコンクリートよりも凝結始発時間は遅延するが、環境温度が高い場合その差が小さくなることを確認した。
- 4)スランブ保持剤を用いることで、凝結始発時間は遅延するものの、圧縮強度には影響しないことを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：2023 年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕、p111-122、2023.9
- 2) 全国生コンクリート工業組合連合会：コンクリート産業の推移、<https://www.zennama.or.jp/2-soshiki/genjyou/suii.html> (2025.12.1 確認)
- 3) 小泉信一、菅俣匠、阿合延明、細田暁、森陽香、芦澤良一、大橋雅恵、渡邊賢三、柳井修司、筒井達也：スランブ保持型混和剤を使用した 35℃を超える暑中コンクリートの経時変化、令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会講演概要集、2023.9
- 4) 山内稜、吉田行、三原慎弘：スランブ保持型混和剤の添加量がコンクリートのフレッシュ性状経時変化と硬化後の物性に及ぼす影響、第68回（2024年度）北海道開発技術研究発表会発表論文集、p560-564、2025.2