

スランプ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

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○山内 稜
(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 吉田 行
(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 三原 慎弘

コンクリート工場の集約化に伴う工場から施工現場までの長時間運搬による施工性低下から、出来上がりコンクリートの品質低下の懸念がある。著者らは、その対策の一つとしてスランプ保持型混和剤を用い、種類によりその効果は異なるもののスランプ保持性が高まることを確認してきた。本研究では、スランプ保持型混和剤の添加量がフレッシュコンクリートのスランプと空気量の保持性および硬化後の物性に及ぼす影響について検討した。

キーワード：長時間運搬、スランプ保持型混和剤、スランプ、空気量

1. はじめに

レディーミクストコンクリートの運搬時間が長くなると、時間経過に伴ってコンクリートがこわばることから流動性の低下が生じ、打込みや締め、仕上げ等の作業に支障をきたす。このような場合、コンクリートの打込み時に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。

コンクリート標準示方書〔施工編〕では、「コンクリートの練混ぜから打込み終了までの時間は、現場に比較的近い工場を選定した上で、外気温が日平均で25℃以下では、2.0時間以内を、25℃を超える時期に施工を行う必要がある場合には1.5時間以内を目安に計画する」と記載としている¹⁾。しかし、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より、レディーミクストコンクリート工場の集約化が進んでいる。実際に、全国生コンクリート工業組合連合会の報告によると、工場数が2000年から2023年の23年間で4662工場から3049工場へと数を減らしている²⁾。

このような全国的なコンクリート工場の集約化により、コンクリート工場から荷卸し地点までのレディーミクストコンクリートの運搬距離が伸び、「JIS A 5308 レディーミクストコンクリート」で規定された運搬時間の90分以内に供給できない地域が発生する可能性が懸念されており、実際に時間内に運搬ができなかった事例についても報告されている³⁾。このような場合に、JISの規定上では、レディーミクストコンクリートの購入者との協議を行うことで運搬時間を変更することが可能となっている

が、これを実現するには、規定の運搬時間を超過した場合でもコンクリートのワーカビリティを適切に保った状態で施工することが求められる。

一方、コンクリートのワーカビリティを長時間確保する方法の一つとして練混ぜ後の流動性を長時間保つスランプ保持型混和剤の開発・導入が進んでいる⁴⁾。しかし、スランプ保持性や凝結遅延性を付与するこれらのスランプ保持型混和剤は種類が多く、その効果は十分に整理されていない。

そこで筆者らは、長時間経過後のコンクリートの流動性確保を目的に、複数の種類のスランプ保持型混和剤によるスランプの保持性能を検討し、種類によりその効果は異なるもののスランプの保持性能があることを確認してきた⁵⁾。本研究では、これまでの検討でスランプ保持性が高い混和剤を抽出し、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プと空気量の経時特性および硬化後の物性に及ぼす影響について検討した。

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2.71 g/cm³、吸水率0.77 %）を、粗骨材に小樽市見晴産の碎石（密度2.66 g/cm³、吸水率1.76%、最大寸法20 mm）を使用した。本検討に使用した混和剤を表-1に示す。使用したスランプ保持型混和剤は、既往の検討⁶⁾からスランプ保持性が高いものを抽出し、コンクリートプラントで練混ぜ水と

表-1 使用した混和剤

混和剤種類	記号	タイプ	成分	スランブ保持型混和剤 標準添加量(C質量*)
AE減水剤	n1	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体	-
	n2	AE減水剤スランブ保持タイプ標準形	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	
スランブ 保持型 混和剤	b	AE減水剤高機能タイプ標準形	変性リグニンスルホン酸化合物と ポリカルボン酸化合物の複合体	0.5-2
	d	AE減水剤超保持型高機能タイプ(遅延形)	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
	f	スランブ保持剤(後添加)	ポリカルボン酸系化合物	0.15-0.75
AE剤	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	
	AE剤3	AE剤	特殊界面活性剤系化合物	

表-2 コンクリートの配合

配合 記号	スランブ保持型混和剤		AE減水剤		C種類	w/c (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m3)				AE剤 (C質量%)			スランブ	空気量
	種類	添加量 (C質量%)	種類	(CV*%)				W	C	G	S	AE剤1	AE剤2	AE剤3	(cm)	(%)
N-n	-	-	n1	0.31	NP	55	45	155	282	1042	867	0.0035	-	-	14.0	5.4
B-L	b	0.50	-	-								0.035	-	15.3	5.2	
B-M	b	1.00		-								0.065	-	17.6	5.3	
D-L	d	0.50		0.0015								-	-	13.5	4.5	
D-M	d	1.00		0.0062								-	-	17.6	5.9	
F-L	f	0.15	n2	0.73								-	-	0.0035	15.0	4.7
F-M	f	0.45	n2	0.73								-	-	0.0035	16.5	4.5
F-H	f	0.75	n2	0.55								-	-	0.0075	15.4	4.9

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（記号b、d）、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後添加型のスランブ保持剤を1種類（記号f）の計3種類を複数のメーカーから選定し、比較のために一般的なAE減水剤（記号 n1）も使用した。スランブ保持型混和剤の添加量は、表-1に示した各メーカーの標準添加量の範囲内で設定したが、減水成分を含むbとdについては添加量が多くなるとスランブ自体も増大するため、目標スランブを確保できる範囲でセメント質量の0.5%と1.0%の2水準とした。また、減水成分を含まないfの添加量は、セメント質量の0.15%、0.45%、0.75%の3水準とした。添加方法は、bとdは強制練混ぜミキサーに水と混和剤を同時に添加し90秒間の練り混ぜ後にミキサーから排出した。fは90秒間の練り混ぜ後に、fのみを別途添加し30秒間の練り混ぜ後に排出とした。

表-2に実験に用いたコンクリートの配合を示す。水セメント比は55%の1水準とし、単位水量は全配合155 kg/m³に統一した。目標空気量は4.5±1.0%として、使用するスランブ保持型混和剤と同メーカーのAE剤を表-1に示す計3種類使用した。目標スランブは、15±2.5 cmとし、スランブ保持剤 fは減水成分を含まないタイプのため、同メーカーのAE減水剤(n2)を併用し調整した。

(2) スランブ経時変化測定

スランブ保持型混和剤の添加量がスランブ保持性に与える影響を把握するために、20℃環境下の試験室で練り



写真-1 コンテナボックスに入れたコンクリート試料

混ぜたコンクリートのスランブ試験をJIS A 1101に準拠し実施した。練り上がり時のスランブ測定後に写真-1に示すコンテナボックスにコンクリートを入れて蓋をし、30分経過毎に4～5回スコップで練り返した後スランブ試験を実施して、120～150分後まで測定した。

(3) フレッシュコンクリートの空気量の経時変化測定

スランブ保持型混和剤とその添加量が空気量の保持性に与える影響を把握するために、スランブ経時変化測定用のコンクリートと同一バッチで練り混ぜたフレッシュコンクリートの空気量を JIS A 1128 に準拠し測定した。練り上がり時の空気量測定後、スランブ試験用とは別のコンテナボックスにコンクリートを入れて蓋をし、30分経過毎に 4～5 回スコップで練り返した後空気量の測定を実施して、120～150 分後まで測定した。

(4) 凝結時間試験

スランブ保持型混和剤の添加量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、20℃環境下の試験室で他の試験とは別練りの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、JISA1147に準拠し凝結時間試験を実施した。なお、コンクリートの打重ねの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とした。

(5) 圧縮強度試験

スランブ保持型混和剤とその添加量がコンクリートの強度に与える影響を確認するため、20℃で水中養生を行ったφ100×200mmの円柱供試体を用いて、JIS A 1108に準拠し材齢3、7、28、91日の圧縮強度を測定した。

(6) 長さ変化測定（ダイヤルゲージ法）

スランブ保持型混和剤とその添加量がコンクリートの乾燥収縮に与える影響を検証するために、JIS A 1129-3に準拠した長さ変化測定を実施した。100×100×400mmの角柱供試体を材齢1日で脱型して材齢7日まで20℃水中養生を行った後に基長を測定し、恒温恒湿環境（温度20±2℃、湿度60±5%）に供試体を静置し、乾燥開始後7、14、28、56、91、182日に測定した。

3. 試験結果および考察

(1) スランブの経時変化

図-1に各配合のスランブの経時変化を示す。一般的なAE減水剤を用いたN-nは30分経過後に目標スランブである15±2.5cmの範囲を下回った。一方、AE減水剤高機能タイプのbを用いた場合、添加量が少ないB-Lでは30分後には目標スランブの範囲を下回ったが、添加量が多いB-MではJISで規定されている運搬時間の許容時間の90分後まで目標スランブの範囲内であった。同様に混和剤dを用いた場合も、添加量が少ない場合は30分後には目標スランブを下回ったが、添加量が多い場合は90分後まで目標スランブの範囲内であり、以降150分経過後までbの配合のスランブの値を上回った。また、スランブ保持剤fを用いた場合、3水準のうち最も添加量が多いF-Hでは30分後まで目標スランブの範囲内であったが、以降は下回り、この配合を除く2水準は30分経過後から目標スランブを下回った。

図-2に各配合のスランブの経時変化量を、図-3に各配合の90分後のスランブ変化量の値を示す。bとdを用いた場合、添加量が少ないと90分後のスランブ変化量はN-nと同程度だったが、添加量が多くなるとスランブの変化が抑制されスランブ保持性が高くなることを確認した。一方、fを用いた場合、添加量を変えた場合であ

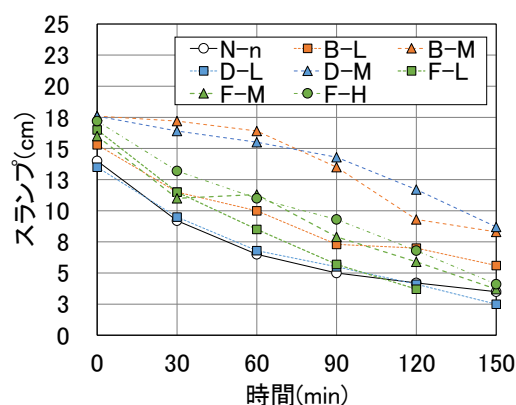


図-1 スランブ経時変化

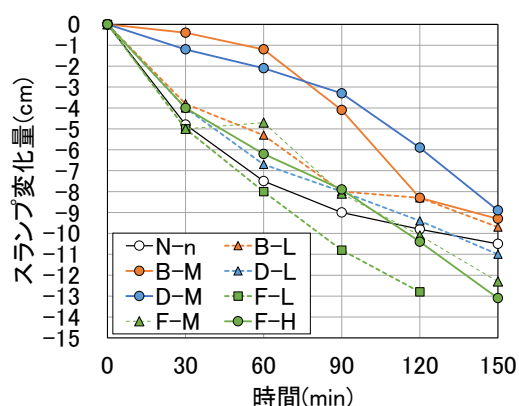


図-2 スランブの経時変化量

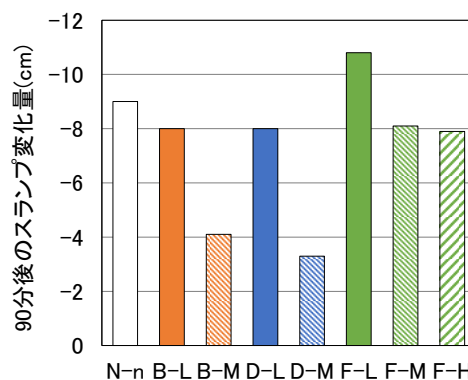


図-3 90分後のスランブ変化量

ってもスランブ変化量はN-nと同程度となり、今回の検討の範囲ではスランブ保持性を確認できなかった。

以上から、混和剤の種類によりその効果は異なるが、スランブ保持型混和剤の添加量を増やした場合、スランブ保持性が高まることを確認した。

(2) フレッシュコンクリートの空気量の経時変化

図-4に各配合の空気量の経時変化を示す。一般的なAE減水剤とスランブ保持型混和剤のどちらを用いた場合も、練り上がり時から空気量が減少傾向となったものの、120分経過後まで目標空気量である4.5±1.0%の範囲内であった。

図-5 に各配合の空気量の経時変化量を示す。N-n は空気量の変化量が最も大きく、120 分経過後に 1.5 %低下した。一方、添加量の違いによる明確な傾向は確認できなかったが、スランプ保持型混和剤を用いたいずれの配合でも 120 分後の変化量は N-n より小さく、空気量についても保持効果があることを確認した。なお、AE 減水剤高機能タイプの b を用いた場合に、一時的な空気量の上昇を確認したがその原因は不明であった。

以上から、添加量の影響については明確な傾向を確認できなかったがスランプ保持型混和剤を使用した場合に、一般的な混和剤よりも空気量の保持性が高いことを確認した。

(3) 凝結時間試験結果

図-6 に各コンクリートの凝結始発時間を示す。なお、本検討では N-n の凝結時間試験を実施できなかったため、一般的な AE 減水剤を使用した水セメント比 55%で単位水量 165 kg/m³の配合での既報⁵⁾の結果を凡例 N として参考に示している。スランプ保持型混和剤を使用した場合、参考として示した N よりいずれの配合でも凝結始発時間は遅延し、b と d は添加量を増やすとさらに遅延した。これは、添加量の増加に伴い混和剤に含まれる減水成分の増加も影響していると考えられる。一方、減水成分を含まないスランプ保持剤 f を添加した配合は添加量が増えても凝結始発時間は同程度であった。f を用いた場合に同程度なのは、別添加している AE 減水剤の増加が無いためと考えられるが、その原因については、さらに詳細な検討が必要である。

以上から、混和剤の種類により効果は異なるものの、スランプ保持型混和剤を使用した場合には、凝結始発時間が遅延することを確認した。

(4) 圧縮強度試験結果

図-7 に各配合の圧縮強度を、図-8 に各材齢の N-n の圧縮強度を 1 とした場合の圧縮強度比を示す。スランプ保持型混和剤を用いた場合、N-n と同様に材齢の進行に伴い圧縮強度が増加し、b の添加量が少ない場合に、いずれの材齢でも N-n を下回ったもののその差は小さく、他の配合は N-n と同等以上であった。また、材齢 3 日以降の強度についてはスランプ保持型混和剤の添加に伴う凝結遅延による影響は確認されなかった。

以上から、本検討におけるスランプ保持型混和剤による圧縮強度の著しい低下は確認されず、圧縮強度にはほとんど影響しないと考えられる。

(5) 長さ変化測定結果

図-9 に各配合のコンクリートの長さ変化率を、図-10 にコンクリートの質量変化率を示す。スランプ保持型混和剤 b の添加量が多い B-M の長さ変化率は N-n と同程度かやや小さかったが、それ以外は N-n の長さ変化率より

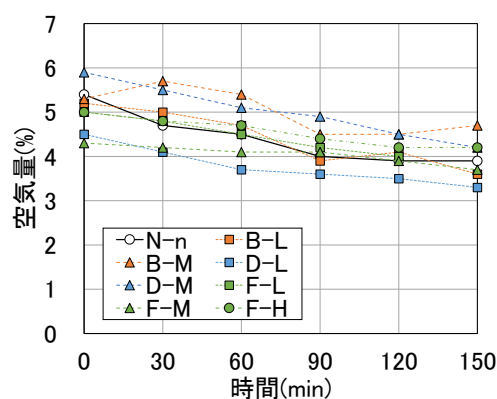


図-4 空気量の経時変化

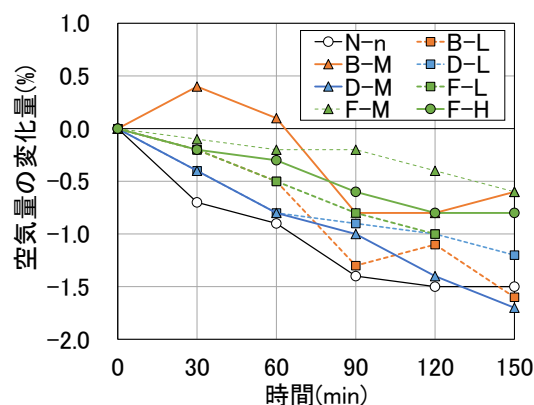


図-5 空気量の経時変化量

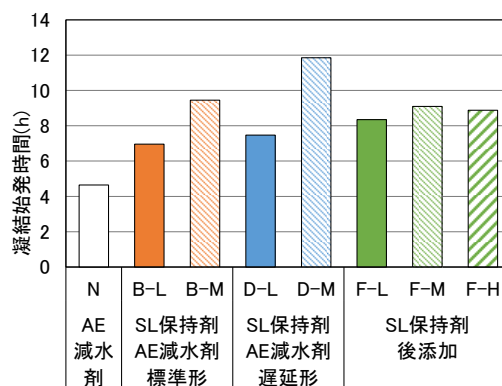


図-6 コンクリートの凝結始発時間

大きく、混和剤の種類や添加率の影響については明確な傾向はなかった。なお、乾燥材齢 182 日の N-n と長さ変化率が最も大きい F-L を比較すると 60×10^6 程度の差であった。

図-11 に各配合のコンクリートの長さ変化率と質量変化率の関係を示す。スランプ保持型混和剤を用いた配合の質量変化率あたりの長さ変化率は、N-n と同程度以上であることを確認した。

以上から、スランプ保持型混和剤の使用により一般的な混和剤より乾燥収縮ひずみがやや大きくなる可能性を確認した。なお、本研究では、コンクリートを練混ぜ直後に作製した試験体で検討したが、今後は実際の運搬後

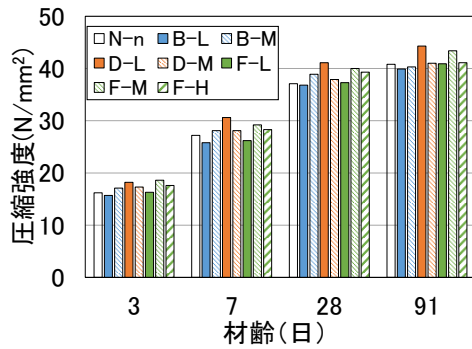


図-7 コンクリートの圧縮強度

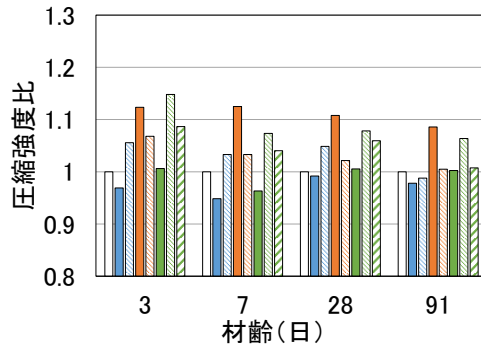


図-8 圧縮強度比

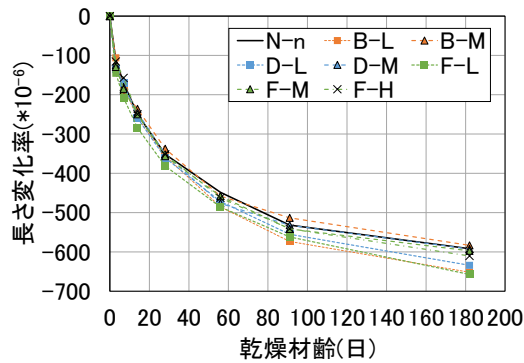


図-9 コンクリートの長さ変化率

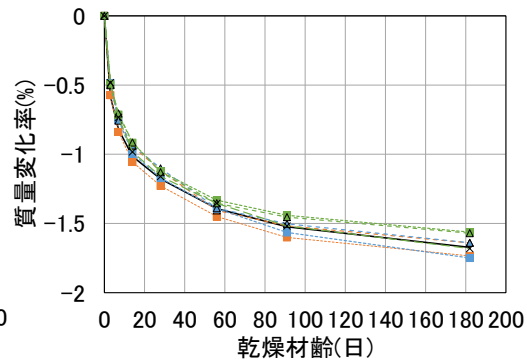


図-10 コンクリートの質量変化率

の施工を想定し、長時間練置きした後に作製した試験体で圧縮強度や乾燥収縮特性についても検討を行う予定である。

4. まとめ

本研究ではスランプ保持型混和剤の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プと空気量の経時特性および硬化後の物性に及ぼす影響について検討した。本研究で得た知見を以下にまとめる。

- 1) スランプ保持型混和剤の種類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プ保持性が高まる。
- 2) スランプ保持型混和剤を用いた場合、一般的な混和剤よりも空気量の保持性がある。
- 3) スランプ保持型混和剤を用いた場合に凝結始発時間は遅延する。
- 4) スランプ保持型混和剤を用いた場合でも材齢 3 日以降の強度にはほとんど影響はしない。
- 5) スランプ保持型混和剤の使用により乾燥収縮ひずみが大きくなる可能性がある。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，2023, pp.111-112

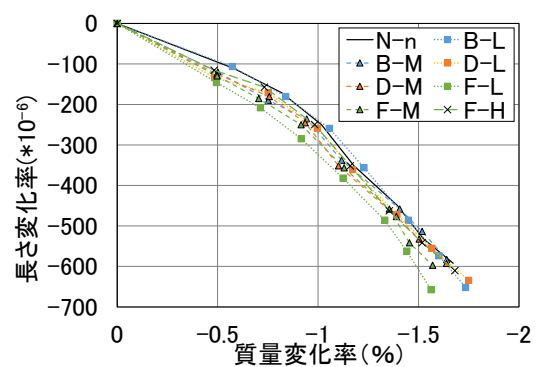


図-11 長さ変化率と質量変化率の関係

- 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> (2025.1.8確認)
- 3) 国土交通省：道路における建設資材調達に関するあり方検討委員会（第2回）、道路関係団体ヒアリング要旨 参考資料③
- 4) 小泉信一，作榮二郎：流動性を長時間保持するAE減水剤・超保持型高性能タイプ，コンクリート工学，Vol.57, No.1, pp.12-15, 2019.
- 5) 山内稜，吉田行，長谷川諒：コンクリートの長時間運搬に対応する機能型混和剤の施工性改善効果、第 67 回(2023 年度)北海道開発技術研究発表会、2024.2