

論文 流動保持剤および超遅延剤によるスランプ保持性の改善ならびに硬化促進剤による初期硬化性能の改善

本田 亮*1・守屋 健一*2・田中 徹*3

要旨: 本報では、異なる環境温度における流動保持剤および超遅延剤によるスランプ保持性の改善効果を確認した。また、スランプ保持性の改善により影響を受けるブリーディング、凝結時間および初期強度発現性に対して硬化促進剤による改善効果を検討した。その結果、スランプ保持性は流動保持剤または超遅延剤によって改善し、その性能は添加率によって制御できることが確認できた。その際に生じるブリーディングの増大、凝結の遅延、初期強度発現性の低下といった課題については、硬化促進剤がセメントの水和を促進することによって解決できることが示唆された。

キーワード: スランプ保持性, 流動保持剤, 超遅延剤, 硬化促進剤, フレッシュ性状, 初期強度発現性

1. はじめに

近年、生コンクリートの出荷量の減少に伴い生コンクリート工場の閉鎖および統廃合が進んでいる。生コンクリートは半製品であり、運搬時間 90 分以内の制約があるが、工場の集約により、時間内に運べない地域(空白地帯)が発生する恐れが出てきている¹⁾。JIS A 5308 によれば、購入者と協議することで運搬時間を変更することができるため、生コンクリートの可使時間を 90 分以上確保できれば、空白地域を縮小する一助となりうる。その方法として、90 分を超えても適正なワーカビリティを確保できるような混和剤を用いている場合がある。一般的には、超遅延剤を添加してスランプ保持性を向上させるが、ブリーディングの増大、凝結時間の遅延、等、硬化に至る特性に課題が表出する可能性がある。最近では、凝結を著しく遅延させることなくスランプ保持性のみを高めることができる流動保持剤が普及し始めているが、実績はまだ少なく、また、高炉スラグ微粉末、等、混和材を用いたコンクリートに対しての検討も十分に行われていない。

本稿では、普通ポルトランドセメント(以下、Nセメント)および高炉セメント B 種(以下、BB)を用いたコンクリートに対して、流動保持剤または超遅延剤を添加することによるスランプ保持性の改善効果を検討するとともに、ブリーディング、凝結時間および初期強度発現性といった初期硬化性能への影響を検討する。加えて、流動保持剤または超遅延剤の添加によって影響を受けると想定される初期硬化性能に対して、硬化促進剤を添加することによる改善効果を検討する。

2. 実験概要

2.1 試験のシリーズ

本検討は、シリーズ I およびシリーズ II から構成される。シリーズ I は、環境温度が 10℃、20℃および 35℃の条件における流動保持剤または超遅延剤によるスランプ保持性、ブリーディング、凝結時間および初期強度発現性についてコンクリート試験により確認を行った。シリーズ II は、シリーズ I で良好なスランプ保持性を示した条件の中で、初期硬化性能への影響が大きいと考えられる環境温度 10℃および 20℃の条件における硬化促進剤

表-1 コンクリートの配(調)合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
30-15-20N	53.0	48.0	170	321	850	944
30-15-20BB	51.0	48.0	167	327	844	942

表-2 使用材料の種類および物理的性質

材料	記号	種類および物理的性質
水	W	上水道水
セメント(C)	N	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm ³)
	BB	高炉セメント B 種 (密度:3.04g/cm ³)
細骨材	S	大井川水系陸砂 (表乾密度:2.59g/cm ³)
粗骨材	G	青梅市産硬質砂岩砕石 (表乾密度:2.66g/cm ³)
混和剤	SP-S	高性能 AE 減水剤 標準形
	SP-R	高性能 AE 減水剤 遅延形
添加剤 1	Ad-A	流動保持剤 ポリカルボン酸エーテル系化合物
	Ad-B	超遅延剤 変性リグニンスルホン酸化合物と オキシカルボン酸化合物の複合体
添加剤 2	Ad-X	硬化促進剤 カルシウムシリケート水和物 (粉体)

*1 戸田建設(株) 技術研究所 社会基盤再生部 (正会員)

*2 戸田建設(株) 技術研究所 社会基盤再生部 工修 (正会員)

*3 戸田建設(株) 技術研究所 工修 (正会員)

表-3 目標性能

項目	目標性能
目標スランブ	添加剤なし：練上り直後 19.0±1.0cm 添加剤 1：添加後(5分後)19.0±1.0cm 添加剤 2：添加後(35分後)19.0±1.0cm
目標空気量	4.5±1.0%
目標コンクリート温度	環境温度±2℃
スランブ保持性	経過時間 30分以降：15±2.5cm

表-4 測定項目および測定方法

測定項目	測定方法
スランブ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
ブリーディング	JIS A 1123
凝結時間	JIS A 1147
圧縮強度 (材齢 24, 72 時間)	JIS A 1108 養生方法：所定の材齢まで封緘養生
圧縮強度 (材齢 7, 28 日)	JIS A 1108 養生方法：材齢 3 日まで封緘養生, その後標準水中養生

による改善効果についてコンクリート試験により確認を行った。

表-1 にコンクリートの配(調)合を示す。コンクリートの種類は、高性能 AE 減水剤を用いた 30-15-20N および 30-15-20BB とした。

表-2 に使用材料の種類および物理的性質を示す。

表-3 に目標性能を示す。目標スランブは、添加剤を用いないコンクリート(以下、ベース)が経過時間 30 分で JIS A 5308 による荷卸し地点での許容差である 15±2.5cm を満足するように練上り直後を 19.0±1.0cm とした。添加剤 1(流動保持剤または超遅延剤)は生コンクリート出荷時に添加することを想定し、練上りから 5 分後に、添加剤 2(硬化促進剤)は現場受入れ後に添加することを想定し、練上りから 35 分後に添加するものとし、それぞれ添加後の目標スランブを 19.0±1.0cm とした。スランブ保持性は、経過時間 30 分以降 15.0±2.5cm とし、添加剤 1 を添加したコンクリートがベースに対しどれだけ保持するかを確認した。

表-4 に測定項目および測定方法を示す。

コンクリートは、容量 60 リットルの二軸形強制練りミキサーを用いて、35 リットル分の全材料を投入後 60 秒練り混ぜた。混和剤は、環境温度が 10℃および 20℃の場合は高性能 AE 減水剤 標準形を、環境温度が 35℃の場合は高性能 AE 減水剤 遅延形を用いた。経時変化の測定は、練上り後所定の測定時間までコンクリートを静置し、練返しを行った後に実施した。

2.2 シリーズ I の概要

環境温度が 10℃、20℃および 35℃の条件において、スランブの経時変化を確認した。試験の流れを以下に示す。

①練上り後、直ちにフレッシュ性状の確認を行う。

②ベースは、練上りから 30 分ごとにフレッシュ性状の確認を行う。

③添加剤 1 を添加する場合は、練上り直後のフレッシュ性状を確認した後、容量 50 リットルの傾胴式ミキサーにコンクリート全量および添加剤 1 を投入し、練上りから 5 分後に 20rpm で 60 秒間攪拌し、直ちにフレッシュ性状の確認を行う。

④経時変化試験として、その後練上り直後を起点にして、30 分ごとにフレッシュ性状の確認を行う。

⑤経時変化試験が終了した時点で圧縮強度用供試体を採取する。

⑥経時変化試験と同条件で再度コンクリートを練り混ぜ、ベースは練上り直後に、添加剤 1 を添加する場合は添加直後に、ブリーディング試験および凝結試験用供試体を採取する。

添加剤 1 を添加するとスランブが増大するため、添加後に目標スランブを満足するように高性能 AE 減水剤の添加率を調整した。また、添加剤 1 は生コンクリート出荷時に添加することを想定し、予め練混ぜ水から添加剤 1 の添加量分の水を減じた。

2.3 シリーズ II の概要

シリーズ I で環境温度が 10℃および 20℃の条件において、スランブの経時変化が良好であったものに対して、硬化促進剤を添加し、ブリーディング、凝結時間および初期強度発現性を確認した。試験の流れを以下に示す。

①練上り後、直ちにフレッシュ性状の確認を行う。

②①の後、容量 50 リットルの傾胴式ミキサーにコンクリート全量および添加剤 1 を投入し、練上りから 5 分後に 20rpm で 60 秒間攪拌し、直ちにフレッシュ性状の確認を行う。

③練上りから 30 分後にフレッシュ性状を確認した後に、容量 50 リットルの傾胴式ミキサーにコンクリート全量および添加剤 2 を投入し、練上りから 35 分後に 20rpm で 60 秒間攪拌し、直ちにフレッシュ性状の確認を行う。

④経時変化試験として、その後練上り直後を起点にして、30 分ごとにフレッシュ性状の確認を行う。

⑤経時変化試験が終了した時点で圧縮強度用供試体を採取する。

⑥経時変化試験と同条件で再度コンクリートを練り混ぜ、添加剤 2 を添加した直後に、ブリーディング試験および凝結試験用供試体を採取する。

添加剤 2 の荷姿は粉体だが、添加することでスランブが増大することが確認されたため、高性能 AE 減水剤の添加率を調整し、添加後に目標スランブを満足するように高性能 AE 減水剤の添加率を調整した。また、添加剤 2 は、単位量に含めず外割りで添加した。

表-5 Nセメントを用いたコンクリートのフレッシュ性状、ブリーディング量および凝結時間

環境温度 (°C)	混和剤		添加剤 1		スランブ (cm)		空気量 (%)		コンクリート温度 (°C)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)	凝結時間 (h:mm)	
	種類	添加率 (C×%)	種類	添加率 (C×%)	練上り直後	添加剤 1 添加後	練上り直後	供試体採取時			始発	終結
10	SP-S	0.8	-	-	19.5	-	4.9	3.9	11	0.11	11:55	16:50
	SP-S	0.75	Ad-A	0.3	17.0	19.5	5.2	4.0	12	0.10	12:15	16:50
20	SP-S	0.9	-	-	19.0	-	4.3	4.0	21	0.14	7:10	10:15
	SP-S	0.8	Ad-A	0.3	18.0	19.0	5.3	4.5	21	0.13	7:35	10:40
	SP-S	0.7	Ad-A	0.6	16.5	19.0	3.7	4.0	19	-	7:50	10:40
	SP-S	0.6	Ad-A	0.9	15.0	19.0	3.6	4.1	19	0.14	8:50	11:10
	SP-S	0.75	Ad-B	0.3	17.5	18.5	4.4	4.3	21	0.32	9:10	12:15
	SP-S	0.7	Ad-B	0.45	15.0	19.0	3.7	4.2	19	0.32	11:10	15:30
35	SP-R	0.95	-	-	19.0	-	4.2	4.0	35	0.09	4:45	5:55
	SP-R	0.7	Ad-A	0.9	15.0	19.0	4.0	4.2	35	0.07	5:00	6:10
	SP-R	0.7	Ad-A	1.2	15.0	19.0	4.0	4.4	36	0.08	5:35	6:20
	SP-R	0.6	Ad-B	0.6	14.0	19.0	4.2	4.2	36	0.38	10:55	12:35

表-6 BBを用いたコンクリートのフレッシュ性状、ブリーディング量および凝結時間

環境温度 (°C)	混和剤		添加剤 1		スランブ (cm)		空気量 (%)		コンクリート温度 (°C)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)	凝結時間 (h:mm)	
	種類	添加率 (C×%)	種類	添加率 (C×%)	練上り直後	添加剤 1 添加後	練上り直後	供試体採取時			始発	終結
10	SP-S	0.7	-	-	19.0	-	4.5	3.8	12	0.11	10:30	17:45
	SP-S	0.65	Ad-A	0.3	17.5	19.0	4.2	4.0	12	0.09	11:35	18:50
	SP-S	0.55	Ad-B	0.3	16.5	18.0	4.2	4.0	12	0.23	14:00	20:05
20	SP-S	0.75	-	-	18.5	-	4.4	3.8	21	0.09	6:25	10:05
	SP-S	0.7	Ad-A	0.45	17.5	18.5	4.2	4.1	21	0.09	7:10	11:20
	SP-S	0.6	Ad-A	0.9	14.5	19.0	3.5	4.2	19	0.09	9:20	13:40
35	SP-S	0.65	Ad-B	0.45	15.5	18.0	4.1	4.0	21	0.55	11:05	14:15
	SP-R	0.85	-	-	20.0	-	4.0	4.1	36	0.07	4:40	6:10
	SP-R	0.6	Ad-A	0.9	13.0	20.0	4.1	4.1	35	0.04	5:05	6:40
	SP-R	0.6	Ad-A	1.2	12.5	19.5	3.5	3.7	36	0.05	5:30	7:05
	SP-R	0.6	Ad-A	1.5	12.5	20.0	4.0	4.4	35	0.09	5:05	6:50
	SP-R	0.6	Ad-B	0.6	13.0	19.0	4.1	4.2	35	0.61	11:45	14:15
SP-R	0.6	Ad-B	0.75	13.0	18.5	3.7	3.8	36	0.73	18:25	20:30	

3. 実験結果

3.1 シリーズ I

表-5にNセメントを用いたコンクリートのフレッシュ性状、ブリーディング量および凝結時間を、表-6にBBを用いたコンクリートのフレッシュ性状、ブリーディング量および凝結時間を示す。なお、空気量およびコンクリート温度は、練上り直後の試験値を示す。

いずれの条件においても、練上り直後、または添加剤 1 添加後のスランブについて、目標性能を満足することを確認した。また、一連の試験において、目標空気量および目標コンクリート温度について、目標性能を満足することを確認した。

図-1に添加率とスランブ増大量の関係を示す。流動保持剤を添加した場合、C×0.9%を超えるとスランブ増大量が頭打ちとなる傾向が見られた。添加率とスランブ増大量の傾きは、頭打ちの傾向が見られるC×1.2%以上の値を除いた場合の流動保持剤が5.2に対し、超遅延剤が7.7であり、超遅延剤の方が添加率あたりの増大量は

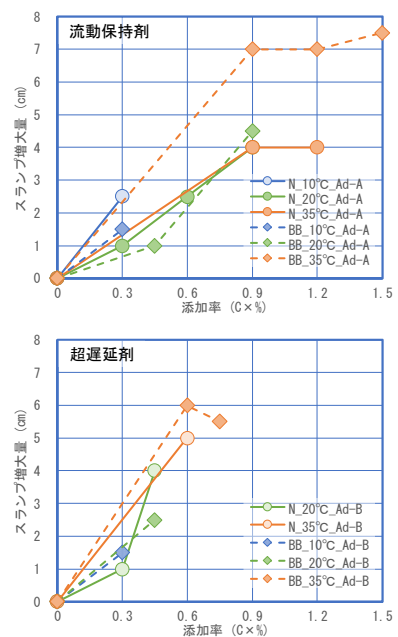


図-1 添加率とスランブ増大量の関係 (上：流動保持剤，下：超遅延剤)

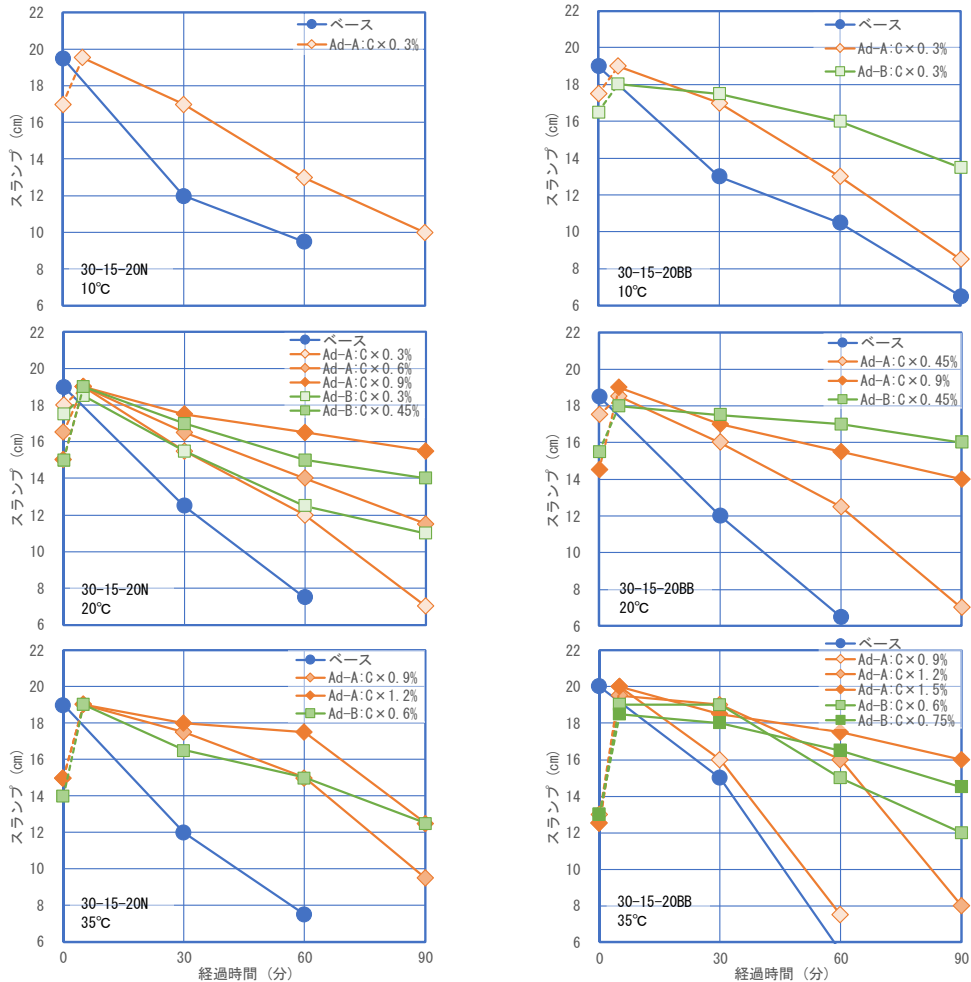


図-2 環境温度ごとのスランプの経時変化 (左：Nセメント，右：BB)

大きく、減水性が高いことが示唆された。セメントの種類による違いは認められなかった。環境温度ごとに比較すると、流動保持剤は傾向が見られないのに対し、超遅延剤は10℃、20℃および35℃に対してそれぞれ5.0、6.5および8.4であり、温度が高くなるのに伴い大きくなった。これは、温度が高くなることにより超遅延剤の分散効果が活発になったためと推察された。

図-2に環境温度ごとのスランプの経時変化を示す。ベースのスランプは、いずれの条件においても、経過時間60分で12.5cmを下回る結果となった。これに対して、添加剤1を添加した場合、添加剤1の種類によらずスランプ保持性を改善することができ、添加率を大きくすることでスランプ保持性は高くなることが示唆された。流動保持剤および超遅延剤を比較すると、同一添加率では流動保持剤より超遅延剤の方がスランプ保持性は高くなる傾向にあることが確認された。この傾向は、NセメントよりもBBを用いた方が、または、環境温度が高い方が顕著であった。

ブリーディング量は、流動保持剤を添加した場合、添加率、セメントの種類および環境温度によらず、ベースとほぼ同等の値を示した。このことから、流動保持剤は

ブリーディングにほとんど影響を及ぼさないと考えられた。一方、超遅延剤を添加した場合、添加率の多寡にもよるが、ベースと比較しておよそ2倍から10倍であった。この傾向は、NセメントよりもBBを用いた方が大きく、環境温度が高い方が大きくなり、スランプの経時変化と相関性があることが示唆された。

ベースの凝結時間は、環境温度が高くなるのに伴い早くなった。図-3に添加率と始発の遅延時間の関係を示す。いずれの条件でも添加率の増加に伴い遅延時間が大きくなる傾向を示した。流動保持剤を添加した場合、環境温度が高くなるのに伴い遅延する時間が短くなる傾向を示したが、超遅延剤を添加した場合、環境温度によらず傾きが同程度となった。遅延時間は、流動保持剤および超遅延剤のいずれもNセメントよりもBBを用いた方が大きかった。

図-4に圧縮強度試験結果を示す。供試体採取時の空気量の差は、ベースに対して最大で0.5%であったため、空気量による補正は行わなかった。材齢24時間の圧縮強度は、ベースに対して流動保持剤を用いると、環境温度10℃および20℃では同等かやや低下した。超遅延剤を用いると、環境温度10℃および20℃では低下した。し

かし、環境温度 35℃ではいずれを用いた場合でも、6～20%増加する傾向を示した。材齢 72 時間以降の圧縮強度は、ベースと同等程度であった。

以上の結果から、流動保持剤および超遅延剤のいずれの添加剤でも、添加率を調整することで環境温度によらずスランプ保持性をコントロールすることが可能であることが確認できた。ただし、流動保持剤は、超遅延剤と同等のスランプ保持性を確保させるためには同等以上の添加率を要すること、超遅延剤は、ブリーディングの増大や凝結時間の遅延、等、硬化に至る過程に問題が生じること、といった特徴があることが明確となり、実際に使用する際はこれらの一長一短を考慮して運用することが必要であると考えられた。

3.2 シリーズ II

シリーズ I の結果を踏まえて、硬化促進剤の効果を確認した。表-7 に硬化促進剤を添加した条件を示す。なお、硬化促進剤の添加率は、いずれの条件においても C×0.5%とした。

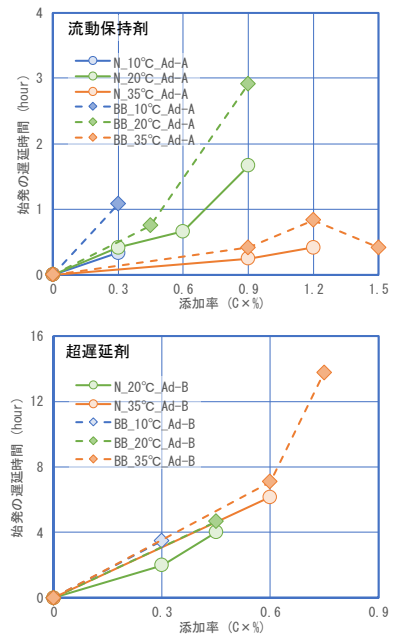


図-3 添加率と始発の遅延時間の関係
(上：流動保持剤，下：超遅延剤)

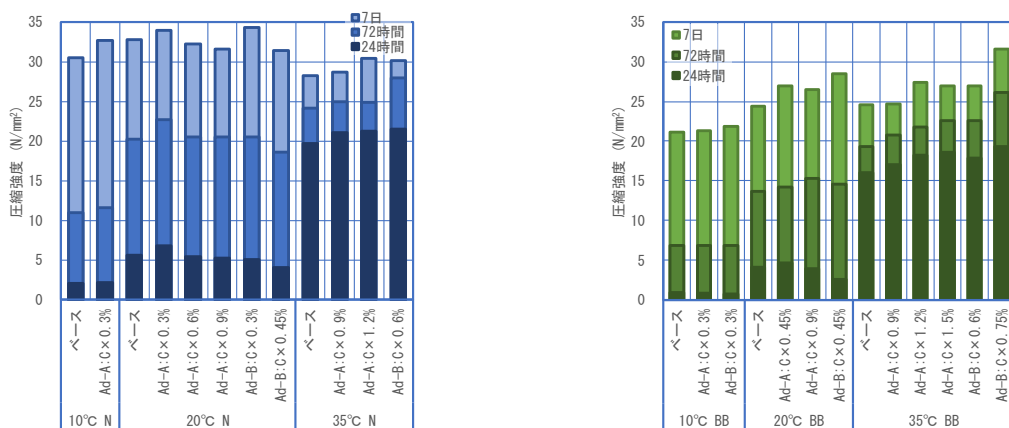


図-4 圧縮強度試験結果 (シリーズ I) (左：Nセメント，右：BB)

硬化促進剤を C×0.5%添加することでスランプは 2.0～5.5cm 増大した。ただし、各条件のサンプル数が 1 であることや添加前のスランプが異なることから、傾向を得ることはできなかった。

図-5 にスランプの経時変化を示す。スランプは、硬化促進剤を添加した直後に増大し、その後のスランプ保持性は添加しないものと比較して、同等以上の挙動を示した。

表-8 にブリーディング量および凝結時間を示す。ブリーディング量は、いずれの条件においても硬化促進剤を添加することで減少する傾向を示し、およそ 70～81% 減少した。また、その量はベースと同程度以下であった。

凝結時間は、いずれの条件においても硬化促進剤を添加することで促進された。10℃環境で Nセメントを用い流動保持剤を添加した条件では、約 3 時間促進され、ベースより凝結時間が早くなった。一方で、BB を用い超遅

表-7 硬化促進剤を添加した条件

環境温度 (°C)	セメントの種類	添加剤 1	
		種類	添加率 (C%)
10	N	Ad-A	0.3
10	BB	Ad-B	0.3
20	BB	Ad-B	0.45

延剤を添加した条件では、環境温度によらず約 1 時間促進されたが、ベースと比較すると 1 時間 30 分～3 時間程度遅延する結果となった。以上のように硬化促進剤の効果にバラつきが生じた要因が添加剤 1 によるものなのか、セメントの種類によるものなのか、今後検討する必要があると考えられた。

図-6 に圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は、材齢 24 時間ではいずれの条件においても硬化促進剤を添加することで高くなった。10℃環境で Nセメントを用い

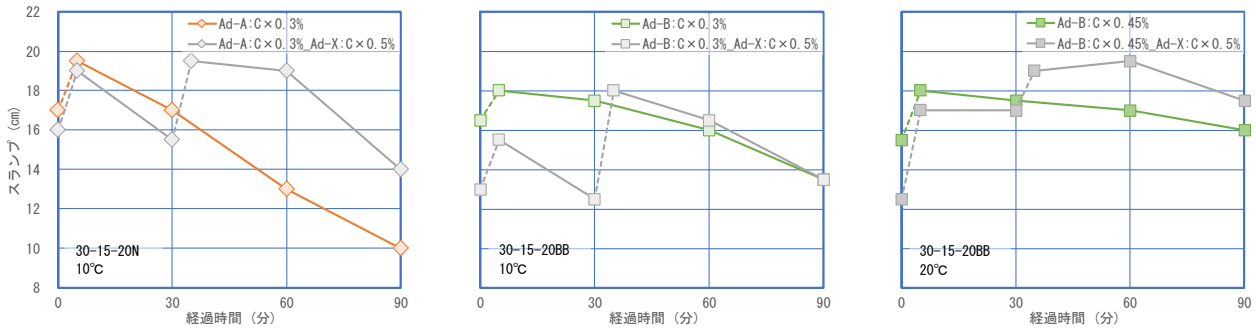


図-5 スランプの経時変化

表-8 ブリーディング量および凝結時間

環境温度 (°C)	セメントの種類	混和剤		添加剤 1		添加剤 2		ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)	凝結時間 (h:mm)	
		種類	添加率 (C×%)	種類	添加率 (C×%)	種類	添加率 (C×%)		始発	終結
10	N	SP-S	0.8	-	-	-	-	0.11	11:55	16:50
		SP-S	0.75	Ad-A	0.3	-	-	0.10	12:15	16:50
		SP-S	0.7	Ad-A	0.3	Ad-X	0.5	0.03	9:20	14:10
	BB	SP-S	0.7	-	-	-	-	0.11	10:30	17:45
		SP-S	0.55	Ad-B	0.3	-	-	0.23	14:00	20:05
		SP-S	0.5	Ad-B	0.3	Ad-X	0.5	0.05	13:15	19:10
20	BB	SP-S	0.75	-	-	-	-	0.09	6:25	10:05
		SP-S	0.65	Ad-B	0.45	-	-	0.55	11:05	14:15
		SP-S	0.55	Ad-B	0.45	Ad-X	0.5	0.10	10:20	13:20

流動保持剤を添加した条件では、63%高くなり、ベースと比較しても71%高くなった。一方で、BBを用い超遅延剤を添加した条件では、環境温度によらず約40%高くなったが、超遅延剤を添加しないものと比較すると、10°Cで11%高くなり、20°Cで14%低くなった。この傾向は、凝結時間の結果と相関があり、今後の検討が必要であると考えられた。材齢72時間では、いずれの条件においても硬化促進剤を添加することでベースおよび硬化促進剤を添加しないものと比較して高くなり、材齢7日で同程度となった。

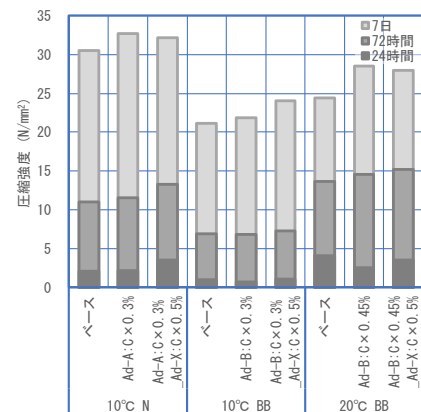


図-6 圧縮強度試験結果 (シリーズII)

4. まとめ

普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を用いたコンクリートに対して、流動保持剤または超遅延剤を添加することによるスランプ保持性の改善効果を検討し、また、流動保持剤または超遅延剤の添加によって影響を受けると想定されるブリーディング、凝結時間および初期強度発現性に対して、硬化促進剤を用いることによる改善効果を検討し、以下の知見を得た。

- (1) 流動保持剤および超遅延剤のいずれを用いても、添加率を調整することで環境温度によらずスランプ保持性をコントロールすることが可能である。
- (2) 流動保持剤は、超遅延剤より多くの添加率を要するが、ブリーディング、凝結時間および初期強度発現性にほとんど影響を及ぼすことなく、スランプ保持性を

を改善することができる。

- (3) 超遅延剤は、ブリーディングが多くなる、凝結時間が遅くなる、といった欠点はあるものの、流動保持剤より少ない添加率でスランプ保持性を改善することができる。
- (4) 硬化促進剤は、流動保持剤または超遅延剤と併用することで、スランプ保持性を損なうことなく、初期硬化性能を改善することができる。

参考文献

- 1) 国土交通省：第3回道路における建設資材調達に関するあり方検討委員会 配布資料 参考資料3, 2020