

# 論文 特殊混和剤による暑中コンクリートの品質改善に関する実験的検討

伊佐治 優\*1・桜井 邦昭\*2・齊藤 和秀\*3・大石 卓哉\*4

**要旨:** 外気温が高い時期に施工する暑中コンクリートは、コンクリート温度の上昇に伴い、流動性が早期に低下し凝結が促進される。そのため、コールドジョイントや充填不良等の不具合の発生が懸念される。そこで、コンクリート温度が高い場合でも、流動性を長時間確保し、許容打重ね時間間隔を延長できる特殊混和剤を開発し、これを用いたコンクリートの各種品質を実験的に検討した。その結果、特殊混和剤を普通コンクリートに後添加することで、コンクリート温度が 35°C を超える場合でも、流動性を長時間保持できること、硬化後の品質に悪影響を与えないことなどを確認した。

**キーワード:** 暑中コンクリート, 流動性, 許容打重ね時間間隔, 特殊混和剤, 強度, 耐久性

## 1. はじめに

気候変動等の影響により、近年は暑中環境の長期化および過酷化が顕著になっている。図-1 に気象庁の公開気象データ<sup>1)</sup>による 1970 年から 2019 年までの日本各地の 8 月の平均気温の推移を示す。いずれの地域においても平均気温は上昇する傾向にあり、名古屋、大阪および福岡では 30°C 近くに達する年もある。図-2 に 2014 年から 2019 年までの 4 都市の日平均気温が 25°C 以上の日数(暑中コンクリートとなる日数)および 28°C 以上となる日数(荷卸し時のコンクリート温度が 35°C を超える危険のある日数<sup>2)</sup>)を示す。いずれの地域においても、年間 60 日~80 日程度は暑中コンクリートとなる期間があり、そのうち 30 日~40 日程度は 35°C を超える危険性がある。これらは、長期間にわたり暑中コンクリートとして取り扱う必要があり、各種仕様書で定められている打込み時のコンクリート温度の上限値(35°C)を確保することが困難になりつつあることを示していると考えられる。

外気温が高い時期に施工する暑中コンクリートは、コンクリート温度の上昇に伴いセメントの水和反応が促進され、流動性が早期に低下し、凝結が促進される。そのため、コールドジョイントや充填不良等の不具合の発生および圧縮強度・耐久性の低下が懸念される。

現状の暑中コンクリート対策は、遅延形の減水剤を使用することが一般的であるが、コンクリート温度が 35°C を超えるような高温時では、遅延形の減水剤を用いても十分な効果が得られるかについては定かでない。その他の対策としては、コンクリート温度を低減するために、材料のプレクーリングや外気温の低い早朝・夜間での施工、アジテータ車のドラムへの散水・遮蔽塗料の塗布等がある。しかしながら、これらの対策は施工費や設備費の増加を招くことから容易には実施しにくい課題がある。

一方で、土木学会および日本建築学会のコンクリート温度に関する規定は、徐々に緩和されている傾向にある。2017 年制定コンクリート標準示方書【施工編】<sup>3)</sup>では、「コンクリート温度の上限は 35°C とし、35°C を超える場合には、コンクリートが所要の品質を確保できることを確認し、コンクリート工事に適用すること」としている。また、日本建築学会の 2019 年改定暑中コンクリートの施工指針・同解説<sup>2)</sup>では、「コンクリートの性能が低下しないような適切な対策を採り、試し練りにより性能を確認した場合には、コンクリート温度の上限値を 38°C にできる」としている。いずれも、コンクリート温度が 35°C を超えた場合でも、コンクリートの品質が確保できれば、コンクリート工事に適用できる規定となっている。

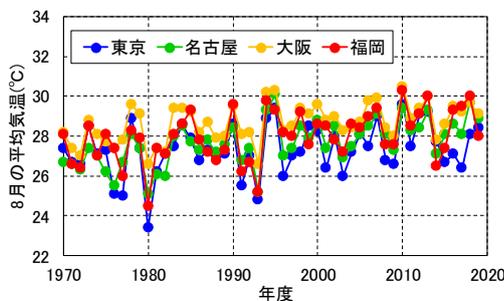


図-1 8月の平均気温の推移

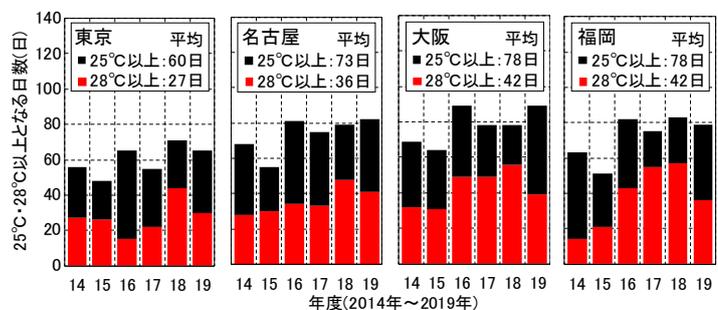


図-2 日平均気温が 25°C・28°C 以上となる日数

\*1 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 (正会員)

\*2 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 博士(工学) (正会員)

\*3 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 グループリーダー 博士(工学) (正会員)

\*4 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部

そこで、コンクリート温度が 35°Cを超えるような場合でも、暑中コンクリートの品質を確保できる新たな特殊混和剤を検討した。特殊混和剤の具体的な目標性能は、高温時においても流動性や許容打重ね時間間隔を長時間確保できることと、特殊混和剤の添加が強度発現や耐久性に影響を与えないこととした。

本論文では、新規に開発した特殊混和剤の概要およびこれを使用したコンクリートの各種品質試験結果を示す。

## 2. 特殊混和剤の概要

本研究で使用した特殊混和剤は、既往の文献<sup>4)</sup>の流動性を長時間保持できるコンクリートに用いられる混和剤の主成分である「セメント分散成分」に加え、新たにセメントの凝結時間を制御する「凝結遅延成分」を組み合わせた混和剤である。この特殊混和剤は JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の減水剤遅延形規格に適合する。また、コンクリート製造時の外気温やコンクリート温度に応じて添加量が調整できるように、特殊混和剤はコンクリートに後添加する方法とした。

特殊混和剤の高温時における流動性保持の概念を図-3に示す。現在、一般的に使用されている暑中期のコンクリートには遅延形の AE 減水剤や高性能 AE 減水剤などの減水剤が用いられている。練上がり直後は、これらの減水剤がセメント粒子の表面に吸着し、セメント粒子を分散させることで所要の流動性を確保している。しかし、時間が経過するとセメントの水和反応の進行に伴い、セメント水和物が減水剤を覆うため、セメント粒子同士が再凝集して流動性が徐々に低下する。また、セメント

の水和反応は温度に大きく依存しており、35°Cを超えるような高温時には、セメントの水和反応が促進され、流動性の低下はより顕著になる恐れがある。

一方で、製造後のコンクリートに特殊混和剤を使用した場合、始めに特殊混和剤中の凝結遅延成分がセメント粒子の表面に吸着し、セメントの水和反応を抑制する。その後、時間経過に伴いセメントの水和反応は進行するが、特殊混和剤中の分散成分が徐々にセメント粒子の表面に吸着することで、セメント粒子同士の再凝集を抑制する。凝結遅延成分と分散成分の2つの効果の組み合わせにより、セメントの水和反応が著しく促進されるような高温時においても、長時間にわたりコンクリートの流動性を保持することができる。

## 3. 特殊混和剤を用いたコンクリートの各種品質の検証

### 3.1 実験概要

使用材料および配合を表-1 および表-2 に示す。コンクリートの配合は、土木分野で一般的な鉄筋コンクリート構造物に使用することを想定したコンクリート(配合 No.1~7, スランプ 12cm, 水セメント比 55%), 高性能 AE 減水剤を使用した比較的スランプの大きいコンクリート(配合 No.8~10, スランプ 21cm, 水セメント比 48%), 高炉セメント B 種を使用したコンクリート(配合 No.11~13, スランプ 12cm, 水セメント比 55%)の3種類とした。

試験は室内において実施し、室内温度を 20°C, 30°C, 35°C および 40°C に設定することで、コンクリートの温度条件を変化させた。使用した AE 減水剤(高機能タイプ)(HWR)および高性能 AE 減水剤 (SP)は、標準形と遅延形

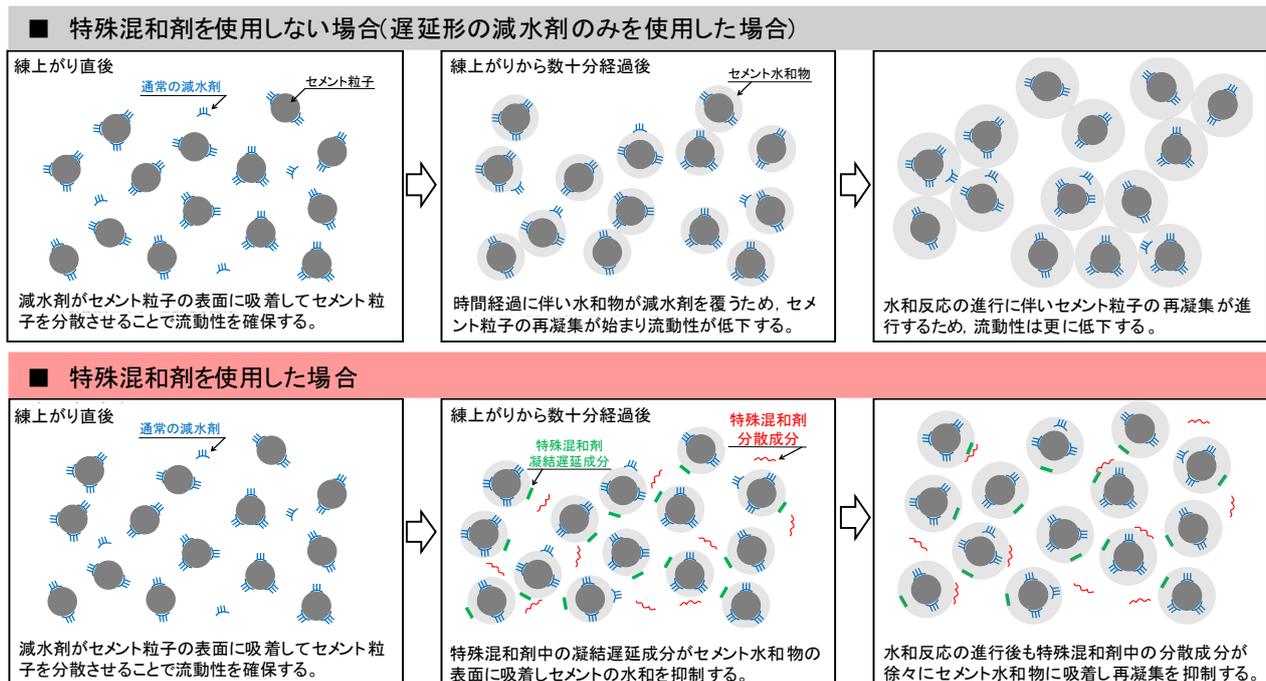


図-3 特殊混和剤による流動性保持の概念図

表-2 コンクリートの配合と品質試験結果

配合 No.	コンクリート種類	温度条件 (°C)	セメント種類	目標スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単用量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤(C×%)					品質試験結果								
							W	C	S	G	HWR		SP		特殊混和剤	スランブ (cm)					許容打重ね時間間隔 (h-m)	圧縮強度 材齢28日 (N/mm <sup>2</sup> )		
											標準	遅延	標準	遅延		5分	10分後添加	30分	60分	90分			120分	
1	従来	20	N	12 ± 2.5	55.0	45.4	164	298	822	1014	0.80	-	-	-	-	13.5	-	11.5	9.5	5.5	3.5	2-20	30.4	
2		30									-	0.90	-	-	-	-	13.5	-	9.5	7.5	4.5	-	2-00	30.2
3		35									-	1.10	-	-	-	-	13.5	-	8.0	5.0	3.0	-	2-00	28.2
4		40									-	1.20	-	-	-	-	11.0	-	5.0	1.0	-	-	1-15	28.9
5	新規	30	BB	12 ± 2.5	55.0	45.1	164	298	813	1014	-	0.90	-	-	0.30	14.5	14.5	14.0	12.0	8.0	5.5	2-50	29.8	
6		35									-	1.10	-	-	0.50	13.5	14.0	13.5	11.0	7.5	5.0	2-40	34.3	
7		40									-	1.20	-	-	0.90	12.0	12.0	11.5	10.5	10.0	8.0	3-00	31.5	
8	従来	20	N	21 ± 1.5	48.0	45.8	175	365	792	960	-	-	0.75	-	-	21.0	-	17.5	15.0	12.0	8.5	2-50	42.1	
9		40									-	-	-	1.00	-	21.0	-	12.5	6.5	2.5	-	1-40	39.2	
10	新規	40									-	-	-	1.00	0.65	21.5	21.5	22.0	21.0	17.0	14.0	2-55	40.0	
11	従来	20	BB	12 ± 2.5	55.0	45.1	164	298	813	1014	1.00	-	-	-	-	14.0	-	13.0	7.0	4.5	-	2-10	34.0	
12		40									-	1.10	-	-	-	14.0	-	7.5	2.0	-	-	1-00	31.9	
13	新規	40									-	-	-	1.10	-	13.0	14.0	12.5	10.5	7.0	3.0	3-00	34.0	

の2種類を準備し、温度条件が20°Cでは標準形を、30°C、35°Cおよび40°Cでは遅延形を使用した。なお、これらの減水剤の添加量は、練上がり時のスランブが同一となるように、コンクリート温度に応じて調整した。また、特殊混和剤の添加量は、各温度において品質改善が期待できることを想定して決定した。

コンクリートの試験項目を表-3に示す。フレッシュコンクリート試験として、スランブおよび空気量の経時変化を測定した。また、許容打重ね時間間隔、凝結時間およびブリーディング率の測定を行った。ここで、許容打重ね時間間隔はプロクター貫入試験において、貫入抵抗値が0.1N/mm<sup>2</sup>に達する時間とした<sup>5)</sup>。

圧縮強度試験用の供試体は、試験時の温度に設定した恒温槽内にて所定の材齢まで封緘養生した。

耐久性の評価として促進中性化試験と塩分浸漬試験を行った。いずれの試験も、材齢56日まで各温度条件下で封緘養生した後、促進試験を開始し、促進期間91日で中性化深さと塩分浸透深さを測定した。

練混ぜには、強制二軸練りミキサ(容量60L)を使用し、1バッチの練混ぜ量は40Lとした。練混ぜは、セメントおよび骨材を投入して10秒間練り混ぜた後、あらかじめ減水剤を溶解した練混ぜ水を投入して60秒間練り混ぜる方法とした。その後、試料を排出して、各種品質試験を行った。特殊混和剤を添加する場合は、練上がり5分後のコンクリート温度、スランブおよび空気量の測定後に、全試料をミキサに戻して、特殊混和剤を投入した後、30秒間練り混ぜた。なお、1配合当たり2バッチ製造し、1バッチ目はスランブおよび空気量の経時変化の測定、2バッチ目は凝結試験、ブリーディング試験および圧縮強度試験用と耐久性試験用の供試体採取を行った。

表-1 使用材料

種類	記号	成分および物性
セメント	C	N: 普通セメント, 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
	BB	高炉セメントB種, 密度3.04g/cm <sup>3</sup>
水	W	上水道水, 密度1.00g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率2.51, 実積率67.2%
粗骨材	G	碎石2005, 表乾密度2.64g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率6.60, 実積率57.5%
混和剤	HWR	AE減水剤(高機能タイプ), 標準形と遅延形を使用
	SP	高性能AE減水剤, 標準形と遅延形を使用
	-	特殊混和剤, 後添加型

表-3 試験項目

試験項目	標準基準	備考
コンクリート温度	JIS A 1156	練上がりから30分ごとに測定
スランブ	JIS A 1101	同上
空気量	JIS A 1128	同上
ブリーディング率	JIS A 1123	-
許容打重ね時間間隔	JIS A 1147	プロクター貫入試験で貫入抵抗値が0.1N/mm <sup>2</sup> に達するまで測定
凝結試験	JIS A 1147	始発: 3.5N/mm <sup>2</sup> 終結: 28.0N/mm <sup>2</sup>
圧縮強度	JIS A 1108	各温度で所定の材齢まで封緘養生材齢1日, 7日, 28日, 56日で強度試験
促進中性化試験	JIS A 1152	促進期間: 91日
	JIS A 1153	促進条件: CO <sub>2</sub> 濃度5%, 湿度60%
塩分浸漬試験	JSCE-G572	促進期間: 91日 促進条件: 20°C, 10%NaCl溶液

### 3.2 特殊混和剤による品質改善効果の検証結果

#### (1) フレッシュコンクリートの品質

配合No.1~7のコンクリートのスランブおよび空気量の経時変化を図-4および図-5に示す。なお、コンクリート試料は練り舟内に静置しておき、試験の直前に十分に練返して用いた。特殊混和剤を添加しない従来のコンクリート(以下、従来コンクリートという)は、いずれの温度条件においても、練上がり直後は目標スランブを満足できたが、時間経過に伴い低下した。特に、35°Cおよび40°Cではスランブの低下が顕著であり、これらの温度条件下では、一般的に用いられる遅延形の減水剤の使用のみでは流動性を保持することは困難であった。

これに対し、特殊混和剤を後添加するコンクリート(以

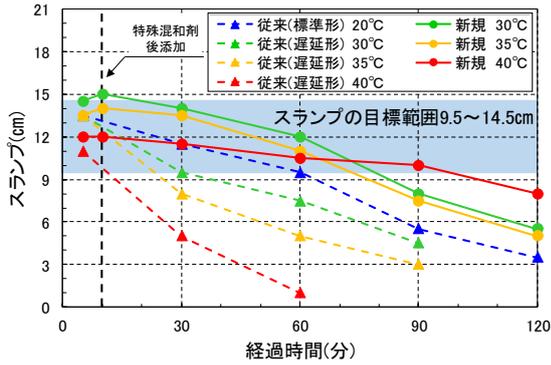


図-4 スラップの経時変化

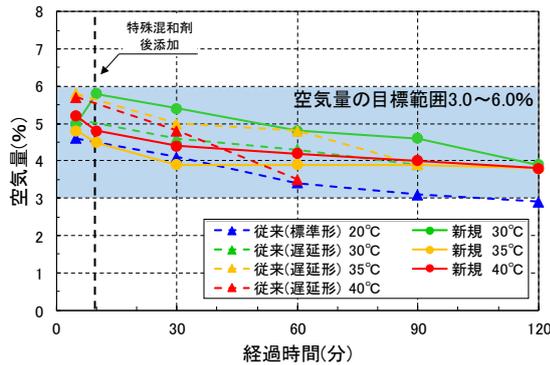


図-5 空気量の経時変化

下、新規コンクリートというは、35°Cないし 40°Cのような高温時でも、時間経過に伴うスラップの低下は小さく、長時間にわたり流動性を保持できた。また、練上がり 5 分後の従来コンクリートと特殊混和剤を添加した直後の新規コンクリートでは、スラップは概ね等しく、急激な変化は認められなかった。

空気量の時間経過に伴う推移は、温度条件や特殊混和剤の添加の有無によらず概ね一定であり、計測時間内において目標とする範囲を満足した。

許容打重ね時間間隔、凝結時間の測定結果およびブリーディング率の測定結果を図-6～図-8に示す。従来コンクリートは、コンクリート温度が高いほど、許容打重ね時間間隔および凝結時間ともに短くなり、高温時における凝結促進の影響が認められた。また、ブリーディングは、温度が高いほど早期に終了し、最終的なブリーディング率の値は減少する傾向となった。

これに対して、新規コンクリートは、特殊混和剤の添加により許容打重ね時間間隔および凝結時間ともに従来コンクリートと比べて延長できた。なお、特殊混和剤の添加による過度な凝結遅延は認められなかった。また、ブリーディング率は、20°Cの従来コンクリートと同等であった。

## (2) 硬化コンクリートの品質

20°Cおよび 40°Cにおける従来コンクリートおよび 40°Cにおける新規コンクリートの圧縮強度を図-9に示す。40°Cの温度条件下では、高温の影響により初期のセ

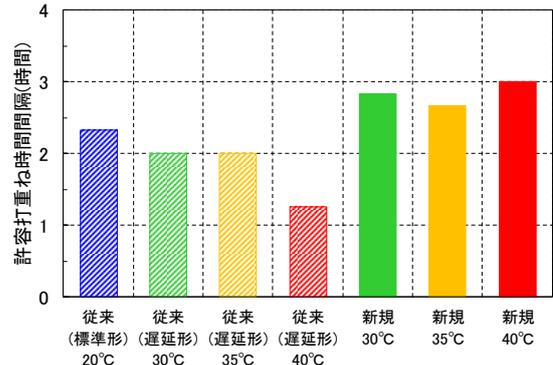


図-6 許容打重ね時間間隔

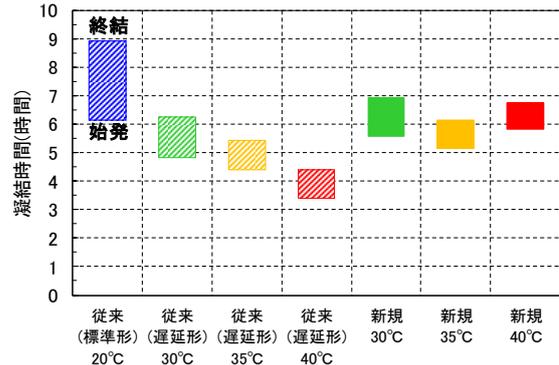


図-7 凝結時間

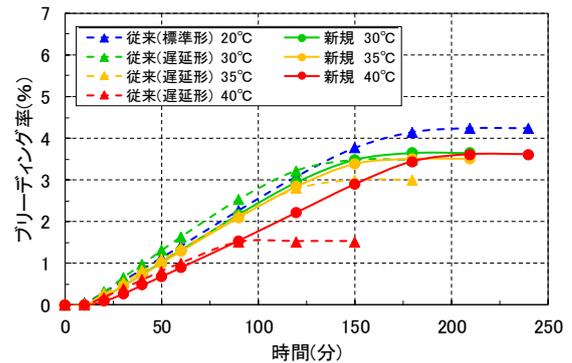


図-8 ブリーディング率

メントの水和反応が促進されるため、いずれのコンクリートにおいても材齢 1 日の圧縮強度は増加した。その後の強度発現は 20°Cにおける従来コンクリートと同等であった。一般に、コンクリートは温度が高いほど長期材齢における強度増加が低下する場合があると指摘されているが<sup>9)</sup>、本論文での検討範囲では強度低下は認められなかった。また、特殊混和剤の添加による強度発現への悪影響も認められなかった。

促進中性化試験および塩分浸漬試験の結果を図-10に示す。従来コンクリートの 20°Cと 40°Cを比較すると、塩分浸透深さは同等だったが、中性化深さは 40°Cの方が小さかった。既往の調査<sup>7)</sup>においても、中性化深さは標準期よりも暑中期のコンクリートの方が小さいと示されているが、詳細な理由については今後の検討課題としたい。40°Cにおける新規コンクリートは、いずれの試験も、同一温度における従来コンクリートと同等であった。今

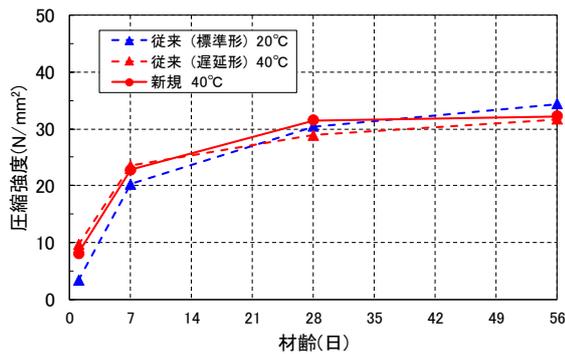


図-9 圧縮強度

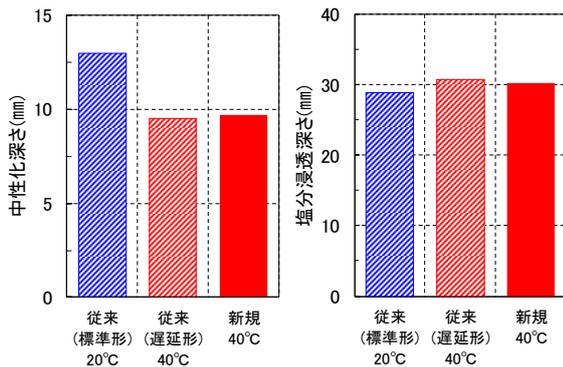


図-10 中性化深さと塩分浸透深さ

後、更に試験データを集積していく必要があるものの、今回の実験では温度が高いことや特殊混和剤を添加したことによる耐久性への悪影響は認められなかった。

### 3.3 特殊混和剤の適用範囲の検証結果

特殊混和剤の適用範囲を確認するため、高性能 AE 減水剤を使用したコンクリート(配合 No.8~10)および高炉セメント B 種を使用したコンクリート(配合 No.11~13)における品質の改善効果を検証した。

スランブの経時変化および許容打重ね時間間隔の結果を図-11 および図-12 に示す。特殊混和剤を使用した新規コンクリートは、40°Cの温度条件下でも、長時間にわたりスランブが保持でき、許容打重ね時間間隔も延長できる結果が得られた。このため、今回開発した特殊混和剤は、普通コンクリートに使用されている減水剤の種類やセメントの種類に関わらず、暑中コンクリートの品質を改善できると考えられる。

## 4. 実機試験による品質改善効果の検証

コンクリート温度が 35°Cを超える暑中環境下において、生コン工場で実機試験を行い、特殊混和剤の適用による品質改善効果を検証した。

### 4.1 実験概要

使用材料および配合を表-4 および表-5 に示す。試験を実施した生コン工場の 27-12-20N の配合を用いた。

コンクリートの製造は生コン工場の実機ミキサを用い、1 バッチの練混ぜ量を 2m<sup>3</sup> として 2 バッチ製造してアジ

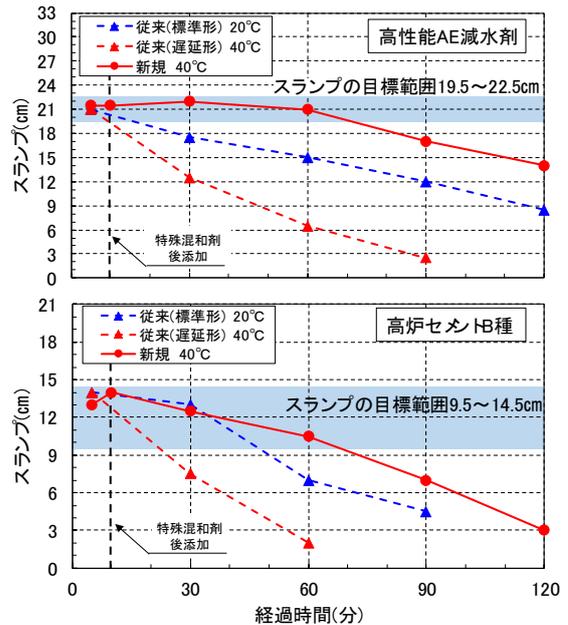


図-11 スランブの経時変化

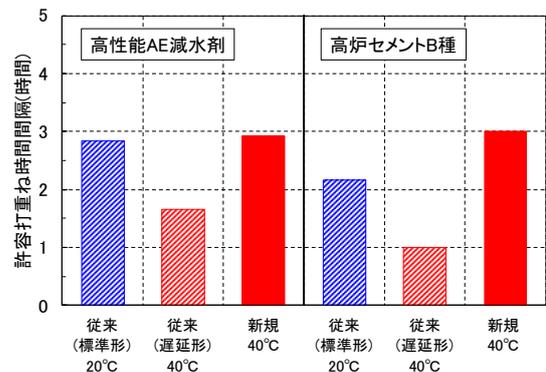


図-12 許容打重ね時間間隔

テータ車に排出した。特殊混和剤の添加は、生コン工場から施工現場への運搬後を想定し、練上がり 30 分後の品質試験終了後に行った。特殊混和剤はアジテータ車のホッパーから投入し、その後、ドラムを 60 秒間高速回転させた(写真-1)。

品質試験として、練上がりから 30 分間隔でスランブおよび空気量を測定した。また、圧縮強度試験用の供試体を採取し、材齢 91 日まで工場敷地内の屋外にて現場封緘養生した。

試験日の外気温は 33°C、コンクリート温度は 37°C であった。

### 4.2 試験結果および考察

スランブおよび空気量の経時変化を図-13 に示す。従来コンクリートは、練上がり 90 分後までは目標スランブの範囲を満足したが、その後は目標スランブの下限値(9.5cm)を下回った。これに対して、練上がり 30 分後に特殊混和剤を投入した新規コンクリートは、時間経過に伴うスランブの低下が小さく、練上がり 150 分後まで目標スランブを満足した。なお、実機試験におけるスラン

表-4 使用材料(実機試験)

種類	記号	成分および物性
セメント	C	N:普通セメント, 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
水	W	上水道水, 密度1.00g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	混合砂(陸砂:砕砂:スラグ砂=45:30:25), 表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	砕石2005, 表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> , 実積率59.0%
混和剤	HWR	AE減水剤(高機能タイプ), 遅延形を使用
	-	特殊混和剤, 後添加型

表-5 コンクリートの配合(実機試験)

コンクリート種類	目標スランブ(cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤(C×%)	
				W	C	S	G	HWR	特殊混和剤
従来	12±2.5	53.0	44.3	171	323	800	1022	1.0	-
新規								1.0	0.15



写真-1 特殊混和剤の添加の状況

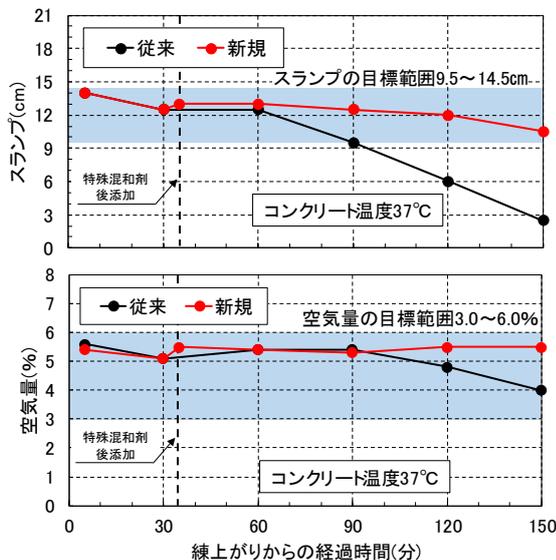


図-13 スランブおよび空気量の経時変化(実機試験)

プ低下の推移は、室内試験よりも小さいが、これは1バッチ当たりの練混ぜ量や常時アジテートした状態の試料を用いたことが影響していると考えられる。空気量は、いずれのコンクリートとも練上がりから150分後まで目標とする範囲を満足した。また、練上がり30分後の従来コンクリートと特殊混和剤を添加した直後の新規コンクリートでは、スランブおよび空気量の大きな変動は認められず、品質は安定していた。

屋外で現場封緘養生した材齢91日における圧縮強度

は、従来コンクリートが33.9N/mm<sup>2</sup>、新規コンクリートが32.0N/mm<sup>2</sup>であり、特殊混和剤の添加による強度発現への悪影響は認められなかった。

実機試験による一連の結果より、実際の暑中環境下でコンクリート温度が35°Cを超える場合においても、特殊混和剤を添加することでフレッシュ時の品質を改善できることが確認できた。

## 5. まとめ

普通コンクリートに後添加することで、暑中コンクリートの品質を改善できる特殊混和剤を開発し、これを用いたコンクリートの各種品質を室内および実機試験で検証した。本論文で得られた知見を以下に示す。

- (1) 特殊混和剤を普通コンクリートに後添加することで、コンクリート温度が35°Cを超える場合でも、流動性や許容打重ね時間間隔を長時間確保でき、暑中コンクリートの品質を改善できる。
- (2) 特殊混和剤の添加による強度発現性および耐久性への悪影響は認められない。
- (3) 特殊混和剤は、添加する前のコンクリートに使用する減水剤の種類やセメントの種類に関わらず、暑中コンクリートの品質を改善できる。
- (4) 実機レベルにおいても、特殊混和剤を添加することで、コンクリート温度が35°Cを超える環境下における暑中コンクリートの品質を改善できる。

## 参考文献

- 1) 気象庁 過去の気象データ・ダウンロード：  
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (閲覧日：2019年12月15日)
- 2) 日本建築学会：暑中コンクリートの施工指針・同解説，pp.15-56，2019.7
- 3) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.169-174，2018
- 4) 桜井邦昭，平田隆祥：生コンの鮮度を保ちコールドジョイントを防止する「フレッシュキープ工法」の開発，セメント・コンクリート，No.829，pp.39-45，2016.6
- 5) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.118-120，2018
- 6) 小山智幸，小山田英弘，伊藤是清：暑中コンクリートの現状と対策，コンクリート工学，Vol.50，No.3，pp.239-244，2012.3
- 7) 日本建築学会近畿支部：近畿地区における建築工事の暑中期に施工されるコンクリートの荷卸し時の温度に関する調査・検討，コンクリート工学，Vol.57，No.7，2019.7