

# 報告 特殊混和剤を添加した新しい暑中コンクリートの汎用性に関する 実機レベルでの検討

伊佐治 優\*1・桜井 邦昭\*2・齊藤 和秀\*3・大石 卓哉\*4

**要旨：**生コン工場で製造したコンクリートに特殊混和剤を添加することで、施工性を改善できる新しい暑中コンクリートを開発している。本稿では、暑中期のコンクリート工事に幅広く汎用的に適用できることを検証するため、日本各地の生コン工場の呼び強度や流動性の異なるコンクリートを用いて実機レベルでの検討を行った。その結果、コンクリート温度に応じて特殊混和剤の添加量を調整することで、材料や配合条件によらず、標準期の特殊混和剤を用いないコンクリートと同等以上に流動性を保持し、打重ね時間間隔を延長できること、添加前後のフレッシュ性状の変化は小さく、硬化後の品質も同等であること等を確認した。

**キーワード：**暑中コンクリート、特殊混和剤、流動性、許容打重ね時間間隔、ブリーディング、圧縮強度

## 1. はじめに

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低下しやすい。このため、各種仕様書や指針類では、コンクリート温度の上限値の標準を一般的に35℃としている。しかし、近年の地球温暖化やヒートアイランド現象などの影響により、最高気温が35℃を超える日が多発し、コンクリート温度を35℃以下に制御することが困難になりつつある。また、35℃を超えない場合でも、流動性の低下や打込み面の急激なこぼりに起因した不具合の発生が懸念される。

このような状況を鑑み、新規に開発した特殊混和剤を生コン工場で製造する普通コンクリートに添加することで35℃を超える暑中環境下でも標準期と同等の施工性を有するコンクリート(以下、新規コンクリートという)を開発した。既報<sup>1)~5)</sup>にて、各種品質試験や模擬部材を用いた打込み実験を行い、特殊混和剤を添加することで、暑中環境下でも長時間流動性を保持でき、施工性を改善できることを確認した。さらに、実施工に適用し、外気温が35℃程度の暑中環境下でも、充填不良やコールドジョイント等の不具合を生じることなくコンクリート構造物を構築できることを確認した。

一方、2023年改訂のコンクリート標準示方書【施工編】の目的別コンクリートにおいて35℃を超える暑中コンクリートが新設された<sup>6)</sup>。流動性を長時間保持でき、凝結時間を遅延できる混和剤を用いる場合、打込み温度の上限を38℃まで緩和できることが示された。これにより、35℃を超える暑中環境下での施工や、35℃以下の場合でも暑中コンクリートの施工性の改善を目的として、特殊混和剤を使用する機会が増加すると想定される。

そこで、本稿では、特殊混和剤が使用時期、地域および添加するコンクリートの種類によらず、汎用的に幅広く適用できることを検証するため、日本各地の生コン工場にて実機試験を実施した結果を報告する。

## 2. 特殊混和剤の概要

開発した特殊混和剤は、コンクリートの流動性を長時間保持する「セメント分散成分(ポリカルボン酸系化合物)」と凝結時間を制御する「凝結遅延成分(オキシカルボン酸塩と糖類)」を組み合わせた混和剤であり、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、土木学会規準のJSCE-D504「暑中環境下におけるコンクリートのスランプの経時変化・凝結特性に関する混和剤の試験方法」に示される試験を行い、先述の目的別コンクリートに示される基準を満足することを確認している。なお、この特殊混和剤は、コンクリート温度がさらに高い40℃の場合でも、20℃のコンクリートと同等の流動性の保持時間や許容打重ね時間間隔を確保できることも室内試験にて確認している<sup>2)</sup>。



写真-1 特殊混和剤の投入状況 (別途添加)

\*1 ㈱大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任 修士(工学) (正会員)

\*2 ㈱大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 上席研究員 博士(工学) (正会員)

\*3 竹本油脂㈱ 第三事業部営業統括部営業技術グループ グループリーダー 博士(工学) (正会員)

\*4 竹本油脂㈱ 第三事業部研究開発部化学グループ 修士(工学) (正会員)

表-3 コンクリートの配合

コンクリート種類	試験時期	目標スランブ(cm)	目標空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						混和剤(C×%)		特殊混和剤(C×%)
						W	C	S1	S2	S3	G	標準形	遅延形	
従来コン	標準期	12±2.5	4.5±1.5	52.4	46.1	171	326	329	333	165	976	1	-	-
	暑中期A・B											-	1.5	-
	酷暑期											-	1.5	-
新規コン	暑中期A	12±2.5	4.5±1.5	52.4	46.1	171	326	329	333	165	976	-	1.5	0.1
	暑中期B											-	1.5	0.2
	酷暑期											-	1.5	0.3

表-1 実機試験の実施時期

呼び方	実施時期	想定したコンクリート温度	試験時の平均温度	
			外気温	コンクリート温度
標準期	4月下旬	20℃程度	16.6℃	18.4℃
暑中期A	6月中旬	25℃～30℃	27.6℃	29.4℃
暑中期B	7月中旬	30℃～35℃	29.9℃	32.8℃
酷暑期	8月上旬	35℃以上	33.2℃	36.8℃

表-2 使用材料

種類	記号	物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 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	S1	川砂, 表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.44%, 粗粒率2.40
	S2	砕砂, 表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.05%, 粗粒率2.69
	S3	川砂, 表乾密度2.63g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.05%, 粗粒率3.20
粗骨材	G	砕石2005, 表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.62%, 粗粒率3.20
混和剤	HWR	AE減水剤(高機能タイプ), 標準形と遅延形を使用 ※市販品
	HT	特殊混和剤 ※開発品

この特殊混和剤は、写真-1 に示すように、生コン工場で製造したコンクリートを積載したアジテータ車のホッパから投入して製造する別途添加型として用いることを想定している。これは、別途添加型の方が、施工日の外気温の変動等の環境条件や流動性を保持したい時間の長さ等の施工条件に柔軟に対応しやすいと考えられるからである。なお、コンクリート製造時に、特殊混和剤を他の材料と同時に投入して製造するプラント添加型として用いることも可能である。

### 3. コンクリート温度が異なる場合での適用性の検証

新規コンクリートによる暑中期のフレッシュコンクリートの品質改善効果や硬化コンクリートの品質を実機レベルで検証した。検証実験は、コンクリート温度の違いによらず施工性を改善できることを検証するため、表-1 に示す4つの時期に実施した。具体的には、コンクリート温度が20℃程度の標準期、25℃～30℃の暑中期A、30℃～35℃の暑中期B、35℃以上となる酷暑期とした。

#### 3.1 実験概要

使用材料およびコンクリート配合を表-2 および表-3 に示す。コンクリートの配合は、土木分野にて一般的なコンクリート工事で用いられる27-12-20Nを使用した。標準期の試験では、AE減水剤(高機能タイプ)の標準形を使用した標準配合とし、暑中期A、暑中期Bおよび酷暑期の試験では、遅延形を使用した夏期配合とした。

表-4 試験項目一覧

試験項目	準拠基準	備考
スランブ	JIS A 1101	練上がりから30分ごとと特殊混和剤の添加前後に測定
空気量	JIS A 1128	練上がりから30分ごとと特殊混和剤の添加前後に測定
コンクリート温度	JIS A 1156	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
圧縮強度	JIS A 1108	工場敷地内で所定の材齢まで封緘養生材齢1日、7日、28日で強度試験
中性化深さ	JIS A 1152 JIS A 1153	CO <sub>2</sub> 濃度5.0%, 相対湿度60%で促進中性化を行い、所定期間に中性化深さを測定
塩分浸透深さ	JSCE-G573	濃度10%のNaCl溶液に供試体を浸漬し、所定の期間後に塩分浸透深さを測定

生コン工場の実機ミキサでコンクリートを製造し、アジテータ車に積み込んだ。生コン工場から施工現場までの運搬を想定し、練混ぜから30分後に目標スランブ(12cm)になるように、練上がり時のスランブを調整した。

新規コンクリートの製造では、特殊混和剤は別途添加型として使用し、練上がり30分後に特殊混和剤をアジテータ車のホッパから投入し、ドラムを150秒間高速攪拌させて製造した。特殊混和剤の添加量はコンクリート温度に応じて調整し、暑中期Aでは単位セメント量の0.1%、暑中期Bは0.2%、酷暑期は0.3%とした。

試験項目を表-4 に示す。フレッシュコンクリートの品質試験として、スランブと空気量を練混ぜから30分ごとと特殊混和剤の添加前後に測定した。また、練混ぜから30分後に試料を採取し、ブリーディング率および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>に達するまでの時間を測定した。なお、一般的に貫入抵抗値が0.1N/mm<sup>2</sup>を超えると、締固めが困難となりコールドジョイントが生じる危険性が高いことから<sup>6),7)</sup>、本報告ではこの時間を許容打重ね時間間隔とした。ブリーディング率および貫入抵抗値の測定は、試料に直接日光が当たらない屋外の日陰で実施した。

硬化コンクリートの品質の確認として、圧縮強度試験を行った。試験は材齢1日、7日、28日とし、供試体は練上がりから30分後に採取し、その後は所定の材齢まで屋外の日陰にて封かん養生した。

#### 3.2 試験結果および考察

##### (1) フレッシュコンクリートの品質改善

スランブの経時変化を図-1 に示す。特殊混和剤を用いないコンクリート(以下、従来コンクリートという)の場合、標準期では練上がりから120分にわたり目標とす

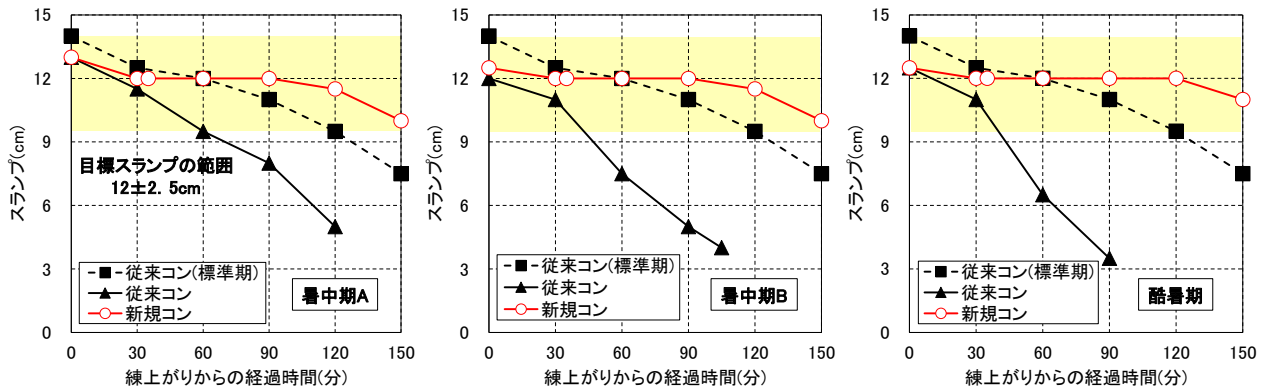


図-1 スランプの経時変化

表-5 ブリーディングの測定結果

コンクリート種類	実施時期	ブリーディング試験	
		ブリーディング率(%)	終了時間※(分)
従来コンクリート	標準期	4.3	210
	暑中期A	3.5	180
	暑中期B	3	150
	酷暑期	1.5	120
新規コンクリート	暑中期A	3.7	210
	暑中期B	3.6	210
	酷暑期	3.6	210

※ ブリーディングが終了した時間

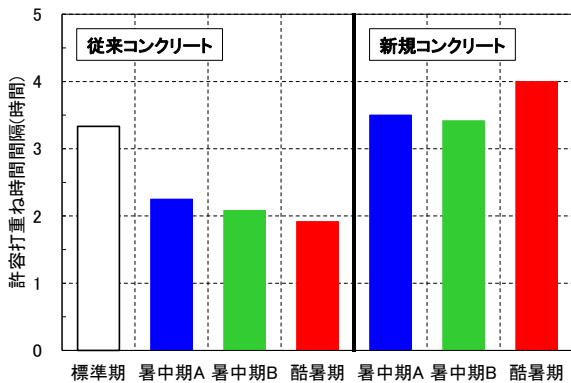


図-2 許容打重ね時間間隔の結果

る流動性を満足できた。しかしながら、暑中期や酷暑期では温度が高くなるに従い、早期に流動性が低下した。これに対し、新規コンクリートは、いずれの実施時期においても練上がりから150分にわたり目標とする流動性を保持できた。特殊混和剤を用いることで、従来コンクリートを標準期に用いる場合と同等以上に所要の流動性を保持できることを確認した。なお、特殊混和剤の後添加後の空気量の変動は0.5%程度であり、試験終了時の150分後においても目標の空気量を満足していた。

ブリーディングの測定結果を表-5に示す。従来コンクリートは、温度が高いほどブリーディングは早期に終了し、ブリーディング率も標準期と比較して半分程度まで少なくなった。これに対して、新規コンクリートでは、実施時期によらず、標準期の従来コンクリートと同等であった。暑中期のコンクリート工事では、ブリーディングの減少により仕上げが困難になり、表面が急激に乾燥してプラスチック収縮ひび割れが生じることもある。

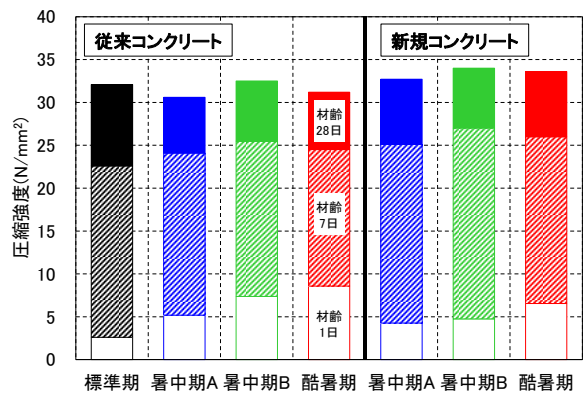


図-3 圧縮強度試験の結果

このため、新規コンクリートは、暑中期や酷暑期の仕上げ作業を容易にするとともに、仕上がり面の品質確保の上でも有効と考えられる。

各種コンクリートの許容打重ね時間間隔の結果を図-2に示す。従来コンクリートは、標準期では3時間以上を確保できたが、暑中期や酷暑期では2時間前後と短くなった。これに対し、新規コンクリートの場合には、実施時期によらず、3.5~4時間を確保できた。新規コンクリートは暑中期や酷暑期でも許容打重ね時間間隔を長時間確保できるため、コールドジョイントの発生防止に有効と考えられる。

一連の検証より、新規コンクリートは、特殊混和剤の添加量をコンクリート温度に応じて調整することによって、暑中期のあらゆる時期においても、流動性の保持、適度なブリーディング量の確保や許容打重ね時間間隔の延長といったフレッシュコンクリート品質を改善できることが確認できた。

## (2) 硬化コンクリートの品質

圧縮強度の試験結果を図-3に示す。コンクリート温度が高くなるに従い、材齢1日の圧縮強度は増加したものの、材齢7日以降の圧縮強度は、いずれのコンクリートも同等であった。

今回の実験の範囲内では、コンクリート温度の違いや特殊混和剤の有無が硬化コンクリートの品質に与える影響は認められなかった。

表-7 各種コンクリートの配合

No.	実験場所	呼び方	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						混和剤		特殊混和剤		コンクリート温度(°C)
					W	C	S1	S2	S3	G	種類	添加量(C×%)	添加方法	添加量(C×%)	
1	東京	45-21-20N	39.1	45.0	175	448	752	-	-	944	SP	1.0	-	-	33
													別途添加	0.1	
2	東京	40-21-20M	41.3	46.4	172	417	794	-	-	942	SP	0.9	-	-	34
													別途添加	0.1	
3	愛知	36-18-20N	44.5	46.7	170	382	323	326	162	946	SP	0.8	-	-	37
													別途添加	0.1	
4	沖縄	30-12-20FB	55.0	51.4	171	311	461	461	-	948	HWR	0.8	-	-	33
													プラント添加	0.3	
5	静岡	27-12-20BB	53.0	45.3	163	308	817	-	-	1104	WR	1.5	-	-	31
													別途添加	0.1	
													プラント添加	0.1	

表-6 各種コンクリートの使用材料

実験場所	種類	記号	物理的性質など
東京	セメント	N	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm <sup>3</sup>
		M	中庸熱ポルトランドセメント、密度3.21g/cm <sup>3</sup>
	細骨材	S1	山砂と石灰砕砂の混合砂、表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> 、粗粒率2.48
	粗骨材	G	石灰砕石2005、表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> 、実積率61.0%
愛知	セメント	N	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm <sup>3</sup>
	細骨材	S1	川砂、表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> 、吸水率1.44%、粗粒率2.40
		S2	砕砂、表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup> 、吸水率1.05%、粗粒率2.69
		S3	川砂、表乾密度2.63g/cm <sup>3</sup> 、吸水率1.05%、粗粒率3.20
粗骨材	G	砕石2005、表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> 、吸水率0.62%、粗粒率3.20	
沖縄	セメント	FB	フライアッシュセメントB種、密度2.98g/cm <sup>3</sup>
	細骨材	S1	海砂、表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup> 、粗粒率2.30
		S2	石灰砕砂、表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup> 、粗粒率2.90
	粗骨材	G	石灰砕石2005、表乾密度2.70g/cm <sup>3</sup> 、実積率59.0%
静岡	セメント	BB	高炉セメントB種、密度3.04g/cm <sup>3</sup>
	細骨材	S1	川砂、表乾密度2.61g/cm <sup>3</sup> 、粗粒率2.70
	粗骨材	G	砕石2005、表乾密度2.92g/cm <sup>3</sup> 、実積率58.0%
共通	混和剤	WR	AE減水剤(遅延形)、主成分:変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸塩
		HWR	AE減水剤(高機能タイプ)(遅延形)、主成分:変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系化合物
		SP	高性能AE減水剤(遅延形)、主成分:ポリカルボン酸系化合物
		HT	暑中コンクリート用特殊混和剤、主成分:ポリカルボン酸系化合物、オキシカルボン酸塩および糖類

4. 使用材料や強度レベルの異なるコンクリートへの適用性の検証

使用材料や強度レベルの異なるコンクリートに対しても、特殊混和剤を添加することで流動性の保持時間や許容打重ね時間間隔を延長できることの検証を行った。

4.1 実験概要

各実験試験での使用材料およびコンクリート配合を表-6および表-7に示す。土木分野と、建築分野では一般的に使用される配合が異なることから、表に示すように強度レベル、スランブおよび使用材料の異なるコンクリートで実験を実施した。具体的には、表中のNo.1~3は建築工事、No.4~5は土木工事を想定した配合である。また、地域によって使用する骨材の性質が異なることが想定されるため、日本各地の生コン工場で実施した。

東京および愛知の生コン工場での実験では、特殊混和剤を別途添加型混和剤として使用した。新規コンクリートは、実機ミキサで従来コンクリートを製造し、アジテータ車に積載した後に、練上がり30分後に特殊混和剤を添加して製造した。沖縄での実験では、特殊混和剤をプラント添加型混和剤として使用し、工場でのコンクリートを製造する際に、特殊混和剤を他の材料と同時に投入し、新規コンクリートを製造した。静岡での実験では、別途添加とプラント添加の両者の方法で新規コンクリ

トを製造した。特殊混和剤の使用量は、使用材料や配合条件の違いによる特殊混和剤の効果の影響を確認する観点から、0.1%を基本とした。ただし、No.4は事前の室内試験において0.1%ではスランブの保持効果が十分ではなかったため、実機試験では0.3%とした。

品質試験に関しては、フレッシュコンクリートについてはスランブの経時変化および許容打重ね時間間隔の評価として貫入抵抗値が0.1N/mm<sup>2</sup>に達するまでの時間を測定し、硬化コンクリートでは圧縮強度試験を実施した。いずれも3章の表-4に示す試験と同じ方法で実施した。

4.2 試験結果および考察

スランブの経時変化を図-4に示す。配合や使用材料の異なる、いずれの生コン工場でも製造したコンクリートに対しても、特殊混和剤の添加により、従来コンクリートと比べて、流動性の保持時間を60分以上延長できた。

許容打重ね時間間隔は、図-5に示すように、いずれのコンクリートでも特殊混和剤の添加により、従来コンクリートに対して、打重ね可能な時間を約60分延長でき、3.5時間程度を確保できた。また、No.5の結果から流動性の保持や打重ね時間の延長の効果は、別途添加とプラント添加の添加方法による違いは認められなかった。

圧縮強度試験の結果を図-6に示す。強度レベルや使用するセメントの種類によらず、いずれのコンクリートにおいても、特殊混和剤の有無による圧縮強度への影響は認められなかった。

以上の結果を踏まえると、新規コンクリートは、使用材料や混和剤種類によらず、日本各地の土木工事あるいは建築工事で汎用的に用いられているコンクリートに広く適用できると考えられる。

5. 特殊混和剤の添加前後におけるコンクリート品質の変動の検証

特殊混和剤を別途添加型として使用する場合、添加前後においてコンクリートの品質の変化が懸念される。特に特殊混和剤の添加により、流動性が過度に増大し材料分離を生じることや空気量の過度な増加により強度や耐久性の低下を招く恐れが考えられる。このため、コンクリート標準示方書【施工編】の35°Cを超える暑中コンク

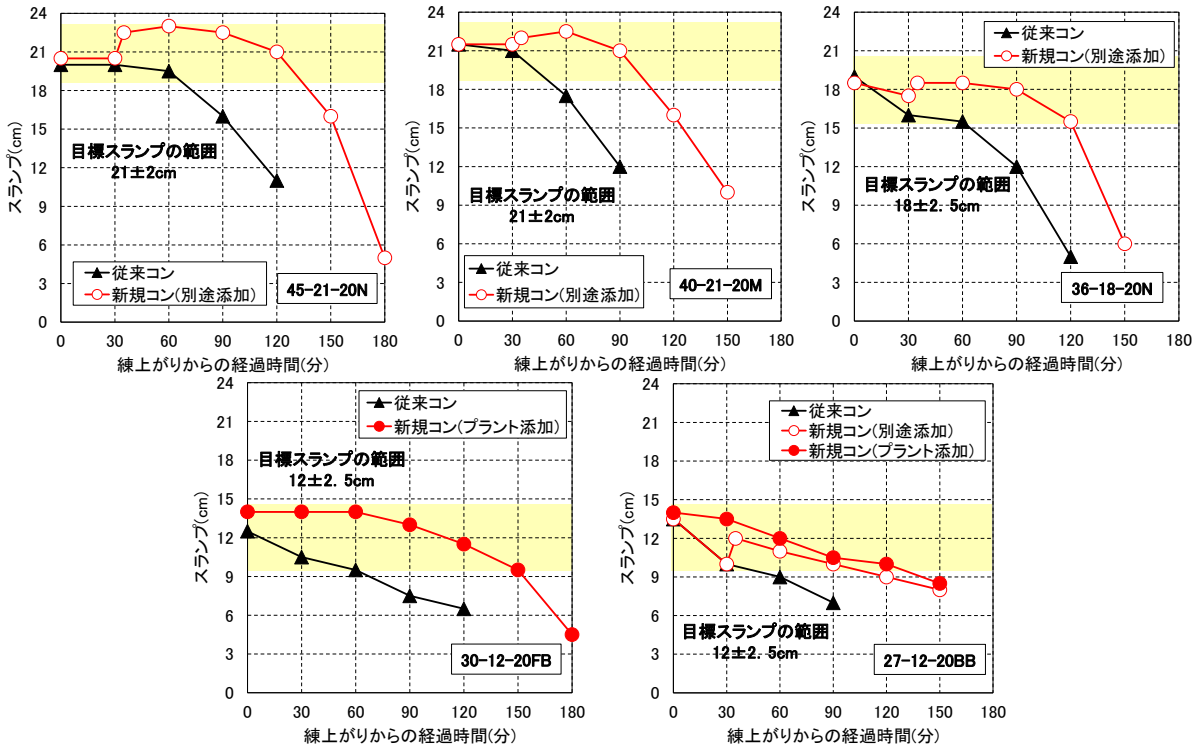


図-4 各種コンクリートのスラブの経時変化

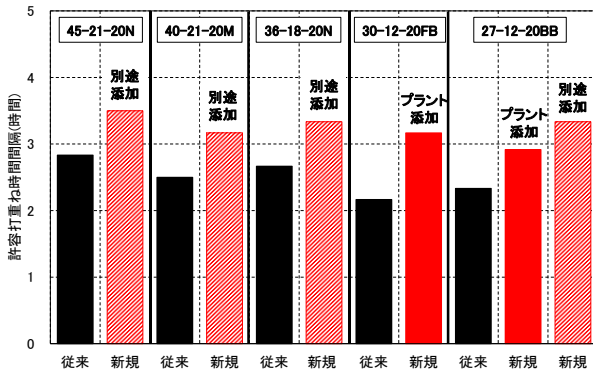


図-5 各種コンクリートの許容打重ね時間間隔

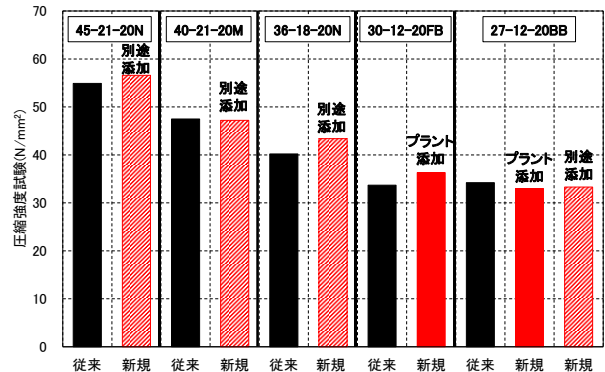


図-6 各種コンクリートの圧縮強度

リート<sup>6)</sup>では、品質管理として、別途添加型混和剤を添加する場合は、添加前後において目標とする品質のコンクリートであることを確認するように示している。具体的には、スラブと空気量の目標値に対する許容差の判定基準を示しており、目標としたスラブに対して $\pm 2.5\text{cm}$ 、目標とした空気量に対して $\pm 1.5\%$ としている。

そこで、本稿と過去に実施した実機試験での特殊混和剤の添加前後のスラブと空気量の変化量の測定結果を整理して図-7と図-8に示す。ここで、添加後の目標スラブと空気量は、特殊混和剤の添加前のコンクリート(以下、ベースコンクリートという)の荷卸し時の目標スラブおよび空気量と同じ値とし、スラブと空気量の許容差の範囲をそれぞれ $\pm 2.5\text{cm}$ と $\pm 1.5\%$ とした。

特殊混和剤の添加前後において、スラブは最大で2.0cm程度の増加が認められたが、いずれのコンクリートもその増加量は目標としたスラブの許容差の範囲を満足した。ベースコンクリートに使用する混和剤の種類

別で比較すると、高性能 AE 減水剤を用いた場合に、スラブが若干増大しやすい傾向が認められた。

空気量は、添加前後において、変動が認められたものの、その変化は小さく、いずれのコンクリートも目標とした空気量の範囲内を満足した。特殊混和剤には、空気量を調整する成分が含まれており、その効果により添加前後での空気量の変動を小さく制御できたと考えられる。

一方で、今回の検討で2.0cm程度のスラブの増大が認められたことから、仮にベースコンクリートの荷卸し時のスラブが目標スラブの許容差の上限付近であった場合、特殊混和剤の添加後に許容差の範囲を超える可能性がある。そこで、目標スラブが12cmのコンクリートに対し、許容差の上限付近となるようにベースコンクリートを製造し、特殊混和剤を添加した場合について追加で検討した。試験に用いたコンクリートは表-7中のNo.5と同じ27-12-20BBで、コンクリート温度が $35^\circ\text{C}$ を超える時期に実機試験を行い、特殊混和剤はセメント量

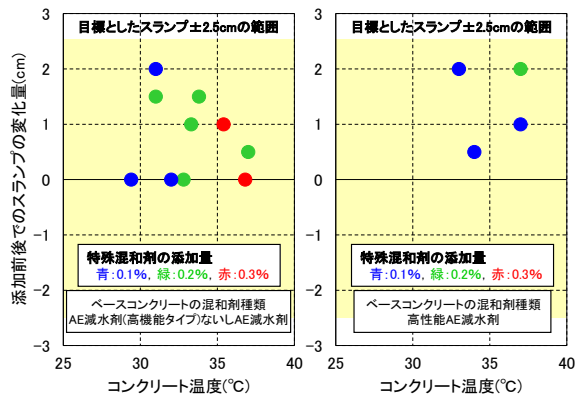


図-7 特殊混和剤添加前後のスラブの変化量

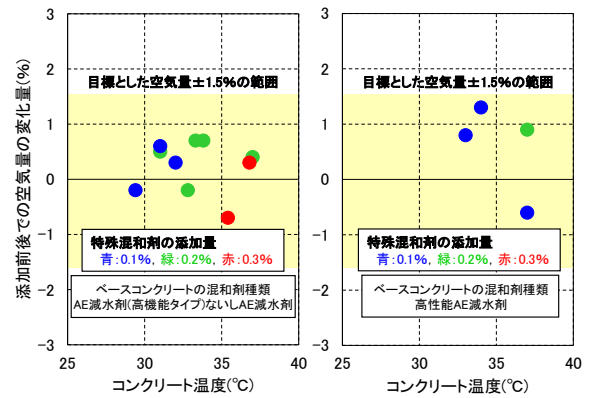
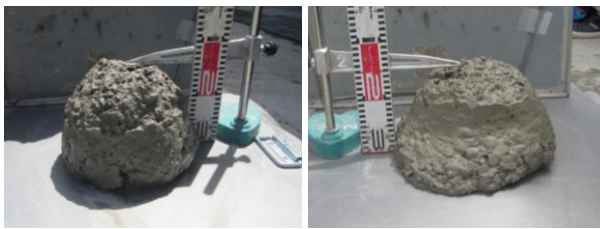


図-8 特殊混和剤添加前後の空気量の変化量



(a) 添加前：13.5cm (b) 添加後：15cm

写真-2 許容範囲を超えた場合のコンクリートの性状

に対して 0.3%添加した。試験結果を写真-2 に示す。ベースコンクリートのスラブは 13.5cm で、これに特殊混和剤を添加することでスラブは 15cm となり、許容差の範囲を超える結果となったが、材料分離は全く認められず、良好な状態であった。また、添加前後の試料から採取した供試体の材齢 28 日の圧縮強度は、添加前が 34.8N/mm<sup>2</sup> で、添加後が 34.6N/mm<sup>2</sup> であり、硬化後の品質への影響も認められなかった。このことから、仮に、特殊混和剤の添加により、スラブの許容差の範囲を超えたとしてもコンクリート品質への影響は小さいと考えられる。そのため、実工事においては、特殊混和剤の添加前に所定の品質のベースコンクリートが入荷されていることの確認と、特殊混和剤の投入時の添加量の管理によって、品質管理を行う方法も可能であると考えられる。

以上の結果から、今回の検討の範囲内では、特殊混和剤の添加前後でのコンクリート品質の大きな変動は認められず、安定した品質を確保できることを確認した。

## 6. まとめ

特殊混和剤を添加することで、暑中期においても標準期と同等の施工性を有する新しい暑中期コンクリートの効果をコンクリート温度の異なる暑中期や使用材料や強度レベルの異なるコンクリートで検証した。得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリート温度により特殊混和剤の添加量を調整することで、暑中期のいずれの時期でも、フレッシュ時の品質を標準期のコンクリートと同等以上にまで改善でき、硬化後の品質に悪影響を与えない。

- (2) 特殊混和剤は、使用材料や強度レベルの違いによらず、暑中期コンクリートのフレッシュ時の品質を改善でき、コンクリート工事で汎用的に用いられるコンクリートに広く適用できる。
- (3) 特殊混和剤は別途添加とプラント添加の使用方法によらず、暑中期コンクリートの品質を改善できる。
- (4) 特殊混和剤の添加前後におけるスラブや空気量の若干の変動は認められるものの、フレッシュコンクリート品質への影響は小さい。

## 参考文献

- 1) 桜井邦昭, 伊佐治優, 齊藤和秀, 大石卓哉: 新規の特殊混和剤による暑中期コンクリートの施工性改善と品質確保, コンクリート工学, 第 60 巻, 7 号, pp.597-604, 2022
- 2) 伊佐治優, 桜井邦昭, 齊藤和秀, 大石卓哉: 特殊混和剤による暑中期コンクリートの品質改善に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.941-946, 2020
- 3) 伊佐治優, 桜井邦昭, 齊藤和秀, 大石卓哉: 特殊混和剤の後添加により暑中期や酷暑期の施工性を改善できる新しいコンクリートの施工実験, コンクリート年次論文集, Vol.43, No.1, pp.1415-1420, 2021
- 4) 大石卓哉, 齊藤和秀, 桜井邦昭, 伊佐治優: 暑中期コンクリートの施工性を改善する特殊混和剤の作用機構に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1600-1605, 2022
- 5) 桜井邦昭, 伊佐治優, 諸石鉄二, 篠田康人: 特殊混和剤による暑中期の施工性を改善できる新しい暑中期コンクリートの実構造物への適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1624-1629, 2022
- 6) 土木学会: 2023 年制定コンクリート標準示方書【施工編】, pp.266-270, 2023
- 7) 土木学会: コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策, pp.7-20, 2000