論文　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

伊佐治　優[*1]・桜井　邦昭[*2]・齊藤　和秀[*3]・大石　卓哉[*4]

要旨：特殊混和剤を後添加することで，暑中期や酷暑期のコンクリート工事の施工性を改善できる新しいコンクリートを開発した。外気温の異なる暑中環境下において，実際にこのコンクリートを製造し，各種の品質や施工性を検証した。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，標準期の特殊混和剤を用いない普通コンクリートと同程度の流動性を保持でき，硬化後の品質も同等であることを確認した。また，35℃を越える酷暑環境下で壁部材を用いた施工実験を行い，標準期の普通コンクリートと同等の施工性を確保でき，良好な仕上がりの部材を構築できた。

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，コールドジョイント，酷暑期

1. はじめに

暑中期や酷暑期に施工するコンクリートは，コンクリート温度の上昇に伴い流動性が低下し易く，施工に起因した不具合の発生が懸念される。そこで，既報[1)]にて，特殊混和剤を後添加することで，コンクリート温度が35℃を超える酷暑環境下でも，長時間流動性を保持でき，硬化後の品質に悪影響を与えない新しいコンクリート(以下，新規コンクリートという)を開発した。

新規コンクリートに使用する特殊混和剤は，流動性を長時間保持できるコンクリートに用いる混和剤の主成分である「セメント分散成分」[2)]とセメントの凝結時間を制御する「凝結遅延成分」を組み合わせた液体の混和剤である(**写真－1**)。

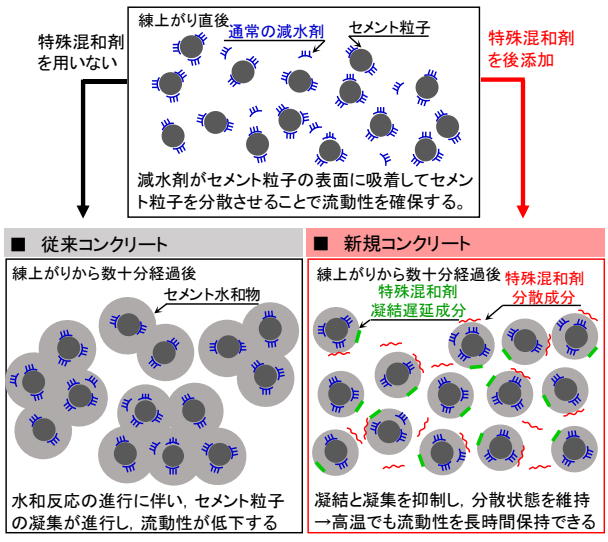
特殊混和剤による流動性保持の概念を**図－1**に示す。特殊混和剤を使用しない一般的なコンクリート(以下，従来コンクリートという)は，水和反応の進行に伴いセメント粒子が凝集するため，時間経過に伴い流動性が徐々に低下する。高温時には水和反応が促進され，流動性の低下はより顕著となる。

これに対して，特殊混和剤を添加した場合は，始めに特殊混和剤中の凝結遅延成分がセメント粒子に吸着し，水和反応を抑制する。その後，特殊混和剤中の分散成分が徐々にセメント粒子に吸着することで凝集を抑制し，分散状態を維持する。この2成分の効果により，高温時においても，流動性を長時間保持することが可能となる。なお，市販されている遅延形の混和剤(AE減水剤や高性能AE減水剤など)にも凝結を遅延させる成分も含有されているが[3)]，開発した特殊混和剤は更にその性能を高めるために遅延成分と分散成分を追加するものである。

本稿では，この特殊混和剤を用いた新規コンクリートの効果を実機レベルで検証することを目的として，実際の暑中環境下において実機試験および施工実験を行った。

実機試験は，コンクリート温度の異なる時期に4回実施した。レディーミクストコンクリート工場(以下，生コン工場という)の実機ミキサで普通コンクリートを製造

写真－1　特殊混和剤の外観



図－1　特殊混和剤による流動性保持の概念図

*1 ㈱大林組　技術本部　技術研究所　生産技術研究部　(正会員)
*2 ㈱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㈱　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㈱　第三事業部　研究開発部

表－３　コンクリートの配合および品質試験結果

配合No.	コンクリート種類	試験時期	目標スランプ(cm)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m³)						混和剤(C×%)			品質試験結果									
												HWR		特殊混和剤	スランプ(cm)							ブリーディング率(%)	許容打重ね時間間隔(h-m)	圧縮強度材齢28日(N/mm²)
						W	C	S1	S2	S3	G	標準形	遅延形		練混ぜ直後	30分後	後添加後	60分後	90分後	120分後	150分後			
1	従来コン	標準期	12±2.5	52.4	46.1	171	326	329	333	165	976	1.0	－	－	14.0	12.5	－	12.0	11.0	9.5	7.5	3.0	3-20	32.1
2		暑中期A										－	1.5	－	13.0	11.5	－	9.5	8.0	5.0	－	2.1	2-15	30.6
3		暑中期B										－	1.5	－	12.0	11.0	－	7.5	5.0	4.0(105分後)	－	1.8	2-05	32.5
4		酷暑期										－	1.5	－	12.5	11.0	－	6.5	3.5	－	－	1.5	1-55	31.2
5	新規コン	暑中期A										－	1.5	0.1	13.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.5	10.0	2.6	3-30	32.7
6		暑中期B										－	1.5	0.2	12.5	12.0	12.0	12.0	12.0	11.5	10.0	2.5	3-25	34.0
7		酷暑期										－	1.5	0.3	12.5	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.0	2.7	4-00	33.6

表－１　実機試験の実施時期

呼び方	実施時期	目標と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	成分および物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度3.16g/cm³，比表面積3280cm²/g
水	W	上水道水，密度1.00g/cm³
細骨材	S1	川砂，表乾密度2.62g/cm³，吸水率1.44%，粗粒率2.40
	S2	砕砂，表乾密度2.65g/cm³，吸水率1.05%，粗粒率2.69
	S3	川砂，表乾密度2.63g/cm³，吸水率1.05%，粗粒率3.20
粗骨材	G	砕石2005，表乾密度2.69g/cm³，吸水率0.62%，粗粒率6.36
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，後添加型　※開発品

して，アジテータ車に積み込んだ後，アジテータ車のホッパーから特殊混和剤を投入して新規コンクリートを製造した。そして，このコンクリートのフレッシュ時の品質改善効果と硬化後の品質を検証した。

施工実験では，コンクリート温度が35℃を越える酷暑環境下において，新規コンクリートを用いて壁部材を打設した。そして，新規コンクリートは，酷暑期のコンクリート工事の施工性を改善でき，良好な仕上がりの部材が構築できることを検証した。

2. 実機試験

2.1 実施時期

実機試験はコンクリート温度が異なる時期に4回行った(**表－1**)。具体的には，コンクリート温度が20℃程度となる時期(以下，標準期という)および暑中コンクリートの範疇となる 3 つの時期として，コンクリート温度がそれぞれ 25～30℃(以下，暑中期 A という)，30～35℃(以下，暑中期 B という)，35℃以上(以下，酷暑期という)で行った。

試験実施時の外気温とコンクリート温度は**表－1** 中に示す通りであった。

2.2 使用材料および配合

使用材料を**表－２**，配合を**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。なお，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 分後に目標スランプ(12cm)になるようにした。

既報 [1]にて，特殊混和剤の添加量はコンクリート温度が高いほど増加させる必要があることを確認している。そのため，本実験においても暑中期 A，暑中期 B，酷暑期とコンクリート温度が高くなるごとに，特殊混和剤の添加量を増加した。

表－４　試験項目一覧

試験項目	準拠基準	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
スランプ	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/mm²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

2.3 試験項目

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，コンクリート温度，スランプおよび空気量を練混ぜから 30 分ごとに測定した。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許容打重ね時間間隔を測定した。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^2 に達する時間とした [4]。なお，ブリーディング率および許容打重ね時間間隔の測定は，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，供試体は練混ぜから 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。

2.4 製造方法および特殊混和剤の添加方法

コンクリートの製造には，生コン工場の実機ミキサ(公称容量 2.75m^3)を用いた。コンクリートの練混ぜは，全材料をミキサに投入した後，25 秒間練り混ぜる方法とした。1 バッチ当たりの練混ぜ量は 2m^3 とし，2 バッチ製造して，アジテータ車へ排出した。

特殊混和剤は，練混ぜから 30 分後にアジテータ車のホッパーから投入し(**写真－２**)，150 秒間高速攪拌した。

2.5 試験結果および考察

(1) スランプおよび空気量の経時変化

スランプの経時変化を**図－2**に示す。特殊混和剤を添加しない従来コンクリートは，標準期では時間経過に伴うスランプの低下は小さく，練混ぜから 120 分まで目標のスランプを満足した。

一方，暑中コンクリートの範疇となる暑中期 A，暑中期 B および酷暑期の従来コンクリートは，高温の影響により，時間経過に伴うスランプの低下が大きくなった。特に，暑中期 B と酷暑期はスランプの低下が顕著であり，練混ぜから 60 分後には目標スランプを大きく下回った。

これに対して，特殊混和剤を後添加した新規コンクリートは，いずれの試験時期においても，時間経過に伴うスランプの低下は小さく，長時間にわたり流動性を保持することができた。なお，いずれの新規コンクリートも長時間にわたりスランプ 12cm を保持できたため，図中のデータは重なって表示されている。

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，標準期の従来コンクリートと同等以上に流動性を保持できることを確認した。

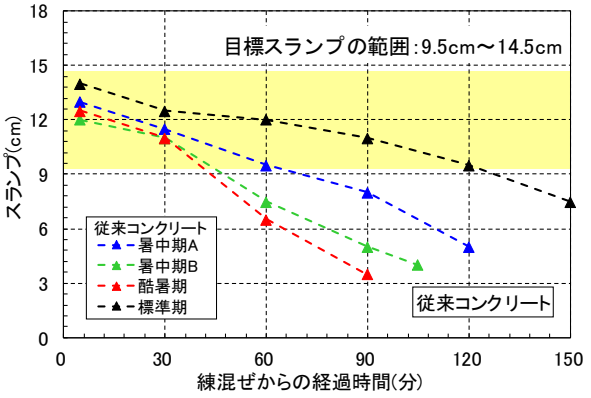
空気量の経時変化を**図－３**に示す。空気量の時間経過に伴う変化は，試験時期や特殊混和剤の添加の有無によらず小さく，計測時間内において目標の範囲を満足した。

(2) ブリーディング率

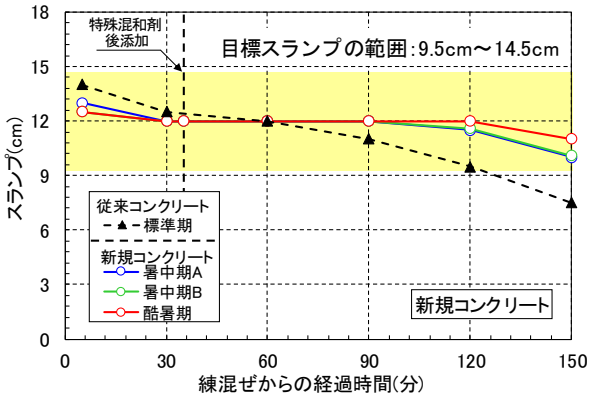
ブリーディング率の測定結果を**図－４**に示す。従来コンクリートのブリーディングは，コンクリート温度が高いほど早期に終了し，ブリーディング率は減少した。

これに対して，新規コンクリートは温度によらず標準期の従来コンクリートと同等となり，ブリーディングが

写真－２　特殊混和剤の添加状況

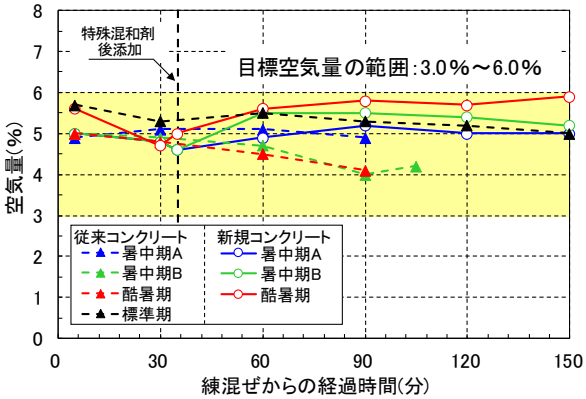


a)　従来コンクリート



b)　新規コンクリート

図－２　スランプの経時変化



図－３　空気量の経時変化

終了する時間は 4.5 時間程度，ブリーディング率も 2.5%程度となった。暑中期のコンクリート工事では，ブリーディングが少なくなることで，仕上げが困難になったり，表面が急激に乾燥してプラスティック収縮ひび割れが生じることもある。このため，新規コンクリートは暑中期や酷暑期のコンクリート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。

(3) 許容打重ね時間間隔

許容打重ね時間間隔の測定結果を**図－５**に示す。なお，許容打重ね時間間隔は，試料採取時を測定開始の時刻として算出した。コンクリート標準示方書 [4]や JASS 5[5]では，許容打重ね時間間隔の限度の目安を外気温が 25℃以下で 2.5 時間，25℃を超える場合で 2 時間としている。

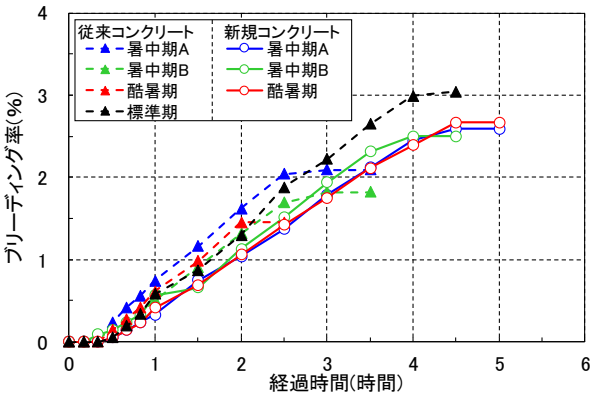
従来コンクリートは，標準期では，目安の 2.5 時間を容易に確保できた。一方，暑中コンクリートの範疇となる暑中期 A，暑中期 B および酷暑期では，高温に伴う凝結促進の影響により，いずれも 2 時間前後と短くなった。

これに対して，新規コンクリートの許容打重ね時間間隔は，温度によらず 3.5～4 時間であった。同一の試験時期の従来コンクリートと比べて 1.5～2 時間程度延長することができ，標準期の従来コンクリートと同程度であった。新規コンクリートは，各指針類で示される許容打重ね時間間隔の限度を容易に確保できることから，暑中期や酷暑期の施工で生じ易いコールドジョイントを防止する上で有効と考えられる。

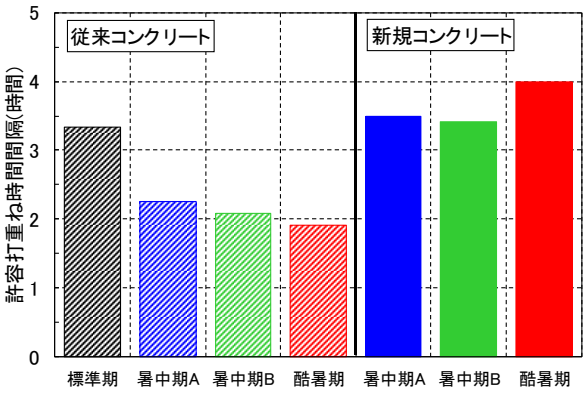
(4) 圧縮強度

各種コンクリートの圧縮強度の結果を**図－６**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。

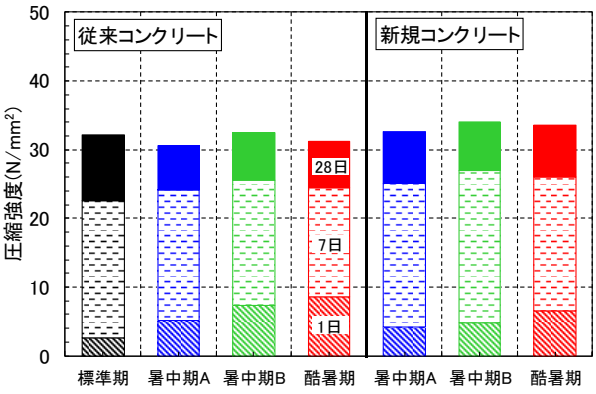
本検討の範囲内では，コンクリート温度の違いや特殊混和剤の有無が硬化コンクリートの圧縮強度に与える悪影響は認められなかった。



図－４　ブリーディング率



図－５　許容打重ね時間間隔



図－６　圧縮強度

3. 施工実験

3.1 実験概要

施工実験は**表－５**に示す 3 ケースにおいて実施した。2 章のコンクリートを使用し，標準期では従来コンクリート(配合 No.1)，酷暑期では従来コンクリートと新規コンクリート(配合 No.4, 7)を用いた。

コンクリートは 2 層に分けて打込む計画とし，各層のコンクリートは，いずれも練混ぜから 90 分後に打ち込んだ。また，2 層目の打込みは，1 層目の打込み完了から 120 分後に行った。

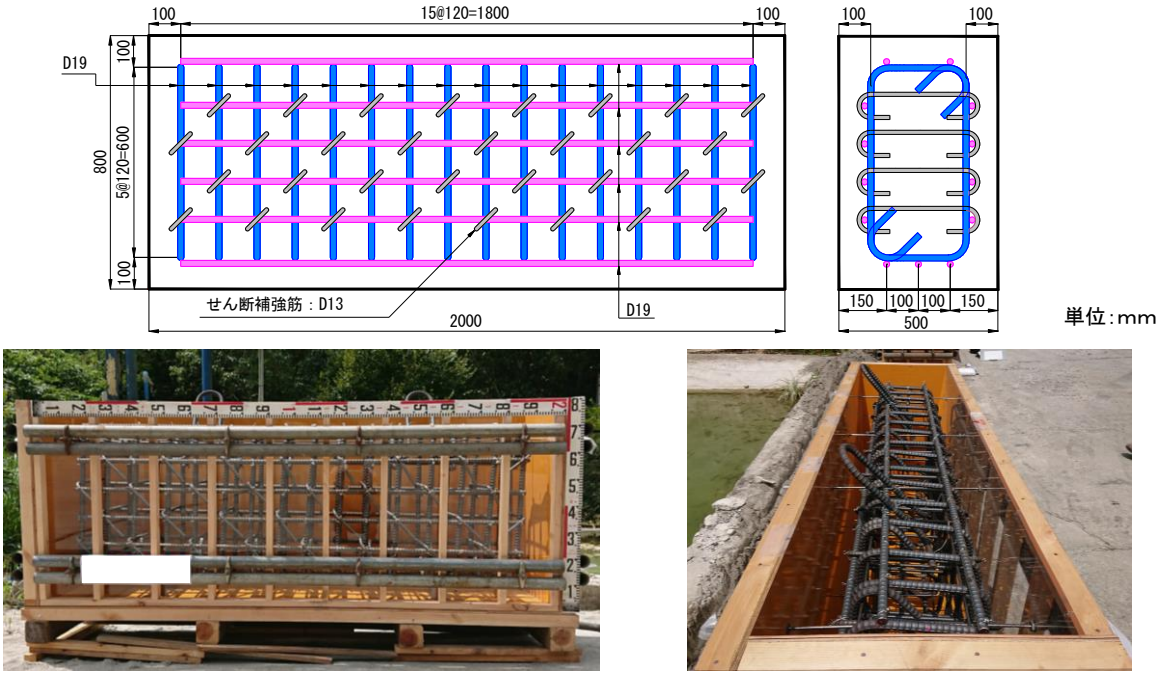
施工実験に用いた部材の概要を**図－７**に示す。長さ 2000×高さ 800×幅 500mm の壁部材とし，部材内部には鉄筋(鋼材量 160kg/m^3, 鋼材の最小あき 88mm)を配置した。

表－５　施工実験の検討ケース一覧

検討ケース	実施時期	コンクリート種類	打込み時期	打重ねの時間間隔	打込み時の平均温度	
					外気温	コンクリート温度
A	標準期	従来コン	練混ぜから90分後	1層目の打込み完了から120分後	19.1℃	18.5℃
B	酷暑期	従来コン			38.3℃	36.5℃
C	酷暑期	新規コン			38.8℃	36.7℃

なお，コンクリート標準示方書【施工編】に示される壁部材の打込みの最小スランプの目安 [6]から，この部材の打込みの最小スランプは 10cm となる。

側面の型枠にはアクリル板を使用し，打込み時のコンクリートの流動状況や充填状況を観察できるようにした。



図－７　施工実験に用いた部材の概要

実験に使用したコンクリートは，2 章と同様に，生コン工場の実機ミキサにて製造してアジテータ車に積込み，実験場所まで運搬した。コンクリートの打込みはアジテータ車のシュートから直接行い，締固めには棒状バイブレータ(棒径 43mm，振動数 240Hz)を用いた。

実験は 1 日の中で最も外気温が高くなる時間帯(10：00～14：00)に行い，実施時の外気温は，標準期では 19.1℃，酷暑期では 38℃を越えていた。また，打込み時のコンクリート温度は，標準期では 18.5℃，酷暑期では 36℃～37℃であった(**表－5**)。

3. 2 試験結果および考察

(1) 施工性の比較

各検討ケースにおける，打込み時のコンクリートのスランプ，打込みに要した時間および人員の結果を**表－６**に示す。また，施工状況を**写真－3**に示す。

標準期に従来コンクリートを用いたケース A は，練混ぜから 90 分後の打込み時でもスランプの低下が小さく，1 名で容易に打ち込むことができた。1 層の打込みに要した時間は 4 分 16 秒であった。

一方，酷暑期に従来コンクリートを用いたケース B は，高温の影響により，練混ぜから 90 分後の打込み時のスランプは大幅に低下し 3.5cm であった。流動性の低下したコンクリートを用いたことにより，打込み作業が困難になり，1 層の打込みには，2 名で行っても 10 分 2 秒もの時間を要した。

これに対して，酷暑期に新規コンクリートを用いたケース C は，コンリート温度が 35℃を越えても，特殊混和剤の効果により，練混ぜから 90 分後の打込み時にスランプの低下は生じていなかった。そのため，打込み作業

表－６　各検討ケースの施工実験の結果

検討ケース	実施時期	コンクリート種類	打込み時のスランプ	1層の打込みに要した時間（2層目）	打込みに要した人員
A	標準期	従来コン	11.0cm	4分16秒	1名
B	酷暑期	従来コン	3.5cm	10分2秒	2名
C	酷暑期	新規コン	12.0cm	4分42秒	1名

a)　検討ケース B（従来コンクリート，酷暑期）

b)　検討ケース C（新規コンクリート，酷暑期）

写真－３　施工実験における打込み状況

は 1 名で容易に行うことができ，打込みに要した時間は 4 分 42 秒であった。打込みに要した時間は 4 分 42 秒であった。打込みに要した人員と時間は，標準期の従来コンクリートと等しく，酷暑期の従来コンクリートと比べてそれぞれ半減できた。

(2) 仕上がりの比較

壁部材の脱型後の仕上がり状況を**写真－４～６**に示す。標準期に従来コンクリートを用いて施工したケースAは，充填不良やコールドジョイント等の不具合もなく良好な仕上がりであった。

一方，酷暑期に従来コンクリートを用いたケースBは，充填不良は生じていなかったものの，表面気泡が多く，1 層目と 2 層目の打重ね部分に若干の打重ね線が生じていた。**図－5**に示すように，酷暑期の従来コンクリートの許容打重ね時間間隔は 2 時間を若干下回っている。このため，2 層目の打込み時には 1 層目のコンクリートが既に固まり始めており，1 層目と 2 層目の一体化が困難であったことが要因と考えられる。

これに対して，新規コンクリートを用いて構築した壁部材(ケース C)では，不具合は生じず仕上がりは良好であった。**図－5**から，新規コンクリートの許容打重ね時間間隔は約 4 時間であり，1 層目のコンクリートが固まり始める前に 2 層目を打ち重ねたため，1 層目と 2 層目のコンクリートを確実に一体化した良好な仕上がりが得られたと考えられる。

以上の結果から，暑中期や酷暑期において施工性を確保し，不具合のない良好なコンクリート部材を構築するには，打込み時に所要のスランプを確保しつつ，そのコンクリートの有する許容打重ね時間間隔以内に打ち重ねることが重要であると考えられる。このための方法として，本稿で示した特殊混和剤を後添加した新規コンクリートは有効であると考えられる。

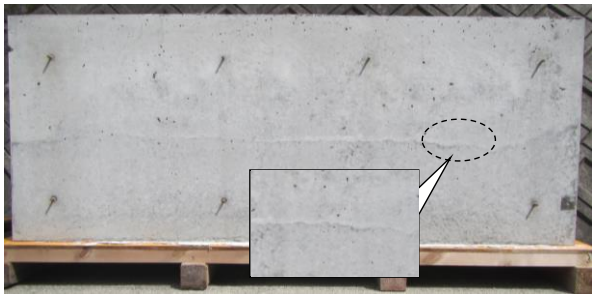
4. まとめ

特殊混和剤を後添加することで，暑中期や酷暑期のコンクリート工事の施工性を改善できる新しいコンクリートの効果を検証するため，実際の暑中環境下において実機試験と施工実験を行った。得られた知見を以下に示す。

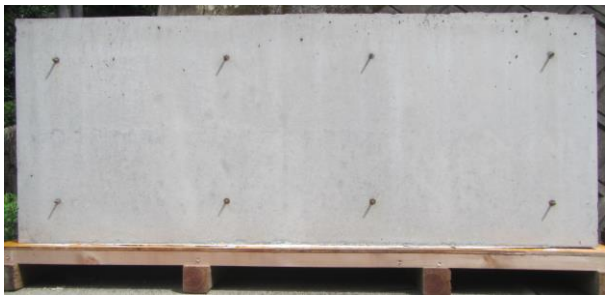
(1) 新たに開発したコンクリートは，コンクリート温度に応じて，特殊混和剤の添加量を調整することで，フレッシュ時の品質を標準期におけるコンクリートと同等以上にまで改善できる。また，硬化後の品質は変わらない。

(2) 特殊混和剤を添加することで，コンクリート温度が 35℃を超える酷暑期でも，標準期のコンクリートと同等の施工性を確保でき，仕上がりの良好な部材を構築できる。

写真－４　検討ケース A(従来コンクリート，標準期)の仕上がり状況



写真－５　検討ケース B(従来コンクリート，酷暑期)の仕上がり状況



写真－６　検討ケース C(新規コンクリート，酷暑期)の仕上がり状況

参考文献

1) 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

2) 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

3) 檜垣誠：暑中コンクリートに対する化学混和剤の取組み，コンクリート工学，Vol.51，No.5，pp.428-431，2013.5

4) 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

5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.428-449，2018

6) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.73-79，2018