

暑中期のコンクリート工事の施工性を改善できる 新しい暑中コンクリート「サンワーク™」の開発

伊佐治 優 桜井 邦昭

Development of “SUN-WORK™” for Retainable Fluidity for Long Time and Improved Workability of Hot Weather Concreting

Yu Isaji Kuniaki Sakurai

Abstract

The workability of concrete can quickly decrease at a high temperature, resulting in cold joints and filling failure. Hence, a new chemical admixture, “Sun-work,” is developed to maintain fluidity and improve workability, particularly at high temperatures. In this study, to evaluate the effect of “Sun-work,” various properties of fresh and hardened concrete of temperatures 20 °C, 30 °C, 35 °C, and 40 °C are empirically investigated. The result indicates that even when the concrete temperature exceeded 35 °C, the concrete with “Sun-work” exhibit the same fluidity and properties of hardened concrete as the concrete without “Sun-work,” at 20 °C.

概要

外気温が高い時期に施工する暑中コンクリートは流動性が低下しやすく、コールドジョイントや充填不良等の施工に起因した不具合の発生が懸念される。そこで、特殊混和剤を普通コンクリートに後添加することで、外気温が高い場合でも、流動性を長時間保持し、施工性を改善できる新しい暑中コンクリート「サンワーク™」を開発した。本稿では、コンクリート温度を20、30、35および40℃に変化させた場合でのフレッシュ時および硬化後のコンクリートの各種品質を調べた。その結果、サンワークはコンクリート温度が35℃以上の場合でも、20℃の普通コンクリートと同等以上に流動性を保持できること、サンワークの硬化後の品質は、水セメント比の等しい普通コンクリートと同等であることを確認した。

1. はじめに

夏場に施工する暑中コンクリートは流動性が低下しやすく、コールドジョイントや充填不良等の施工に起因した不具合の発生が懸念される。そのため、暑中コンクリートの施工に際しては、高温に伴いコンクリートの品質が低下しないように、適切な対策をとる必要がある。

暑中コンクリートの品質低下を防ぐには、遅延形の減水剤を用いることが一般的であるが、コンクリート温度が35℃近くないしは超えるような条件においても十分な効果が得られるかについては明らかではない。その他にも、材料のプレクーリング、アジテータ車のドラムへの遮熱塗料の塗布等があるが、施工費や設備費の増加を招くため容易には実施し難い課題がある。

そこで、コンクリート温度が35℃を超える高温時でも、流動性や許容打重ね時間間隔を長時間確保することで、施工性を改善できるとともに、硬化コンクリートの品質に影響を与えない新しい暑中コンクリート「サンワーク™」を開発した。サンワークは、レディーミクストコンクリート工場で製造した普通コンクリートに、新たに開発した専用の特殊混和剤を後添加することで製造できる。

本稿では、特殊混和剤の概要および35℃を超える高温環境下で行ったサンワークの各種品質試験の結果を示す。

2. 暑中コンクリートの現状

2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】¹⁾(以下、コンクリート標準示方書という)や建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2018²⁾(以下、JASS 5という)では、日平均気温が25℃を超える場合は暑中コンクリートとしての施工を行うように定めている。具体的には、練混ぜから打終わりまでの時間や許容打重ね時間間隔の限度を25℃以下の場合より30分短く設定するとともに(Table 1およびTable 2)、打込み時のコンクリート温度の上限は35℃以下を標準としている。

Table 1 練混ぜから打終わりまでの時間の限度
Limit of Time from Mixing to the Discharge

コンクリート標準示方書		JASS 5	
条件	限度	条件	限度
外気温が25℃を超える	1.5時間	外気温が25℃以上	90分
外気温が25℃以下	2.0時間	外気温が25℃未満	120分

Table 2 許容打重ね時間間隔の限度
Allowable Time Interval for Overlapping

コンクリート標準示方書		JASS 5	
条件	限度	条件	限度
外気温が25℃を超える	2.0時間	外気温が25℃以上	120分
外気温が25℃以下	2.5時間	外気温が25℃未満	150分

一方で、昨今の建設投資額の縮小などに伴いレディーミクストコンクリート工場は年々減少している。このため、現場までの運搬時間が長時間化する傾向にあり、夏期において練混ぜから打終わりまでの時間や許容打重ね時間間隔が短縮されると、その限度を超える恐れがある。

また、近年、夏期に高温となる期間が長期化し、最高気温も上昇する傾向にある。Fig. 1に気象庁の公開気象データ³⁾による1970年から2019年までの4都市の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℃近くに達する年もある。Table 3に2014年から2019年までの4都市の日平均気温が25℃以上となる日数(暑中コンクリートとなる日数) および28℃以上となる日数(荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超える危険のある日数⁴⁾)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~50日程度は35℃を超える危険性が高い。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、打込み時のコンクリート温度の上限値(35℃)を確保することが困難になることが予想される。

このような社会条件や環境条件を踏まえると、コールドジョイントなどの不具合を生じることなく、暑中期のコンクリート工事を行うためには、高温時でも施工性を長時間確保できるコンクリートの材料技術が必要である。

3. 特殊混和剤の概要

新たに開発したサンワークでは、コンクリートの流動性を長時間保持できる「フレッシュキープ®」に用いられる混和剤の主成分である「セメント分散成分⁵⁾」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」を組み合わせた液体の特殊混和剤(Photo 1)を使用する。この特殊混和剤はJIS A 6204「コンクリート用化学混和

剤」の減水剤遅延形に適合する。使用方法は、コンクリート製造時の外気温やコンクリート温度、ならびに目標とする流動性の保持時間によって添加量を調整できるように、製造後のコンクリートに後添加する方法とした。

高温時における特殊混和剤による流動性保持の概念を

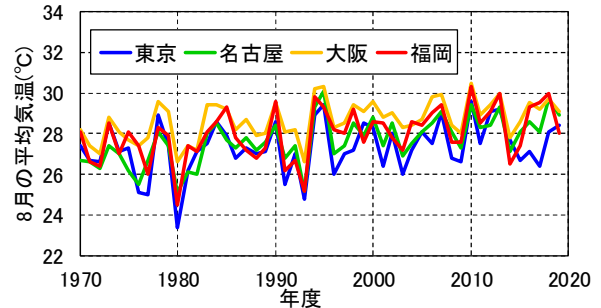


Fig. 1 8月の平均気温の推移
Transition for Mean Temperature on August

Table 3 日平均気温が25℃・28℃以上となる日数
The Number of Days that the Daily Mean Temperature Exceeds 25, and 28 °C

2014年~2019年の平均日数	東京	名古屋	大阪	福岡
25℃以上となる日数	63日	78日	81日	79日
28℃以上となる日数	32日	40日	48日	49日



Photo 1 特殊混和剤の外観
Appearance of Special Chemical Admixture

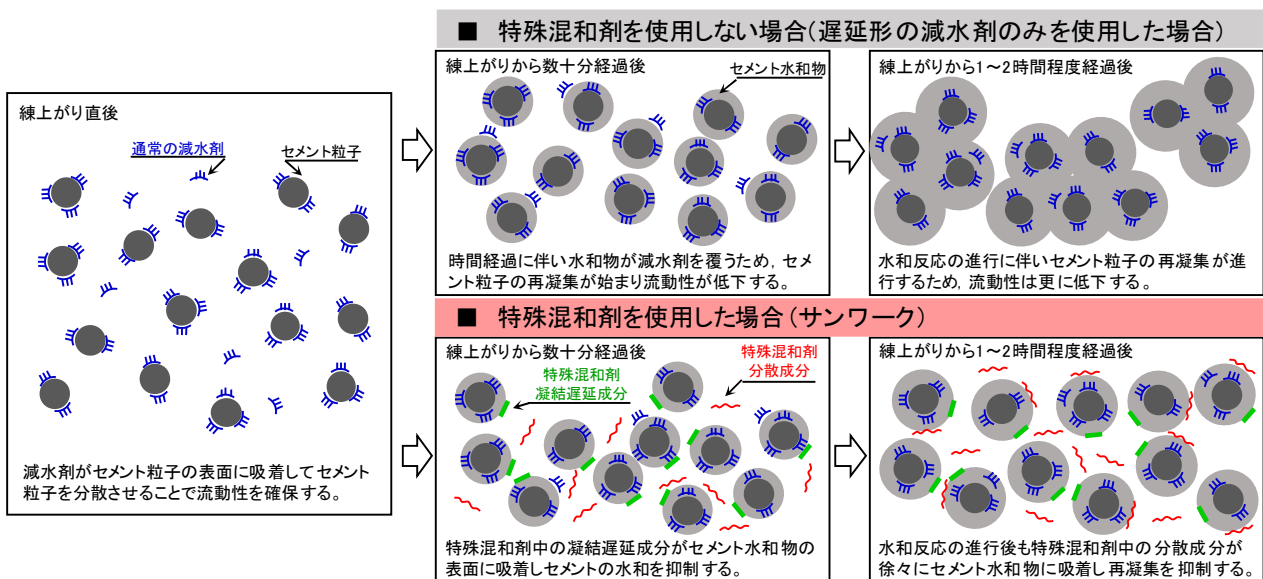


Fig. 2 高温時における特殊混和剤による流動性保持の概念図
Mechanism of Keeping Workability by Special Chemical Admixture

Fig. 2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。

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は、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。

4. 高温環境下におけるサンワークの各種品質の検証

今回開発した新しい暑中コンクリート「サンワーク」が、35°Cを超える温度条件でも長時間にわたり良好な施工性を確保できること、硬化コンクリートの品質に影響を与えないこと等を検証するために試験練りを行った。なお、本稿では、比較のための特殊混和剤を用いないコンクリートを従来コンクリートという。

4.1 実験概要

4.1.1 配合および温度水準 使用材料および配合をTable 4およびTable 5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への使用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%), 建築分野で使用されることの多い高性能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%), 土木工事で比較的使用されることの多い高炉セメント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。

試験は室内で行い、室内温度を20°C, 30°C, 35°Cおよび40°Cに設定することで、コンクリート温度を変化させた。AE減水剤(高機能タイプ)および高性能AE減水剤は、標準形と遅延形を準備し、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プが同一となるように、各温度で調整した。また、特殊混和剤の添加量は、各温度で品質改善が期待できることを想定して決定し、温度が高いほど添加量を増加した。

Table 4 使用材料
Material Properties

種類	記号	成分および物性
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
水	W	上水道水, 密度1.00g/cm ³
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.60g/cm ³ , 粗粒率2.51, 実積率67.2%
粗骨材	G	砕石2005, 表乾密度2.64g/cm ³ , 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 ※市販品
	SP	高性能AE減水剤, 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

Table 5 コンクリートの配合および品質試験結果
Mix Proportion of Concrete and Test Result

配合No.	コンクリート種類	温度条件(°C)	セメント種類	目標スランプ(cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(C×%)			品質試験結果										
							W	C	S	G	HWR		特殊混和剤 HT	スランプ (cm)					コンクリート温度の平均(°C)	許容打重ね時間間隔(h-m)	圧縮強度材齢28日(N/mm ²)			
											標準	遅延		標準	遅延	練上がり5分後	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	20	2-20	30.4
2		0.90									-	-	-	-	13.5	-	9.5	7.5	4.5	-	29	2-00	30.2	
3		1.10									-	-	-	-	13.5	-	8.0	5.0	3.0	-	34	2-00	28.2	
4		1.20									-	-	-	-	11.0	-	5.0	1.0	-	-	39	1-15	28.9	
5	サンワーク	30	N	12 ± 2.5	55.0	45.4	164	298	822	1014	-	0.90	-	-	0.30	14.5	14.5	14.0	12.0	8.0	5.5	30	2-50	29.8
6		-									1.10	-	-	0.50	13.5	14.0	13.5	11.0	7.5	5.0	34	2-40	34.3	
7		-									1.20	-	-	0.90	12.0	12.0	11.5	10.5	10.0	8.0	39	3-00	31.5	
8	従来	20	N	21 ± 2.0	48.0	45.8	175	365	792	960	-	-	0.75	-	-	21.0	-	17.5	15.0	12.0	8.5	20	2-50	42.1
9		-									-	-	1.00	-	21.0	-	12.5	6.5	2.5	-	39	1-40	39.2	
10	サンワーク	40	N	21 ± 2.0	48.0	45.8	175	365	792	960	-	-	-	1.00	0.65	21.5	21.5	22.0	21.0	17.0	14.0	39	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	-	20	許-10	34.0
12		-									1.10	-	-	-	14.0	-	7.5	2.0	-	-	39	1-00	31.9	
13	サンワーク	40	BB	12 ± 2.5	55.0	45.1	164	298	813	1014	-	1.10	-	-	0.90	13.0	14.0	12.5	10.5	7.0	3.0	39	3-00	34.0

4.1.2 試験項目 Table 6にコンクリートの試験項目を示す。フレッシュコンクリートの品質試験として、スランプ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。なお、許容打重ね時間間隔とは、コールドジョイントを生じることなく打重ねが行える時間間隔の限度のことである。本実験では文献⁶⁾に準じて、プロクター貫入試験における貫入抵抗値が0.1N/mm²に達する時間を許容打重ね時間間隔とした。

圧縮強度試験用の供試体は、試験練り時と同じ温度に設定した恒温槽内で所定の材齢まで封緘養生した後、試験を実施した。

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。いずれの試験とも、材齢56日まで試験練り時と同じ温度で封緘養生した後、促進試験を開始し、促進期間91日で中性化深さおよび塩分浸透深さを測定した。

4.1.3 コンクリートの製造方法 コンクリートの練混ぜには、強制二軸練りミキサ(公称容量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、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、スランプおよび空気量の測定後に全試料をミキサに戻し、特殊混和剤を投入後、30秒間練り混ぜた。なお、1配合当たり2バッチ製造し、1バッチ目はスランプおよび空気量の経時変化の測定を行い、その後さらに1バッチ製造し、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を採取した。

4.2 サンワークの暑中時の品質改善効果の検証

4.2.1 フレッシュコンクリート品質 配合No.1~7のコンクリートのスランプと空気量の経時変化をFig. 3に示す。また、40℃の温度環境下における特殊混和剤を添加しないコンクリートと製造後に特殊混和剤を後添加

Table 6 試験項目
Test Item

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/mm ² に達するまで測定
凝結試験	JIS A 1147	始発: 3.5N/mm ² 終結: 28.0N/mm ²
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 JIS A 1153	促進期間: 91日 促進条件: CO ₂ 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℃, 10%NaCl溶液

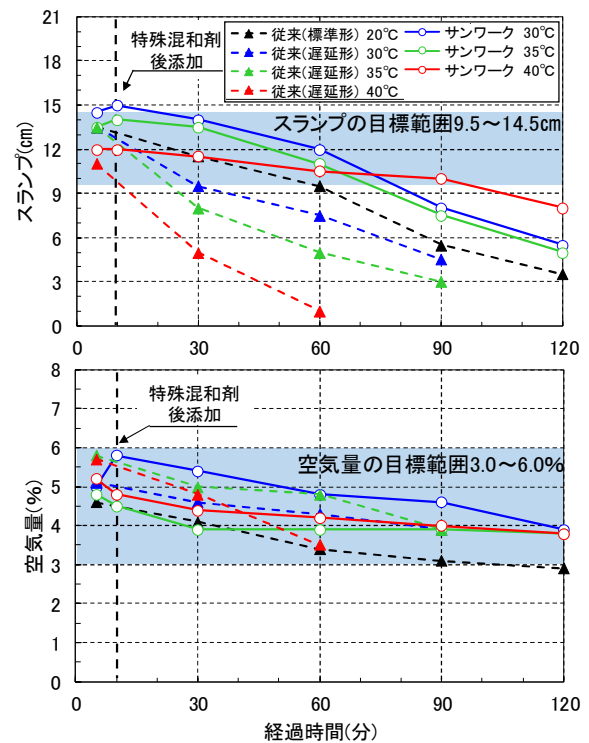


Fig. 3 スランプおよび空気量の経時変化
Test Result of Transition for Slump and Air Content

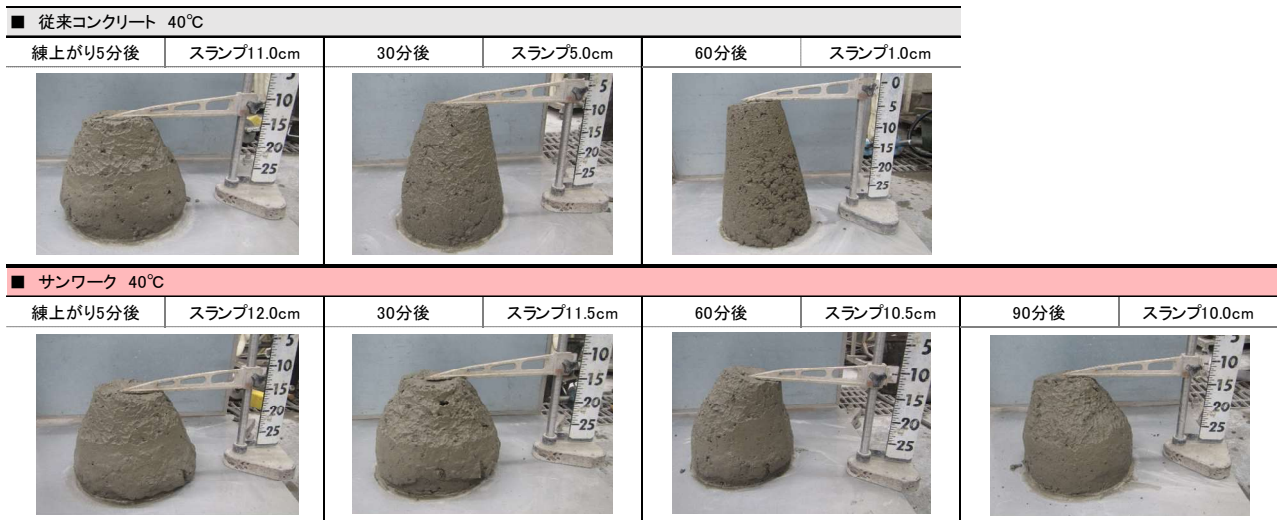


Photo 2 高温環境下におけるスランプ試験結果の比較
Comparison of Slump at High Temperature

したサンワークのスランプ試験結果をPhoto 2に示す。なお、経時変化の測定に際しては、コンクリート試料は練り舟内に静置して保管しておき、試験の直前に十分に練り返して用いた。

特殊混和剤を添加しない従来コンクリートは、いずれの温度でも、練上がり直後は目標スランプを満足できたが、時間経過に伴い低下した。特に、35℃および40℃ではスランプ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したサンワークは、35℃ないし40℃のような高温時でも、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できた。また、特殊混和剤の添加前後のスランプは概ね等しく、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。

室内試験でのコンクリート温度の平均値は、Table 5に示すように、各温度条件と概ね同等であった。

許容打重ね時間間隔の結果をFig. 4に示す。コンクリート標準示方書³⁾やJASS 5⁴⁾では、Table 2に示すように許容打重ね時間間隔の限度を外気温が25℃以下では2.5時間、25℃を超える場合で2時間を目安としている。従来コンクリートの許容打重ね時間間隔は、コンクリート温度が35℃までは、各種仕様書の定める許容打重ね時間間隔の限度を目安を概ね満足した。しかしながら、40℃の場合では許容打重ね時間間隔は2時間以下となり、大幅に短くなった。

これに対し、サンワークは、いずれのコンクリート温度でも許容打重ね時間間隔は3時間程度となり、40℃の場合においても許容打重ね時間間隔の限度以上の時間を確保することができた。

凝結時間の結果をFig. 5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、始発および終結ともに短くなり、高温による凝結が促進される結果となった。

これに対し、サンワークは、いずれのコンクリート温度においても凝結時間を延長できた。また、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。

ブリーディング率の測定結果をFig. 6に示す。従来コンクリートにおけるブリーディングは、コンクリート温度が高いほど早期に終了し、最終的なブリーディング率は減少する傾向であった。

これに対し、サンワークのブリーディング率は、20℃の従来コンクリートと同等の結果であった。

4.2.2 硬化コンクリートの品質 20℃および40℃における従来コンクリートと40℃におけるサンワークの圧縮強度をFig. 7に示す。40℃の温度条件下では、高温の影響により初期のセ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℃における従来コンクリート

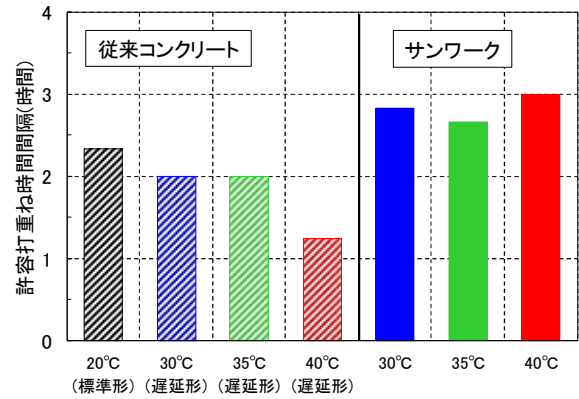


Fig. 4 許容打重ね時間間隔
Test Result of Allowable Time Interval for Overlapping

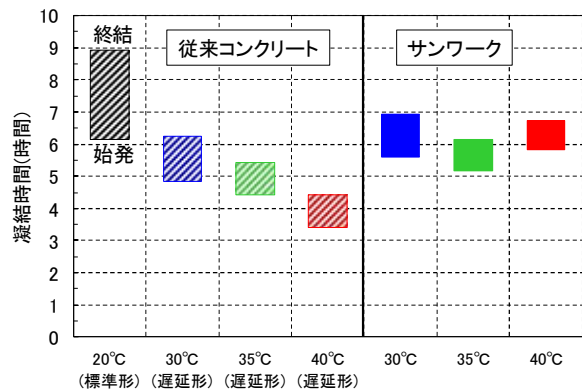


Fig. 5 凝結時間
Test Result of Setting Time

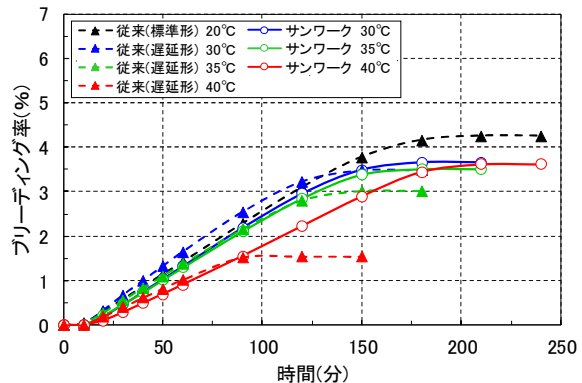


Fig. 6 ブリーディング率
Test Result of Bleeding Ratio

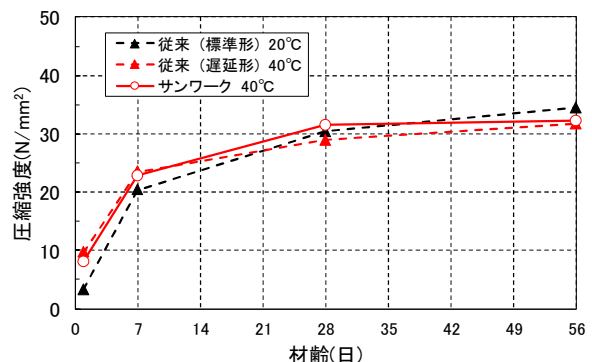


Fig. 7 圧縮強度
Test Result of Compressive Strength

試験の種類	中性化深さ			塩分浸透深さ		
	従来(標準形) 20℃	従来(遅延形) 40℃	サンワーク 40℃	従来(標準形) 20℃	従来(遅延形) 40℃	サンワーク 40℃
コンクリートの種類	従来(標準形) 20℃	従来(遅延形) 40℃	サンワーク 40℃	従来(標準形) 20℃	従来(遅延形) 40℃	サンワーク 40℃
測定結果	13.0mm	9.5mm	9.7mm	28.9mm	30.8mm	30.2mm
供試体の外観						

Fig. 8 中性化深さと塩分浸透深さ
Test Result of Carbonation Depth and Salt Penetration Depth

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進が少なくなる場合があると指摘されているが⁷⁾、本論文での検討範囲内ではそのような傾向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Fig. 8に示す。従来コンクリートの20℃と40℃を比較すると、塩分浸透深さは同等である一方、中性化深さは40℃の方が小さくなった。既往の調査⁸⁾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くなると示されているが、詳細な理由は今後の検討課題としたい。

40℃におけるサンワークの中性化深さおよび塩分浸透深さは、同一温度における従来コンクリートと同等であった。今後、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使用したことの耐久性への悪影響は認められなかった。

4.3 サンワークの適用範囲の検証

サンワーク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)の品質の改善効果を検証した。

スランプの経時変化および許容打重ね時間間隔の結果をFig. 9およびFig. 10に示す。特殊混和剤を後添加したサンワークは、40℃でも長時間にわたりスランプが保持でき、許容打重ね時間間隔も延長できる結果が得られた。以上の結果から、サンワークは、普通コンクリートに使用され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施工性を改善できると考えられる。また、Table 5に示すように、圧縮強度には、特殊混和剤の使用の有無や温度による違いは認められなかった。

5. 実機試験による品質改善効果の検証

5.1 実験概要

コンクリート温度が35℃を超える暑中環境下において、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)で実機試験を行い、サンワークの品質改善効果

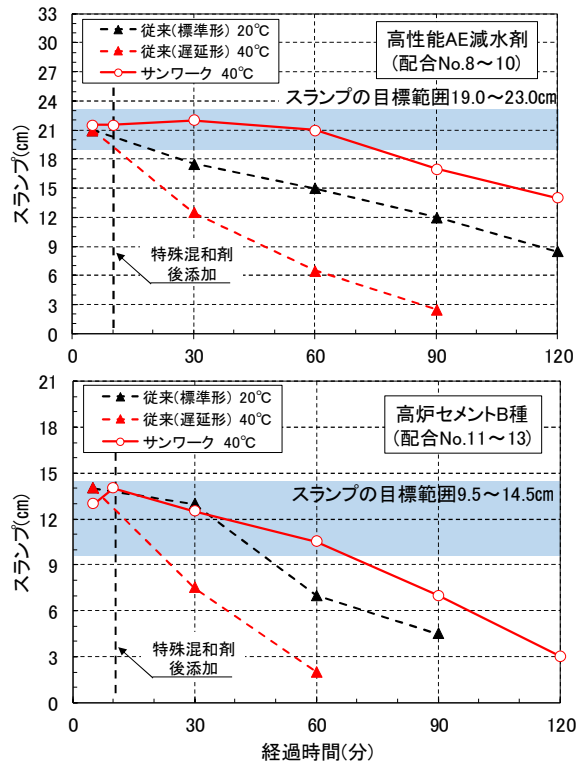


Fig. 9 各種コンクリートのスランプの経時変化
Test Result of Transition for Slump of Several Concretes

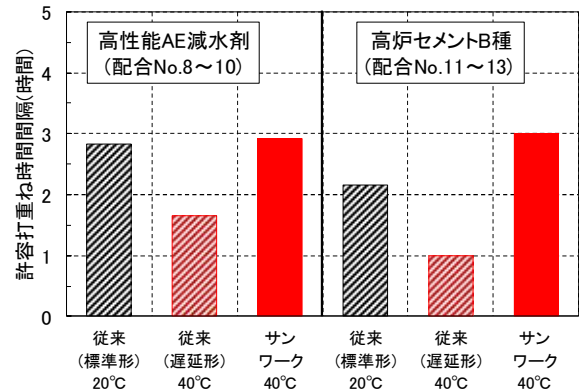


Fig. 10 各種コンクリートの許容打重ね時間間隔
Test Result of Allowable Time Interval for Overlapping of Fresh Concrete of Several Concretes

Table 7 使用材料(実機試験)
Material Properties in Ready Mixed Concrete Plant

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 ³
水	W	上水道水, 密度1.00g/cm ³
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 ³
粗骨材	G	砕石2005, 表乾密度2.69g/cm ³ , 実積率59.0%
混和剤	HWR	AE減水剤(高性能タイプ), 遅延形を使用 ※市販品
	HT	特殊混和剤, 後添加型 ※開発品

Table 8 コンクリートの配合(実機試験)
Mix Proportion of Concrete
in Ready Mixed Concrete Plant

コンクリート種類	目標スランプ(cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				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	-
サンワーク	12±2.5	53.0	44.3	171	323	800	1022	1.0	0.15



Photo 3 特殊混和剤の添加の状況
Situation of Special Chemical Admixture
into Agitator Car

を検証した。

使用材料および配合をTable 7およびTable 8に示す。コンクリートの配合は生コン工場の27-12-20Nを用いた。なお、生コン工場から施工現場への運搬を想定し、練上がり30分後に目標スランプ(12cm)となるようにした。

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2m³として2バッチ製造してアジテータ車に積み込んだ。特殊混和剤の添加は、練上がり30分後の品質試験終了後に行い、アジテータ車のホッパーから特殊混和剤を投入し、ドラムを150秒間高速攪拌させる方法とした(Photo 3)。

フレッシュコンクリートの品質試験として、練上がりから30分間隔でコンクリート温度、スランプおよび空気量の試験を行い、併せて許容打重ね時間間隔を測定した。許容打重ね時間間隔は、室内試験と同様にプロクター貫入試験で貫入抵抗値が0.1N/mm²に達する時間とした⁶⁾。なお、貫入抵抗値の測定は試料に直射日光が当たらない、

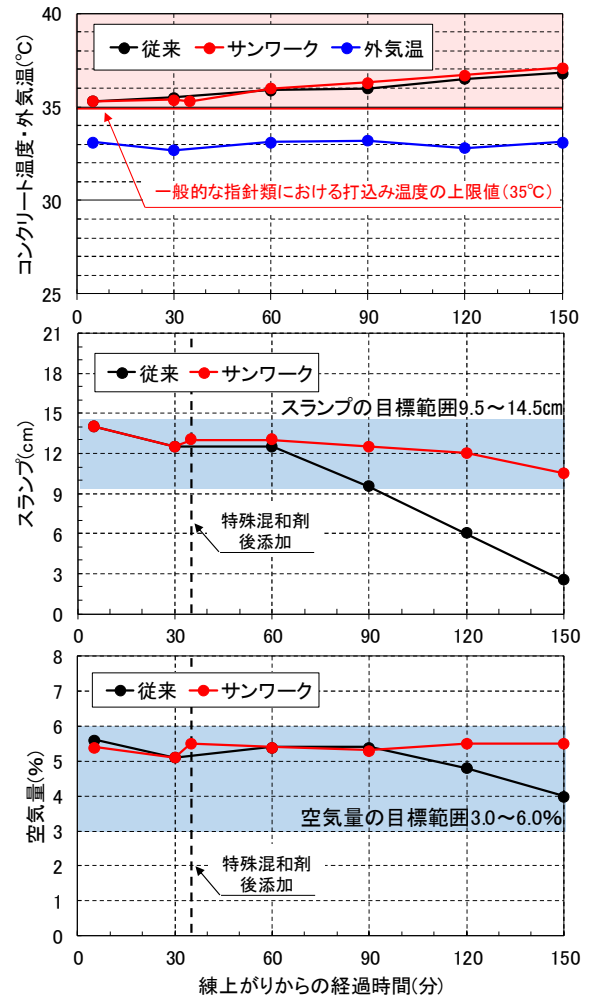


Fig. 11 コンクリート温度、スランプ
および空気量の経時変化(実機試験)
Test Result of Transition for Concrete Temperature,
Slump and Air Content

Table 9 許容打重ね時間間隔および圧縮強度(実機試験)
Test Result of Allowable Time Interval for Overlapping
and Compressive Strength

コンクリートの種類	許容打重ね時間間隔(h-m)	材齢91日圧縮強度(N/mm ²)
従来コンクリート	2-05	33.9
サンワーク	3-15	32.0

屋外の日陰で実施した。

硬化後のコンクリートの品質試験として、圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験用の供試体は、材齢91日まで工場敷地内の屋外にて封緘養生した。

5.2 試験結果および考察

コンクリート温度、スランプおよび空気量の経時変化をFig. 11に示す。練上がり直後の外気温は33℃であり、いずれもコンクリート温度は35℃を超えていた。その後、外気温は概ね一定で推移したが、コンクリート温度は時間経過に伴い徐々に上昇し、練上がり150分後には37℃に達した。すなわち、コンクリート温度は、練上がり直後

で外気温よりも2℃程度高く、時間経過に伴いさらに2℃程度上昇する結果となった。なお、いずれのコンクリートにおいても練上がり時点でコンクリート温度が35℃を超えた要因としては、練混ぜ水に地下水を使用しなかったこと等が考えられ、時間経過に伴いコンクリート温度が上昇した要因として、アジテータ車のドラムに遮熱塗料を塗布していなかったこと等が考えられる。

従来コンクリートのスランプは、練上がり90分後までは目標とした範囲を満足したが、その後は下限値(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サンワークは、スランプの低下が小さく、練上がり150分後まで目標スランプを満足した。なお、実機試験における従来コンクリートおよびサンワークのスランプの推移は、室内試験よりも低下の傾向が小さい。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等が影響したためと考えられる。

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、特殊混和剤の添加前後におけるスランプ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。

許容打重ね時間間隔および材齢91日における圧縮強度の結果をTable 9に示す。許容打重ね時間間隔は、従来コンクリートが2時間5分、サンワークが3時間15分となった。35℃を超える暑中環境下においても、特殊混和剤を添加することで許容打重ね時間間隔を1時間以上延長が可能であることが確認できた。

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/mm²、サンワークが32.0N/mm²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℃を超える場合でも、サンワークを用いることで、強度発現へ悪影響を与えることはなく、コンクリートの施工性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特殊混和剤を後添加することで、暑中期でも施工性を長時間保持できる新しい暑中コンクリート「サンワーク」を開発し、各種品質を室内および実機試験で検証した。本稿で得られた知見を以下に示す。

- 1) サンワークは、コンクリート温度が35℃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、暑中時の施工性を改善できる。

- 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) サンワークは、ベースとなる普通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よらず、暑中コンクリートの品質を改善できる。
- 4) サンワークは、普通コンクリートを積載したアジテータ車のホッパーから特殊混和剤を投入してドラムを高速攪拌することで製造できる。
- 5) 実機試験において、上記の方法により製造したサンワークは、35℃を超える実際の高温環境下でも、流動性や許容打重ね時間間隔を長時間保持できる。

今後は、暑中環境下においてサンワークを用いた施工実験を行い、品質および施工性の改善効果について検証するとともに、暑中期のコンクリート工事への適用を行っていく予定でいる。

謝辞

サンワークの開発において、竹本油脂株式会社に多大なるご協力を頂きました。記して、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 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
- 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) 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>（参照 2019-12-15）
- 4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS 5 鉄筋コンクリート工事，pp.428-449，2018
- 5) 桜井邦昭，他：コンクリートの流動性を長時間保持する「フレッシュキープ工法」の開発，大林組技術研究所報，No.80，2016
- 6) 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
- 7) 小山智幸，他：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
- 8) 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，pp.489-497，2019.7