

論文 高性能 AE 減水剤成分の最適化による暑中コンクリートのフレッシュ性状および強度発現性状改善に関する研究

國岡 潤*1・松下 哲郎*2・内藤 裕樹*3・全 振煥*4

要旨：高性能 AE 減水剤の成分が暑中コンクリートのフレッシュ性状および強度発現性状に与える影響について検討した結果、遅延成分量を調整することでコンクリート温度が 35℃を超える場合でも良好なフレッシュ性状およびコールドジョイントの発生抑制が可能な凝結時間を確保できた。構造体コンクリート強度は、水和反応を遅延させることで、長期強度は増進し、構造体強度補正值が低減する傾向を確認した。また、遅延成分を含む混和剤成分の種類や組合せにより強度に与える影響は異なり、遅延成分と特殊ポリマーを添加した場合、水和反応を大幅に遅延させることなく構造体強度補正值の低減が可能であることを確認した。

キーワード：暑中コンクリート、圧縮強度、構造体強度補正值、高性能 AE 減水剤、凝結、スランプ保持性

1. はじめに

暑中期のコンクリートは、高温になるほど運搬中のスランプが低下することや長期材齢の強度増進が小さくなることが知られており、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（以下、JASS 5）」¹⁾の 13 節「暑中コンクリート工事」では、荷卸し時のコンクリート温度は原則 35℃以下、構造体強度補正值 $28S_{91}$ （以下、 $28S_{91}$ ）は、特記のない場合 6N/mm^2 とされ、標準期より大きな $28S_{91}$ が定められている。一方、日本建築学会近畿支部「暑中コンクリート工事における対策マニュアル」²⁾では、近畿地区における 2018 年暑中期の実態調査の結果、荷卸し時のコンクリート温度が 35℃を超える割合は 15%程度あり、近年の気温上昇に伴い、荷卸し時のコンクリート温度が 35℃を超えることは避けがたい時代になっていると報告されている。そのような中で、2019 年 7 月に日本建築学会の「暑中コンクリートの施工指針・同解説（以下、暑中コン指針）」³⁾が改定され、暑中環境の厳しい時期を表す酷暑期が新たに定められ、スランプは原則 21cm、遅延形の高性能 AE 減水剤の使用を基本とし、特別な対策が講じられている場合には、受入れ時のコンクリート温度は 38℃まで許容されるなど大幅な改定が行われた。

そのような背景の中で、著者らはコンクリート温度が 35℃を超える暑中コンクリートのフレッシュ性状の改善および構造体コンクリートの長期強度の増進による $28S_{91}$ の低減を目的とした高性能 AE 減水剤（以下、混和剤）の改良検討を実施してきた。本論文では、混和剤の成分が暑中コンクリートのフレッシュ性状および強度発現性状に与える影響について検討した結果を述べる。

2. 室内実験による検討

2.1 コンクリート実験の概要

(1) 使用材料、調合条件

使用材料を表-1 に、コンクリートの調合条件を表-2 に示す。本検討は、ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤（P）、遅延成分（R1）、（R2）、P とは異なるセメント分散剤である特殊ポリマー（S）の組合せ、および添加量を表-2 に示す範囲で検討した結果を取り纏めて示したもので、調合は、W/C50%、単位水量 170kg/m^3 、スランプの目標値 $18\pm 2.5\text{cm}$ 、空気量の目標値 $4.5\pm 1.5\%$ を統一し、セメントや骨材のロットの違いにより、s/a や混和剤添加率を調整して実験を行った。

(2) 試験体の作製

環境温度は 38、35℃の 2 水準とし、コンクリートは平均温度を環境温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ に制御した室内にて練混ぜた。使用材料は各環境温度下に保管したものを使用し、練上がり温度の目標値を各環境温度として製造した。練混ぜ直

表-1 使用材料

種類	記号	銘柄・概要
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度: 3.16g/cm^3
細骨材	S	K産山砂、表乾密度: 2.62g/cm^3
粗骨材	G1	H産硬質砂岩砕石5号、表乾密度: 2.65g/cm^3
	G2	H産硬質砂岩砕石6号、表乾密度: 2.65g/cm^3
混和剤	P	混和剤の成分
	P+R1	P:ポリカルボン酸系高性能AE減水剤(標準形)
	P+R2	R1:遅延成分(糖類a)
	P+R1+S	R2:遅延成分(糖類b)
	P+R1+R2+S	S:特殊ポリマー(セメント分散剤)

表-2 コンクリートの調合条件

W/C (%)	単位水量 (kg/m^3)	s/a (%)	目標値		混和剤の添加量(C×%)			
			スランプ (cm)	空気量 (%)	P	R1	R2	S
50	170	46.1~49.4	18 ± 2.5	4.5 ± 1.5	0.70~1.20	0.04~0.10	0.04	0.07~0.70

*1 (株) 竹中工務店 技術研究所 建設材料部 構造材料グループ 研究主任 (正会員)

*2 (株) 竹中工務店 技術研究所 建設材料部 構造材料グループ 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 化学グループ 工修

*4 鹿島建設 (株) 技術研究所 建築生産グループ 上席研究員 博士 (工学) (正会員)

後にフレッシュ性状を確認し、圧縮強度試験用の試験体をφ100×200mmのブリキ製の簡易型枠を用いて作製し、それぞれの養生環境で試験材齢まで養生した。

(3) 試験方法

試験項目および試験体の養生方法を表-3に示す。試験体の養生は、標準水中養生（以下、標準養生）、簡易断熱養生（以下、断熱養生）、封緘養生とし、断熱養生試験体は、材齢7日で養生槽から取り出し、その後は環境温度下で封緘養生を行った。なお、断熱養生槽はJASS 5¹T-606に準拠したものを用いた。

2.2 セメントペースト実験の概要

混和剤成分の違いが細孔構造に与える影響を確認するため、セメントペーストにより比較検討を行った。調合は、W/C45%とし、表-1のセメントを用いた。混和剤は、既存のポリカルボン酸系高性能AE減水剤（遅延形）

（以下、SPR1）と表-1の混和剤P+R1+S（ $P=C \times 0.47\%$ 、 $R1=C \times 0.03\%$ 、 $S=C \times 0.08\%$ ）を用いた。SPR1の添加量は、 $C \times 0.5\%$ とした。使用材料は事前に35℃に調整し、自転公転式ミキサーによって練混ぜた。練混ぜ後は、35℃環境下でブリーディング終了まで定期的に練返しを行った。ブリーディング終了後、アルミ袋に封緘し、暑中期の柱模擬部材中央の温度履歴を模擬した最高到達温度70℃の温度履歴を与えた。測定用の試料は、材齢28日で5mm以下に破砕して、アセトン浸漬による水和停止を行った。水和停止後の試料は11%RHに調湿したデシケータに保管し、測定前日から24時間D-dry乾燥を行った。細孔径分布の測定は、水銀圧入式ポロシメータを用いた。

2.3 コンクリート実験の結果および考察

(1) 凝結時間

成分P単体の場合と遅延成分R1の添加量を $C \times 0.07\%$ とした場合のコンクリートの練上り温度と凝結始発時間

（以下、始発時間）の関係を図-1に示す。始発時間は、P単体に対してR1やR2を添加することで遅延することが確認された。遅延成分R1、R2の総添加量と始発時間の関係を図-2に示す。Pを基準に遅延成分量が増えるほど始発時間は遅延し、特にR1の添加量と始発時間には一定の相関が認められる。R2の添加量と始発時間の関

係は、ばらつきがあり、顕著な傾向は認められなかった。

環境温度38℃におけるR1の添加量と貫入抵抗値0.5N/mm²到達時間の関係を図-3に示す。R1の添加量と貫入抵抗値0.5N/mm²到達時間との関係に相関が認められた。暑中コン指針の3章解説では、貫入抵抗値0.5N/mm²に達するまでの時間が3.5時間以上であれば、コールドジョイントの発生抑制が可能と示されている。この値を凝結時間の目標値とすると、W/C50%の場合、R1の添加量が $C \times 0.07\%$ 程度で環境温度38℃において目標値を満足することが確認された。遅延成分であるR1の添加量をコントロールすることで、暑中期に必要な凝結時間を確保することが可能であると考えられる。

(2) 圧縮強度および $28S_{91}$

始発時間と標準養生28日強度との関係を図-4に示す。標準養生試験体は、R1、R2の添加量を増やし始発時間を遅延させるほど緩やかに圧縮強度が増進する傾向で

表-3 試験項目および試験体の養生方法

試験項目	測定方法	試験体の養生方法	試験材齢(日)
スランプ	JIS A 1101	標準水中養生	1 7 28 91
空気量	JIS A 1128	標準水中養生	○ ○ ○ ○
コンクリート温度	JIS A 1156	封緘養生※1	○ ○ ○ ○
凝結時間	JIS A 1147	簡易断熱養生※1	— ○ ○ ○
圧縮強度	JIS A 1108	※1：環境温度下にて養生	

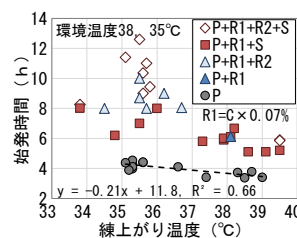


図-1 練上り温度と始発時間

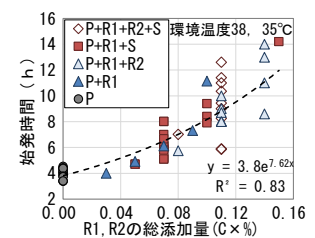


図-2 R1, R2の総添加量と始発時間

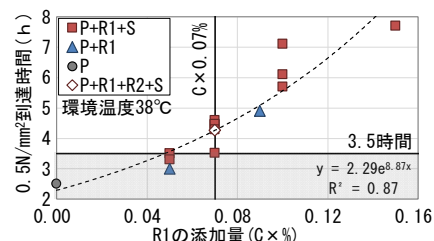


図-3 貫入抵抗値0.5N/mm²到達時間：環境温度38℃

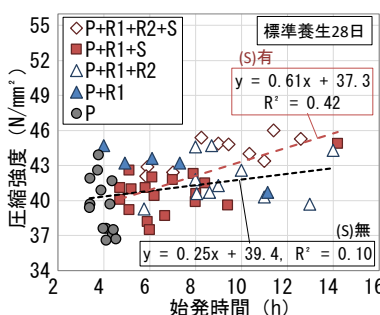


図-4 標準養生28日強度

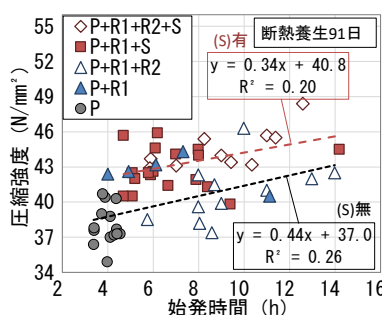


図-5 断熱養生91日強度

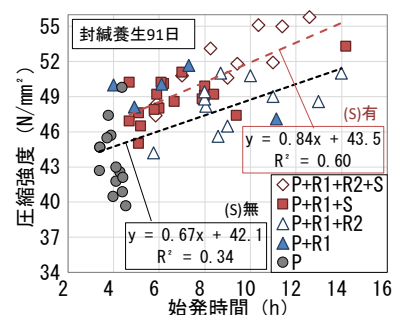


図-6 封緘養生91日強度

あり、その傾向は成分 S を含む方が僅かに大きい。始発時間と断熱養生 91 日強度および封緘養生 91 日強度との関係を図-5, 6 に示す。断熱養生試験体および封緘養生試験体とも、R1, R2 の添加量を増やし始発時間を遅延させるほど圧縮強度は高くなる傾向であり、その傾向は封緘養生の方が顕著である。また、成分 S の有無で比較すると、始発時間が同等の場合、S を含む混和剤を使用した方が圧縮強度は高い傾向であった。

始発時間と $28S_{91}$ の関係を図-7 に示す。全体的に封緘養生試験体の方が断熱養生試験体より $28S_{91}$ は小さく、その差は 5N/mm^2 程度であった。断熱養生、封緘養生試験体とも、始発時間が遅延するほど $28S_{91}$ は小さくなる傾向であり、混和剤 P+R1+S の組合せは、始発時間の遅延量に対して $28S_{91}$ が小さいことが確認された。

P 単体および R1 の添加量を $C \times 0.07\%$ とした場合の練上がり温度と $28S_{91}$ の関係を図-8 に示す。断熱養生、封緘養生試験体とも、練上がり温度が高いほど $28S_{91}$ は高くなる傾向であるが、混和剤 P+R1+S の組合せは、練上がり温度によらず $28S_{91}$ が小さいことが確認された。

一般的に高温環境下において遅延形の混和剤を使用することで長期の強度発現が大きくなることは知られているが⁴⁾、混和剤の種類や組合せにより強度発現性状が異なり、成分の組合せによっては、大幅な遅延をさせることなく長期強度の増進が可能であることが確認された。

2.4 セメントペースト実験の結果および考察

水銀圧入式ポロシメータによる細孔径分布の測定結果を図-9 に示す。混和剤の種類によらず積算細孔容積は同等であるが、P+R1+S を使用した場合、SPR1 を使用した場合と比べ、細孔径 200Å より大きい細孔の割合が減少し、200Å より小さい細孔の割合が増えることが確認された。高温養生された場合には、細孔径 200Å 以上の細孔量が増加して、セメント硬化体の圧縮強度が低下すると報告されている⁹⁾。R1 により水和反応を遅延させることと、S により粒子の分散状態を変化させることで、高温下での急激な水和反応で生じる粗大な空隙の割合が低減し、圧縮強度の増進に寄与していると推察される。

3. 実機実験による検討

3.1 実験概要

市中の生コン工場 A, B, C にて、混和剤が暑中コンクリートのフレッシュ性状および強度発現性状に与える影響を確認するための実験を行った。

(1) 使用材料、調合および製造方法

使用材料は表-4 に示す通りであり、各生コン工場が通常使用している材料を用いた。普通ポルトランドセメントは3社異なるメーカーのセメントである。混和剤は、SPR1 と表-1 に示す混和剤の成分比率を P:R1:S=40:3:7

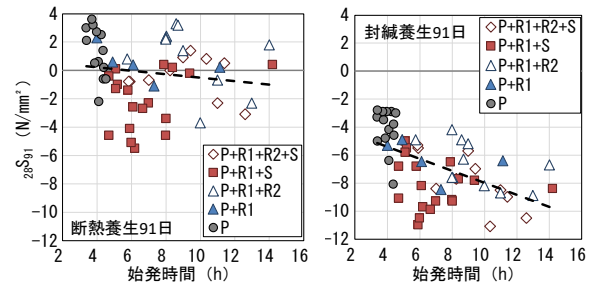


図-7 始発時間と $28S_{91}$ (左:断熱養生, 右:封緘養生)

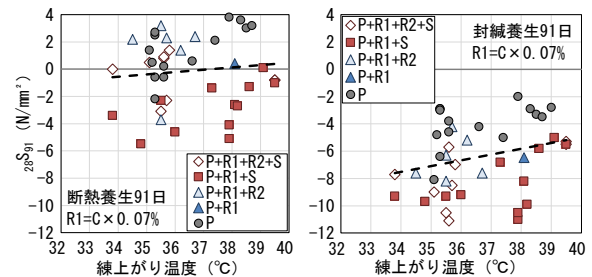


図-8 練上り温度と $28S_{91}$ (左:断熱養生, 右:封緘養生)

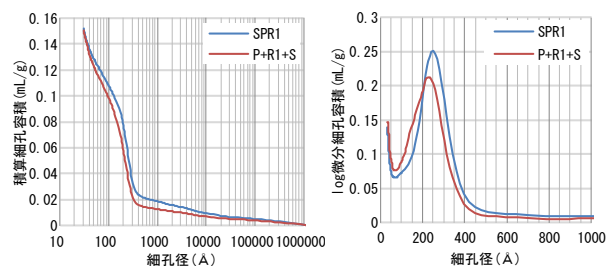


図-9 水銀圧入式ポロシメータによる細孔径分布

表-4 使用材料

種類	生コン工場	記号	銘柄・概要
セメント	A	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.15g/cm^3
	B	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm^2
	C	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm^3
細骨材	A	S1	陸砂, 表乾密度: 2.58g/cm^3 , 粗粒率: 2.50
		S2	石灰砕砂, 表乾密度: 2.69g/cm^3 , 粗粒率: 3.10
	B	S1	陸砂, 表乾密度: 2.58g/cm^3 , 粗粒率: 2.00
		S2	石灰砕砂, 表乾密度: 2.65g/cm^3 , 粗粒率: 3.25
	C	S1	陸砂, 表乾密度: 2.59g/cm^3 , 粗粒率: 2.50
	A	G1	砂岩碎石, 表乾密度: 2.69g/cm^3 , 実積率: 60.0
粗骨材	B	G1	石灰碎石, 表乾密度: 2.70g/cm^3 , 実積率: 59.0
	G2	G2	石灰碎石, 表乾密度: 2.70g/cm^3 , 実積率: 61.0
	C	G1	砂岩碎石, 表乾密度: 2.70g/cm^3 , 実積率: 60.0
混和剤	共通	SPR1	既存のポリカルボン酸系高性能AE減水剤(遅延形)
		SPR2	SPR2=P+R1+S 成分比率(P:R1:S=40:3:7)

表-5 コンクリートの調合

記号	生コン工場	呼び強度	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)						目標値	
					W	C	S1	S2	G1	G2	SL (cm)	Air (%)
A-33	A	33	47.0	46.0	169	360	557	250	976	-	18	4.5
B-27	B	27	56.0	49.0	170	304	354	530	380	570	18	4.5
B-33	B	33	49.0	47.9	170	347	340	509	380	570	18	4.5
B-39	B	39	44.0	46.9	170	387	326	489	380	570	18	4.5
C-27	C	27	55.6	48.3	170	306	860	-	961	-	18	4.5
C-33	C	33	49.9	46.8	170	341	821	-	972	-	18	4.5
C-27(21)	C	27	55.6	49.4	175	315	870	-	929	-	21	4.5
C-33(21)	C	33	49.9	48.0	175	351	831	-	940	-	21	4.5

とした混和剤 SPR2（以下，SPR2）の 2 種類とし，表－5 に示す各生コン工場の代表的な調合において比較検討を行った。コンクリートの練混ぜは，各生コン工場の標準的な練混ぜ方法とした。混和剤 SPR2 は，全ての成分を練混ぜ時に添加する先添加方式と成分 S のみを荷卸し前にアジテータ車にあと添加する，あと添加方式の 2 つの製造方法にて製造した。

(2) 試験項目，試験体および模擬部材の作製

フレッシュ試験の試験項目は表－3 に示す通りである。フレッシュ試験は，練混ぜ直後，荷卸し時（注水後 30 分を目標）および注水後 60 分，90 分とし，フレッシュ性状の経時変化を評価した。また，あと添加方式の場合は，あと添加前後でフレッシュ試験を実施した。注水後 60 分，90 分のフレッシュ試験は，荷卸し時に採取したフレッシュコンクリート約 30L を屋外の日蔭に静置保管したものをを用いて行った。

硬化コンクリートの試験項目および試験材齢を表－6 に示す。圧縮強度試験には，荷卸し時に $\phi 100 \times 200\text{mm}$ のブリキ製の簡易型枠を用いて作製した試験体と荷卸し時に作製した模擬部材から採取した $\phi 100 \times 200\text{mm}$ のコア試験体を用いた。試験体の養生条件は，標準養生，現場封緘養生，断熱養生とし，標準養生は，荷卸し時に採取した試験体を 1～2 日 20℃封緘養生し，その後試験材齢まで 20℃環境下で水中養生を行った。現場封緘養生は，作製した模擬部材の近傍の直射日光が当たらない環境下で試験材齢まで養生し，断熱養生は，材齢 7 日まで断熱養生槽内で養生し，その後は直射日光のない外部環境にて封緘養生した。

模擬部材の作製および試験方法は，JASS 5¹T-605 に準拠した。柱模擬部材寸法は，1m×1m×1m とし，部材内部の温度測定は，部材の中心部とした。壁および床模擬部材寸法は，0.9m×0.9m×厚み 0.22m とし，部材内部の温度測定は，部材中央の中心部とした。柱模擬部材は各生コン工場の代表的な水準で作製し，壁および床模擬部材は，生コン工場 C の代表的な 4 水準のみで作製した。模擬部材は全て屋外の日射を受ける環境で養生を行い，柱および壁模擬部材は材齢 7 日で脱型を行った。床模擬部材の打設後および柱，壁模擬部材の型枠脱型後の湿潤養生は行っていない。

(3) 記号の定義

図表に用いる記号は図－10 に示す通りとし，調合，混和剤，製造方法の種類により定めた。

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状

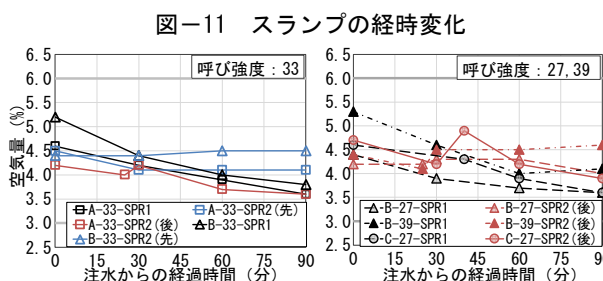
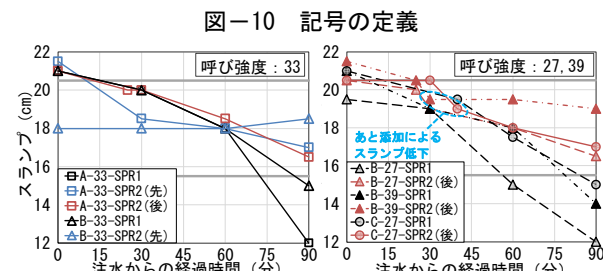
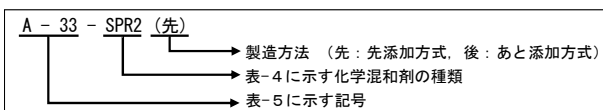
荷卸し時のコンクリート温度（以下，荷卸し温度）が 34℃以上であった調合における注水からのスランプの経時変化を図－11 に示す。全体傾向として，遅延成分量の

表－6 硬化コンクリートの試験項目および試験材齢

試験項目	試験体	測定方法	圧縮強度試験材齢
圧縮強度	標準水中養生	JIS A 1108	7(1, 14) ^{※1} , 28, 91日
	現場封緘養生		7(1, 14) ^{※1} , 28, 91日
	簡易断熱養生		7(14) ^{※1} , 28, 91日
コア強度	模擬部材(柱, 壁, 床) ^{※2}	JIS A 1107	28, 91日

※1：生コン工場Cは材齢1, 14, 28, 91日，簡易断熱養生は材齢1日無し

※2：模擬部材の作製は代表的な水準で実施



多い SPR2 を使用することで SPR1 と比べスランプ保持性が高くなることが確認された。製造方法の違いでは，成分 S をあと添加した場合，調合条件によってはスランプロスが若干生じているが，その後はスランプ保持性が良好であり，製造方法によらず注水後 90 分においても $18 \pm 2.5\text{cm}$ の管理値を満足した。

荷卸し温度が 34℃以上であった調合における空気量の経時変化を図－12 に示す。空気量は SPR1 を使用した場合，時間の経過とともに若干減少しているが，SPR2 を使用した場合は，製造方法によらず経時変化は少なく，空気量の保持性に優れていることが確認された。

(2) 模擬部材内部温度，断熱試験体温度

柱模擬部材と断熱養生試験体の内部温度変化の一覧を表－7 に，呼び強度 33 の条件における柱模擬部材の内部温度履歴の一例を図－13 に示す。SPR2 を使用した場合，SPR1 使用時と比較してセメントの水和反応に伴う温度上昇が遅延していることが確認できた。凝結時間への影響が大きい荷卸し温度からの 5℃上昇到達時間は，柱模擬部材，断熱養生試験体ともに 1.2～3.3 時間程遅延した。SPR2 の製造方法と比較すると，僅かにあと添加方式の方が 5℃上昇到達時間は早い傾向であるが，顕著な差はなかった。最高温度は，一部の調合条件を除き SPR2

を使用した方が若干低いことが確認された。

同一工場の実験結果である調合 C-33 と C-33 (21) を比較すると、荷卸し温度の差と最高温度の差がほぼ同程度であり、荷卸し温度が高くなるほど、部材の最高温度は高くなることが確認された。

呼び強度 33、荷卸し温度が 34℃以上である条件における生コン工場の比較では、最高温度が C>A>B の順に大きくなり、最高温度が高いほど最高温度到達時間が早くなる傾向であった。調合 C-33 と B-33 の W/C や荷卸し温度は概ね同じであるが、最高温度が大きく異なっている。生コン工場 C のセメントは、他の工場のセメントより 200cm²/g 程比表面積が大きく、C₃S の含有率が高いことが分かっており、セメントの粉末度や成分の違いが部材温度に影響したものと考えられる。

調合 C-33 (21) の柱、壁および床模擬部材および断熱養生試験体の内部温度履歴の比較を図-14 に示す。部材内部および断熱試験体の最高温度は、柱>断熱>壁>床の関係であり、部材厚の等しい壁と床には 10℃程度の差があった。断熱養生試験体は、最高温度が柱模擬部材より 3℃程度低い、最高温度到達後の温度下降は、柱模擬部材より緩やかであった。混和剤の違いでは、全ての部材で SPR2 を使用した場合の方が、初期の温度上昇は遅延し、最高温度が低下した。

(3) 凝結時間

呼び強度 33、荷卸し温度が 34℃以上であった調合の凝結試験結果を図-15 に示す。凝結時間は部材温度の温度上昇とは異なり、生コン工場による差異は小さいことが確認された。荷卸し温度と貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間の関係を図-16 に示す。凝結時間は荷卸し温度が高くなるほど早くなる傾向であり、貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間の目標値を 3.5 時間とすると、SPR1 を使用した場合は、荷卸し温度 34℃で目標値を満足しない結果であったが、SPR2 を使用した場合は、荷卸し温度が 35℃を超えても目標値を満足することが確認された。

暑中期の凝結時間は、遅延成分量とコンクリート温度の影響を強く受けるため、使用する温度環境に適した遅延成分量を添加することで、コンクリート温度が 35℃を超える環境においてもコールドジョイントの発生抑制が可能な凝結時間を確保できると考えられる。

(4) 圧縮強度および $_{28}S_{91}$

各養生を行った試験体と模擬部材から採取したコア試験体の圧縮強度試験結果を図-17, 18 に示す。一部の条件を除き、混和剤は SPR1 より SPR2 を使用した方が材齢 7 日以降の圧縮強度は高く、SPR2 は SPR1 に対して良好な強度発現性を有することが確認された。SPR2 の添加方式による比較では、試験体や生コン工場により強度特性は異なるが、添加方式によらず SPR1 に対して良

表-7 柱模擬部材と断熱試験体の内部温度

記号	W/C (%)	荷卸し温度 (°C)	柱模擬部材 (中心部)		断熱試験体 (中心部)	
			最高温度 (°C)	到達時間 (時間)	最高温度 (°C)	到達時間 (時間)
A-33-SPR1	47.0	34	73.6	3.0	69.9	3.2
A-33-SPR2 (先)	47.0	34	73.3	5.7	68.7	6.5
A-33-SPR2 (後)	47.0	35	72.5	5.3	69.6	5.8
B-27-SPR1	56.0	35	66.0	3.1	60.9	3.9
B-27-SPR2 (後)	56.0	35	64.7	5.8	60.2	6.6
B-33-SPR1	49.0	35	70.4	3.2	65.3	3.8
B-33-SPR2 (先)	49.0	36	69.6	6.5	65.0	7.1
B-33-SPR2 (後)	49.0	36	69.7	6.3	66.1	6.8
B-39-SPR1	44.0	36	模擬部材なし		68.2	4.3
B-39-SPR2 (後)	44.0	36	73.0	6.6	68.8	7.5
C-27-SPR1	55.6	34	70.8	3.0	68.9	2.7
C-27-SPR2 (後)	55.6	36	71.6	4.7	69.0	4.7
C-33-SPR1	49.9	35	75.5	3.6	74.3	2.9
C-33-SPR2 (先)	49.9	36	75.7	5.2	73.9	5.3
C-33-SPR2 (後)	49.9	35	75.3	4.8	73.8	4.7
C-27 (21)-SPR1	55.6	33	67.9	4.1	計測エラー	
C-27 (21)-SPR2 (後)	55.6	32	67.0	5.5	64.8	5.2
C-33 (21)-SPR1	49.9	30	70.5	3.9	67.9	4.3
C-33 (21)-SPR2 (後)	49.9	31	69.7	6.5	66.3	7.0

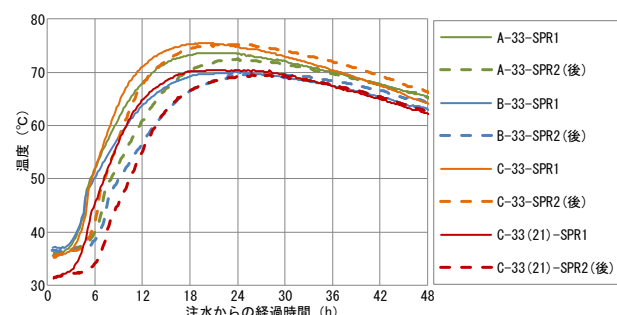


図-13 柱模擬部材の内部温度履歴：呼び強度 33

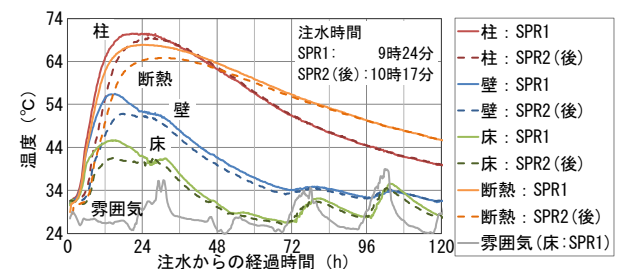


図-14 温度履歴の比較：C-33 (21)

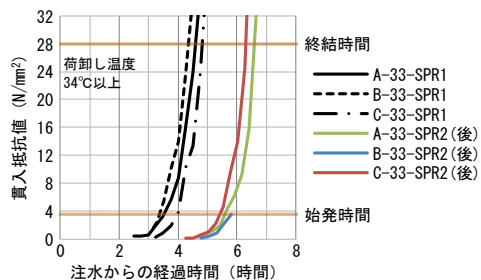


図-15 凝結試験結果：荷卸し温度 34℃以上

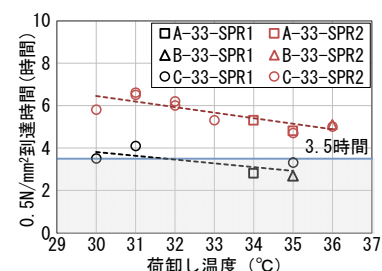


図-16 荷卸し温度と貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間

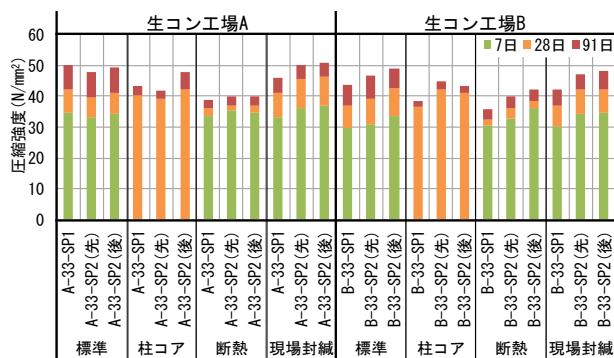


図-17 生コン工場 A, B の圧縮強度試験結果：呼び強度 33

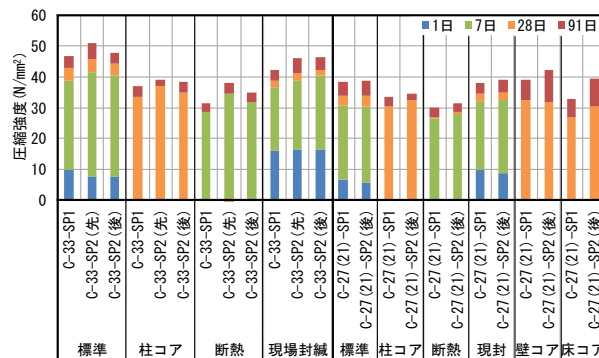


図-18 生コン工場 C の圧縮強度試験結果

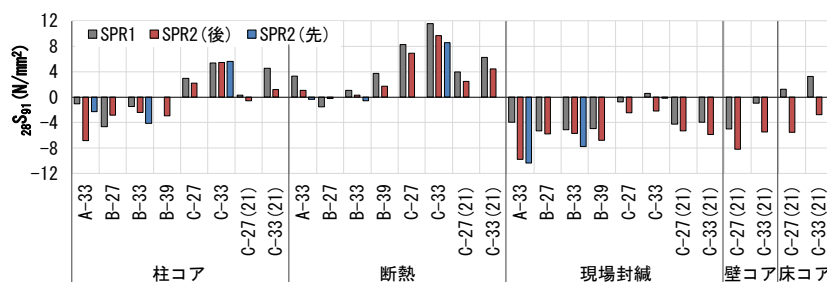


図-19 各試験体の $_{28}S_{91}$

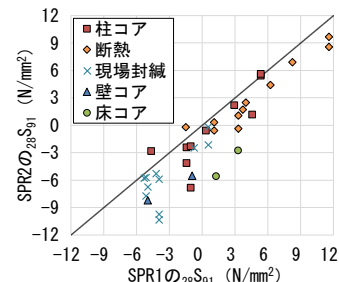


図-20 SPR1 と SPR2 の $_{28}S_{91}$

好な強度発現性を有することが確認された。

標準養生 28 日強度と各試験体の 91 日強度より算出した $_{28}S_{91}$ を図-19 に示す。柱コア試験体の $_{28}S_{91}$ は、水和発熱による温度上昇が早く、最高温度の高い生コン工場 C を除き 0N/mm^2 以下であった。断熱養生試験体の $_{28}S_{91}$ は、全ての条件で柱コア試験体の $_{28}S_{91}$ より大きい結果であり、その差は概ね 3N/mm^2 であった。断熱養生試験体の $_{28}S_{91}$ により、柱コア試験体の $_{28}S_{91}$ を安全側に評価できると考えられる。

柱模擬部材や断熱試験体と比べ低い温度環境で養生される現場封緘試験体や壁、床コア試験体の $_{28}S_{91}$ は、柱コア試験体の $_{28}S_{91}$ より小さく、SPR2 を使用した場合、生コン工場 C を含め 0N/mm^2 以下であることを確認した。

同一工場同一調合における SPR1 と SPR2 の $_{28}S_{91}$ の関係を図-20 に示す。いずれの部材においても概ね SPR1 に対して SPR2 を使用した場合の方が $_{28}S_{91}$ は小さいことが確認された。SPR2 の成分である混和剤 P, 遅延成分 R1, 特殊ポリマー S を調整して使用することで、暑中コンクリートの長期強度を増進させることができ、暑中期の $_{28}S_{91}$ を低減することが可能である。

4. まとめ

高性能 AE 減水剤の成分が暑中コンクリートのフレッシュ性状、強度発現性状に与える影響について検討を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 既存の混和剤に遅延成分を添加することで、スランプおよび空気量の保持性が改善され、コンクリート温度が 35°C を超える条件においても良好なフレッシュ

シユ性状が確保できることを確認した。

- 2) 遅延成分量を調整することで、コンクリート温度が 35°C を超える条件においてもコールドジョイントの発生抑制が可能な凝結時間を確保できる。
- 3) 調合が同じであっても部材形状や使用材料、環境温度により温度履歴が異なり、部材が高温履歴になる条件ほど構造体コンクリートの長期強度は小さく、 $_{28}S_{91}$ は大きくなる。
- 4) 水和反応を遅延させることで、暑中コンクリートの長期強度の増進に寄与することが確認された。遅延成分を含む混和剤成分の種類や組合せにより強度への影響度合いは異なり、遅延成分と特殊ポリマーを添加した場合、水和反応を大幅に遅延させることなく構造体強度補正値の低減が可能である。

参考文献

- 1) 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 2018, 2018.7
- 2) 日本建築学会近畿支部；暑中コンクリート工事における対策マニュアル 2018, 2019.3
- 3) 日本建築学会；暑中コンクリートの施工指針・同解説, 2019.7
- 4) 檜垣誠；暑中コンクリートに対する化学混和剤の取組, コンクリート工学, Vol.51, No.5, pp.428-431, 2013.5
- 5) 森本丈太郎, 魚本健人；初期高温養生したポルトランドセメントの水和に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, vol.17, No.1, pp.651-654, 1995.6