

## 論文 再生骨材コンクリートの乾燥収縮低減に関する合理的手法の検討

福田 道也<sup>\*1</sup>・小田部 裕一<sup>\*2</sup>・原田 修輔<sup>\*3</sup>

**要旨**：収縮低減剤をコンクリートの練混ぜ時に混合して使用する一般的な使用方法と、収縮低減剤の希釈溶液を骨材に吸水させる方法とで再生骨材コンクリートの乾燥収縮ひずみを比較した。その結果、収縮低減剤の希釈溶液を骨材に吸水させる方法は、再生骨材コンクリートを対象とした場合に限り、一般的な使用方法と比較して少量の収縮低減剤で乾燥収縮の低減を図ることが可能となった。

**キーワード**：再生骨材コンクリート, 再生骨材, 乾燥収縮, 収縮低減剤

## 1. はじめに

近年の骨材資源の環境は、骨材採取の禁止や輸入の制限等、様々な制約を受け枯渇化しており、骨材のリサイクル化や代替骨材の使用が緊急の課題となっている。その流れの中で構造物を解体する際に発生するコンクリート塊からリサイクルされる再生骨材は、骨材資源の枯渇化問題及び環境負荷の低減を考慮すると、今後積極的に活用すべき材料である。しかし、再生骨材を使用したコンクリートが普及するためには幾つかの課題がある。その中でも再生骨材コンクリートの乾燥収縮は、普通コンクリートと比較して大きくなる傾向にあり、再生骨材コンクリートの乾燥収縮を低減することは、今後解決すべき課題の一つといえる。

コンクリートの乾燥収縮を低減するためには、収縮低減剤（以後、SRAと称す）や膨張材を使用することが一般的となっているが、SRAを練混ぜ水に溶かして添加する方法（以後、従来法と称す）では、添加量が多いほど収縮低減の効果が得られる反面、SRAの種類によっては、粗大気泡の連行性や消泡性を有するものがあり、強度低下や凍結融解の抵抗性が低下する原因となる<sup>1)</sup>。また、SRAの添加量が過大になると、凝結遅延、水和阻害による強度低下を及ぼすこと

も知られている<sup>1)</sup>。

コンクリートの乾燥収縮を低減するためには、単位水量を減らすことも効果的であるが、配（調）合の変更による単位水量の減少には限界があり、大幅な乾燥収縮の低減を望めない。また、膨張材とSRAを併用する方法は効果的ではあるが<sup>2)</sup>、コスト増等の理由により、あまり実用されないのが現状となっている。

そこで、著者らは、低品位な再生骨材のように吸水率が大きな材料を対象に、SRAの希釈溶液を吸水させる方法（以後、溶液散布法と称す）に着目し、その合理性について実験的に検討した。

## 2. 実験概要

本研究では、従来法と溶液散布法それぞれによる乾燥収縮の低減効果を確認し、溶液散布法の優位性について検討した。更に、溶液散布法によるコンクリートのフレッシュ性状、圧縮強度を測定し、従来法が抱える諸問題の改善効果について確認した。

## 2.1 使用材料

本実験の使用材料一覧を表-1に示す。溶液散布法では、骨材吸水率によってSRAの絶対量が増えるため、普通骨材のほか、再生細骨材

\*1 住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所（正会員）

\*2 住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所 博（工）（正会員）

\*3 住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所 副所長（正会員）

表－1 使用材料

材料	種類及び主成分	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	3.15	—	—
細骨材	再生細骨材	2.18 (表乾)	15.4	F.M. 2.8±0.3
	山砂 (千葉県君津産)	2.60 (表乾)	1.37	—
	砕砂 (高知県鳥形山産)	2.66 (表乾)	1.37	—
粗骨材	再生粗骨材	2.44 (表乾)	6.3	F.M. 6.6±0.3
	碎石 (茨城県岩瀬産)	2.65 (表乾)	0.54	—
AE 減水剤	リグニンスルホン酸系	—	—	—
収縮低減剤	アルキレンオキシド系	—	—	—

及び再生粗骨材を使用した。再生細・粗骨材は、路盤材を所定の粒度になるようにふるい分けて採取した。なお、品質は再生骨材 L に近いものを使用した。

## 2.2 試験水準及びコンクリート配合

試験ケース及びコンクリート配合を表－2に示す。本実験では、普通骨材を使用した普通コンクリートについても溶液散布法を施し、乾燥収縮の低減効果を確認した。

溶液散布法のケースでは、SRA の絶対量を明確にしたうえで従来法との収縮低減効果を比較するため、絶対乾燥状態の骨材を所定の SRA 希釈溶液に 24 時間浸漬させた後、表面水を取り除いた表乾状態で使用した。したがって、コンクリートに含まれる SRA の絶対量は、SRA の希釈濃度と骨材吸水率によって一意的に定まる。

表－2 の試験ケースについて概説すると、No. 1～4 は再生細骨材を使用したケースであり、

表－2 試験ケース及びコンクリート配合

No.	溶液散布法対象	SRA 使用方法	SRA 添加率及び濃度	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
					水	セメント	再生細骨材	山砂	砕砂	再生粗骨材	碎石	AE 減水剤
1	なし	無添加	—	50	177	354	660	—	—	—	972	0.885
2		従来法	C×1.0%	50	177	354	660	—	—	—	972	0.885
3	再生細骨材	溶液散布法	濃度 1.0%	50	177	354	660	—	—	—	972	0.885
4			濃度 3.0%	50	177	354	660	—	—	—	972	0.885
5	なし	無添加	—	50	177	354	—	468	319	886	—	0.885
6		従来法	C×1.0%	50	177	354	—	468	319	886	—	0.885
7	再生粗骨材	溶液散布法	濃度 1.0%	50	177	354	—	468	319	886	—	0.885
8			濃度 3.0%	50	177	354	—	468	319	886	—	0.885
9			濃度 5.0%	50	177	354	—	468	319	886	—	0.885
10	なし	無添加	—	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885
11		従来法	C×1.0%	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885
12	普通細骨材	溶液散布法	濃度 3.0%	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885
13			濃度 5.0%	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885
14			濃度 10.0%	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885
15	普通粗骨材	溶液散布法	濃度 3.0%	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885
16			濃度 5.0%	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885
17			濃度 10.0%	50	177	354	—	468	319	—	972	0.885

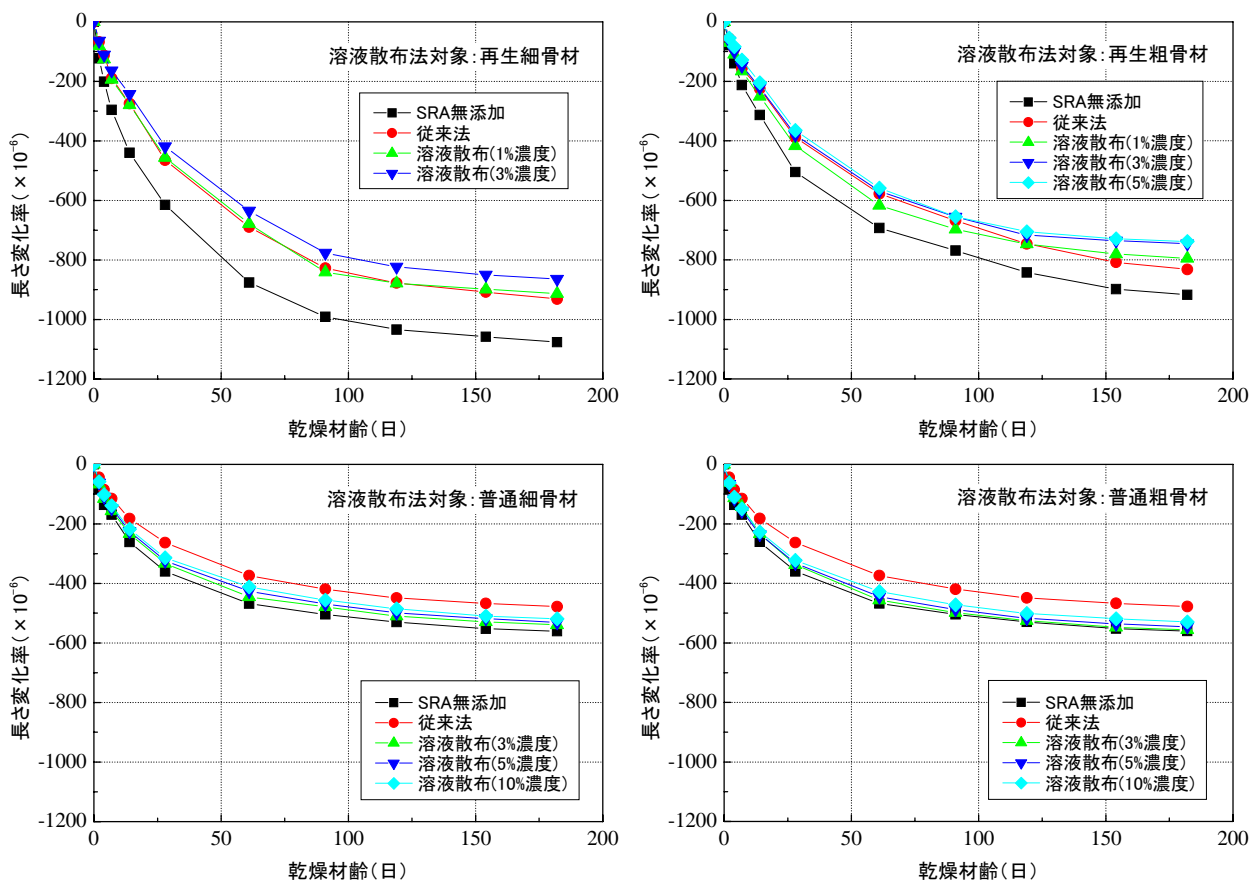


図-1 長さ変化率測定結果

No.3 と 4 にはそれぞれ 1.0%濃度と 3.0%濃度の SRA 希釈溶液を再生細骨材に吸水させた。No.5 ~9 は再生粗骨材を使用し, No.7, 8 及び No.9 はそれぞれ 1.0%濃度, 3.0%濃度及び 5.0%濃度の SRA 希釈溶液を再生粗骨材に吸水させた。

No.12~14 は, 普通細骨材に SRA 希釈溶液を吸水させたケース, No.15~17 は, 普通粗骨材に SRA 希釈溶液を吸水させたケースである。

### 2.3 試験項目及び試験方法

#### (1)フレッシュ性状の確認

練上がり直後のコンクリートを対象に, スランプ及び空気量を測定した。スランプ試験は JIS A 1101, 空気量試験は JIS A 1128 に従った。

#### (2)強度特性

表-2 中に示した No.5~9 のコンクリートを対象に圧縮強度試験を実施した。測定方法は JIS A 1108 に従った。

#### (3)乾燥収縮

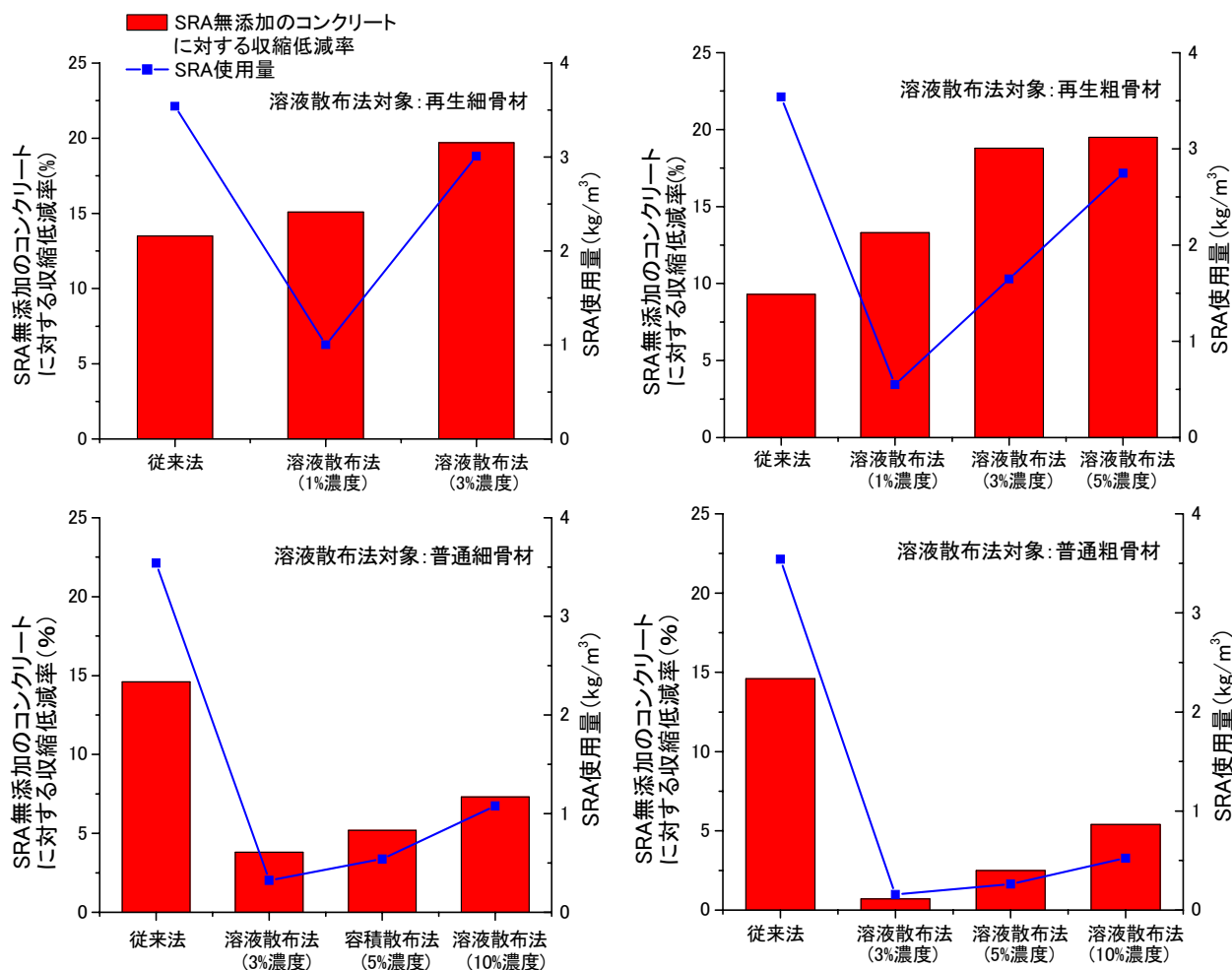
乾燥による長さ変化率は JIS A 1129-2 により測定した。コンクリート打設から水中養生開始までに打設面からの水分逸散を防ぐため, コンクリート打設後すぐに表面をシートで覆い封緘状態を保った。なお, 供試体寸法は  $10 \times 10 \times 40\text{cm}$  である。

## 4. 試験結果および考察

### 4.1 乾燥収縮による長さ変化測定

乾燥収縮による長さ変化の測定結果を図-1 に示す。図-1 より, 再生細骨材, 再生粗骨材に溶液散布法を施した場合, SRA 希釈液濃度 1% で従来法とほぼ同等の乾燥収縮の低減効果が確認できた。一方, 普通骨材に溶液散布法を施した場合は, SRA 希釈溶液濃度を 10%まで高めても従来法ほどの乾燥収縮の低減効果は得られなかった。

次に, 各配合における収縮低減率と SRA 使用



図－２ 収縮低減率と SRA 使用量の関係

量を図－２に示す。収縮低減率とは、同一配合で作製した SRA 無添加のコンクリートの材齢 182 日長さ変化率に対する SRA 混入コンクリートの材齢 182 日長さ変化率の割合を示したものである。

再生骨材コンクリートに溶液散布法を施したケースでは、従来法のケースに比べて SRA 使用量が少ないにもかかわらず、コンクリートの収縮低減率は従来法を上回る結果となった。それに対して普通コンクリートに溶液散布法を施したケースでは、従来法の収縮低減率より小さく、SRA 使用量に応じた収縮低減効果しか得ることができなかった。

ここで、再生骨材に溶液散布法を施した時の収縮低減作用について考察する。図－３は、図－１に示した長さ変化の測定結果から、各測定

間隔当たりの長さ変化率の増分、つまり、乾燥収縮速度を求めた結果である。同図から、材齢が経過すると何れのケースも同等の乾燥収縮速度になるが、材齢 28 日まではそれぞれ異なった傾向を示しているのが分かる。この期間、SRA を何らかの形で混入したケースの乾燥収縮速度は無添加のケースに比べると小さくなっており、SRA による収縮低減効果は材齢 28 日までに作用していると考えられる。更に、SRA を混入したケースそれぞれの材齢 28 日までの特徴を見ると、1 次ピークの高さは溶液散布法の方が大きくなる傾向にあるのに対し、2 次ピークの高さは溶液散布法の方が低くなっている。収縮低減効果が比較的大きかった SRA 濃度が高いケースに関しては、2 次ピークが出現しなくなるといった傾向も見取れる。このような傾向から、溶液散布

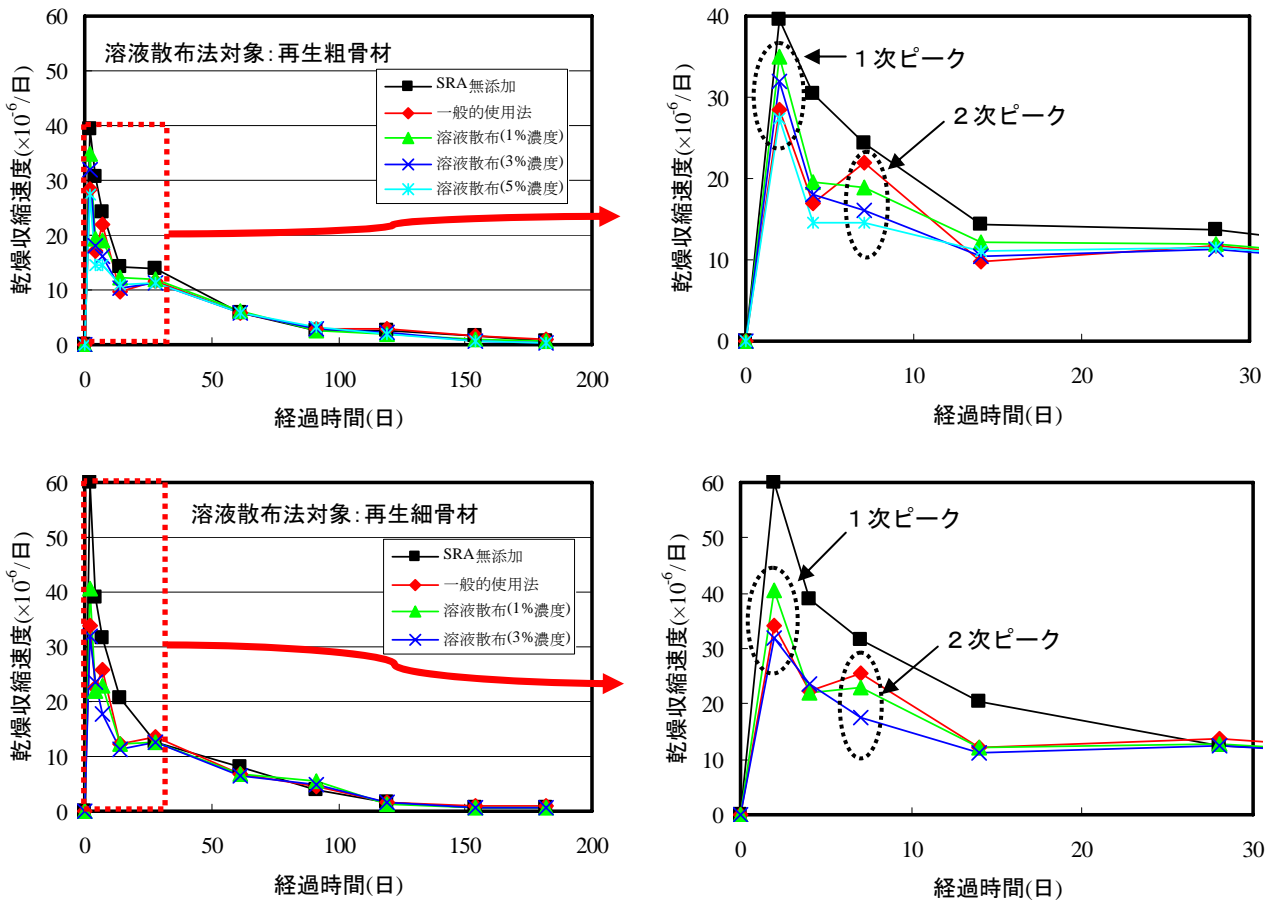


図-3 長さ変化率測定における乾燥収縮速度

法と従来法とでは、SRAによる収縮低減作用が発揮される時期は異なり、元々再生粗・細骨材中にSRAが含浸されていた溶液散布法は収縮低減作用が遅れて発揮される。長さ変化率に明らかな差が生じた従来法と溶液散布法のSRA濃度が高いケースの乾燥収縮速度を比較すると、1次ピークより2次ピークにおいて顕著な差が生じている。よって、溶液散布法による収縮低減効果は、SRAによる収縮低減作用のタイミングのずれが影響していると考えられる。この機構に関しては今後更に検討を進め、理解を深めていきたいと考えている。

#### 4.2 溶液散布法によるフレッシュ性状の変化

再生粗骨材を使用した配合 (No.5~9) のフレッシュ性状を表-3に示す。なお、何れの配合もAE剤の使用量は  $8.85\text{g/m}^3$  である。従来法によるNo.6の空気量は、消泡剤により調整を行った。消泡剤を添加する前の空気量は、SRA無添加や

溶液散布法のケースと比較して大きくなった。これは練混ぜ水にSRAを混入したことで空気連行性が作用したためといえる。これに対して、溶液散布法を施したコンクリートの空気量は当初目標値とした4.5%程度であった。これは、フレッシュ時にSRAが再生骨材中に含まれている

表-3 コンクリートのフレッシュ性状

No.	溶液散布法対象	SRA 使用法	スランプ (cm)	空気量 (%)	
5	再生粗骨材	無添加	18.0	4.4	
6		従来法	18.5	7.3 (4.3)	
7		溶液散布法	濃度 1.0%	18.5	4.3
8			濃度 3.0%	17.5	4.1
9			濃度 5.0%	18.0	4.6

※ ( ) 内の数値は消泡剤で調整後の値

ことで空気連行性が作用せず、所定の空気量がAE剤によって連行されたと考えられる。よって、溶液散布法によるコンクリートの気泡はAE剤によって連行された良質のものであり、既報<sup>1)</sup>のような凍結融解の抵抗性は改善できると思われる。この点については今後実験的検討を通じて検証していく。

### 4.3 溶液散布法による圧縮強度の変化

再生粗骨材を使用した配合の圧縮強度試験結果を表-4に示す。

従来法の圧縮強度はSRA無添加や溶液散布法と比較して小さくなった。これは、図-4に示すように練混ぜ水中にSRAを混入したことでSRAがセメントの水和反応に影響を及ぼし、強度発現を阻害したためと考えられる。一方、溶液散布法を施した場合、SRA無添加の場合と同等の強度が得られている。これは、SRAが骨材中に含まれることで、セメントの水和に及ぼすSRAの影響が極めて少なくなり、強度発現を阻害することが抑制できたためと考えられる。

このように溶液散布法を施すことで、少量のSRAで乾燥収縮の低減を実現するばかりでなく、SRA使用による諸問題とされてきた空気量増大、強度発現の阻害を回避することができた。

## 5. まとめ

本研究では、再生骨材コンクリートの乾燥収縮低減に関する合理的手法の検討を行った結果、以下のような知見が得られた。

- (1) 溶液散布法は、従来法と比較して少量のSRA使用量で、再生骨材コンクリートの乾燥収縮の低減を可能とした。
- (2) 溶液散布法は、従来法でのSRAによる諸問題である空気量増大や強度発現の阻害を改善した。

今回の試験はSRAの絶対量を明らかにしたうえで溶液散布法と従来法における収縮低減効果を比較するため、絶乾状態の再生骨材に溶液を含浸させた。しかし、この条件はレディーミクストコンクリート工場における骨材の散水管理

表-4 圧縮強度試験結果

No.	溶液散布法対象	SRA 使用法		材齢 28 日 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
5	再生 粗骨材	無添加		38.7
6		従来法		31.8
7		溶液 散布 法	濃度 1.0%	39.4
8			濃度 3.0%	38.8
9			濃度 5.0%	39.2

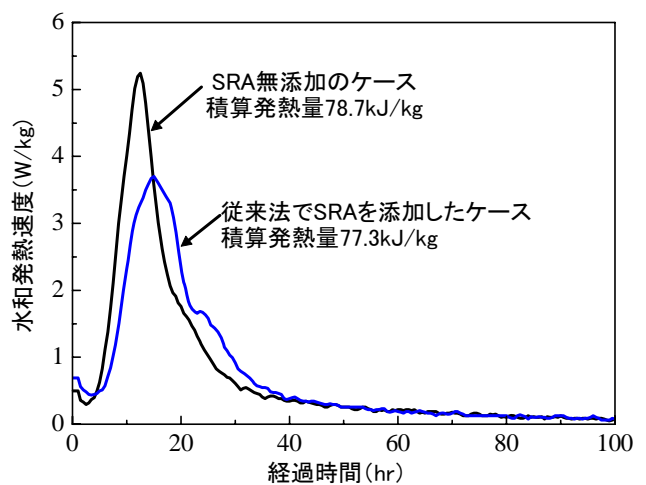


図-4 SRA添加の有無によるセメントの水和発熱速度の関係

とは必ずしも一致しない。実際には絶乾状態の骨材に散水できることは少なく、溶液の浸透量によって左右される溶液散布法は実機レベルの試験を通じて、その収縮低減効果を更に検討していかなければならない。

### 参考文献

- 1) (社)日本材料学会編：コンクリート混和材料ハンドブック
- 2) 小田部裕一，鈴木康範，保利彰宏，安藤哲也：初期欠陥のない高性能コンクリートの開発，セメント・コンクリート，No.658，pp.36-44，2001