

平成 28 年 4 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820178

研究課題名(和文) ASR補修効果の迅速評価法の構築に関する研究

研究課題名(英文) Rapid evaluation method of repairing of concrete deteriorated due to ASR

研究代表者

佐川 康貴 (SAGAWA, YASUTAKA)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10325508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：アルカリシリカ反応(ASR)を生じたコンクリートの補修効果の評価手法を構築するため、RILEM AAR-4を改良したAW-CPT法を用いた加速試験を提案した。表面含浸材(固形油脂をベースとし変成シリコンを混合したもの)を塗布したコンクリートのAW-CPT試験を行った結果、表面含浸材を塗布した条件において無塗布の場合よりも膨張量が大きくなる現象が認められたため、コンクリートの含水率についてさらなる検討が必要である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to evaluate repairing effectiveness of concrete structures deteriorated due to Alkali Silica Reaction (ASR). Modified RILEM AAR-4 Method was proposed. This method is expected to decrease alkali leaching and drying. It is applied to accelerated test of concrete repaired with surface penetrant agent. As a result, it was observed that repairing effectiveness, in some cases, was not found. The reason seemed that water can not be released in the testing container.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：アルカリシリカ反応 ASR 補修 表面含浸材 CPT

## 1. 研究開始当初の背景

我が国におけるアルカリシリカ反応 (ASR) による劣化現象は、1970～1980年代に数多く報告されたが、旧建設省総合開発プロジェクト (総プロ) により抑制対策が示された1989年以降の構造物では沈静化したと考えられる。しかし、既存構造物の一部、例えば、ペシマム現象を呈する場合では劣化が進行し、補修が必要となっている。また、一旦補修したにもかかわらず、再度劣化が顕在化する「再劣化」も散見され、ASRの補修技術は発展途上にある。

例えば、アルカリ総量規制は1年間のペシマム現象を考慮しないコンクリートの膨張試験の結果から定められたが、土木研究所からの最新の報告によると、より長期の膨張挙動からは  $3.0 \text{ kg/m}^3$  というアルカリ総量規制には限界があることが指摘されている<sup>1)</sup>。

ASRにより劣化した構造物の補修対策として、表面被覆工法による水分遮断を目的とした工法が多く選択される傾向にある。しかし、外部からの水分を完全に遮断することは容易ではなく、また、ASR膨張によるひび割れは長期に渡り進行するのが特徴である。これまで、ASRに関する再劣化の事例として、表面被覆材の高い遮水性によってコンクリート内部に水分を閉じ込めてしまい、結果的にASRを助長した事例や、有機系表面被覆材を適用したものの、内部コンクリートの膨張が継続し、表面被覆材がひび割れに追従しきれずひび割れを生じた事例などが認められる。

既存構造物の診断～補修設計～補修施工～その後の維持管理のプロセスを合理的に進めるための補修技術のあり方が問われている。

## 2. 研究の目的

アルカリシリカ反応 (ASR) を生じたコンクリート構造物では、補修を行った場合でも数年経過後に再び劣化 (再劣化) が生じる事例が散見される。また、補修工法、補修材料には、近年開発されたものが多く、また、場合によっては複数の補修工法が併用される場合があるものの、補修効果の評価手法や、骨材の反応性、劣化状況に応じた補修方法の選定手法は確立されていない。

本研究では、ASRにより劣化したコンクリート構造物の合理的な補修設計手法を構築することを目的とし、補修効果を定量的に示す方法としてコンクリートバーを用いた加速試験の適用性について研究した。また、データベースを活用して補修工法に関する調査を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) ASR加速試験法に関する検討

コンクリートの細孔溶液中の濃度に近いアルカリ水溶液を含ませた不織布におよびラッピングフィルムによってコンクリート試験体を包み、密封を行う新たな試験法を提案し、その適用性について検討を行った。

### (2) 補修効果の評価

コンクリート用補修材料のうち、固形油脂をベースとし変成シリコンを混合した表面含浸材を選定し、これを塗布した場合のASR抑制効果について検討した。

### (3) 表面含浸工法に関する実態調査

新技術に関わる情報の共有及び提供を目的として活用されている、新技術情報提供システム (New Technology Information System: NETIS) をデータベースとして用い、表面含浸工法に関する情報収集および考察を行った。

## 4. 研究成果

### (1) ASR加速試験法に関する検討

試験法は、コンクリートプリズムを用いたASR促進試験法として、RILEM AAR-4 “Detection of potential alkali-reactivity - Accelerated method for testing aggregate combinations using concrete prisms” による方法をベースとして、アルカリ溶液を含ませた不織布およびラッピングフィルムによってコンクリートプリズム試験体を包む工夫を新たに加えた試験法 (以下、AW-CPT法) を用いた。試験法は、以下の通りである。

供試体は、 $75 \times 75 \times 250 \text{ mm}$  の角柱供試体を3本1組で作製し、それぞれの両端にステンレス製のゲージプラグを埋め込んだ。打設の際、目的となるアルカリ総量となるようにNaOH水溶液を用いて調節し、打設後24時間温度を  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  に保った恒温室で養生を行い、その後脱型を行った。脱型後、 $20 \pm 2^\circ \text{C}$  の水中に供試体を浸漬し、 $30 \pm 5$  分間吸水させた後、供試体長さを測定し、基長とした。養生する際は、乾燥およびアルカリ溶脱の防止を目的として、供試体を不織布で覆い、さらにラッピングフィルムにより密閉して、底部に水を張った密閉できるステンレス製もしくはプラスチック製の格納容器に立てて格納した。不織布にはあらかじめ50gのアルカリ水溶液を吸水させた。アルカリ水溶液の濃度は、細孔溶液中のアルカリ濃度と同様となるよう、NaOH水溶液を用いて調節した。

コンクリートの配合は  $W/C=50\%$ 、 $s/a=44\%$  および単位水量を  $160 \text{ kg/m}^3$  とした。反応性骨材は、ASR反応性鉱物としてオパール、ガラス、カルセドニーおよびクリストバライトを含む安山岩砕石である。要因および水準は、養生温度が60、40および $20^\circ \text{C}$  (それぞれNo. 1、No. 2およびNo. 3) と、アルカリ総量が  $5.5 \sim 2.0 \text{ kg/m}^3$  である (枝番号の小さい方が、高いアルカリ総量であることを表す)。

図-1に膨張率の経時変化を示す。 $60^\circ \text{C}$  養生ではおよそ5週材齢にかけて大きな膨張傾向を示し、その後緩やかな膨張へ移行していることが分かる。また10週材齢の時点でアルカリ総量に比例して膨張率が大きくなる結果となり、その後はアルカリ総量に関わらず同程度の緩い傾きで膨張傾向を示している。

40℃養生は60℃養生と比較すると初期の膨張が小さく20週材齢から緩やかな膨張へ移行している。またアルカリ総量が3.0kg/m<sup>3</sup>から5.5kg/m<sup>3</sup>の間では膨張挙動の差はあまり現れていない。

20℃養生では初期の膨張傾向はさらに小さくなるものの70週材齢を過ぎてもおお比較的大きな膨張傾向を示しており、60℃および40℃養生の膨張率へ近づいていることが分かる。またアルカリ総量が2.5kg/m<sup>3</sup>から5.5kg/m<sup>3</sup>の範囲内においては、アルカリ総量が少ない場合には膨張開始時期が遅れる傾向にあるが、時間経過とともに高アルカリ域の膨張挙動に収束している。

以上の結果および、屋外曝露試験結果(図-2)と比較した結果、供試体の乾燥およびアルカリの溶脱を防ぐためにアルカリラッピングは有効であることが示された。

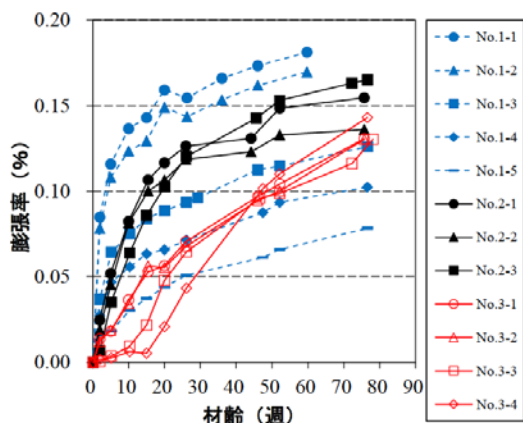


図-1 AW-CPT法による膨張挙動の比較

(2) 補修効果の評価

コンクリートの配合はW/C=55%, s/a=45%および単位水量を160kg/m<sup>3</sup>とした。表面保護材の塗布を行わない供試体(N55), 脱型直後に表面含浸材の塗布を行った供試体(N55-S), 脱型直後にシリカを含んだ表面含浸材の塗布を行った供試体(N55-SS), 促進養生2週間後、表面含浸材の塗布を行った供試体(N55-S'), 促進養生2週間後、シリカを含んだ表面含浸

材の塗布を行った供試体(N55-SS')の5通りの供試体を作製した。塗布作業は、写真-1に示す通り、刷毛による塗布を行った。

膨張挙動を比較した結果を、図-2に示す。本研究の範囲内では、膨張率では、表面含浸材を塗布していないN55が最も膨張率が低く、途中から塗布したN55-S'およびN55-SS'が次に続く結果となった。また、最初から塗布したN55-SおよびN55-SSの方が膨張率が大きくなるという結果となった。この結果より、本材料を塗布したことにより、コンクリート内部の水分の蒸発を阻害されたことにより、ASR反応が進行したものと考えられる。したがって、加速試験期間中における含水率の評価や、水分やアルカリの収支、高温環境下での表面含浸材の反応機構も考慮した加速試験法が必要であると考えられる。



写真-1 表面含浸材塗布状況

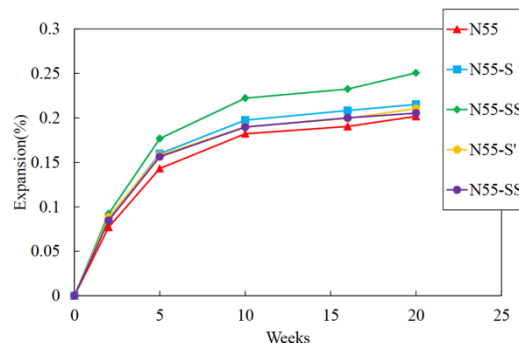


図-3 膨張率試験結果

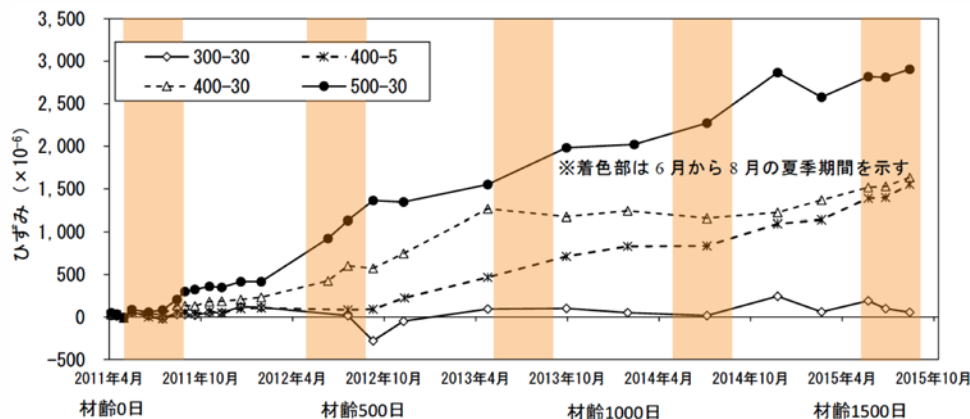


図-2 屋外曝露試験結果

(3) 表面含浸工法に関する実態調査

表面含浸工法に該当する登録技術は、34 技術あった。ほとんどすべての技術が、中性化および塩害に対する効果があることが示されていた。それらのうち、ASR に効果があると申請者が登録している技術は 19 あり、半数を占めていることが明らかとなった。ASR に効果があると申請者が登録している技術を分類した結果を、表-1 に示す。

表-1 表面含浸材の分類

分類	件数
シラン系	14
けい酸塩系	3
その他の系	2
計	19

シラン系が多く割合を占めていたが、けい酸塩系や、その他の系のものもあった。構造物の予防保全対策として、近年では表面含浸工法が多用される傾向にある。その適用範囲については表-2（土木学会「表面保護工法設計施工指針（案）」）にあるように、シラン系、けい酸リチウム系は○印「適用対象」であるがけい酸ナトリウム系は△印「適用する場合検討が必要（他の補修工法との併用など）」となっており、材料により取り扱いが異なる。したがって、けい酸塩やその他の系を ASR 抑制対策として使用する場合には、成分や抑制効果について確認する必要がある。

表-2 ASR 抑制のための表面含浸工法の適用範囲（土木学会）

適用対象		工法	けい酸塩系		その他の系
			シラン系	けい酸リチウム系	
環境	陸上部・内陸部		○	○	△
	海洋環境（海上大気中部）		○	○	△
構造部材	RC		○	○	△
	PC		○	○	△
既設構造物	劣化度	潜伏期	○	○	△
		進展期	—	—	—
		加速期	—	—	—
		劣化期	—	—	—
新設構造物			○	○	△

注) 表中の○は適用対象、△は適用する場合検討が必要（他の補修工との併用等）、—は適用対象外を示す。

また、ASR に対する抑制効果があると記されているものは、コンクリートへの水分の供給を遮断することを期待しているものであると推察された。土木学会「表面保護工法設計施工指針（案）」では、透水抑制率や吸水抑制率、透湿比といったパラメータも示されているものの、NETIS 情報としては公開されていないので、これらの値が公開され、性能評価および材料選定を行うための指標として活用することが望まれる。

<引用文献>

1) 古賀裕久, 百武壮, 渡辺博志, 脇坂安彦, 西崎到, 守屋進: 屋外に 23 年以上暴露したコンクリートの観察結果に基づく骨材の ASR 反応性の検討, 土木学会論文集 E2, Vol. 69, No. 4, pp. 361-376, 2013. 10

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

①Yasutaka SAGAWA, Kazuo YAMADA, Shoichi OGAWA, Yuichiro KAWABATA, Masahiro OSAKO: The Effect on Expansion of Wrapping Concrete Prisms with Cloth Saturated with Alkali Hydroxide, Proceeding of 27th Biennial National Conference of the Concrete Institute of Australia in conjunction with the 69th RILEM Week, pp. 822-831, August, 2015

[学会発表] (計 2 件)

①田中暁大, 佐川康貴, 山田一夫, 小川彰一: ペシマム現象を示す骨材を用いたコンクリートブロックの 4.4 年までの暴露試験結果, 土木学会西部支部平成 27 年度研究発表会, 2016 年 3 月

②小田聡, 田中暁大, 佐川康貴, 山田一夫, 小川彰一, 濱田秀則: ASR 膨張挙動の温度およびアルカリ依存性に関する検討, 土木学会西部支部平成 26 年度研究発表会, 2015 年 3 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐川 康貴 (SAGAWA, Yasutaka)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 10325508