

アルカリ骨材反応に対する各種塗布剤の抑制効果に関する研究

愛知工業大学 正会員 博(工) ○呉 承寧
 太平洋マテリアル(株) 正会員 博(工) 郭 度連
 オリエンタル白石(株) 正会員 修(工) 俵 道和
 太平洋マテリアル(株) 修(農) 浜中昭徳

Abstract : In order to investigate the inhibiting effect of the durability improvement curing agent and surface modification agent to ASR of concrete, the durability improvement curing agent or the surface modification agents was coated to the surface of the mortar specimens made by harmless aggregate, reactant andesite aggregate, or reactant chert aggregate respectively, and the inhibiting effect to ASR was checked. According to the results of the tests, the expansion of the specimens coated by the durability improvement curing agent or silane-siloxane type water absorption inhibitor was lower than that of the specimen not being coated. However, the expansion of the specimen coated by a sodium silicate type surface modification agent was larger than the specimen not being coated. The inhibiting effect to ASR has a good relation with waterproofness effect of the coating materials.

Key words : ASR, Coating materials, Inhibiting effect

1. はじめに

コンクリートのアルカリ骨材反応（以下はASRと略称）とは、コンクリートのアルカリ成分（KOH, NaOH）と骨材中のアルカリ反応性鉱物（ SiO_2 ）との間の化学反応であり、この反応で生成したアルカリシリカゲルが水を吸収し膨張する。この膨張の圧力によって、コンクリートに引張応力が発生し、ひび割れが発生する。

ASRは、コンクリート構造物早期劣化の原因の一つとして早急に対策をとる必要がある。現在、新規建設されるコンクリート構造物のASR対策としては、コンクリートの単位アルカリ総量の低減や、混合セメントの使用、無害の骨材の使用、およびコンクリートの表面防水処理などが挙げられる。

一方、筆者らは、特殊乳化技術で水分逸散抑制機能を有する高分子と撥水機能を有する高分子を均一に乳化し、養生効果と吸水防止効果を兼備する耐久性向上養生剤（以下はCB養生剤と略称）を開発し、コンクリート表面に一度だけの塗布によって、かぶりコンクリートの緻密化と吸水防止性が実現し、侵食物質の侵入を抑制し、初期の養生効果が得られただけでなく、コンクリートの中性化抵抗性と塩化物イオン浸透抵抗性も向上されることが実験で実証された¹⁾。

本研究は、CB養生剤の塗布によるコンクリート表層部の緻密化と吸水防止性に着目し、ASRに必要なアルカリ成分と水分の外部からの供給を遮断することにより、ASRを抑制できる可能性を考えて、これを検証するために、ASR反応性骨材を用いたモルタル試験体をCB養生剤およびそのほかの比較用塗布剤を塗布し、50°Cの飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬し、ASRの促進試験を行った。

2. 試験の概要

2.1 試験体の製作

本研究に使用した試験体は、アルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）（JIS A 1146）に採用されている40mm×40mm×160mmの角柱モルタル試験体である。

モルタルの使用材料を表-1に示す。使用した反応性細骨材は、既往研究成果から、安山岩系反応性粗骨材とチャート系反応性細骨材を選定し、化学法 (JIS A 1145) でそれらの反応性を確認したうえで、モルタルバー法に決められている粒度に粉砕した。具体的な粒度分布は表-1に示す。

表-1 試験体製作用モルタルの使用材料

材 料	種 類	物性と粒度分布
セメント(C)	アルカリシリカ反応試験用 普通ポルトランドセメント	密度=3.16, Na ₂ Oeq=0.55%
非反応性細骨材(S)	愛知県産川砂	4.76~2.36mm 10%, 2.36~1.18mm 25%, 1.18mm~600 μm 25%, 600~300 μm 25%, 300~150 μm 15%
反応性細骨材(S1)	北海道産安山岩砕砂	同上
反応性細骨材(S2)	岐阜県産チャート砕砂	同上

各試験体の製作に使用したモルタルの配合は、同じくモルタルバー法に決められている配合としたが、反応性骨材と非反応性骨材の割合は、反応性骨材のペシマム現象を考慮し、事前の確認試験結果から得られた膨張率が最も大きい場合の割合とした。各試験体のモルタル配合および塗布剤種類を表-2に示す。

表-2 試験体のモルタル配合と表面塗布

試験体 の記号	配合量 (kg)					表面塗布剤
	練混ぜ水 W	セメント C	非反応性骨材 S	反応性骨材		
				S1	S2	
N-PL	3.00	6.00	13.50	0	0	無塗布
N-CB						CB養生剤
N-SS						SS吸水防止剤
N-NS						NS表面改質剤
A-PL	3.00	6.00	4.05	9.45	0	無塗布
A-CB						CB養生剤
A-SS						SS吸水防止剤
A-NS						NS表面改質剤
C-PL	3.00	6.00	0	0	13.50	無塗布
C-CB						CB養生剤
C-SS						SS吸水防止剤
C-NS						NS表面改質剤

試験体の表面に塗布した塗布剤は、CB養生剤のほかに、CB養生剤と比較するために、シラン・シロキサン系吸水防止剤 (以下はSS吸水防止剤と略称)、およびケイ酸塩系表面改質剤 (以下はNS表面改質剤と略称) を選定した。

各塗布剤の主成分、塗布量および塗布時期を表-3に示す。各塗布剤の塗布量は製造会社の推奨量とした。各塗布剤の塗布時期について、CB養生剤の場合は、養生剤としてその機能を鑑みて脱型時である材齢2日で試験体を塗布し、20°C、60%RHの室内で気中養生したが、吸水防止剤SSおよび表面

改質剤NSの場合は、本来既設構造物向けに適用して改質効果を得るものであることを考慮し、気中養生28日後に試験体を塗布することとした。

各塗布剤の外観を写真-1に示す。これらの塗布剤は、写真-2に示すように、所定の材齢で刷毛で試験体の全表面に塗布した。塗布した試験体を材齢42日まで気中養生を行った。

表-3 塗布剤の種類と使用量

記号	種類	主成分	塗布量 (g/m ²)	塗布時の試験体材齢 (d)
N	無塗布	—	—	—
CB	CB養生剤	アルケニル系エステル化合物 特殊シラン系活性剤	150	2
SS	SS吸水防止剤	シラン・シロキサン系	200	28
NS	NS表面改質剤	ケイ酸ナトリウム系	200	28

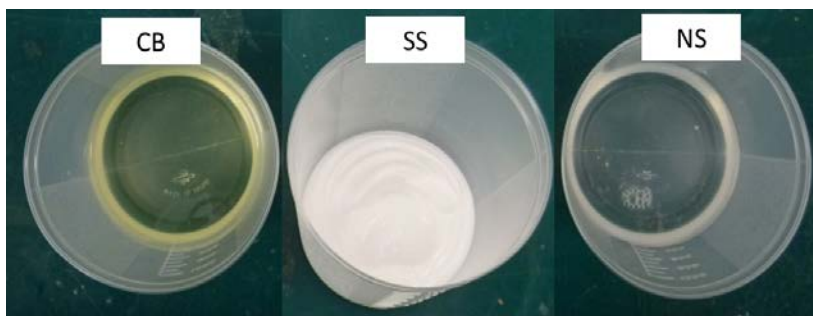


写真-1 各塗布剤の外観



写真-2 塗布剤の塗布

2.2 A S Rの促進試験方法

各種塗布剤の塗布によるA S Rの抑制効果を確認するために、無塗布の比較用試験体と塗布した試験体を材齢42日まで気中養生した後に、50℃の飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬し、A S Rの促進試験を行った。試験体の浸漬状況を写真-3に示す。

A S Rの促進試験の期間中、試験体の長さ変化率および質量変化率を定期的に測定し、これによって各種の塗布剤のA S R抑制効果を評価した。長さ変化率の測定は、ダイヤルゲージ方法（JIS A 1129-3）に準拠して行った。質量変化率の測定は、試験体を表面乾燥状態に調整した後にその質量を量った。



写真-3 試験体の浸漬状況

3. 試験の結果

3.1 各塗布剤の吸水防止効果

本研究では、各種の塗布剤のA S R抑制効果およびそのメカニズムを検討するために、比較のための非反応性骨材を用いたモルタル試験体を反応性骨材を用いたモルタル試験体と同様に、50℃の飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬し、その長さ変化率と質量変化率を測定した。その結果を図-1と図-2に示す。

非反応性骨材を用いた各試験体の長さ変化においては、図-1に示すように、試験体の塗布状況と関係なく、すべての試験体で長さ変化はほとんど認められなかった。これは塩化ナトリウム溶液が浸

透した場合においても非反応性骨材を使用したためASRが生じなかったことを示している。

非反応性骨材を用いた試験体の質量変化においては、図-2に示すように、NS表面改質剤を塗布した試験体(N-NS)は、表面無塗布の試験体(N-PL)に比べ、浸漬日数が進むにつれて試験体に塩化ナトリウム溶液が浸透し、比較的高い質量の増加が認められ、NS表面改質剤の吸水防止効果が確認されなかった。一方、CB養生剤を塗布した試験体(N-CB)は、僅かな質量の増加が見られたが、また、SS吸水防止剤を塗布した試験体(N-SS)は質量の増加はほとんどなかった。これらの試験結果から、NS表面改質剤に比べ、CB養生剤、特にSS吸水防止剤は高い吸水防止効果があることが分かった。

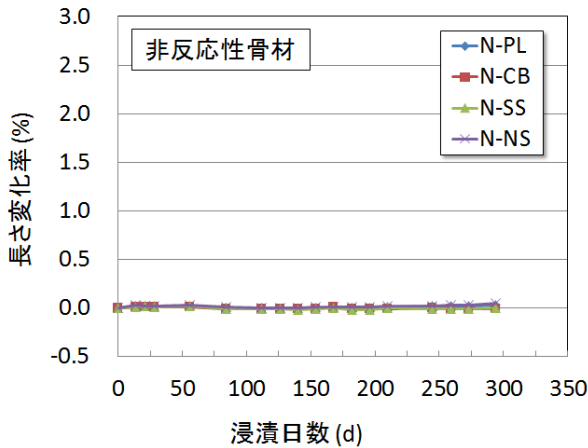


図-1 非反応性骨材試験体の長さ変化

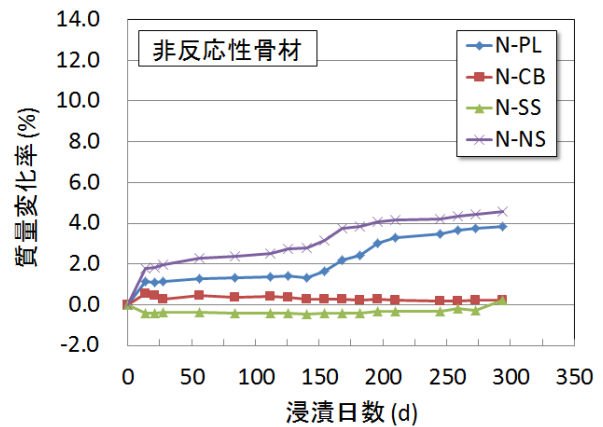


図-2 非反応性骨材試験体の質量変化

3.2 チャート系骨材のASRに対する塗布剤の抑制効果

各種の塗布剤のASR抑制効果を調べるために、ASR反応性を有するチャート系骨材を用いたモルタル試験体を製作し、その表面に塗布剤を塗布し、50℃の飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬し、定期的に長さ変化率と質量変化率を測定した。その結果を図-3と図-4に示す。

図-3に示すように、無塗布試験体(C-PL)に比べ、NS表面改質剤を塗布した試験体(C-NS)は長さの増加速度は速く、CB養生剤を塗布した試験体(C-CB)は浸漬日数が進むにつれて試験体の長さの増加速度は緩やかであった。この結果から、NS表面改質剤はそのナトリウム成分がASRに対して促進作用があり、一方、CB養生剤はその吸水防止効果によってASRに対して一定の抑制効果を呈したことが分かった。

反応性骨材を用いた試験体にASRが発生すると、反応生成物の吸水や、発生したひび割れへの水の侵入などが生じ、非反応性骨材を用いた試験体に比べ、質量の増加が著しくなる。よって、ASRの程度が50℃の飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬された試験体の質量変化率の違いにも反映されると考えられる。図-4に示すように、無塗布試験体(C-PL)およびNS表面改質剤を塗布した試験体(C-NS)に比べ、CB養生剤を塗布した試験体(C-CB)は、質量の増加速度が比較的緩やかであった。この質量変化率の測定結果からもASRに対するCB養生剤の抑制効果が示唆されたが、その抑制効果は試験体への塩化ナトリウム溶液の浸透につれて徐々に失われたと考えられる。

SS吸水防止剤を塗布した試験体(C-SS)は、長さや質量と共にはほとんど変化していなかった。この結果から、SS吸水防止剤は試験体に対して高い吸水防止性を付与しており、そのため試験体にASRが発生していなかったと判断できる。

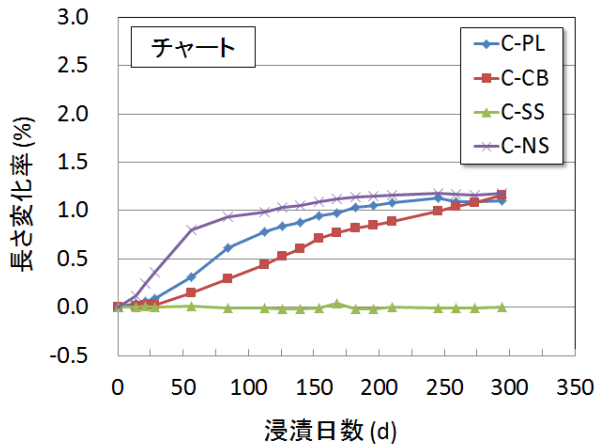


図-3 チャート骨材試験体の長さ変化

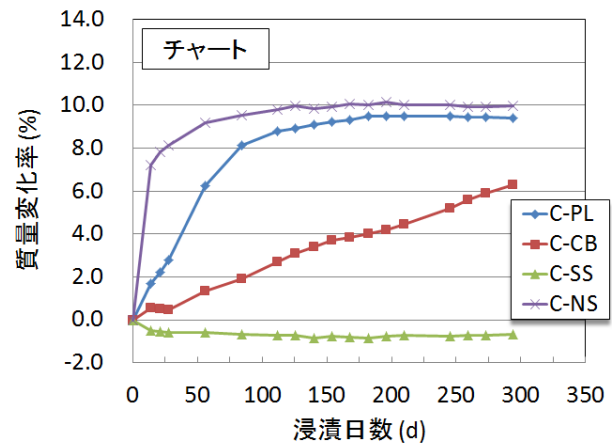


図-4 チャート骨材試験体の質量変化

3.3 安山岩系骨材のASRに対する塗布剤の抑制効果

各種の塗布剤のASR抑制効果を確認するために、チャート系骨材よりさらにASR反応性の高い安山岩系骨材を用いてモルタル試験体を製作した。その表面に各塗布剤を塗布し、50℃の飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬し、定期的に長さ変化率と質量変化率を測定した。試験の結果を図-5と図-6に示す。

図-5によると、CB養生剤を塗布した試験体(A-CB)は、浸漬日数1ヶ月までは、無塗布試験体(A-PL)およびNS表面改質剤を塗布した試験体(A-NS)に比べ、長さの増加が極めて少なかったが、その後、長さの増加が加速され、浸漬日数75日に、CB養生剤を塗布した試験体(A-CB)の長さ変化率は無塗布試験体(A-PL)およびNS表面改質剤を塗布した試験体(A-NS)と同等になった。その原因は、CB養生剤の塗布により、一定の吸水防止効果を付与されたことより浸漬初期ではASRを抑制する効果があったが、試験体に徐々に浸透した塩化ナトリウム溶液によって、より反応性の高い安山岩系骨材がASRを発生、ひび割れを生じて以後はそこから試験体に塩化ナトリウム溶液が簡単に侵入し、ASRがさらに加速されたためと思われる。

このような現象は、質量の変化からも確認された。図-6に示すように、無塗布試験体(A-PL)およびNS表面改質剤を塗布した試験体(A-NS)に比べ、CB養生剤を塗布した試験体(A-CB)は、浸漬初期では、質量の増加速度が比較的緩やかであったが、その後加速された。

CB養生剤を塗布した試験体(A-CB)の最終的な質量変化率が、無塗布試験体(A-PL)およびNS表面改質剤を塗布した試験体(A-NS)に比べ、比較的小さかったことは、無塗布試験体およびNS表面改質剤を塗布した試験体に比べ、ひび割れの発生時期が遅く、ひび割れ以外の箇所でCB養生剤は一定の吸水防止効果があり、試験体に塩化ナトリウム溶液の浸透が比較的少なかったためと推測される。

一方、SS吸水防止剤を塗布した試験体(A-SS)は、長さ、質量ともにほとんど増加していなく、ひび割れもなかった。これは、SS吸水防止剤が試験体に対して高い吸水防止性を付与し、試験体にASRが発生していなかったためと判断できる。

以上の結果は、CB養生剤は、反応性骨材を用いた試験体に対して、そのある程度の吸水防止効果によって試験体に塩化ナトリウム溶液の浸透速度を抑え、ASRの発生を遅らせる効果があるが、完全に吸水を防止することができないため、ASRを完全に抑制することが難しいことを示唆する。ASRに対するCB養生剤の抑制効果を向上するためには、CB養生剤の吸水防止効果をさらに改善することが必要と考えられる。

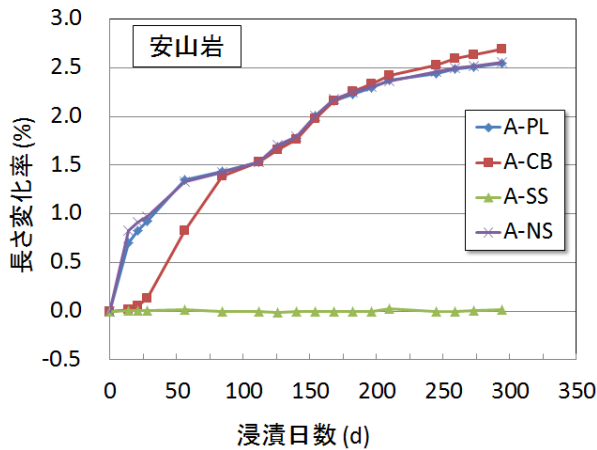


図-5 安山岩骨材試験体の長さ変化

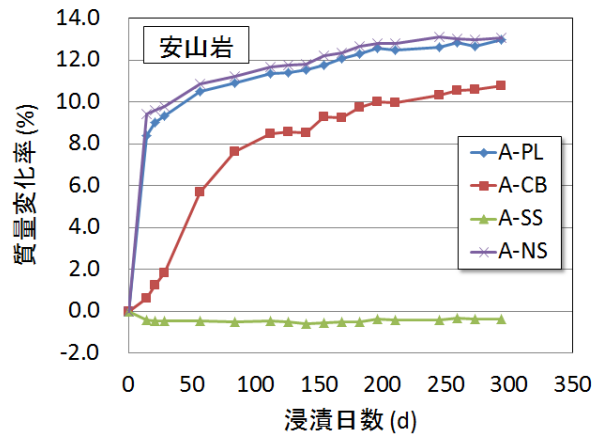


図-6 安山岩骨材試験体の質量変化

3.4 A S Rによる長さ変化と質量変化との相関関係

各種試験体の長さ変化率と質量変化率との関係をまとめると、図-7に示す良好な相関関係が得られる。各試験体の長さ変化率は質量変化率の増加につれて大きくなるが、C B養生剤を塗布した試験体は、無塗布またはN S表面改質剤を塗布した試験体に比べ、同じ長さ変化率での質量変化率が比較的小さかった。これはC B養生剤の吸水防止効果があり、A S Rによる試験体の質量の増加以外に、試験体に塩化ナトリウム溶液の浸透が少なかったことと関係がある。

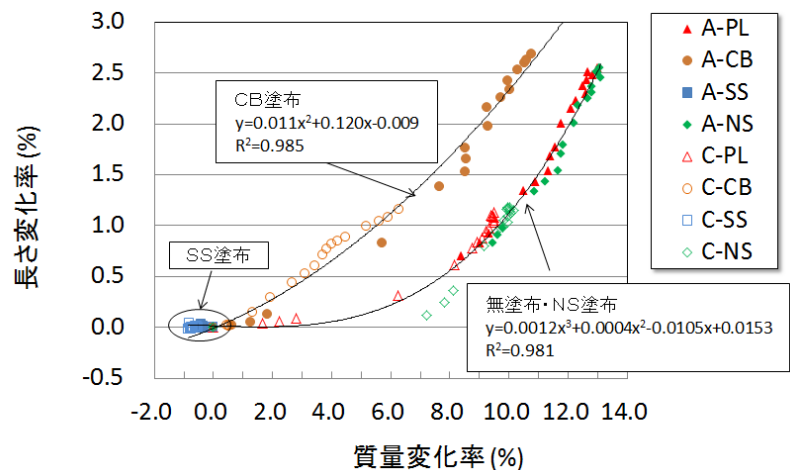


図-7 試験体の長さ変化と質量変化との関係

4. まとめ

本研究の実験範囲内で以下の知見が得られた。

- (1) N S表面改質剤は、吸水防止効果がなく、A S Rに対して促進作用があった。
- (2) C B養生剤は、ある程度の吸水防止効果があり、A S Rの発生を遅らせる効果があるが、A S Rを完全に抑制することはできなかった。
- (3) S S吸水防止剤は、高い吸水防止効果があり、A S Rに対して高い抑制効果があった。
- (4) A S Rによる長さ変化率と質量変化率は、塗布剤の種類によって、良好な相関関係があった。

参考文献

- 1) 呉承寧, 俵道和, 小林俊秋, 郭度連, コンクリート表面品質の向上に及ぼす養生剤と表面改質剤の影響に関する研究, プレストレストコンクリート工学会 第21回シンポジウム論文集, pp. 573-578, 2012