

アルカリ骨材反応に関する研究 (その4)

——防水塗装による反応抑制効果の検討——

喜田大三 住野正博

Studies on Alkali-Aggregate Reaction (Part 4)

——Experimental Study on Inhibiting Effect of Waterproof Coating Materials on Alkali-Aggregate Reaction——

Daizo Kita Masahiro Sumino

Abstract

As alkali-aggregate reaction is a chemical phenomenon produced by alkali and highly reactive silica minerals in aggregate under conditions in which water exists, it is considered effective in inhibiting this reaction to cut off entrance of water from the outside by coating the surface of concrete with waterproof materials. However, it is expected that water already existing in the concrete will greatly affect the reaction after coating, while the inhibiting effect may differ prominently according to the kind of coating material. Therefore, experiments using mortar and several waterproof coating materials were conducted in the laboratory to investigate the degrees of influence of water from inside and outside and the inhibiting effects of coating materials. The results show that the reaction is influenced greatly not only by water supplied from outside, but also water already existing in the mortar, with adequate inhibiting effect obtained only in case of applying good-quality waterproof coating materials to dried mortar surfaces.

概 要

数年前から我が国において、一部のRC造土木構造物がアルカリ骨材反応で損傷し、その補修対策の確立が急がれている。この反応抑制には防水塗装を施し、外部からの水分の浸透を防ぐことが効果的であるとされている。しかし、反応には塗装時の下地の内部水も大きく影響すると予想し、また塗装材の違いによる反応抑制効果の違いを室内実験で検討した。

実験では、反応性の高い骨材を使用したモルタルバーの含水率（内部水量）を変え、各種の防水塗装材を全面に施したもののについて、湿度条件の異なる環境下で反応を促進させ、膨張量の違いを検討した。

その結果、反応には外部水だけでなく内部水も非常に関与していた。そして、反応抑制を効果的に行なうには、できるだけ乾燥して内部水の影響を極力小さくし、防水性に優れた塗装材を適用する必要があることが明らかになった。

1. はじめに

数年前から我が国において、一部のRC造土木構造物に従来の常識では説明のつかない特異なひび割れが発見され、調査の結果アルカリ骨材反応（以下AAR）による損傷であることが明らかになった。従来、我が国では骨材の品質が良いためにAARは無いとされてきただけに、コンクリート構造物の早期劣化として社会的にも大きな問題になり、その対策の確立が急いで進められて

いる。

AARには反応に関与する鉱物によっていくつかの種類があるが、我が国における事例はアルカリ・シリカ反応と言われるものである。その反応機構は、まず水分の存在下で骨材中の反応性に富むシリカ鉱物がセメントに由来するアルカリ（ナトリウム、カリウム）と骨材表面で反応し、ゲル状物質を形成する。次いで、このゲルがコンクリート内外部の水分を徐々に吸水して膨張し、その膨張圧でコンクリートにひび割れを生じさせ、構造物

に被害をもたらす。

従って、AAR は反応性の高い骨材、アルカリ、水のいずれかを除くことによって抑制できる。現在は新設構造物に対しては骨材品質の確認、低アルカリセメントの使用によって、AAR を未然に防ぐ対策がとられている。一方、既設構造物で、その徴候が認められる場合の対策としては、水分の供給を遮断する方法が唯一採用し得るものである。すなわち、コンクリート表面に防水性塗装を施し、外部からの水分の供給を遮断することが有効であると考えられている。塗装による AAR 抑制効果については現在、各種公的機関で検討中であり、未だ最適塗装仕様についての結論はでていない。

ところで、筆者は AAR には外部水だけでなくコンクリート中に存在する内部水も大いに関与し、特に内部まで乾燥していくマスコンクリート構造物ではその影響が大きいと予想した。そこで、内部水と外部水が反応にどの程度関与し、また防水塗装が反応をどの程度抑制できるかを確認するため、反応性骨材を使用したモルタルバーに各種塗装を施して実験検討を行なった。その結果をここに報告する。

2. 供試材料および供試体の作製

2.1. 供試材料

(1) 防水塗装材

表一 1 の 7 種類を供した。この種類は主要膜体を構成する中塗りの塗装材を示している。プライマーには B-1 にポリウレタン樹脂、その外のものにエポキシ樹脂を用いている。パテはいずれもエポキシ樹脂系を、上塗りとして A, C, F にポリウレタン樹脂、B, SP に柔軟型ポリウレタン樹脂を用いている。

(2) 細骨材

反応性の高い輝石安山岩をクラッシャーで砕き、水洗、乾燥後、表一 2 の粒度組成に調整した。

(3) セメント

アルカリ量 1% (Na₂O 等価) の普通ポルトランドセメントを用いた。なお、反応性を高めるためにアルカリ量はモルタル混練時に表一 3 に示す方法で 2.1%¹⁾ に調整した。

2.2. 塗装用モルタルバーの作製

表一 3 に示す調合のモルタルを ASTM C227 に準じて混練し、規定の金属型枠 (w 25×h 25×l 285 mm) に充填した。上面を金ごて押えしたのち湿気箱に入れ、20℃、RH 60% の条件で 1 日養生した。さらに図一 1 に示す養生を行ない、塗装時の含水率を変化させた。

2.3. 供試体の作製

図一 1 の養生をしたモルタルバーの全面に前掲の塗装

記号	種類	膜厚(μm)
A	エポキシ樹脂	400 } 500
B	B-1 柔軟型ポリウレタン樹脂	
	B-2 柔軟型エポキシ樹脂	
C	C-1 厚膜型ビニルエステル樹脂 注1)	800 } 1,000
	C-2 厚膜型エポキシ樹脂	
SP	エポキシ樹脂積層ライニング	1,000~1,200
F	浸透型アクリル樹脂	100~150 注2)

注1) ガラスフレーク入り 注2) 上塗りのみの膜厚

表一 1 供試防水塗装材

材を 1 日 1 工程でプライマー、パテ、中塗り、上塗りの順に所定量を塗装した。上塗り終了後、20℃、RH 60% の条件で 2 週間、塗膜を硬化養生して実験に供した。

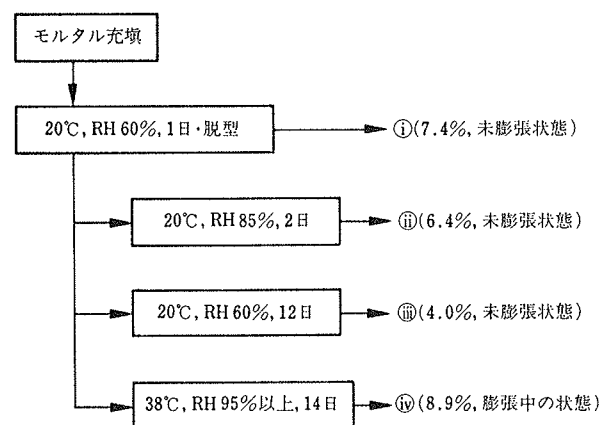
ふるい目寸法	重量百分率	
	通過	残留
4.75mm	2.36mm	10
2.36mm	1.18mm	25
1.18mm	600μm	25
600μm	300μm	25
300μm	150μm	15

表一 2 粒度組成

なお、供試体は無塗装のものを含めてそれぞれ各条件ごとに 2 体ずつ作製した。

ASTM C227 に規定の調合	アルカリ量
重量比でセメント 1、骨材 2.25、混練水は、205~220 のフロー値になる量とする	NaCl 添加により、セメントあたり Na ₂ O 等価で 2.1% に調整

表一 3 モルタルの調合



注) () 内は塗装時のモルタルの平均含水率(乾量基準)と膨張状態

図一 1 塗装までのモルタルバーの予備養生条件

3. 実験方法

用意した供試体を反応促進雰囲気中に置き、膨張量、吸水量を経時的に測定した。

(1) 反応促進雰囲気

表-4 に示す雰囲気中で各供試体を養生した。

(2) 膨張量の測定法

ASTM C227 に準じて所定期間ごとにダイヤルゲージ法 (精度 1 μm) で長さを測定し、膨張率 (%) を求めた。

(3) 吸水量の測定法

長さ変化と同時に供試体の重量変化を測定し、吸水量 (g/本) を経時的に求めた。

4. 結果と検討

4.1. 塗装による反応抑制効果の検討

4.1.1. 膨張前のモルタルに塗装した場合 図-2, 3 にそれぞれ含水率 7.4% (図-1 の①), 同 4% (図-1 の②) のモルタルに塗装したものについて、経時的な膨張量と塗装材の種類との関係を示す。

図-2, 3 を比較すると、塗装時のモルタル含水率が低い場合には、塗装材の種類によっては膨張が顕著に抑制されており、AAR の抑制効果が非常に認められる。一方、モルタルの含水率が高いと、塗装による膨張抑制は見かけ上小さいが、これは後述するように内部水の影響が大きいためと考えられる。

塗装による AAR 抑制効果を図-3 でみると、初期においては、膨張はいずれの塗装材でも顕著に抑制されているが、その後、次第に塗装材の種類による差が広がっている。その理由は後述するように、外部からの水分の浸透を防止する性能が塗装材によって大きく異なるためと考えられる。

また、図-2, 3 において、一部の塗装供試体では長期材令後にブランク (無塗装) の膨張量を超える膨張が認められる。この理由として、供試体表面が常時、濡れる条件で養生しているため、ブランクではモルタル中のアルカリが溶出し、一方、塗装供試体ではその溶出が塗膜で防止されたことによって、両供試体間で反応性に差を生じたことが推察される。

このように、塗装材の種類と塗装時の下地の内部水分量によって、反応抑制効果が大きく異なる。反応抑制には内部水量が少ない下地に防水性に非常に優れた C-1 のような塗装材を適用すると効果的である。この内部水分量および塗装材の種類による膨張量の違いは図-4 に示した 1 年後の膨張から一層明らかである。

図-5 は吸水量測定結果の代表例である。

反応促進雰囲気	供試体の種類 (注)	反応に関与する水分
①38℃, RH95%以上 (ASTM C227)	①, ②, ③, ④ について 塗装の有り, 無し	外部水 内部水
②38℃, RH約30% ③20℃, RH60%	①について塗装有り	内部水

注) ①-④は図-1参照

表-4 反応促進雰囲気と供試体の種類との関係

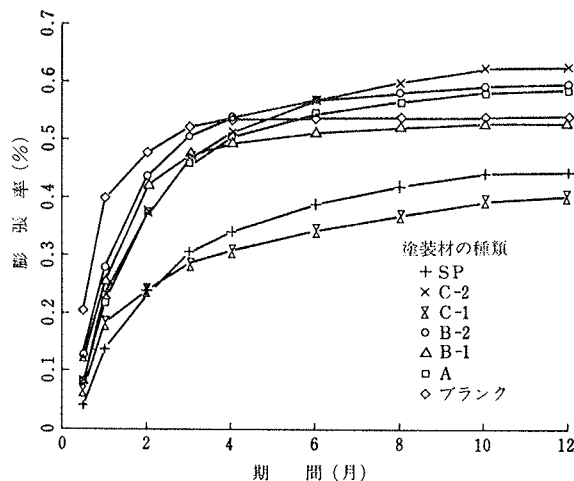


図-2 含水率7.4%未膨張モルタル, 塗装後の膨張

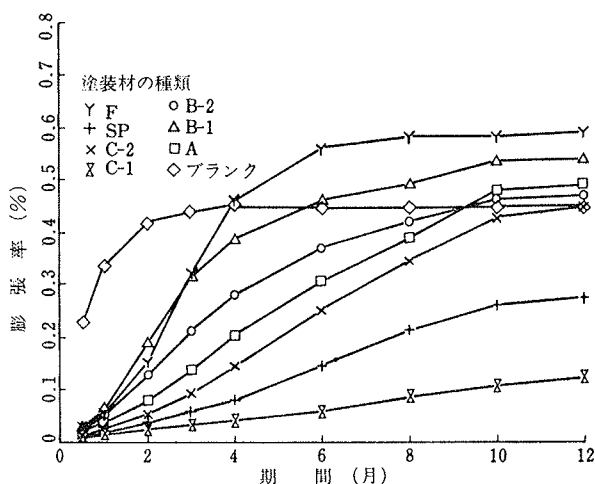


図-3 含水率4.0%未膨張モルタル, 塗装後の膨張

同図において、塗装供試体の吸水量はブランクよりもかなり少なく、塗装によって外部からの水分の浸透が顕著に防止されている。また、この浸透防止効果は塗装材の種類によっても大きく異なっている。これらの様子は上述の塗装による膨張抑制効果を裏付けるものである。

また、吸水量は塗装の有無にかかわらず、高含水率モルタル (7.4%) の方が低含水率 (4%) よりも少なくなっている。これは、含水率の違いによってモルタル内部の水蒸気圧に差異が生じたためと推察される。

4.1.2. 膨張中のモルタルに塗装した場合 図-6 に膨張中のモルタル (図-1 の⑤) に塗装した場合について

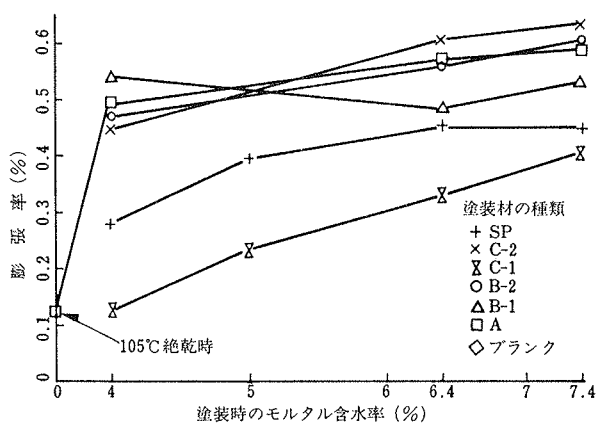


図-4 塗装時の含水率、塗装材の種類と1年後の膨張との関係

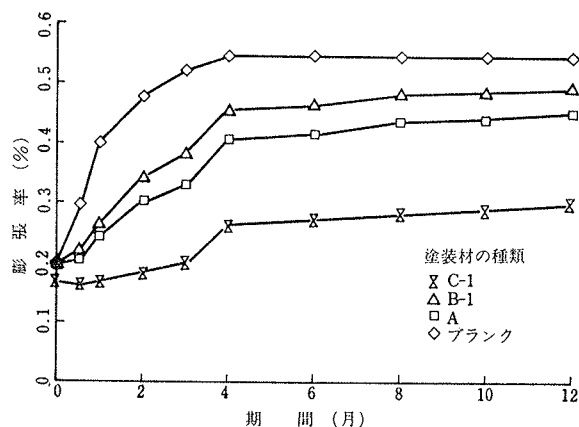


図-6 膨張中モルタル、塗装後の膨張

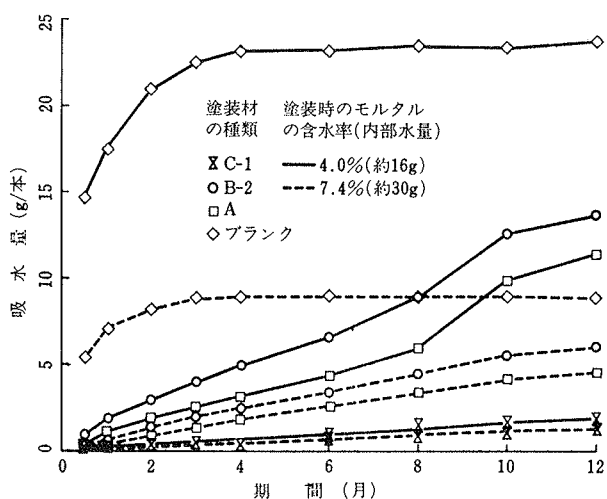


図-5 吸水量の経時変化

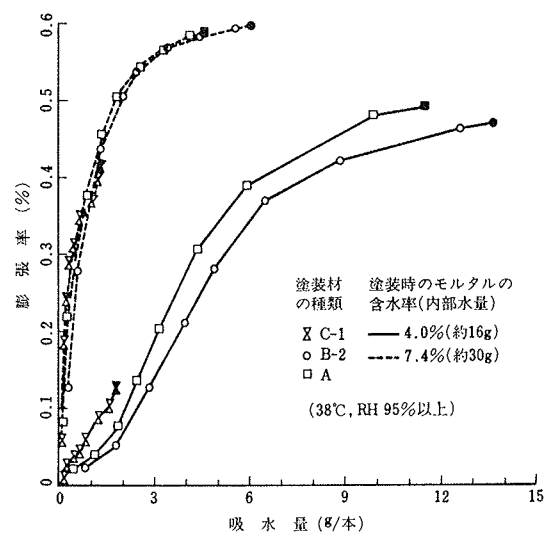


図-7 吸水量と膨張との関係

て、経時的な膨張量と塗装材の種類との関係を示す。

同図で明らかのように、塗装材の種類によっては膨張がかなり抑制されている。従って、すでにAARによる膨張が始まっている場合でも、適正な塗装を行えば抑制効果は期待できそうである。

4.2. 反応に及ぼす外部水と内部水の影響

図-7には、含水率7.4%および4%のモルタルに塗装した供試体について、吸水量と膨張との関係をプロットした。黒塗りのマークは1年後を示している。

同図において、高含水率モルタルでは当初ほとんど吸水しないにもかかわらず、膨張は垂直に近い傾きで急速に進行し、その後、吸水を伴いながらかなりゆるやかになっている。一方、低含水率モルタルでは当初から少しずつ吸水しながら、比較的ゆるやかに経時的に膨張している。この差異は図中に明記しているように、内部水量(モルタル内に存在する水分量)が前者のモルタルで後者のものよりもかなり多いことに起因するものと判断される。

これらの結果は、高含水率の下地に塗装すると、初期においては主として内部水で膨張し、その後、次第に塗膜を浸透してきた外部水の影響が表れてくることを示している。また、低含水率の下地に塗装すると、主として塗膜を浸透してくる外部水の影響を受けながら徐々に膨張が進行することを示している。

図-8には、前述した実験条件のうち内部水の影響が大きく出る含水率7.4%のモルタルにC-1を塗装した供試体の経時的膨張と反応促進雰囲気との関係を示す。

同じ温度で比較すると、外部水が供給されにくい低湿度条件においても長期間に渡ってかなり膨張し、外部水の影響が加わる高湿度条件では更に膨張が増大している。

このことから、膨張には外部水だけでなく内部水の影響が無視できないことが明らかである。なお、低湿度条件下の20℃ではほとんど膨張していないので、周知の

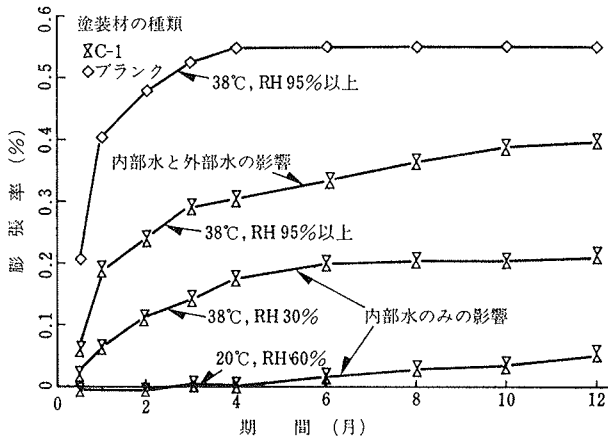


図-8 外部水と内部水による膨張量の差異

ことではあるが、AARには温度条件も大きく影響する。

以上に述べたことから、AARで生じる膨張を効果的に抑制するためには、できるだけ乾燥して内部水を少なくした下地に防水性に優れた塗装材を施す必要があると判断された。

5. まとめ

AARで損傷したコンクリート構造物の補修対策法としての防水塗装の有効性、および外部からの供給水とコンクリート内部に存在する水分の影響を検討するため、室内実験を行なった。

実験では、反応性の高い骨材を使用したモルタルバーの含水率（内部水分量）を変え、各種防水塗装を施し、湿度条件の異なる環境下で膨張量の違いを検討した。

その結果、AARには外部水だけでなく内部水も非常に影響していた。そして、反応抑制を効果的に行なうには、できるだけ下地を乾燥して内部水の影響を極力小さくし、防水性に優れた塗装材を施す必要があることが明らかになった。この塗装材としては、供試したもののうちビニルエステル樹脂フレークが非常に有効であった。

参考文献

- 1) 岡田, 他: アルカリ骨材反応に関する研究, 阪神高速道路公団, (昭和61.9), pp. 61~62