

[1112] アルカリ骨材反応の促進養生試験に関する一考察

正会員 ○桐村勝也 (鉄道総合技術研究所)
遠藤三郎 (鉄道総合技術研究所)

1. まえがき

アルカリ骨材反応 (以下AARと称する) に起因する劣化・変状コンクリート構造物を補修する場合に、適切な補修材料の選定が必要となる。補修材料を選定するためには、実構造物に補修塗装して、その効果を確認することが最も確実であるが、長時間を要するので、一般的には室内試験を実施している。その方法は、骨材のAAR判定を行うASTM法と同じ40℃湿潤試験によることが多い。この試験法で補修材料のAAR抑止効果を評価するには、各種の補修材料を一元的に行うことになり、実際に抑止効果を保持するとしても否定的な結果になることもありうる。補修材料のAAR抑止効果を評価するための一環として、モルタル供試体に各種補修材料を塗布したものに4種類の室内試験を行い、試験法の相互比較を行った。これらの結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 供試体

モルタル供試体は、香川県豊島産の火山岩系骨材 (輝石安山岩) を粉砕したものを細骨材として用いた。試料の配合は表1に示すとおりである。

表1 モルタル試料の配合

W/C (%)	C	W	S	ポゾリス70	AE助剤
5.5	5.37	2.96	1.187	C×0.18	C×0.0027
R ₂ O量 2.00% (添加アルカリで調整)					

2.2 補修材料

モルタル供試体を調製後、約1箇月室内放置し、モルタル供試体表面のレータンスをサンダーで除去した後、各種補修材料は所定の塗装間隔ではけ塗りした。なお、供試体の含水率は、平均5.0% (最低4.6~最高5.3%) である。補修材料の種類および設定塗膜厚を表2に示す。

表2 各種補修材料

No.	第1層	第2層	第3層	塗膜厚
1	エポキシ樹脂系プライマ	エポキシ樹脂系 ガラスフレーク塗料	エポキシ樹脂系 ガラスフレーク塗料	700 μm
2	湿気硬化型 ポリウレタンプライマ	ポリウレタン樹脂塗料	ポリウレタン樹脂塗料	350 μm
3	アクリル樹脂系プライマ	アクリル樹脂系 ポリマーセメント	アクリル樹脂系 ポリマーセメント	800 μm
4	アクリル樹脂系含浸材	-----	-----	---

4種類の補修材料は、アクリル樹脂系含浸材、耐水性が著しく大きいガラスフレーク塗料、伸びがありかつ耐水性のあるポリウレタン樹脂塗料および伸びがありかつ通気性のあるポリマーセメント系のものを選定した。これらの被膜特性を表3に示す。

表3 補修材料の被膜特性

試料No.	塗膜厚	耐水性	耐アルカリ性	透水性	水蒸気透過性	中性化	引張	伸び
1	810	10	7	0.09	20.9	0	337	1.9
2	400	10	10	0.01	43.9	0	115	82.0
3	600	10	7	0.28	52.7	0.27	19.8	67.0
4	190	10	10	0.74	62.8	8.73	—	—
無塗布	—	—	—	13.76	—	10.89	—	—
備考	μm	ふくれの10段階評価		ml:24h	g/m ² ・24h	mm:60d	kgf/cm ²	%

2.3 試験方法

(1) 湿潤試験

49±1℃に調整した湿潤試験機（蒸留水を噴霧）にモルタル供試体を入れて、所定時間毎に供試体の重量および長さを測定した。

(2) 塩水噴霧-乾燥サイクル試験

塩・乾サイクル試験機を用い、40±1℃に調整したチャンバー内（湿度95～98%）に5%塩化ナトリウム水溶液を噴霧した条件下に供試体を24時間設置した後、40±1℃湿度40～50%に24時間乾燥させることを1サイクルとして、促進養生試験を実施した。所定時間毎に供試体の重量および長さを測定した。

(3) アルカリ水溶液浸漬-乾燥サイクル試験

pH11～12に調整したアルカリ水溶液（0.1M Na₂HPO₄と0.1M NaOHを混合して、調製した。）に40±1℃の条件下で供試体を48時間浸漬した後、40±1℃湿度40～50%に24時間乾燥させることを1サイクルとして、促進養生試験を実施した。所定時間毎に供試体の重量および長さを測定した。

(4) 蒸留水浸漬-乾燥サイクル試験

蒸留水中に40±1℃の条件下で供試体を48時間浸漬した後、40±1℃湿度40～50%に24時間乾燥させることを1サイクルとして、促進養生試験を実施した。所定時間毎に供試体の重量および長さを測定した。

3. 試験結果

3.1 湿潤試験

供試体の伸び率および重量変化率を図1に示す。また、供試体の外観観察結果を表4に示す。試験条件は供試体表面が常に新しい水に濡れている状態であるため、図1に示されるように、ほぼ単調増加している。また、耐水性のある補修材料（試料No.1、2）のものが、比較的大きな重量増加になっているのは、塗膜にふくれが生じているためであると推定される。伸び率は試験初期にある程度伸び、その後はほとんど変化がない状態であった。伸び率もポリマーセメント系の約0.4%が最高で、無塗布のものでも0.3%程度であった。供試体のAAR反応に起因すると推定されるひび割れは試験開始後、5～10日程度で発生しはじめ、無塗布や含浸材のもので観察されるが、ポリウレタン樹脂塗料のものは、塗膜に線状のへこみとして認められた。また、ガラスフレイク塗料やポリマーセメント系のものは、試験開始後40～80日でふくれが発生し、ガラスフレイク塗料は180日で塗膜にわれが生じた。

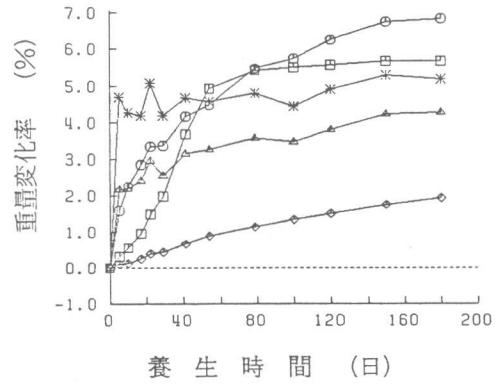
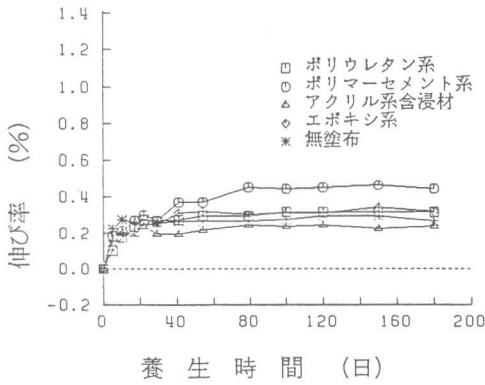


図1 湿潤試験における供試体の伸び率および重量変化率

表4 各種促進養生試験における補修材料の外観観察結果

補修材料 試験方法	ガラス フレック塗料	ポリウレタン 樹脂塗料	ポリマー セメント系	含浸材	無塗布
1 湿潤	B:79	B:5,C:1,L:10	B:41	C:5~10	C:5~10
2 塩水噴霧	C:50	B,L:3,C:40	○	C:3	C:3
3 アルカリ	○	B:3,L:5,C:13	○	C:3	C:3
4 水浸漬	B:11~32*	B:3,L:7	○	C:3	C:3

- 注) 1. 表中の英文字は塗膜劣化状態を示し、B;ふくれ、C;われ、L;線状すじを示す。ただし、含浸材および無塗布はモルタルの割れを示す。
 2. 表中の数字は試験開始後生じた劣化・変状の発生日数又はサイクル数である。
 3. ○は異状なし
 4. *は、示した数字のサイクル間のみふくれが発生していた。

3.2 塩水噴霧-乾燥サイクル試験

供試体の伸び率および重量変化率を図2に示す。また、供試体の外観観察結果を表4に示す。

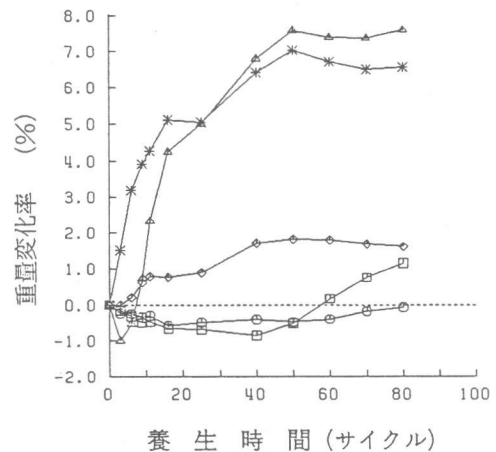
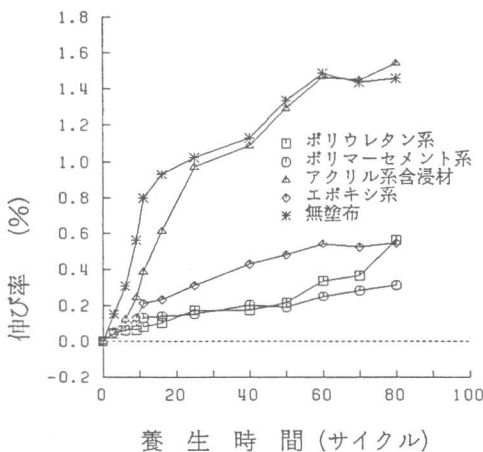


図2 塩水噴霧-乾燥サイクル試験における供試体の伸び率および重量変化率

無塗布と含浸材は、他の補修材料と異なり、著しい重量増加とともに大きな伸び率を示した。被膜を形成する補修材料のものは、0.3～0.6%程度の伸び率を示し、ポリマーセメント系のものが、最も小さい値であった。ひび割れの発生時期は、湿潤試験とほぼ同じ傾向であったが、ガラスフレーク塗料のものは25～50日後に塗膜にわれが生じ、それに伴い、供試体の重量も増加しはじめた。しかし、ポリマーセメント系のものは外観上異状はなかった。

3.3 アルカリ浸漬-乾燥サイクル試験

供試体の伸び率および重量変化率を図3に示す。また、供試体の外観観察結果を表4に示す。湿潤試験および塩水噴霧-乾燥試験と異なり、被膜を形成した供試体の重量は減少し、かつ伸び

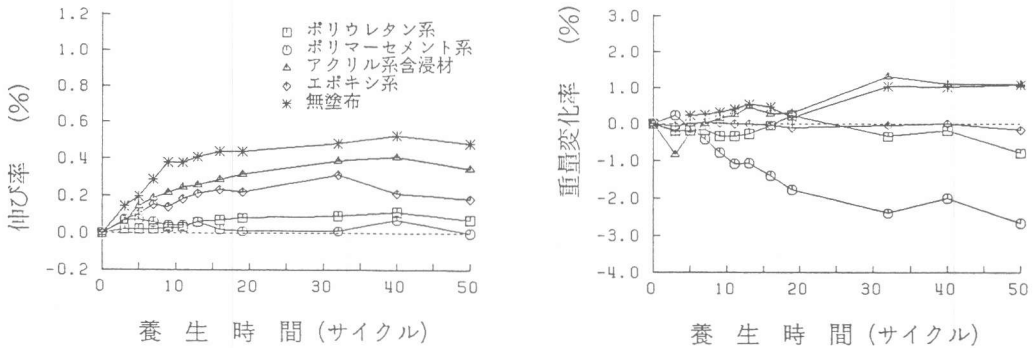


図3 アルカリ浸漬-乾燥サイクル試験における供試体の伸び率および重量変化率

の変化も0.2%以下であった。また、含浸材および無塗布のものも、比較的小さな重量増加であり、伸び率も0.5%以下であった。含浸材、無塗布およびポリウレタン樹脂塗料の外観観察結果は、湿潤試験とほぼ同じ状態であったが、ガラスフレーク塗料およびポリマーセメント系のものは、異状がなかった。

3.4 水浸漬-乾燥サイクル試験

供試体の伸び率および重量変化率を図3に示す。また、供試体の外観観察結果を表4に示す。供試体の伸び率および重量変化率とも、アルカリ浸漬-乾燥サイクル試験とほぼ同様の傾向を示し、かつ伸び率も更に低い状態であった。外観観察結果はガラスフレーク塗料に試験途中でふくれが発生したことおよびポリウレタン樹脂塗料の塗膜にわれが生じなかったこと以外はアルカリ浸漬-乾燥サイクル試験と同じである。

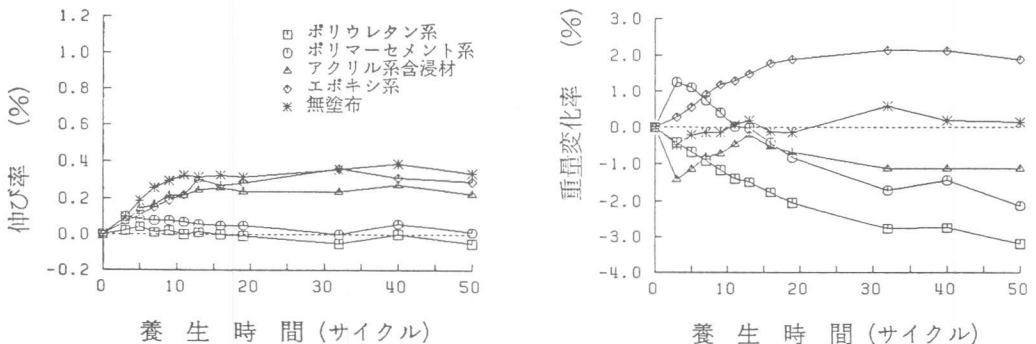


図4 水浸漬-乾燥サイクル試験における供試体の伸び率および重量変化率

4. 考察

促進養生試験における供試体の伸び率および重量変化率を図1～4に示したが、これらの相関関係については、表5に示すとおりであり、かならずしも伸びに対応して重量増加するとはかぎらないので、主として伸び率についての検討を行った。

表5 伸び率と重量変化率との相関係数

試験方法	補修材料	ガラス フレック塗料	ポリウレタン 樹脂塗料	ポリマー セメント系	含浸材	無塗布
1	湿潤	0.763	0.775	0.936	0.829	0.883
2	塩水噴霧	0.801	0.605	0.271	0.975	0.958
3	アルカリ	0.089	0.842	0.604	0.723	0.570
4	水浸漬	0.769	0.583	0.613	0.245	0.446

無塗布の供試体は、湿潤試験において約0.27%の伸びであり、試験条件が少しかわるが、ASTM法による試験結果の値¹⁾($R_20:1.38\%$ で0.278%)とほぼ同じであった。しかし、湿潤と乾燥状態と交互に行うと、さらに伸び率は大きくなり、特に溶液中に塩化ナトリウムが添加されていると著しく大きな伸びを示した。しかし、蒸留水やアルカリ水溶液とのサイクルでは、供試体の伸びにほとんど影響がなかった。このことは、上記の試験¹⁾における飽和NaCl溶液浸漬試験での結果($R_20:0.6\%$ で0.95%)と類似しており、AARに対し水分のみでなく塩類の影響も大きいことが判る。また、アルカリ水溶液は、0.1MのNaOHおよび Na_2HPO_4 (pH12)で調製されているが、モルタル中のアルカリイオン濃度は0.7N程度であるとの報告²⁾もあり、浸漬液よりモルタル中のイオン濃度のほうが高いことが推定される。したがって、両液の濃度が平衡状態へ移行するので、モルタル中のアルカリイオンが溶出することになり、このために供試体のAARが抑制されるとも考えられるが、試験液濃度についてはさらに検討が必要である。

湿潤試験以外は、湿潤(浸漬)と乾燥のサイクルにより、供試体へ一方的に水分が供給されない条件を設定したが、含浸材を塗布した供試体は無塗布のものとはほぼ同じ傾向を示し、今回の試験結果からは含浸材によるAARの抑止効果は認められなかった。ガラスフレック塗料およびポリウレタン樹脂塗料(伸びのある塗膜)は、ほぼ同じ傾向を示し、塩水噴霧-乾燥試験で比較的大きな伸び率であるが、アルカリ浸漬と乾燥のサイクルでは殆ど膨張しなかった。ポリマーセメント系のもは、塩水噴霧-乾燥試験で特異な現象を示し、他の供試体に比して小さな伸び率であった。これらのことから、ポリマーセメント系の被膜は透水するが、逆に乾燥条件下では、供試体中の水分を放出するために、初期重量より減少する傾向にあり、このためにAARが抑制されている結果になったと推定される。しかし、耐水性のある被膜を形成する供試体(ガラスフレック塗料およびポリウレタン樹脂塗料)については、かならずしも大きな防水効果を示さず、各種の試験条件でバラツキがあるのは、被膜欠陥やふくれの発生等のために、供試体重量が変化したと考えられる。また、被膜の特性として、80%程度伸びのあるものは供試体の割れにある程度追随しうることが認められたが、AAR抑止効果との関連は明確にできなかった。

塩水噴霧-乾燥サイクル試験の結果は他の方法と著しく異なっており、試験終了後供試体を割裂して、塩素イオンの浸透深さを測定した。なお、測定法はフルオレッセンナトリウム試薬を用いた。その結果、無塗布および含浸材のものは、全面に塩素イオンが浸透しており、ポリウレタン樹脂塗料は、大部分に浸透していた。しかし、ガラスフレック塗料およびポリマーセメント系

のものは、一部供試体に浸透が認められた。なお、無塗布および含浸材以外の供試体については、被膜のわれもしくは被膜欠陥の部分からの侵入と推定され、図5にその一例を示した。これらの結果から、ポリウレタン樹脂塗料のものは、塩素イオンが大部分浸透しているのに少し大きい伸びの状態にあるものやポリマーセメント系のように、若干の浸透が認められるものの供試体の伸びにほとんど影響がないもの等があり、水分と塩素イオンが単独にAARに影響するのでなく、これらの相乗作用が推定される。

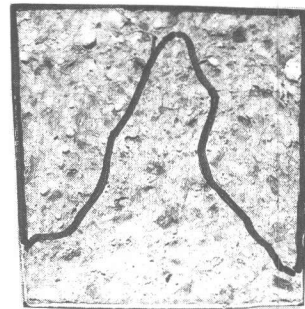


図5 塩素イオンの浸透例
(ポリマーセメント系供試体
：太い線内が浸透部分)

供試体の中性化については、試験終了後供試体を割裂し、フェノールフタレン試薬を用いて測定した。その結果、試験法にかかわらず、塗布および含浸材のみ2～10mm程度中性化されているのみで、その他のものは中性化されていなかった。これらの結果から、AARにはほとんど影響しないと考えられる。

5. 結論

被膜特性の異なる補修材料を用いて、各種促進養生試験方法によりAAR抑止効果の検討を行った。これらの結果から、以下のことが推定された。

- (1) AARには、水分のみでなくアルカリイオンおよび塩素イオンの影響も大であり、相乗効果のあることが予測された。
- (2) AAR抑止効果を評価するためには、通気性のあるポリマーセメント系の補修材料には、一方的に水分を供給するような条件でなく、湿潤条件と乾燥条件と組み合わせた方法を検討すべきである。また、塩類の影響を検討する場合に、供試体中のアルカリイオン濃度との関係を考慮すべきであり、試験液の濃度は供試体中の濃度以上にすることが必要であると考えられる。
- (3) 補修材料のAAR抑止効果を評価する場合、特に耐水性のある補修材料については、促進養生試験に起因する塗膜劣化状態（例えば、ふくれ等）を生じることがあり、これらのAARにおよぼす影響を検討する必要がある。

6. あとがき

今回の結果は、モルタル供試体のものであり、コンクリート供試体についても確認するべきであり、また試験条件等についても今後の課題であると考え。試験に関して、モルタル供試体を調製していただいた三菱鉱業セメント[㈱]中央技術研究所並びに補修材料を提供していただいた大日本塗料、国土道路[㈱]、日本ペイント[㈱]および製鉄化学[㈱]に感謝いたします。

参考文献

- 〔1〕滝永 進、高田 潤、立松英信、山下裕章、小林明夫：アルカリ骨材反応の要因と物理的性質に及ぼす効果、鉄道技術研究所速報、No.A-87-93、1987。
- 〔2〕S.Diamond:Proc. 6th Int. Conf. ALKALINS IN CONCRETE, 155-166, 1983。