

[46] 弾性系防水塗膜材による骨材反応抑制に関する実験的研究

正会員 ○片山 一（五洋建設技術研究所）

正会員 草野守夫（五洋建設技術研究所）

山田正貴（五洋建設技術研究所）

笹部昌純（日本触媒化学工業姫路研究所）

1. まえがき

近年、阪神地区にその端を発したアルカリ骨材反応に起因するコンクリート構造物の早期劣化の事例が全国各地で報告されるようになり、社会的注目を集めている。このアルカリ骨材反応を防止、抑制するためには、骨材反応の三大要因である反応性骨材、コンクリート中のアルカリ、水分のうちひとつもしくはそれ以上を除去すればよい。しかし、いったん骨材反応を生じた構造物の将来における膨張劣化を抑止するためには、外部からの水分の浸入を防止することが唯一の手段と考えられる。

本研究は、上記のような観点から、防水性とひびわれ追随性をあわせもつ弾性系防水塗膜材のアルカリ骨材反応に対する補修対策方法としての有用性を検討したものである。弾性系防水塗膜材の塗装材料としての基本的物性を把握するとともに、弾性系防水塗膜材を骨材反応による膨張を生じる前に塗布した場合と膨張が生じた後に塗布した場合に対して、その後の膨張抑制効果について他の一般塗料と比較しつつ実験を行なった。その結果、いくつかの有効な知見が得られたので、以下その概要を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験計画

本実験は、弾性系塗膜材と一般塗料（アクリル系、エポキシ系）の基本的物性試験〔シリーズⅠ〕と、プライマーを変化させた弾性系塗膜材および一般塗料によるアルカリ骨材反応抑制実験〔シリーズⅡ〕からなる。シリーズⅠは、透水、吸水、引張りの各種試験により弾性系塗膜材の最適配合を決定するとともに他の一般塗料との物性のちがいを把握する目的で実施したものであり、シリーズⅡはシリーズⅠで得られた弾性系塗膜材の最適配合をもとにプライマーの種類を変化させたものの骨材反応抑制効果およびその機構について、モルタル供試体を用いて検討したものである。シリーズⅡでは、塗膜材を骨材反応による膨張を生じる前に塗布した場合（以後、前塗布と称す）とともに、膨張が生じた後に塗布した場合（以後、後塗布と称す）についても実験を行なった。シリーズⅠ、シリーズⅡで実施した実験ケースの一覧を表-1、表-2にそれぞれ示す。

2.2 材料

弾性系塗膜材：弾性系塗膜材は、ポリマー、セメント、水、珪砂、消泡剤より構成されている。ポリマーはポリアクリル酸エステル系樹脂を使用した。セメントは〇社製普通ポルトランドセメント、珪砂は8号珪砂（粒度0.04～0.19mm）をそれぞれ用いた。

表-1 実験ケース一覧〔シリーズⅠ〕

項目 実験No.		配 合（重量比）				
		樹脂分	セメント	水	珪砂	消泡剤
P-1	ポリ	1	2	0.81	0.5	0.01
P-2	アクリル	1	2	1.12	1.0	0.01
P-3	系	1	3	1.00	0.5	0.01
P-4	弾性	1	3	1.07	1.0	0.01
P-5	酸	1	4	1.16	0.5	0.01
P-6	塗膜	1	4	1.18	1.0	0.01
A	アクリル系塗料					
E	エポキシ系塗料					

表-2 実験ケース一覧〔シリーズⅡ〕

項目 実験No.	塗 装 仕 様		試 験 項 目		
	塗装時期	塗 装 材 料	膨張量	透湿量	SEM, WDX ^{*)} 分 析
PB-1	前塗布 （供試体 作成時 に塗布）	上 塗 溶 剤 系 2 液エポキシ	○	○	
PB-2		ポリアクリル酸 水 系	○	○	
PB-3		弾性塗膜材 シラン系含浸剤	○	○	
PB-4		弾性塗膜材 ビニル系含浸剤	○	○	○
PB-5		弾性塗膜材 含 浸 剤	○	○	
AB	後塗布 （供試体 28日養 生後に 塗布）	アクリル系塗料	○	○	
EB		エポキシ系塗料	○	○	○
PA-1		溶 剤 系 2 液エポキシ	○	○	
PA-2		ポリアクリル酸 水 系	○	○	
PA-3		弾性塗膜材 シラン系含浸剤	○	○	
PA-4	無 塗 布	弾性塗膜材 ビニル系含浸剤	○	○	
PA-5		弾性塗膜材 含 浸 剤	○	○	
AA		アクリル系塗料	○	○	
EA		エポキシ系塗料	○	○	
N		無 塗 布	○	○	○

*) SEM: 走査型電子顕微鏡
WDX: 波長分散型X線分析装置

プライマー：プライマーとしては、溶剤系2液エポキシ、水系2液エポキシのものとシラン系含浸剤、ビニルエステル系含浸剤の計4種類を使用した。

一般塗料：比較のための一般塗料として、1液型アクリル樹脂系塗料と2液型エポキシ樹脂系塗料を用いた。

膨張量測定用モルタル供試体：セメントはO社製普通ポルトランドセメント（ Na_2O 当量0.64%）を使用した。反応性骨材としては、供試体間のアルカリ反応性のばらつきをおさえ安定した膨張を得るため、ASTM C 441でも標準骨材としているバイレックスガラス#7740（比重：2.23）を用いた。また、非反応性骨材は豊浦標準砂（比重：2.63）を、添加するアルカリにはNaOH 試薬特級をそれぞれ使用した。

2.3 実験方法

(1) 弾性系塗膜材および一般塗料の物性試験〔シリーズⅠ〕

シリーズⅠにおける塗膜材の透水、引張りの各物性試験は、それぞれ「JIS A 6910 複層模様吹付材 6.4 透水試験」、「JIS A 6021 屋根防水塗膜材 5.1 引張り試験」に準拠して行なった。吸水率試験については規格化された試験法がないため、各塗料を用いて $40 \times 40 \times 1 \text{ mm}$ の試験片を作成、 20°C 脱イオン水中に浸漬して、所定材令において試料の重量変化率を測定し、その値を吸水率とした。

(2) 弾性系塗膜材および一般塗料によるアルカリ骨材反応抑制実験〔シリーズⅡ〕

膨張量測定用モルタル供試体の配合は、セメント：反応性骨材：非反応性骨材：水 = 1 : 1.13 : 1.13 : 0.62（重量比）とした。供試体の寸法、反応性骨材の粒度分布、養生条件は、ASTM C 227 に準じた。供試体中のアルカリはNaOHを混練水に添加することにより1.2%（ Na_2O 当量）に調整した。塗膜材の塗布方法は、前塗布のケースにおいて、脱型後ただちに 20°C 、60% R.H. の条件で1本の供試体中に含まれる混練水の10%に相当する水分を逸散させ、その後各塗膜材をはけて塗布した。また、塗膜材の後塗布の方法は、脱型後4週間 37.8°C 、100% R.H.で養生し0.05%程度の膨張量を生じさせた後、同じく混練水の10%に相当する水分を蒸散させてから各塗膜材をはけて塗布した。供試体中の水分をある程度除いた理由は、各塗膜材の付着力を確保するためと、十分に乾燥されていないコンクリート表面をコーティングすることにより内部に水分を閉じこめる危険性があるためである。

各塗膜材の塗膜厚は、弾性系塗膜材が 1000μ 、アクリル、エポキシ系各塗料が 300μ 、シラン系およびビニルエステル系含浸剤は、 100 g/m^2 とした。

なお、実験結果を検討する段階で各塗膜材の透湿性が問題となってきたため、図-1に示す試験装置を考案し透湿量を測定した。密閉容器の中央を試験塗膜で遮断し、下部で水蒸気を発生させつつ上部のシリカゲルの重量変化を測定し、透湿量を算定した。

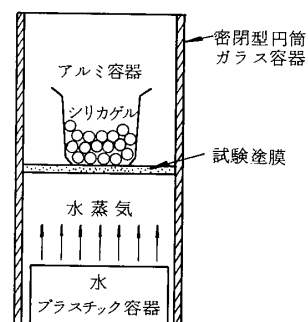


図-1 透湿試験装置

3. 実験結果および考察

3.1 弾性系塗膜材および一般塗料の物性試験〔シリーズⅠ〕

透水試験（図-2）：弾性系塗膜材においては樹脂分に対するセメントの配合比が大きいほど透水量は大きくなり、樹脂とセメントの配合比が等しければ珪砂分が多いほど透水量は大きくなる。しかし、樹脂：セメント = 1 : 2 と 1 : 3 のものについてはその透水量に大きな差はない。また、エポキシ系塗料は非常に防水能力が優れているのに対して、アクリル系塗料は弾性系塗膜材を用いた P-4 のケースとほぼ同程度の透水量を示している。これは、アクリル系塗料がエポキシ系塗料に比べて揮発分が多く、組織中の微小空隙が増加したためと考えられる。

吸水率試験（図-3）：吸水率については透水量とその傾向がことな

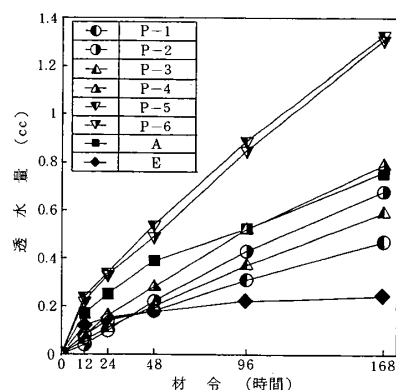


図-2 透水試験結果

り、樹脂分の割合が多いほど吸水率が大きくなる結果となった。これは、樹脂がセメント、珪砂に比べて水分を吸収しやすいこと、および樹脂自身の膨潤作用によりさらに吸水能力が高まることに起因すると考えられる。これに対して、アクリル、エポキシ系塗料は吸水率が小さく、特にエポキシ系塗料についてはその傾向が顕著である。

引張り試験（表-3）：標準状態では、弾性系塗膜材、アクリル、エポキシ系塗料とも50～380%の伸び能力をもつ。しかし、さらに各塗膜材を50℃で7日間乾燥させると、弾性系塗膜材の伸び、引張り強さの性能には変化はないが、アクリル、エポキシ系塗料は溶剤が揮発し、引張り強さは増大するものの伸び能力は失われ、脆性的な材料となる。50℃という温度は現実的にも生じうる環境条件であり、また高温にさらされなくても材令が長期にわたれば最終的には50℃乾燥のケースと同様に溶剤分が揮発することが予測され、今回使用したアクリル、エポキシ系塗料は基本的には変形追随性のない材料と判断される。

以上の物性試験の結果より、シリーズⅡで用いる弾性系塗膜材の配合としてP-3（樹脂：セメント：珪砂＝1：3：0.5）を選定した。

3.2 塗膜材によるアルカリ骨材反応抑制実験〔シリーズⅡ〕

(1) 前塗布による膨張量抑制実験

各塗膜材を前塗布したモルタル供試体の膨張量と材令の関係を図-4に示す。図より明らかなように、材令8週までの結果ではあるが、塗膜材を前塗布することによりアルカリ骨材反応による膨張を抑制できることがわかる。しかし、その抑制効果は塗膜材およびプライマーの種類により差があり、材令8週でPB-1（弾性系塗膜材+溶剤系プライマー）のように無処理のものとはほぼ同程度の膨張を示しているものから、PB-4（弾性系塗膜材+ビニルエステル系含浸剤）のように無処理のものに比べてその膨張量を1/3程度にまで抑制しているものまである。また、弾性系塗膜材のみ、弾性系塗膜材と含浸剤の組み合わせ、およびアクリル系塗料について、その骨材反応抑制効果の大きいことも認められた。

ここで注目されることは、本結果がシリーズⅠで実施した透水試験結果の傾向と必ずしも一致していないことであり、これは防水性能だけではアルカリ骨材反応抑制効果を評価できないことを示唆している。

(2) 後塗布による膨張量抑制実験

各塗膜材を後塗布したモルタル供試体の膨張量と材令の関係を図-5に示す。図中、縦軸は各塗膜材を塗布した時点の膨張量を基準としたその後の膨張量の大きさを示している。図より、各塗膜材を後塗布することによっても、その後の膨張を抑制する効果があることがわかる。特に、弾性系塗膜材を用いた塗装系についてその効果が大きい。しかし、塗膜材のちがいによる骨材反応抑制効果は、前塗布の結果とことなっている。

このことは、いったん骨材反応を生じたもののその後の反応生成物への水分補給の防止により膨張を抑制しようとする後塗布は、最初から防水を行ない骨材反応そのものを制御しようとする前塗布と比較して骨材反応抑制のメカニズムがより複雑であることを示しているものと考えられるが、詳

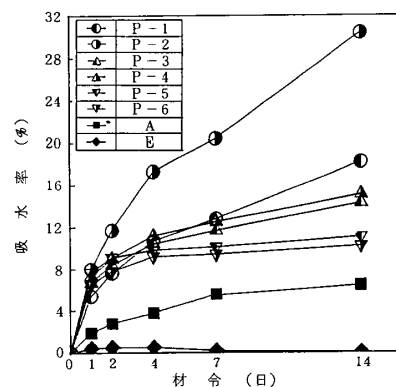


図-3 吸水率試験結果

表-3 引張り試験結果

養生条件 実験No.	標準状態 20℃, 60% R.H. 21日間		加熱後 50℃ 7日間	
	伸び率(%)	引張強さ(kg/cm ²)	伸び率(%)	引張強さ(kg/cm ²)
P-1	380	21.4	380	21.4
P-2	240	13.8	190	13.0
P-3	240	20.6	180	21.1
P-4	140	19.6	110	18.8
P-5	150	18.0	130	18.3
P-6	130	18.8	100	18.7
A	140	46.5	0	151.6
E	50	91.3	0	359.2

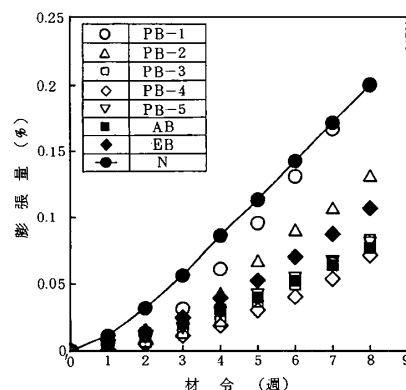


図-4 膨張量と材令の関係（前塗布）

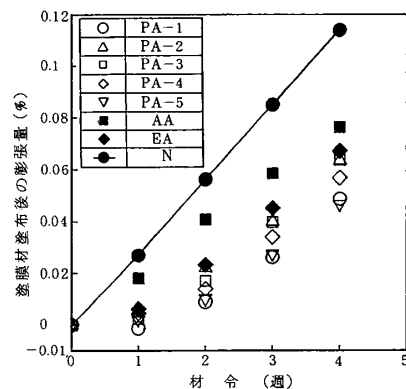


図-5 膨張量と材令の関係（後塗布）

細な検討は今後の課題である。

(3) 透湿試験

十分に乾燥されていないコンクリートを塗膜すると、かえって内部に水分を閉じこめてしまう危険性があり、その点から骨材反応を生じた構造物の補修材料として、外部からの水は遮断するが内部の水の蒸散はさまたげないシラン系の材料が注目されている^{1),2)}。そこで、本実験においても各塗膜材の透湿性能に注目し、図-6に透湿量と膨張量の関係をまとめた。図より明かなように、前塗布を施した供試体の膨張量と透湿量の間には負の相関が認められる。弾性系塗膜材単独では透湿量が大きく、膨張量抑制効果も優れているのに、併用するプライマーの種類によってはかえって膨張が促進されるという現象も、用いたプライマーの透湿性が小さいことに起因しているものと推定される。

「JIS A 6910 複層模様吹付材」の透水量の規定(24時間で0.5 cc以下)を満足する程度の防水性能があれば、塗膜材による膨張抑制効果は透湿性-供試体内部の水分を外に蒸散させる能力-に大きく影響され、透湿性の大きいものほど膨張抑制効果が大きい。

(4) SEM, WDX分析

写真-1は、無処理のものとPB-4(弾性系塗膜材+ビニルエステル系含浸剤)の2ケースについて、その反応形態を微視的に観察したものである。無処理のものは、パイレックスガラスとセメントペーストの界面に反応生成物を生じており、その元素組成も既往の研究成果にあるように³⁾生成物付近でSi, Kが遷移的に分布している。これに対してPB-4のケースは反応

生成物の生成そのものが抑制されていることがわかる。写真-2に、エポキシ系塗料と弾性系塗膜材の組織を示す。エポキシ系塗料の組織は非常に緻密であり、弾性系塗膜材はセメントペーストとエポキシ系塗料の中間的な組織の様相を呈している。エポキシ系塗料が弾性系塗膜材に比べて防水性、非吸水性で優れているのはこの組織の緻密さによると推察されるが、逆にエポキシ系塗料の透湿性が小さい原因もこの点にあるものと考えられる。

4. まとめ

- 1) 塗膜材を骨材反応による膨張が生じる前に塗布しても(前塗布)、膨張が生じた後に塗布しても(後塗布)、その後の膨張を抑制することができるが、その効果は用いる塗膜材、プライマーの種類により差がある。
- 2) 各種塗膜材による骨材反応抑制効果は、塗膜材の防水性だけでは評価できない。塗膜材がある程度の防水性能を有していれば、骨材反応抑制効果は塗膜材の透湿性に大きく影響され、透湿性の大きいものほど膨張抑制効果が大きい。
- 3) 今回用いた弾性系塗膜材は防水性、透湿性ともに優れ、前塗布、後塗布いずれのケースにおいても膨張抑制効果が大きく、その変形追従能力を考えあわせると骨材反応に対する補修材料として有用であると考えられる。

最後に、塗膜材による膨張抑制実験は現在も測定を継続中であり、実構造物での実証試験も含めて、今後も検討を続けていく予定である。

〔参考文献〕

- 1) 川村, 榎場: アルカリシリカ反応とその防止対策, 土木学会論文報告集, 第348号/V-1, 1984. 8.
- 2) 岡田, 小林他: アルカリ骨材反応による損傷を受けたコンクリート構造物の補修, 土木学会第40回年次学術講演会概要集, 1985. 9.
- 3) 榎場, 川村: 反応性骨材とセメントペーストの界面反応, コンクリート工学 Vol.19, No.11, 1981. 11.

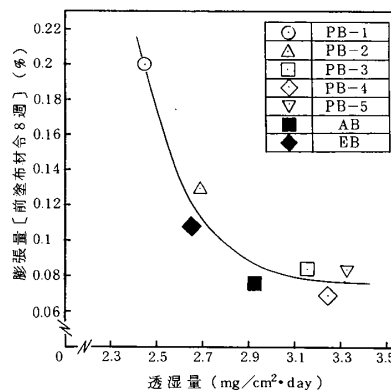


図-6 塗膜材の透湿量と膨張量の関係

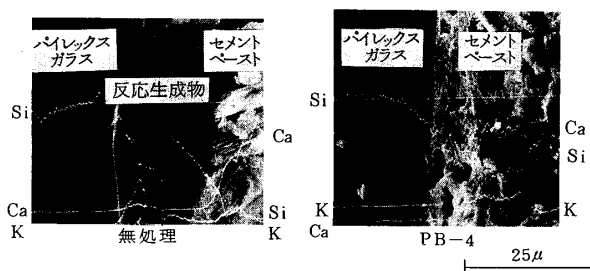


写真-1 パイレックスガラスとセメントペースト界面

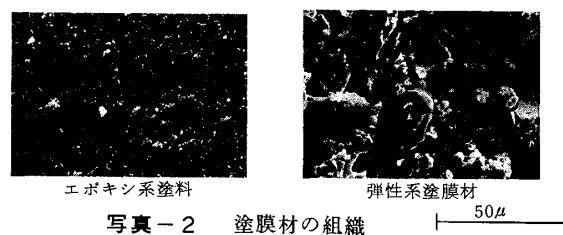


写真-2 塗膜材の組織