

報告 表面処理材によるアルカリ骨材反応抑制効果に関する実験報告

藤田 修一*¹・近藤 充**²

要旨：アルカリ骨材反応性の実験供試体を作製、塗膜型と含浸型に区別される4種類の代表的な表面処理材について塗布の時期、範囲およびひびわれ注入の有無を変化させた促進養生試験を行い、塗布後の膨張量、重量等の経時変化を見た。その結果、本実験結果の範囲で、塗膜型、含浸型とも完全な膨張抑制効果は期待できないこと、しかし含浸型の溶剤シラン系材料は相対的に効果が大きく、またひびわれ部へのエポキシ樹脂注入を併用することにより効果が増大すること、そしてその消失に当たっての対策として同材料による再塗布が有効であること、等がわかった。

キーワード：アルカリ骨材反応、膨張抑制、表面処理材、塗布時期、塗布範囲

1. はじめに

アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物のひびわれ抑制対策として、表面処理材の塗布がある。これは、反応に必要な要素である水分、特に膨張に大きく関与する外部からの水分の供給を絶つことを手段としたものである。現在このために使用される表面処理材には数種類のタイプがあり、それぞれに特徴を有しているが、各処理材の持つ効果の特性についてはまだ明確に評価されていないのが実状である。本論文は代表的な表面処理材を対象として、実務上の観点に基づく条件からその抑制効果を実験により比較、評価した結果について報告するものである。

2. 実験内容

2. 1 検討対象表面処理材

検討対象とした表面処理材は、塗膜型のもの2種類、含浸型のもの2種類、計4種類である。各々の処理材のカatalog調査による特性値を表-1に示す。

表-1 各表面処理材と特性値

塗膜型はコンクリート表面に塗布することにより遮水塗膜を形成するものである。塗膜は付着力、伸び能力を持ち、塗布後のコンクリートの膨張変化にも追従できる。これに対し含浸型はコンクリート表面からその内部に厚さ数mmの含浸層を形成し、撥水による外部水分の遮水性と同時に、透湿による内部水分の逸水性

項目	材料	塗膜型		含浸型	
		フチルコ ^o ム系	ホ ^o リマーセメント系	溶剤シラン系	水性シラン系
標準工程		5層塗	4層塗	3回塗	2回塗
標準仕上がり厚さ		塗膜厚1200 μ m	塗膜厚1200 μ m 浸透厚 3mm	浸透厚 5mm	浸透厚 5mm
特性値	透水性	0 (ml/m ² 日)	1.5	2.5~3.5	7.5
	透湿性	0 (ml/m ² 日)	7.0	3.0~3.5	4.2
	付着力	>10 (kgf/cm ²)	>10	—	—
	伸び	200 (%)	5.0	—	—

* 1 関西電力(株)総合技術研究所 構築研究室 副主任研究員 (正会員)

* 2 近畿コンクリート工業(株)土木部

も合わせ持たせたものである。含浸型には付着力、伸び能力という物性は存在しない。ここで取り上げたポリマーセメント系のもは塗膜型に分類したが、1層目に含浸型を、その上塗りにポリマーセメント系の塗膜型を使用するもので、含浸層の特性である逸水性を損なわない範囲で付着力、伸び能力および表面化粧効果を持った塗膜を形成するものである。

2.2 供試体および条件

実験には10×10×40cmの角柱供試体を用いた。作製した供試体の種別はアルカリ骨材反応に関して非反応性のものと反応性のものの2種に大別される。供試体コンクリートの基本配合は表-2に示すとおりである。

表-2 供試体コンクリート基本配合表

単位アルカリ量 (R ₂ O当量) (kg/m ³)	粗骨材 最大寸法 (mm)	細骨材 材率 (%)	水材 ノト比 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					塩化物 含有量 (kg/m ³)
				W	C	G	S	AE減材 (cc)	
7.0	20	44	58	174	300	1039	777	750	2.4

ここで、アルカリ骨材反応に関して、非反応性の供試体における粗・細骨材にはJCI化学法で無害と判定された硬質砂岩を使用し、反応性の供試体は粗骨材の40%（重量比）を古銅輝石安山岩で置き換えた。この岩種は無害でない判定され、また実構造物で反応が報告されているものである。反応性のコンクリート配合は事前の促進養生試験結果に基づき、供試体膨張が適当な増加経過を示し最終膨張ひずみ量が約2500μで、かつ顕著なひびわれ発生が見られるよう調整したものである。ここで、単位アルカリ量と塩化物含有量の調整はNaOH、NaClを添加することにより行った。練混ぜの結果、スランプは4.8cm、空気量は2.9%であった。ちなみに、塩化物を多く含有する配合としたのは、外部水分を取り込む潮解作用の下での表面処理材の効果を検討することも目的としたことによる。

各表面処理材ごとに作製した反応性供試体は2種類で、表面処理材を全面に塗布するケース（基準体と称する）と、図-1に示すように表面の1/2に塗布するケース（残りの1/2は塗膜型表面処理材を塗布一応用体と称する。プチルゴム系の場合の仕上がりは基準体と同一となる）である。この応用体のケースは、塗膜型表面処理材による抑制対策に引き続き実施する対策を想定したものである。またそれぞれの供試体について、ひびわれ部へのエポキシ樹脂注入についても実施、非実施の2種を作製した。

供試体に対する表面処理材塗布の時期は膨張ひずみ量が約0、1000、2000μに達した時とした。これはアルカリ骨材反応の初期、活性期と終末期に当たる。また、表面塗布を実施しない供試体も反応性と非反応性で作製した。供試体の

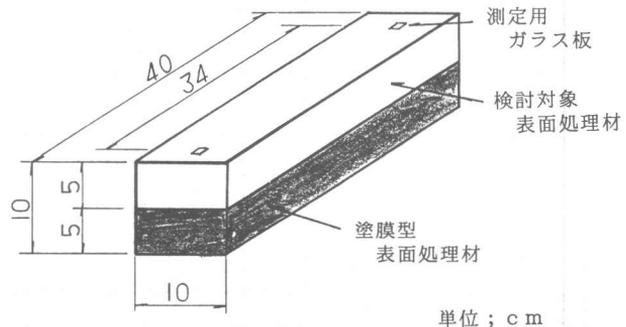


図-1 供試体（応用体）の表面処理

促進養生雰囲気は宮川ら [1] の実験にならい、検討対象表面処理材の塗布までは40℃、R.H. 98%（一定）、表面処理材塗布後は実環境を模擬した高温湿潤と低温乾燥の繰り返し、40℃、R.H. 98%と20℃、R.H. 60%の各々12時間のサイクルとした。以上の供試体条件を表-3に示す。

表-3 供試体条件一覧表

(各表面処理材毎)

供試体 種別	表面塗布時期			ひびわれ 注入	供試体 本数	実験ケ-ス No
	膨張ひずみ 0 μ 時	膨張ひずみ1000 μ 時	膨張ひずみ2000 μ 時			
基準体 (反応性)	◎			無	3	1
		◎		無	3	2
			◎	無	3	3
			◎	有	3	4
応用体 (反応性)		○ △		無	3	5
		△	○	無	3	6
		△	○	有	3	7
反応性 無処理	(基準体) 表面塗布は実施しない (実験No.1~3の3ケ-スの養生切替)			無	9	1' ~3'
	(応用体) 塗膜型1/2の塗布実施 (実験No.5~6の2ケ-スの養生切替)			無	6	5' ~6'
非反応性無処理	(基準体) 表面塗布は実施しない (実験No.1~3の3ケ-スの養生切替)			無	9	1'' ~3''

◎; 検討対象表面処理材全面塗布 ○; 検討対象表面処理材表面1/2塗布

△; 塗膜型表面処理材表面1/2塗布

供試体に対する測定項目は膨張量、重量および外観変化（ひびわれ状況）で、外観変化については測定可能な供試体表面（含浸型は表面塗膜を形成しないので測定可能）5cm格子に設けた測定線に対する発生ひびわれの交点数と交点でのひびわれ幅を測定した。

ここで各実験ケ-ス毎の作製供試体は3体で、測定値は平均値で整理したが、この場合個々の供試体のバラツキを考慮し、表面塗布直前までの計測結果から供試体を膨張量 大, 中, 小の3グループに分け、各グループから1本づつを選定し、組み合わせた。

3. 実験結果と考察

3.1 膨張ひずみ量1000 μ 時塗布による結果

アルカリ骨材反応が活性期である膨張ひずみ量1000 μ 時に各表面処理材を全面に塗布した供試体（実験ケ-スNo. 2）の、表面塗布後の膨張ひずみ増加量の経時変化を図-2に、供試体重量変化量の経時変化を図-3に示す。各図には同じ養生条件で、表面処理材を塗布しない反応性無処理（実験No. 2'）、非反応性無処理（実験No. 2''）供試体の結果も示す。

①膨張ひずみ増加量の経時変化

図-2によると、非反応性の供試体はまったく膨張が認められないのに対し、表面処理材の塗布を実施していない反応性無処理供試体は養生切り替え後、急激なひずみ増加を示すとともに、30週後にはほぼ膨張が収束する性状を示した。表面塗布を実施した供試体については、塗布後120週時点では全ての表面処理材で膨張が認められ、含浸型溶剤シラン系を除いては（本材料では後に述べる再塗布を実施している）、反応性無処理供試体より大きな膨張量を示した。これは検

討対象表面処理材では、活性期の長期間の膨張抑制効果が期待できないことを示している。

②重量変化量の経時変化

供試体の重量変化量の経時変化には、以下に述べるように膨張ひずみ増加量の経時変化と対応した、各材料の持つ特性がよく現れている。図-3で、非反応性無処理供試体では重量減少が初期に発した後、ほぼ変化が見られないのに対し、反応性無処理供試体は初期の重量減少後、膨張傾向がほぼ収束したと思われる30週程度まで重量増加が継続する。この重量増加は膨張中の外部水分の取り込みによるものと思われる。表面塗布を実施した供試体では、塗膜型ブチルゴム系は塗布後の重量変化が見られず、コンクリート表面に完全な水分の遮断層を形成していると考えてよい。塗膜型ポリマーセメント系は含浸型との併用であり、遮水性とともに逸水性を有する層を形成するものであるが、当初の重量減少の後、ほぼ一定の重量で推移していることは、その逸水性に疑問を示すものである。これら塗膜型材料を塗布した供試体は、前にも述べたように長期的には反応性無処理供試体の膨張量を上回る結果を示し（これは各ケース3体の供試体全てについて言える）、反応性無処理供試体における繰り返し養生により取り込まれる水分と比較した、遮水されたことによる塗布前の供試体条件（配合、養生条件）におけるコンクリート内部水分により膨張が進展したものと考えられる。含浸型では水性シラン系で養生8週程度まで、溶剤シラン系で養生25週程度まで膨張が顕著に抑制される結果を示した。しかし水性シラン系はその後急激な膨張と大きな重量増加を示しており、コンクリートの内部水分とともに外部水分の関与が著しいことが想像される。溶剤シラン系では膨張が顕著でない間は減少傾向を示し、それ以降は膨張ひずみ量ほど顕著な変化ではないが、増加傾向を示す。これは同一条件の供試体3体ともに見られ、本材料のコンクリート内含浸層の遮水性、逸水性の効果とその後の効果の消失による結果と思われる。

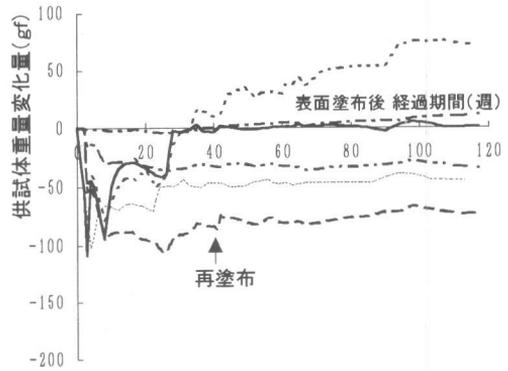
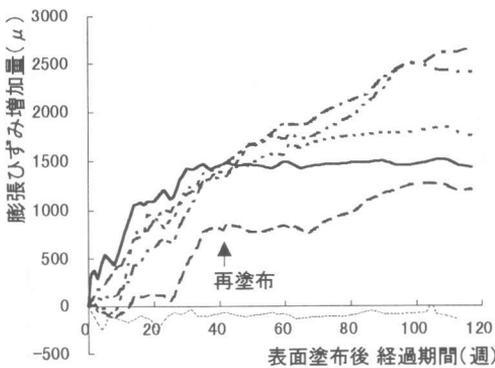
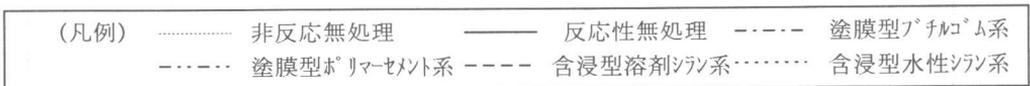


図-2 1000 μ時塗布, 膨張ひずみ増加量 (基準体)

図-3 1000 μ時塗布, 重量増加量 (基準体)

③供試体外観 (ひびわれ状況) の経時変化

図-4は溶剤シラン系を塗布した供試体全面の外観変化測定結果の経時変化を示す。同図には初期値を塗布時の1000 μとした膨張ひずみ量の測定結果 (図-2と内容は同一)、および発生したひびわれの幅を供試体膨張量と考えた場合の、ひずみ量測定線に沿った累計による膨張量算出結果 [2] を併記した。全体的に見ると、膨張量算出結果は若干の誤差があるものの測定結果とほ

ば同様の挙動を示しており、特に膨張時の増加率は良く一致している。このことから膨張とひびわれの進展とは強く連動していると言える。特に養生27~39週に着目すると、微細な新たなひびわれの発生と既ひびわれの幅の増大がひずみ量の増加に対応していることがわかる。

3. 2 膨張ひずみ量0 μ 時塗布による結果

膨張ひずみ量0 μ 時に表面処理材を塗布した各供試体(実験ケースNo. 1)の塗布後の膨張ひずみ増加量の経時変化を、表面処理材を塗布しない無処理供試体の結果と合わせて図-5に示す。この場合、塗膜型ブチルゴム系は先の1000 μ 時塗布の場合と同じ膨張性状を示すが、他の3種類の表面処理材では養生70週まで反応性無処理供試体と比較し膨張抑制効果が見られ、シラン系材料では120週を経過してもそれが継続している。これは表面塗布前の供試体初期養生である40℃、R.H.98%(一定)の期間が3週間と短く、コンクリート内部に水分がそれほど取り込まれなかったため、含浸層を形成する3種類の表面処理材の効果の違いが出にくいものと思われる。先の1000 μ 時塗布の場合と比較すると、初期養生の期間が表面処理材の膨張抑制効果に占める影響の大きいことを示している。

3. 3 膨張ひずみ量2000 μ 時塗布による結果

膨張ひずみ量2000 μ 時に表面処理材を塗布した各供試体(実験ケースNo. 3)の塗布後の膨張ひずみ増加量の経時変化を図-6に示す。この場合は膨張が終末期にあるためか、各表面処理材とも緩慢な膨張性状を示すが、その性状は1000 μ 時塗布の時と基本的に違いは見られない。

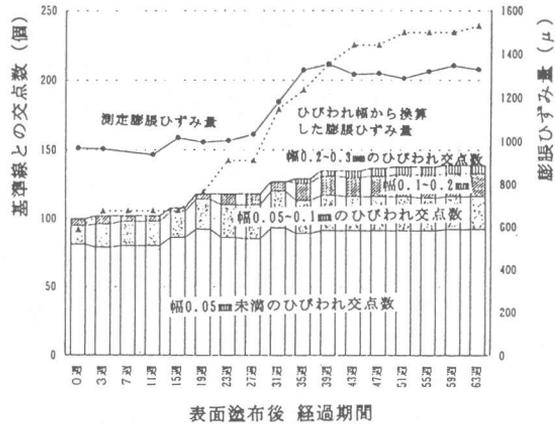


図-4 1000 μ 時塗布, 供試体外観変化(基準体)

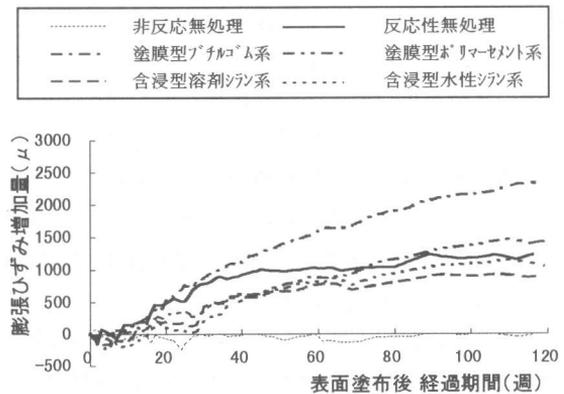


図-5 0 μ 時塗布, 膨張ひずみ増加量(基準体)

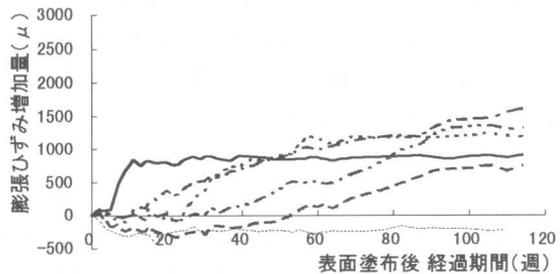


図-6 2000 μ 時塗布, 膨張ひずみ増加量(基準体)

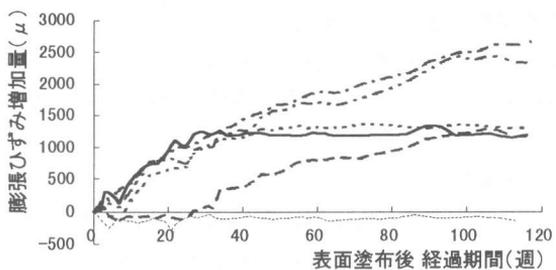


図-7 1000 μ 時塗布, 膨張ひずみ増加量(応用体)

3. 4 応用体による結果

膨張ひずみ量1000 μ 時に、塗膜型と検討対象表面処理材を同時に塗布した応用体（実験ケースNo. 5）の膨張ひずみ増加量の経時変化を図-7に示す。含浸型溶剤シラン系は基準体の場合と同様、養生25週以降再膨張を示している。また、その他の表面処理材についても膨張性状に基準体の場合と違いはなく（ブチルゴム系は図-2の再掲）、供試体表面1/2の塗膜型の存在は表面処理材の効果にほとんど影響しない。

3. 5 溶剤シラン系材料再塗布の効果

膨張ひずみ量1000 μ 時、基準体に塗布した溶剤シラン系の養生25週以降の再膨張、すなわち効果の消失に対する対策として養生40週目に再度、同材料を表面塗布した。その膨張性状は図-2に示したとおりである。この場合、含浸層の緻密化による逸水性の減少が懸念されたが、表面再塗布を実施していない応用体の経時変化（図-7）と比較しても、膨張抑制に有効であると判断できる。この方法は既表面処理材の除去等が不要で、施工も簡単であり実用的である。しかし再塗布の効果も養生65週程度で消失しており、塗布後25週の期間における効果というものが特徴的である。

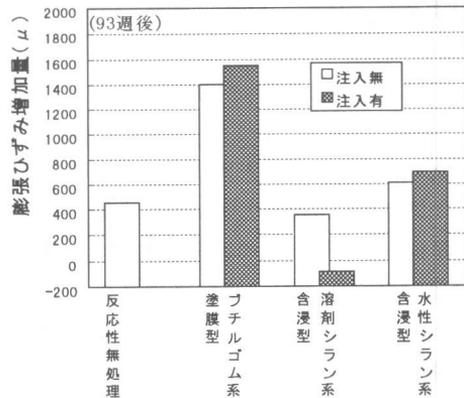


図-8 注入の有無による膨張ひずみ量

3. 6 ひびわれ注入の効果

発生したひびわれへの注入（エポキシ樹脂）が膨張抑制に及ぼす効果の評価として、膨張量1000 μ 時に塗膜型を、2000 μ 時に検討対象表面処理材を塗布した応用体（実験ケースNo. 6・7）における膨張ひずみ量の相違を図-8に示す。ここでポリマーセメント系については注入に際し不具合があり省略している。図-8によると溶剤シラン系で明確に膨張量が抑制されている。含浸型は付着力と伸び能力がまったく期待できないことを考えると、ひびわれ部へのエポキシ樹脂注入は鉄筋腐食防止に加え、溶剤シラン系表面処理材を塗布する場合、アルカリ骨材反応の膨張抑制にも有効な工法であると思われる。

4. まとめ

本実験の結果、表面処理材によるアルカリ骨材反応膨張抑制効果に関し、以下のことが言える。

- ①塗膜型、含浸型とも完全な膨張抑制効果は期待できない。
- ②しかし、含浸型溶剤シラン系材料は相対的に効果が大きく、またひびわれ部へエポキシ樹脂を注入することにより効果は増大する。その効果の消失に当たっての対策としては、同材料による再塗布が一定期間有効である。
- ③塗膜型と合わせた表面処理面積の違いによる効果に相違はない。

(引用文献)

- [1] 宮川豊章ほか：発水剤によるアルカリ骨材膨張の抑制；コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 10、No. 2、pp. 767-772、1988
- [2] 中部セメントコンクリート研究会編：コンクリート構造物のアルカリ骨材反応、理工学社、pp. 157、1990