

論文

[1160] 表面補修によるアルカリ・シリカ反応の抑制効果に関する研究

正会員 阿部 道彦 (建設省建築研究所)

正会員 若杉三紀夫 (大阪セメント中央研究所)

正会員 ○田中 政史 (大阪セメント中央研究所)

正会員 神本 英喜 (大阪セメント中央研究所)

1. はじめに

近年、アルカリ・シリカ反応(ASR)によるコンクリート構造物の早期劣化が問題となり、これに対する補修技術が種々開発されているが、実構造物の補修については、まだ施工実績も少なく、補修材料および工法が確立されているとはいえない。また、現在ASRの補修には通気型および遮水型の被覆材が、防水を主目的として暫定的に用いられているが、遮水型では無処理よりも劣化を促進させるとの報告[1]もあり、被覆材のASR抑制効果について、自然暴露と整合性のある促進試験条件も明確にされていない[2・3]のが現状である。

本研究は、コンクリート構造物の補修工法・劣化抑制工法の開発および評価方法の確立を目的として実施した実験であり、ASRにより劣化させたコンクリート供試体に通気型および遮水型の被覆材を塗布し、自然暴露条件下での膨張挙動を把握するとともに、種々の促進養生条件下で膨張挙動を測定し、自然暴露との整合性を検討したものである。なお、本研究は建設省建築研究所と大阪セメントとの共同研究として実施したものである。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製

供試体に用いたコンクリートの調査を表-1に示す。反応性粗骨材として安山岩(表-2参照)を使用し、アルカリはコンクリートのフレッシュ時の性状の変化および硬化後の強度低下を防ぐため、水酸化ナトリウム、塩化ナトリウムおよび亜硝酸ナトリウムの等量混合とし、添加量は膨張を促進させるため予備実験により決定したTR<sub>20</sub>換算で8kg/m<sup>3</sup>(セメント中の0.62%を含む)とした。供試体寸法は7.5×7.5×40cmとし、20°C・R.H.60%で打設し、

表-1 コンクリートの調査

W/C	S/a	Air	TR <sub>20</sub>	単位 水量	セメ ント	細骨材	粗骨材	kg/m <sup>3</sup>	AE
%	%	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	安山岩	非反 応性	剤
								kg/m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup>
54.3	43.9	4	8	190	350	749	494	472	10.5

表-2 安山岩の化学法およびモルタルバー法の試験結果

化学法		モルタルバー法	
Sc mmol/l	Rc mmol/l	3ヶ月 %	6ヶ月 %
650.0	219.5	0.220	0.261

表-3 被覆材の種類

補修 Type	被覆仕様			透水性 ml/m <sup>2</sup> ・日	透湿性 g/m <sup>2</sup> ・日
	下塗り	中塗り	上塗り		
通気型	シリ系はつ水剤 (0.2kg/m <sup>2</sup> )	弾性ポリマー セメント系 (2.3kg/m <sup>2</sup> )	アクリルエマルジョン系 トップコート (0.2kg/m <sup>2</sup> )	15	72
遮水型	エポキシ樹脂 プライマー (0.1kg/m <sup>2</sup> )	エポキシ樹脂 ハテ (0.3kg/m <sup>2</sup> )	エポキシ樹脂 塗料 (0.75kg/m <sup>2</sup> )	1	9

24時間後脱型し、40°C・R.H.100%でコンクリート供試体の膨張率が0.05%となるまで促進養生を行った。その後、供試体の表面水分率が6~8%(I-a、I-b)または9~11%(I-c~VI-d)になるまで乾燥させ、被覆材の塗布を行った。使用した被覆材は遮水型および通気型の2種類で、その被覆仕様、透水性および透湿性を表-3に示す。被覆材の塗布終了後、各促進条件下で養生して、長さ変化および重量変化の測定を行った。

## 2.2 養生条件

養生条件の一覧を表-4に示す。自然暴露は大阪とつくばで、補修時の表面水分および暴露開始時期を変えて(II-a~II-d)行った。促進養生は、高温の湿度一定5種類(II-a~II-e)、常温乾燥と高温湿潤の繰り返し3種類(III-a~III-c)、高温乾燥と高温湿潤の繰り返し2種類(IV-a、IV-b)、高温乾燥と常温湿潤の繰り返し2種類(V-a、V-b)および高温乾燥と常温水中の繰り返し3種類(VI-a~VI-c)で行った。乾湿繰り返し養生は1週間を1サイクルとして設定した。

表-4 養生条件

記号	温度湿度条件	乾燥:湿潤(日)	被覆材塗布時の表面水分率
I	a	大阪 '89.11~	6~8%
	b	筑波 '89.11~	
	c	大阪 '90.11~	
	d	大阪 '91.6~	
II	a	R.H. 100%	9~11%
	b	R.H. 90%	
	c	R.H. 85%	
	d	R.H. 80%	
	e	R.H. 75%	
III	a	20℃・R.H.60%←→40℃・R.H.100%	6:1
	b	20℃・R.H.60%←→40℃・R.H.100%	5:2
	c	20℃・R.H.60%←→40℃・R.H.100%	4:3
IV	a	40℃一定 R.H.60%←→R.H.100%	5:2
	b	40℃一定 R.H.60%←→R.H.100%	4:3
V	a	40℃・R.H.60%←→20℃・R.H.100%	5:2
	b	40℃・R.H.60%←→20℃・R.H.100%	4:3
VI	a	40℃・R.H.60%←→20℃・水中	6:1
	b	40℃・R.H.60%←→20℃・水中	5:2
	c	40℃・R.H.60%←→20℃・水中	4:3

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 自然暴露

自然暴露における長さ変化および重量変化の測定結果を図-1~3に示す。補修時の表面水分6~8%(I-a、I-b)の試験結果では、暴露後のASRによる膨脹挙動は大阪とつくばの

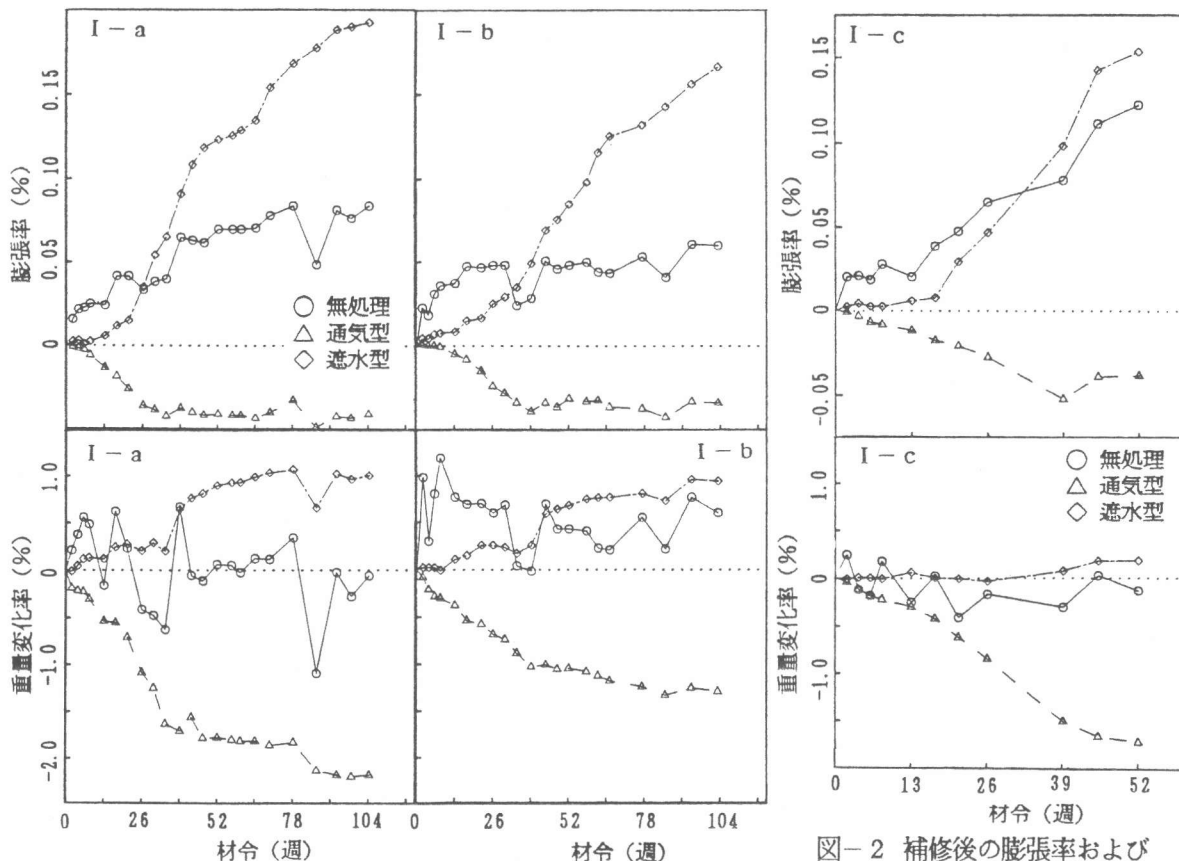


図-1 補修後の膨脹率および重量変化率の経時変化(自然暴露;表面水分率6~8%)

図-2 補修後の膨脹率および重量変化率の経時変化(自然暴露'90.11~)

地域差に関係なくほぼ同様な傾向がみられ、無処理で膨張傾向を示したのに対し、通気型の被覆材では補修後の膨張はなく、乾燥収縮がみられた。一方、遮水型では初期に膨張抑制効果がみられたが、その後、緩やかに膨張する傾向を示し、暴露後半年程度で無処理と同程度の膨張率となり、被覆材表面にクラックが発生した後、膨張が著しくなり、無処理のものより大きくなる傾向が認められた。

補修時の表面水分9~11% (I-c、I-d)の試験結果では、無処理は暴露開始時期に関係なく暴露直後から膨張傾向を示したのに対し、被覆材を塗布したものでは暴露開始時期の影響が認められた。すなわち、通気型では冬季暴露開始 (I-c) の場合、暴露直後から乾燥収縮がみられたのに対し、夏期暴露開始 (I-d) の場合では、冬季と同様な重量減少を示したにもかかわらず、暴露直後にわずかな膨張傾向が認められた。これは補修時に供試体中に含まれていた水分と夏期の高温によりASRが促進されたことによるものと思われる。一方、遮水型では冬季暴露開始 (I-c) の場合、暴露直後は低温のため膨張がみられなかったが、暴露後半年以降では無処理よりも大きくなり、夏期暴露開始 (I-d) の場合では、暴露直後から無処理と同程度の膨張がみられ、ASRの抑制効果は認められなかった。

これらの自然暴露試験より、通気型の被覆材はASRによる膨張を抑制し、一方、遮水型の被覆材では長期的に無処理よりも膨張率が大きくなるので、ASR抑制には、遮水型よりも通気型の被覆材の方が有効であるとの結果が得られた。

### 3.2 促進養生

高温の湿度一定条件下で行った促進養生 (II-a~II-e) における長さ変化の測定結果の一例を図-4に示す。無処理が膨張する湿度条件下では、通気型も膨張し、遮水型もクラック発生までは、湿度に関係なくほぼ一定の膨張率を示す結果となった。従って、高温の湿度一定条件は被覆材のASR

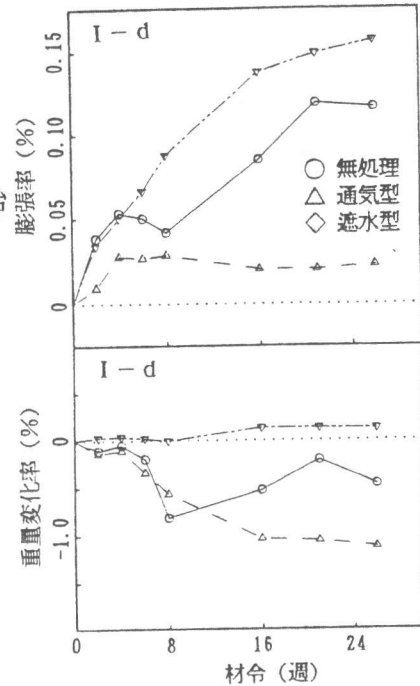


図-3 補修後の膨張率および重量変化率の経時変化 (自然暴露 91.6%)

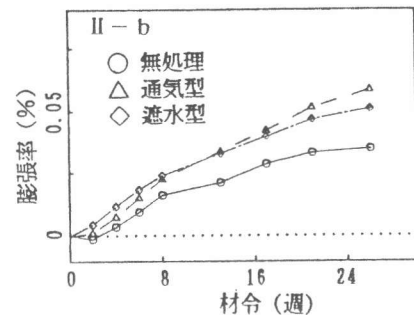


図-4 補修後の膨張率の経時変化 (40°C・R.H. 90%)

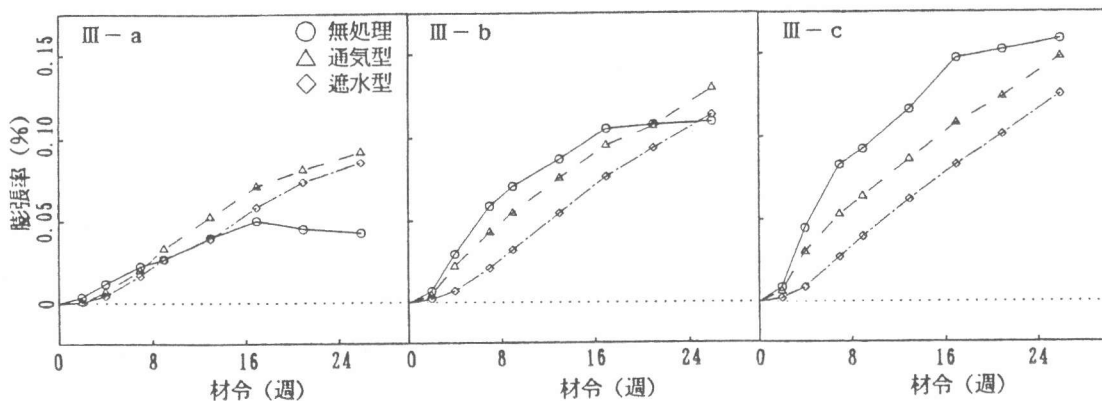


図-5 補修後の膨張率の経時変化 (常温乾燥高温湿潤)

抑制効果に関して、自然暴露と整合性のある促進条件とはいえない。

常温乾燥と高温湿潤の乾湿繰り返し養生（Ⅲ-a～Ⅲ-c）における長さ変化の測定結果を図-5に示す。乾燥と湿潤期間の比率がASRによる膨張に及ぼす影響は、被覆材を塗布したものは認められなかったが、無処理の膨張率は湿潤期間が長くなるのに伴って大きくなる傾向がみられた。しかし、いずれの被覆材においても膨張傾向がみられ、自然暴露と整合性のある促進条件とはいえない。

高温乾燥と高温湿潤の乾湿繰り返し養生（Ⅳ-a、Ⅳ-b）における長さ変化および重量変化

の測定結果を図-6および7に示す。高温で乾湿繰り返しを行った場合、通気型の膨張率は無処理および遮水型に比べて乾燥と湿潤期間の比率の影響が大きく、乾燥期間を5日間と長くした養生条件（Ⅳ-a）では、通気型に初期にわずかな膨張傾向がみられたが、長期的な膨張はほとんどみられず、一方、無処理および遮水型のもは同等に大きな膨張がみられた。これは自然暴露とほぼ同様な傾向を示しているが、重量変化率からわかるように、無処理および遮水型でも重量減少がみられ、これ以上乾燥期間を長くした場合、無処理のASRによる膨張まで抑制されてしまう可能性があり、被覆材の評価には適さないものと思われる。

高温乾燥と常温湿潤の乾湿繰り返し養生（Ⅴ-a、Ⅴ-b）における長さ変化および重量変化の測定結果を図-8および9に示す。この養生条件下におけるASRによる膨張挙動は、養生条件Ⅳで得られた結果と同様に、通気型は乾燥と湿潤期間の比率に影響を受けやすく、湿潤期間を2日間とする養生条件（Ⅴ-a）では無処理および遮水型が膨張を示したのに対し、

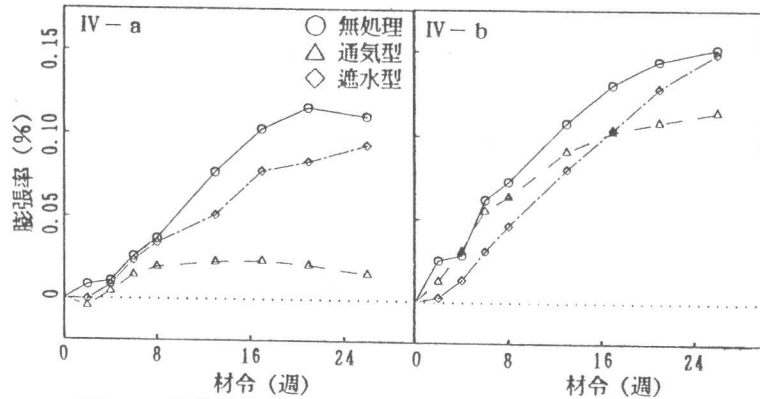


図-6 補修後の膨張率の経時変化（高温での乾燥湿潤）

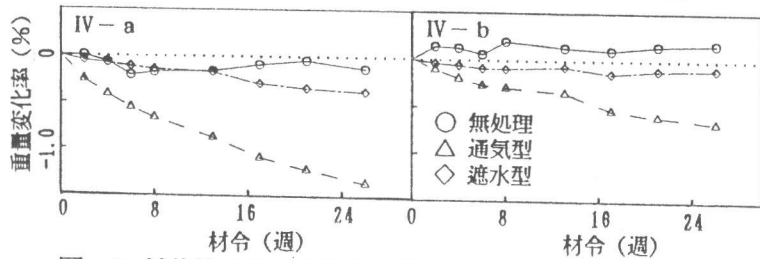


図-7 補修後の重量変化率の経時変化（高温での乾燥湿潤）

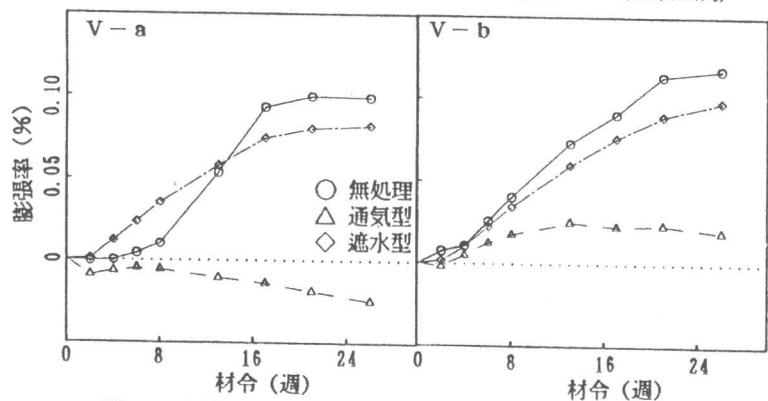


図-8 補修後の膨張率の経時変化（高温乾燥常温湿潤）

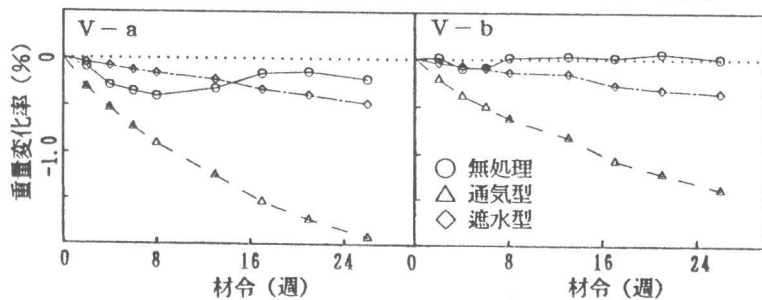


図-9 補修後の重量変化率の経時変化（高温乾燥常温湿潤）

通気型は収縮する傾向がみられ、自然暴露条件下と同様な膨張挙動を示していた。

高温乾燥と常温水中浸漬の乾湿繰り返し養生（VI-a～VI-c）における長さ変化および重量変化の測定結果を図-10および11に示す。1週間のうち1日間水中浸漬することにより、乾燥期間が6日間と長くなっても、無処理および遮水型では膨張が促進され、一方、通気型では膨張抑制効果があり、乾燥収縮を起こすという結果が得られた。水中浸漬時間は1週間のうち4時間の浸漬でも、無処理および遮水型を膨張させ、通気型は乾燥収縮することが追加試験で確認されており、また、浸漬期間を2日間にしても通気型のASR抑制効果は認められた。

これらの促進養生実験結果より、自然暴露において認められた無処理、通気型および遮水型のASRによる膨張挙動の違いは、高温の湿度一定条件および常温乾燥と高温湿潤の繰り返し養生条件では再現できず、逆に高温乾燥と常温湿潤の繰り返し養生条件下でのみ再現可能であることが確認された。今回検討した促進養生条件の中では、高温乾燥（40°C・R.H.60%）6日と常温水中（20°C）1日間で1サイクルとした乾湿繰り返し養生が、被覆材のASR抑制効果について、自然暴露と最も整合性のある促進試験条件であった。

### 3.3 膨張率と重量変化率の関係

大阪とつくばの自然暴露試験結果（I-a、I-c）および促進養生試験結果（VI-a）から得られた膨張率と重量変化率の関係を図-12および13に示す。無処理では明確な相関がみられませんが、被覆材を塗布したものでは、補修時の表面水分率による違いがあるものの、膨張率と重量

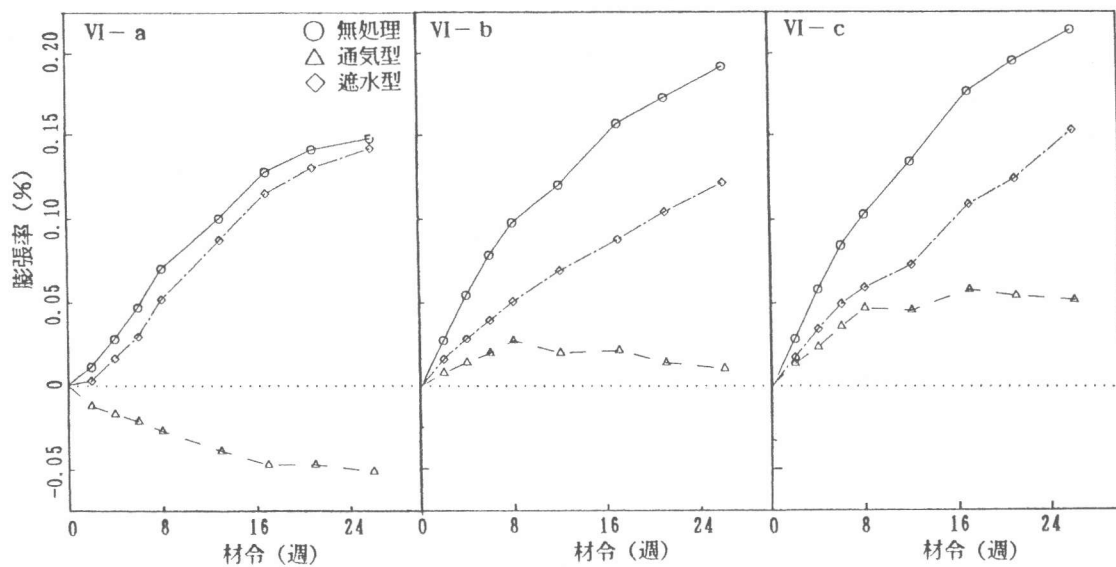


図-10 補修後の膨張率の経時変化 (高温乾燥常温水中)

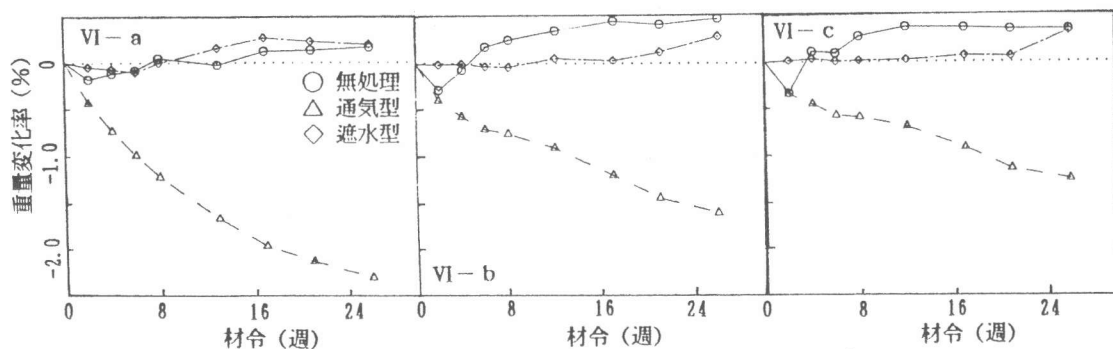


図-11 補修後の重量変化率の経時変化 (高温乾燥常温水中)

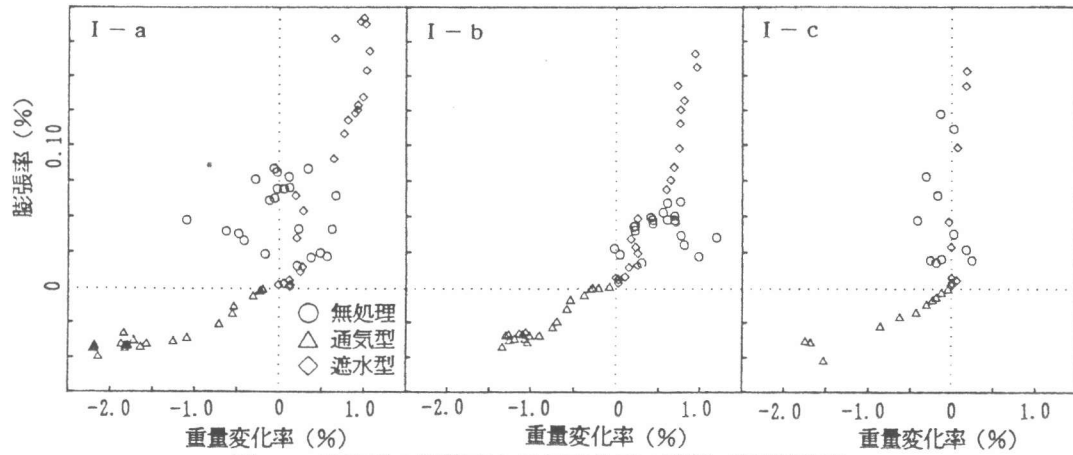


図-12 補修後の膨張率と重量変化率の関係 (自然暴露)

変化率に相関関係がみられた。また、促進養生において自然暴露条件下のASRによる膨張挙動を再現しているものについては、被覆材の塗布を行った供試体の膨張率と重量変化率との間にはほぼ同様な相関関係がみられた。

#### 4. まとめ

ASRによる膨張を起こしたコンクリート供試体に通気型および遮水型の被覆材を塗布し、自然暴露および種々の促進養生条件下で長さ変化および重量変化を測定し、ASR抑制効果を比較検討した。自然暴露試験から、通気型の被覆材はASR膨張を抑制し、逆に遮水型の被覆材では長期的に無処理よりも膨張率が大きくなるので、ASR抑制には遮水型よりも通気型の被覆材の方が有効であるとの結果が得られた。

また、促進養生試験では以下のような知見が得られた。

常温乾燥と高温湿潤の繰り返し養生の場合、乾燥と湿潤期間の比率がASRによる膨張に及ぼす影響は、被覆材を塗布したものでは認められなかったが、無処理のものでは湿潤期間が長くなるのに伴って膨張も大きくなる傾向がみられた。一方、高温乾燥と常温湿潤の繰り返し養生の場合、通気型被覆材を塗布した供試体の膨張挙動は、乾燥と湿潤期間の比率に影響された。

今回検討した促進養生条件の中では、高温乾燥(40°C・R.H.60%)6日と常温水中(20°C)1日間を1サイクルとした乾湿繰り返し養生が、被覆材のASRの抑制効果について、自然暴露と最も整合性のある促進試験条件であった。

自然暴露試験の測定は今後も継続して行い、データを蓄積し、促進養生条件にフィードバックして検討を加え、より適切な試験方法を確立していく予定である。

#### (参考文献)

- [1] 渡辺康則 他; 表面補修によるアルカリ骨材反応の抑制効果に関する研究, 日本建築学会大会, pp. 309-310, 1990, 10
- [2] 宮川豊章 他; コンクリートの表面処理によるASR膨張の抑制効果について, コンクリート工学論文集, Vol. 2, No. 1, pp. 135-148, 1991. 1
- [3] 小野紘一 他; 防水材のASR抑制効果に関する研究, コンクリート工学年次講演会 論文集, pp. 209-212, 1986

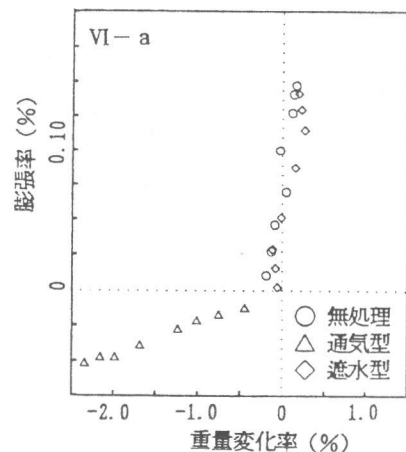


図-13 補修後の膨張率と重量変化率の関係 (高温乾燥6日常温水中1日)