

[1108] 新しい促進試験による表面被覆のアルカリ骨材反応抑制効果に関する研究

正会員 ○武吉理夫（日本ペイント 開発第1プロジェクト）

正会員 片脇清士（建設省土木研究所）

1. まえがき

近年、コンクリートの劣化が問題化し、話題となっている。その劣化原因には、いくつか上げられるが、一原因としてアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物のひび割れ劣化があげられる。現在、この劣化反応機構の解明や、劣化構造物の補修対策に関して種々の研究が行われ、反応が進むためにはコンクリート外部からの水の補給が必要とも言われている。又、反応を促進させる有害イオンのある事も知られている。このような点から、反応が生じている構造物の被害の遅延や反応の発生予防法の一つとして、表面被覆による水その他の遮断が有効であるとの報告がすでにいくつかされている。しかしながら、短期間でこの反応によるひび割れを発生させる有効な促進方法が確立されていない事もあり、報告によって試験方法がまちまちであったり、実環境にありえないものであったり、どの様な被覆材が最も有効であるのか、またその保護効果の寿命等明確なものとはなっていないのが現状である。

本研究では、このような観点から、アルカリ骨材反応によるひび割れ発生促進に有効である室内促進試験機の開発と、それによる表面被覆効果の有効性の立証を目的とし、61年度部外研究員として建設省土木研究所にて実験、検討したものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

本実験は、数種のコンクリート供試体を用い他の試験法とひび割れ発生までの時間、ひび割れの成長等について比較検討を行い、開発した促進試験機の有効性を確認し、同促進試験機を用い、アルカリ骨材反応の抑制に有効と思われる被覆材により塗装したコンクリート供試体のひび割れ発生度を同一供試体間で比較検討し、表面被覆の有効性の立証と、その保護効果寿命の一つの予測手段としての可能性について実験、検討を行った。

2.2 供試体

建設省暫定案化学法により、潜在有害となっている骨材2種、無害骨材2種を用いた。表1にその分析結果を示す。ベシマム量を考慮し無害骨材の併用や、細骨材に無害なものを使用する事とし、アルカリ増量として NaOH, NaCl を用いた。コンクリートの標準配合を表2に、配合の種類を表3に示す。供試体サイズは10cm角立方体とした。コンクリート打設後24時間で脱型し、配合No.A, B, F, Gは、アルカリの供試体内からの流出を防止する為、水中養生はしなかった。又配合No.C, D, Eは20℃水中養生28日とし、屋内放置により水分量5%前後で供試した。

表1 化学分析結果

	Rc (mmol/l)	Sc (mmol/l)
T産砕石	183.0	639.0
K産砕石	34.3	39.6
F産砕石	110.0	236.6
C産砕石	21.1	17.9

Rc : アルカリ濃度減少量
Sc : シリカ溶出量

2.3 被覆材

アルカリ骨材反応抑制用被覆材には、外部からの水、有害イオン等の遮断性の大きなものであり、コンクリート内部水による微小ひび

表2 コンクリート標準配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	粗骨材 G	細骨材 S
20	8	5	50	40	195	390	905	924

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。

割れの発生の可能性やすでに発生している微小ひび割れの巾の動的変化等に追従する弾性を有する事も必要である。そこで伸び率を200%以上有する弾性エポキシ系、ポリブタジエン系を選定し、又、塗装が容易でコンクリート表面に皮膜を作らず、外部からの水の侵入をある程度防止し、内部水を外へ出す効果のあるシラン系浸透材、水性である為無公害であり、弾性を有するが遮断性・耐久性の劣るアクリルエマルジョン系を比較として用いる事とした。塗装仕様を表4に示す。

塗装はコンクリート供試体の水分が5%前後である事を確認し、サンダーケレンし、それぞれの塗装系を20℃にて塗装、10日間放置し乾燥させた後供試した。

2.4 促進試験機の作成

60年度研究結果より一定時間毎に散水を行うバクロ試験が、ひび割れ発生促進に効果が認められた。これは、7~9月の期間では、日中バクロ状態にコンクリート表面温度は40℃以上になり散水時には25℃前後と温度勾配をもつ適温が得られたこと、又バクロ

時コンクリート表面含水率は日照部で5%以下、散水時には100%であることから乾湿交番条件となり、水の移動、アルカリ濃縮がおこる為、促進となったと思われる。

しかしながらこの方法は天候に左右され、夜間は促進効果が得られず、又冬期は促進率が低下する。そこで室内で夏期条件を連続的に再現する装置を作成する事とし、その条件として、下記の4つの項目を上げた。

- ①水（又は有害イオンを含んだ水）の供給
- ②放射熱によるコンクリート供試体の加温
- ③低湿度温風による乾燥
- ④乾湿繰り返し

十分な水（又は有害イオンを含んだ水）を供試体に供給した後、放射熱により反応を促進させ、さらに低湿度温風を送りコンクリート表面から急激に水分を蒸発させる事により、供試体内部で水の移動とアルカリ濃縮がおこり、反応性骨材の周辺に適当な濃度のアルカリと水の供給が乾湿条件により繰り返され、ゲルの早期発生、コンクリートの膨張を促進できるのではないかとの仮説によるものである。今回試作した装置の回路図を図1に、全景を写真1に示す。

2.5 試験方法

無塗装供試体は2.2供試体の項で調整したものをすべてを用い、被覆効果用供試体としてコンクリート配合No.A, B, Dを用いる事とした。繰り返し数は2以上とした。又、試験方法としては試作促進試験機による方法とし、比較として、散水バクロ法を用いる事とした。無塗装供試体について

表3 コンクリート配合の種類

コンクリート配合No	粗骨材の種類	細骨材の種類	アルカリ*の混入
A	F/C=80/20	無害標準川砂	NaOH
B	F/C=80/20	〃	—
C	K	〃	—
D	T	〃	NaCl
E	T	〃	—
F	T/C=50/50	〃	NaOH
G	T/C=50/50	〃	—

* 試験1級品を使用。
セメントのアルカリ量 + (NaOH, NaCl)
R₂O換算で8kg/m³に調整。

表4 塗装仕様

No	塗装系の種類	工 程	膜 厚 (μ)	備 考
1	シラン系	シラン系浸透剤	—	表層に膜を作らない撥水性良好 通気型防水材料
		シラン系浸透剤	—	
2	高弾性エポキシ系	エポキシプライマー	—	エポキシ樹脂の 高遮断性と高い 伸び率を持つ
		エポキシパテ	—	
		高弾性エポキシ中塗 高弾性エポキシ用ウレタン上塗	170 30	
3	高弾性ゴム系	エポキシプライマー	—	ゴム弾性膜厚々 タイプ厚膜の為、 遮断性も良好
		エポキシパテ	—	
		高弾性ゴム系中塗 高弾性ゴム系用ウレタン上塗	200 30	
4	アクリルエマルジョン系	酢ビエチレン系ポリマーセメント	(2mm)	ポリマーセメント+アクリル エマルジョンによる 水性システム
		アクリルエマルジョン上塗	30	
		アクリルエマルジョン上塗	30	

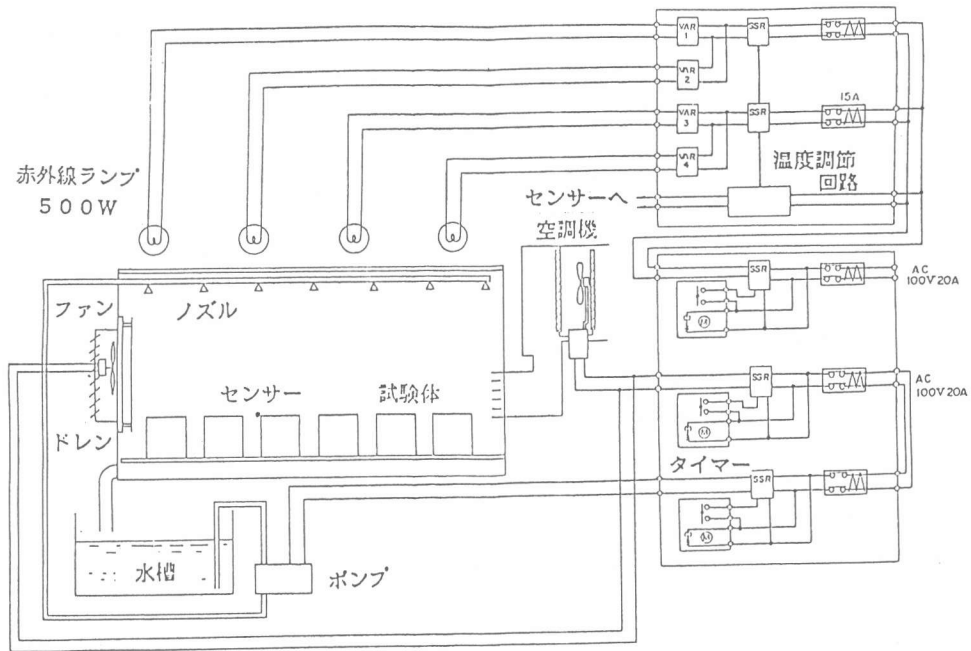


図1 促進試験機の回路図

のみ一般的方法となっている高温高湿養生を同一期間行い、コンクリートのひび割れ程度の標準とする事とした。それぞれの試験条件を次に示す。

① 促進試験機

散水（水道水）0.5時間、加熱＋乾燥2.5時間、1サイクル3時間とし、8サイクル／24時間と設定する事とした。これは60年度行った散水バクロ試験と同様条件にし、促進率を比較する為である。又同様に、乾燥時の温度も40℃とし、散水時の水温も25℃とほぼ同一条件となる様に設定した。

② 散水バクロ試験

再現性を確認する為、60年度実験と同一条件とした。日照時間内に散水（水道水）0.5時間、バクロ2.5時間、1サイクル3時間にて、4サイクル（7:00～19:00）／24時間である。

③ 高温高湿養生

一般的に行われている促進養生と同一とし、条件は40℃100%RHとした。

2.6 調査

アルカリ骨材反応の調査には膨張量の測定が一般的であるが、膨張してもひび割れが発生しなければ問題とならない訳であり、今回は供試体のサイズが小さいこともあり、ひび割れの発生するまでの期間、発生度及びひび割れの成長を目視及び1/100mmスケール付のルーペにより観察する事にした。

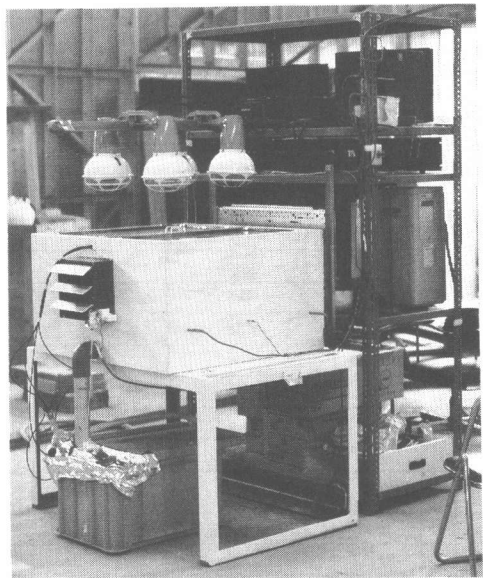


写真1 試作促進試験機

3. 結果と考察

表5に無塗装供試体のそれぞれの試験法による6カ月間（昭和61年9月～昭和62年3月）の試験結果を示す。アルカリ増量した有害骨材使用コンクリート（配合No A, D, F）供試体にはすべての試験でひび割れの発生が認められた。それぞれの配合や試験方法でひび割れの成長量に差が見られる事や、又アルカリ未増量有害骨材使用供試体にも促進試験機のみで微小ではあるがひび割れがすべてに認められ、無害骨材使用供試体にはひび割れが認められない事から、発生したひび割れはアルカリ骨材反応によるものと思われる。ひび割れ発生時の供試体部位としては、輻射熱を直接受ける面から発生しはじめる点からも今回試作した促進試験機の有効性が明らかなものとなった。又、図2, 3, 4にコンクリート配合別に各試験方法によるひび割れの成長を示す。この図からも明らかなように促進試験機の効果が大きい事がわかり、散水バクロ、高温高湿養生ではひび割れ成長が非常に遅いが、促進試験機では成長が速く、直線的に進行している。散水バクロは天候に左右され、冬期に入ったため、高温高湿養生と同等か、むしろ低い成長となっている。促進試験機にて6カ月間試験したコンクリート配合No A, D, F 供試体のひび割れ発生状態を写真2, 3, 4に示す。すべての供試体とも同様の形状のひび割れとなっている。又、初期割れは輻射熱を直接受ける上方の面から発生し、側面から低面を含む全面に進行する。割れ巾の成長も初期に発生した上面から側面にかけての割れの成長が非常に大きい。これはひび割れが一度発生すれば、その割れより外部からの水や有害イオンが反応性骨材まで簡単に補給され、さらに反応が進むためと思われる。

又、アルカリ増量での NaOH, NaCl による効果については、ベシマム条件のちがいもあり明ら

表5 各試験法による無塗装供試体の割れ

コンクリート試験種	項目	1 月			3 月			6 月		
		ひび割れ 個数	最大割れ巾 (平均 mm)	割れ状態	ひび割れ 個数	最大割れ巾 (平均 mm)	割れ状態	ひび割れ 個数	最大割れ巾 (平均 mm)	割れ状態
A	①	3/3	0.05	上面～側面	3/3	0.43	全面 ゲル	3/3	0.93	全面 ゲル
	②	0/30	—		7/30	0.01>	上面～側面	24/30	0.01	上面～側面 又は全面
	③	0/3	—		2/3	0.01	側面	3/3	0.07	全面
B	①	1/3	0.01>	上面微少割れ	3/3	0.01	上面微少割れ	3/3	0.01	上面微少割れ
	②	0/6	—		0/6	—		0/6	—	
	③	0/3	—		0/3	—		0/3	—	
C	①	0/3	—		0/3	—		0/3	—	
	②	0/3	—		0/3	—		0/3	—	
	③	0/2	—		0/2	—		0/2	—	
D	①	0/3	0.05	全面微少割れ	3/3	0.30	全面	3/3	0.65	全面
	②	0/3	—		2/3	0.01>	上面～側面	2/3	0.01	上面～側面
	③	0/3	—		0/3	—		2/3	0.01	上面又は側面 に一方所
E	①	3/3	0.01>	全面微少割れ	3/3	0.01	全面微少割れ	3/3	0.01	全面微少割れ
	②	0/3	—		0/3	—		0/3	—	
	③	0/3	—		0/3	—		0/3	—	
F	①	3/3	0.1	全面	3/3	0.37	全面 ゲル	3/3	0.63	全面 ゲル
	②	0/6	—		6/6	0.07	上面～側面	6/6	0.10	全面
	③	0/3	—		3/3	0.10	全面	3/3	0.15	全面
G	①	2/3	0.01>	上面微少割れ	2/3	0.01	上面微少割れ	2/3	0.01	上面微少割れ
	②	0/5	—		0/5	—		0/5	—	
	③	0/3	—		0/3	—		0/3	—	

試験法 ①促進試験機

②散水バクロ試験

③40°C, 100%養生

かではないものの促進率の高い試験では NaOHは水中養生をせずアルカリの流出を避けたにもかかわらず大きな差は認められなかった。しかしながら促進率が低いと思われる散水バクロ、40℃100%養生では、NaOHによるものが促進効果は大きい。

またアルカリ未増量と比べると NaCl 増量による効果は大きく、実構造物の場合、外部からのNaClの供給についてはアル骨の場合も塩害同様の注意が必要と思われる。

各種塗装系により表面被覆を施した供試体の結果は、散水バクロ6カ月では、すべての塗装系にひび割れは認められなかった。促進試験機6カ月では、造膜タイプ塗装系すべてにひび割れは認められなかった。又、塗膜状態は水性系である塗装系No.4 塗装供試体下面に塗膜のフクレが発生し、一部塗膜に剝離が生じたが弾性エポキシ、弾性ポリブタジエン系には異常はなかった。一方コンクリート内部の水が外部に浸出できるいわゆる通気型のシラン系浸透材で処理したコンクリート配合No.Aの供試体全部(2体)が、試験開始後3カ月でひび割れを生じた。無塗装供試体の半分程度のひび割れ巾で成長し、まだ成長をつづけている。図2にそのひび割れ成長を示す。通気性能を有するのであるから促進試験機の条件ではむしろ良好な結果を期待していたが、結果的には防止効果は長期間持続しなかった。

4. 結論

以上の結果より今回仮説にもとづき試作した促進試験機が、アルカリ骨材反応によるコンクリートのひび割れ促進に有効な事が確認された。又、同一条件で行った種々の被覆材の試験から、外部からの水分等を遮断すればアルカリ骨材反応によるひび割れ発生を防止或いは遅延できる事が確認された。通気型であるシラ

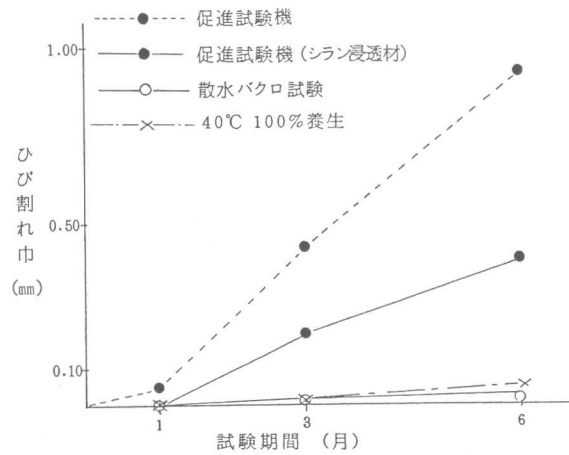


図2 各試験法でのひび割れの成長 (コンクリート配合A)

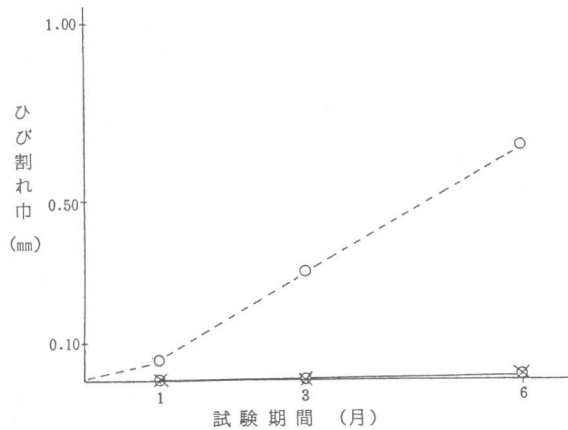


図3 各試験法でのひび割れの成長 (コンクリート配合D)

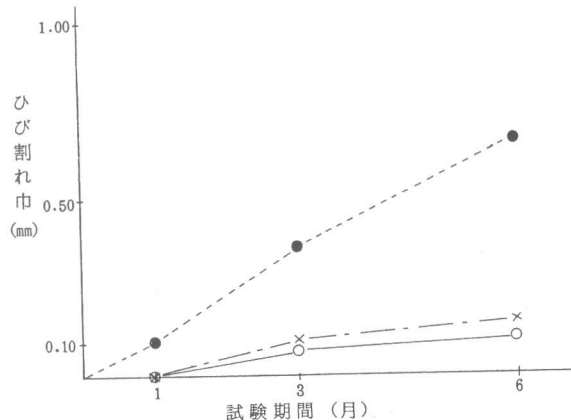


図4 各試験法でのひび割れの成長 (コンクリート配合F)

ン系浸透材は簡易であるが、その効果の持続性に問題がある事が判明した。今後継続して研究を進める事により、実環境でのコンクリート構造物のひび割れ発生期間、配合等わかれば本装置による

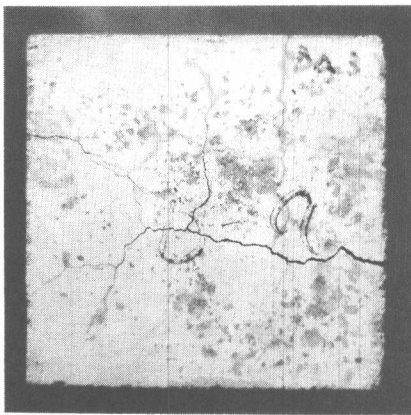


写真2 促進試験機6カ月での
無塗装供試体の割れ
(コンクリート配合NaA)

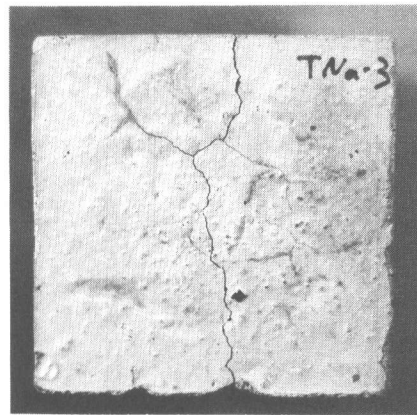


写真3 促進試験機6カ月での
無塗装供試体の割れ
(コンクリート配合NaD)

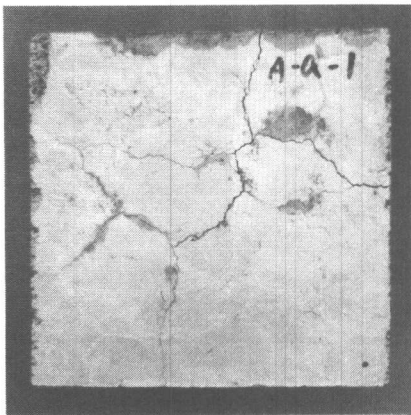


写真4 促進試験機6カ月での
無塗装供試体の割れ
(コンクリート配合NaF)

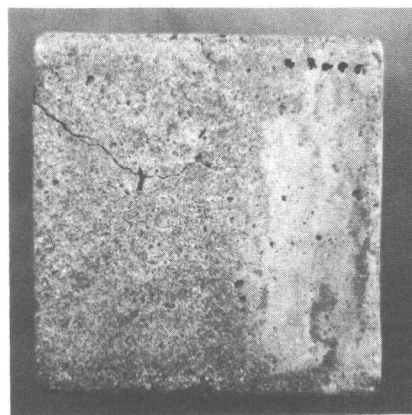


写真5 促進試験機6カ月での
シラン系浸透材の割れ
(コンクリート配合NaA)

促進試験結果をもとに表面被覆によるひび割れ防止或いは抑制寿命が推定でき、又、有害骨材と判定された骨材使用コンクリートのひび割れ実証試験や実構造物採取コア等によるひび割れ発生の可能性検証及び寿命の推定、本装置の複合条件変更による再試験等によりアルカリ骨材反応に起因する割れ発生のメカニズム（抑制メカニズム）の推定などができるものと思われる。

最後に本研究の実施に伴い御指導、御協力いただいた建設省土木研究所の方々へ感謝の意を表します。

[1] Nixon, P.J., Collins, R.J. and Rayment, P.L.: The Concentration of Alkalies by Moisture Migration in Concrete-A Factor Influencing Alkali Aggregate Reaction, Cement and Concrete Research, Vol.9, p.p.417~423, 1979.

[2] 田村 博、高橋利一、大橋正治：コンクリート中の水分の移動に伴うアルカリの濃縮に関する一実験。日本建築学会大会学術講演梗概集、p.p.37~38, 1985.

[3] 武吉理夫、野田和明、多記徹、片脇清士：被覆材によるアルカリ骨材反応の抑制。第8回コンクリート工学年次講演会論文集、p.p.105~108, 1986.