

論文

[1019] アルカリ骨材反応の促進試験および含浸無機ポリマーによる AAR 抑制効果

正会員 ○大岸 佐吉 (名古屋工業大学)
 正会員 小野 博宣 (中部大学工学部)
 山下 隆司 (中部大学工学部)

1. はじめに

アルカリ骨材反応に関わる因子は非常に多岐にわたり、かつ因子間の相互作用も複雑であるため、多くの研究が行われているが、未だ不明の点も多い。この反応は長期に及ぶため、短期間に異常な特性を把握することも重要である。AARの促進試験法については、既に各種の方法が提案されている【文献1)~5)】。またAARの抑制策として、混合材料や混和剤の添加による手法のほかに、含浸材料や塗布材による効果も検討されている【文献6)~11)】。

本研究の目的は、5種類の保存条件下における反応性骨材を用いたコンクリートの膨張特性を調べ適正なAAR促進方法を検討する。またコンクリートに無機質含浸材料を浸透し重合させた Ceramic Impregnated Concrete (CIC) のAAR抑制効果を検討する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

普通ポルトランドセメント ($R_2O=0.63\%$) を使用。非反応性細骨材は矢作川産の最大径5mm砂を使用。また反応性骨材は、a) 古銅輝石安山岩 (混合率50%wt.) b) チャート (同50%) c) オパール (同25%) d) バイレックスガラス (同30%, 以下Pyと略記する) の4種類を対象とした。これらの骨材粒度はいずれも統一的に $FM=2.10$ に調整した。各細骨材の比重, 吸水率, R_c 及び S_c を表1と図1に示す。

2.2 供試体の作成

モルタルの重量調合比は、川砂・安山岩・チャートの3者において $C/W/S/AE$ 剤 = $1/0.5/2.5/0.0015$ の1種類とする。オパールとPyガラスは天然骨材と比重が異なるため、上記重量調合比で得られる容積調合と同一になる様に重量調合比を逆算し決定した。試験体モルタルの含有アルカリ量は、 Na_2O 換算で等価量 $R_2O=0.63$ ($NaOH$ 無添加) 1.2, 2.0%/Cの3水準とし、 Na

表1 使用骨材の物理的, 化学的性質

使用骨材の物理的, 化学的性質		骨材の種類	比重	吸水率 (%)	最大径 (mm)	F. M	S_c	R_c	S_c/R_c
非反応性骨材	矢作川産川砂	2.55	1.89	5.00	2.74				
	古銅輝石安山岩	2.49	1.89	5.00	2.10	775	170	4.56	
	チャート	2.49	0.45	5.00	2.10	171	21	8.14	
	オパール	1.89	15.39	5.00	2.10	1375	110	12.50	
	バイレックス	2.23	—	5.00	2.10	175	112	1.56	

* S_c : 溶解シリカ量, R_c : アルカリ濃度減少量

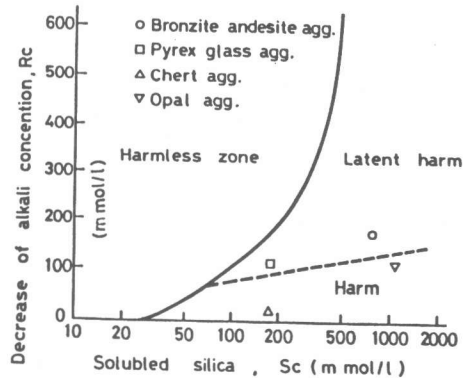


図1 反応性骨材の溶出シリカ S_c と R_c

OHの添加量により調節した。膨張測定用モルタル試料の寸法は 40×40×250(mm)。この両端に長さ測定のためのステンレス鋼製のチップを埋め込んだ。両先端間の検長は 290mmである。材令2または3日と28日の両材令を基長とする2系列の実験観測を行なった。

2・3 試料のAAR保存条件

前記2つの試験材令に達したモルタル試料の膨張観測は、下記の5つの保存条件下で行った。

- ① 180℃-10気圧オートクレーブ養生を24時間保存。養生前後の膨張差を測定。オートクレーブ養生後、引続き40℃-RH100%下で膨張を測定した。
- ② 100℃-1.1kgf/cm²飽和水蒸気下で48時間保存。この間一定時間間隔毎に膨張を測定した。48時間後は引続き40℃-RH100%下で膨張を測定した。
- ③ 60℃-温水中で5カ月間保持し、一定時間間隔ごとに膨張を測定した。その後、引続き40℃-RH100%下で測定した。
- ④ 40℃-RH100%下で膨張を測定した(15週以上)。
- ⑤ 20℃-水中で膨張を測定した(15週以上)。

2・4 AAR抑制用含浸材料と含浸処理方法。

本実験に用いたAAR抑制のための含浸材料は表2に示す4種類である。即ち、1)アルキルアロキシラン(以下AAkSと略記する)のオリゴマー NTL5108(シカガルを含む)、2)同AAkSモノマー2種類(TB100とSpang)、3)亜硝酸リチウム20%溶液を含浸後、NTL5108を再含浸する。以上のほかアクリル樹脂マルロンをモルタル試料の表面に2回塗布、計5者についてAARの抑制効果を試験した。

含浸方法は下記の手順によった。アルミニウム箔で包装したモルタル試料が材令18日に達したとき、試料を80℃下で48時間乾燥し、ついでこれを含浸槽内で脱気した後、含浸液を注入し5kg/cm²の圧力下で試料内部に浸透させた。これを材令28日までの1週間、実験室内に保存して、加水分解による縮合反応を完結させた。材令29日時点を目長とし、前記2・3項記載のAAR促進保存条件①~④のもとで抑制効果を観測した。

3. AARの促進試験結果

3・1 ベシマム骨材量に関する予備試験

非反応性川砂にPyガラス又はオパール細骨材を種々の混合比のもとで作ったR₂O=2%/Cのモルタルを100℃飽和水蒸気中1.1kg/cm²の圧力下で2日間促進反応させた試料の膨張量と骨材混合率との関係を図2に示す。この図ではPyガラスでは添加比約15~30%がベシマム量とみられる。またオパールでは明確なベシマムは見いだされなかったが、およそ15~25%とみられる。よって以下の本実験では川砂へのPyガラスの混合重量比を30%、またオパールでは25%とした。

表2 含浸用アルキルアロキシランの種類と物性

Alkyl alkoxysilane used for impregnation to concrete.					
Material	Chief elements	State	Con. %/wt.	Solvent	PH
NTL 5108	S ₁ O ₂ - sol	Alcohol sol	x } 20	MeOH EtOH	7
	Me-S ₁ (OE _t) ₃				
TB 100	Me-S ₁ (OMe) ₃	Monomer	60	IPA	7
Spang	Me-S ₁ (OE _t) ₃	Monomer	40	Alcohol	
L ₁ NO ₂	1st. L ₁ NO ₂	Solution	20	Alcohol	
NTL 5108	S ₁ O ₂ +MeS ₁ (OE _t) ₃	Oligomer	20	MeOH+EtOH	7

Notes: Me:CH₃, Et: C₂H₅, H₂: C₆H₁₃, IPA: isopropyl alcohol.

Preliminary experiment, 100°C Steam-1.1kgf/cm²
Age of 1day
R₂O : 2.0 %
Period of AAR : 2days,

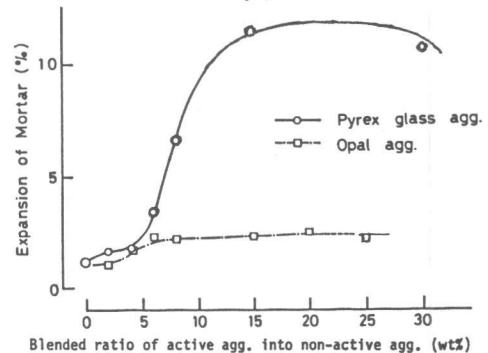


図2 反応性骨材の添加比とモルタルの膨張

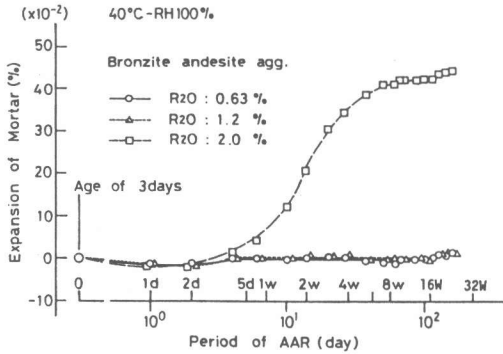


図3 アルカリ添加量と膨張（安山岩）

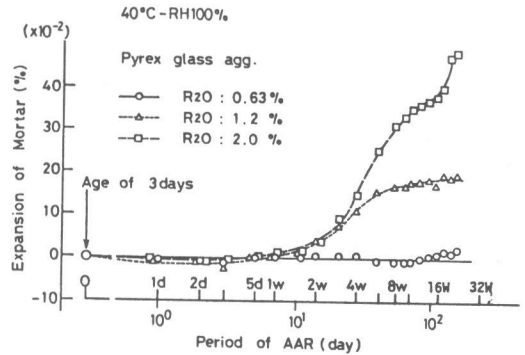


図4 アルカリ添加量と膨張（Pyガラス）

3.2 アルカリ量の影響

図3は安山岩、図4はPyガラスの各モルタルの40°C-RH100%下での材令3日を基長とした膨張変化を含有アルカリ量 $R_2O=0.63, 1.2, 2.0\%/C$ 別に示したものである。両図とも $R_2O=0.63\%$ では膨張は全く認められないが、図4では2週以降において R_2O が多いほど膨張量が漸増する。チャート骨材（図省略）の膨張量は安山岩の約1/2.5であるが、図3と全く同一の傾向を示した。膨張量は R_2O の量には必ずしも比例せず、また R_2O への依存性は反応性骨材の種別で異なることがわかる。これは過去の多くの研究所見にも一致している。

3.3 骨材種別による影響

図5は4種類の反応性骨材モルタルの $R_2O=2\%/C$ 、材令3日を基長とする40°C-RH100%下での膨張を示す。図6は同一モルタルの60°C温水中保存での膨張を示す。両図によればよれば、AARの期間20週での膨張量は、使用骨材により大きく異なり、本実験ではPyガラス>安山岩>チャート>オパールの順である。各骨材粉末のX線解析（図省略）によれば、この安山岩は斜長石、チャートは結晶性の $\alpha-SiO_2$ 、オパールは α -クリストライトを含むことを確認している。膨張量は骨材のS₂量とよい相関をもつとの説もみられるが、本実験ではその傾向は認められなかった。また両図より、膨張開始材令と終息材令は骨材種別で異なる。

3.4 促進条件と膨張量

図7は、安山岩細骨材モルタルの $R_2O=2\%$ 、AAR開始材令2日の保存条件が、①180°Cオ

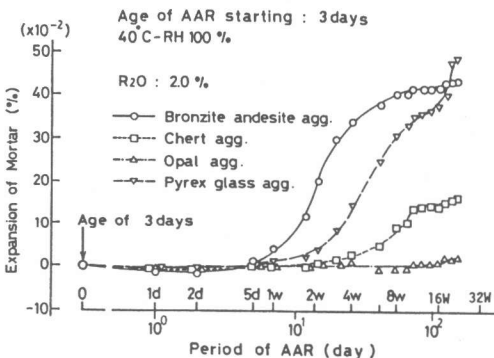


図5 骨材種別と膨張 ($R_2O=2\%$, 40°C)

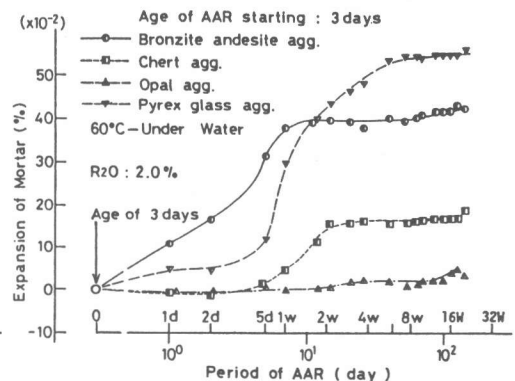


図6 骨材種別と膨張 ($R_2O=2\%$, 60°C 温水)

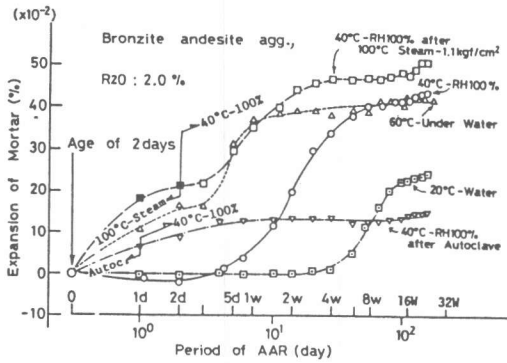


図7 保存条件と膨張（安山岩骨材）

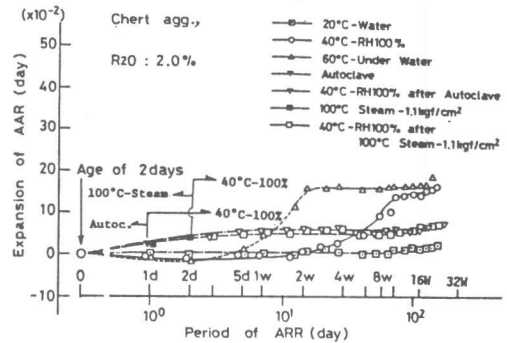


図8 保存条件と膨張（チャート骨材）

オートクレーブ24時間，②100°C-1.1kg/cm²飽和蒸気2日間，③60°C温水中，④40°C-RH100%，⑤20°C水中での膨張変化を示す。保存の条件①と②では促進保存が終わった後、試料を40°C-RH100%槽内に移し、引き続き長さ変化を測定した結果が示されている。

図8はチャート骨材モルタルに関する同様の測定結果を示す。Pyガラスとオパール両モルタルの図を省略する。この結果によれば、膨張量の時間曲線は、保存条件により大きく異なる。60°C温水は期間約2〜3週間で膨張が終息する。これに対して標準的促進法40°C-RH100%はこれより緩慢な膨張経過をたどるが、材令約14週時点において両者の値はほぼ同一値を示す。この事実はPyガラスとオパールについても確認された。

以上の観測結果に基づき、14週時点の膨張量を5種類の保存条件別に示したものが図9〜図11である。いずれもAAR開始材令が2日と28日の両結果を含んでいる。この三図によれば、いずれの反応性骨材においても、100°C-1.1kg/cm²蒸気および180°Cオートクレーブ両促進試験直後の膨張量は40°C-RH100%促進法の値よりも著しく小さい。文献[5]も同様のことを報告している。安山岩とチャートでは後者が前者の僅か1/2〜1/7を示す。このことから100°C飽和蒸気法やオートクレーブ法の結果から標準促進法の結果を推定する事には若干の無理があると考えられる。一旦オートクレーブ養生を経た試料を引き続き40°C-100%に保存しても其の後の膨張が非常に小さいのは、反応生成物トベルモライトがポア中のアルカリ溶出を抑えることに因るものと推測される。

3.5 AAR反応開始材令と膨張

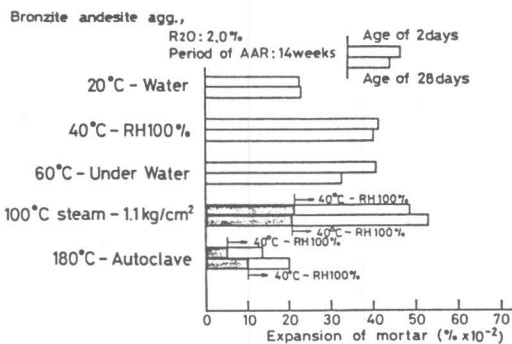


図9 保存条件と14週膨張量（安山岩）

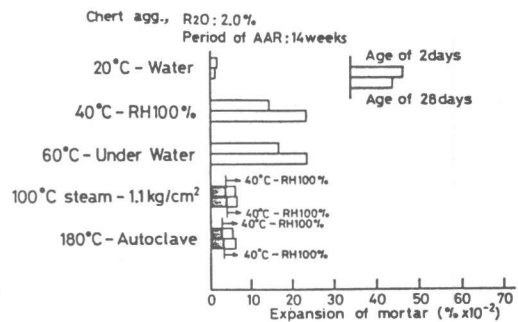


図10 保存条件と14週膨張量（チャート）

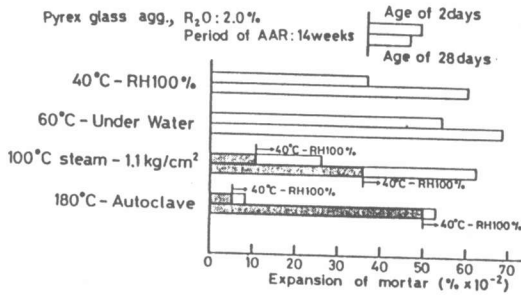


図11 保存条件と膨張量(Pyガラス骨材)

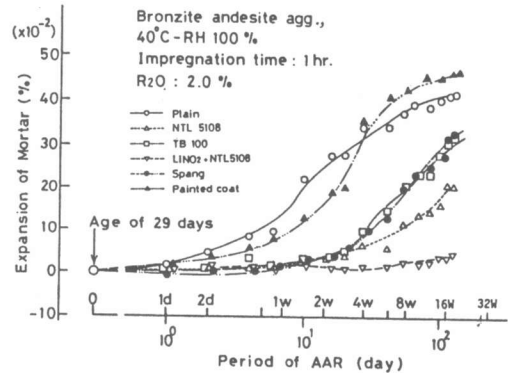


図12 無処理および含浸処理モルタルの AAR膨張 (古銅輝石安山岩骨材)

AARの保存期間14週時点での膨張量に及ぼす各保存開始材令の影響は、図9の安山岩では28日材令の方が2日材令よりも僅かに小さく、図10のチャートでは若干大であり、また図11のPyガラスでも大である。一般的にAAR特性を早期に知るうえで基長を若材令におく場合が多いが、事情により若材令に拘泥する必要はないと思われる。AAR反応を生ずる成分がポア中に溶出するのに時間を要する場合もありうるので、促進開始材令は中、長期でもよいと考えられる。

4. 無機質含浸によるAAR抑制効果

図12は、 $R_2O = 2\% / C$ 、 $40^\circ C - RH100\%$ に保存で、保存開始材令28日の安山岩モルタルの4種類の含浸材料で処理した各試料の膨張変化を示す。同図にはアクリル樹脂2回塗布の場合も含む。図13はPyガラス以外の同種の測定結果を示す。これより、含浸材料が膨張性状に及ぼす影響の大きいことが知られる。図14は、3種類の骨材モルタルの15週時点の膨張量を各処理材料別にプレーンを含めて一括対比したものである。この結果より、AARの抑制に対して、1) ポリアクリル樹脂2回塗布は効果がなく、2) アクリル樹脂のモノマーは膨張をプレーンの約1/2に低下し、オリゴマー5108は約1/3に低減し、より有効である。3) 特に亜硝酸リチウムと5108を2度含浸したものは、殆んど完全にAARを抑止できる顕著な効果が認められる。これら含浸材料の含浸深さは、試料断面の全域におよぶ。LiNO₂単独の抑制効果については文献[6]が既にその可能性を指摘し、文献[11]は優れた効果を報告しているが、本研究の併用法はより効果的である。

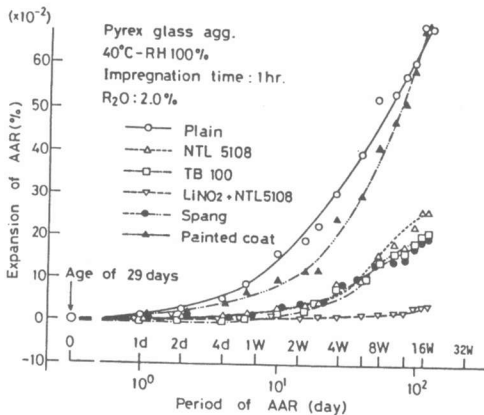


図13 無処理および含浸処理両モルタルの AAR膨張 (Pyガラス骨材)

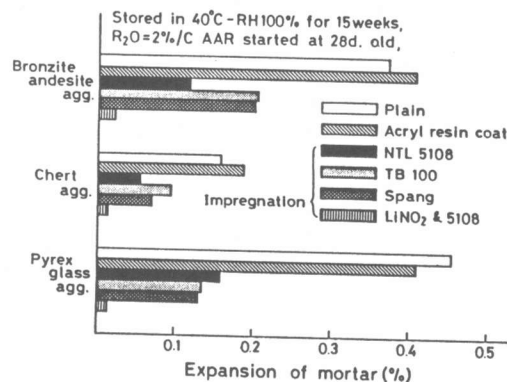


図14 3種類の反応性骨材モルタルの無機ポリマーによるAAR膨張抑制効果

5. 結 論

以上、反応性骨材を用いたモルタルのアルカリ骨材反応促進実験と、無機質含浸材によるAAR抑制効果の結果は次のように要約される。

- 1) AARによる膨張は本実験に用いた骨材について、ハイルックス>安山岩>チャート>オパールの順である。また膨張はアルカリ量が多いほど大である。膨張量と骨材のS。量との相関は見いだされなかった。
- 2) オートクレーブ(180℃-10気圧)24時保持と100℃飽和蒸気(1.1kg/cm²)中48時間保持の両者の膨張量は、標準試験法40℃-RH100%の14週値の1/2~1/7の大きな変動幅をもつ。量的にも信頼できる促進法としては60℃-温水法は2~4週で標準法の14週値に等しい値を示すので促進法としてより適切であろう。
- 3) AAR開始時の材令が2日と28日では14週時点の膨張量に大きな差がなく、後者が10~30%大きい場合がある。
- 4) アルカリ阻害剤 オリゴマー及びこれに亜硝酸リチウムを併用すれば、AARの異常膨張を殆んど完全に阻止でき、極めて有効である。

謝 辞 本実験には、名工大 山田技官、大阪セメント 小林広茂、(株)日産化学 柘植野誠、北川昭雄の諸氏の助力を得た。付記して謝意を表わす。

文 献

- 1) Grattan-Bellew, P.E.; Cement and Concrete Res., Vol.11, No.5/6, pp.699-711(1981).
- 2) Ming-Shu, T., H. Su-fen and Shi-hua, Z.; Cement and Concrete Res., Vol.13, pp.417-422 (1983).
- 3) 田村 博, 星野善孝, 高橋利一, 齊藤広志; 第7回コンクリート工学年次講演論文集, pp.177-180 (1985).
- 4) 佐治泰次, 松藤泰典, 立野謙吾; 第7回コンクリート工学年次講演論文集 (1988).
- 5) 西林新蔵, 矢村 潔, 中野錦一; コンクリート工学, Vol.26, No.5, pp.73-83 (1988).
- 6) McCoy, W.J. and A.G. Caldwell; ACI Jour. May, pp.693-706 (1951).
- 7) 片脇清士, 守屋 進; 第7回コンクリート工学年次講演論文集, pp.145-148 (1985).
- 8) 長橋英彦, 内田博和, 田村 博, 中元武彦; 第8回コンクリート工学年次講演論文集, pp.153-156 (1986).
- 9) 栗原 正, 片脇清士; コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9-1, pp.573-578 (1987).
- 10) 小野紘一, 今江 守, 金好昭彦, 篠原稔雄; コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9-1, pp.597-602 (1987).
- 11) 高倉 誠, 坂口由里子, 友沢史紀, 阿部道彦; コンクリート工学年次論文報告集, Vol.10-2, pp.761-766 (1988).