

報告

[1136] 無機ポリマーによるアルカリ骨材反応抑止効果

正会員 ○小野博宣 (中部大学工学部)

正会員 大岸佐吉 (名古屋工業大学)

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化原因の一つとして各方面から注目され、研究されている問題にアルカリ骨材反応 (以下AARと記す) による膨張ひび割れがある。このアルカリ骨材反応に関わる因子は非常に多岐にわたり、またその因子相互に及ぼす影響も複雑であるため、内外における多くの研究成果が見られるものの、依然として不明の点も多い。AARの骨材判定法として各種の促進試験法が提案されている[1]-[7]。他方、AARの抑止策としてはシリカ系混和材の添加、各種含浸材料もしくは塗布材による効果などが検討されている[8]-[16]。

本研究では、まず3種類の反応性骨材について、5通りの反応促進条件下において膨張特性を調べ、適正なAAR膨張促進試験法を選択した後、各骨材の反応特性ベシマム量を試験した。そのうえで無機ポリマー含浸によるAAR抑制効果について実験を行い、さらに数種の混和材やコンクリート表面処理材についても比較検討を行った。

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、反応性骨材は a)古銅輝石安山岩 (混合比率 10, 20, 30, 40wt.%)、b)チャート (混合率30, 40, 50, 60wt.%)、c)パイレックスガラス (20, 30, 40, 50 wt.%) の3種類、非反応性骨材としては河川砂 (矢作川) を用いた。JIS 5308, A-22規定の粒度とした。混入アルカリ濃度の調整には一級試薬 (NaOH) を用いた。骨材の特性を 表-1 に示す。

2.2 供試体の作製

モルタルの重量調合比は、セメント (C) / 水 (W) / 砂 (S) = 1 / 0.5 / 2.5 とした。試験体モルタルの含有アルカリ量は Na_2O 換算で等価量 $R_2O=0.63\%$, 1.2%, 2.0 % の3水準とした。膨張測定用モルタル供試体は 40x40x250 (mm) であり、その両端に長さ測定用ステンレス製のチップを埋め込み両端間の測定検長は 290mm である。

表-1 使用骨材の物理的・化学的特性

	Kinds of aggregate	Specific gravity	Water absorp. (%)	Max. size (mm)	F. M	Sc	Rc	Sc/Rc
						(μmol/l)		
Non-reactive aggregate	Yahagi river	2.55	1.89	5.00	2.74	—	—	—
Reactive aggregate	Bronzite andesite	2.49	1.89	5.00	2.10	775	170	4.56
	Chert	2.49	0.45	5.00	2.10	171	21	8.14
	Pyrex glass	2.23	—	5.00	2.10	175	112	1.56

Re ; Reduction in alkalinity, Sc ; Desolved silica

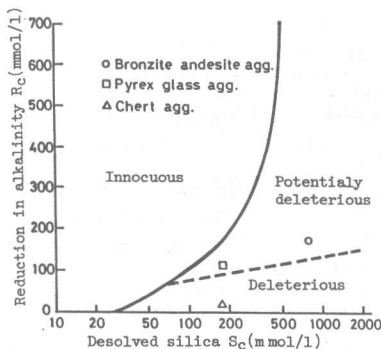


図1 反応性骨材の溶出シリカScとRc

2.3 AARの促進養生と膨張測定方法

AARの促進養生方法には、① 40℃-RH100%、② 40℃温水養生、③ 60℃温水中、④ 100℃-(1.0 - 1.5)kgf/cm²飽和蒸気中、⑤ 180℃-10気圧飽和蒸気中等がある。筆者らの研究[16]によれば、図2に示すように以上の養生条件のうち ③の条件が短時間のうちに終局膨張量を得ることが出来ることが知られており、本研究においても採用した。供試体を鋼製測定台にセットし、測長 300 mmのマイクロメータ(精度1/1000 mm)により供試体長さを測定した。

2.4 AAR抑制用材料と処理方法

本実験で用いた反応抑制用材料は、1) 無機系含浸材：アルキルアルコキシシランと亜硝酸リチウムの2種類(表1に示す)について、それぞれ別々に含浸した場合と両者を個別に2度含浸した場合の3通りについて行った。含浸方法は脱型後アルミニウム箔と合成樹脂シートにより包装したモルタル供試体を材令15日に達したとき、試料を70℃下で24時間乾燥し、ついでこれを含浸液中に24時間浸漬し試料内部に浸透させた。亜硝酸リチウムによる浸透とアルキルアルコキシシランの2度含浸を行う場合には1回目含浸後70℃下で24時間乾燥処理(亜硝酸リチウム単独の場合も同様)した後アルキルアルコキシシランによる浸透処理を行い、これを材令5日まで室内保存し加水分解による縮合反応を完結させた。

次に、2) 表面コーティング材は、フッ素樹脂、セメント結晶増殖材。この場合には材令23日まで同様の養生処理を行った後包装を解き24時間室内にて乾燥した後、表面にコーティング処理をし、さらに一日置いて再度コーティング処理を行った。3) ポゾラン物質はシリカヒューム(Silica fume)、反応性骨材微粉末(古銅輝石安山岩、チャートの0.15mm以下)の3種類であり、これらをモルタル混練時に所定量(骨材外割重量比でそれぞれ3%,5%,8%)添加した。

3. 試験結果と考察

3.1 珪砂の膨張に及ぼす等価R₂O量の影響

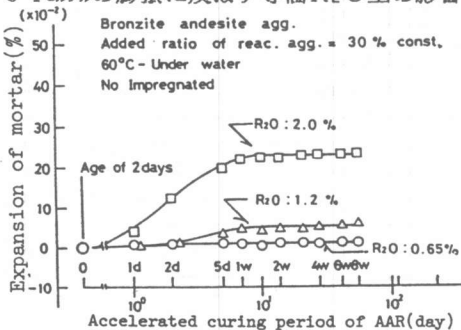


図3 安山岩の膨張に及ぼすアルカリ量の影響

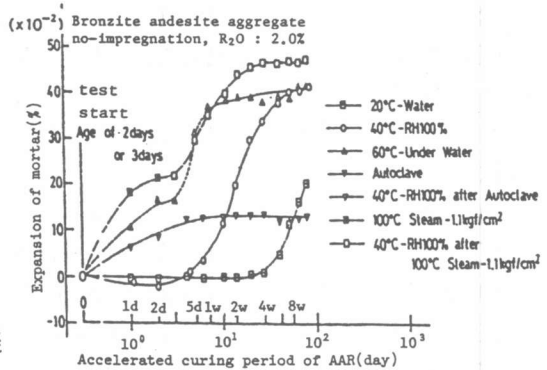


図2 AARに及ぼす各種促進養生試験の結果

表2 使用含浸材料の種類と物性

Materials	Chief elements	State	Concent. (wt.%)	Solvent	PH
NTL-5108*	SiO-sol blended Me-Si(OEt) ₃	Alcohol sol Oligomer	X 20% Y 20%	MeOH EtOH	7
LiNO ₃	only LiNO ₃ solution		20%	Alcohol	7

* Alkylalkoxysilane

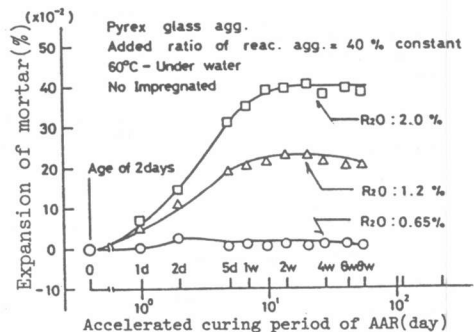


図4 ハイルックスガラス珪砂の膨張とアルカリ量の影響

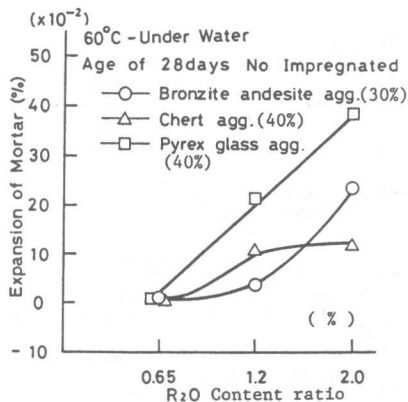


図 5 骨材種別膨張に及ぼすアルカリ濃度の影響

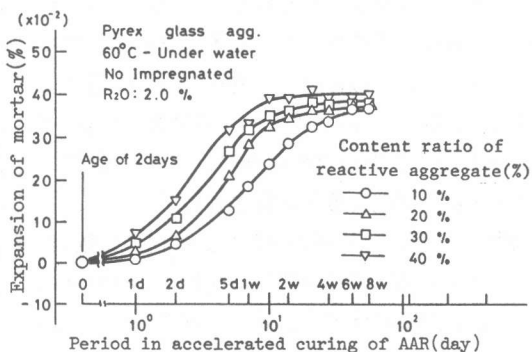


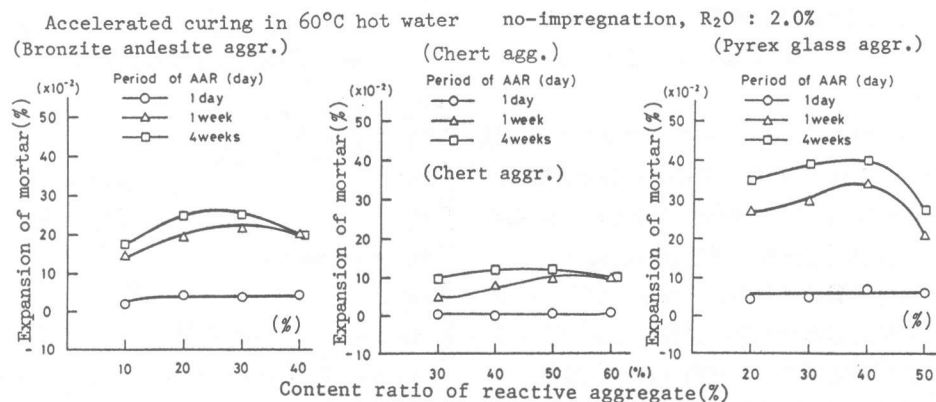
図 6 モルタルの膨張と反応骨材混入量

図3は安山岩30%混入、図4はバイレックスガラス40%混入モルタルの膨張変化を含有アルカリ量 $R_2O=0.65, 1.2, 2.0\%$ について示したものである。両図とも $R_2O=0.65\%$ では殆ど膨張しない。しかし、安山岩やバイレックス骨材では $R_2O=1.2\%$ より促進材令の進行とともに膨張量が増加する。骨材別のアルカリ量の影響について求めた結果が図5である。 $R_2O=0.65\%$ では殆ど同じ値を示すが R_2O が 1.2% から 2.0% に変化するとチャートと安山岩の膨張量が逆転する。また $R_2O=2.0\%$ ではチャート(40%)<安山岩(30%)<バイレックス(40%)の順序で膨張量は異なるが、これは、骨材の種別およびアルカリ濃度によってモルタルの膨張量の程度が大きく変わることを示している。

3・2 反応性骨材の混合率とモルタルの膨張

図6は反応性骨材としてバイレックスガラスを用いた場合の骨材混入量と膨張の時間変化を示したものである。膨張反応は骨材混入量に比例し変化の様が知られる。この場合促進養生時間が3日ないし7日までの比較的初期における膨張が大きく、また骨材混入量の影響も顕著である。古銅輝石安山岩、チャートの場合にも類似した傾向を示した(図略)。

図7はモルタルの膨張に及ぼす反応性骨材混入量の効果について古銅輝石安山岩、チャート、



a) 古銅輝石安山岩 b) チャート c) バイレックスガラス

図 7 モルタルの膨張に及ぼす反応性骨材の混入量効果

バイレックスガラスのそれぞれ骨材別に示したものである。即ちベシマム混入率を試験したものである。これらの図より古銅輝石安山岩では混入量20~30%, チャートでは40~50%バイレックスガラスの場合には40%近傍にベシマムが存在すると判断される。

文献5),6)では,骨材のベシマムは材令に依存し、材令の進行につれて反応性骨材のベシマムが小さい方へ移行すると述べており、ベシマム効果は骨材の反応性シリカ量とモルタル中のアルカリ量との相対関係により定まる非常に複雑な現象であると考えられる。

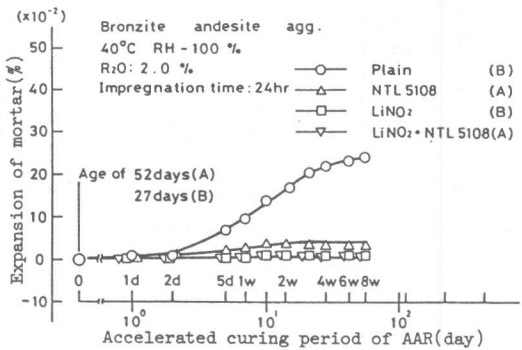
一方膨張量は骨材のSc量とよい相関関係をもつとの説もあるが本実験では認められなかった。また、反応性骨材を混入したセメントモルタルの反応促進試験における膨張開始材令と膨張の終息する材令は骨材種別と反応性骨材混入量、さらにアルカリ濃度により支配される。

3.3 無機ポリマーによるAAR抑止効果

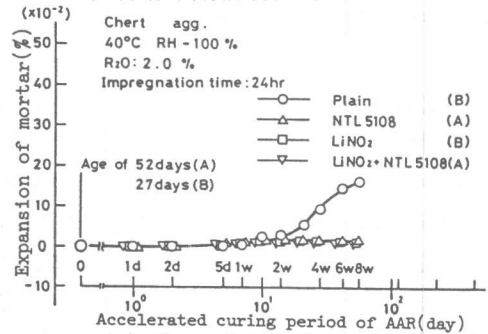
図8 a),b)は古銅輝石安山岩とチャートの2種類の骨材を使用したモルタルについてアルキルアルコキシシランオリゴマー、亜硝酸リチウム浸透法による処理した供試体の膨張の時間変化を示したものである。(注) 図中(A),及び(B)とあるのは供試体を打設後から膨張反応促進(40℃飽和蒸気中)を開始するまでに経過した各供試体の材令であり処理方法により(A)材令52日,(B)では材令27日である。している。

この結果から、1)アルキルアルコキシシランは膨張をブレン材の1/5以下に抑え、2)亜硝酸リチウムは単独に用いても効果が顕著にみられ、既往の研究[8],[13]と同様の効果が得られた。

また 3)亜硝酸リチウムとアルキルアルコキシシランの併用処理は非常に効果的であり優れた膨張抑止効果を発揮すると期待される。筆者らの従来の実験では合浸処理方法によっていたが[16]、本研究により浸透処理に於いても十分効果が認められた事は、実用上の可能性をしめす。

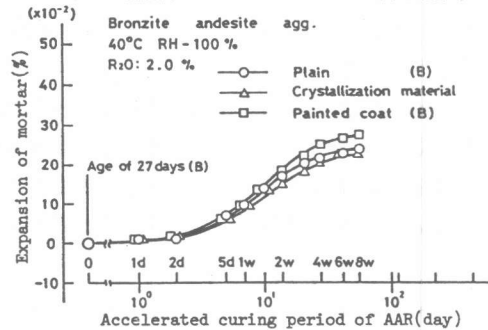


a) 古銅輝石安山岩の場合

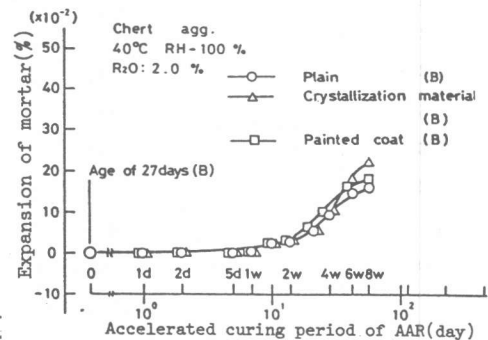


b) チャートの場合

図8 無機ポリマーによるAAR抑止効果



a) 古銅輝石安山岩の場合



b) チャート骨材の場合

図9 コーティング処理によるAAR抑止効果

3.4 コーティング処理による抑止効果

まず本試験に用いた1) 結晶増殖材は基本的な成分 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \alpha\text{SiO}_2$) をセメント中の可溶性 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) と反応させて不溶性のC-S-H系結晶物を生成させようとする意図によるものである。2) フッソ樹脂は2液混合タイプでありコーティング直前に混練した。以上の2種類の塗布材は、所定の材令を経過した供試体に2度塗布した後、1日間実験室内で養生を行なったあと膨張促進 (40°C飽和蒸気中) に供した。

図9は古銅輝石安山岩とチャートの各骨材についての試験結果を示したものである。試験結果より、両方法によるコーティング処理は十分慎重に行われたが、共にその効果は低く8週間後においてはプレ材より膨張が増大する結果となった。筆者らの過去の研究によるとアクリルレジンの場合と類似した傾向といえる。この種の処理法について今後検討を要する。

3.5 反応抑制混和材

1) シリカヒューム, 2) チャート骨材微粉末, 3) 古銅輝石安山岩微粉末, 4) バイレックスガラス微粉末の4種類について各々3段階の量 (3%, 5%, 8%) を混練時に混合しその効果を調べた。

図10は古銅輝石安山岩にシリカヒュームを混入した場合のモルタルの膨張変化特性を示したものである。シリカヒュームの抑制効果は明らかであり、3%混入により8週間後のプレ材の膨張量をわずか1/12以下に抑えることができる。

混入量が5%, 8%と増えるにつれその効果は認められるがその量は甚だ少ない。従って3%でも十分効果を期待できる。

図11, 及び12は各々チャート骨材, バイレックスガラス骨材についてモルタル供試体の膨張抑制を比較したものである。プレ材の基準膨張量の大小により各々の膨張抑止が異なる効果を示す事が知られる。即ちバイレックスガラスの場合にはプレ材の膨張量をシリカヒューム3%混入により約1/12に低減するのに対し, チャート骨材では約1/3である。

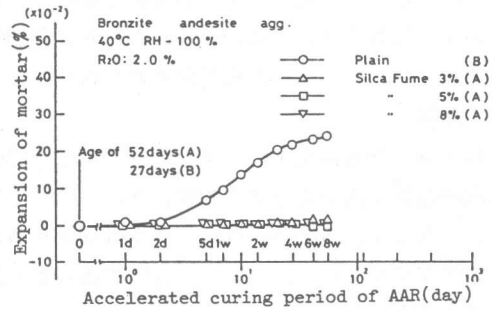


図10 シリカヒュームによるAAR抑止効果

Chert agg.
Stored in 40°C-RH100% for 8 weeks
R₂O=2% / C AAR started at 50, 27 days old.

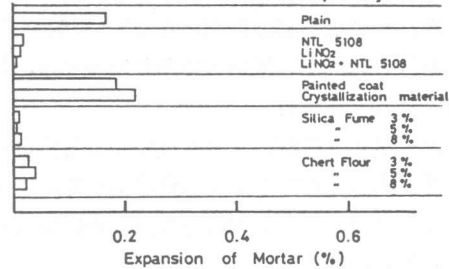


図11 チャート骨材のAAR抑止効果の比較

Pyrex glass agg.
Stored in 40°C-RH100% for 8 weeks
R₂O=2% / C AAR started at 50, 27 days old.

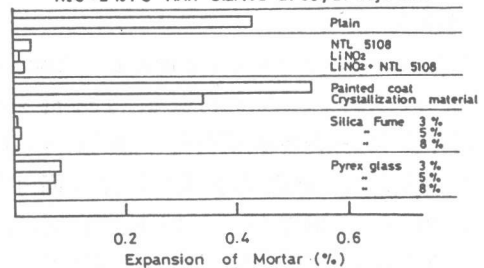


図12 バイレックス骨材のAAR抑止効果の比較

表3 AAR抑止効果比較表

	40°C - RH100%		
	Bronzite andesite agg.	Chert agg.	Pyrex glass agg.
Plain	* 0.629%	* 0.278%	* 0.937%
NTL 5108	0.094	0.073	0.096
LiNO ₃	0.035	0.049	0.037
LiNO ₃ + NTL 5108	0.027	0.022	0.023
Painted coat	0.731	0.299	1.087
Crystallization material	0.599	0.302	0.728
Silica Fume	3%	0.047	0.022
	5%	0.017	0.016
	8%	0.025	0.036
Flour	3%	0.087	0.089
	5%	0.032	0.120
	8%	0.046	0.078

* Expansion of mortar, at 4 weeks

また、促進養生4週間に於ける各試験条件におけるの結果（膨張量%）をまとめたものが表3である。これより、3種類の骨材のAAR膨張抑止に対するの無機ポリマー含浸材、骨材微粉末およびシリカヒュームなどがそれぞれ特色ある顕著な効果を示すことが認められる。

5. 結論

以上反応性骨材を用いたアルカリ骨材反応促進試験と無機ポリマー含浸等によるAAR抑止試験の結果は次のように要約される。

1) AARによる膨張量は混入アルカリ量が多い程大きく、また反応性骨材の混入量によって固有の膨張量を示す。また同一骨材であっても促進試験方法によってその反応開始時間と膨張量が異なる。

2) AARによる膨張ベシマム量は骨材の種別やアルカリ濃度によって異なり、本実験の場合($R_2O=2\%$)では骨材重量百分率で古銅輝石安山岩は20~30%,チャートは40~50%,パイレックスガラスは約40%である。

3) AARによる膨張抑制材として 無機系アルキルアルコキシシラン オリゴマーや 亜硝酸リチウムはその抑止効果が大きくモルタルの異常膨張を大幅に低減できる。特に両者の併用は一層効果的であった。

4) コーティング材のAAR反応による抑止効果は、本試験に関する限りその機能を十分に発揮せず膨張抑止効果が確認出来なかった。

5) シリカヒューム、反応性骨材(古銅輝石安山岩)微粉末等の混和材はAARによる膨張抑止に有効である。

謝辞 本実験には愛工大森野奎二教授のご指導を得ました、また名工大 山田技官、大阪セメント 小林宏茂、日産化学 柘植野誠、北川昭雄の各氏、学生平野・船越・福井君の協力を得ました付記して謝意を表します。

参考文献

- 1)Grattan-Bellew.P.E.;Cement and Concrete Resaerch,Vol.11,No.5/6,pp.699-711(1981).
- 2)Ming-Shu,T.,H.Su-fen et al.:Cement and Concrete Research,Vol.13,pp.417-422(1983).
- 3)田村 博,星野善孝,高橋利一 他;第7回 コンクリト 工学年次講演論文集,pp.417-422(1983).
- 4)佐治泰次,松藤泰典,立野謙吾 ;第7回 コンクリト 工学年次講演論文集, pp.169-172(1983).
- 5)中野錦一, 田村 博 :コンクリト 工学 Vol.24,No.11, pp.17-22,pp.23-28(1986).
- 6)西林新蔵, 矢村 潔, 鳥飼一吉 :コンクリト 工学年次論文集, Vol.9-1, pp.627-632(1987).
- 7)西林新蔵, 矢村 潔, 中野錦一 ; コンクリト 工学, vol. 26,No.5,pp.73-83(1988).
- 8)McCoy,W.J. and A.G.Caldwell; ACI Journal,May,pp.693-706(1951).
- 9)片脇清士, 守屋 進 ; 第7回 コンクリト 工学年次講演論文集, pp.145-148(1988).
- 10)長橋英彦,内田博和,田村 博 ;第8回 コンクリト 工学年次講演論文集, pp.153-156(1986).
- 11)栗原 正, 片脇清士; コンクリト 工学年次論文報告集, Vol.9-1,pp.573-578(1987).
- 12)小野紘一,今江 守,金好昭彦 他; コンクリト 工学年次論文集, Vol.9-1,pp.597-602(1987).
- 13)高倉 誠,坂口由里子,友沢史紀;コンクリト 工学年次論文集, Vol.10-2,pp.761-766(1988).
- 14)川村満紀, 竹本邦夫, ;メント 技術年報, Vol.40,pp.328-331(1986).
- 14)藤崎邦弥, 古沢靖彦, 丸山民子, ;メント 技術年報, Vol.41,pp.407-410(1987).
- 15)窪山 潔, 立屋敷久志, 立松英信, ;メント 技術年報, Vol.42,pp.331-334(1988).
- 16)大岸佐吉, 小野博宣, 山下隆司;コンクリト 工学年次論文集, Vol.11-1,pp.129-134(1989).