

報告

[1134] SiO₂を含む混和材のアルカリ骨材反応抑制効果に関する研究

正会員○高木 俊郎 (飛鳥建設株式会社)
 正会員 加藤 茂美 (芝浦工業大学土木工学科)
 正会員 木村 勝利 (飛鳥建設株式会社)
 正会員 田中 斉 (飛鳥建設株式会社)

1. はじめに

アルカリ骨材反応抑制に対する研究は数多く実施されており、建設省の「アルカリ骨材反応抑制対策」では、混合セメントの使用が推奨されている。

これらの混合セメントに用いられているフライアッシュやスラグは、以前からボゾラン系の材料として知られているものであり、その主成分として珪酸を多く含んでいる。そこで、これらの抑制効果と同様なメカニズムによって、アルカリ骨材反応を抑制することが可能な材料が存在するものと考えられる。

筆者等は、このボゾラン系材料の主成分である珪酸のアルカリ骨材反応抑制効果が、モルタルやコンクリート中のアルカリ濃度の減少(アルカリ希釈)に関係があることに着目し、混和材の抽出と抑制効果の評価およびその添加量についての検討を行ってきた¹⁾²⁾。

本報告は、この観点に基づいてアルカリ骨材反応抑制効果のある混和材料の抽出と抑制効果についてモルタルおよびコンクリートによって検討を行なった結果である。

表-1 混和材一覧表

混和材記号	主要成分その他	SiO ₂ 量(%)	R ₂ O(%)	平均粒径(μm)
M	高純度非結晶シリカ粉末	90.00	0.329	0.15
Z	天然ゼオライト粉砕物	64.20	2.721	11.41
S	シリカアルミナバルーン	58.04	0.390	110.00
Sc	上記Sを粉砕したもの	58.04	0.390	41.11
W	火山ガラスを主成分とするバルーン	74.52	2.788	150.00
WS	上記Wの小粒径のもの	74.52	2.788	50.00
Wc	上記Wを粉砕したもの	74.52	2.788	16.78
E	合成超微粒子シリカ	99.99	0	2.80
Es	上記Eの小粒径のもの	99.99	0	1.00
Sf	シリカフェーム	89.30	1.359	0.71

2 検討概要

2. 1 検討項目

実験は、後述する各材料を用い、次の検討を行なった。

1) 材料の抽出を目的とした簡易な評価(NaOH溶液に混和材を添加した場合の

pH減少効果の評価)

2) 混和材を添加したモルタルによる簡易促進法およびモルタルバー法を用いた膨張抑制効果の検討

3) モルタルで膨張抑制効果の認められた混和材を添加したコンクリートの膨張抑制効果の検討

2. 2 使用材料

(1) 混和材：表-1に示す混和材を用いた。但し、抑制効果の認められた混和材について各段階で絞り込みを行なった。

(2) 骨材：表-2に示す骨材を用い、細骨材は建設省法の粒度に調整し、粗骨材はG_{max} 20mmとした。

(3) セメント：普通ポルトランドセメント(R₂O=0.65%)

表-2 使用骨材一覧表

骨材名	モルタルバー法試験結果(%)		判定	化学法(mmol/l)		判定
	3ヶ月膨張率	6ヶ月膨張率		Sc	Rc	
北陸安山岩	0.0592	0.0783	有害	252	137	有害
輝石安山岩	0.1337	-----	有害	267	81	有害
珪質粘板岩	0.1349	0.2561	有害	87	27	有害
思川産川砂	0.0119	0.0153	無害	35	77	無害
八王子砕石	0.0124	0.0150	無害	---	---	---

(4) 練混ぜ水：イオン交換水とし、実験方法に示す添加アルカリを加えた。

2. 3 実験方法

1) 材料の抽出を目的とした簡易な評価（混和材添加NaOH溶液のpH減少による評価）

実験方法：混和材50gを0.5規定NaOH溶液200mlに混ぜて、6, 12, 24時間後の溶液の上澄みのpH測定を行なった。溶液は、混和材添加後よく攪拌し、測定時まで20℃で静置した。また、各測定終了後に1分間攪拌した。

混和材：M, Sf, Z, Wc, Ws, Sc, E, Esについて実験を実施した。但し中空球状の溶液中に沈降しない混和材については、実験は実施しなかった。

2) 簡易促進方法を用いたモルタルの膨張抑制効果の検討

実験方法：混和材を添加した（セメント600gの内割添加、供試体寸法4×4×16cm）モルタルを材令1日で100℃湿潤養生し、10時間、30時間養生経過時に膨張率の測定を行なった。添加アルカリは、NaOHとし、総アルカリ量が1ℓ当り15gとした。

混和材：M, Sf, Z, Wc, Ws, Sc, E, Esを用いた。

骨材：北陸安山岩、輝石安山岩、珪質粘板岩を用いた。

3) 建設省法モルタルバー法に準拠した方法を用いた膨張抑制効果の検討

実験方法：混和材を添加した（セメント600gの内割添加、供試体寸法4×4×16cm）モルタルを材令1日から40℃紙巻養生した供試体の膨張率の測定を行なった。添加アルカリはNaOHとし、総アルカリ量が1ℓ当り7.2gとした。

混和材：簡易促進法で効果の認められたM, Z, Wcについて実施した。

骨材：北陸安山岩、輝石安山岩について行なった。

4) コンクリートによる膨張抑制効果の検討

実験方法：混和材を添加した有害粗骨材を用いたコンクリートと、有害細骨材を用いたものの膨張率を測定した。供試体寸法は、10×10×40cmとし、40℃紙巻湿潤養生とした。配合は、プレーンコンクリートとし、スランブは供試体作製可能な範囲とした。また添加アルカリは、NaOH、NaCl、NaNO₂の等量混合として総アルカリ量7Kg/m³とした。³⁾総アルカリ量は、既往の研究から無害骨材に対する影響が小さく、かつ反応が比較的早期に確認できるものとした。⁴⁾混和材に含まれるアルカリは、その50%を総アルカリ量に加えた。

混和材：混和材はM, Sf, Z, WCとし、混和量は、モルタル実験結果より選定した。

表-3 コンクリートの配合一覧表

No.	配合名称	混和材	シリカ リ比	配合条件(%)		単位当り重量(Kg/m ³)				混和材
				w/C	S/a	C	W	S	G	
1	O-HA	無	--	59	44	320	190	785	1030	0.0
2	HA-H	無	--	59	45	320	190	812	1014	0.0
3	O-H	無	--	59	44	320	190	784	1033	0.0
4	O-HA-M-2.0	M	2.0	61	43	320	195	753	1040	15.5
5	O-HA-M-2.8	M	2.8	61	43	320	195	750	1006	22.0
6	O-HA-M-4.0	M	4.0	61	43	320	195	745	1000	31.1
7	O-HA-Sf-2.9	Sf	2.9	61	43	320	195	750	1006	23.0
8	O-HA-Z-2.0	Z	2.0	60	43	317	190	756	1014	20.9
9	O-HA-Z-3.0	Z	3.0	60	43	317	190	749	1006	31.4
10	O-HA-Wc-3.2	Wc	3.2	60	43	317	190	749	1006	30.0
11	HA-H-M-2.8	M	2.8	61	45	320	195	784	992	22.0
12	HA-H-Sf-2.9	Sf	2.9	61	45	320	195	794	992	23.0
13	HA-H-Z-3.0	Z	3.0	61	45	320	195	787	983	31.4

● 有害材料重量 凡例：細骨材-粗骨材-混和材-シリカ・アルカリ比(式-2参照)

骨材：有害骨材 北陸安山岩細骨材および粗骨材

無害細骨材：思川産川砂

無害粗骨材：八王子産硬質砂岩碎石（表-2参照）

3 実験結果および考察

3.1 材料の抽出を目的とした簡易な試験結果

図-1 に pH の経時変化を示す。混和材 W s は、溶液に混合攪拌しても沈降しない為、24 時間経過後の濾液の測定結果を示した。

図-1 より、溶液中の pH 経時変化過程には混和材の種類によって、pH の低下が大きく、24 時間まで pH の低下を持続する混和材 (M, S f) と、pH の減少が小さいもの、その中間的な混和材 (Z, E s) の3区分に大別することができる。また、24 時間経過時の pH 減少は、必ずしも混和材中の S i O₂ 含有量の多い順位とはなっておらず、混和材中の S i O₂ の性質に差があるものと考えられる。

3.2 簡易促進法およびモルタルバー法を用いたモルタルによる膨張抑制効果の確認

図-2 に北陸安山岩を用いた簡易促進実験結果を示す。

この結果、E s を用いたものについては、混和材無添加のものより膨張する結果が現われた。しかし、他の各混和材は、添加量が増加すると膨張抑制効果は大きくなっている。また、M を添加したものは、混和量が25%となると収縮傾向を示した。

膨張の抑制効果は、膨張率 E, E s を除いて pH 濃度減少傾向の大きい混和材の順位に膨張抑制効果が認められた。

なお、中空体である S, W, W s を用いると、その比重が小さい為にモルタルの練り混

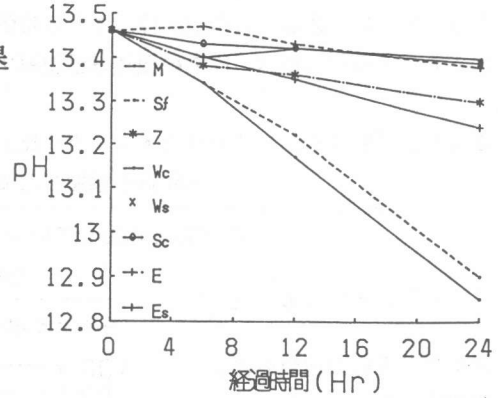


図-1 混和材混入溶液の pH 経時変化

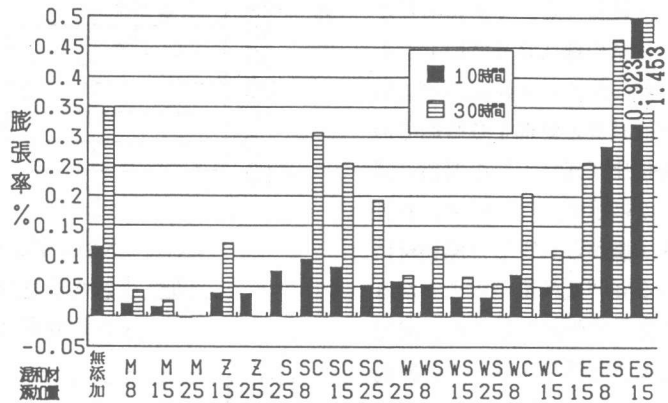


図-2 混和材添加モルタルの促進試験結果

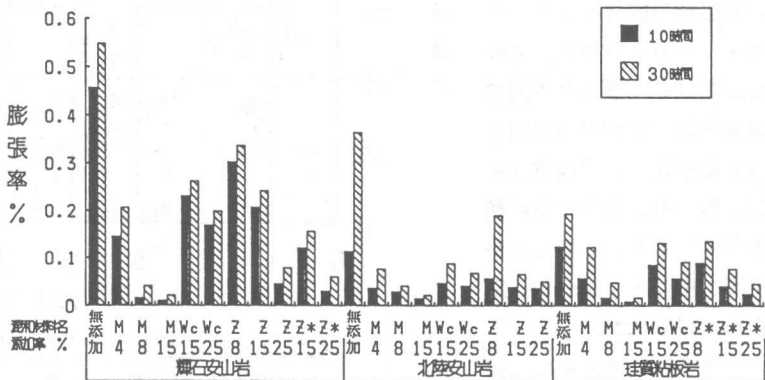


図-3 骨材を変更したモルタルの促進試験結果

ぜ時に問題が生じた。このため、以降の実験ではM, Z, Wcに限定して実験を行なった。

図-3に反応性骨材を変更した場合の簡易促進実験結果を示す。各混和材ともに膨張抑制をしており、混和材の添加量の増加に伴ってその膨張抑制効果が大きくなっていることが判る。しかしながら、その膨張量は、同率の混和材添加率であっても骨材の反応性によって大きく違っている。

ここで、「膨張比」、「シリカ・アルカリ比」を次のように定義する。

$$\text{膨張比} = \frac{\text{混和材を添加したモルタルの膨張率}}{\text{混和材を添加していないモルタルの膨張率}} \times 100 \quad \text{----- (式-1)}$$

$$\text{シリカ・アルカリ比} = \frac{\text{混和材中のSiO}_2}{\text{モルタル単位容積中のアルカリ量}} \quad \text{----- (式-2)}$$

前者は、骨材の種類による膨張率の差を取り除き、後者は混和材を同一視点でとらえる事を目的とした。

前述の「3. 1」におけるpH減少量(24時間)から換算したモルタル配合中のNaOH低減量と促進10時間での膨張比(式-1)の関係を図-4に示す。この結果、pH減少量から算定した混和材によるNaOH低減量が大きくなるに従い膨張が抑制され、混和材のpH減少量は、その膨張抑制効果の一指標となり得るものと考えられる。

図-5にシリカ・アルカリ比と膨張比の関係を示す。シリカ・アルカリ比の増加に伴って膨張比が小さくなる傾向が確認され、混和材の種類によって膨張比の程度は違うものの、良く似た右下がりの傾向となっている。このことから混和材中のSiO₂が、膨張の抑制に効果があり、シリカ・アルカリ比によっても抑制効果がほぼ推定可能と考えられる。

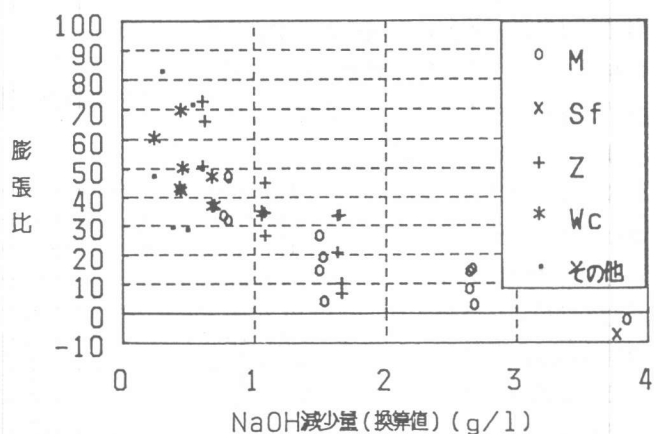


図-4 NaOH減少量と膨張比の関係
(pH測定値からの換算値)

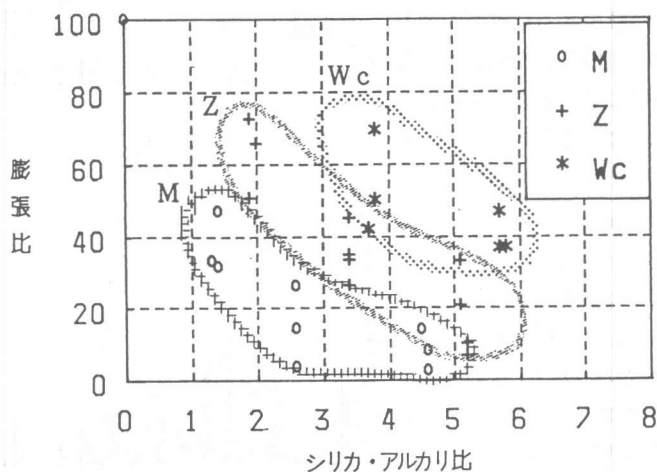


図-5シリカ・アルカリ比と膨張比の関係
(反応骨材3種類を用いた結果)

図-6にモルタルバー法の膨張率測定結果を示す。各混和材ともに簡易促進法と同様に膨張の抑制が確認された。

3. 3 コンクリートによる膨張抑制効果の検討

膨張測定結果を図-7~図-9に示す。

1) 混和材を添加しないコンクリートの膨張

有害粗骨材を用いた混和材無添加のH-A-Hは、材令6週から膨張が顕著に現れ、その後直線的に膨張が継続している。有害細骨材を用いた混和材無添加のO-HAは材令2週の比較的早期から膨張が顕著に現れ、材令13週で膨張の増加傾向は小さくなっている。この様に有害粗骨材を用いたコンクリートの膨張は、有害細骨材を用いた場合よりも発生は遅いが、膨張量は材令13週で後者よりも膨張が大きくなっており、この傾向は骨材の粒径（アルカリとの接触面積等）の違いによる反応速度の差と考えられる。⁵⁾

また、細骨材および粗骨材ともに無害骨材を用いたO-Hの場合では、有害骨材を用いた場合に較べ膨張が小さい事が判る。但し、総アルカリ量が $7\text{Kg}/\text{m}^3$ と高いアルカリ条件であるために、無害骨材であっても材令が進むと若干の膨張がみられている。

2) 混和材を添加したコンクリートの膨張

混和材を添加したコンクリートの膨張性状は、有害粗骨材を用いた場合および有害細骨材を用いた場合ともに初期材令（2週~4週程度）以降膨張は進んでいない。

これらの膨張率は、無害細骨材と無害粗骨材を用いた配合O-Hと同等かそれ以下となっており、コンクリートにおいても上述したモルタルの場合と同様に、今回用いた混和材によってアルカリ骨材反応による膨張の抑制が可能であると考えられる。

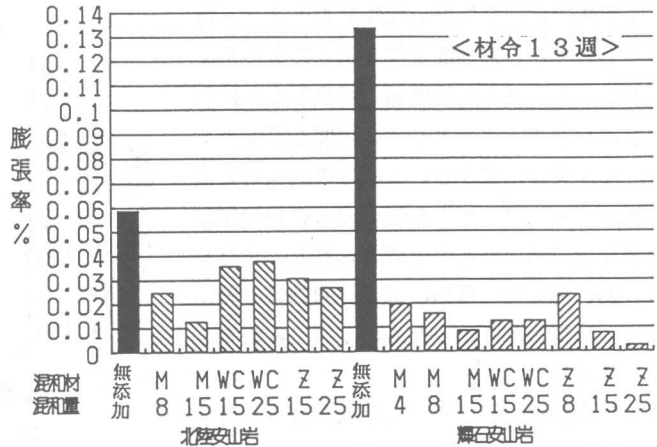


図-6 モルタルバー法に準拠した膨張試験結果

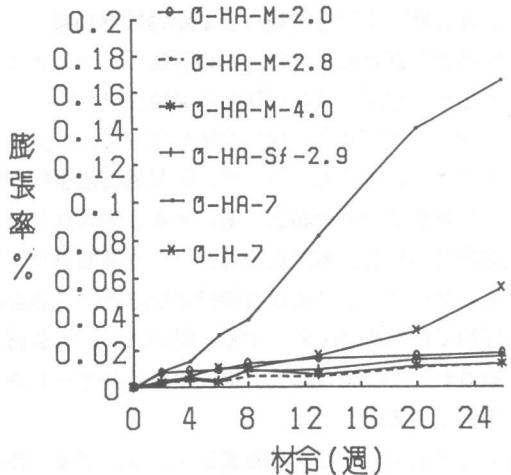


図-7 コンクリートの膨張測定結果

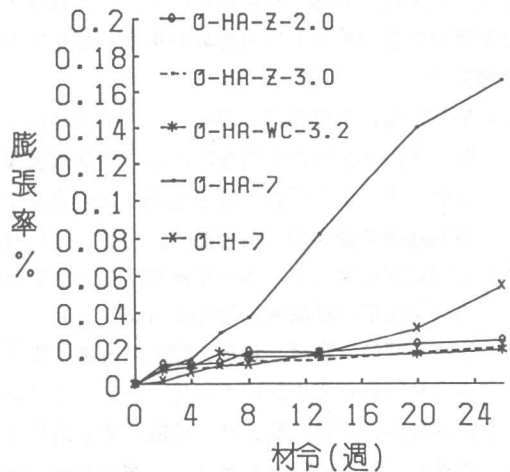


図-8 コンクリートの膨張測定結果

本実験では、混和材の添加量をセメント重量の5%~10%程度となるように定めた。これは、モルタルの膨張が1/2程度に抑制されたシリカ・アルカリ比3程度を目安とした。本実験の結果から、これらの混和材の添加量は、コンクリートの場合でも膨張抑制に充分な量であったものと考えられる。また、この為、混和材の種類による抑制効果の差が明確には現われなかったものと考えられる。

4. まとめ

本検討の結果から、以下の結論が得られた。

- 1) 混和材をNaOH溶液と混合した溶液のpH減少結果から求められたNaOH低減量とモルタルの簡易促進試験による膨張抑制効果に関連性が認められた。この方法で、アルカリ骨材反応による膨張抑制効果を有する混和材の抽出の一指標となる可能性が見いだされた。
- 2) シリカ・アルカリ比の増加に従って、モルタルの膨張の減少する傾向が認められた。このシリカ・アルカリ比を用いて、混和材の膨張抑制能力やその使用量の推定が可能と考えられる。
- 3) コンクリートの場合、モルタルに較べ混和材による抑制効果が大きく現れる傾向にあり、本実験での混和材添加量では、十分な抑制効果が得られた。
- 4) コンクリートに於ける骨材の反応では、細骨材が反応骨材の場合、早期に膨張が生じるが、長期での伸びが小さくなる。粗骨材が反応骨材である場合には、前者に較べて膨張の発生は遅れるが、その後の膨張が継続する傾向がみられる。これは、骨材の粒径の相違による反応速度の差と考えられる。
- 5) 今回用いた混和材の膨張抑制効果に対する評価方法をさらに検証し、アルカリ骨材反応抑制材料の適正な選定・使用の手法の検討をすすめたい。

謝辞：本実験を実施するに当り、芝浦工業大学土木工学科 水口 則和、山田 淳二 両君に多大な協力を頂いたことに感謝の意を表するものです。

参考文献

- 1) 加藤茂美、木村勝利、田中 斉、平間昭信：アルカリ骨材反応抑制材料の効果に関する一考察、土木学会第44回年次講演会講演概要集、1989、P680~681
- 2) 田中 斉、木村勝利、辻子雅則、大倉真人：アルカリ骨材反応抑制材料の効果に関する研究 日本建築学会学術講演梗概集、1989、P159~160
- 3) 安田正雪他9名：アルカリ骨材反応を生じた構造部材の性能評価に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和63年10月
- 4) 小林 茂敏、森濱 和正、高木 俊郎：高アルカリ添加がダブルシリンドーを用いた簡易なASR試験結果に及ぼす影響、セメントコンクリート論文集N0、43、1989
- 5) 西林新蔵、矢村 潔、林 昭富、橋本義信：アルカリ骨材反応の膨張特性に及ぼす反応性細骨材の影響、土木学会第44回年次講演会講演概要集、1989、P678~679

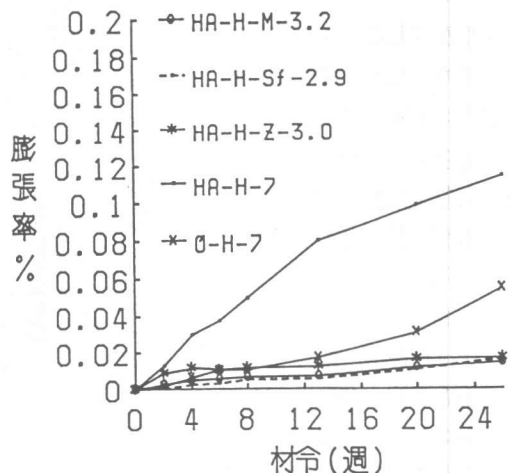


図-9 コンクリートの膨張測定結果