

[44] 反応性骨材の早期判定方法に関する研究

正会員 ○大野 定俊 (竹中技術研究所)
 正会員 嵩 英雄 (竹中技術研究所)
 正会員 吉岡 保彦 (竹中技術研究所)
 森川 武則 (竹中技術研究所)

1. まえがき

近年、我国においてもアルカリ骨材反応による被害が少なくないことが報告されるようになってきた。これらの被害を未然に防ぐためには、骨材のアルカリ反応性を事前に判定し、予防対策を講じる必要がある。アルカリシリカ反応を判定する方法としては、岩石学的鑑定法 (ASTM C295-79), 化学法 (ASTM C289-71), モルタルバー法 (ASTM C227-81) などが一般的方法として知られている。このうち、モルタルバー法は比較的信頼性が高い試験方法とされているが、判定結果を得るのに3ヶ月から6ヶ月もの長期間を要する。このため、実用的な観点からは、簡便で信頼性が高く、かつ早期に判定できる方法が望まれている。早期判定試験法としては、オートクレーブ法⁽¹⁾、デンマーク法⁽²⁾などをはじめとして種々の方法⁽³⁾

が提案されているが、モルタルバー法との対応関係が十分でないなど検討の余地が残されている。本研究では、反応性骨材としてクリストバライトを含む輝石安山岩砕石を用いて化学法、モルタルバー法を実施し、反応性骨材の判定上の問題点を明確にするとともに、モルタルバー供試体を用いた促進試験を実施し、モルタルバー法との相関関係について検討した。

2. 実験概要

2.1 実験計画

実験は化学法およびモルタルバー法によって骨材の反応性を確認するための実験Aと、反応性骨材の早期判定試験方法について検討した実験Bおよび実験Cから成っている。実験Aは表-1に示すように、非反応性骨材と反応性骨材の混合比率、セメントのアルカリ含有量を主要要因として取り上げた。また、実験Bでは、モルタルバー法と同寸法の試験体を用いて、膨張を促進させる種々の試験条件について検討した。膨張を促進させるため、実験Bの促進試験法では供試体を脱型後NaOH溶液に一定時間浸漬し、その後高温高湿条件下で養生する方法を採用した。実験要因は表-2に示すように、NaOH溶液の浸漬時間、浸漬するNaOH溶液の濃度、養生温度とした。さらに、実験Cでは、実験Bの結果に基づいて促進試験条件を一定とした上で、反応性骨材と非反応性骨材の混合比率、セメントのアルカリ含有量などの要因について試験し、モルタルバー法の結果との比較を行った。

2.2 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント (Na₂O 等価アルカリ量 0.53% - 実験A, C, 1.08% - 実験B, C) を用いた。反応

表-1 実験計画表 (実験A)

使用骨材		アルカリ含有量 (Na ₂ O等価百分率)			
非反応性骨材	反応性骨材	反応性骨材混入率	セメントのアルカリ量	アルカリ調整剤	全アルカリ量
大井川産川砂	輝石安山岩砕石	10%	0.53	NaOH	0.53
		20%			1.09
		40%		NaCl	0.53
		100%			0.81
					1.13
					1.73

表-2 実験計画表 (実験B)

No	使用骨材	セメントのアルカリ含有量	促進試験条件		
			浸漬時間 (hr)	NaOH溶液濃度 (N)	養生温度 (°C)
1	輝石安山岩砕石	1.73% Na ₂ O等価量	6	1	80
2			12	1	80
3			24	0	80
4			24	0.5	80
5	大井川産川砂	20%+80%	24	1	40
6			24	1	60
7			24	1	80
8			24	2	80
9			48	1	80

表-3 実験計画表 (実験C)

No	アルカリ量 Na ₂ Oeq%			使用骨材		促進試験条件			
	セメント中	NaOH調整剤	全アルカリ量	反応性骨材	非反応性骨材	反応性骨材混入率 %	浸漬時間	NaOH濃度	養生温度
1	0.53	0	0.53	輝石安山岩砕石	大井川産川砂	20	24時間	1N	80°
2	0.53	0.28	0.81			20			
3	1.08	0	1.08			10			
4						20			
5						40			
6						100			
7	1.08	0.65	1.73	10					
8				20					
9				40					
10				100					

性骨材としてはクリストパライトを含む輝石安山岩砕石のうち、外観上茶色のもののみを使用した。また、非反応性骨材として大井川産川砂を用いた。なお、セメントのアルカリ含有量は所定の値を得るために、NaOH（試薬特級）、NaCl（試薬特級）を練り混ぜ水に溶かすことにより調整した。実験Bでは反応性骨材と非反応性骨材の混合比率を8：2と一定にした。

2.3 試験方法

実験A：骨材のふるい分けにJIS・標準ふるいを使用したほかは、ASTM C-289-7（化学法）、ASTM C 227-81（モルタルバー法）に従った。なお、モルタルバー試験体は $2.5 \times 2.5 \times 28.5$ cm（測定長25.4cm）で、モルタルの配合は、セメント：砂：水=1：2.25：0.43（重量比）とした。

実験BおよびC：供試体の寸法およびモルタルの配合は実験Aと同一とした。促進試験方法の手順は図-1に示すように、供試体を打設後24時間は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、R.H.95%以上で養生し、脱型する。脱型後、初期の長さ測定を行ってから、直ちにNaOH溶液に浸漬した。浸漬した供試体は容器ごと一定時間（6~48h）高温下（ $40 \sim 80^\circ\text{C}$ ）に置き、次に供試体の長さを測定するため、供試体をNaOH溶液から取り出し、 20°C R.H.95%以上の条件下に24時間静置してから長さを測定した（以下1次測定と称す）。その後、供試体を一定温度（ $40 \sim 80^\circ\text{C}$ ）かつR.H.95%以上の条件下に72時間置き、再び 20°C 、R.H.95%以上の条件下に24時間静置してから長さを測定した（以後2次測定と称す）。実験CはNaOH溶液濃度を1N、浸漬時間を24時間、養生温度を 80°C と固定して上記の手順で測定を行った。

3. 結果と考察

3.1 輝石安山岩砕石のアルカリ反応性（実験A）

反応性骨材に輝石安山岩砕石を、非反応性骨材に大井川産川砂を用いて、両者を混合した場合の化学法の結果を表-4に示す。表-4に示されるように、反応性骨材の混入率が大きくなると溶出シリカ量もアルカリ減少量も共に増加するが、いずれの混入率の場合も潜在的に有害の範囲に入った。

一方、モルタルバー法の結果は反応性骨材の混入率とセメント中のアルカリ含有量により膨張量が大きく異っている。モルタルバーの膨張量とアルカリ含有量との関係を図-2に示す。反応性骨材のいずれの混入率においても、アルカリ含有量が大きくなると膨張量が増加する傾向にあるが、アルカリ量（ Na_2O 等価量）が0.5%および0.8%では、いずれの混入率においても6ヶ月の膨張量が0.1%未満となり、有害の判定とならない。また、アルカリ量が1.1%でも、反応性骨材100%のものは、6ヶ月の膨張量が0.1%未満であり、有害と判定されない。モルタルバー法（ASTM C 227-81）では、用いるセメントのアルカリ量を0.6%以上と規定しており、これに従えば本実験で用いた輝石安山岩砕石は、骨材の混合比率やセメントのアルカリ含有量によっては有害となったり、無害となったり、

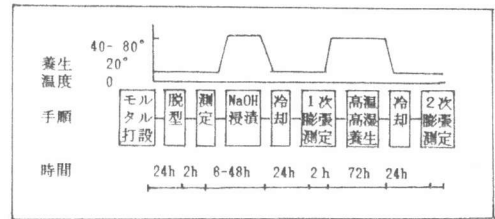


図-1 促進試験法の手順

表-4 化学法の結果

反応性骨材混入比率(%)	溶出シリカ量 Sc (mmol/l)	アルカリ減少量 Rc (mmol/l)	判定
0	136	31	無害
10	170	140	潜在的に有害
20	299	132	潜在的に有害
40	528	168	潜在的に有害
100	665	264	潜在的に有害

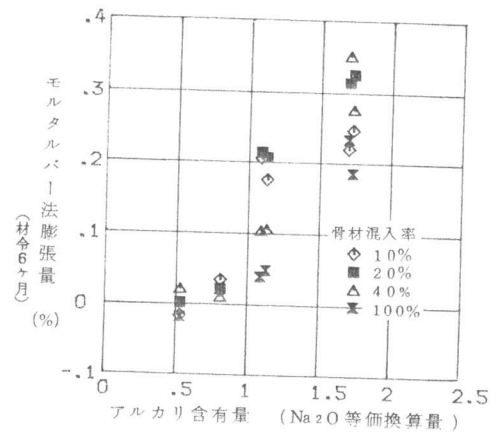


図-2 アルカリ含有量と膨張量の関係

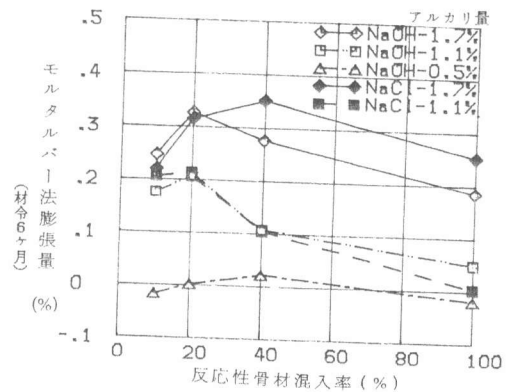


図-3 反応性骨材混入率と膨張量の関係

する場合がある。有害、無害の判定は実構造物の被害と対応して定められるべきであるが、モルタルバー法をわが国の骨材に対して適用する場合には、有害とする膨張量の限界値やセメントのアルカリ含有量に対して検討し直す必要があると考えられる。なお、図-3に反応性骨材の混入率と膨張量の関係を示す。本実験で用いた輝石安山岩砕石は、図-3に示されるように混入率が約20%で最大の膨張量を示している。

3-2 促進試験法における試験条件の検討(実験B)

図-4に浸漬NaOH溶液の濃度を1N、浸漬時間を24時間として、養生温度をのみを40°,60°,80°Cと変化させた場合のモルタルバーの膨張量を示す。図-4から明らかなように、養生温度が膨張量にあたる影響は非常に大きく、温度が高いほど膨張量が大きくなっている。促進要因として温度の影響が大きいことは、Tang Ming-Shu らのオートクレーブ法⁽¹⁾においても指摘されているが過度に高い温度は取扱いの上からも問題があり、ここでは80°Cを上限値とした。なお、80°Cの養生温度下で、材令一週後の供試体の膨張量は約0.4%となっており、促進条件としては十分な温度と考えられる。

また、図-5に1NのNaOH溶液に浸漬させる時間を6,12,24,48時間と変化させた時の結果を示した。図-5の結果は浸漬中の温度条件が80°Cであるので、浸漬中の温度履歴と浸漬時間の両者の影響が含まれている。その結果、一次測定の前膨張量は、浸漬時間が長いほど大きくなっている。一方、2次測定の結果は、いずれの浸漬時間でも同程度の膨張量を示しており、浸漬後に行った80°C,R.H.95%以上の養生が膨張を促進させていることが明らかである。しかし、供試体をNaOH溶液に80°Cで24時間以上浸漬すれば、1次測定時(材令3日程度)でかなりの膨張量が認められ、より短期に判定を求められる場合には有効であろう。

供試体を浸漬するNaOH溶液の濃度を0~2Nまで変化させた時の濃度と供試体の膨張量の関係を図-6に示す。NaOH溶液の

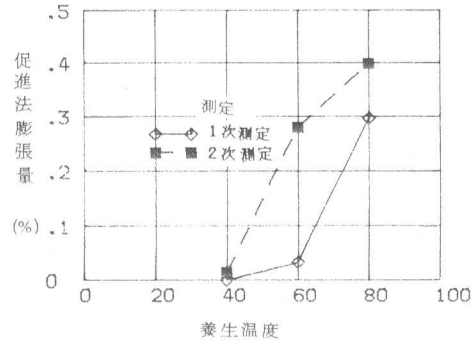


図-4 養生温度の効果(促進法)

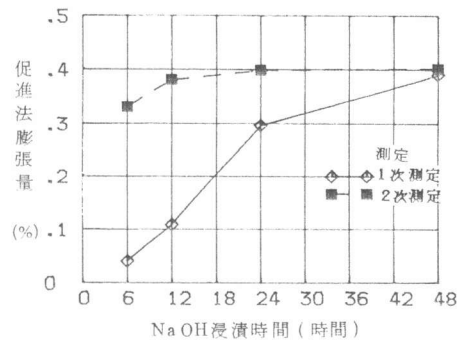


図-5 NaOH溶液浸漬時間の効果(促進法)

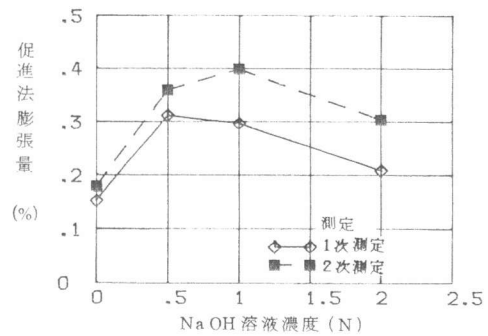


図-6 浸漬NaOH溶液濃度の効果(促進法)

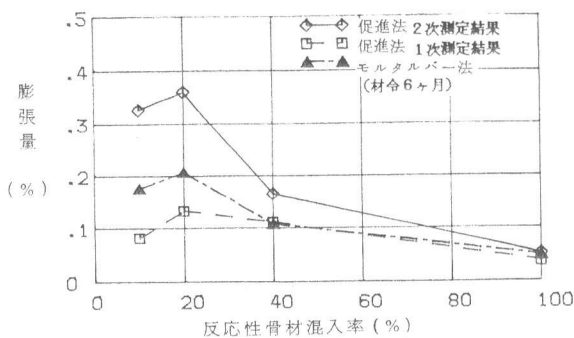


図-7 反応性骨材混入率の影響(アルカリ量 1.1%)

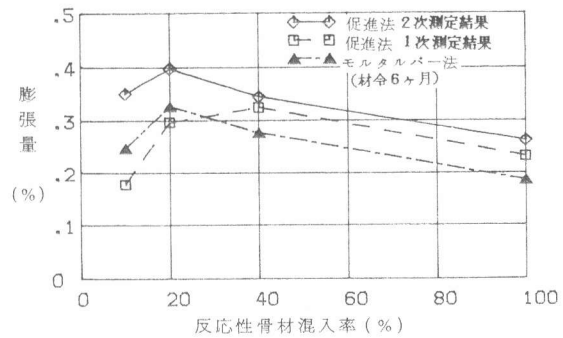


図-8 反応性骨材混入率の影響(アルカリ量 1.7%)

濃度は 0.5 ~ 1 N の時が供試体の膨張量が大きくなっており、2 N あるいは水だけの場合は膨張量が小さくなっている。浸漬する NaOH の濃度は、浸漬時間とも関係すると思われるが、浸漬時間を 24 時間とした場合には 0.5 ~ 1 N の濃度が適当であると考えられる。

3-3 モルタルバー法と促進試験法の結果の比較 (実験 C)

実験 B で促進試験条件としては、浸漬する NaOH 溶液濃度が 1 N 程度、浸漬時間は 24 時間、養生温度は 80°C が適当であると判断された。促進試験条件を上記の値に固定し、反応性骨材の混入率およびセメントのアルカリ量を変化させて試験した結果、反応性骨材の混入率と供試体の膨張率について図-7, 図-8 に示す結果が得られた。なお、比較のため同条件で行ったモルタルバー法の結果も同時に示した。図-7, 8 から明らかかなように、促進試験法の 2 次測定結果はモルタルバー法の 6 ヶ月の膨張量よりやや大きい値を示すが、反応性骨材の混入率におけるベジマム条件は同じ結果が得られた。図-9 および図-10 に促進試験法の結果とモルタルバー法の結果の比較を示した。図中に示されるように、モルタルバー法の結果と比較を示した。図中に示されるように、モルタルバー法の結果と促進法の 1 次測定結果の相関係数は 0.84、促進法 2 次測定結果との相関係数は 0.93 と良い相関を示した。この促進試験法の結果は限られた反応性骨材に基づくもので、膨張量の限界値の設定や種々の骨材に対する適用性に対しては今後データを蓄積してゆく必要がある。本促進試験方法は試験時間の短縮を目的とするため、オートクレーブ法やテンマーク法と同様に苛酷な促進条件を設定しており、実際のコンクリートが置かれる環境条件とは異なったものとなっているが、被害の実情調査とあわせて判定基準や適用範囲を設定することにより、反応性骨材判定の有効な一方法となるものと考えられる。

まとめ

本研究では、わが国で被害が問題となっている輝石安山岩砕石骨材のアルカリ反応性を判定する試験方法の問題点および短期に骨材のアルカリ反応性を判定できる促進法について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 本実験で用いた輝石安山岩砕石は化学法の結果、潜在的に有害と判定された。一方、モルタルバー法の結果は骨材の混入率やセメントのアルカリ含有量により結果が異なり、セメント中のアルカリ量 (Na₂O 等価換算百分率) が 1.1 % 以下では有害の判定とならない場合があった。
- (2) モルタルバー供試体を初期に一定の時間 NaOH 溶液に浸漬し、その後、高温高湿下で養生する促進試験法について検討した結果、浸漬する NaOH 溶液の濃度は 1 N 程度、浸漬時間は 24 時間、養生温度は 80°C が適当であると判断された。この方法により、反応性骨材を用いた場合には材令 7 日程度でモルタルバー法 (ASTM-C 221-81) と同程度の膨張が得られ、短期間で判定が可能となった。
- (3) 輝石安山岩砕石の混入率、セメント中のアルカリ量を要因とした試験結果について、モルタルバー法と促進試験法とを比較したところ、両試験の結果には良い相関が認められた。

参考文献

- (1) Tang Ming-Shu, et. al.; A Rapid Method for Identification of Alkali Reactivity of Aggregate, C.C.R., Vol.13, No.3, 1983
- (2) Jensen, A.D., et. al.; Studies of Alkali-Silica Reaction Part 1, A Comparison of Two accelerated Test Methods, C.C.R., Vol.12, No.5, 1982
- (3) 例えば、田村ほか、「アルカリ骨材反応性の早期判定に関する一実験」, 第 3 回セメント技術大会講演要旨, 1984
R.E.Oberholster; Alkali Reactivity of Siliceous Rock Aggregates: Diagnosis of the Reaction, Testing of Cement and Aggregate and Prescription of Preventive Measures, 6th. Int. Conf. Alkali in Concrete, jun. 1983

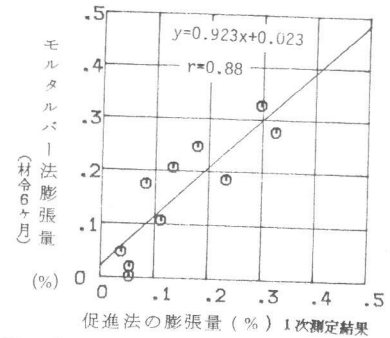


図-9 モルタルバー法と促進法の関係

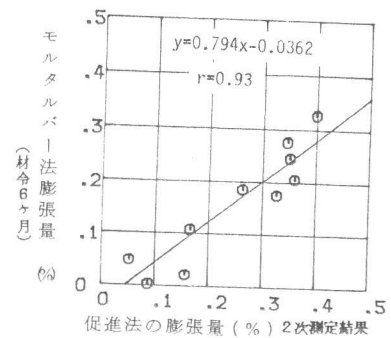


図-10 モルタルバー法と促進法の関係