

[40] 化学法とモルタルバー法に関する一考察

正会員 岡田 清 (京都大学工学部)
 正会員 ○水元 義久 (阪神高速道路公団工務部)
 正会員 小野 紘一 (鴻池組本社土木技術部)

1. まえがき

アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の被害を防止するため、我国では、これから使用しようとする骨材が有害かどうかを、

- ① 顕微鏡による観察や粉末X線回折による岩石学的な試験
 - ② 化学法 (ASTM C 289) による反応性の試験
 - ③ モルタルバー法 (ASTM C 227) による膨張性の試験
- 等によって、検討されだした。

しかしながら、これらの試験結果による合否は、必ずしも実害の有無の裏付けが取れているわけでもなく、試験方法そのものにも問題点を内蔵している。例えば、化学法で有害でもモルタルバー法では膨張しなかったり、モルタルバー法そのものが手間と時間がかかる上に、試験方法 (例えば、等価アルカリ量や反応性骨材含有率) によって膨張量に差が生じる。とはいえ、現状では他に有効な方法もなく、骨材の反応性の合否はこれらの試験方法に依存しているのが実情である。

このような背景から、実際に使用されている骨材に対して実施した化学法とモルタルバー法の試験結果の相関を検討するとともに、これらの結果と実構造物のひびわれ状況との対比をも試みた。

2. 化学法とモルタルバー法の相関

表-1には、砕石骨材の化学法およびモルタルバー法の試験結果を示した。また、図-1は表-1を図化したものである。これらの図表より判明した点をまとめるとつぎのとおりである。

- 化学法で無害となる骨材は必ずモルタルバー法でも無害となった。
- 化学法で有害となっても、かなりの骨材はモルタルバー法で無害となった。
- 化学法、モルタルバー法とも有害となる骨材は、今回の場合、輝石安山岩だけであった。
- モルタルバーの膨張量は、

表-1 アルカリ骨材反応試験結果 (砕石)

試料番号	岩 種	化 学 法				モルタルバー法による膨張ひずみ (%)						備 考	
		Sc (mmol/L)	Re (mmol/L)	Sc/Re	判定	等価Na ₂ O=1.2%		等価Na ₂ O=2.0%		判定	3ヶ月		6ヶ月
						3ヶ月	6ヶ月	3ヶ月	6ヶ月				
1	輝石安山岩	552	177	3.12	潜在	0.076※	0.150※	×	0.230※	0.420※	※等価Na ₂ O=(15.23)※ 文献(1)		
2	古銅輝石安山岩	807	119	6.78	有	0.285	0.295	×	0.645	0.700	文献(2)		
3	石英安山岩	48	42	1.14	壊裂	0.025	0.038	○	0.039	0.094			
4	両輝石安山岩	255	62	4.11	有	0.192	0.274	×	0.454	0.545	Na ₂ O=0.6%で0.01(3ヶ月) 0.08(6ヶ月)		
5	硬質砂岩	118	88	1.34	潜在	0.039	0.051	○	0.094	0.174			
6	流紋岩	67	70	0.96	有	0.031	0.037	○	0.048	0.069			
7	流紋岩	77	68	1.13	有	0.021	0.024	○	0.025	0.035			
8	流紋岩、砂岩	87	41	2.12	有	0.026	0.048	○	0.085	0.140	1:1配合		
9	流紋岩	48	43	1.12	壊裂	0.026	0.036	○	0.033	0.064			
10	流紋岩、深相面岩、 熔結凝灰岩、配合	55	30	1.83	有	0.028	0.042	○	0.055	0.103			
11	流紋岩	52	29	1.79	有	0.037	0.067	○	0.085	0.181			
12	流紋岩	54	58	0.93	壊裂	0.025	0.037	○	0.036	0.099			
13	流紋岩	52	60	0.87	無	0.019	0.025	○	0.034	0.051			
14	石英斑岩	38	43	0.88	無	0.05以下	0.10以下	○	0.05以下	0.10以下	文献(1)		
15	石英安山岩	33	47	0.70	無	0.05以下	0.10以下	○	0.05以下	0.10以下	〃		
16	硬質砂岩	30	57	0.53	無	0.05以下	0.10以下	○	0.05以下	0.10以下	〃		
17	流紋岩	40	61	0.66	無	0.022	0.030	○	0.042	0.099			
18	流紋岩	54	71	0.76	無	0.015	0.020	○	0.028	0.034			
19	ガラス質凝灰岩、 熔結凝灰岩	59	79	0.75	無	0.024	0.028	○	0.044	0.055			
20	硬質砂岩	22	105	0.21	無	0.016	0.021	○	0.022	0.047			
21	玄武岩	85	128	0.66	無	0.010※	0.023※	○	0.042※	0.076※	※等価Na ₂ O=(15.23)※ 文献(1)		
22	古銅輝石安山岩	645	202	3.19	潜在				0.270	0.280			
23	古銅輝石安山岩	576	126	4.57	潜在	0.103	0.114	×	0.419	0.476	黒色100%		
24	古銅輝石安山岩 (60%)	360	130	2.77	潜在	0.129	0.152	×	0.393	0.461	黒色60%、非反応性骨材 40% 配合		
参考	古銅輝石安山岩 (60%)	620	163	3.80	潜在	0.096		(∞)	0.356		等価Na ₂ O=1.5% 0.208(3ヶ月)		

(∞)は3ヶ月膨張量0.05%で判定

等価 Na_2O 量でかなり異なり、等価 Na_2O 量が2.0%の膨張量は1.2%の2.5倍程度になった。

●モルタルバー法で有害となる骨材は、溶解シリカ量 S_c が比較的大きく、 S_c が 100 mmol/l 以下の骨材はモルタルバー法でも無害の判定となった。

● S_c が大きく、 R_c が小さいと反応性の度合いが高いことから、図-2には、砕石骨材の S_c/R_c とモルタルバー法の6ヶ月膨張量の関係を示したが今回の場合、

等価 Na_2O 量 = 1.2% のときは、 $S_c/R_c < 2$

等価 Na_2O 量 = 2.0% のときは、 $S_c/R_c < 1$

であれば、モルタルバーの6ヶ月膨張量は0.1%以内に留まるようである。

●図-3には、等価 Na_2O 量が1.2%の時のモルタルバーの3ヶ月および6ヶ月の膨張量の関係を示したが、3ヶ月の膨張量が0.05%以下であれば6ヶ月の膨張量は0.1%以下におさまるようである。

●モルタルバー法の等価 Na_2O 量をどの程度にすべきかは、異論のあるところであるが、図-4に示すように、我国のセメントから供給される等価 Na_2O 量は、年度によっては、変動しているが、最大値は1.1%程度になっており、また、海砂を使用するとして、砂中の塩分は0.1%の規制値が守られて

いるとすれば、付加される等価 Na_2O 量は0.1%になることを考え合わせると、コンクリート中の等価 Na_2O 量は高々1.2%程度と見積られる。このような背景から、モルタルバー法で等価 Na_2O 量として、1.2%を採用することはかなり妥当性があと思われる。したがって、時間的な余裕等の問題から、やむなく化学法だけで骨材の反応性の合否を決めなければならない場合は、 S_c が 100 mmol/l 以下でしかも、 S_c/R_c が2以下であれば、モルタルバーの6ヶ月膨張量が0.1%以下になる可能性が高い点が参考となる。

ただし、表-2や図-5に示したように、山砂や山砂利

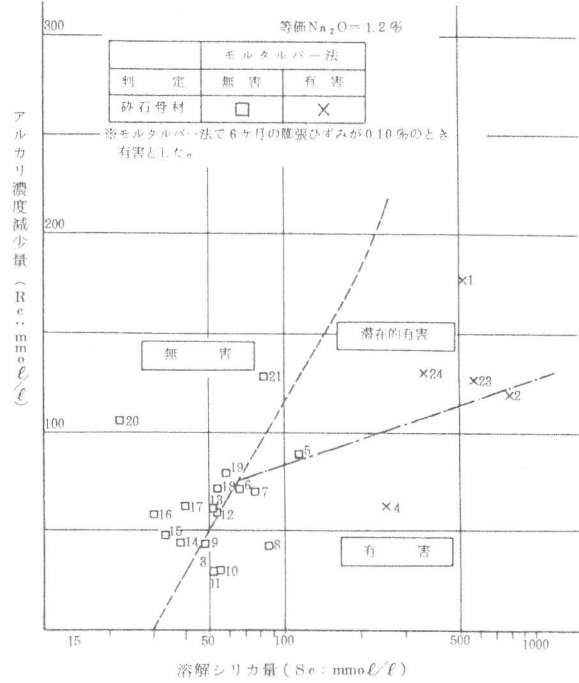


図-1 化学法とモルタルバー法の相関

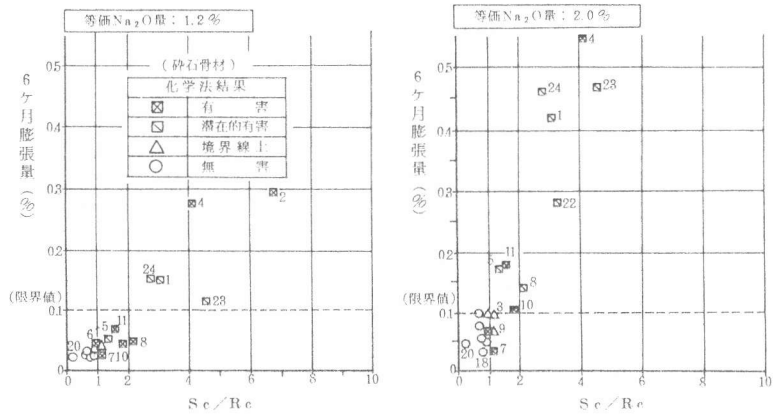


図-2 S_c/R_c とモルタルバー6ヶ月膨張量の関係

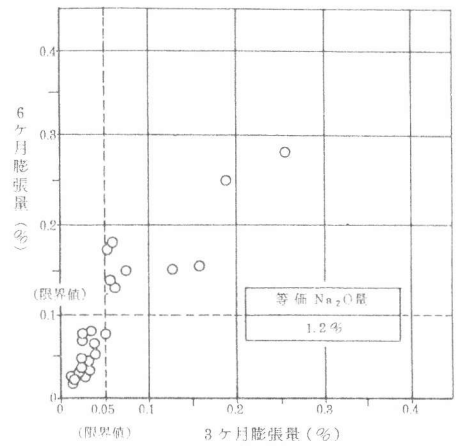


図-3 モルタルバー法6ヶ月、3ヶ月膨張量の関係

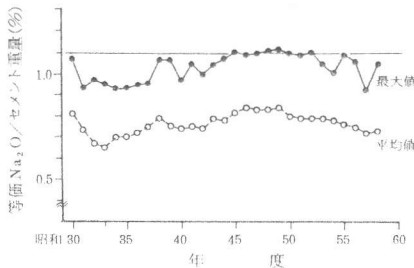


図-4 普通ポルトランドセメントの等価アルカリ量の推移

では、Scの値が100mmol/l

より小さく、Sc/Rcが2以下であっても、等価Na₂O量=1.2%によるモルタルバーの6ヶ月膨張量が0.1%を超えて有害判定となるものが多く、砕石骨材とは異なった傾向となった。

しかしながら、このような山砂や山砂利を使用した

実構造物の被害は、現在のところ未確認であり、今後検討すべき課題であると思われる。

3. 実構造物の状況

写真1～3は、実構造物の被害状況である。これらの実構造物から、コアを採取して、①古銅輝石安山岩の含有率、②化学法、③モルタルバー法④コア中の等価Na₂O量、⑤促進膨張試験等の試験結果を表-3に示した。図-6は、これらのコアから取り出した骨材の化学法とモルタルバー法の関係を示したものである。なお、ひびわれが生じている実構造物から採取したコアには、反応リングやゲルの浸出があり、アルカリ骨材反応を起していることを確認している。

これらの結果によると、調査した実構造物のうち、古銅輝石安山岩を含むものにはすべてひびわれが発生していた。これらの構造物は施工後10年近く経ているが、未だ1000μ以上の残存膨張量を示すものも存在している。

試料番号1,2の実構造物を構成する骨材をその比率で試験した化学法もモルタルバー法もどちらも有害領域となり、実構造物にひびわれが発生していることと関係がつかうが、試料

番号3の構造物は化学法でScが100mmol/l程度と小さく、Sc/Rcも2以下となっており、かつモルタルバー法も無害となっているが、実構造物には、ひびわれが発生している。これは、コンクリート中の等価Na₂O量が1.53%とかなり多く、また、古銅輝



写真-2

表-2 アルカリ骨材反応試験結果(山砂・山砂利)

試料番号	種別	岩種	化学法				モルタルバー法による膨張ひずみ(%)						備考
			Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)	Sc/Rc	判定	等価Na ₂ O=1.2%		等価Na ₂ O=2.0%		判定	備考	
							3ヶ月	6ヶ月	3ヶ月	6ヶ月			
1	山砂		8.1	3.1	2.58	有害	0.060	0.183	×	0.134	0.233	構造物の被害は未確認	
2	山砂		6.1	3.2	1.91	有害	0.031	0.070	○	0.104	0.226	△	
3	山砂		6.3	2.7	1.96	有害	0.034	0.080	○	0.116	0.225	△	
4	山砂利	チャート	7.5	2.2	3.41	有害	0.110		(×)	0.288		△	
5	山砂		5.7	4.8	1.19	有害	0.056	0.140	×	0.196	0.345	△	
6	山砂		4.2	9.8	0.45	無害	0.031		(○)	0.099		△	
7	山砂利	チャート	5.5	4.3	1.28	有害	0.053		(×)	0.235		△	
8	山砂利	石英	8.1	4.8	1.69	有害	0.052	0.077	○	0.167	0.222	△	
9	山砂		5.1	4.8	1.06	有害	0.053	0.175	×	0.215	0.381	△	
10	山砂		5.3	8.8	0.60	無害	0.014	0.023	○	0.049	0.068	△	

()は3ヶ月の膨張率0.05%で判定

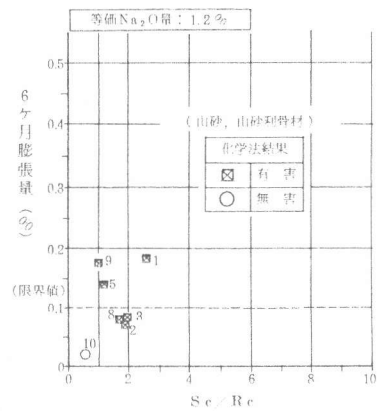


図-5 Sc/Rcとモルタルバー6ヶ月膨張量の関係

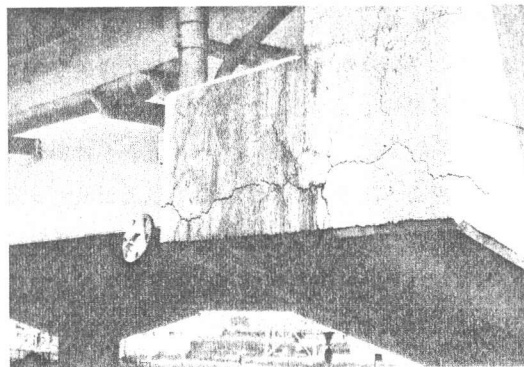


写真-1

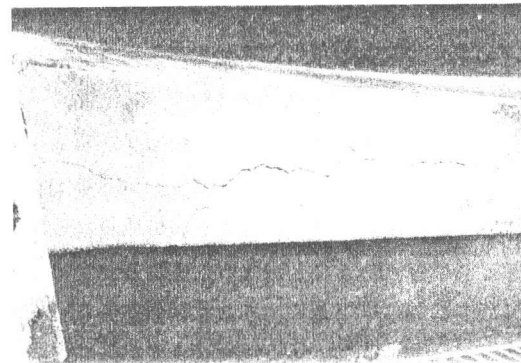


写真-3

石安山岩の含有率17.2%は、モルタルバーに対しては小さいが、コンクリートに対しては比較的ペシマム量に近いことが原因しているのではなからうかと推定される。

試料番号7の骨材には、古銅輝石安山岩は含まれていないが、化学法で、 Sc が100 mmol/l以上、 Sc/Rc が2.8と比較的大きい。それにもかかわらず、この構造物はひびわれが発生していない。この原因については明確に把握していないが、モルタルバー法やアルカリ量の分析を実施すれば、ある程度原因が明確になるかも知れない。

試料番号8,9には、古銅輝石安山岩はほとんどないか、全くないが、実構造物にアルカリ骨材反応によると思われるひびわれが発生している。これは、輝石安山岩以外の骨材によって、アルカリ骨材反応を生ぜしめている数少ない例であると思われる。

一般的結論を出すには、今回の実例ではデータ不足であるが、被害の生じている構造物のコンクリートを構成している骨材の Sc/Rc はかなり大きく、それらの骨材構成比で実施したモルタルバーもかなり膨張し、不合格の判定となっていることから、 Sc/Rc やモルタルバー法は、これから使用しようとする骨材の反応性をチェックする方法としてかなり有力であると思われる。しかしながら、今回のデータで見られるように構造物に同様のひびわれが入っているにもかかわらず、モルタルバー法による6ヶ月膨張量にはかなりの差が見られた。モルタルバー法の膨張量がどの程度におさまっておれば、実構造物にひびわれ等の損傷が生じないかについては、今後、さらにデータを集積し検討していく必要があると考えられる。

謝 辞

本研究に当たり建設省近畿地方建設局より貴重なデータを提出していただいた。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 二村, 福島; コンクリート用碎石のアルカリシリカ反応による膨張, 第6回コンクリート工学年次講演会, 1984.
- (2) 中野, 小林, 長岡, 有本; 反応性骨材とアルカリ化合物がアルカリシリカ反応におよぼす影響, 大阪セメント技報, No. 51, 1984. 10.
- (3) セメント協会; アルカリ骨材反応についての見解, 昭和58年10月25日
- (4) 材 料 学 会; 反応性骨材特別委員会資料

表-3 実構造物コアのアルカリ骨材反応試験結果

試料番号	ひびわれの有無	古銅輝石安山岩含有率(%)	化 学 法				モルタルバー法による膨張ひずみ(%)			重量に対するアルカリ含有率(%)	位置膨張試験(μ)			備 考
			Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)	Sc/Rc	判定	等価 $N_{H_2O}=1.2$ %		判定		開放	残存	全膨張率	
							3ヶ月	6ヶ月						
1	有	62.1	75.3	82	9.18	有害	0.159	0.157	×	1.40	100	1380	1351	
2	有	38.6	57.6	64	9.00	有害	0.257	0.288	×	1.78	126	590	649	
3	有	17.2	99	57	1.74	有害	0.030	0.034	○	1.53	243	545	514	
4	有	56.1	51.8	84	6.17	有害					253	725	978	
5	有	51.6	52.8	68	7.76	有害					-24	1438	1409	
6	有	19.1	38.1	62	6.15	有害					124	597	721	
7	無	0	162	57	2.84	有害					6	363	369	流紋岩質凝灰岩(100%)
8	有	0	302	56	5.39	有害					221	997	1047	砂岩, 輝石, チョート, 緑色片岩等の天然産骨材(100%)
9	有	0.4	175	53	3.30	有害								流紋岩質凝灰岩, 流紋岩(99.4%)

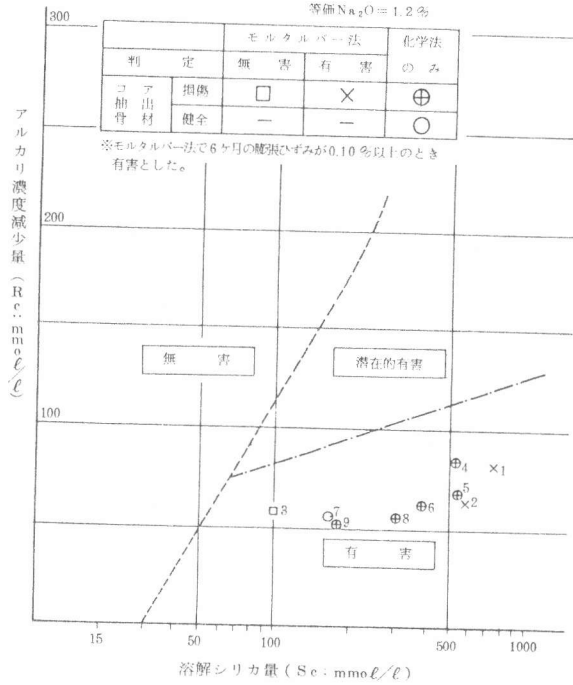


図-6 化学法とモルタルバー法の相関