

[41] 反応性骨材を用いたコンクリート供試体とモルタルバーの膨張特性

正会員 岡田 清 (京都大学工学部)

今井 宏典 (阪神高速道路管理技術センター)

正会員 ○小野 紘一 (鴻池組本社土木技術部)

南川洋士雄 (鴻池組技術研究所)

1. まえがき

ごく近年、コンクリート構造物のひびわれや変状の一部がアルカリ骨材反応によるものと確認されて以来、発注者のみならず施工者もこれから建設するコンクリート構造物には将来このような反応が起こらないよう努力している。アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の被害の程度は、コンクリート中に含まれるアルカリ量、反応性骨材の含有量、反応性骨材の活性度、構造物部材の性状、環境条件、暴露時間等によって異なるようであるが、今のところ反応性骨材の使用を避ける方向で反応の予防を実施し始めている。現状では、骨材が反応性であるかどうかについて

- ① 顕微鏡観察や粉末X線回折を行ない、反応性の鉱物を含んでいないか、また実構造物に被害を与えている反応性骨材と類似していないかを調査する。
- ② アルカリとの強制反応試験で、反応性の度合を調べる(化学法)。
- ③ 骨材を粉砕して作製したモルタルバーの膨張量を測定する(モルタルバー法)。

等の方法によって判定されている。①の方法は、岩石学的に比較的熟練した技術者が必要であり、仮りに疑いが生じても「反応性らしい」という程度の判定に止まるようである。②の方法は、有害と判定された骨材がモルタルバー法をやっても異常な膨張をしないケースも多く判定はむしろ厳しすぎるように思われる。③の方法は期間が6ヶ月と長くかかること、アルカリ量によってモルタルバーの膨張量が異なる、等の問題点を内蔵している。また、モルタルバーは、骨材を粉砕して使用しているため、反応がし易くなっているかも知れず、コンクリートではそれほど膨張しないかも知れない。さらに、反応性骨材の含有率によってコンクリートの膨張量が異なると推定されるが、コンクリートにおけるいわゆるベシマムはモルタルバーにおけるベシマムと異なるのではないか。また、粗骨材が反応性でなくても砂が反応性の場合に、コンクリートに膨張の影響を与えないか、等の疑問点がある。このような背景のもとに、本研究は、実構造物に被害を与えている骨材と岩種が類似した反応性骨材を用いつぎのような2つの実験を実施した。

実験 A 反応性粗骨材を用いたコンクリートの膨張特性

実験 B 反応性砂を用いたコンクリートの膨張特性

なお、実験Aでは、比較のため反応性骨材含有率やアルカリ量を同一にしたモルタルバー試験を実施した。

2. 使用反応性骨材の特徴

使用した反応性骨材を色調により区別すると、黒色(岩種A)、灰色(岩種B)および茶色(岩種C)の3種類に判別できその構成比は、岩種A=11.6%、岩種B=37.6%、岩種C=50.8%であった。偏光顕微鏡で観察した結果、岩種Aは斜方輝石が細柱状の微斑晶に散在し、これ以外の部分は斜長石とガラス質の石基からなっている。岩種Bおよび岩種Cは、微斑晶の斜方輝石と斜長石および火山ガラスが脱ガラス化した二次鉱物から成り立っている。色調には変化はあるが、すべて同一の安山岩であり、岩種BおよびCは岩種Aのガラス質が粘土鉱物等の二次鉱物に変質したものと推定される。写真-1は、岩種Aの偏光顕微鏡写真、図-1は、粉末X線回折結果であり、 $2\theta = 21.9^\circ$ 付近にクリストパライトのピークが表われているのが特徴である。X線回折により同定

した鉱物は、岩種 A, B, Cとも長石, α -クリストバライトを多く含み, 石英が少ない組成となっている。図-2は、本骨材の化学法の結果を岩種別およびこれらをブレンドした骨材について示したものであり, いずれの場合も ASTM C289の判定区分によれば潜在的に有害の領域に属している。

(a) 平行ニコル (b) 十字ニコル

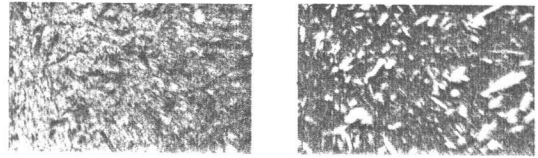


写真-1 偏光顕微鏡写真 (岩種 A; ×30倍)

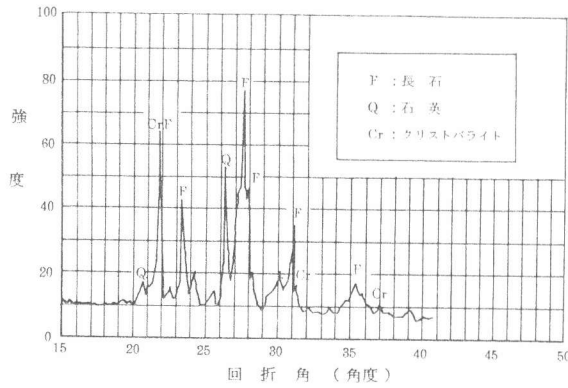


図-1 粉末X線回折結果 (岩種 A)

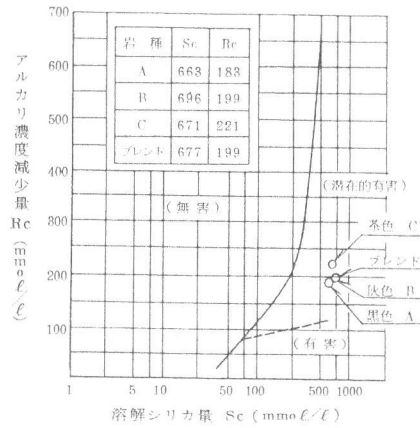


図-2 骨材の有害度の判定区分

3. 実験 A 反応性粗骨材を用いたコンクリートの膨張特性

3.1 実験方法

コンクリートの膨張を測定する供試体は $10 \times 10 \times 40$ cm の角柱とした。配合は、表-1に示す配合に固定し、粗骨材(G)中の反応性骨材(G_R)が占める割合(骨材混入率) G_R/G を0~100% およびコンクリート中のセメント量に対するアルカリ量を等価 Na_2O 量(%)で表わし、これを0.54~2.0%に変化させて同一条件に対しコンクリート供試体をそれぞれ3体ずつ作製した。表-2にこれらのパラメータの組合せを示した。なお、使用セメントの特性は表-3に示す。セメントのみのアルカリ量は0.54%であるので、これ以上のアルカリ量は打設時にNaClを添加して所定のアルカリ量となるよう調整した。また、非反応性骨材は砂岩を用い、砂はアルカリ量に影響を与えないよう川砂を用いた。これらの骨材の性質は表-4に示した。なお、それぞれの G_R/G に対する化学法による溶解シリカ量 Sc 、アルカリ濃度減少量 Rc の値をも併記した。

供試体は、20°Cの室内で打設後24時間で脱型しゲージ長30cmの測定プラグを取り付けコンタクトゲージ(ミクロンストレーンゲージ:最小目盛1/1000mm)で初期値を測定した後、温度38°C、湿度100%の部屋で促進養生した。なお、測定に際しては、24時間前に供試体を温度20°C、湿度80%の部屋に移し温度の影響を避けた。

モルタルバーは、ASTM C227に従って、セメント:骨材=1:2.25、水セメント比はフロー値が105~120になるように調整した。試験ケース、脱型時期、養生方法はコンクリート供試体の場合と同様であり、測

表-1 コンクリートの配合

セメント種別	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	水和材
普通ポルトランドセメント	55	41	345	191	745	1070	0.1

表-2 試験ケース(実験 A)

等価 G_R/G (%) / Na_2O (%)	0.54	0.9	1.2	1.5	2.0
10.0	○	○	○	○	○
8.0	-	-	○	○	○
6.0	-	-	○	○	○
4.0	-	-	○	○	○
2.0	-	-	○	○	○
0	-	-	-	-	○

定方法は 1/1000 mm のダイヤルゲージ法で行なった。

3.2 実験結果

図-3 はコンクリート供試体とモルタルバーの膨張量の材令による変動を等価 Na_2O 別に表示したものである。なお、 $G_R/G = 100\%$ で等価 Na_2O が 0.54 % および 0.9 % の場合の膨張はほとんど生じなかった。これより、コンクリート供試体とモルタルバーでは膨張特性にかなりの相異があり、モルタルバーの膨張は G_R/G によって異なるが、等価 $\text{Na}_2\text{O} = 1.2\%$ で 400 ~ 1100 μ 、1.5 % で 1200 ~ 2000 μ 、2.0 % で 2800 ~ 3500 μ 膨張し材令 1 ヶ月程度では収束しひびわれも発生した。一方、コンクリート供試体の膨張量は G_R/G やアルカリ量によって影響を受けるが、モルタルバーに比べ膨張が遅れて出てくるようであり、この傾向はアルカリ量が少ない程顕著であると推定される。また、コンクリート供試体は材令 2 ヶ月程度からひびわれが発生したが、膨張は材令 6 ヶ月程度では収束せずさらに膨張する傾向のものもある。

図-4 は、コンクリート供試体およびモルタルバーの膨張量と G_R/G の関係を示したものである。これらの結果によると、等価 Na_2O が 2.0 % 以下であるとモルタルバーのベシマムは 60 % 程度以下でアルカリ量が減少するにつれて減少し、1.2 % では 40 % くらいである。また、コンクリートにもベシマムが存在し、2.0 % でのベシマ

表-3 使用セメントの分析結果

ig:loss (%)	insol (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	等価 Na_2O (%)
0.7	0.1	22.1	5.5	3.0	64.9	1.3	2.0	0.34	0.30	0.54

表-4 使用骨材の性質

記号	岩石名	G_R/G (%)	化学法による結果 (mmol/L)		化学法による判定	比重
			Se	He		
GN	砂岩	0	2.2	5.0	無害	2.69
GR	古銅輝石 安山岩	100	6.77	1.99	潜在的有害	2.54
		80	6.64	1.87	"	-
		60	6.20	1.63	"	-
		40	4.80	1.33	"	-
		20	2.94	0.86	有害	-
SN	(川砂)	-	3.3	4.9	無害	2.56

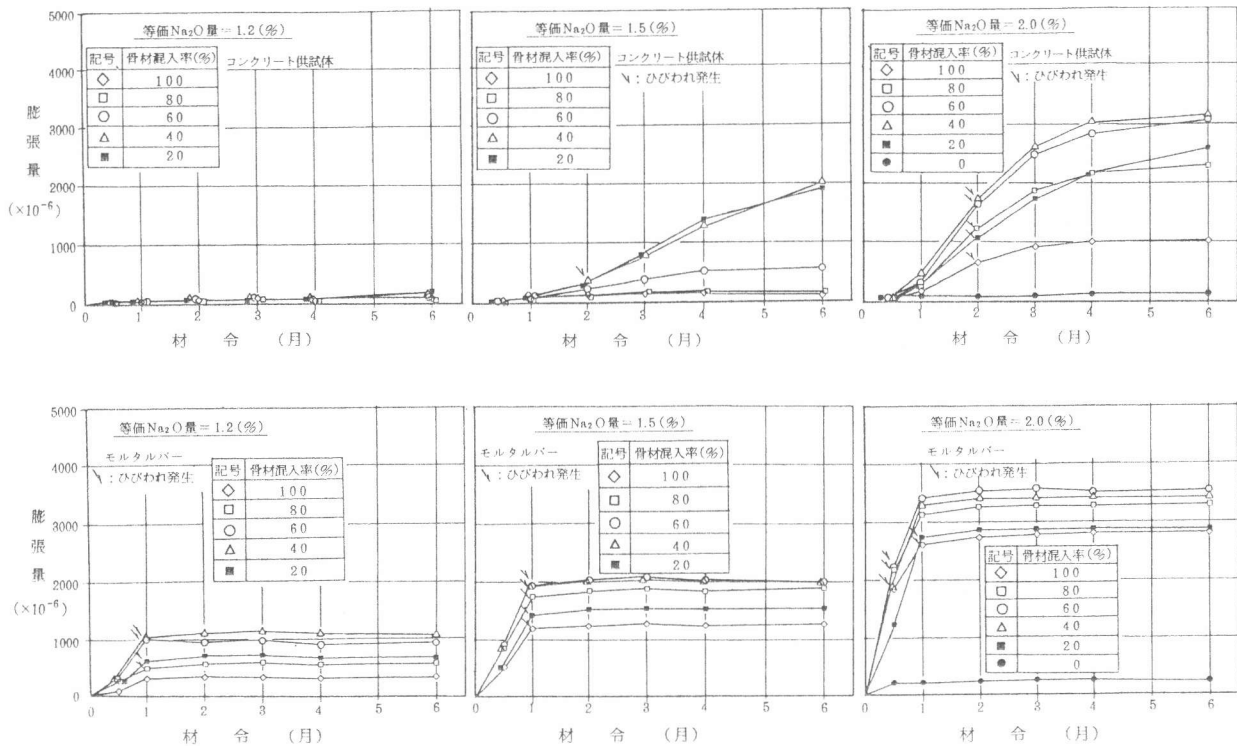


図-3 コンクリート供試体とモルタルバーの膨張特性の比較
(上段: コンクリート供試体 下段: モルタルバー)

ムは40%程度であり、モルタルバーと同様、アルカリ量が減少するにつれて減少する傾向にある。また、図-4には比較のため実構造物から採取したコアの全膨張量（開放+残存）とその G_R/G の関係をも併記したが、これらの結果もベシマムの存在を示しているようである。

4. 実験B 反応性砂を用いたコンクリートの膨張特性

4.1 実験方法

コンクリートの膨張を測定する供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱とした。配

合は実験Aの場合と同様であり、粗骨材と細骨材の両者とも非反応性のものか反応性のもの、またはどちらかが反応性のものについて等価 Na_2O 量を0.8、1.2、2.0%に変化させて同一条件に対しコンクリート供試体を3体作製した。なお、反応性砂は実験Aで用いた反応性粗骨材を粉碎し、粒度調整を行なったものを用いた。また、粗骨材中の反応性粗骨材が占める割合 G_R/G および細骨材中の反応性砂が占める割合 S_R/S は100%に固定した。表-5にこれらのパラメータの組合せを示した。なお、供試体作製、養生、測定方法は実験Aの場合と同様である。

4.2 実験結果

図-5は、反応性骨材を砂として用いた場合と粗骨材として用いた場合の膨張量と材令の関係等を等価 Na_2O 量をパラメータとして示したものである。現在未だ若材令であるが、たとえ粗骨材が非反応性であっても砂が反応性の場合にはコンクリートに膨張の影響を及ぼすことを示唆しているようである。

5. 結 語

反応性骨材の膨張特性は主にモルタルバーを用いて行なわれているが、今回コンクリートでの膨張特性を把握する目的で $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体により促進膨張試験を実施した。使

用した反応性骨材が1種に限定されており、角柱供試体の寸法やコンクリートの配合も一律にしているため一般的な結論を引き出すには至らないが、コンクリートの膨張量もアルカリ量や G_R/G に大きく作用され、モルタルバーに比べ膨張速度は緩慢であるが、アルカリ量によってはかなり膨張するようである。また、アルカリ骨材反応が生じている実構造物から採取したコアの試験結果も同様の傾向を示しているようである。なお、粗骨材が非反応性でも砂が反応性であるとコンクリートに膨張の影響が出るようであり、この点には留意する必要がある。

〔謝辞〕 本研究に当たり、建設省近畿地方建設局における調査結果の一部を拝借した。ここに感謝の意を表します。

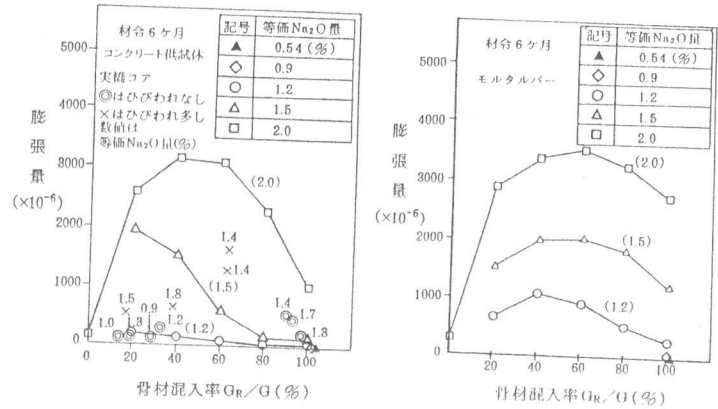


図-4 膨張量と骨材混入率 (G_R/G) の関係

表-5 試験ケース (実験B)

使用材料		等価 Na_2O (%)			備考
粗骨材	細骨材	0.8	1.2	2.0	
G_N (無害)	S_R (反応性)	○	○	○	結果は講演時に発表予定
G_R (反応性)	S_N (無害)	○	○	○	
G_R (反応性)	S_R (反応性)	○	○	○	
G_N (無害)	S_N (無害)	○	○	○	

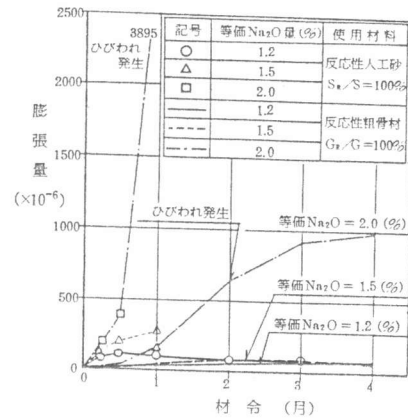


図-5 コンクリート供試体の膨張量と材令の関係