

[61] アルカリ反応性骨材の岩石学的考察

正会員 森 野 奎 二 (愛知工業大学工学部)

1. まえがき

わが国のアルカリ骨材反応による被害は、長崎、村山両橋（使用骨材中の有害な岩石名：頁岩、浮岩）¹⁾、港防波堤（同：火山灰）¹⁾、中国電力鉄筋コンクリートパラベット（同：斜方輝石角閃石安山岩）²⁾、コンクリート構造物3例（同：ハリ質古銅輝石安山岩）³⁾、および関西地方各所のコンクリート橋脚他数例（斜方輝石安山岩）⁴⁾、のように何らかの形で火山岩に関わっている。このことは、わが国が火山国であること、そして火山岩の中には、トリジマイト、クリストバライト、および火山ガラスなどの反応性物質を含むからにほかならない。

中でも、最近の被害例^{3) 4)}は、安山岩碎石によるものである。安山岩碎石の全碎石製品に占める割合は、例えば、昭和56年度では、生産量で29%（約1億4百万トン）、工場数で36%（748工場）もあり、全体からみれば、ほんの一部の碎石に問題があつたに過ぎないと言える。しかし、安山岩は成因的に、上記の反応性鉱物を含み易いものであるから、反応そのものはコンクリート中でしばしば起こっていると考えられる。ところが、実際のコンクリートに被害が認められなかったのは、第一に反応性鉱物が有害量含まれていなかったからであろう。この有害量については、岩石中に含まれる反応性鉱物の量の他に、骨材の粒度、セメントのアルカリ量など、人為的な要因も加わるもので、いわゆるベシマムに支配される。そのため、アルカリ量かあるいはその他の条件が満たされなかったのであろう。第二にコンクリートが膨張してひびわれの発生するような被害が現われるには、外部から水分が供給され続ける必要がある。第三に、元来コンクリートには、収縮、凍結融解作用、鉄筋の腐食などによるひびわれが発生するので、アルカリ骨材反応に関心のないときには発見され難いという側面があつた、などの理由によるのであろう。いずれにしても今後、被害が現われないようにするためには、何よりもわが国の反応性鉱物を含有した骨材についての認識を深める必要がある。そこで反応性骨材そのものを岩石学的に詳しく観察し、検討してみた。

2. 反応性岩石を含む碎石工場切羽の地質状況

コンクリートにひび割れが発生したとされる安山岩碎石工場の切羽の状態を図1に示す。この地域は、瀬戸内火山岩帯に属するもので、切羽の岩石は、斜方輝石安山岩である。偏光顕微鏡及びX線回折分析によると、斑晶は斜方輝石（古銅輝石、紫蘇輝石）とアルカリ長石（曹長石、ハリ長石）で、石基はこれら両鉱物の微結晶と火山ガラス及びクリストバライトである。その他、岩石中には、カルサイト、クロライトなどを含む場合もある。外観は灰白色～黒色で、火山ガラスが多くなるほど黒色になる傾向がある。図1の左方の黒色の帯はガラス質に富んだ安山岩であり、クリストバライトの含有量も多く、切羽中で最も反応性に富んだ岩石である。この岩石

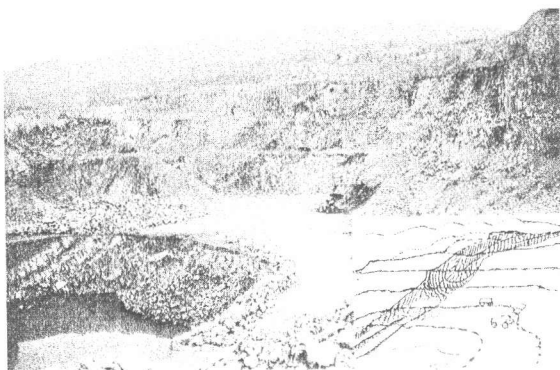


図1 安山岩碎石工場の切羽の全景

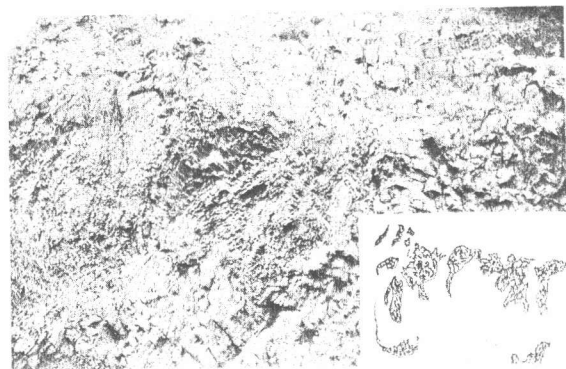


図2 反応性岩石が不規則に貫入している状況

は ASTM C-289 の化学方法では有害域に入り、ASTM C-227 のモルタルバー法でも膨張を示すものである。この岩石が混入すると、砕石製品は反応性骨材となるので、この箇所の岩石はコンクリート用砕石原石には使用されていない。道路用砕石として使用するための別系統の砕石製造ラインが造られている。図1のように、反応性岩石が帯状分布しているときは品質管理ができる。一方図2のように反応性岩石が入り乱れていると、選別することは不可能である。有害な岩石の混合比率は、採石箇所ごとに変わるので、ベシマム量を避けて混合比を確保することも困難になる。なお、基礎研究用のサンプルをこのような所から採取すると再現性が悪くなる。室内実験でも地質状態に留意すべきである。

3. 施工後6年経過したコンクリート

中の反応性骨材と砕石原石の比較

3.1 使用材料および実験方法

昭和52年に施工されたコンクリート水路の路床及び側壁に、施工後2～3年後にアルカリ・シリカ反応によるひび割れが発生した。その箇所より、昭和58年にコア供試体が採取された。本実験にはこの供試体の一部を使用した。使用骨材は安山岩砕石と海砂であった。再現実験用の新鮮な岩石試料には、骨材と同じ岩質と思われる砕石原石を選んだ。両試料のX線回折図を図3に示す。原石を浸漬するNaOH溶液は、1%～1Nとし、温度は20～50℃及びオートクレーブ180℃とした。観察には、実体、偏光及び走査電子顕微鏡(SEM)を用いた。

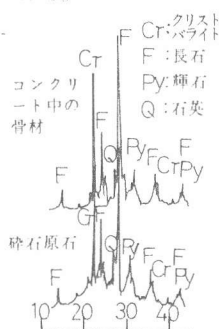


図3 安山岩のX線回折図

表1 反応性骨材の劣化状況

		ひび割れ状態			
		なし	周囲	中心	全面
反応生成物	なし				
	反応環				
	透明物質 白色物質				

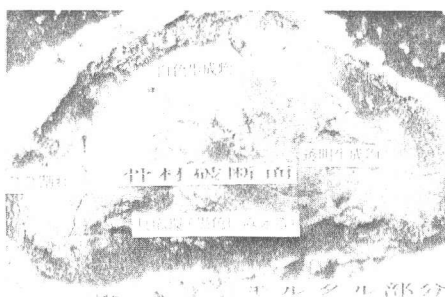


図4 実体顕微鏡写真、ひび割れ、反応環、反応生成物

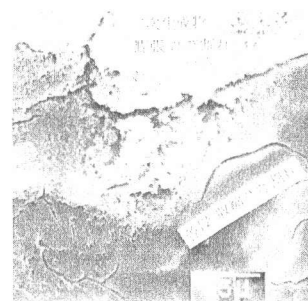
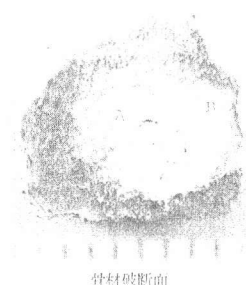
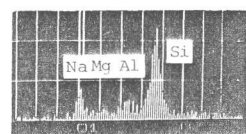


図5 SEM写真、骨材破面上の反応環の境界



骨材破断面



白色部分(A)のX線マイクロアナライザー分析結果



A部分の拡大。二次的に生成した球形の物質によって膨張ひび割れが発生している。



A部分の球形物質の拡大。1個の球は小板状の物質の集合体で、空間が多い。(二次生成物)



B部分の拡大。Aの状態へ変化する直前のような形態をしている。塊状(B)から空間の多い状態(A)へ変成すれば、膨張が起こる。

図6 SEM写真、骨材内部のひび割れとひび割れ空間に生成したアルカリ・シリカ反応生成物

3.2 骨材内部のひび割れとアルカリ・シリカ反応生成物について

膨張の著しい箇所から採取されたコア供試体の破断面に現われた骨材は、カッターで切断したように破断していた。そして骨材破断面には、ひび割れ、反応環および透明～白色の反応生成物などがみられた。それらを分類、整理して表1に示す。

a 骨材自体の劣化

骨材には、堅硬なものから指先で簡単に割れるものまで含まれていたが、概して弱い骨材の方が多い。弱い骨材には必ずひび割れが生じていた。ひび割れは、骨材全面にあるもの(図4)、中央部だけにあるもの(図6)、その他種々のひび割れパターンがみられた。それらは、川村ら⁵⁾が紹介している Idorn の観察結果と類似していた。

b 反応環について

反応環は、堅硬な骨材にもみられたが、劣化した骨材にみられない場合もあった。ひび割れと同様いくつかの形式に分けることができる。例えば図4のように骨材周囲に透明の生成物で覆われた黒色環を持ち、内側には白色の生成物が集積しているという型や、白色生成物はなく反応環だけが鮮明にみえて鉱物組織に乱れないという型などである。

前者の例では、透明部分と白色部分は、図5に示すよう漸移している。内部に白色生成物が集積する理由は次のように考えられる。まず骨材周囲が反応して膨張し、内部には引張応力が作用する。やがて、引張ひびわれが生じると、その空間に、骨材内の各所で生成した反応物が移動して、蓄積されまた二次生成物もでき、一層ひびわれが増える。

c 反応生成物について

骨材内外に生成した反応生成物は、多様な形態を示す。それらの形態を図6～図10に示した。また、NaOH溶液中に砕石原石を浸漬して生成させた反応生成物のSEM写真のうち、骨材による生成物とよく似た形態のものを選んで図8、図9に対比して示した。例えば図7及び図8の球状集合体は

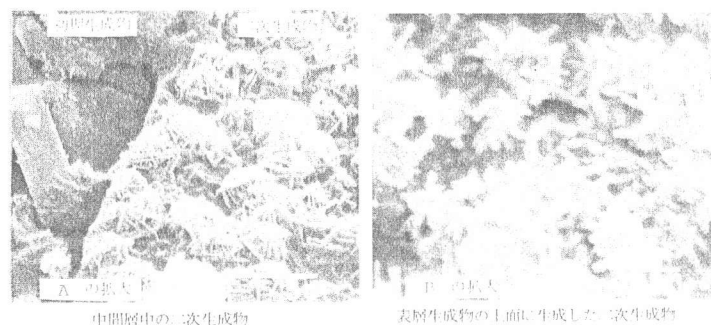
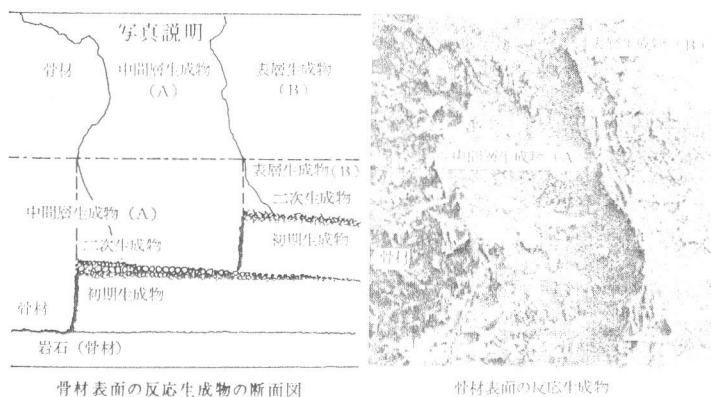


図7 SEM写真 骨材表面に生成したアルカリ・シリカ反応生成物。

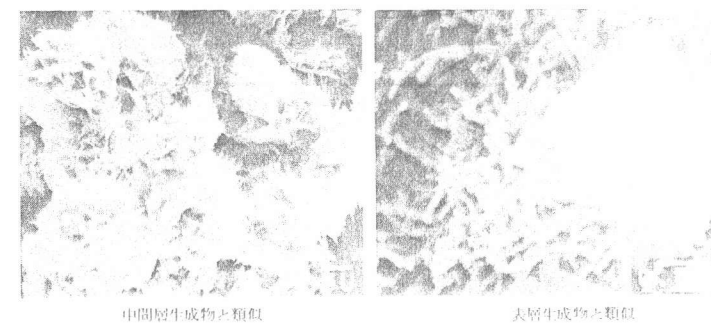


図8 SEM写真 砕石原石をNaOH溶液に浸漬して生じた反応生成物。

W・F・Cole⁶⁾のZeolite-A typeとよく似ている。なお、モルタル中に沢山堆積している反応生成物(図10)のX線回折分析ではバテライト、カルサイト及びCa(OH)₂のピークが明瞭であった。

3.3 クライオシステムによるSEM観察

砕石原石とNaOH溶液によって得られた反応生成物を、含水状態のまま観察した。溶液中の生成物を試料ホルダーに入れ液体窒素に浸けて一瞬のうちに凍結させ、-120~-20°Cで観察した(図12)。図12-Dで分かるように含水状態にある反応生成物にも微細な小孔がみられる。小孔は乾燥と共に拡大しついには図12-A(図10と類似)のようになる。

4. 結論

- (1) 反応性骨材を産出する地質には比較的安定な場合と極めて狭い範囲でも著しく変化する場合がある。
- (2) 反応性骨材は骨材中にひび割れ、反応環及び反応生成物を生じ劣化する。反応環だけがみられる場合は劣化は少ないが、上記3種が共存していると劣化は著しい。
- (3) アルカリ・シリカ反応は、最初に生じる不定形、平滑塊状の形態をした物質から、二次的に生成する小突起状、花卉状、針状、繊維状、網目状、小板状集合体等の多様な形態をした鉱物の生成によって、一層大きな膨張が起る。

参 考 文 献

- 1) 近藤泰夫、北川欣一：モテ年報5、昭和26、p 379~399
- 2) 村田清逸、関恒吾、藤木洋一：セメント・コンクリートNo.220、昭和39、5、pp.7~13
- 3) 川村満紀、竹本邦夫、坂場重正：第37回セメント大会講演要旨、昭和58、5、pp.84~85
- 4) 福島正人、二村誠二：セメント・コンクリートNo.438、昭和58、5、pp.8~15
- 5) 川村満紀、坂場重正：コンクリート工学、vol.22、No.2 Feb. 1984、pp.6~15
- 6) W. F. Cole, C. J. Lancucki, M. J. Sandy: Cement and Concrete Research, Vol.11 No.3, 1981 pp. 443~454



骨材破面及び表面に付着している白色生成物中、気泡及びモルタル部分にみられる。

原石をNaOH溶液に浸漬して生じた反応生成物

図9 SEM写真、白色針状のアルカリ・シリカ反応生成物。この鉱物は体積が大きく他の部分より突出している。

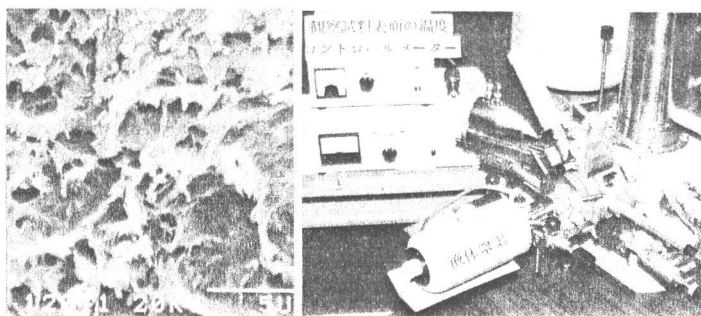
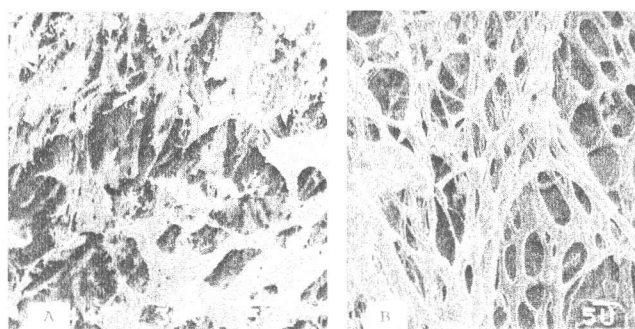


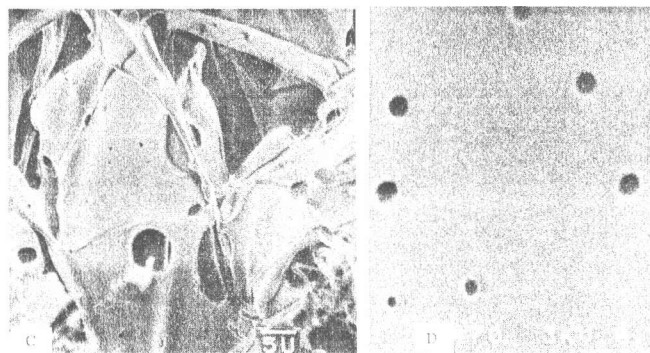
図10 SEM写真、モルタル中に厚く沈積した白色生成物の内面の形態

図11 走査電子顕微鏡に取付けたクライオ装置



A. 水分の少ない状態

B. A.Cの中間の状態



C. 水分の多い状態

D. Cの拡大、含水量の多い部分

図12 SEM写真、クライオ装置を用いて観察したアルカリ・シリカ反応生成物の形態変化