

[1134] 堆積岩系骨材におけるアルカリ骨材反応の特徴

正会員 ○立松 英信 (鉄道総合技術研究所)

正会員 高田 潤 (鉄道総合技術研究所)

佐々木孝彦 (鉄道総合技術研究所)

1. はじめに

アルカリ骨材反応 (以下, AARと略記する) に起因するコンクリートの劣化が顕在化したのを契機として, 筆者らは, その解明と対策に資するため, 被害の実態調査とコンクリート供試体によるAARのモデル試験を続けている。

最近の実態調査によれば, 火山岩系骨材よりは堆積岩系骨材を使用したコンクリートに被害が目立っている。また, 化学法については, わか国の実情に適合させるべく種々の実験的検討¹⁾がなされてきたが, 堆積岩系骨材の場合は膨張試験とも合致しないなど, とくに問題も多い。

そこで, 今回は, 微細な石英を含む堆積岩系骨材を用いたAARモデル試験と, これらの骨材の化学法に準じたアルカリ反応性に関する基礎的な試験結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 AARモデル試験

AARモデル試験は, 前報²⁾と同様, 標準的配合のコンクリート供試体を作成して, 膨張特性と反応生成物の変化を調べた。供試体は膨張試験のための物理用と, 反応生成物の観察・分析のための化学用の2種類で, それぞれ, 10×10×40(cm)の角柱, 5φ×10(cm)の円柱である。

セメントは普通ポルトランドセメントを用い, 全アルカリ量を2.0% R₂Oになるよう調整した。調整は, セメント中のNa₂OとK₂Oの重量比に従い, 試薬のNaOHとKOHを添加することにより行った。

粗骨材は, チャート, 粘板岩, 砂岩などからなる典型的な堆積岩系の碎石4種を使用した。偏光顕微鏡観察, 粉末X線回折などによる岩石と主な鉱物組成を表-1に示す。

また, ASTM・C-289 (化学法) による試験結果は図-1に示すとおりであるが, いずれも有害域と無害域の境界付近に位置する。なお, 細骨材には豊浦産の標準砂あるいは八王子産の砂岩を使用した, 化学法による判定はいずれも無害である。

表-1 骨材の鉱物組成

骨材	岩石	長石	石英	雲母	緑泥石	その他
A	チャート		+++	(±)	(±)	
B	砂岩・チャート	++	+++	++	+	膠結物質
C	粘板岩・チャート	+	+++	+	+	
D	砂岩	++	+++	(±)	(±)	膠結物質

※) 量的目安として, +++>++>+>(±)

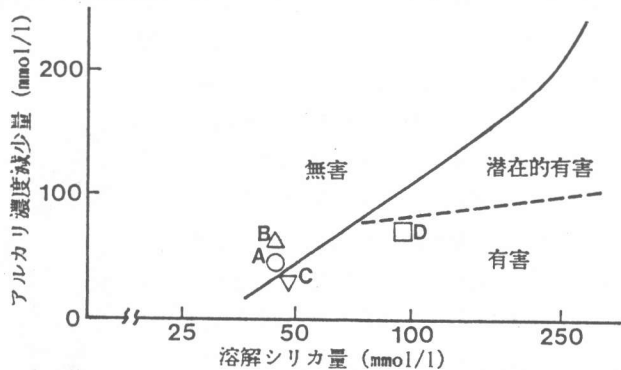


図-1 ASTM・C-289(化学法)による判定結果

2. 2 骨材のアルカリ反応性試験

今回報告する骨材のアルカリ反応性試験は基本的には化学法に準拠して、溶解シリカ量とアルカリ濃度減少量の変化を調べたものであるが、処理時間は12時間毎に48時間までとした。また、多くの試験水準を実施するため、試料量およびアルカリ溶液量は、化学法における所定量の比を変えないように、それぞれ1/2.5相当量の10g、10mlとし、溶解シリカ量の測定は迅速で汎用的な原子吸光分光法によった。

3. 結果および考察

3. 1 膨張特性と反応生成物

物理用供試体による膨張特性を図-2に示す。なお、この図中では、化学法による骨材の判定結果を表すため、無害骨材は実線、有害骨材は破線で示した。

最初に、化学法による判定の結果、無害と判定された骨材A、Bが膨張を示したのに対し、有害と判定された骨材Dは膨張を示さなかった。本試験におけるコンクリート供試体は、全アルカリ量を2.0%R₂Oに調整したものであり、通常モルタルバー試験における全アルカリ量1.2%R₂Oと比較して、単位アルカリ量はとくに高いとは考えられない。

従って、本試験に関する限り、化学法による骨材の判定結果と供試体の膨張とは必ずしも合致しないようである。

次に、膨張特性は堆積岩系骨材の特徴を示し、ゆっくりではあるが長期間に亘って膨張が続き、材令10箇月時点での膨張量は0.2~0.3%に達する。また、これらのうち、骨材Bだけは材令10箇月を経ても依然として膨張が継続している。

化学用供試体による反応生成物は、いずれの骨材にもゼリー状の生成物(図-3)が主として観察される。この生成物はAARに特徴的な形態で、材令とともに(a)→(b)へ変化し、Ca濃度が高くなることが確認された。また、骨材B、Cを使用した供試体には、材令6箇月以降で一部の骨材の破面にロゼット状生成物(図-4)が認められた。この生成物は一般に堆積岩系骨材に特徴的で、KとCaに富む組成を有することから、Ca濃度が高くなりかつ雲母などからKが供給されて生成するものと考えられる。

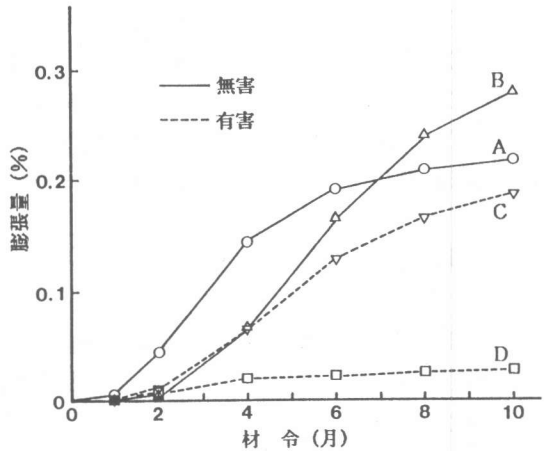
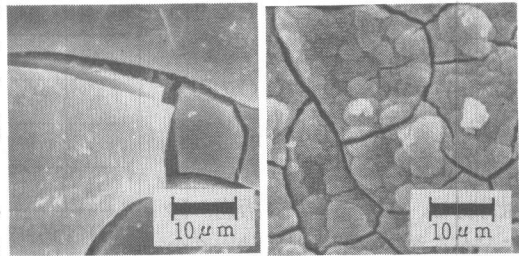


図-2 膨張特性



(a) (b)

図-3 ゼリー状生成物

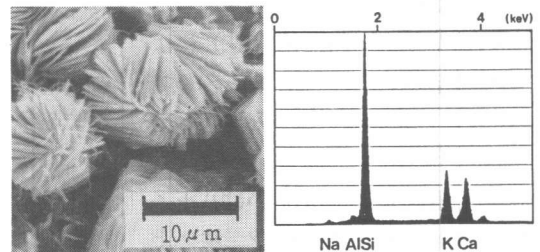


図-4 ロゼット状生成物

さらに、今回の試験に用いた骨材は石英を主成分とし、反応に関与するものは潜晶質～微晶質といわれる微細な石英であるが、骨材Bには、このような石英と極めて類似の粒径や形態を示す長石(図-5)が見出された。このような長石がどの程度反応に関与するかは不明ではあるが、溶解するとすれば、前述の雲母などの場合と同様、溶解に伴ってアルカリを供給し、骨材Bを使用した供試体の膨張が長期に亘って続く一因とも考えられる。

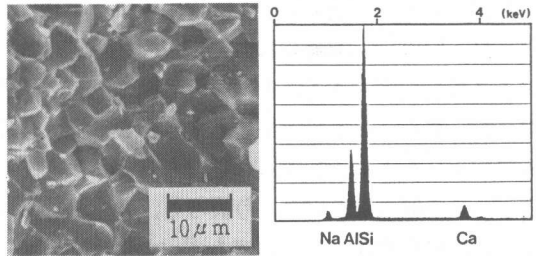


図-5 微細な粒径の長石

3. 2 骨材のアルカリ反応特性

AARモデル試験に使用した骨材のアルカリ反応性を検討するため、まず、溶解シリカ量(以下、Scと略記する)の経時変化を図-6に示す。いずれの骨材でもアルカリ処理時間の経過とともにScは増加するが、その増加傾向や絶対値は骨材によりかなり異なる。図に示すように、Scの経時変化を12時間毎にI~IV期に分ける。骨材A、C、DにおけるScの増加率はIからIV期に向かって暫時減少しているのに対し、骨材Bだけはほとんど変化がなく、Scはほぼ直線的に増加しているのが判る。各骨材における48時間処理後のScの絶対値は骨材Dが最も大きく、次いでA>B>Cの順である。また、骨材DのScは他の骨材に比べて特に大きいのが、この理由として、骨材Dにはアルカリ反応性の高い、いわゆる潜晶質石英が多く含まれているためであると推察される。

次に、アルカリ濃度減少量(以下、Rcと略記する)の経時変化を図-7に示す。いずれの骨材でもアルカリ処理時間の経過とともにRcはほぼ直線的に増加し、一次関数で近似できる特性を有することが明らかとなった。この実験事実はRcの本質を考えるうえで貴重な情報を提供する。すなわち、この直線を外挿することによって零時間におけるRc(この値をRc⁰と定義する)を求めることができ、この値は吸着などによって比較的初期に消費されるアルカリ量で、シリカの溶解には関与しないものである。Rc⁰を求めると、骨材A、B、Cでは20~40mmol/l、骨材Dでは約60mmol/lとなり、シリカの溶解に関与しないアルカリ消費量は骨材Dが最も多い。

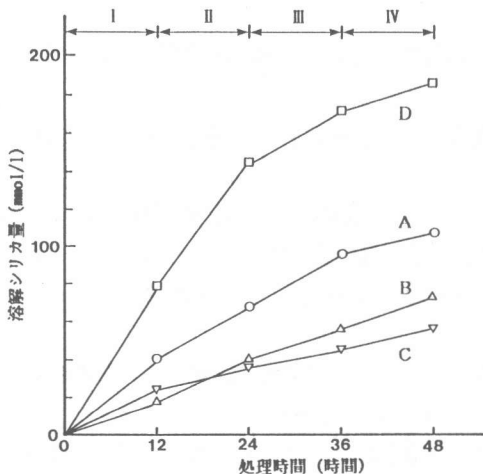


図-6 溶解シリカ量の経時変化

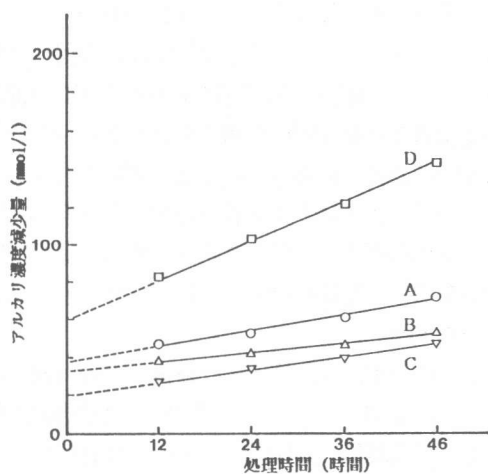


図-7 アルカリ濃度減少量の経時変化

今回のモデル試験に用いた物理用供試体中には、Naとして約20gのアルカリが含まれているが、 R_c° として60mmol/lのアルカリ濃度減少量を、単純にこの供試体レベルに換算すると数gのアルカリを消費することとなり、骨材に固有の値として極めて重要な意味を持つことが明らかになった。また、 R_c の大きいものほど S_c も大きくなる傾向があり、シリカの溶解とそれに要するアルカリ量とは比較的よい相関を有するようである。いずれの骨材でも R_c は直線的に増加するが、その傾きは骨材により異なり、A、B、Cは緩やかで、Dは急である。ただし、骨材Bの傾きは特に緩やかで、前項でも述べたように、骨材からアルカリが供給されたため見掛け上変化が少なくなったものと考えられる。

3. 3 膨張特性とアルカリ反応性の相関

骨材A、B、Cを用いた供試体は膨張するが、Dを用いた供試体はほとんど膨張を示さない。骨材Dの場合は、溶解シリカ量の経時変化が示すように、溶解しやすいシリカ（潜晶質石英）を含んでおり、顕著な膨張を示してよいはずである。その理由として、この骨材は吸着などによるアルカリ消費量 R_c° が他の骨材に比較して多いことが挙げられる。言い換えれば、シリカを溶解するのに使用しうるアルカリが少なくなったために、ほとんど膨張を示さなかったと考えるのが妥当であろう。

一方、骨材A、B、Cを用いた供試体は、いずれも材令2箇月を経過する頃から膨張が始まるが、その後の膨張特性は異なる。これらの骨材について S_c の経時変化と対比してみると、膨張量の推移と S_c の経時変化は両者のパターンがよく符合するようである。すなわち、材令6～8箇月で膨張が収束に向かう場合は S_c の増加率もI～IV期に向かって減少し、膨張が依然として継続する場合は S_c の増加率も大きな変化がない。そして、後者の場合には骨材からのアルカリの供給が考えられ、膨張の終点を定めるのが困難となる。

4. まとめ

典型的な堆積岩系骨材を用いたAARモデル試験とこれらの骨材のアルカリ反応性を検討した結果、以下のような知見が得られた。

- ①堆積岩系骨材を用いたコンクリート供試体の膨張は、全アルカリ量 $2.0\%R_2O$ に関する限り、化学法の結果とは合致しない場合が多い。
- ②コンクリートが膨張するか否かは、使用した骨材に固有な値 R_c° と密接に関係し、この値が大きくなると、膨張を示す限界アルカリ量の値は高くなる。
- ③堆積岩系骨材を用いた場合のコンクリートの膨張は、ゆっくりでかつ長期間に亘って継続し、膨張特性は S_c の経時変化とよい相関を有する。

今後は、さらに多くの骨材のアルカリ反応特性のデータを集積し、これらの特性から、コンクリートの膨張を引き起こす限界アルカリ量を推定する手法に発展させたいと考えている。なお、本研究には三菱鉱業セメント(株)中央研究所の御協力を得たことを付記し、謝意を表する。

(参考文献)

- 1) 蔭田実, 片脇清士, 守屋進: 各種骨材のアルカリ反応性(化学法)に関する実験的検討, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, 1985, pp.137-140
- 2) 立松英信, 高田潤: アルカリ骨材反応生成物の特徴とコンクリートの劣化, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9, No.1, 1987, pp.561-566