

長野県北部および東部産のコンクリート用骨材について（その2）

—砕石の岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性—

STUDY ON CONCRETE AGGREGATES OCCURRING IN NORTHERN AND EASTERN DISTRICTS, NAGANO PREFECTURE (2)
-RELATION BETWEEN PETROLOGICAL AND MINERALOGICAL PROPERTIES AND ALKALI REACTIVITIES OF
CRUSHED STONES-

佐々木 孝彦*・石田 良二**・鈴木 喜弥***

by Takahiko SASAKI, Ryoji ISHIDA and Yoshiya SUZUKI

1. はじめに

1998年に開催される冬季オリンピック長野大会に向けて、高速交通網の整備が計画され、長野県北部および東部で新幹線鉄道の建設が進められている。新幹線鉄道構造物の重要性に鑑み、アルカリ骨材反応による劣化を未然に防止するため、この工事において使用するコンクリート用骨材の選定に資する目的で、当該地方で採取されている骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性の特徴について調べた。このうち河川砂利¹⁾については既に報告した。本報では、砕石に関する試験結果を報告する。

2. 長野県北東部の地質概要

長野県には、フォッサマグナおよび糸魚川-静岡構造線（糸静線）や中央構造線（MTL）など第一級の構造

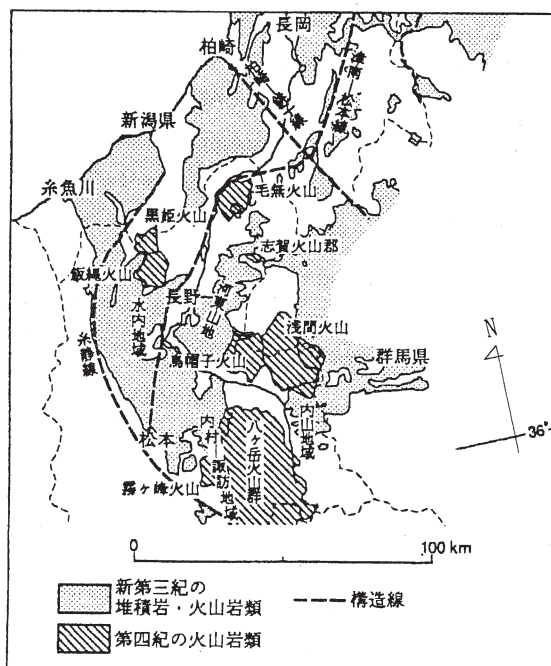


図-1 長野県北部および東部の地質区分¹⁾

* (財) 鉄道総合技術研究所材料技術開発推進部 技師
(〒185 国分寺市光町2-8-38)

** 前田建設工業(株) 技術研究所 第3Gr 課長代理
(〒179 練馬区旭町1-39-16)

*** 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局計画課 係長
(〒380 長野市大字中御所字岡田45)

線が多数分布していることに加え、火山帯も多くあり、地質の分布や地質構造は極めて複雑な様相を呈する。

長野県北東部（長野市を中心とする北信地方と上田-佐久にかけての東信地方）は、糸静線の東側に位置し、北部フォッサマグナ西縁付近にあたる。この地域はグリーンタフ地域に属しており、主として新第三紀中新世の堆積岩類や火山岩類が分布するほか、第四紀の火山岩類も広く分布している。

図-1に本地域の第三系および第四紀火山岩の分布を示す。第三系は、北信地区では千曲川を境に河東山地と水内地域、東信地区では八ヶ岳を境に内山地域と内村-諏訪地域に区分されている。このうち、水内地域には主に砂岩・泥岩の堆積岩が厚く分布している。河東山地、内村-諏訪地域には主として変質した安山岩～玄武岩質の火山岩類からなる下～中部中新統とそれらを貫く新第三紀の花崗岩類が分布している。また、内山地域は泥岩および火砕岩からなる中新統が関東山地の中・古生界を不整合に覆って分布している。

第四紀の火山岩類は、北信地区では、水内地域の北側に富士火山帯北端の飯縄火山・黒姫火山等に由来する火山岩、東側には鳥海火山帯南端の毛無火山・志賀火山群に由来する火山岩が分布している。一方、東信地区では、河東山地東側～千曲川右岸（北側）に、那須火山帯南端の浅間火山・烏帽子火山起源の火山岩、内村-諏訪地域と内山地域の間～諏訪湖の南東には、富士火山帯北端の八ヶ岳火山群や霧ヶ峰火山に由来する火山岩が広範囲に分布している。

3. 試験概要

3.1 調査対象骨材

試験の対象とした骨材は、コンクリート用骨材として使用されている砕石であり、採取箇所は図-2に示す8箇所である。

3.2 岩石・鉱物学的試験

試験に用いた骨材は、いずれも斑状の安山岩類である。骨材の岩石・鉱物学的特徴を把握するため、粉末X線回折と偏光顕微鏡による観察を実施した。

3.3 アルカリ反応性試験

骨材のアルカリ反応性は、立松らが提唱している改良化学法³⁾に準じて調べた。改良化学法は、使用する細骨

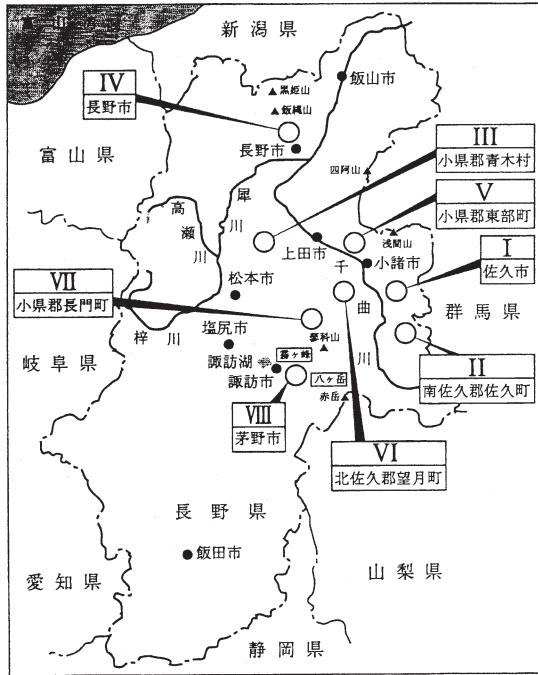


図-2 骨材(碎石)の採取箇所

表-1 骨材の生成年代

骨材	生成年代および起源の火山
I	第三紀 中新世
II	第三紀 中新世
III	第三紀 中新世
IV	第四紀 飯縄火山
V	第四紀 浅間火山
VI	第四紀 八ヶ岳火山
VII	第四紀 八ヶ岳火山
VIII	第四紀 霧ヶ峰火山

4. 試験結果

4.1 骨材の岩石・鉱物学的特徴

安山岩の岩石・鉱物学的特徴は、生成年代および原岩の組成とその後の変質作用の影響によって異なる。長野県北部および東部の地質区分によれば、試験に用いた安山岩質骨材の生成年代は表-1のように示される。

各骨材の粉末X線回折結果と偏光顕微鏡観察結果から求めた鉱物組成を表-2に示す。また、偏光顕微鏡写真を写真-1~6、X線回折パターンを図-3~8に示す。

骨材Iは、斑晶として斜長石、普通輝石、紫蘇輝石を化含み、完晶質の石基からなる複輝石安山岩である。斑晶の一部は変質してスメクタイトや緑泥石が生成している。晶洞中にはゼオライトが生成している。石基はφ10~20μmの粒状石英と細粒の斜長石と輝石からなる。骨材IIは、斑晶として石英と角閃石を含む石英安山岩で、骨材Iとは鉱物組成が異なるが、石基の大部分を粒状石英が占めることが類似している。また、角閃石の大部分は変質して緑泥石化している。この骨材の石基には微細

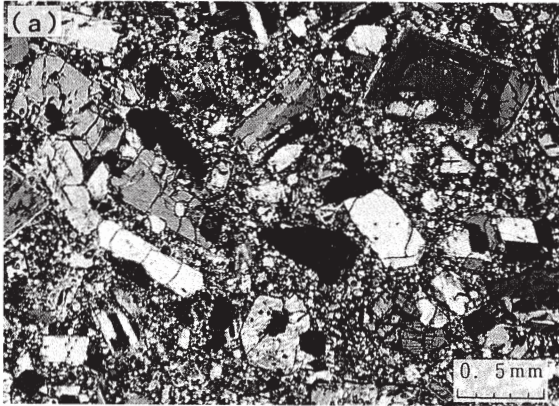
材と粗骨材それぞれにつき化学法に準じてアルカリ反応性の経時変化を調べ、この組み合わせでコンクリートを打設した場合にアルカリ骨材反応による有害な膨張を生じない限界のアルカリ量を示す評価方法である。具体的には、まず、アルカリ処理時間48時間まで12時間毎に溶解シリカ量(以下、Scと略記する)とアルカリ濃度減少量(以下、Rcと略記する)を測定し、ScとRcの経時変化を求める。Scの経時変化が直線近似できる範囲で、Rcの経時変化をアルカリ処理零時間に外挿した時に得られる値がRc⁰であり、「骨材自体が吸着・固定するアルカリ量」を表す指標となる。シリカの反応性に関わる尺度であるSc²⁴とSc⁴⁸は、80℃で24時間あるいは48時間アルカリ処理したときの溶解シリカ量である。

表-2 鉱物組成

骨材	岩種	Q	F	Mi	Py	Ch	Sm	Cr	Tr	Gl	その他	反応に関わる 鉱物	Rc ⁰ に関わる 鉱物
I	複輝石安山岩	++	+++		+	±	±				Ze, He	Q	Sm, Ch, Ze
II	石英安山岩	+++	++	±		+					Ho	Q(MQ)	Ch, M*
III	複輝石安山岩	++	+++		++	±	+				Ca	Q	Sm, Ch
IV	紫蘇輝石安山岩	±	+++		++			+	+			Cr, Tr	
V	複輝石安山岩	+	+++		++			±	±			Cr, Tr	
VI	複輝石安山岩	+	+++		++			±	±	±		Cr, Tr, Gl	
VII	複輝石安山岩	±	+++	±	++			+	±	±		Cr, Tr, Gl	
VIII	複輝石安山岩	+	+++	±	++			±	±	±		Cr, Tr, Gl	

量的目安 +++>++>+>±
 Q:石英 Py:輝石 F:長石 Mi:雲母 Ho:角閃石 Sm:スメクタイト Ch:緑泥石 Ze:ゼオライト M*:微細な雲母
 Cr:クリストバライト Tr:トリディマイト Gl:火山ガラス MQ:微小石英 He:赤鉄鉱 Ca:カルサイト

(直交ニコル)



(直交ニコル)

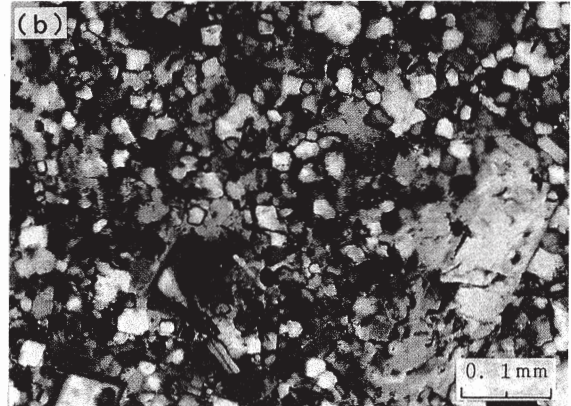
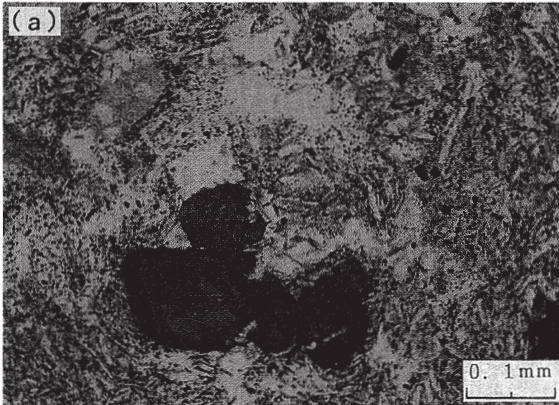


写真-1 骨材I

斜長石、短冊状の紫蘇輝石、粒状の普通輝石の斑晶を $\phi 10\sim 20\mu\text{m}$ の粒状石英（b：石基部拡大）が埋めている。

(単ニコル)



(直交ニコル)

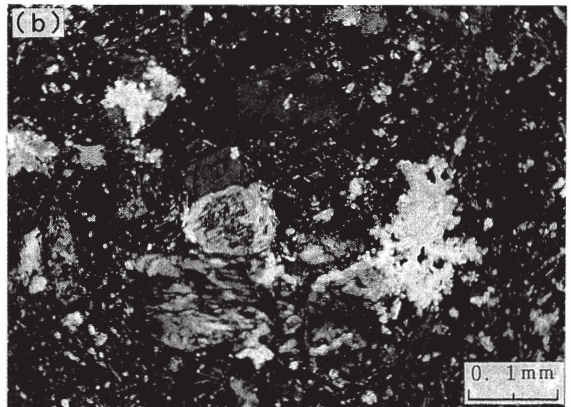
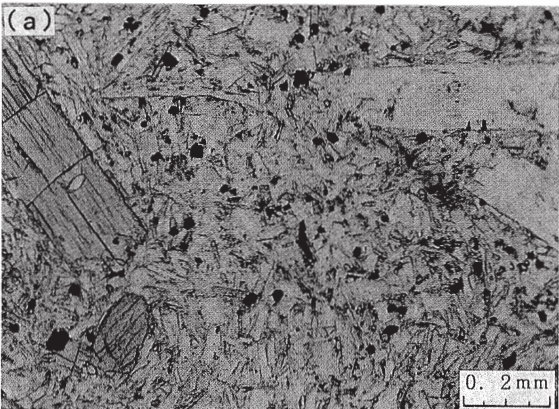


写真-2 骨材III

斑晶の斜長石や輝石が変質し、スメクタイトが生成している。石基の大部分が緑泥石化（a：単ニコルで茶褐色）している。炭酸塩鉱物（b：直交ニコルで黄色）が石基中に散在している。

(単ニコル)



(直交ニコル)

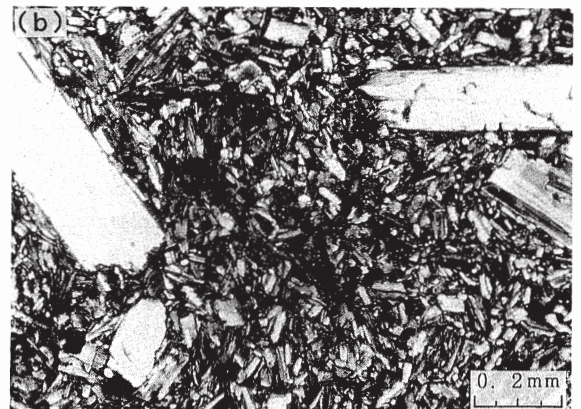
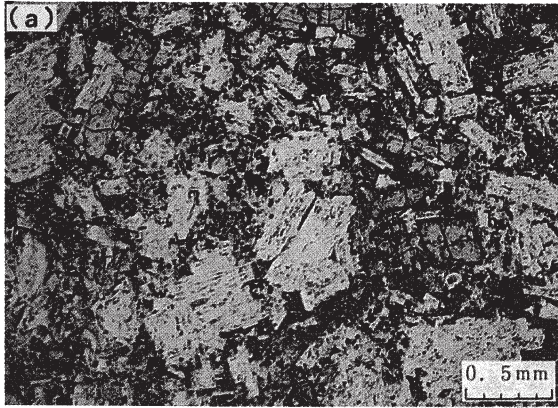


写真-3 骨材IV

短冊状の斜長石と紫蘇輝石の斑晶を、微細な斜長石と輝石のほか脱ガラス化によって生成した低屈折率で干渉色が暗い微細な鉱物からなる完晶質の石基が埋めている。

(単ニコル)



(直交ニコル)

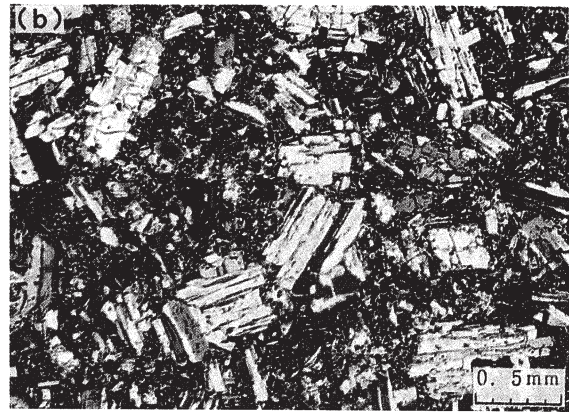
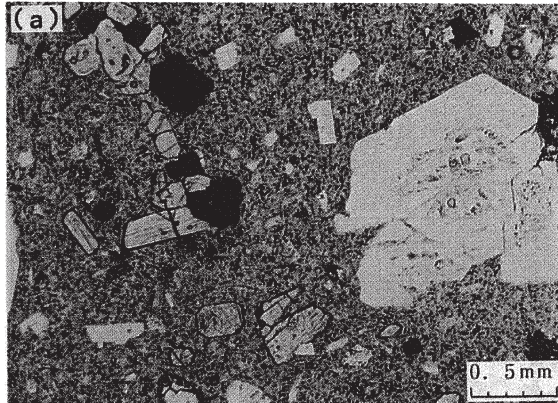


写真-4 骨材V

骨材IVと同様の組織を示すが、斑晶（斜長石と輝石）の割合が多い。石基は完晶質で、石英の集合部分が斑状に認められる。

(単ニコル)



(直交ニコル)

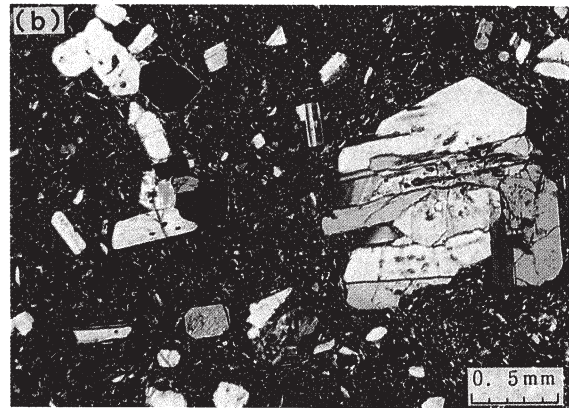
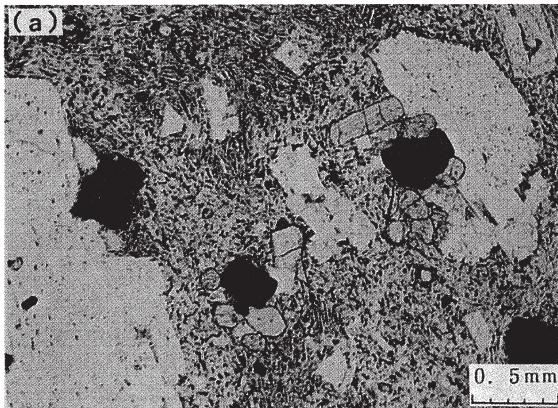


写真-5 骨材VII

斜長石と粒状の普通輝石、短冊状の紫蘇輝石の斑晶を火山ガラスおよび火山ガラスが脱ガラス化した干渉色の暗い微細な鉱物が埋めている。

(単ニコル)



(直交ニコル)



写真-6 骨材VIII

骨材IVと同様の斑晶よりなる。石基は細粒な斜長石を主体とするが、それらを埋めるように石英とガラス～脱ガラス化した低屈折率で干渉色が暗い微細なシリカが認められる。

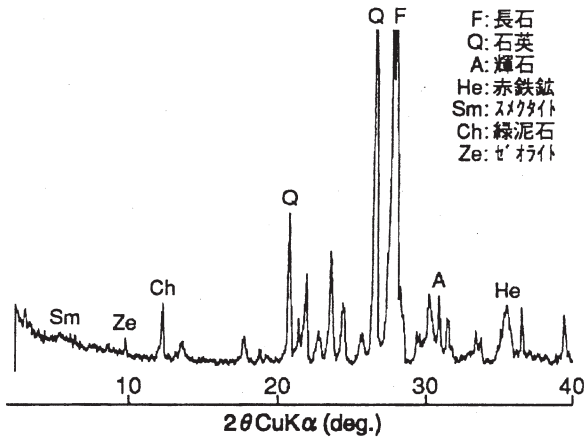


図-3 骨材Iの粉末X線回折パターン

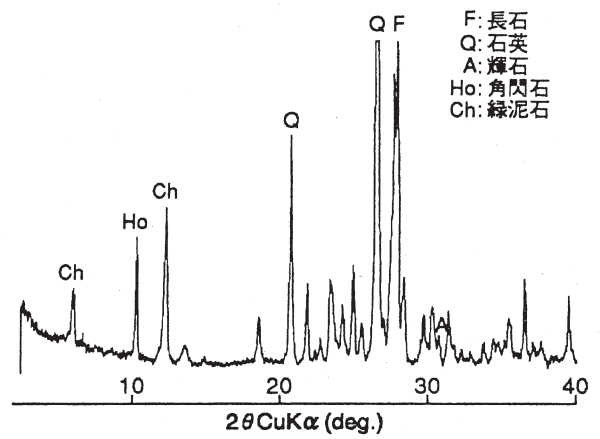


図-4 骨材IIの粉末X線回折パターン

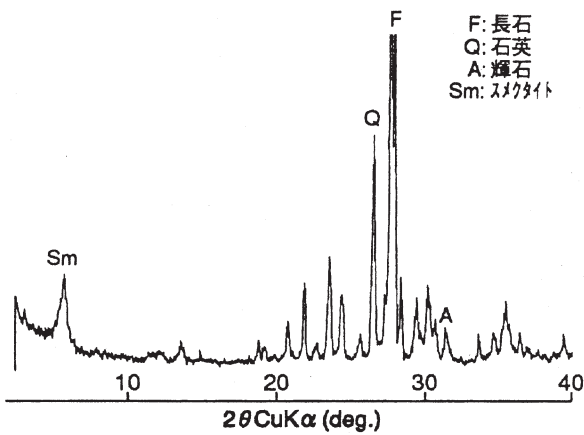


図-5 骨材IIIの粉末X線回折パターン

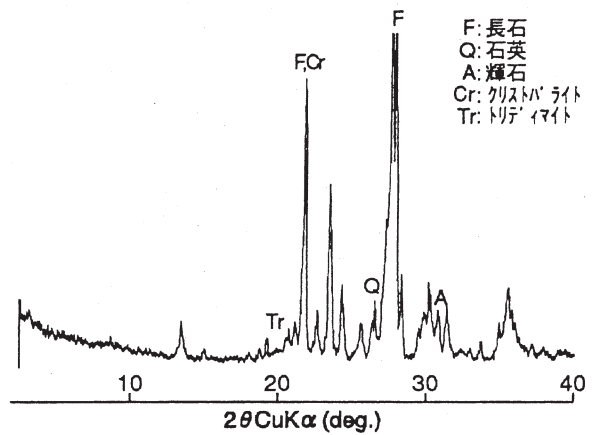


図-6 骨材IVの粉末X線回折パターン

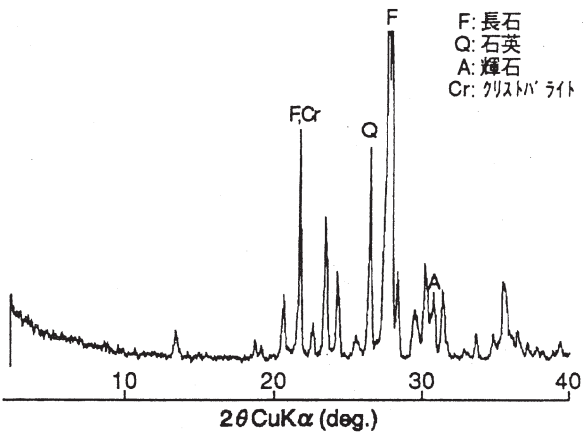


図-7 骨材Vの粉末X線回折パターン

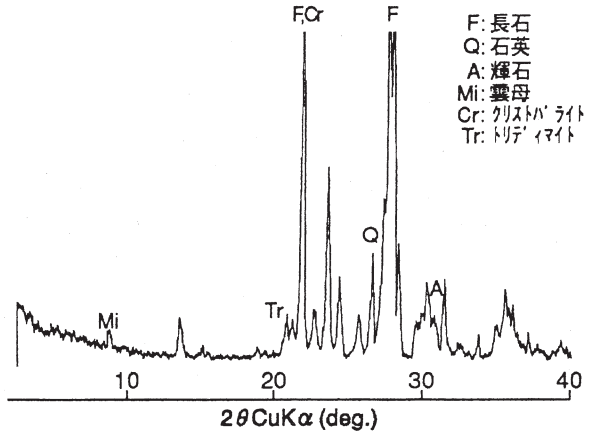


図-8 骨材VIIの粉末X線回折パターン

な雲母とφ 5 μm以下の微小石英も若干量認められる。骨材Ⅲは、骨材Ⅰと同様の班晶を含み、微細な石基からなる複輝石安山岩である。輝石の大部分と斜長石の一部が変質し、スメクタイトや緑泥石が生成している。石基は細長い斜長石が多く、その間を火山ガラスの変質により生成した緑泥石と石英が埋めている。さらに、組織全体にわたり粒状および脈状の炭酸塩鉱物（カルサイト）が認められる。

骨材Ⅳ～Ⅷは第四紀のもので、班晶として斜長石のほか普通輝石と紫蘇輝石の両方あるいはどちらか一方を含んでいる。石基は、半ガラス質～完晶質で、火山ガラス部分のほかにガラスの脱ガラス化によって生成した低屈折率で暗い干涉色（低複屈折）を示す微細な鉱物が存在する。これらはX線回折結果と合わせるとクリソバライトやトリディマイトである。これらの骨材のうち、骨材Ⅴの石基はほぼ完晶質であり、斜長石と粒状の輝石、

不透明鉱物が多い。そして、これらを埋めるようにクリストバライトと石英が集合状に充填している。また、骨材Ⅶには、クリストバライトの最強線と長石の回折線が重なっている4.04Åの回折ピークはが粉末X線回折パターンでも顕著に認められ、その含有量はかなり多いものと推定される。

以上の結果から、試験に用いた骨材は、生成年代および原岩の組成とその後の変質作用の影響によって二つのグループに大別される。一つは、グリーンタフ地域の第三紀の安山岩で、熱水等による変質を強く受け、スメクタイト、緑泥石等の粘土鉱物とゼオライトが生成しているもので、これには骨材Ⅰ～Ⅲが属する。もう一方は、第四紀の複輝石安山岩で熱水等による変質はほとんど認められないが、石基には火山ガラスの脱ガラス化作用により生成したクリストバライトやトリディマイトが含まれているもので、これには、骨材Ⅳ～Ⅷが区分される。

4. 2 アルカリ反応性試験結果

表-3に各骨材の化学法および改良化学法によるアルカリ反応性試験結果をまとめて示す。また、化学法の判定結果を図-9に示す。

化学法の判定図によれば、骨材Ⅰ～Ⅲのように判定基準線から離れていて明らかに「無害」と判定されるものと、骨材Ⅳ～Ⅷのように明らかに「無害でない」と判定されるものの二つに大別される。

ここで、改良化学法の指標 Rc^0 とシリカの反応性尺度 Sc^{24} 、 Sc^{48} を考慮し、さらに詳細にアルカリ反応性を検討した。骨材Ⅰ～Ⅲの Rc^0 はいずれも60mmol/l以上と大きな値を示すのに対して、骨材Ⅳ～Ⅷの Rc^0 は30~40mmol/lの範囲である。 Rc^0 は、「骨材自体が吸着・固定するアルカリ量」を表し、アルカリ骨材反応による有害な膨張を生じない限界のアルカリ量に密接に関連する指標である。この値が大きいとシリカとの反応に関わるアル

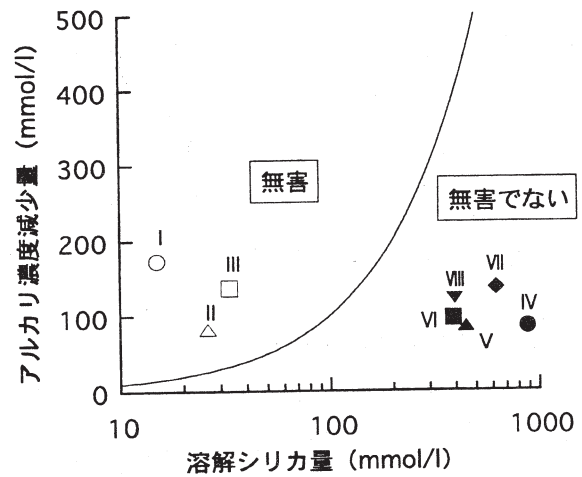


図-9 化学法の判定結果

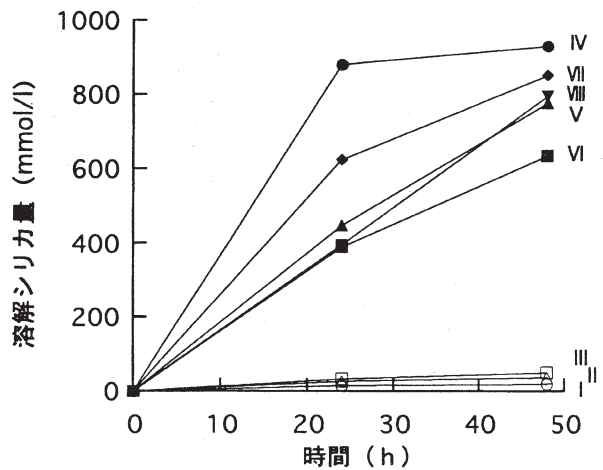


図-10 溶解シリカ量の経時変化

カリは少なくなって、限界アルカリ量は高くなる。したがって、前者は後者より限界アルカリ量が高い。

次に、溶解シリカ量に関わる尺度について検討する。

表-3 骨材のアルカリ反応性試験結果

骨材	Sc (mmol/l)	化学法		改良化学法		
		Rc (mmol/l)	化学法による 判定結果	Rc^0 (mmol/l)	Sc^{24} (mmol/l)	Sc^{48} (mmol/l)
I	15	175	無害	95±5	15	19
II	26	82	無害	65±5	26	36
III	33	136	無害	110±5	33	50
IV	880	85	無害でない	25±5	880	930
V	447	85	無害でない	30±5	447	776
VI	389	96	無害でない	40±5	389	634
VII	624	136	無害でない	30±5	624	851
VIII	395	121	無害でない	40±5	395	795

図-10には、溶解シリカ量の経時変化を示した。骨材Ⅰ～Ⅲの Sc^{48} はいずれも50 mmol/l以下であるが、骨材Ⅳ～Ⅷの Sc^{48} は50mmol/l以上であり、アルカリとの反応にかかわるシリカの反応性は極めて高い。

以上を総合すると、アルカリ反応性は表-4に示すように、 Rc^0 が大きく溶解シリカ量が少ないAグループと Rc^0 が小さく溶解シリカ量が多いBグループの二つに区分され、前者には骨材Ⅰ～Ⅲ、後者には骨材Ⅳ～Ⅷが属くする。

表-4 反応性による区分

グループ	骨材	改良化学法による反応性
A	Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ	Rc^0 大、 Sc^{48} 少
B	Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ	Rc^0 小、 Sc^{48} 多

5. 考察

各骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性の関係については次のように考えられる。まず、Aグループに区分される骨材Ⅰ～Ⅲは、いずれも変質を強く受けた第三紀の複輝石安山岩または石英安山岩であり、鉱物組成から主にアルカリとの反応に関わるシリカは石英である。石英のアルカリ反応性は結晶性によって異なり、粒径の大きい結晶性の良好な石英ほどアルカリ反応性は低いことが知られている⁴⁾。偏光顕微鏡観察によれば、この石英は $\phi 10\sim 20\mu m$ と比較的大きい。このために、 Sc^{48} は50mmol/l以下の小さい値になったと考えられる。さらに、これらの輝石あるいは斜長石は変質し、スメクタイトや緑泥石あるいはゼオライトが生成している。スメクタイトが Rc^0 の発現に関わることは宇野⁵⁾が報告している。石田ら⁶⁾は、緑泥石あるいは雲母粘土鉱物が Rc^0 の発現に寄与することを報告している。Aグループに属する骨材のうち、骨材Ⅲの Rc^0 が110mmol/lと最も大きく、骨材Ⅰ、Ⅱの順で小さくなる。骨材Ⅲの Rc^0 の発現にはスメクタイト、骨材Ⅱの Rc^0 の発現には緑泥石が寄与している。一方、骨材Ⅰには、スメクタイト、緑泥石とも生成しているが、その量は骨材ⅢあるいはⅡに比べれば僅かであるにもかかわらず、 Rc^0 は95mmol/lと大きい。この骨材には、スメクタイトと緑泥石と同様陽イオン交換能を有するゼオライトも相当量検出されている。骨材Ⅰの Rc^0 の発現にはゼオライトも寄与していると考えられる。

Bグループに区分される骨材Ⅳ～Ⅷはいずれも第四紀の複輝石安山岩であり、鉱物組成から主にアルカリと反応するシリカは、火山ガラスあるいは火山ガラスの脱ガラス化作用によって生じたクリストバライトあるいはトリディマイトである。これらのシリカ鉱物のアルカリ反応性は極めて大きいことが知られており、このために、

Sc^{48} は500 mmol/lを超える値となったと考えられる。

以上のことから、試験に用いたような安山岩系の骨材の生成年代および原岩の組成やその後の変質作用の影響の程度とアルカリ反応性の間には明瞭な対応関係があることが明らかになった。

次に、これらの結果をもとに、骨材としての使用法を検討した。

まず、長野県北部および東部産の変質をうけた第三紀の安山岩は、溶解シリカ量が小さくかつ Rc^0 が大きいので、限界アルカリ量は高く、通常の使用でよい骨材である。

本地域の第四紀の複輝石安山岩は、溶解シリカ量が極めて大きいうえに Rc^0 が小さく、限界アルカリ量は小さいので、十分なアルカリ量管理のもとで使用しなければならない。ただし、この種の骨材は、細骨材に同種の反応性の高いものか、Aグループのような Rc^0 の大きい骨材を使用すると、限界アルカリ量が高くなる場合もある。逆に、 Sc と Rc がともに小さいなど反応性の異なる骨材と混合使用するとアルカリ骨材反応による劣化の危険性が增大することが知られている⁷⁾。このことは、細骨材に反応性の低い骨材を使用した場合も、アルカリ骨材反応による劣化の危険性が增大することを示唆している。いずれにせよ、アルカリ反応性は高い骨材であるから、反応性の異なる骨材との混合使用は極力避けるとともに、十分なアルカリ量管理のもとで使用することが肝要な骨材である。

6. あとがき

本報告は、長野県北部および東部でコンクリート用骨材として採取されている砕石の岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性について検討したものである。日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局の高薄和雄次長、相良邦臣軌道課長（現東京支社）、北川隆計画課長（現本社）には、改良化学法による骨材調査の機会を与えていただいた。

（財）鉄道総合技術研究所の立松英信基礎研究部長には、調査全般および本報告のまとめにあたり、多大なるご支援とご指導をいただいた。また、（財）鉄道総合技術研究所企画室水野清主席には、岩石鑑定を実施していただいた。さらに、試験の実施にあたっては、（株）JR総研サービスの荒畑利一氏と（株）テスの清野和代さんにご協力いただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 佐々木孝彦・石田良二・鈴木喜弥：長野県北部および東部産のコンクリート用骨材について（その1）－河川砂利の岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性－、建設用原材料、Vol.6、No.1、pp.34～42、1996

- 2) 植村武・山田哲雄ら：日本の地質「中部地方Ⅰ」、共立出版、1988
- 3) 立松英信・佐々木孝彦・水野清：コンクリート用骨材の有効利用について－改良化学法の活用－、建設用原材料、Vol.1、No.2、pp.7～13、1991
- 4) 佐々木孝彦・立松英信・岩崎孝：骨材のアルカリ反応特性－とくに石英質について－、骨材資源、Vol.19、No.76、pp.184～190、1988
- 5) 宇野泰章：コンクリート用骨材中のスメクタイトの陽イオン交換、建設用原材料、Vol.1、No.2、pp.14～18、1991
- 6) 石田良二・佐々木孝彦：堆積岩系骨材における改良化学法の指標－ R_c^0 の発現について－、建設用原材料、Vol.2、No.2、pp.23～30、1992
- 7) 小林一輔・丸章夫・立松英信：コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ2「アルカリ骨材反応の診断」森北出版、p.9、1991

(1996年9月19日受付 10月4日受理)