

# 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—

STUDY ON CONCRETE AGGREGATES OCCURRING IN NORTHERN AND EASTERN DISTRICTS, NAGANO PREFECTURE (1)  
-RELATION BETWEEN PETROLOGICAL AND MINERALOGICAL PROPERTIES AND ALKALI REACTIVITIES OF GRAVELS-

佐々木 孝彦\* ・石田 良二\*\* ・鈴木 喜弥\*\*\*  
by Takahiko SASAKI, Ryoji ISHIDA and Yoshida 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、当該地方で採掘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。本報は、第1報として、当該地方で採取されている河川砂利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

長野県は、本州中央部に位置し、フォッサマグナおよびその西縁に分布する糸魚川—静岡構造線(糸静線)、中央構造線(MTL)といった構造線が複数分布し、地

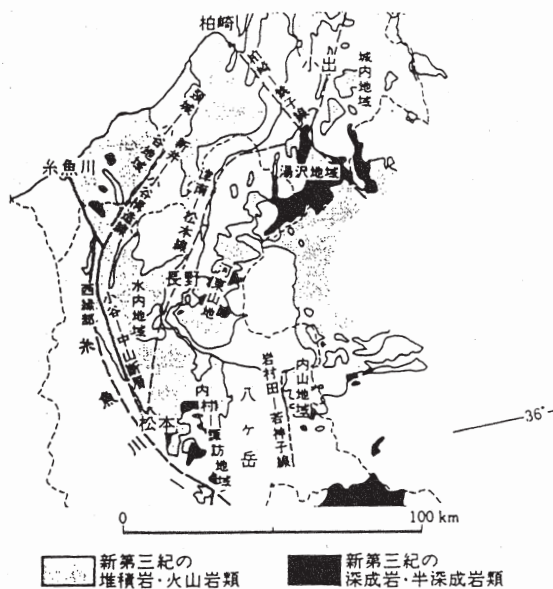


図-1 長野県北部および東部の第3系地質区分<sup>1)</sup>

質の分布、地質構造とも複雑であり、またそれらの構造線を境界に岩種、地質構造等が大きく異なる。

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区分されており、主として新第三紀中新世堆積岩類や火山岩類が分布している。

本地域の地質は、図-1に示すように、北信地区では千曲川を境に河東山地と水内地区、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、水内地区は、主に、れき岩、砂岩、泥岩の堆積岩が厚く分布している。また、この地域には、地域の北～西側に存在する戸隠、飯縄山などに由来する火山岩や火山砕屑岩(凝灰岩、凝灰角れき岩など)も分布する。河東山地、内村—諏訪地域は主として変質した安山岩～玄武岩の火山岩類と、それを貫く新第三紀の花崗岩類が分布する。さらに、内山地域には主に泥岩と火山砕屑岩が河東山地の中古生界を不整合に覆って分布している。

長野県北東部には、地域中央をわが国で最も長い千曲川(新潟県に入り信濃川と名称が変わる)が流れている。千曲川は、長野・群馬・埼玉の県境付近を源流とし、佐久・小諸・上田を北西方向に流下し、更埴市付近でくの字に曲折し、北東方向に向きをかえて新潟県に流下している。千曲川流域には、上田盆地、長野盆地などの細長く続く平坦地がいくつか分布し、また、犀川、梓川をはじめとする大小の支流が流れ込んでいる。千曲川流域には、氾濫源堆積物(河川砂利)が厚く堆積しており、砂利の採取が多く行われている。河川に堆積した砂利の岩種は後背地に分布する岩石やその基盤の岩石の影響を大きく受ける。今回試験を行った砂利も採取地により岩種構成が異なり、後述するように後背地の地質を反映した結果となっている。

\* (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)技術研究所地盤研究室 副室長  
(〒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)

## 3. 試験概要

### 3.1 調査対象骨材

試験の対象とした骨材は、現在、コンクリート用骨材として使用されている砂利(粗骨材)である。採掘箇所は、図-2に示す7箇所、千曲川流域で5箇所、犀川流域で1箇所および梓川流域で1箇所である。

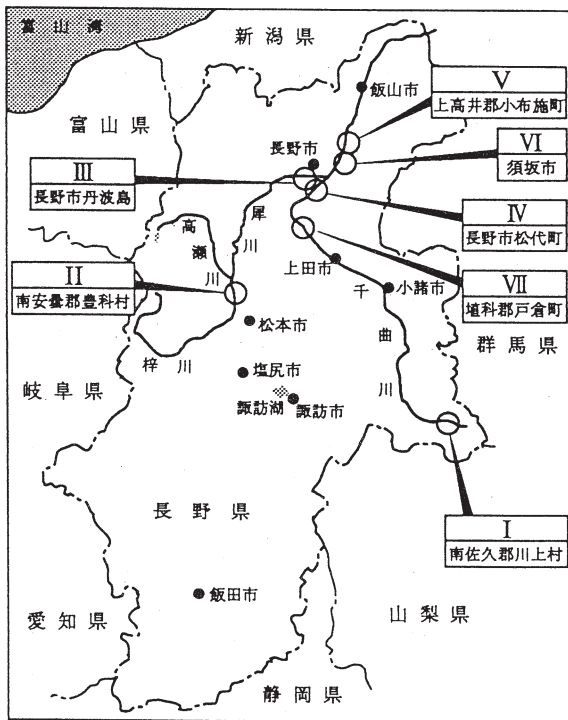


図-2 河川砂利の採取箇所

### 3. 2 岩石・鉱物学的試験

骨材の岩石・鉱物学的特徴を把握するため、主な構成岩石の種類と量比あるいは構成岩石の鉱物学的特徴を調べた。構成岩石の種類と量比は、肉眼観察により求めた。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。粉末X線回折に用いた試料は、砂利の鉱物組成を変えないように粗粉碎した後、一部を磨砕したものである。構成鉱物の量比は、各鉱物固有の最強線のX線回折強度と偏光顕微鏡観察結果を参考に求めた。偏光顕微鏡観察に使用した薄片は、肉眼観察により区分された構成岩石を用いて作成した。

### 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<sup>2)</sup>に準じて調べた。改良化学法は、使用する細骨材と粗骨材それぞれについて化学法に準じた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の経時変化と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Rc<sup>0</sup>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。シリカ鉱物の反応性に関わる尺度であるSc<sup>24</sup>とSc<sup>48</sup>は、アルカリ処理温度が80℃で24時間あるいは48時間の溶解シリカ量である。

## 4. 試験結果

### 4. 1 骨材を構成する岩石の特徴

主な構成岩石の種類と量比を表-1に示す。骨材を構成する岩石の組み合わせは、砂岩、チャートおよび花崗岩を主とする場合と、砂岩や頁岩などの堆積岩類と安山岩を主とする場合に大別される。なお、今回調査した全ての骨材には頁岩等の細粒堆積岩が含まれる。骨材I～VIは含有量が少ないので砂岩として一括したが、骨材VIIは含有量が多いので頁岩として分類した。

砂岩、チャートおよび花崗岩を主とするものは、花崗岩を比較的多く含むものとチャートを比較的多く含むものに細分される。前者には千曲川上流域の骨材Iと梓川流域の骨材II、後者には犀川流域の骨材IIIおよび犀川と千曲川の合流点付近の骨材IVが区分される。堆積岩類と安山岩を主とするものは、地域としては千曲川中流域であり、これには骨材V、VIおよびVIIが区分される。

表-1 主な構成岩石の種類と量比による分類

グループ	骨材	構成岩石と量比 (%)
A	I	砂岩 (75)、花崗岩 (20)、チャート (5)
	II	砂岩 (80)、花崗岩 (10)、チャート (10)
B	III	砂岩 (70)、チャート (25)、花崗岩 (5)
	IV	砂岩 (60)、チャート (20)、花崗岩 (20)
C	V	砂岩 (50)、安山岩 (50)
	VI	砂岩 (30)、安山岩 (40)、チャート (10)、花崗岩 (20)
	VII	砂岩 (25) 頁岩 (20)、安山岩 (45)、閃緑岩 (10)

骨材を構成する個々の岩石の粉末X線回折結果と偏光顕微鏡観察結果を参考に求めた鉱物組成を表-2に示す。表中のプラス記号は量的目安で、数が多いほど量も多いことを示す。また、典型的な岩石の偏光顕微鏡写真を写真-1~10に、X線回折パターンを図-3~8に示す。

骨材I~IVを構成する砂岩はいずれも、中~細粒の石英、長石を主体とし、雲母および緑泥石などの鉱物粒子やチャート、頁岩、安山岩の岩片を少量含んでいる。これらの間を膠結物質が埋める組織(写真-1、2)を示す。僅かに含まれるチャート岩片には粒径10 $\mu$ m以下の石英(以下微小石英という)が含まれる。なお、微小石英は膠質物質中にも含まれることがあるが、この場合は認められない。花崗岩類は、石英、長石、黒雲母を主体とし、一部角閃石を含んでいて、鏡下では等粒状の組織を示す。黒雲母や長石が変質し、緑泥石などの粘土鉱物が生成しているものもある。花崗岩はその鉱物組成によって花崗岩~石英閃緑岩までいくつかに細分されるが、

ここでは花崗岩類として一括した。チャートは僅か雲母を含んでいる場合もあるが、石英脈と微小石英からなる。骨材IIIのチャートに含まれる微小石英は3~5 $\mu$ mであるのに対して、骨材IVの場合は、5~10 $\mu$ mのようやや大きい(写真-5、6)。

骨材V~VIIを構成する砂岩は、A、Bグループの砂岩と同様の鉱物組成と組織を示すが、雲母や緑泥石の回折ピークはブロード(図-3、4)で、結晶性は低いものと判断される。また、骨材VIIには、僅かにホルンフェルス化した頁岩が20%含まれる。これには、5 $\mu$ m程度の微細な結晶性の低い雲母が含まれる。骨材V~VIIのもう一方の構成岩石である安山岩はいずれも斑状組織を示し長石と輝石を多く含む輝石安山岩であるが、骨材により組織、構成鉱物、変質度等が異なる。骨材Vの2種類の安山岩のうち1種類は、石基がガラス質である。ガラスは新鮮(図-7および写真-7)で、量的にも多い。骨材VIの安山岩は、半~完晶質の石基を有し、全体的に変

表-2 鉱物組成

骨材	岩石	Q	F	Mi	Py	Ch	Sm	Ca	その他	その他岩片	反応に関わる鉱物	Rc <sup>o</sup> に関わる鉱物
I	砂岩	+++	+++	++		±	±			Cht, An	MQ(5%以下)	
	花崗岩類	++	+++	++		±						
	チャート	+++		±		±					MQ(10~20%)	
II	砂岩	+++	+++	+		±				Cht, An	MQ(5%以下)	
	花崗岩類	++	+++	+		±						
	チャート	+++		+		±					MQ(40~50%)	
III	砂岩	+++	++	+		±				Cht, Sh	MQ(5%以下)	
	チャート	+++		±		±					MQ(40~50%)	
	花崗岩類	+++	++	+		+			Ho			
IV	砂岩	+++	++	+		±	±			Cht, An, Sh	MQ(5%以下)	
	チャート	+++						±			MQ(70~80%)	
	花崗岩類	+++	++	+		+						
V	砂岩	+++	+++	±		+		+			MQ(10~20%)	Ch, Mi*
	安山岩 I 安山岩 II	±	+++ +++		++ +	±			Gl Gl, Ho		Gl(少) Gl(多)	
VI	砂岩	+++	+++	+		±				Cht, An, Sh	MQ(5%以下)	
	安山岩	+	+++		++	±	++		Tr		Tr(中)	Sm
	チャート	+++		+		±					MQ(10~20%)	
	花崗岩類	++	+++	±		+						
VII	砂岩	+++	+++	±		+				Cht, An, Rh	MQ(10~20%)	Ch, Mi*
	頁岩	+++	++	++		±						
	安山岩 I 安山岩 II	+	+++ ++	±	+	++ +			Ho, Gl, Cr		Gl(小), Cr(小)	
	花崗岩類	+++	++	+		+			Ho			

Q: 石英    Py: 輝石    Ca: カルサイト    Cr: クリソプライイト    Tr: トリディマイト    Cht: チャート    Rh: 流紋岩  
F: 長石    Ch: 緑泥石    Ho: 角閃石    MQ: 微小石英    An: 安山岩  
Mi: 雲母    Sm: スメクタイト    Gl: 火山ガラス    Mi\*: 微細な雲母    Sh: 頁岩

(直交ニコル)

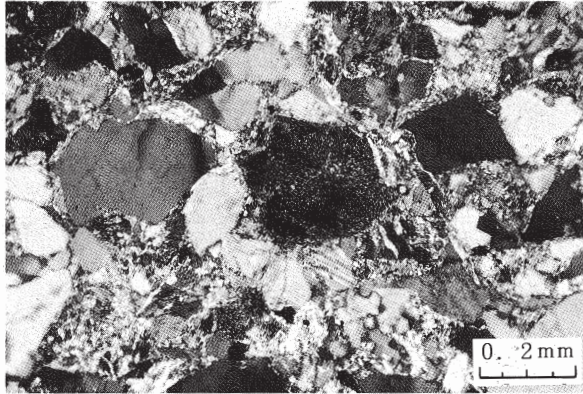


写真-1 砂岩 (骨材I)

0.2 ~ 0.3 mmの石英・長石粒子を主体とし、  
その間を雲母等の細粒鉱物が充填している。

(直交ニコル)

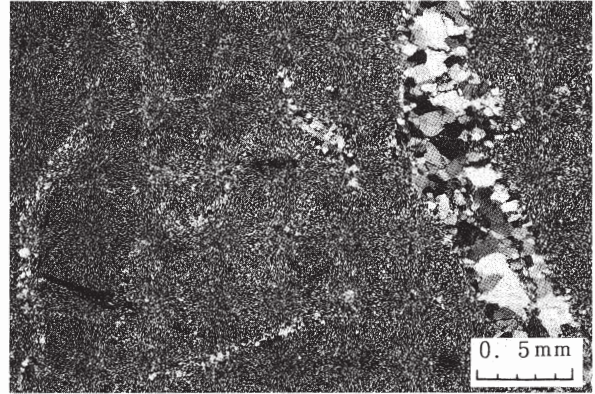


写真-4 チャート (骨材IV)

比較的粗粒な石英脈が発達し、それらの間  
を微小石英が充填している。

(直交ニコル)

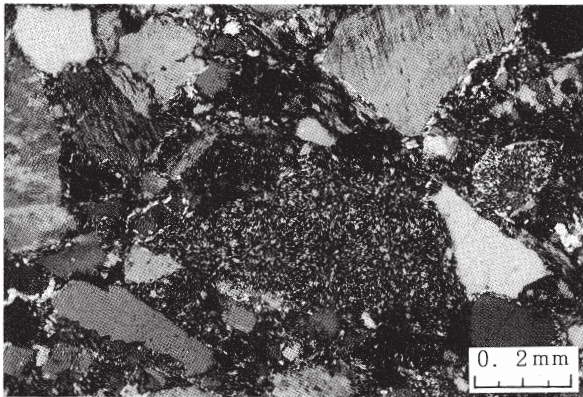


写真-2 砂岩 (骨材IV)

チャート岩片 (写真中央) に由来すると思  
われる微小石英が存在する。

(直交ニコル)

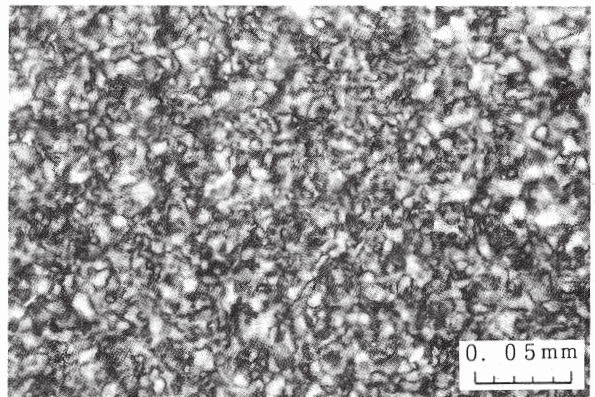


写真-5 チャート (骨材IV)

微小石英部分の拡大。

(直交ニコル)

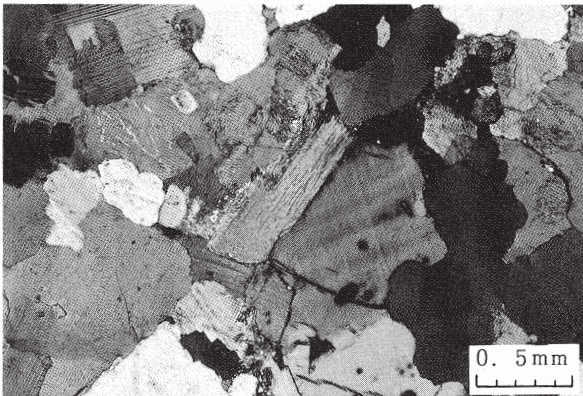


写真-3 花崗岩 (骨材I)

等粒状組織を示す。黒雲母 (中央) の周囲  
に石英、長石 (カリ長石、斜長石) が認めら  
れる。

(直交ニコル)

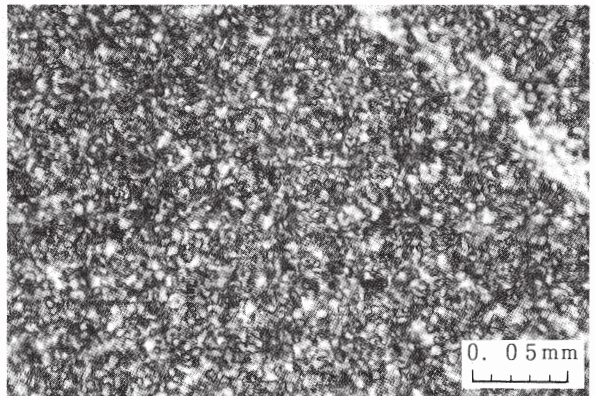
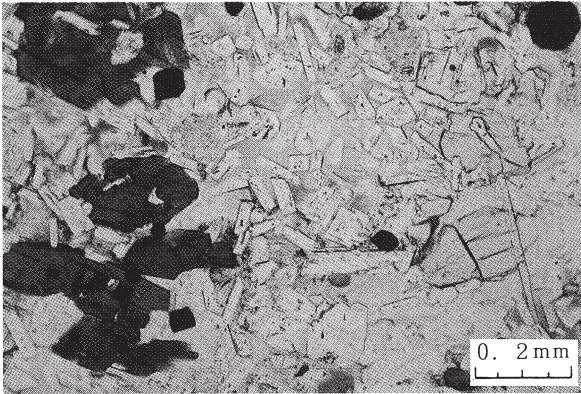


写真-6 チャート (骨材III)

微小石英部分の拡大。骨材IV (写真-5)  
と比較するとやや小さい。

(単ニコル)



(直交ニコル)

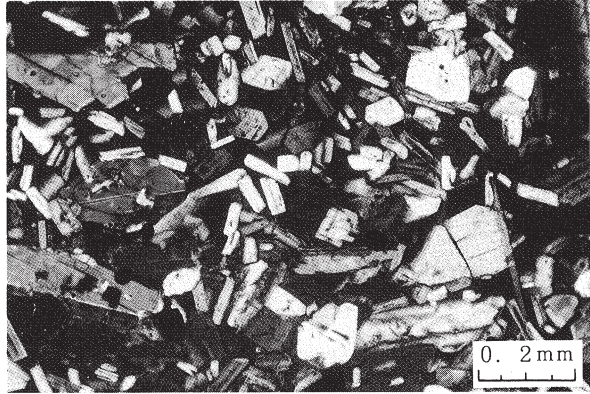
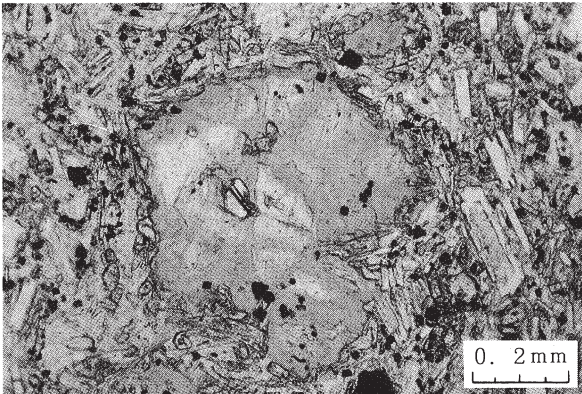


写真-7 安山岩 [ガラス質] (骨材V)

角閃石 (茶色)、輝石、斜長石の間をガラス質の石基 (単ニコルで無色～淡茶褐色、直交ニコルでは暗黒) が充填する。

(単ニコル)



(直交ニコル)

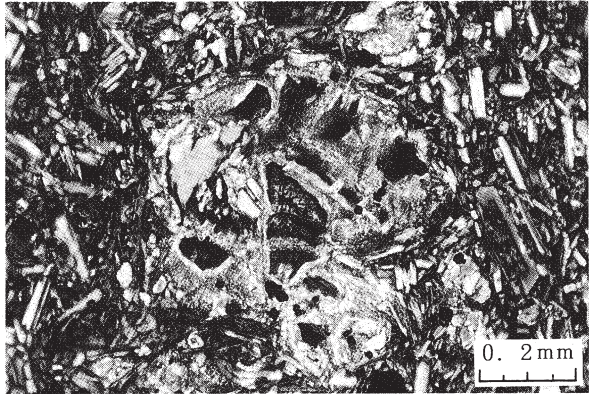
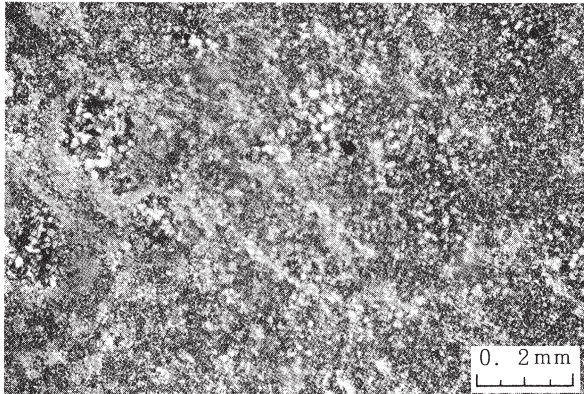


写真-8 安山岩 [スメクタイト] (骨材VI)

斑状組織を示す安山岩。輝石が変質したと思われるスメクタイト、緑泥石、トリディマイトが集合 (写真中央) して認められる。周囲の灰色～灰白色の細長い鉱物は斜長石である。

(直交ニコル)



(直交ニコル)

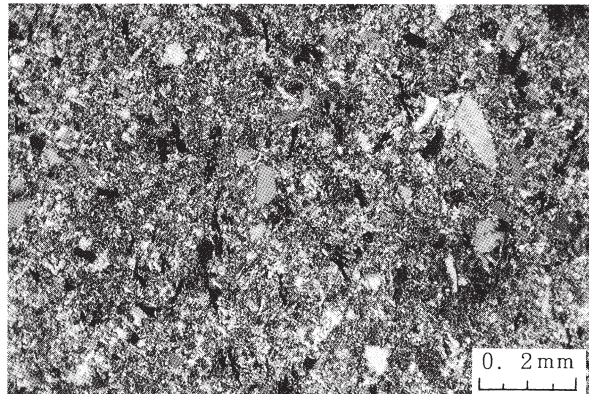


写真-9 チャート (骨材VI)

カルセドニー (円～楕円) および微小石英を含むチャート。

写真-10 頁岩 (骨材VII)

10~50 $\mu$ mの石英粒子を多く含む頁岩。僅かにホルンフェルス化し、微細な雲母が多く認められる。

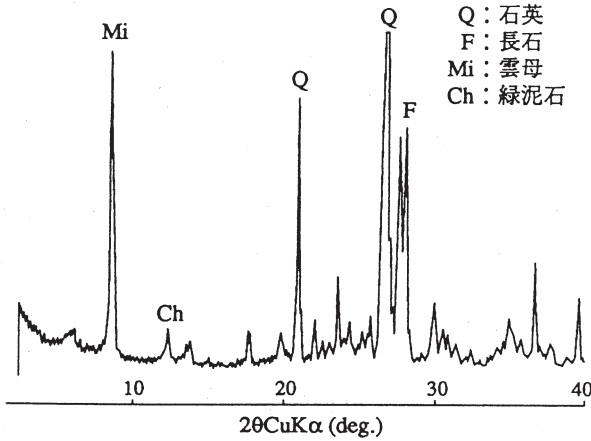


図-3 砂岩(骨材I)の粉末X線回析パターン

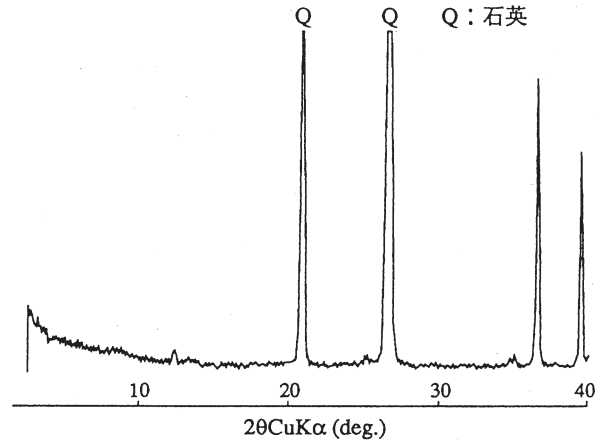


図-6 チャート(骨材I)の粉末X線回析パターン

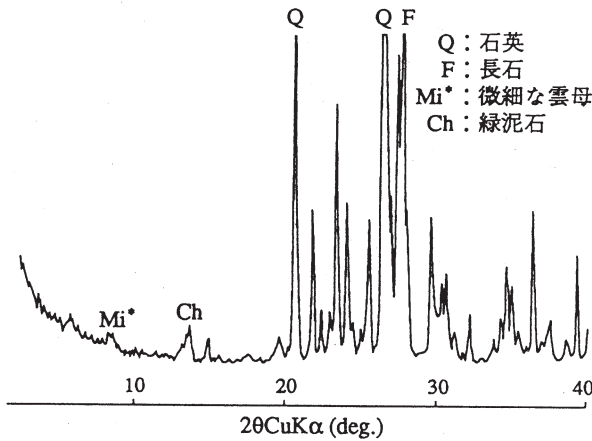


図-4 砂岩(骨材VII)の粉末X線回析パターン

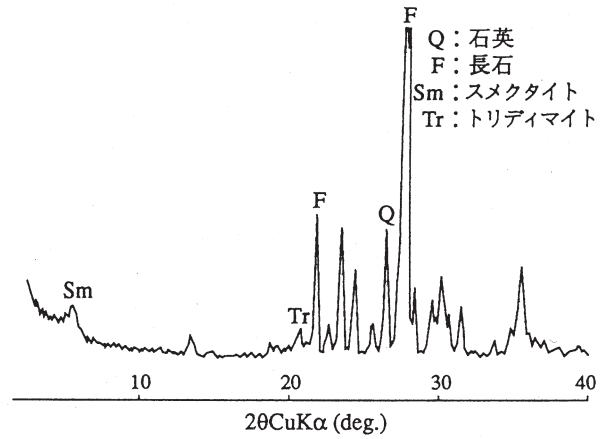


図-7 安山岩(骨材VI)の粉末X線回析パターン

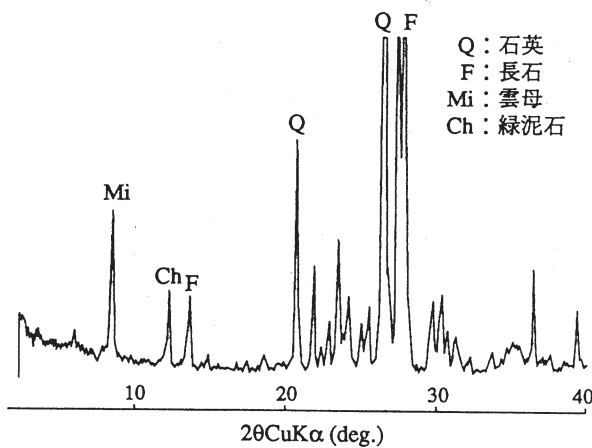


図-5 花崗岩(骨材I)の粉末X線回析パターン

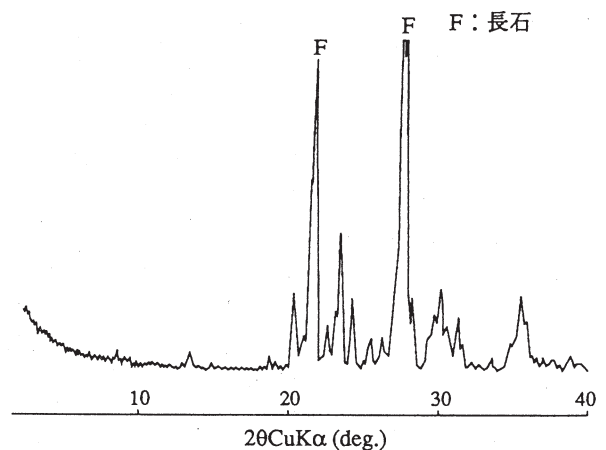


図-8 安山岩(骨材V)の粉末X線回析パターン

質を受けており、班晶および石基の輝石は、大部分がスメクタイトや緑泥石およびトリディマイトに交代されている(図-8および写真-8)。骨材VIIの安山岩のうち1種類は半ガラス質であり、石基にガラスと思われる褐色の部分が斜長石を埋めるように多く存在する。この部分は、僅かに結晶化したクリストバライトが含まれてい

る。また、骨材VIIの2種類の安山岩は、いずれも石基の一部が変質して2次的に石英が生成しており、これらの粒径は10~20 $\mu$ m程度である。骨材VIには、安山岩、砂岩の他にチャート、花崗岩類が含まれる。このうち、チャート中には微小石英とカルセドニーが20~30%程度含まれる(写真-9)。

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、化学法の判定図を図-9に示す。

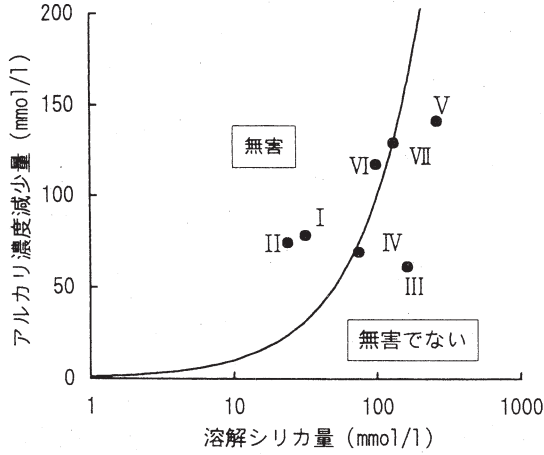


図-9 化学法の判定図

化学法の判定によれば、骨材IとIIは明らかに「無害」と判定される。骨材IIIとIVのScは、骨材IとIIに比べれば大きい、Rcは同等または小さく、化学法ではいずれも「無害でない」と判定される。ただし、骨材IVは、判定基準線近傍に位置するもので、「無害」/「無害でない」の区分は難しいものである。骨材V、VI、VIIのScは、骨材IIIとIVと同等またはそれ以上で、Rcも大きい。骨材VのSc、Rcは、今回調査したなかで最も大きく、「無害でない」と判定される。また、骨材VIは「無害」、骨材VIIは「無害でない」と判定されるが、いずれも判定基準線近傍に位置し、骨材VIと同様「無害」/「無害でない」

の区分は難しいものである。

そこで、改良化学法の指標 $Rc^0$ と尺度 $Sc^{24}$ 、 $Sc^{48}$ を考慮し、アルカリ反応性を検討した。一般に、「骨材自体が吸着・固定するアルカリ量」を表す「 $Rc^0$ 」の値が大きいと、シリカ鉱物との反応に関わるアルカリは少なくなり、アルカリ骨材反応による有害な膨張を生じる限界のアルカリ量は高くなることが知られている。このように、 $Rc^0$ は、限界アルカリ量に密接に関連する指標である。骨材I、II、III、IVの $Rc^0$ は、30~50mmol/lの範囲の比較的小さい値であるが、骨材V、VI、VIIの $Rc^0$ は60mmol/l以上であり、アルカリの吸着・固定能は大きい。次に、溶解シリカ量に関わる尺度について検討する。図-10には、溶解シリカ量の経時変化を示した。骨材I、IIの $Sc^{48}$ はいずれも100mmol/l以下で、溶解シリカ量は少ないが、骨材III、IV、V、VI、VIIの $Sc^{48}$ は、いずれも200mmol/l以上で、後者のシリカ鉱物の反応速度は大き

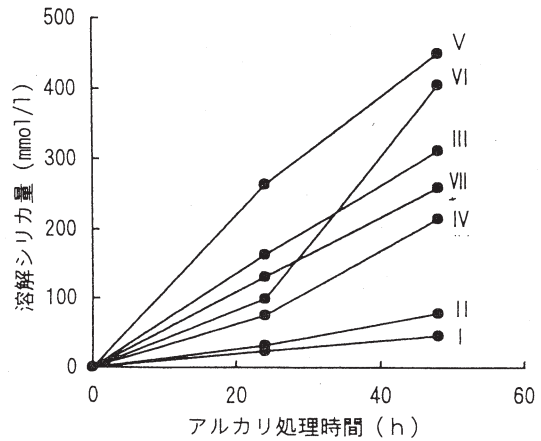


図-10 溶解シリカ量の経時変化

表-3 アルカリ反応性試験結果

骨材	化学法			改良化学法		
	Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)	化学法の判定結果	$Rc^0$ (mmol/l)	$Sc^{24}$ (mmol/l)	$Sc^{48}$ (mmol/l)
I	32	78	無害	35±5	32	78
II	24	74	無害	40±5	24	46
III	163	61	無害でない	45±5	163	311
IV	75	69	無害でない (基準線近傍)	50±5	75	215
V	264	141	無害でない	65±5	264	449
VI	99	117	無害 (基準線近傍)	90±5	99	404
VII	131	129	無害でない (基準線近傍)	60±5	131	259

い。また、骨材VIだけは、他と経時変化の傾向が異なっており、アルカリ処理時間24時間以降に急増する変化を示す。

以上をまとめると、各骨材のアルカリ反応性は表-4のように区分される。Aグループの骨材のアルカリ反応性は、 $Rc^0$  が小さく、溶解シリカ量も少ないものである。Bグループの骨材は $Rc^0$  は小さいが、溶解シリカ量は多いものである。Cグループは $Rc^0$  も大きく、溶解シリカ量も多いものである。

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	$Rc^0$ 小、 $Sc^{4+}$ 少
B	III、IV	$Rc^0$ 小、 $Sc^{4+}$ 多
C	V、VI、VII	$Rc^0$ 大、 $Sc^{4+}$ 多

## 5. 考察

各骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性との関係については次のように考えられる。Aグループに区分される骨材I、IIの造岩鉱物のうち、主にアルカリとの反応に関わるのはシリカ鉱物である。このグループではシリカ鉱物は、砂岩およびチャートに微小石英として含まれるが、骨材全体に対する量が少ないために、 $Sc^{2+}$ 、 $Sc^{4+}$ は小さいと考えられる。

Bグループに区分される骨材III、IVも主にアルカリと反応するシリカ鉱物は、砂岩およびチャートに含まれる微小石英である。ただし、これらの $Sc^{2+}$ 、 $Sc^{4+}$ が骨材I、IIに比べて大きいのは、微小石英を比較的多く含むチャートの構成比率が20~25%と高いことによる。ここで、骨材IVの溶解シリカ量の経時変化が骨材IIIとは異なっているのは、骨材に含まれるチャート中の微小石英の粒径が異なるため、骨材IVの方が骨材IIIに比べて大きいことによるものと思われる。

Cグループについては個々の骨材によって、岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性の関係が異なる。骨材Vを構成する安山岩には火山ガラス、砂岩には微小石英が含まれている。火山ガラスの方が微小石英に比べれば反応は早いこと、砂岩中の微小石英の量は多くないことから、主にアルカリとの反応に関わるのは、安山岩中の火山ガラスである。一方、 $Rc^0$  の発現に関わる鉱物は、砂岩中の緑泥石などの粘土鉱物である。骨材VIIも主にアルカリと反応するのは、火山ガラスと火山ガラスの結晶化によって生じたクリストバライトである。 $Rc^0$  の発現には、砂岩に含まれる緑泥石などの粘土鉱物の他に、頁岩中に含まれる微細な雲母も寄与していると考えられる。骨材VIの溶解シリカ量の経時変化は、骨材V、VIIとは異なっており、アルカリ処理時間24時間以降に急増する。また、

$Rc^0$  は90mmol/lで今回調査した中では最も大きい。骨材VIを構成する安山岩には、トリディマイトが検出されており、また、同じ骨材VIのチャートには、微小石英が含まれる。これらはいずれもアルカリとの反応に大きく関わる鉱物である。さらに、この安山岩には変質によって生成したスメクタイトが検出されている。スメクタイトが $Rc^0$  の発現に関わることは宇野<sup>3)</sup>が報告している。また、立松ら<sup>2)</sup>は、 $Rc^0$  の発現に対するスメクタイトの寄与と緑泥石あるいは雲母粘土鉱物のそれでは、前者の方が大きいことを指摘している。Cグループの骨材が大きな $Rc^0$  を有するのはこのような理由によると考えられる。

以上のように、骨材の岩石・鉱物学的特徴とアルカリ反応性と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について考察した。

まず、千曲川上流域、梓川流域の砂利は砂岩と花崗岩を主体とし、反応性は低いいため、通常の使用でよい骨材である。

犀川流域、千曲川と犀川の合流点付近の砂利は、砂岩とチャートを主体とし、微小石英がアルカリとの反応に関与するため、溶解シリカ量は多い。これらの $Rc^0$  は小さいので、限界アルカリ量は低くなるため、使用に当たってはセメントや混和材のアルカリ量をできるだけ抑えるなど十分な注意が必要である。

千曲川中流域の砂利は、砂岩や頁岩などの堆積岩類と安山岩を主体とし、 $Rc^0$  も大きく溶解シリカ量も多い。これらは、化学法では「無害でない」あるいは判定基準線近傍にあるが、 $Rc^0$  が大きいために限界アルカリ量は高くなる。この種の骨材は、適切なアルカリ量管理のもとで用いれば、劣化の懸念は排除され、骨材資源の有効利用にも役立つものである。

## 6. あとがき

本報告は、長野県北部および東部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、ご支援とご指導をいただいた。また、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。

なお、当該地方で採取されているコンクリート用砕石



についても検討を進めており、随時報告する予定である。

〔参考文献〕

- 1) 植村武・山田哲雄ら：日本の地質「中部地方Ⅰ」、  
p. 56、共立出版、1988
- 2) 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
- 3) 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

(1996年1月31日受付)