

[63] 札幌近郊の安山岩碎石のアルカリ・シリカ反応の可能性について

正会員 洪 悅郎（北海道大学工学部）

正会員 ○兼田 英治（北海道大学工学部）

正会員 田畠 雅幸（北海道大学工学部）

村上 雅一（北海道大学大学院）

1. まえがき

近年、輝石安山岩碎石を用いたコンクリートのアルカリ・シリカ反応による劣化が問題となり、社会的な反響を呼んでいる。北海道産の骨材についても、ある種の輝石安山岩が高アルカリの条件で有する膨張を示したとの報告が見られ、これらの骨材を含む流通骨材のアルカリとの反応性について具体的な情報を得ることが急務となつていて。本研究は、このような観点から実施するもので、以下に示す特殊な例を除いて、これらの骨材を用いたコンクリートで異常な膨張が生じたとの情報には接していない。なお、文献3)で実験の一部を報告している。

2. 屋外暴露試験体の異常膨張

砂利利用技術に関する阿部の研究は、その一環として、昭和51年から近郊の碎石、砂利を用いたコンクリートの屋外暴露試験を行なつてきました。⁴⁾図1は、この過程で得られた線膨張係数の測定結果を示したもので、水セメント比4.0%の試験体で翌年、5.0%で4年後の段階で異常な膨張とそれにともなうひびわれが認められた。この膨張は、当初は凍害によるものと考えていたが、その後、同時に作製して20%の水槽中に放置した試験体にも異常なひびわれが観察され（写真1）、また、水セメント比4.0%の試験体の最初の膨張が夏期に生じたことが判明した。寒冷地の暴露試験であり、凍害の影響を無視できないが、この劣化にはアルカリ骨材反応が重要な役割をはたしているとの疑いが強く、凍害は、これに付随したものと判断することになつた。

コンクリートの調合を表1に示す。該当するコンクリートは碎石と砂利によるnon A-Eコンクリートで、単位セメント量が極端に高いものであつた。

3. 札幌近郊の安山岩碎石とその性質

(1) 札幌近郊の地質と碎石の採取

札幌市は、石狩川の支流である豊平川の流域にある。この西方には火山岩質の山岳地帯がひかえ、東方、南方には、それれ、石狩川流域の平坦地、支笏火山による火山灰地が位置し、北方にはやや離れて西方山岳地帯に対応する山塊が位置している。

コンクリート用骨材としての碎石は、すべて図2に示す西方山岳地帯の外縁部から採取されている。地質図の解説書によると、この西方山岳地帯は、本

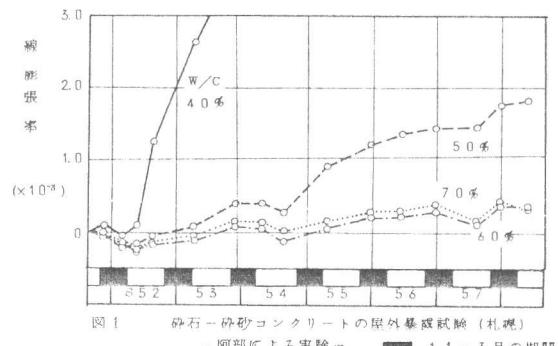
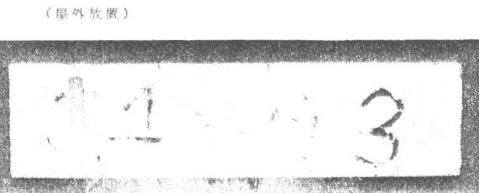


図1 碎石-砂利コンクリートの屋外暴露試験（札幌）
—阿部による実験— ■ 11～3月の期間



（20℃水槽中）



写真1 試験体の7年後の状況 (W/C 4.0%)

表1 コンクリートの調合と性状

W/C (%)	単位水量 (kg/m³)	単位セメン ト量(kg/m³)	絶対容積 (L/m³)			スランプ (cm)	4週強度 (%)
			セメント	細骨材	粗骨材		
4.0	24.8	6.21	1.97	2.51	2.94	1.90	44.2
5.0	23.4	4.69	1.49	3.13	2.94	2.05	38.3
6.0	23.2	3.87	1.23	3.41	2.94	2.05	29.6
7.0	23.3	3.33	1.06	3.57	2.94	2.05	22.8

州東北地方内側の地質構造と連続したグリントフ地域としての特徴をもち、火山噴出物に富む新第三紀の地層が広く分布している。同時に、この地層は、外縁部で、より新らしく、碎石の採取地は、新第三紀後期の黒松内相当層、新第三紀末から第四紀にかけての溶岩に対応し、より古紀の層と比較してグリントフ変質はほとんど受けていないとされている。

(2) 碎石の性質とシリカ成分(SiO_2)の形態

碎石は、図2の地帯に含まれる6ヶ所の採取箇所から砂礫の状態で入手し、これに、2の基盤試験で用いた骨材(骨)を加えて試料とした。

試料の化学成分組成と骨材としての試験(比重・吸水率)結果を表2に示す。化学分析の結果は、Aがいくぶん玄武岩に近い組成をもつものの、すべて安山岩の傾向に含まれ、珪酸(シリカ)に過剰和中性の火山岩であることを示している。

対象となる碎石が新鮮な岩相をもつ安山岩であり、熱水変成による軟物、オパールなどのシリカ質堆積物中の有害成分は考慮しない。このため、検討は、シリカ成分の結晶形態について行なった。粉末X線回折の結果を図3に示す。試料中、A, B, E, Fでクリストバライド、Cでトリジマイト、D, Fで石英の存在を示す強い回折線が得られBではクリストバライドに加えてトリジマイト、Fでは石英に加えてクリストバライドを示す弱い回折線が得られた。

表2 碎石の化学成分組成と骨材試験結果

記号	呼称	化 学 成 分 (%)						表乾比重	吸水率 (%)	
		1g, 100g	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO			
A	鶴石安山岩	2.83	53.74	17.20	10.16	8.94	4.38	97.25	2.64	2.51
B	角閃安山岩	0.48	58.80	17.60	7.54	7.52	3.91	95.89	2.70	1.26
C	#	1.17	60.02	16.89	8.21	6.60	3.14	96.03	2.57	2.51
D	黒雲母安山岩	2.11	61.95	16.01	7.15	5.94	2.64	95.80	2.58	2.43
E	#	3.49	58.19	17.21	7.81	6.71	3.10	96.51	2.67	1.57
F	#	29.5	58.05	18.07	7.16	6.51	3.21	95.95	2.53	2.60
(G)	輝石安山岩	2.16	60.90	17.08	7.45	5.74	2.80	96.13	2.50	3.04

表3 試料の岩石鑑定の結果 (北大理学部 勝井義雄教授による)

記号	岩 石 名	班 晶 鑑 物	石 基 相 構	石 基 相 鑑 物
A	複理石安山岩	Pt Cpx Opx Opg	インサーサークル	クリストバライド
B	かんらん石・石英含有複理石安山岩	Pt Cpx Opx Opg(Ol)(Qtz)	ピロタキシザツク	クリストバライド
C	石英含有複理石安山岩	Pt Opx Cpx Opg(Qtz)	陰微晶質	?
D	複理石安山岩	Pt Cpx Opx Opg	亮晶質	石英
E	#	Pt Cpx Opx	陰微晶質	?
F	#	Pt Opx Cpg	亮晶質	石英
(G)	#	Pt Opx Cpx Opg	陰微晶質	?

Pt: 斜長石, Cpx: 単斜輝石, Opx: 鉄輝石, Opg: 不透明鉱物, Ol: かんらん石, Qtz: 石英

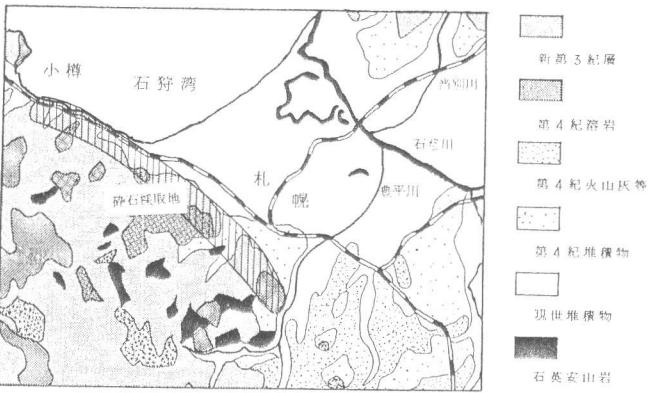


図2 札幌近郊の地質と碎石の採取
(北海道の地質図 1980年をもとに作図)

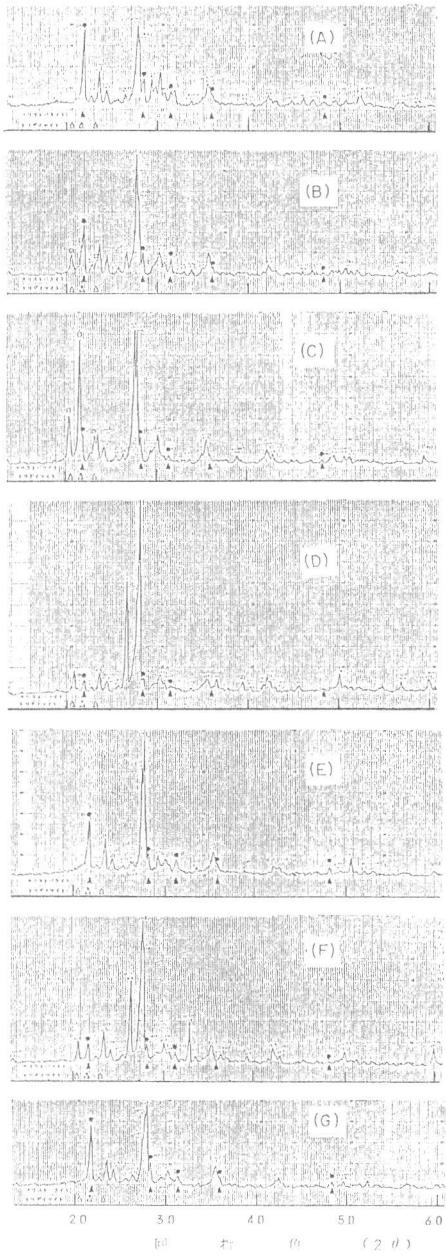


図3 骨材の粉末X線回折の結果

表3に、北大理学部勝井義雄教授による偏光顕微鏡による岩石鑑定の結果を示す。流通過程で角閃安山岩、黒雲母安山岩と呼ばれている碎石もすべて復雑安山岩であつた。また、陰微晶質で鑑定困難なC, E, Gを除き、石基のシリカ鉱物はX線回折の結果と一致した。

これらの分析の結果は、図2の狭い範囲で唯出される安山岩においても、シリカ成分の結晶形、組成が多様であることを示し、有害とされているトリジマイト、クリストバライトが、陰微晶質を含めて、これらの安山岩に比較的一般的に含まれていることを示している。

4. セメントのアルカリ分析の結果

JTS R5210にはセメントのアルカリ量の規定がなく、製品のアルカリ量は公表されていない。セメント協会の見解は最近のセメントの高アルカリ化を否定しているが、既往の報告中には極端に高いアルカリ量の測定値も見られ、実状を把握する必要がある。図4は、北海道内で市販されている8社のセメントを昭和57, 58年の2度にわたって購入して得た試料、実験室などに保管してあつた2の基盤試験で用いたセメントと同一メーカー品の分析結果を示したもので、アルカリ量の最大値は、過去を含めてNa₂O換算値1%以下の範囲であつた。基盤試験時のセメントは入手できなかつたが、この時期のセメントのアルカリ量が極端に高いとは考えにくくこと、また、アルカリ量はメーカーによつて差が大きく、低アルカリのセメントの入手も可能であることなどが判明した。

5. モルタルバー試験による反応性の検討

モルタルバー試験は、ASTM C227にしたがつて実施した。骨材はASTMの要求にしたがつて粒度分布とし、セメントは、図4から高アルカリ(Na₂O換算0.99%), 中程度(0.81%), 低アルカリ(0.32%)を選択して用いた。また、低アルカリのセメントを用い、NaOH水溶液を添加して100%, 150%, 200%のセメントアルカリ量に相当する試験体も作製した。

結果を図5に示す。粉末X線回折でクリストバライト、トリジマイトの卓越したA, B, C, E, GにおいてNaOHを添加し、アルカリ濃度を高めた試験体で著しい膨張が見られ、特にBでは、1.00%相当のアルカリ量で膨張は1.0×10⁻³を越えた。この場合、高アルカリのセメント単味のアルカリ量は0.99%でほとんど差がなく、トータルアルカリのみでは膨張量が定まらないことを示すが、すべての試験体でトータルアルカリが多いほど大きな膨張が見られた。高アルカリとの組み合せでの膨張挙動は、石英の卓越したD, Fを除いてすべて認められているが、2の基盤試験で用いたGを含めて、セメントの

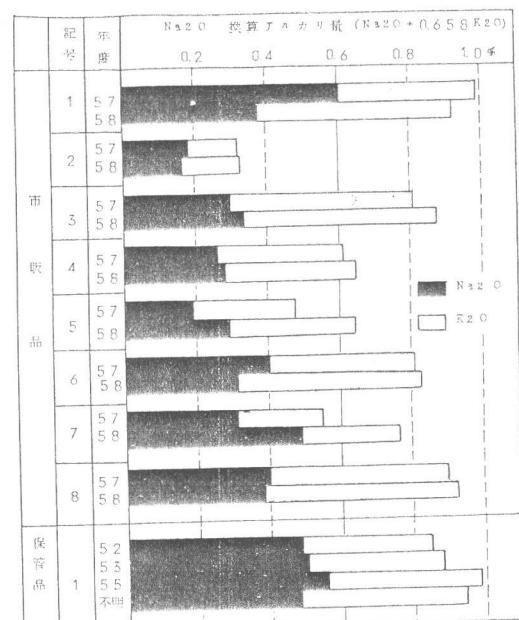


図4 セメントのアルカリ分析の結果

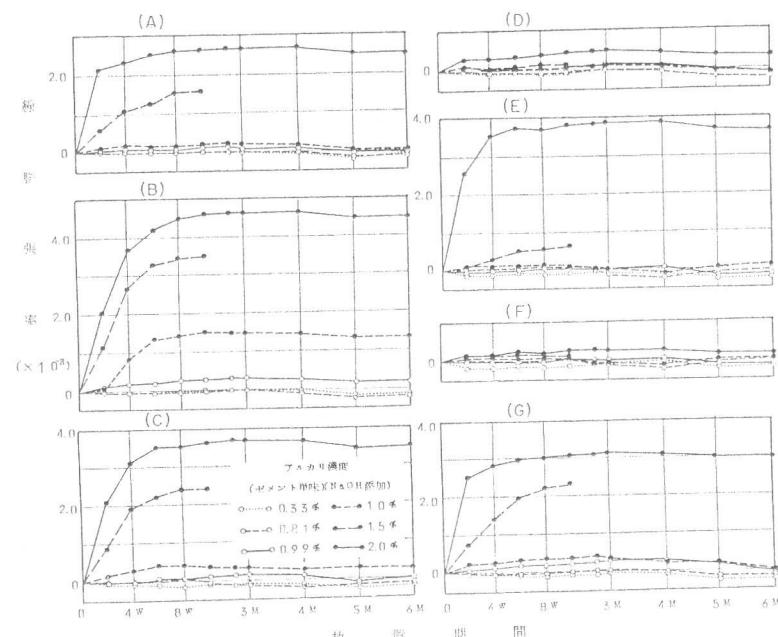


図5 モルタルバー試験の結果

みを用いて NaOH を添加しなかつた試験体では、膨張はまったく認められなかつた。

6. コンクリートによる影響要因の検討

モルタルバー試験で最も大きな膨張を示した B を粗骨材とし、低アルカリのセメントに NaOH を添加したコンクリートにより、コンクリートとした場合の基礎的な要因の影響を検討した。実験は、実験計画法 L8 によるもので、表4の条件を割りつけた 8 条件 16 本の試験体を 38°C 飽和の反応促進槽、水槽室の気中 ($20^\circ\text{C} 80\%$ 以上) と、水中、屋外に配置した。材令 3 カ月までの範囲で、膨張はモルタルバー試験と同じ条件である反応槽の試験体でのみ見られ、この場合においても、最も早い試験体で膨張の開始には 4 週間の放置期間を必要とした。

図 6 は、3 カ月放障段階の膨張量を要因、水準ごとにとりまとめたものである。実験規模が小さく、結果をうのみにはできないが、膨張には、アルカリ濃度のほか、水セメント比、スランプの影響の大きいことが示されている。水セメント比が低いほど、スランプが大きく単位セメント量が多いほど膨張する傾向が見られ、2 の基礎試験とある程度対応する結果となつた。また、A E 剤により膨張が緩和される傾向が見られたが、細骨材として用いた骨材も高アルカリのもとで膨張が見られたものであることから、反応性粗骨材の Pessimum 値は得られなかつた。

7. まとめ

札幌近郊の安山岩碎石のアルカリ・シリカ反応に関する検討の結果、狭い採取範囲にもかかわらず石基のシリカ成分の形態は多様で、有害といわれているクリストバライト、トリジマイトを含み、高アルカリの場合に膨張する骨材がかなりあることが明らかとなつた。しかし、微晶質の場合を含めて、これらの骨材は現在流通しているセメントとの組み合わせでは膨張性が認められず、有害であるときめつけることはできない。アルカリ濃度との関係が重要であり、アルカリ濃度を高めると考えられるセメント以外の要因も考慮して慎重な対応をする必要がある。またコンクリートとしての要因の影響も大きく、詳細な検討が必要と考えてる。なお、現在、北海道内の流通骨材の検討も行なつてゐるが、クリストバライト、トリジマイトを含み、高アルカリの場合に膨張する骨材の存在は、札幌近郊のみの特殊な例とは考えにくい。

謝辞 本研究の実施にあたり、北海道大学理学部 勝井義雄教授には、岩石の鑑定をしていただきいたほか、岩石学的な知識についての指導を受けた。記して謝意を表します。工学部 松下 敦教授には X 線回折の便宜と種々の示唆をいただきました。また大阪工業大学二村誠二講師からは関西方面の反応性骨材についての実験資料を、寒地建築研究所阿部道彦研究員からは暴露試験データをいただきました。岩石の化学成分、セメントのアルカリ成分の分析には日鉄セメント研究開発部下林清一氏の協力を得た。また、卒業論文として実験に取り組んだ辻木秀明君の努力に負うところも大きい。感謝いたします。本研究は、文部省科学研究費（試験）によるものである。

文献 1) 福島、二村：コンクリート用碎石のアルカリ骨材反応性、セメントコンクリート 438, 1983. 2) 西、他：安山岩碎石のアルカリ骨材反応、セメント技術年報、1982. 3) 村上、洪、他：北海道産骨材の安定性に関する実験、建築学会大会（東北）1982. 4) 阿部 洪：碎石コンクリートの長期材令における性状、建築学会大会（東北）1982. 5) 北海道地下資源調査所：北海道の地質、60 万分の 1 北海道の地質図 6) 武井：PC 板ボップアウトの原因と再現実験について、建築学会大会（東北）、1982.

表4 実験の要因と水準

反応性粗骨材混入率 (%)	アルカリ濃度 (%)	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	混和剤
100	2.0	40	8	non
80				
60	1.5	50	18	AR
40				

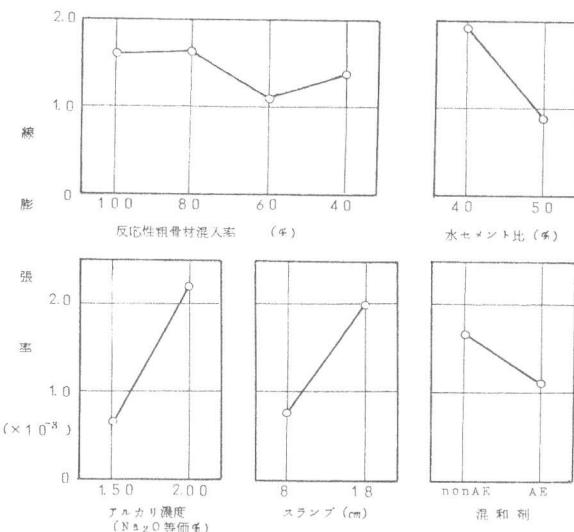


図6 促進条件下 (40°C RH 100%) における
コンクリートの膨張量