

合理的なアルカリシリカ反応抑制対策に関する研究開発③

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 25

担当チーム：材料資源研究グループ(新材料)

研究担当者：西崎 到，百武 壮

【要旨】

本課題では、アルカリシリカ反応抑制対策の信頼性向上のため、アルカリ総量規制の改良及び ASR 反応性判定手法の高度化を目指して、長期暴露供試体の解体調査や種々の促進養生試験による検討を行った。新材料チームでは、化学法による骨材の ASR 反応性判定基準の妥当性検証とペシマム条件について検討した。骨材の反応性の判定結果は、化学法で溶解シリカ量が多い火山岩・火山砕屑岩を用いた暴露供試体のひび割れ状況と関係が認められた。一方で、溶解シリカ量が少ない火山岩・火山砕屑岩や、深成岩・半深成岩などを用いた暴露供試体の状況とは合致しなかった。また、従来ほとんど反応性を想定されていなかった遅延性膨張が認められた。骨材の種類によっては、モルタルバー法の結果を化学法に優先させるべきではないこと、ただし、化学法でも反応性を検出できないリスクがあることなどを確認した。今後、これらの知見を抑制対策の改善に活用していく予定である。キーワード：コンクリート，アルカリシリカ反応，ASR，アルカリ総量規制，混和材，暴露試験

1. はじめに

1. 1 検討の背景

アルカリシリカ反応（以下、ASR）によるコンクリートの膨張は、コンクリート構造物の主要な劣化要因の一つである。我が国では、1980年代前後に、ASR や塩害により著しく劣化したコンクリート構造物の存在が報道で取り上げられるなどして広く知られるようになり、コンクリート構造物の耐久性が社会問題となった。

そこで、1985年から、当時の建設省が中心となって建設省総合開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」（以下、耐久性総プロ）が実施され、産学からも多くの研究者が参加して、新たに建設する構造物で ASR の発生を抑制するための対策などについて検討が行われた。検討結果は、1986年の旧建設省の通達「アルカリ骨材反応暫定対策について」などとして実務に反映された。また、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」にも通達を基に同様の規定が取り入れられた。ASR の抑制対策については、その後も見直しがなされているが、その骨格部分は、現在まで大きくは変更されていない。また、暫定対策が運用されるようになった1987年に降に竣工したコンクリート構造物では、ASR による劣化の発生率が大幅に低下したものと考えられている。

一方で、近年、抑制対策を適用しても、ASR によるひび割れ等が生じた事例があることが少しずつ報

告されるなど、抑制対策の限界についても指摘されるようになってきた。そこで、より合理的な ASR 抑制対策を確立するために検討を行った。

1. 2 本課題での検討方針

ASR 抑制対策については、すでに種々の課題が指摘されているところであるが¹⁾⁶⁾、ASR の抑制を更に確実にすることは必ずしも容易ではなく、対策に大きなコストが発生することも考えられる。抑制対策の合理的な改善方法を検討するためには、現行の対策を取った場合でも ASR が発生する事例やその割合について、調査研究が必要と考えられた。

そこで、土木研究所では、耐久性総プロの中で作製され、屋外に暴露されていたコンクリート供試体を調査し、ひび割れの状況から得られた知見を元に、新たに供試体を作製して実験を行い、抑制対策の課題について検討した。本課題は、基礎材料チーム、新材料チーム、地質チームの3研究室で図-1.1のように分担して検討した。

本報では、新材料チームが担当した骨材試験、特に化学法による骨材の ASR 反応性判定基準の妥当性検証とペシマム条件の影響について報告する。なお、基礎材料チームと新材料チームが共同で検討した混和材を用いた対策に関する検討については基礎材料チームから報告する。

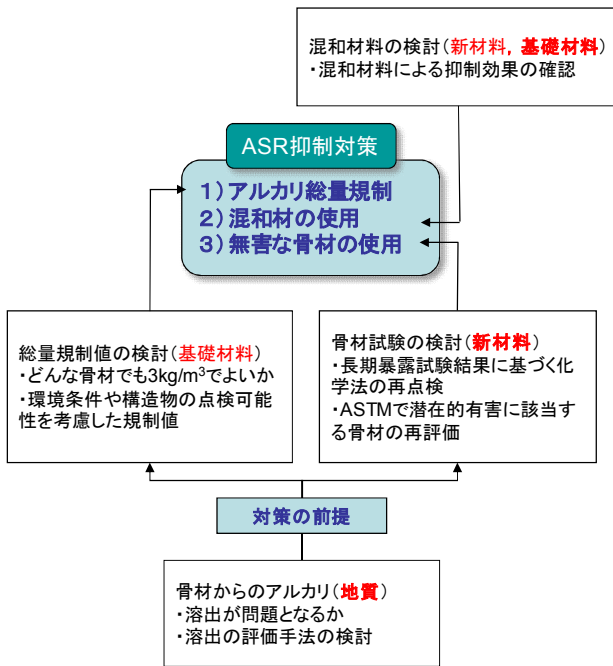


図-1.1 本課題の主な検討項目

1. 3 実施した検討の概要

化学法による骨材の ASR 反応性判定基準の妥当性を検討するため、全国から採取された 100 種類の粗骨材を用い、ASR を促進させる目的で総量規制値よりも多いアルカリ量 5 kg/m^3 で製作され、長期間屋外に暴露されていた供試体の調査を行った。

また、長期暴露供試体は検討した骨材の使用割合が常に 100%であったため、ペシマム条件を有する骨材については、反応性を検出できていないおそれがあった。そこで、同供試体から取りだした再生骨材を用いて、ペシマム条件に関する追加調査を実施した。

2. 化学法による骨材の ASR 反応性判定基準の妥当性検証

2. 1 長期暴露供試体の調査^{7),8)}

土木研究所では、耐久性総プロの検討を行った際に、我が国の様々な地域から収集した粗骨材(砕石)を用いてコンクリート供試体を作製し、1987年から屋外に暴露していた。供試体には、ASR を促進する目的でアルカリ量を 5 kg/m^3 にしたものと、総量規制と同じ 3 kg/m^3 にしたものがあつた。総量規制の効果を評価するため、暴露開始から 23 年以上が経過したこれらの供試体の調査を行った。

表-2.1 使用骨材の産地

産地の区分	産地の数
東北	30
関東	1
中部	2
近畿	13
中国	19
四国	9
九州	20
(合計)	94

※産地の区分は、旧建設省機関の管轄区分によるもの。
※北海道及び沖縄県の骨材は含まれていなかった。

表-2.2 使用骨材の岩種

岩種による分類	試料の数	
深成岩	カンラン岩	1
	花崗岩	1
半深成岩	細粒ハンレイ岩	4
	斑状安山岩	1
火山岩	玄武岩	5
	安山岩	36
	デイサイト	15
	流紋岩	6
火山砕屑岩	変成玄武岩質火山砕屑岩	1
	安山岩質火山砕屑岩	2
	デイサイト質火山砕屑岩	4
堆積岩	砂岩	12
	頁岩	1
	粘板岩	3
	石灰石	1
変成岩	ホルンフェルス	1
(合計)	94	

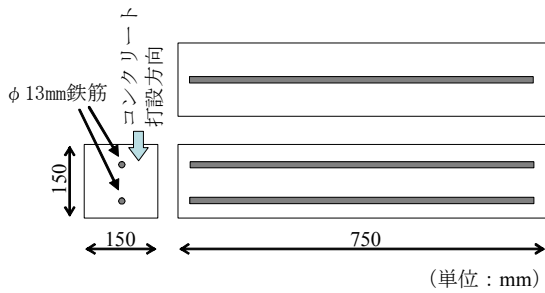
2. 2 暴露供試体の製作及び暴露の条件

1) 暴露供試体製作

供試体に用いられた粗骨材の産地及び岩種を表-2.1, 表-2.2 に示す。当初、供試体は 100 種類の粗骨材を用いて製作されていたが、銘板等の不備もあり、使用骨材を確認できたのは 94 種類であった。細骨材は、いずれの供試体でも反応性のない石灰石砕砂が使用されていた。そこで、以降の記述では、特に断りのない限り、骨材は粗骨材を指すものとする。

使用骨材は、全国(北海道、沖縄を除く)の砕石場の位置の調査、地質図上での岩体の確認をした上で、比較的反応性が高いと考えられる岩種を中心に、それ以外の岩種も含まれるように収集された骨材から選定されていた。なお、砂利は、一般に多様な岩種から構成され、岩種と膨張の関係を明確にすることが困難なため、選定の対象とされなかった。

コンクリート供試体の形状を図-2.1 に、コンクリートの配合を表-2.3 に示す。供試体は、骨材の種類



※鉄筋の位置は、その中心がコンクリート表面から約40 mm程度の場合が多かった。ただし、供試体によって位置が大きく異なるものもあり、打設時に位置がずれたものと考えられた。

図-2.1 供試体の形状

表-2.3 コンクリートの配合⁹⁾

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				空気量 (%)
		W	C	S	G	
50	44	177	354	780	803 ~ 1114	4.5

※セメントは、普通ポルトランドセメント（アルカリ量は Na₂O当量で0.56%）を使用

※細骨材は、秩父産石灰石砕砂を使用

※単位粗骨材量は、使用する粗骨材の密度により相違

※AE剤をセメントの0.25%使用



図-2.2 暴露状況

ごとにコンクリートのアルカリ量が Na₂O 当量で 3 kg/m³ または 5 kg/m³ のものが 2 体ずつ（合計 4 体）あり、アルカリ量は練混ぜ水に水酸化ナトリウム水溶液を混入して調整されていた。

コンクリートの打設は、2 層打ちで、締固めは棒状バイブレータを用いて行われていた。養生は 24 時間まで湿布養生で、その後は屋外にて水中養生が行われていた。水中養生の期間については、記録が無く明確ではなかった。

2) 暴露条件

暴露場所は、茨城県つくば市にある土木研究所内で、日射や降雨を妨げるものがない草地であった。

供試体は図-2.2のように約1/3の部分を土中に埋めて設置されていた。適宜、除草を行ったが、時期によっては供試体が隠れる程度まで草が生育している場合もあった。

供試体は、1987年から屋外暴露されていた。暴露から23年以上が経過した2010～2012年の間に種々の調査を行った。調査を行った時期に幅があるが、暴露開始から長期間経過していることもあり、この期間中のASRの進行は顕著ではなく、供試体の劣化程度は変化していないものと仮定して以降の検討を行った。

表-2.4 調査の方法

項目	方法	対象	備考
岩種の判定 (肉眼観察)	肉眼での観察に加え、粉末X線回折、薄片の顕微鏡観察の結果も加味して検討 ⁹⁾ 。	全ての骨材	暴露前に実施。
骨材のアルカリシリカ反応性試験 (化学法、モルタルバー法)	建設省暫定案 ¹⁰⁾ による。	全ての骨材	暴露前に実施。
供試体の外観観察	肉眼での観察による。ひび割れ幅の測定はクラックゲージによる。	全ての供試体	期間中に複数回実施。 ひび割れ幅は暴露後の2012年に測定。

2. 3 暴露供試体の調査方法

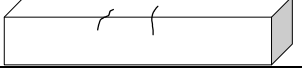
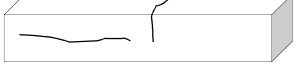

暴露試験の前に行った調査の方法を表-2.4に示した。

1) コンクリート供試体製作時の調査

供試体製作時には骨材の岩種の判定、反応性を有する鉱物等の有無の判定および、骨材のアルカリシリカ反応性試験が行われていた。骨材の岩種は、肉眼で骨材を観察した結果に、粉末X線回折による分析、薄片試料の偏光顕微鏡観察を行った結果を加味して判定されていた⁹⁾。

化学法、モルタルバー法による骨材のアルカリシリカ反応性試験は、建設省暫定案¹⁰⁾によって行われていた。この暫定案では、化学法の試験結果に基づく判定はASTM C 289の判定曲線により行うこととされている。本報では、我が国の抑制対策について検討することから、現行のJIS A 1145の判定方法で試験結果を再判定した結果を主に報告する。

表-2.5 観察されたひび割れ状況による分類

ひび割れ状況	説明	模式図
(c1) 角部限定ひび割れ	供試体の角部に限定した局所的な(一面での長さがおおよそ 50 mm 未満)ひび割れが一本, または複数ある。	
(c2) 単独ひび割れ	供試体の長軸方向に一本, または複数のひび割れがある。同時に, 長軸直角方向にもひび割れが認められる場合もあるが, 各ひび割れは単独に存在しており, マップ状ひび割れには到っていない。	
(c3) マップ状ひび割れ	供試体の長軸方向および長軸直角方向の複数のひび割れが交差したマップ状ひび割れとなっている。	

2) 暴露後の調査

供試体の外観を観察し, ひび割れの有無やひび割れ幅を記録した。ひび割れ幅は, クラックゲージを用いて測定し, 供試体各面の中央付近で最もひび割れ幅の大きい位置の測定結果を代表値とした。

ひび割れ幅については, 供試体の 2 側面が交差する角部で, 大きなひび割れが観察される場合が少なくなかった。しかし, このような位置のひび割れには局所的に開口しているものが多く, ひび割れ幅を精度良く測定することが困難である上に, その値が供試体全体の劣化程度を適切に表現する指標とはなりがたいものと考えられることから, 各面の中央付近でのひび割れ幅を採用した。ASR によるコンクリートの膨張を把握するには, ダイアルゲージ, コンタクトゲージなどを用いて長さ変化を測定するのが一般的であるが, 本報で報告する供試体では, 長さ変化測定のために取り付けられていた標点の多くが暴露期間中に失われており, 長さ変化を測定することができなかった。また, 暴露期間中の調査結果も散逸しており, 製作時のものを除くと信頼できる記録がなかった。

3) 膨張有無の判定

暴露後の供試体を観察した結果, 供試体に生じたひび割れの状況は, 表-2.5に示す3種類に分類することができた。このうち, マップ状ひび割れ (c3) については, 外観からもASRによるものとの疑いが強いものと考えたが, 角部限定ひび割れ (c1) や, 単独ひび割れ (c2) については, ひび割れ幅も小さく, ひび割れの原因が明確ではなかったが, 使用骨材が異なり, ひび割れの状態が異なる供試体から作製した薄片試料の観察結果から, 単独ひび割れが生じた供試体についても, マップ状ひび割れに移行する前の状態であると考えられることや, いくつかの切断面を観察した供試体で鋼材に腐食が生じていな

いことを確認したことから, ASRによって生じたものである可能性が高いと考えた。薄片資料の観察結果と超音波伝播速度の測定結果からひび割れが無い供試体, または角部限定ひび割れ (c1) が認められた供試体については, ASRによる膨張が生じていないものと判定した⁷⁾。ただし, 参考のため, 角部限定ひび割れが生じた場合とひび割れが無い場合は区別して, 以降の整理を行う。

2. 4 骨材の岩種と長期暴露試験結果

1) 既往の研究結果と課題

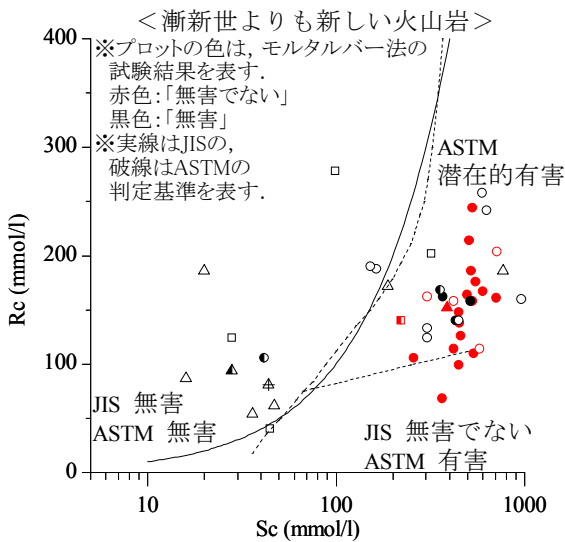
耐久性総プロでは, 北海道, 沖縄県を除く全国約 1,000箇所の採石場から各地域の代表的な岩種が含まれるように選定した367箇所に加え, 採石場では不足した各地域の代表的岩種を補足するため, 露頭104箇所から試料を収集して調査している。調査結果として, 化学法で596試料, モルタルバー法で300試料の試験結果がある¹¹⁾。試験結果を整理して得た結論として, わが国の骨材の反応性の大小については, 表-2.5に示す知見が得られており, 広く参考にされている。

表-2.5 わが国の骨材の反応性の特徴 (耐久性総プロ)¹²⁾

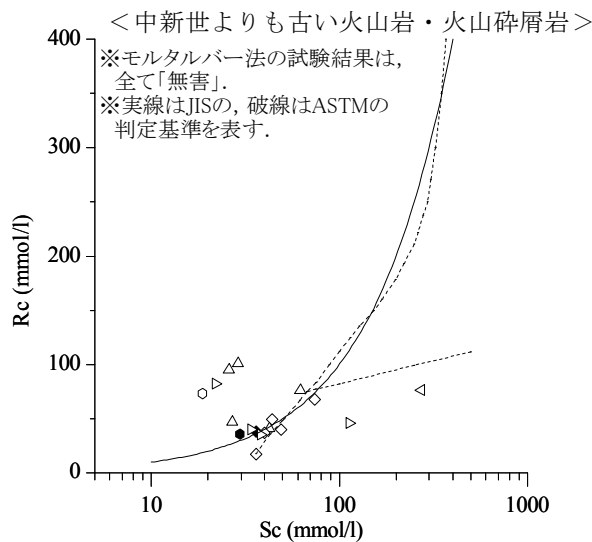
分類	岩種
反応性の恐れのある岩石をほとんど含まない	深成岩類 中新世よりも古い火山岩類
岩型によっては反応性のある岩石を含む恐れがある	古第三紀よりも古い堆積岩類 変成岩類
反応性の恐れのある岩石が高確率で含まれる	漸新世よりも新しい火山岩類

※この表の検討では火山砕屑岩は, 堆積岩類ではなく, 火山岩類に含めて検討されている。

一方, その後に行われた研究で, 反応性鉱物として隠微晶質または微晶質の石英を含む骨材でASRによ



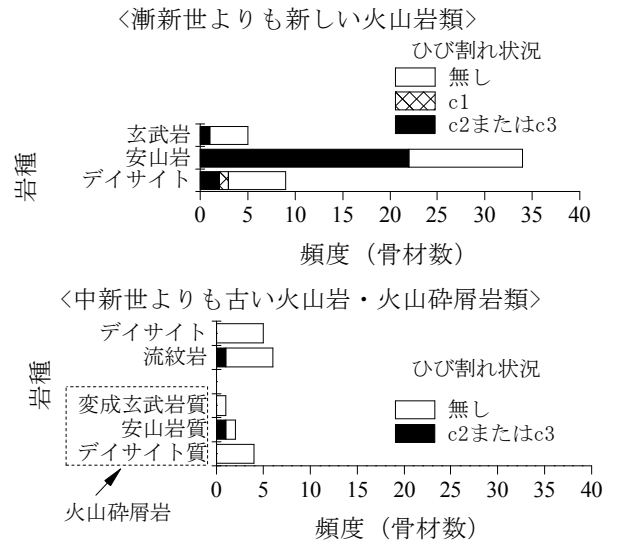
	無し	c1	c2	c3
玄武岩	□		■	
安山岩	○, ◯		●, ●	●, ●
デイサイト	△	▲	▲	▲



	無し	c1	c2	c3
デイサイト	△			
流紋岩	◇			◆
変成玄武岩質火山砕屑岩	◁			
安山岩質火山砕屑岩	○			●
デイサイト質火山砕屑岩	▷			

図-2.3 火山岩、火山砕屑岩のアルカリシリカ反応性試験結果と暴露供試体のひび割れ状況の関係（アルカリ量5 kg/m³）

る膨張が長期にわたってゆるやかに継続する、いわゆる遅延膨張性のASRによる劣化事例が報告されている^{13), 14), 15)}。遅延膨張性を有する骨材は、化学法やモルタルバー法で必ずしも適切に反応性を評価できない。このため、従来は無害と考えられてきた岩



※図中に示さないものとして、地質年代が推定できなかった骨材が、安山岩に2試料、デイサイトに1試料あった。
図-2.4 地質時代で区分した火山岩、火山砕屑岩の暴露供試体のひび割れ状況（アルカリ量5 kg/m³）

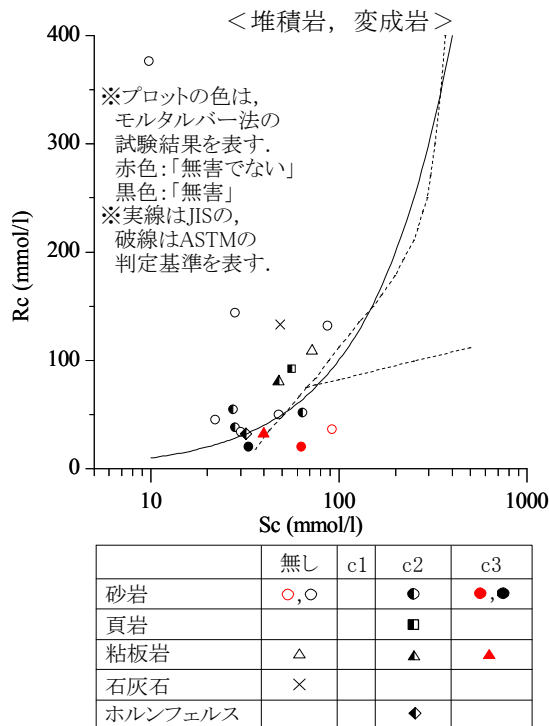
種の骨材にも、長期にはASRを引き起こすものが一定程度含まれているおそれがあるが、現状では明確でない。そこで、以降、長期暴露試験の結果を岩種ごとに整理し検討する。

今回の供試体で、コンクリート体積1 m³当たり5 kgのアルカリ量は、セメント量の1.4 %に相当し、この点ではモルタルバー法（セメント量の1.2 %）や、コンクリート供試体を用いたRILEMの試験方法¹⁶⁾（セメント量の1.25%、単位セメント量440 kg/m³）の条件とも比較的近く、妥当な水準であると考えられる。

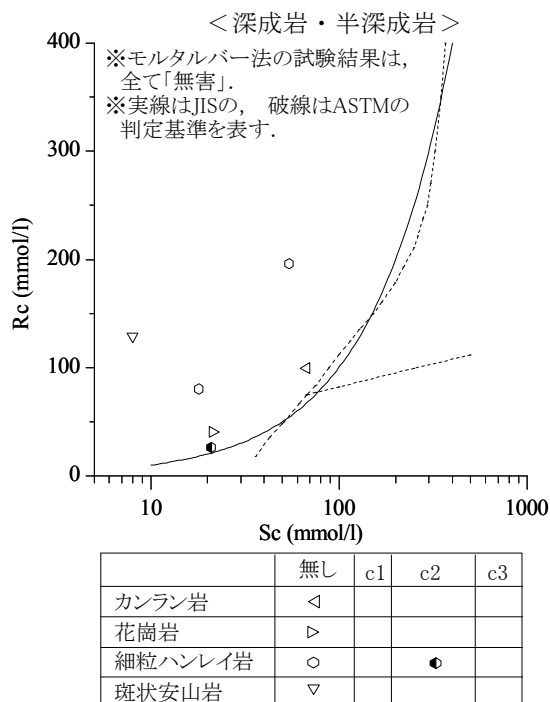
2) 火山岩・火山砕屑岩

火山岩については、Katayama & Kaneshigeがわが国の80試料の骨材について検討した結果に基づき、中新世よりも古い火山岩では、続成作用の影響で火山ガラス、クリストバライト、トリディマイトなどの高い反応性を有する鉱物等の再結晶化により反応性が低下し、化学法で測定されるScが低下することを指摘している¹⁷⁾。また、耐久性総プロで収集された骨材の調査でも、中新世よりも古い火山岩・火山砕屑岩では、火山ガラス、クリストバライト、トリディマイトが含まれていないことが確認されており¹¹⁾、表-2.5も地質年代によって区分されている。

そこで、火山岩・火山砕屑岩については、地質年代で試料を分類し、化学法の試験結果と暴露供試体のひび割れ状況を併せて図-2.3に示した。図中には、



図一2.5 堆積岩，変成岩のアルカリシリカ反応性試験結果と暴露供試体のひび割れ状況の関係(アルカリ量5 kg/m³)



図一2.6 深成岩・半深成岩のアルカリシリカ反応性試験結果と暴露供試体のひび割れ状況の関係(アルカリ量5 kg/m³)

JIS A 1145およびASTM C 289における試験結果の判

定基準も示した。まず、漸新世よりも新しい火山岩に着目すると、化学法の試験結果はScが大きいものと小さいものに二分されており、Scが100 mmol/l前後の試料はほとんどなかった。また、Scが100 mmol/l未満の試料は48試料中10試料と比較的少なかった。

漸新世よりも新しい火山岩でScが100 mmol/l以上と大きい骨材は、反応性の高い鉱物等としてクリストバライト、トリディマイト、火山ガラスのうちいずれか、もしくは複数を有しており¹¹⁾、ASTMの判定基準では、「潜在的有害」と判定されるものが比較的多かった。Scが100 mmol/l以上と大きい骨材では、暴露供試体で単独ひび割れおよびマップ状ひび割れが認められた骨材の割合が、38試料中23試料と大きかった。なお、Scが100 mmol/l未満の骨材を含めると、漸新世よりも新しい火山岩で単独ひび割れ、およびマップ状ひび割れが認められた骨材の割合は、48試料中25試料であった。

これに対し、中新世よりも古い火山岩に着目すると、Scが100 mmol/l未満となるものがほとんどで暴露供試体でマップ状ひび割れに該当するひび割れが生じた試料が、18試料中2試料と少なかった。このように、長期暴露試験の結果でも、漸新世よりも新しい火山岩は他の岩種と比較してASRを生じさせるおそれが高いこと、中新世よりも古い火山岩はASRを生じさせるおそれが低いことが再確認された。

しかし、数としては少ないが、中新世よりも古い火山岩でもASRによるひび割れが生じた骨材があった点は、注意が必要と考えられる。これらはいずれも化学法では「無害」と判定される骨材であり、また、モルタルバー法でも「無害」と判定されていたので、長期暴露試験を行う前は、ASRを生じさせないと考えられた骨材であった。これらの骨材は、化学法の試験結果でScが30 mmol/l程度と比較的小さく、遅延膨張性のASRが生じていた可能性がある。参考までに、火山岩類・火山砕屑岩類について地質年代で区分して整理した結果を、図一2.4に示す。なお、薄片試料の観察などを行った範囲では、単独ひび割れおよびマップ状ひび割れが生じた供試体では、ASRの形跡が認められており、ASRによるひび割れであると考えているが、火山岩類で化学法を用いて測定されるRcが大きい骨材の多くにはスメクタイトが含まれていた¹¹⁾ので、その吸水膨張により暴露供試体にひび割れが生じた場合があることも完全には否定できない。この点については、今後の検討課題である。

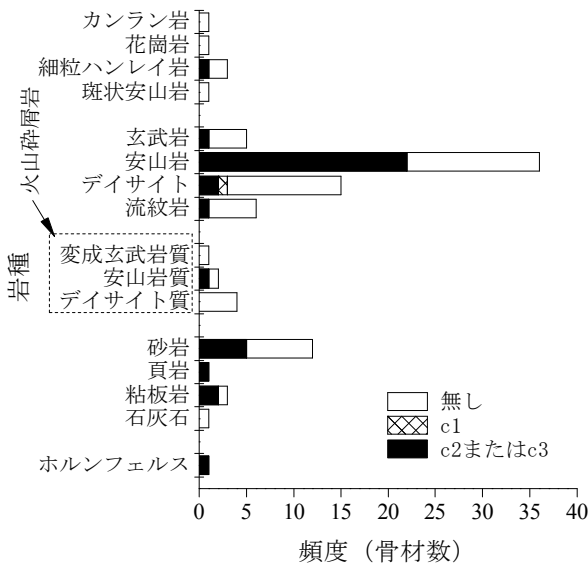


図-2.7 骨材の岩種とASR発生状況 (アルカリ量5 kg/m³)

3) 堆積岩・変成岩

暴露試験で検討されていた堆積岩は、その多くが砂岩であった。砂岩を中心とする堆積岩は、新しい火山岩ほどではないものの、反応性を有する骨材がある程度あると考えられてきた。なお、表-2.5中では堆積岩は古第三紀よりも古いものに限定されているが、これは、新しい堆積岩はコンクリート用骨材としての物理的品質を満たすことが困難なため、検討の対象から除外されたものである。

堆積岩、変成岩について、化学法の試験結果と暴露供試体のひび割れ状況を併せて図-2.5に示す。図-2.5で、ASRによる膨張が生じた堆積岩は17試料中8試料であり、発生の割合としては、漸新世よりも新しい火山岩と同程度であった。ただし、マップ状ひび割れに到っている骨材は比較的少なく、ASRによる膨張の程度としては、漸新世よりも新しい火山岩と比較するとやや軽微であると考えられる。単独ひび割れあるいはマップ状ひび割れが生じている骨材には、化学法、モルタルバー法でその反応性が確認できるものもあるが、化学法、モルタルバー法ともに「無害」と判定された骨材もあった。

なお、変成岩はホルンフェルスの一試料のみであり、発生割合を検討することはできないが、ASRによるひび割れが生じていた。

4) 深成岩・半深成岩

深成岩、半深成岩について、化学法の試験結果と暴露供試体のひび割れ状況を併せて図-2.6に示す。深成岩・半深成岩は、従来は反応性がほとんどない

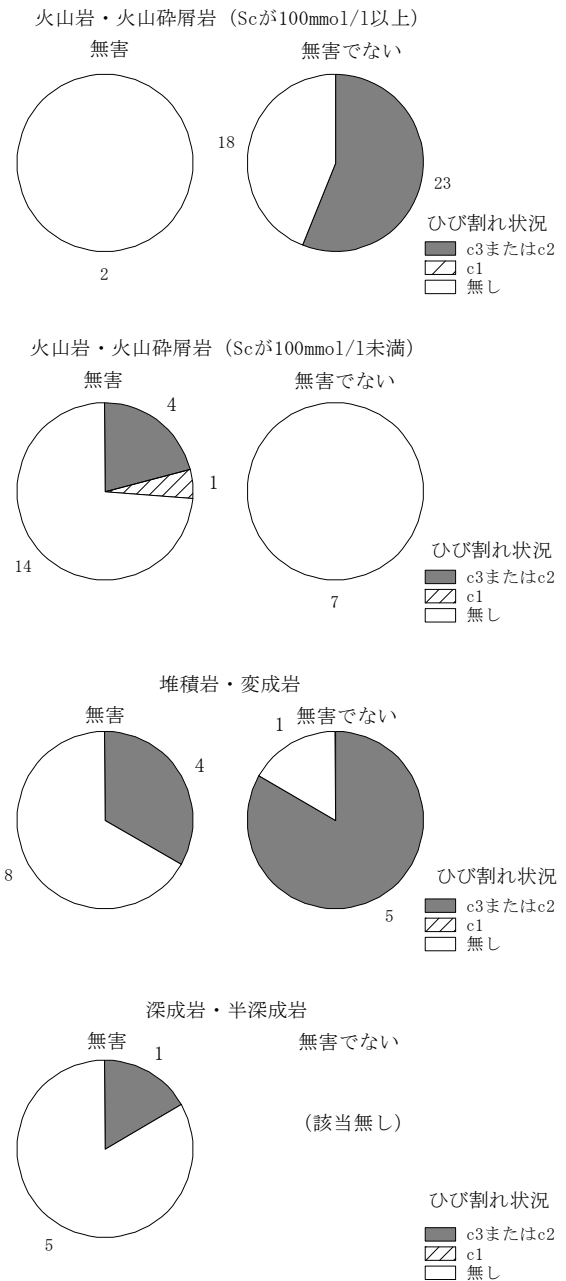


図-2.8 化学法による判定結果と暴露供試体のひび割れ状況の関係 (アルカリ量5 kg/m³)

と考えられている骨材であるが、単独ひび割れが認められた骨材が1試料あった。化学法、モルタルバー法ともに「無害」と判定されていた骨材であった。

5) 骨材の岩種ごとの長期暴露試験結果

長期暴露した供試体のひび割れ状況を骨材の岩種ごとに整理した結果、ASRによる膨張が生じた骨材の割合は、漸新世よりも新しい火山岩 (特に、Scが100 mmol/l以上のもの)、堆積岩で比較的多く、中新世よりも古い火山岩及び火山砕屑岩、深成岩及び半

深成岩では少なかった。この点で、骨材の岩種ごとの反応性の違いについては、従来からの知見を裏付けるものであった。骨材の岩種ごとに整理した結果を図-2.7に示す。

ただし、堆積岩で約半数の試料にASRによるひび割れが生じたことや、中新世よりも古い火山岩・火山細屑岩、半深成岩の試料で化学法、モルタルバー法ともに「無害」と判定される骨材でもASRによるひび割れが生じたものがあったことは、これまで考えられていたよりも多くの骨材でASRによる膨張が生じうることを示唆していた。

骨材のアルカリシリカ反応性試験結果と、暴露供試体のひび割れ状況の関係については、2.6でさらに検討する。

2.6 骨材のASR反応性試験結果についての考察

現在のASR抑制に関する規定では、化学法またはモルタルバー法の試験の結果、無害と判定された骨材を用いることで、コンクリート中のアルカリ量に関わらず、ASR抑制対策とすることができる。そこで、各試験法の結果とアルカリ量5 kg/m³の暴露供試体のASR発生状況を比較した。

なお、ポルトランドセメントの全アルカリ量はNa₂O当量で0.75 %以下に規制されていることから、一般的なコンクリートの配合でアルカリ量が5 kg/m³を超える場合は考えにくいこと、暴露供試体の観察結果では、アルカリ量5 kg/m³の方が3 kg/m³の場合よりひび割れ状況が顕著であったことなどから、アルカリ量5 kg/m³の暴露供試体で検討した結果は、骨材のASRによる膨張の可能性を一般的なコンクリートの条件と同等か、より厳しい条件で評価しているものと考えられる。

1) 化学法の試験結果とアルカリ量5 kg/m³の供試体での膨張の有無

化学法の試験結果は、前章で骨材の岩種ごとに整理して図-2.3、図-2.5および図-2.6に示した。これらの結果を判定結果に応じて整理して、図-2.8に示す。なお、本報では、Scが10 mmol/l未満またはRcが700 mmol/l以上の場合もScがRcと同じか大きい場合は「無害でない」と判定した。2.5では、火山岩について地質年代に応じて整理したが、図-2.3から、Scの大小によって分類することで骨材の反応性の大きさを適切に評価でき、かつ地質年代に応じた分類と概ね同等な結果が得られること、一部に地質年代が

不明な骨材も存在することから、図-2.8では、Scの大小によって分類した。

化学法では、今回調査した93試料中54試料で「無害でない」との判定結果であった。特に、Scが100 mmol/l以上の火山岩・火山碎屑岩では、そのほとんどが「無害でない」と判定されていた。これらの骨材では、反応性の高い鉱物等としてクリストバライト、トリディマイト、火山ガラスのいずれか、もしくは複数を有していたが、暴露供試体ではひび割れが生じていない場合も半数近くあった。この理由については、後述するモルタルバー法の試験結果とあわせて本報のまとめ部分で考察するが、ペシマム条件の影響が考えられる。

堆積岩・変成岩では、化学法で「無害でない」と判定された骨材6試料のうち5試料でASRによるひび割れが生じており、化学法で「無害でない」と判定される骨材は、ASRが生じさせるおそれが高い骨材であることが確認された。一方、「無害」と判定された骨材12試料中にも、ASRによるひび割れが生じたものが4試料あった。

火山岩・火山碎屑岩でもScが100 mmol/l未満のものや深成岩・半深成岩では、化学法で「無害でない」と判定された骨材が合計7試料とあったが、これらの試料にはASRによるひび割れが認められたものがなかった。一方、「無害」と判定された合計25試料中の5試料では、ASRによるひび割れが認められた。すなわち、化学法の判定結果と暴露供試体のひび割れ状況が合致していない。これらの骨材のScは28～44 mmol/lと比較的小さかった。ひび割れが生じた原因となった反応性鉱物等について、詳細には調査を行っていないが、微晶質または隠微晶質石英による遅延膨張性のASRが生じたおそれがある。

このように、化学法による判定の結果は、火山岩・火山碎屑岩でScが100 mmol/l以上の骨材や、堆積岩・変成岩の骨材については、反応性を比較的良く検出しているものの、火山岩・火山碎屑岩でScが100 mmol/l未満の骨材や深成岩・半深成岩の骨材で遅延膨張性のASRが生じたと見られる骨材については、反応性を適切に検出することができなかった。

2) モルタルバー法の試験結果とアルカリ量5 kg/m³の供試体での膨張の有無

モルタルバー法の試験結果についても、化学法の場合と同様な整理を行って、図-2.9に示した。

モルタルバー法の試験では、「無害でない」と判定

される骨材が化学法よりも少なく、93試料中の28試料であった（化学法では、93試料中54試料）。この28試料中では、その75%に相当する21試料で単独ひび割れ、マップ状ひび割れが生じており、モルタルバー法で「無害でない」と判定される骨材は、ASRが生じさせるおそれが高い骨材であることが確認された。

しかし、モルタルバー法で「無害でない」と判定された骨材の岩種に着目すると、28試料のうち25試料までは、Scが100 mmol/l以上の火山岩・火山砕屑岩であり、それ以外の岩種（火山岩・火山砕屑岩以外の岩種も含め全てScは100未満であった）では、モルタルバー法で「無害でない」と判定された骨材が合計3試料とわずかであった。モルタルバー法で「無害」と判定された骨材合計63試料中にもASRによるひび割れが生じていたものが16試料あり、その割合は約25%と少なくなかった。特に砂岩を主体とする堆積岩において、モルタルバー法は、化学法と比較して反応性を検出できた試料の数が少なかった。

この原因としては、化学法と同様に、遅延膨脹性のASRが生じたと見られる骨材については、反応性を適切に検出することができなかつたものと考えられる。なお、今回の供試体においてアルカリ量5 kg/m³は、セメント量の1.4%に相当し、モルタルバー法と比較するとわずかに大きい。このアルカリ量の違いが影響した可能性も否定できない。

3) モルタルバーの長期的な膨脹性状に関する検討

化学法、モルタルバー法による判定について検討した結果、これらの試験方法で「無害」と判定される骨材でも、暴露供試体ではASRによる膨脹が生じたと見られるものがあり、化学法やモルタルバー法の試験の範囲内では、Scが小さく、いわゆる遅延膨脹性を示す骨材について、その反応性を必ずしも十分には検出できないことが確かめられた。特にモルタルバー法では、化学法でScが100 mmol/l未満の骨材の多くが「無害」と判定された。そこで、モルタルバー法の判定基準や、促進養生期間を変更することによって、いわゆる遅延膨脹性骨材についてより適切に評価できないか検討した。

モルタルバー法の判定基準に関しては、近年、表-2.6に示すように試験期間中の膨脹傾向なども考慮して判定する方法の提案がある¹⁷⁾。そこで、暴露供

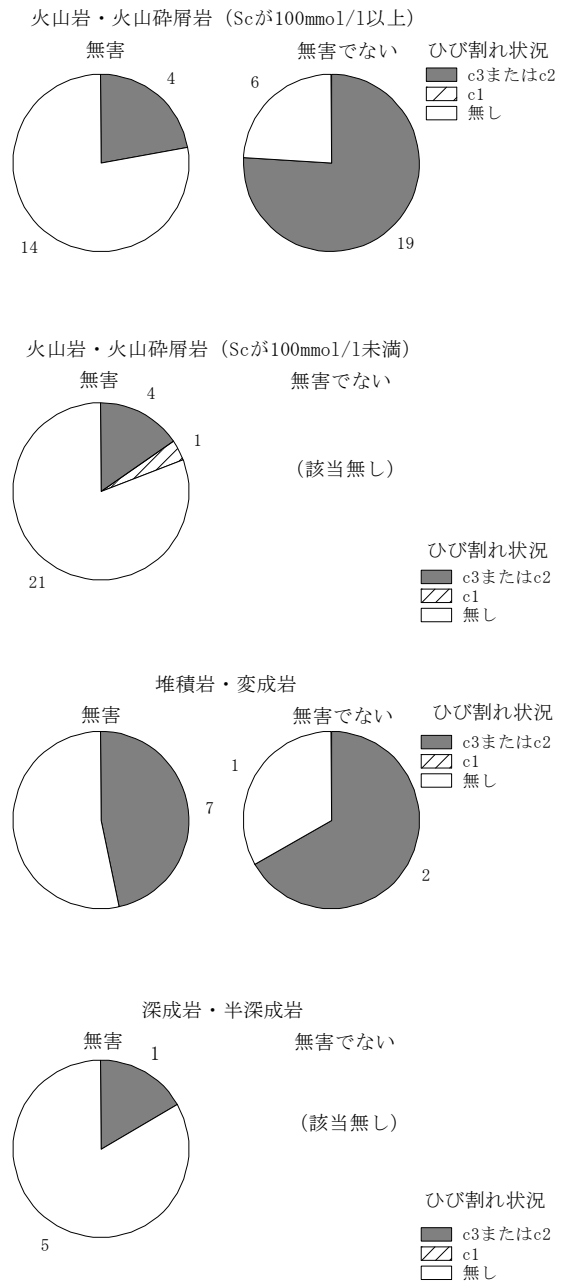


図-2.9 モルタルバー法による判定結果と暴露供試体のひび割れ状況の関係（アルカリ量5kg/m³）

試体に用いた骨材について、表-2.6の判定区分に当てはめて分類し図-2.10に示した。

図-2.10を図-2.9と比較すると、Scが100 mmol/l以上の火山岩・火山細屑岩については、暴露供試体においてひび割れが生じた骨材を無害なものとして判定するリスクが若干低下していた。しかし、それ以外の岩種では、JIS A 1146で「無害」とされた骨材のほ

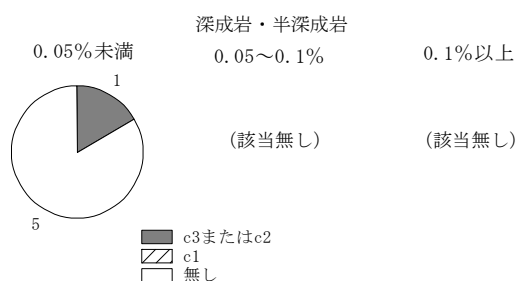
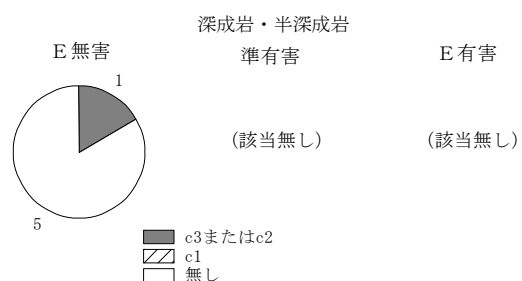
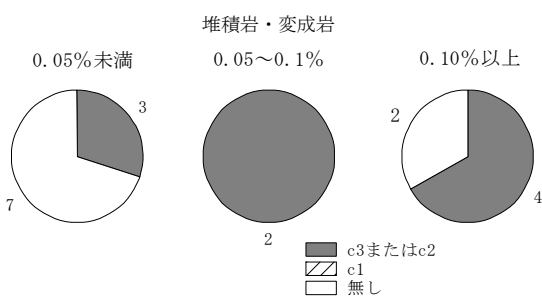
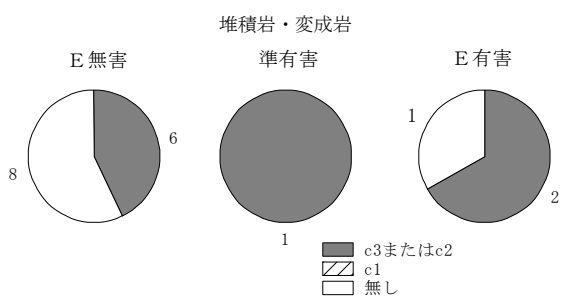
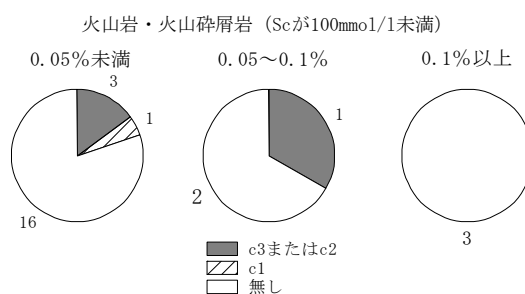
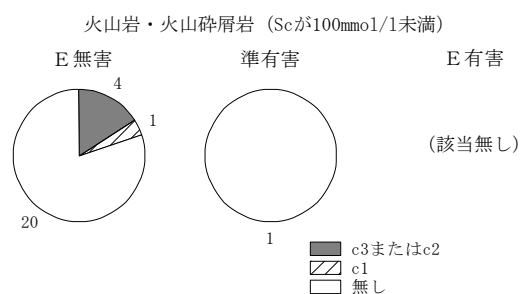
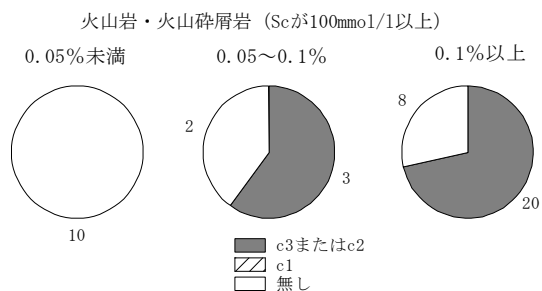
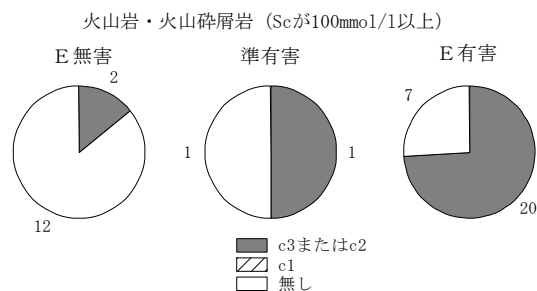


図-2.10 膨張率を考慮したモルタルバー法判定区分と暴露供試体のひび割れ状況の関係 (アルカリ量5kg/m³)

図-2.11 モルタルバーの促進養生期間1年での膨張率と暴露供試体のひび割れ状況の関係 (アルカリ量5 kg/m³)

表-2.6 膨張率を考慮した判定区分 (モルタルバー法)

区分	説明
「E有害」骨材	膨張率が26週で0.10%以上、もしくは膨張率が26週で0.05%以上~0.10%未満であっても13週から26週までの膨張の増加割合が8週から13週までの増加割合に対し大きい骨材
「準有害」骨材	膨張率が26週で0.05%以上~0.10%未満かつ13週から26週までの膨張の増加割合が8週から13週までの膨張の増加割合に対し小さい骨材
「E無害」骨材	膨張率が26週で0.05%未満の骨材

とんどが「E無害」と判定されており、JIS A 1146による判定をほとんど改善できなかった。

また、今回暴露供試体に用いた骨材については、モルタルバー法で材齢1年までの促進養生試験結果があった。そこで、材齢1年での膨張量の大小に応じて骨材を分類し、図-2.11に示した。材齢26週以降に急速に膨張率が増加した骨材も認められたが、それらの骨材を用いた暴露供試体でひび割れが生じているとは限らず、モルタルバーの材齢1年までの膨張

表-2.7 骨材のアルカリシリカ反応性試験結果と暴露供試体のひび割れ状況・最大ひび割れ幅（アルカリ量5 kg/m³）

岩種	化学法 試験結果	モルタル バー法試験 結果	ひび割れ状況・最大ひび割れ幅							合計
			ひび 割れ 無し	0.2 mm 未満	0.2 mm 以上、 0.3 mm 未満	0.3 mm 以上、 0.4 mm 未満	0.4 mm 以上、 0.5 mm 未満	0.5 mm 以上、 0.6 mm 未満	0.6 mm 以上、 0.7 mm 未満	
火山岩・火山砕屑岩 (Scが100 mmol/l以上)	無害	無害	2	0	0	0	0	0	0	2
	無害で ない	無害	12	1	1	1	1	0	0	16
	無害で ない	無害で ない	6	1	6	5	4	1	2	25
火山岩・火山砕屑岩 (Scが100 mmol/l未満)	無害	無害	15	3	1	0	0	0	0	19
	無害で ない	無害	7	0	0	0	0	0	0	7
堆積岩・変成岩	無害	無害	8	4	0	0	0	0	0	12
	無害で ない	無害	0	2	1	0	0	0	0	3
	無害で ない	無害で ない	1	0	0	2	0	0	0	3
深成岩・半深成岩	無害	無害	5	1	0	0	0	0	0	6

※ひび割れ無しは、角部限定ひび割れ(c1)が生じている供試体も含む。

傾向と暴露供試体のひび割れ状況の関係は必ずしも明確ではなかった。隠微品質または微品質の石英が反応性鉱物と考えられるSc100未満の火山岩・火山砕屑岩や、深成岩・半深成岩については、JIS A 1146の促進養生期間を材齢1年まで延長しても、判定の精度を改善することはできなかった。

4) 骨材のアルカリシリカ反応性試験結果についての検討のまとめ

化学法、モルタルバー法の試験結果とアルカリ量5kg/m³の暴露供試体のひび割れ状況の調査結果をまとめて、表-2.7に示す。

Scが100mmol/l以上の火山岩・火山細屑岩については、化学法では、そのほとんどが「無害でない」と判定された。一方、モルタルバー法では、「無害」と「無害でない」で判定が分かれていた。今回の暴露供試体に関しては、モルタルバー法の試験結果とひび割れ状況の関係が良いようにも見える。ただし、化学法でSc、Rcがともに大きく、ASTMで「潜在的有害」と判定される骨材は、その使用率が100%より少ない場合にかえって膨張量が大きくなるようなペシマム条件を有している骨材であることが知られている¹⁸⁾。今回の長期暴露試験でも、Scが100 mmol/l以上の火山岩・火山細屑岩骨材の多くが、「潜在的有害」の範囲にあったが、使用割合は100%で一定なので、ペシマム条件については十分に把握できない点

に留意が必要である。すなわち、今回の長期暴露試験でひび割れが生じなかった骨材でも、他の無害な骨材と混合して使用した場合などに、ASRが生じるおそれを否定できない。また、化学法で「無害でない」、モルタルバー法で「無害」と判定が相違した骨材の中には、最大ひび割れ幅が0.3 mmを超えるような顕著なひび割れが生じた事例もあった(表-2.7)。したがって、Scが100 mmol/l以上の火山岩・火山細屑岩で、化学法で「無害でない」の判定となった骨材については、ASRを生じさせる可能性があるものと考えることが適当と考えられる。

砂岩を主体とする堆積岩・変成岩については、化学法とモルタルバー法で「無害でない」と判定された試料の数に差異があり、化学法の方が、暴露供試体のひび割れ状況との関係がやや良好であった。また、堆積岩・変成岩の骨材では、Scが100 mmol/l以上の火山岩・火山細屑岩と比較すると最大ひび割れ幅が小さい傾向があったが、その中でもひび割れ幅が大きい骨材については、化学法で「無害でない」と判定されていた。

Scが100 mmol/l未満の火山岩・火山細屑岩や深成岩・半深成岩については、化学法、モルタルバー法の試験結果と、暴露供試体でASRによる膨張が生じる割合の間に関係は認められなかった。これらの骨材については、化学法やモルタルバー法の試験によって反応性を評価することが困難であった。ただし、

Scが100 mmol/l未満の火山岩・火山細屑岩や深成岩・半深成岩でASRによるひび割れが生じたものの、最大ひび割れ幅は、他の岩種よりも小さい傾向があった。

これらの結果を受けて、モルタルバー法の試験データを整理し、途中の膨張速度の推移を考慮した判定基準を用いた場合や、促進養生期間を1年まで延長した場合について検討した。しかし、JIS A 1146による判定結果と暴露供試体の状況の間の関係が良好でなかった堆積岩、Scが100 mmol/l未満の火山岩・火山細屑岩や深成岩・半深成岩について、判定結果を改善することはできなかった。

3. ペシマム条件に関する追加調査

長期暴露供試体の調査から、化学法、モルタルバー法の骨材試験結果ではともに「無害」と判定されながらASRによるとみられるひび割れが生じているものが確認された。その理由の1つとして、反応性を有する物質が微晶質・隠微晶質石英の場合は、反応速度が遅く、化学法、モルタルバー法では十分反応性が評価できない恐れがあることが考えられる。

また、化学法では「無害でない」、モルタルバー法では「無害」と判定結果がわかる場合、現在のJIS規定では、モルタルバー法による判定を優先させてよいものとされている。一方で既往の研究から、化学法でSc、Rcがともに大きく、ASTM C 289の判定図で「潜在的有害」と判定される骨材は、その使用率が100%より少ない場合にかえって膨張量が大きくなるようなペシマム条件を有している骨材であることが知られている。

長期暴露供試体の骨材のうち、Sc 100 mmol/l以上の火山岩・火山細屑岩骨材の多くが、この「潜在的有害」の範囲にあったが、使用割合は100%で一定であり、ペシマムの影響については考慮できていない。

そこで、本報告の暴露供試体に用いた骨材のうち、ASTM化学法の判定で「潜在的有害」に該当し、今回、JIS化学法で「無害でない」、モルタルバー法で「無害」と判定がわかれたような骨材を中心に、補足実験を行って、化学法、モルタルバー法の判定の妥当性について検討した。

3. 1 実験方法

3. 1. 1 概要

長期暴露試験の供試体を解体して製造した再生粗

骨材を試料として、モルタルバー法(JIS A 1146)に準じた試験を行った。反応性を有する骨材の使用量によって膨張量が異なるペシマム性を検討するため、再生粗骨材を粉砕した試料とセメント強さ試験用標準砂(ケイ砂)を混合した試料を用いた。

3. 1. 2 検討対象

検討対象は、暴露試験に先だて行われた化学法、モルタルバー法の試験結果と、長期暴露試験後の供試体のひび割れ状況などを総合的に考慮して選定した。骨材の試験結果からペシマムの影響を受けることが疑われるものを中心に、比較のため、影響がないと考えられる骨材についても選定した。

選定した骨材の概略を表-3.1に示す。ここでは、骨材を次の3種類に分類して考察する。

- ・あらゆる試験結果が反応性の高さを示しており、明らかに高反応性の骨材：i-1, i-2
- ・ペシマムの影響によって反応性試験の結果が影響を受けうる骨材：ii-1, ii-2, ii-3, ii-4, ii-5, ii-6
- ・ペシマムの影響が考えにくい骨材：iii-1, iii-2, iii-3, iii-4

3. 1. 3 試験に用いる再生粗骨材の採取

1) 製造方法

試験に用いる再生粗骨材の採取方法は、既往の文献^{19), 20)}

を参考にした上で、土木研究所が所有する装置等に合わせ計画した。

再生粗骨材は、アルカリ量 5 kg/m^3 の暴露供試体から採取した。アルカリ量がセメント量の1.4%に相当し、この点ではモルタルバー法(セメント量の1.2%)に近いので、再生粗骨材を採取する際に除去できなかった硬化セメントペーストが多少あっても、実験結果への影響が生じにくいと考えたためである。

まず、暴露供試体(15×15×80 cm)のうち、天端の部分(15×15×20 cm程度、別の実験のために保管)を除いて粗粉砕した。粉砕には、カッターやジョークラッシャーを用いた。次に、この粗粉砕した試料を200℃の乾燥炉で約1日間加熱乾燥し、徐冷した。その後、ロサンゼルス試験機に5~10 kgの試料と鉄球12個を投入して1000回転させ、すりもみによりモルタル部分を除去した。最後に水洗して、再生粗骨材を得た。

表-3.1 選定した骨材

記号	産地の区分	岩種	骨材のアルカリシリカ反応性 (暴露前)		暴露供試体のひび割れ状況**			
			化学法*	モルタルバー法	3A	3B	5A	5B
i-1	中国	安山岩	無害でない	無害でない	c3	c3	c3	c3
i-2	九州	安山岩	無害でない (P)	無害でない	c3	c3	c3	c3
ii-1	東北	安山岩	無害でない (P)	無害	無し	無し	c3	c3
ii-2	東北	安山岩	無害でない (P)	無害	c2	c1	c1	c2
ii-3	東北	安山岩	無害でない (P)	無害	無し	無し	無し	無し
ii-4	東北	デイサイト	無害でない (P)	無害	無し	無し	無し	無し
ii-5	近畿	安山岩	無害でない (P)	無害	無し	無し	無し	無し
ii-6	中国	安山岩	無害でない (P)	無害	無し	無し	無し	無し
iii-1	東北	砂岩	無害でない	無害でない	c1	c2	c3	c3
iii-2	中部	砂岩	無害でない	無害	無し	無し	c2	c2
iii-3	中国	デイサイト	無害	無害	無し	無し	無し	無し
iii-4	中国	デイサイト	無害	無害	無し	無し	c2	c3

* 化学法の試験結果はJISに準じて判定したが、ASTMの判定図にあってはめた場合、潜在的有害に分類されるような骨材では、(P)を付した。

** 暴露供試体は、アルカリ量 3 kg/m^3 、 5 kg/m^3 のものが2体ずつあったので、便宜的に、3A、3B、5A、5Bと記号を付けて整理した。着色したセルの供試体を解体し、再生粗骨材を製造した。



左 : i-1



右 : i-2

図-3.1 再生粗骨材の外観の例

表-3.2 骨材の密度吸水率試験結果

記号	暴露前		暴露後 (再生粗骨材)	
	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
i-1	2.68	1.30	2.56	2.97
i-2	2.62	1.72	2.48	4.31
ii-1	2.67	1.86	2.52	3.61
ii-2	2.60	3.16	2.53	3.60
ii-3	2.17	10.00	2.19	8.11
ii-4	2.69	0.47	2.35	5.32
ii-5	2.45	3.60	2.43	2.95
ii-6	2.70	1.42	2.61	2.99
iii-1	2.66	0.84	2.57	2.26
iii-2	2.61	0.95	2.55	2.27
iii-3	2.65	1.08	2.53	2.98
iii-4	2.62	0.54	2.59	1.46

表-3.3 骨材のアルカリシリカ反応性試験（化学法）結果

記号	暴露前		暴露後 (再生粗骨材)	
	Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)	Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)
i-1	366	68.4	594	128
i-2	549	176	305	187
ii-1	518	158	168	198
ii-2	356	168	355	282
ii-3	958	160	578	320
ii-4	772	186	741	286
ii-5	626	242	418	302
ii-6	304	133	141	244
iii-1	63	20	21	90
iii-2	64	52	33	115
iii-3	62	76	26	116
iii-4	25	59	64	46

2) 採取した再生粗骨材の性状

図-3.1 に製造した再生粗骨材の例を示す。また、採取した再生粗骨材の密度吸水率を、暴露前に行われていた試験結果と比較して表-3.2 に示す。再生粗骨材は、暴露前の試験結果と比較すると、吸水率がやや大きくなっているものが多いが、これは、骨材表面に付着しているセメントペーストが完全には除去できないためと考えられる。

さらに、骨材の同一性を確認するため、化学法によるアルカリシリカ反応性の試験を行った。その際は、製造した再生粗骨材に付着したペースト部分を塩酸で溶解させて除去した上で試験に用いた。試験結果を、表-2.10 に示した。再生粗骨材の Sc の試験結果は、暴露前に行われた試験の結果と、おおよそ合致していた。なお、表-3.3 を見ると、再生粗骨材

は Rc がやや大きくなった。この原因の一つとして、酸を用いても再生粗骨材に付着したペーストを完全には除去できていなかったことが考えられる。

3. 1. 4 モルタルバー法

前節のように採取した再生粗骨材を粉砕して、モルタルバー法（JIS A 1146）に準じた試験を行った。ただし、ペシマムの影響を考慮するため、再生粗骨材を粉砕した試料を 100%，76%，50%，25% と使用割合を変えて用いた。再生粗骨材試料と混合する砂は、セメント強さ試験用標準砂（ケイ砂）を用いた。ペシマム性が考えにくい 4 種類の骨材は、使用割合 25% のケースを省略した。

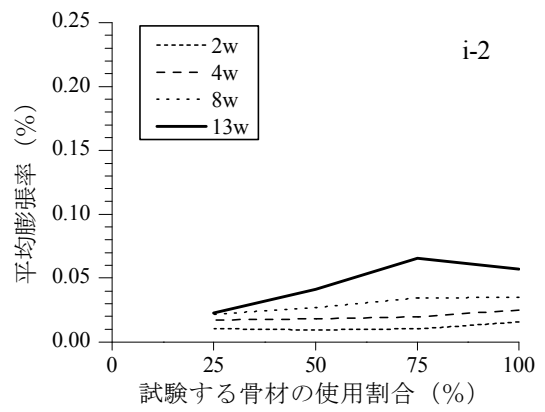
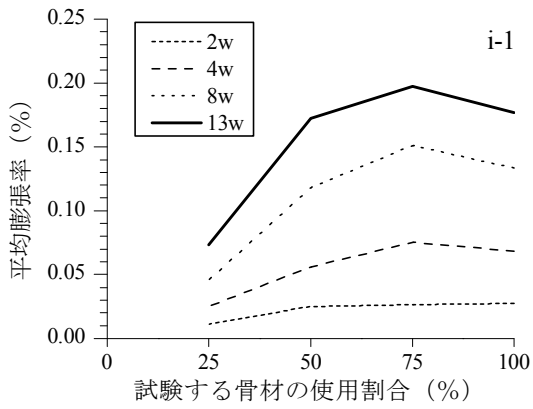


図-3.2 モルタルバー法の試験結果 (明らかに高反応性の骨材)

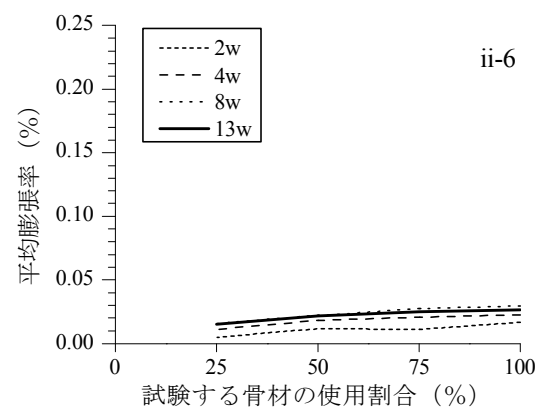
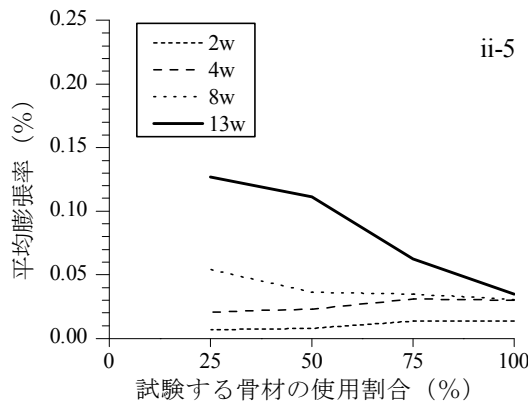
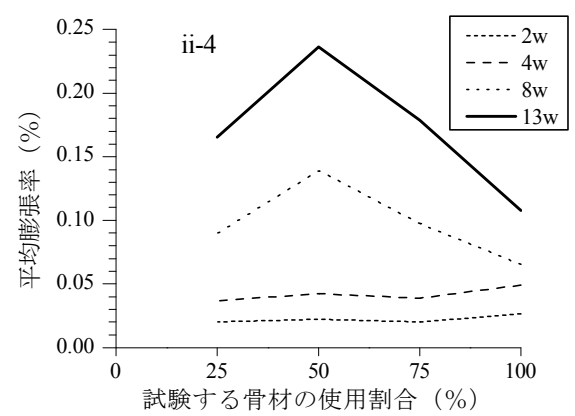
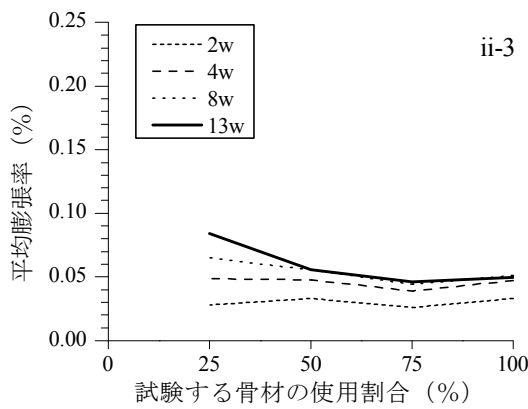
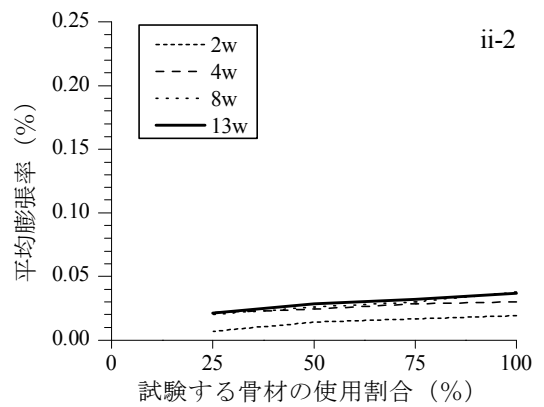
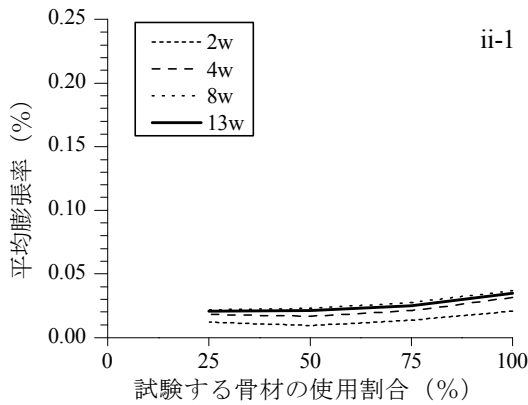


図-3.3 モルタルバー法の試験結果 (ペシマムの影響が考えられる骨材)

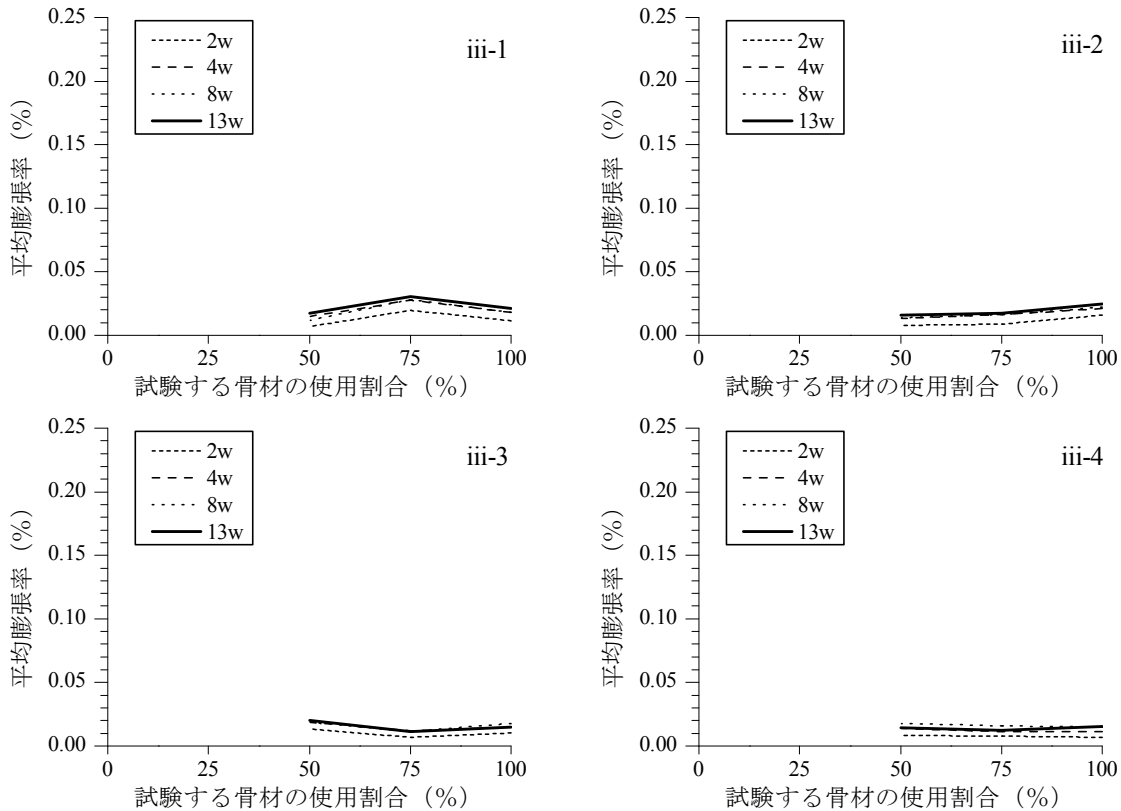


図-3.4 モルタルバー法の試験結果 (ペシマムの影響が考えにくい骨材)

3. 2 実験結果

3. 2. 1 明らかに高反応性の骨材

材齢 13 週までの平均膨張率を、図-3.2 に示した。これらの骨材では、すでに平均膨張率が 0.050% 以上なので、この時点で「無害でない」と判定できる。また、平均膨張率が最大となったのは 2 試料とも、再生粗骨材の使用率が 75% の場合であったが、100% の使用でも、平均膨張率は 0.050% 以上であった。

3. 2. 2 ペシマムの影響が考えられる骨材

材齢 13 週までの平均膨張率を、図-3.3 に示した。該当する 6 種類の骨材のうち、3 試料ではすでに平均膨張率が 0.050% 以上のケースが有り、この時点で「無害でない」と判定できる。これら 3 種の骨材は、再生粗骨材の使用率が 50% または 25% の場合に膨張率が最大となっており、ペシマム条件の影響が顕著だった。なお、平均膨張率が 0.050% 以上のケースがある 3 種の骨材は、いずれも長期暴露試験では、ひび割れが認められなかったものであった。長期暴露試験の供試体では、試験する骨材を 100% 使用していたために、ASR によるひび割れが生じなかった

ことが考えられる。

したがって、これらの骨材については、他の骨材と混合使用した場合に、その組合せや混合率によっては、ASR による顕著な膨張が生じるおそれがあることを否定できない。材齢 13 週の時点でも、すでに 6 試料中 3 試料で「無害でない」と判定できるので、このような骨材は反応性が高い骨材として十分な注意が必要と考えられる。

3. 2. 3 ペシマムの影響が考えにくい骨材

材齢 13 週までの平均膨張率を、図-3.4 に示した。いずれの骨材でも、平均膨張率が 0.050% 未満なので、材齢 14 週の時点では反応性が明確ではなかった。全体に膨張率が小さいこともあり、ペシマムの影響も明確ではなかった。

3. 3 ペシマム条件に関する補足実験の考察

化学法、モルタルバー法、長期暴露試験の結果が一致して高い反応性を示しているような 2 種類の骨材では、材齢 13 週の時点で、試験する骨材を単独で用いたケースでも膨張量が 0.050% 以上となっていた。一方、ペシマムの影響が考えにくい 4 種類の骨

材では、いずれのケースでも膨張量が 0.050%未満であった。これらの試験結果から、今回行った補足実験は再生粗骨材を用いたものであるが、反応性の有無を概ね適切に評価できていると考えた。

今後、現時点で膨張率の小さい供試体が膨張することも考えられるので、継続して試験を行っていく予定である。

これらの結果から、ペシマムを有すると考えられる骨材（例えば、ASTM C 289 の判定図で潜在的有害に該当するような骨材）の反応性を、モルタル等の膨張量から評価するにあたっては、評価する骨材の使用割合を 50%以下程度にした供試体も製作するなど、慎重な検討が必要と考えられる。

現状の JIS の規定では、化学法で「無害でない」と判定された骨材でも、モルタルバー法で「無害」と判定された場合、後者を優先してよいとの規定があるが、ペシマムについて十分な留意がないままこの規定を適用すると危険側の判断になるので、注意が必要である。

4. まとめ

本研究では、骨材試験の妥当性とペシマムの影響について長期暴露試験結果と促進試験結果を比較しながら検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

- (1) ASRによる膨張が生じた骨材の割合は、漸新世よりも新しい火山岩で多く、ついで堆積岩で比較的多いなど、化学法による試験結果などに基づく従来の知見とおおむね合致していた。
- (2) 一方で、従来ほとんど反応性を有しないと考えられてきた中新世よりも古い火山岩や、深成岩・半深成岩でも、暴露供試体ではASRによるひびわれが生じた骨材があり、遅延膨張性のASRが生じたものと考えられた。
- (3) 化学法・モルタルバー法による骨材の反応性の判定結果は、反応性の高い鉱物等を含む骨材、すなわち化学法でScが100 mmol/l以上の火山岩・火山砕屑岩を用いた暴露供試体のひび割れ状況と関係が認められた。一方で、Scが100 mmol/l未満の火山岩・火山砕屑岩や、深成岩・半深成岩などを用いた暴露供試体の状況とは合致しなかった。堆積岩を用いた暴露供試体の結果に関しては化学法の判定結果が暴露供試体の結果と比較的よく合致していた。
- (4) モルタルバー法の判定基準について、膨張の途

中経過を分析したり、促進養生期間を1年としたりして検討したが、判定結果と暴露供試体のひび割れ状況の関係を改善することはできなかった。

- (5) Sc, Rc がともに比較的大きくペシマムの影響が疑われる骨材で、暴露試験前の試験結果が化学法で「無害でない」、モルタルバー法で「無害」と一致しなかった骨材を取り出して再生骨材としてモルタルバー法に準じた試験を行った。
- (6) ペシマムの影響が疑われる骨材は、これを 50%または 25%混合して用いたケースで、膨張率が最大になっていた。暴露試験前に行われたモルタルバー法の試験や、長期暴露試験の供試体では、試験する骨材を単独で用いているので、骨材に反応性があることを正しく評価できていなかったおそれがあることがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省：アルカリ骨材反応抑制対策について、国官技第 112 号、国港環第 35 号、国空建第 78 号、2002.7
- 2) 古賀裕久、河野広隆、渡辺博志：コンクリート構造物の健全度に関する実態調査結果、土木技術資料、Vol.42, No.12, pp.58-63, 2000.
- 3) 河野広隆、古賀裕久：道路橋に見るアルカリ骨材反応の実態、土木技術資料、Vol.47, No.12, pp.66-71, 2005.
- 4) 上田洋、松田芳範、石橋忠良：アルカリ反応性の観点から見た骨材の現状、コンクリート工学年次論文集、Vol.23, No.2, pp.607-612, 2001.
- 5) 尾花祥隆、鳥居和之：プレストレストコンクリート・プレキャストコンクリート部材における ASR 劣化の事例検証、コンクリート工学年次論文集、Vol.30, No.1, pp.1065-1070, 2008.
- 6) 山田一夫、川端雄一郎、河野克哉、林建佑、広野真一：岩石学的考察を含んだ ASR 診断の現実と重要性、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol.7, pp.21-28, 2007.11
- 7) 古賀裕久、百武壮、渡辺博志、脇坂安彦、西崎到、守屋進：「屋外に 23 年以上暴露したコンクリートの観察結果に基づく骨材の ASR 反応性の検討」、土木学会論文集 E2, Vol.69, No.4, pp.361-376, 2013.10
- 8) 脇坂安彦ほか：「骨材のアルカリシリカ反応性に関する長期屋外暴露試験結果」、土木研究所資料、No.4281, 2014.3
- 9) Wakizaka, Y.: "Reactivity of rocks and minerals in alkaline solution", Journal of Research, Public Works Research Institute, Vol.34, pp.15-28, 1998.3
- 10) 成田信之、蒔田実、中野正則、桑原啓三、平野勇、脇坂安彦、片脇清、守屋進、小林茂敏、河野広隆、石井良美：アルカリシリカ反応の調査と対応に関する建設

- 省暫定案, 土木研究所資料, No.2375, pp.107-159, 1986.
- 11) 市川慧, 平野勇, 脇坂安彦, 守屋進, 小林茂敏, 河野広隆, 森濱和正, 森田良美: 日本産岩石のアルカリシリカ反応性, 土木研究所資料, No.2840, pp.81-126, 1990.
 - 12) 脇坂安彦, 守屋進, 河野広隆, 森濱和正, 石井良美: 我が国におけるアルカリ反応性骨材の特徴と分布, 土木技術資料, Vol.30, No.12, pp.24-29, 1988.
 - 13) Katayama, T., Oshiro, T., Sarai, Y. Zaha K. and Yamato, T.: Late-expansive ASR due to imported sand and local aggregates in Okinawa Island, southwestern Japan, *Proceedings of the 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, pp.862-873, 2008.
 - 14) Katayama, T., Sarai, Y., Higashi, Y. and Honma, A.: Late-expansive alkali-silica reaction in the Ohnyu and Furikusa headwork structures, Central Japan, *Proceedings of the 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, pp.1086-1094, 2004.
 - 15) 西政好, 池田隆徳, 佐川康貴, 林建佑: 遅延膨張性骨材による ASR 劣化事例および骨材の ASR 反応性検出法の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.935-940, 2010
 - 16) Detection of potential alkali-reactivity of aggregates - Method for aggregate combination using concrete prisms, RILEM TC 106-3, *Materials and Structures*, Vol.33, pp.283-293, 2000.
 - 17) 古賀誠, 木野淳一, 松田芳範: アルカリシリカ反応の抑制対策について, SED, No.34, pp.138-143, 2010.
 - 18) JIS A 1804 : 1992 (コンクリートの生産工程管理用試験方法—骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(迅速法)) 解説, 1992.
 - 19) 岩月栄治, 森野奎二: 再生骨材コンクリートのアルカリシリカ反応に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1229-1234, 2003.
 - 20) 黒田泰弘: 反応性骨材を用いたコンクリートからの高品質再生骨材の製造, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.421-426, 2007.

【英文タイトル】 STUDY ON EFFECTIVE COUNTERMEASURES AGAINST ALKALI-SILICA REACTION

Budget: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2009-2013

Research Team: Materials and Resources Research Group
(Advanced Materials)

Autors: NISHIZAKI Itaru, HYAKUTAKE Tsuyoshi

Abstract:

Long term exposed concrete specimens aggregate collected from various area of Japan were conducted visual observation, analyzed chemically, and accelerated curing test for improvement of reliability and efficiency of countermeasures against alkali-silica reaction (ASR). Validation of chemical method (JIS A 1145) and pessimum conditions were investigated comparing with the results of the exposed test. The classification of alkali-silica reactivity of aggregates was consistent with the crack condition on the exposed concrete specimens consisted of volcanic rock with resolved silica over 100 mmol/l. On the other hand, the crack condition on the exposed concrete specimens consisted of volcanic rock with resolved silica under 100 mmol/l, and plutonic rock were not agree with the classification of alkali-silica reaction. Delayed expansion of the aggregate resulted from ASR was also recognized. The priority of the result of mortar bar method and chemical method depends on the variety of aggregate, however, chemical method also involved a risk not to detect aggregate reactivity.

Key words:

concrete, alkali-silica reaction, chemical method, mortar bar method, pessimum