

島根県の骨材とアルカリシリカ反応事情

地産地消の時代を迎えて

和美 廣喜*

1. はじめに

8年前に島根大学に着任してから今日まで、地域の資源を有効に利用することの重要性を学んだ。島根県に住む人々は、天然資源の供給、国土保全、環境保全、文化継承など国家的にも大きな役割を担って生活している。そこには、いたるところで地域の環境、伝統と風土に即した経済システムを見ることができる。首都圏の経済システムにどっぷりと浸かり、35年間にわたって効率化のみを追及し、良質の資源を消費してきたこととの葛藤が今になっても私の脳裏から消えることはない。

島根県の生コン工場は山間地域に多く存在する。多分、昔は骨材を近隣の山から採取し、生コンを製造して市街地の工事現場に運搬していたのではないだろうか。中山間地域であるから、生コンを積んだ運搬車は山道を下り、帰りの登りは空運搬となる。山間部の社会資本整備も多いが、下界から砂利を運ぶ必要もない。また、生コンの出荷量が少ないから、建材業、圧送業および環境関連業などを兼業している生コン工場も少なくない。

島根県におけるコンクリート用骨材に関する情報は極めて少ない。2002年に産業技術総合研究所によ

る島根県の骨材資源分布や骨材製造に関する調査結果が報告されており¹⁾、骨材資源の詳細を知ることができる。しかし、生コン工場での使用の実態については触れられていない。また、日本コンクリート工学協会の「骨材の品質と有効利用に関する研究委員会」では2005年に全国の骨材資源調査を行っているが²⁾、島根県の情報はごくわずかであり全体像を把握するまでには至っていない。

地方の生コン工場では、その地域で産出される材料を使用することが一般的であるので、本来は地域レベルでその詳細情報を提供すべきものである。それは、設計者・施工者をはじめ建築主にとっても極めて有益なものとなる。

そんなことから、(社)島根県生コンクリート工業組合と(財)建材試験センター西日本試験所の絶大な協力を得て、「島根県における骨材事情」と「アルカリシリカ反応性とその抑制対策」について、学生の卒業研究と修士論文の一環として調査・研究を行ってきた。本稿では、その成果を総括して紹介するものである。

2. 島根県の骨材事情

2-1. 島根県における骨材、生コンの配合調査

島根県ではこれまでアルカリシリカ反応によるコンクリート構造物の損傷事例は報告されていない。

* 島根大学名誉教授 コンクリエーター wami 主宰 工博
AGGREGATE INFORMATION AND AN ALKALI SILICA REACTION
RESTRAINT METHOD IN SHIMANE (by Hiroki WAMI)



写真1 護岸パラペット部コンクリートのアルカリ骨材反応によるひび割れ発生状況

しかし、島根県は、広島県境を含め東西に火山岩(安山岩, 玄武岩, 流紋岩)が広く分布していることや¹⁾, 写真1に示すようにアルカリシリカ反応の疑いがあるコンクリート構造物が散見される。骨材の調査では、アルカリシリカ反応性に関する調査項目を重視した。また、生コンの配合や製造に関する内容についても調査しているが、ここでは、骨材が生コンの単位水量に与える影響についてのみ紹介する。詳細は文献を参照されたい³⁾。調査は、2007年10~11月で、島根県生コンクリート工業組合加盟の生コン工場55社が対象である。調査結果は50社から回収(回収率91%)することができた。

2-2. 骨材の種類と入手先

粗骨材は98%が砕石で2%が川砂利であった。川砂利は島根県江津市の江の川で採取されたものである。

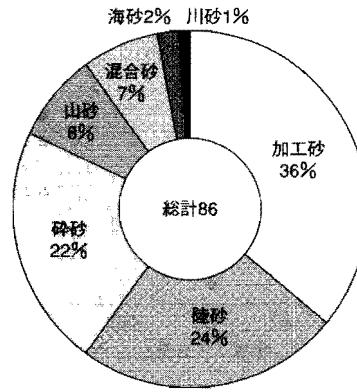


図2 細骨材の種類

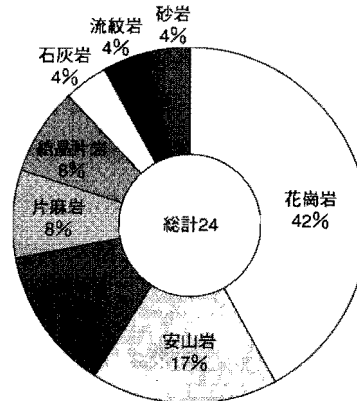


図3 砕砂の岩種

図1に砕石の岩種と入手先を示す。同図の右下は島根県の砕石の岩種構成である。これによると、砕石の88%が島根県産であり、残りの12%を山口(石灰岩2%),新潟(石灰岩4%),鳥取(結晶片岩2%),広島(安山岩4%)の県外から入手している。火山岩の使用割合は60%(安山岩58%,流紋岩2%)である。流紋岩はいわみ地区(2%)で使用されている。隠岐地区(片麻岩100%)を除いて、ほか6地区において安山岩が使用されている。

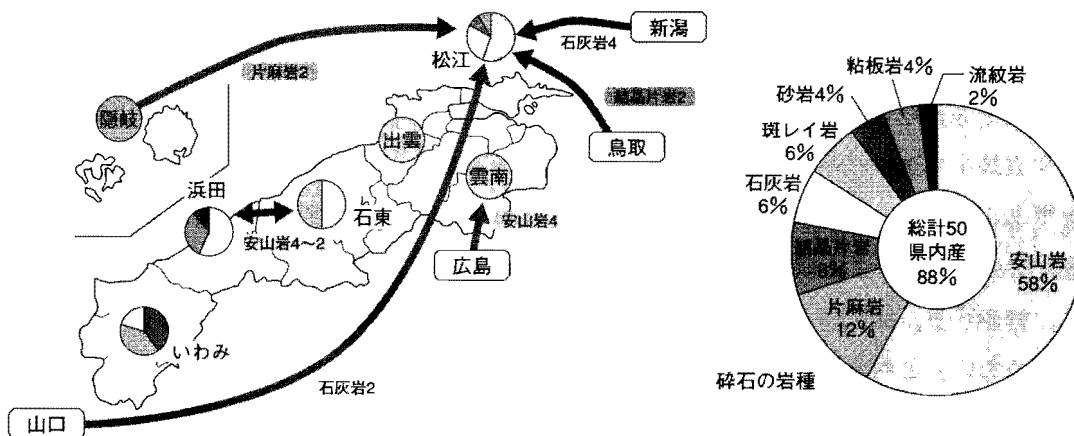


図1 砕石の岩種と入手先

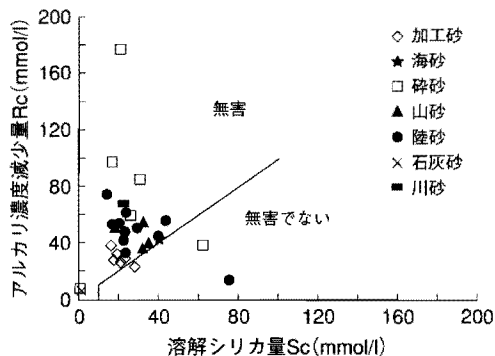


図4 細骨材の化学法の試験結果

図2に細骨材の種類を示す。加工砂が36%と最も多く、次いで陸砂24%、砕砂22%の順で多く使用されている。海砂、川砂はそれぞれ2%、1%であった。加工砂は、安来市から雲南市にかけて産出される風化花崗岩の砕砂である。砕砂の使用割合は加工砂を合わせると58%となる。図3に砕砂の岩種を示す。花崗岩が42%と最も多く、次いで安山岩17%、粘板岩13%の順となっている。このようなことから、粗骨材に安山岩を使用する場合には、細骨材に花崗岩の砕砂を混合使用する割合が多くなるのでアルカリシリカ反応におけるベシマムを考慮する必要がある。

2-3. アルカリシリカ反応

粗骨材のアルカリシリカ反応性試験方法の実施割合は、53骨材について化学法が73%、モルタルバー法が25%、迅速法が2%となっている。同じく細骨材では、83骨材について化学法が77%、モルタルバー法が18%、迅速法が5%となっている。

粗骨材の場合、化学法で「無害でない」と判定されたものはない。

これは、ヒアリングの結果、化学法で過去に「無害でない」と判定されたものについては化学法の試験を実施せず直接モルタルバー法の試験を行っていたとのことであった。

図4に細骨材の化学法による試験結果を示す。細骨材のうち、砕砂(□)、加工砂(◇)、陸砂(●)の3骨材が「無害でない」と判定されている。また、数種類の細骨材(◇★■▲●)でSc/Rc = 1の線上に近いものもある。

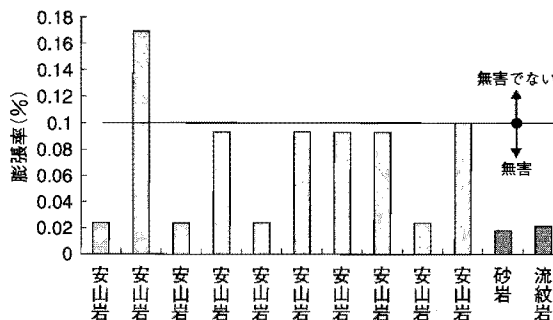


図5 粗骨材のモルタルバー試験結果

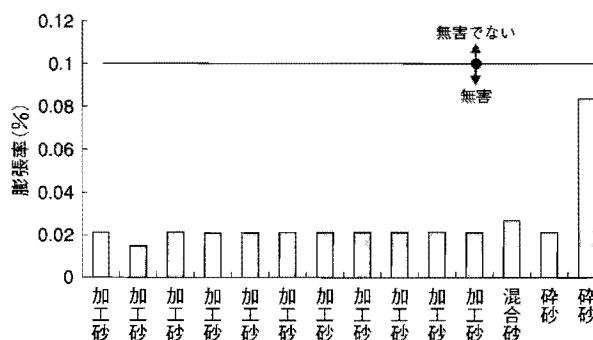


図6 細骨材のモルタルバー試験結果

図5に粗骨材のモルタルバー試験結果を示す。粗骨材では、0.1%以上の膨張率を示すものが2骨材であり、0.1%に近いものが4骨材である。図6に細骨材のモルタルバー試験結果を示す。砕砂で0.1%に近い膨張率を示すものがあるが、全て「無害」の領域となっている。

島根県では、全生コン工場でアルカリシリカ反応の抑制対策を実施している。抑制対策の内訳は、アルカリ総量規制が34%、混合セメントの使用が35%、安全と認められる骨材の使用が31%となっている。しかし、粗骨材や細骨材で、モルタルバーの膨張率が0.1%に近いものがあることから、これらと異種骨材を混合使用した場合の性状も把握しておく必要がある。現行の基準では、化学法で「無害でない」と判定されても、モルタルバー法で「無害」と判定されれば使用しても良いことになっている。化学法は、モルタルバー法に基づいて判定基準が定められているはずである。現在の規格の矛盾を知りながら、対策が無視されているとしたら問題である。

2-4. 粗骨材の実積率と単位水量

図7に粗骨材の実積率と単位水量の関係を示す。

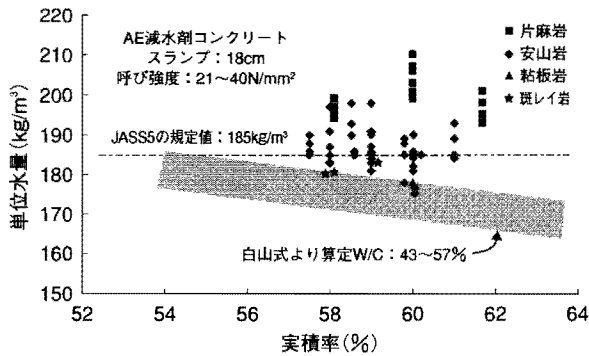


図7 粗骨材の実積率と単位水量の関係

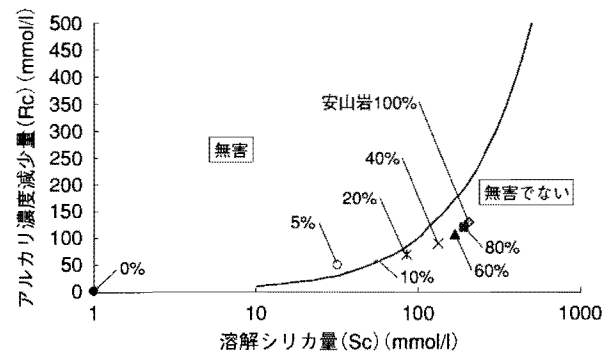


図8 ScとRcとの関係

これは、粗骨材2005を用いたAE減水剤コンクリートの標準配合における単位水量である。片麻岩(■)の全てと安山岩(◆)の半数以上でJASS 5の単位水量の規定値(185kg/m³)を超えている。図のグレーゾーンは、水セメント比43~57%について、白山式⁴⁾によって粗骨材の実積率(63.5%を基準とした)から単位水量を算定したものである。その領域におさまるのは斑レイ岩(★)の一部、安山岩(◆)の一部および粘板岩(▲)である。このようにJASS 5の単位水量の規定値を大幅に上回る原因は、砕砂の使用率が高いこと、粗骨材の形状が扁平なものが多いことによるものと推測される。単位水量の規定値を超える場合の対策は、高性能AE減水剤の使用(71%)、AE減水剤の増量(5%)、流動化剤(2%)、対策をしない(6%)、その他(3%)である。

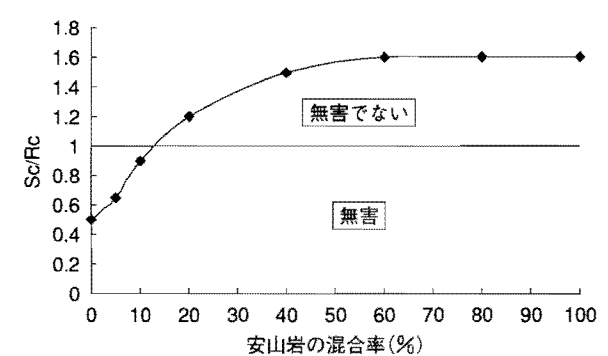


図9 安山岩の混合率とSc/Rcとの関係

3. 安山岩骨材のアルカリシリカ反応性と混合セメントによる抑制効果

3-1. 実験概要

鳥根県では、粗骨材の約60%に火山岩(安山岩58%、流紋岩2%)が用いられており、砕砂の約20%(砕砂の使用率は約60%)に安山岩が用いられている。また、モルタルバー法による膨張率が0.1%近傍やそれを超える安山岩を粗骨材として使用していることがわかった。ただし、このような反応性骨材を使用している全ての生コン工場では、高炉セメントやフライアッシュセメントによるアルカリシリカ反応の抑制対策を講じている。このようなことから、鳥根県で使用されている安山岩骨材のアルカリ

シリカ反応性の確認と抑制対策の妥当性を検証することを目的に、現在採用されているアルカリシリカ反応性試験方法を用いて実験検討を行った⁵⁻⁷⁾。

骨材のアルカリシリカ反応性を評価する上で重要なことは、ほとんどの工場において一種類の骨材を使用することはほとんどなく、反応性骨材と非反応性骨材が混合使用されているということである。ここでは、化学法、モルタルバー法および迅速法を採用したが、いずれの試験においても反応性骨材と非反応性骨材を混合して使用し、ベシマムの把握に努めた。モルタルバー法および迅速法では、高炉セメントとフライアッシュセメントのアルカリシリカ反応抑制効果について検討を行った。

3-2. 化学法の試験結果

図8に溶解シリカ量(Sc)とアルカリ濃度減少量(Rc)の関係を示す。

安山岩の混合率が0, 5, 10%では「無害」と判定され、安山岩の混合率が20%以上になると「無害でない」と判定された。

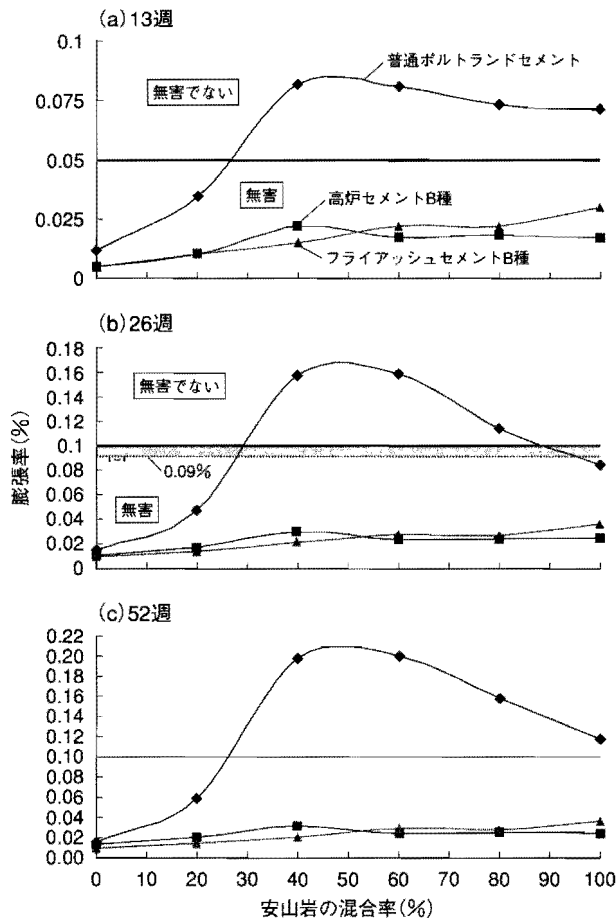


図10 安山岩混合率と膨張率の関係

図9は、上記の結果を安山岩混合率と (Sc/Rc) との関係で示したものである。

(Sc/Rc) は、安山岩混合率の増大に対して指数関数的に大きくなる。これより、今回使用した骨材の場合には、安山岩の混合率が12~13%程度の位置が判定の境界領域になる。

3-3. モルタルバー法の試験結果

図10(a)に材齢13週における安山岩の混合率と膨張率の関係を示す。普通ポルトランドセメントを用い、安山岩混合率が40%以上の場合には、膨張率が13週における判定基準値である0.05%を超え「無害でない」の領域となった。しかし、材齢26週では、図10(b)に示すように普通ポルトランドセメントを用い、安山岩混合率が40、60、80%において、膨張率が0.1%を超え「無害でない」となり、安山岩混合率が100%の場合には「無害」となった。普通ポルトランドセメントを用いた場合には、安

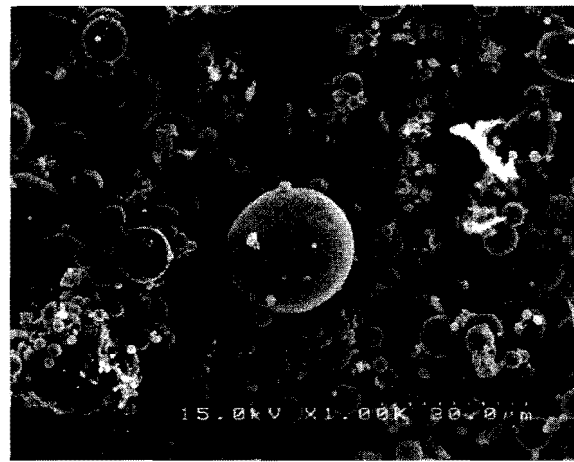


写真2 フライアッシュII種の走査顕微鏡写真

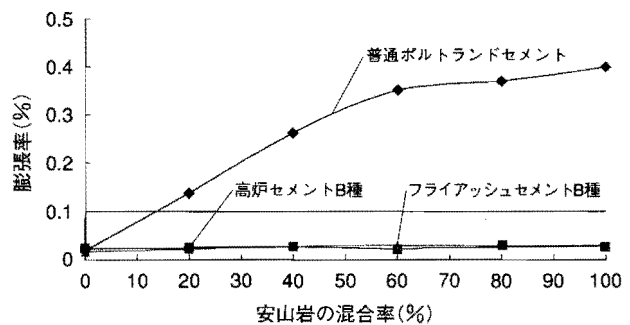


図11 安山岩混合率と膨張率の関係

山岩混合率が40~60%の間でペシマムが存在することが確認された。高炉セメントB種、フライアッシュセメントB種(写真2、フライアッシュII種をセメントの内割で15%使用、 SiO_2 : 58%, 比表面積: 3860 mm^2/g)を用いた場合には、材齢および混合率に関係なく膨張率が小さく、アルカリシリカ反応の抑制効果があることが確認された。

図10(c)に材齢52週におけるモルタルバー試験結果を示す。普通ポルトランドセメントを用い、安山岩混合率が40%以上で、膨張率が0.1%を上回る結果となった。

3-4. 迅速法の試験結果

図11に安山岩の混合率と膨張率の関係を示す。普通ポルトランドセメントを用い安山岩の混合率0%と高炉セメントB種、フライアッシュセメントB種を用いた場合の膨張率は極めて小さく「無害」となった。しかし、普通ポルトランドセメントを用い

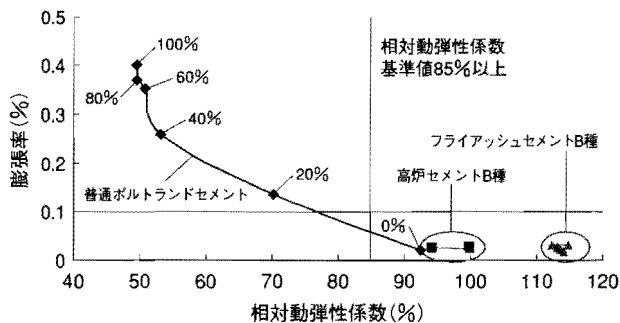


図12 相対動弾性係数と膨張率の関係

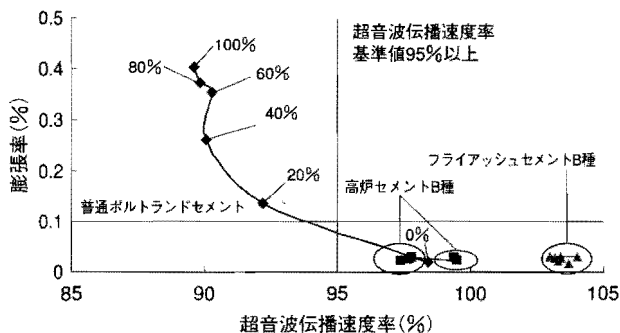


図13 超音波伝播速度率と膨張率の関係

安山岩の混合率が20%以上になると膨張率が0.1%以上を示し、「無害でない」となった。

図12に膨張率と相対動弾性係数の関係を示す。普通ポルトランドセメントを用い安山岩の混合率0%と高炉セメントB種、フライアッシュセメントB種を用いた場合の膨張率は極めて小さく、相対動弾性係数も基準値の95%以上を示し、「無害」となった。しかし、普通ポルトランドセメントを用い安山岩の混合率が20%以上になると膨張率が0.1%以上を示し、相対動弾性係数も75%以下を示し、「無害でない」となった。

図13に膨張率と超音波伝播速度率の関係を示

す。普通ポルトランドセメントを用い安山岩の混合率0%と高炉セメントB種やフライアッシュセメントB種を用いた場合の膨張率は極めて小さく、超音波伝播速度率が95%以上を示し、「無害」となった。しかし、普通ポルトランドセメントを用い安山岩の混合率が20%以上になると膨張率が0.1%以上を示し、超音波伝播速度率も95%以下となり、「無害でない」となった。

相対動弾性係数、超音波伝播速度率の基準値は、今回の試験結果からは安全側となるが、ほぼ妥当なものと判断できる。

3-5. 総合評価

混合セメントを用いた場合には、安山岩の混合率を変えた場合でも試験方法による影響はほとんどなく「無害」と判定された。しかし、普通ポルトランドセメントの場合には、表1に示すように試験方法によって異なる判定結果となった。ここに、□は「無害」、■は「無害でない」を示し、グレーゾーンは、モルタルバー法、迅速法において膨張率が0.09%以上0.1%未満の場合を示している。

化学法・迅速法では安山岩の混合率が20%以上で「無害でない」の領域に入った。現行のモルタルバー法の判定基準では、一種類の骨材を用い、材齢13週の膨張率が0.05%以上と材齢26週の膨張率が0.1%以上の場合に「無害でない」と判定することになっている。しかし、材齢13週で「無害でない」と判定されたものが、材齢26週で「無害」と判定される。また、同じ26週で安山岩の混合率が30~80%の範囲で

表1 総合評価(普通ポルトランドセメント)

試験方法	安山岩の混合率(%)											
	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
化学法				■	■	■	■	■	■	■	■	■
迅速法				■	■	■	■	■	■	■	■	■
モルタルバー法(13w)	-	-	-	-								
モルタルバー法(26w)											■	■
モルタルバー法(32w)											■	■
モルタルバー法(52w)											■	■

□ 無害 ■ 無害でない ■ グレーゾーン

「無害でない」, 90%で「グレーゾーン」となる。これはペシマムが存在する骨材では、現状の種類の骨材で試験を行うモルタルバー法の判定基準では危険側の評価となることを示すものである。化学法・迅速法で「無害でない」と判定された骨材は、現行のモルタルバー法で「無害」と判定されても、それを保証するものではないことを示している。

また、今回は材齢32週, 52週でも試験を行っているが、今回の骨材では材齢52週で膨張率が0.1%を超えている。

4. あとがき

「鳥根県の骨材事情は深刻である」と機会あるごとに言ってきた。火山岩である黒々とした扁平な骨材の外見を見せられると、コンクリートの専門家だけに限らず、誰でもがそう感じざるを得ないものであった。しかし、今回詳細に調査してみると、密度も大きく、強固でJIS規格を満足しており、心配されたアルカリシリカ反応も抑制対策の3点セットを採用することで使用可能であることもわかった。すなわち外見だけで良否を判断してはいけないことを学んだ。

アルカリシリカ反応の抑制対策として混合セメントを使用することが有効であるが、今後の課題も多くある。フライアッシュセメントは、最近きわめて入手が困難になった。高炉セメントはコンクリートの自己収縮、ブリーディングなど品質上の問題があること、地域によって輸送費によるコストアップの問題もある。これらは技術的に解決可能な問題である。

鳥根県の生コン価格は、近隣県よりもかなり割高感がある。その上最近になって、安易に無害の骨材を求める機運も多くなっていると聞く。鳥根県には、良質ではないがJIS規格を満足するコンクリート資源が豊富にある。地元のこれまでの努力を無視して、技術的なリスク回避のために良質の資源を安易に求めているとしたら、鳥根県の資源問題に直接関与してきた者として無念至極である。

【謝辞】生コン工場の調査に当たっては、(社)鳥根県生コンクリート工業組合の本次幸二事務局長と工業組合加盟工場の全面的なご協力を得ました。アンケートの配布、回収にご協力をいただいた組合事務局の竹治圭子さんの絶大なるご尽力をいただきました。

アルカリシリカ反応性実験では、(財)建材試験センター西日本試験所の岸賢蔵所長をはじめ井上英雄副所長、流田靖博氏、矢埜和彦氏、杉原大祐氏、白木良一氏に学生の教育も含め多大なご支援をいただきました。

また、鳥根大学総合理工学部材料プロセス工学科構造材料研究室では、卒業研究として取り組んだ小松沙織さん、錦織卓也氏、修士論文として取り組んだ安達純子さん、田栗広樹氏のご協力をいただきました。ここに深く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 須藤定久／骨材資源調査報告書－地域の骨材資源資料－, 産業技術総合研究所, 2003年
- 2) 日本コンクリート工学協会／骨材の品質と有効利用に関する研究委員会報告書, 2007年
- 3) 和美廣喜, 安達純子／鳥根県におけるレディーミクストコンクリートの実態調査, 日本建築学会技術報告集Vol.16, No.32, 2010年2月
- 4) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説, JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 1969年
- 5) 安達純子, 和美廣喜, 流田靖博, 矢埜和彦, 杉原大祐, 田栗広樹／安山岩骨材のアルカリシリカ反応性とその抑制対策に関する実験的研究－その1－全体計画・化学法による反応試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.751～752, 2009年8月
- 6) 田栗広樹, 和美廣喜, 流田靖博, 矢埜和彦, 杉原大祐, 安達純子／安山岩骨材のアルカリシリカ反応性とその抑制対策に関する実験的研究－その2－モルタルバー法による反応試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.753～754, 2009年8月
- 7) 杉原大祐, 和美廣喜, 流田靖博, 矢埜和彦, 安達純子, 田栗広樹／安山岩骨材のアルカリシリカ反応性とその抑制対策に関する実験的研究－その3－迅速法による反応試験・総合評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.755～756, 2009年8月

*

*

*