

人工軽量骨材のアルカリシリカ反応性と その評価手法の提案

杉山 彰徳*1・鳥居 和之*2

概要 人工軽量骨材のアルカリシリカ反応（ASR）に関連して、人工軽量骨材コンクリートの ASR による劣化事例と現行の ASR 判定試験法の適否について述べるとともに、わが国で現在使用されている人工軽量骨材の岩石・鉱物学的特徴と ASR 試験の判定結果との関係について解説した。人工軽量骨材の ASR 試験の結果より、一部の軽量骨材では化学法（JIS A 1145）でアルカリを多量に溶出するものがあり、「無害でない」と判定されたが、モルタルバー法（JIS A 1146）では大きな膨張は発生せず、「無害」と判定された。また、コンクリートバー法による評価では、促進養生条件（養生温度、内在または外部からのアルカリ供給量など）との関係より、2、3の人工軽量骨材は骨材の殻の内外に ASR ゲルの生成が観察されたが、骨材中の気孔により ASR ゲルの膨張圧が大きく緩和されたため、人工軽量骨材コンクリートにはひび割れの発生を伴う膨張は認められなかった。以上のことより、一連の ASR 試験結果を総合的に比較検討して、軽量骨材に適した ASR 試験法の提案を行った。

キーワード：人工軽量骨材，反応性鉱物，アルカリシリカ反応性，化学法，モルタルバー法，コンクリートバー法

1. はじめに

軽量骨材は、構造物の軽量化を目的として、高層建築物のスラブや外壁材に主に使用されてきたが、近年、橋梁の桁や床版などの構造部材にもその用途が広がってきている。軽量骨材としては、火山礫を破砕し、粒度調整した天然軽量骨材、工業的に高温焼成して製造される人工軽量骨材、膨張スラグ、石炭灰などの各種産業廃棄物を高温焼成して製造される副産軽量骨材、左官用モルタルに用いられる真珠岩や黒曜石を焼成して発泡させた骨材、など多種多様なものが流通している。1950年代後半以降、天然軽量骨材に比べて品質が安定している人工軽量骨材の開発が進められ、構造物に利用されてから40年以上経過しているが、わが国では ASR による劣化事例がこれまで報告されていなかった。しかし、近年、人工軽量骨材を用いた実構造物において ASR による劣化の疑いのある 2、3 の事例が報告されている^{1),2)}。一方、人工軽量骨材の ASR 試験法の適用性に関しては、体系的な研究がほとんど行われていないのが実状である³⁾。このため、軽量骨材の JIS A 5002 の改正原案作成委員会では、軽量骨材のアルカリシリカ反応性が不明確であること、軽量骨材への ASR 試験法の適用性が不確定なことなどを重要な懸案事項として指摘している。

本報告では、人工軽量骨材コンクリートの ASR による劣化事例と現行の ASR 判定試験法の適否について述べるとともに、わが国の代表的な人工軽量骨材の岩石・

鉱物学的特徴と ASR 試験の判定結果との関係について解説する⁴⁾。また、一連の ASR 試験結果を総合的に比較検討して、軽量骨材に適した ASR 試験法の提案を行った。

2. 人工軽量骨材の ASR 試験法の適否と課題

わが国では、骨材の ASR 判定試験法として、化学法（JIS A 1145-2001）およびモルタルバー法（JIS A 1146-2001）が規定されている。しかし、両試験法によって適切に判定できない種類の骨材があることが指摘されている^{5)~7)}。一方、軽量骨材に関しては、JIS の解説中に化学法およびモルタルバー法が適用できないと明記されている。この理由は、ASR 試験では骨材は破砕して細骨材の粒度で用いられるが、軽量骨材は破砕したものと破砕しないもの（原骨材）とで骨材の物理的・化学的性質が大きく変化するためである。さらに、高温で焼成された人工軽量骨材や火山礫からなる天然軽量骨材の中には、ASR を発生させる反応性鉱物を含有する可能性があるが、軽量骨材の岩石・鉱物学的検討がこれまで実施されていないので、含有反応性鉱物と ASR 試験法の適用性との関係が明確になっていないことが挙げられる⁴⁾。

実際、軽量骨材に化学法を適用する際には、軽量骨材の気孔中にアルカリ溶液が吸着されるために、分析用の液量が一定にならないことや、吸引ろ過の時間を長くする必要があること、などが問題になる。このため、化学法の測定精度自体が低くなることにも注意が必要である。一方、モルタルバー法においては、JIS A 1146 に準拠した質量配合でモルタルバーを作製すると、骨材容積が

*1 すぎやま・あやのり／太平洋マテリアル㈱ 開発研究所 グループリーダー（正会員）

*2 とりい・かずゆき／金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授（正会員）

増大するためモルタルの練り混ぜや打設が困難になることが問題となる。また、コンクリートバー法は、軽量細骨材および軽量粗骨材を組み合わせ、所定の配合でコンクリートのアルカリシリカ反応性を評価できるために、より実用性が高い判定方法であるといえる。しかし、促進養生条件下でも判定には6カ月から1年を要するという点が問題となるとともに、軽量骨材コンクリートに適した膨張値の判定基準の設定が重要になる。

3. 人工軽量骨材コンクリートの実構造物でのASR劣化事例

3.1 橋梁・地覆の事例

東北地方の山間部にある橋梁は、1995年に竣工したものであり、竣工後まもなく地覆の橋軸方向にひび割れが多数発生した。本橋梁は周辺に障害物がなく、日射や風雪等の気象環境の影響を直接受ける、厳しい環境下にあった。地覆に用いられたコンクリートは、造粒型膨張性頁岩系の軽量細骨材および軽量粗骨材を使用した軽量コンクリート2種であった。地覆よりコアを採取した結果、コアの側面には写真-1に示すような凍結融解の繰返しによる骨材を連結する、連続的なひび割れが発生していた。また、写真-2に示すようにASRゲルの生成が確認された。本橋梁では、耐凍害性に劣る軽量2種コンクリートが使用されていること、上部工側面の地覆コンクリートと捨て型枠との境界に隙間が生じており、この部分に防水や排水の対策がなされていなかったために、側面周辺のコンクリートが湿潤状態になり、耐凍害性でも不利な環境下におかれていたことも損傷の一因となった。

3.2 プレキャスト壁部材の事例

千葉県の研究施設のプレキャスト壁部材は、1993年に竣工し、写真-3に示すように壁表面全体に亀甲状のひび割れが発生した。プレキャスト壁部材に用いられたコンクリートは、造粒型酸性火山岩系の軽量細骨材および軽量粗骨材を使用した軽量2種コンクリートであった。

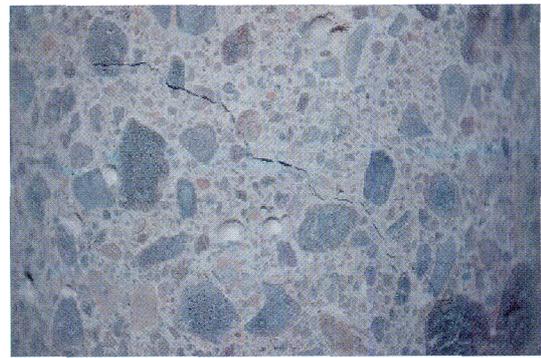


写真-1 地覆からのコアのひび割れ

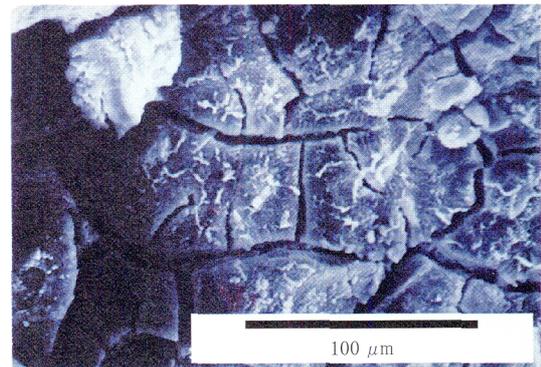


写真-2 ASRゲルの生成状況

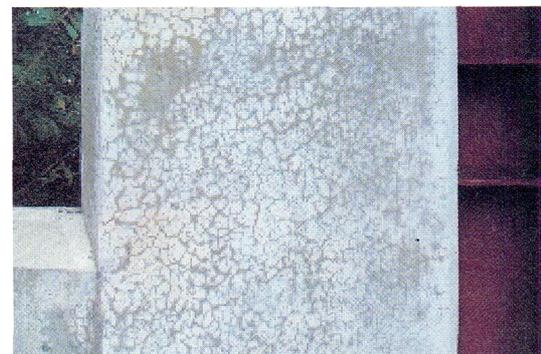


写真-3 プレキャスト部材の表面性状

Alkali-Silica Reactivity of Lightweight Aggregates and Proposal of ASR Assessment

By A. Sugiyama and K. Torii

Concrete Journal, Vol.46, No.10, pp.3~9, Oct. 2008

Synopsis In order to investigate the possibility of occurrence of alkali silica reaction (ASR) in concrete containing lightweight aggregates, the alkali-silica reactivity of six artificial lightweight aggregates and one natural lightweight one, which are now produced in Japan, was comparatively examined according to the chemical method, JIS A 1145, and three types of mortar bar methods, JIS A 1146, ASTM C 1260 and Danish method, along with their mineralogical properties. From the results of ASR assessment test, it was found out that the alkali-silica reactivity of all lightweight aggregates was determined as "Not Innocuous" by the chemical method, JIS A 1145, but that it was determined as "Innocuous" by three types of mortar bar methods. Furthermore, although ASR gel was actually formed around the shell or in the voids of some lightweight aggregates in concrete, the expansion behavior of concrete bar was not so significant because the internal voids in lightweight aggregate may eliminate the expansion pressure due to ASR. Furthermore, the appropriate test procedure for ASR assessment of the concrete containing lightweight aggregates was discussed and proposed.

Keywords : artificial lightweight aggregate, reactive component, alkali-silica reactivity, chemical method, accelerated mortar bar method, concrete bar method

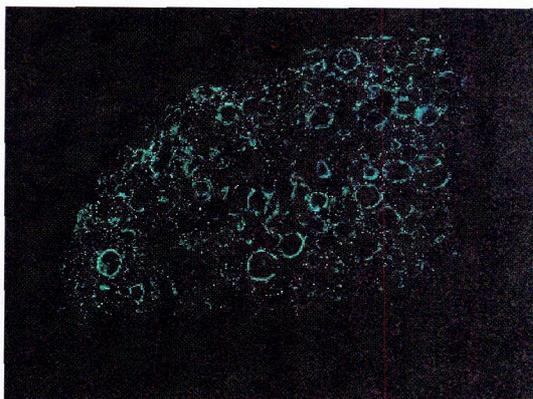


写真-4 ASRゲルの生成状況（酢酸ウラニル蛍光法）

偏光顕微鏡観察の結果より、石英、長石、黒雲母などの斑晶とガラス質な石基とからなっていた。この軽量骨材の物理的性質は、密度が 0.90 g/cm^3 、吸水率が 1.1% であり、市販の人工軽量骨材と比較して、独立空隙が多い高強度、低含水率の骨材である。プレキャスト壁部材よりコアを採取し、コアの破断面を酢酸ウラニル蛍光法で観察した結果、写真-4 に示すように骨材の殻周囲にASRゲルの生成が確認された。壁表面部分にマップ状のひび割れが認められたが、周辺に障害物がなく、日射や風雨等の気象環境の影響を直接受ける環境下にあることから、ひび割れの原因はASRの発生とその後の乾湿による繰返しが原因であった。

4. 軽量骨材のアルカリシリカ反応性の評価

軽量骨材のアルカリシリカ反応性とその試験法の適否を確認するために、わが国で使用されている6種類の人工軽量骨材および1種類の天然軽量骨材を対象としたASR試験法（骨材の化学法、モルタルバー法とコンクリートバー法）を実施した。

4.1 使用材料

対象とした軽量骨材（市販品）は6種類の人工軽量骨材と1種類の天然軽量骨材である。軽量骨材の物理的性質を表-1に示す。なお、軽量骨材の密度は絶乾密度で、吸水率は出荷時の含水状態で表記した。細骨材と粗骨材の含水量の差は、細骨材は粒径が小さいために製造時に骨材内部に気孔が取り込みにくいこと、骨材Bは独立気孔が多く、破碎により骨材表面に気孔が多くなったこ

と、によるものである。骨材Eは左官用で使用されている真珠岩系（ガラス相を含有）の細骨材であり、骨材Fはガラス瓶廃材を原料として製造された細骨材である。通常の軽量骨材は骨材を形成する外殻と内部の気孔からなっているが、天然骨材Gは外殻がなく、内部の気孔の形状がいびつであるのが特徴である。また、比較のために、反応性骨材として富山県常願寺川産の川砂利（安山岩粒子を約30%含有する、化学法（JIS A 1145）： $Sc/Rc=5.2$ 、 $Sc=353 \text{ mmol/l}$ 、 $Rc=68 \text{ mmol/l}$ 、モルタルバー法（JIS A 1146）： 0.443% （材齢6カ月）を用いた。骨材EおよびF以外のものは構造用軽量コンクリート用の粗骨材であり、出荷時の含水状態のものをロールミルで粉碎した後、細骨材として使用するために5mm以下の範囲でモルタルバー試験用の粒度（JIS A 1146-2001）に調整した。また、モルタルバー法には、普通ポルトランドセメント（密度： 3.16 g/cm^3 、ブレン値： $3330 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、等価アルカリ量： 0.68% ）を使用した。コンクリートバー法には、細骨材として非反応性の津久見産石灰石砕砂（密度： 2.69 g/cm^3 、吸水率： 0.70% 、粗粒率： 2.70 ）を用いた。

4.2 化学法による判定

表-2に軽量骨材の化学成分を示す。軽量骨材の化学成分は、原料の種類（頁岩、石炭灰、粘土鉱物など）や焼成方法（温度、冷却速度）により相違するとともに、軽量骨材の内部組織は均一ではなく、微量な化学成分（リン、アルカリなど）が局部的に偏在する状況も確認された。表-2より軽量骨材の主要な化学組成は、シリカ分およびアルミナ分の合計が70~80%であり、いず

表-1 骨材の原料および物理的性質

骨材名	原料	細骨材		粗骨材	
		密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)
骨材A(人工)	膨張頁岩	1.38	15.7	1.28	29.4
骨材B(人工)	黄土	1.45	10.1	1.21	2.3
骨材C(人工)	石炭灰	1.43	22.1	1.37	25.1
骨材D(人工)	膨張頁岩	1.33	18.1	1.26	34.7
骨材E(人工)	真珠岩	0.95	31.8	—	—
骨材F(人工)	ガラス	0.70	7.8	—	—
骨材G(天然)	火山礫	1.37	27.6	0.92	59.9
反応性骨材	川砂利	—	—	2.60	1.7

表-2 軽量骨材のガラス相の主要な化学成分（wt%，SEM-EDX分析）

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Total
骨材A	52.3	18.6	4.1	3.1	4.0	8.7	2.0	0.1	92.9
骨材B	65.5	14.1	0.5	2.0	2.3	11.0	1.9	0.3	97.6
骨材C	55.9	22.4	1.3	0.3	4.0	10.5	1.5	0.3	96.2
骨材D	59.1	17.0	1.7	0.1	3.2	10.4	1.9	0.3	93.7
骨材E	68.4	13.2	0.0	0.2	1.3	10.2	2.8	0.1	96.2
骨材F	50.4	20.2	0.0	4.6	2.1	14.9	0.6	0.1	92.9
骨材G	65.9	12.9	1.1	1.5	2.0	11.8	1.0	0.5	96.7
川砂利	61.7	17.2	1.7	4.6	0.5	7.8	3.0	0.8	97.3

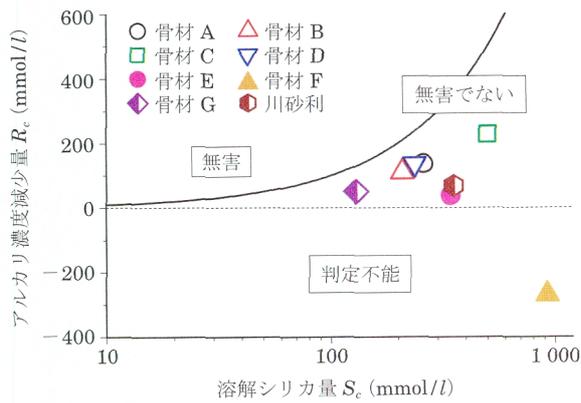


図-1 軽量骨材の化学法 (JIS A 1145-2005) の結果

れのものも等価アルカリ分 ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ 換算値) が 10% 程度あるのが特徴である。また、軽量骨材のガラス相は反応性骨材 (安山岩粒子) に類似した化学組成のものであることがわかる。したがって、軽量骨材の焼成過程で骨材の外殻としてガラス相が形成される場合には、ASR が生じる可能性がある。

軽量骨材の化学法 (JIS A 1145) による判定結果を図-1 に示す。軽量骨材のアルカリシリカ反応性は軽量骨材の化学成分および鉱物組成と密接に関連している。図に示すように、化学法の S_c/R_c 比は軽量骨材の種類により変化するが、いずれの軽量骨材も「無害でない」と判定された⁹⁾。一般に、溶解シリカ量およびアルカリ濃度の減少量がともに大きい骨材 (ASTM C 289 において潜在的有害の領域にプロットされる骨材) は、アルカリシリカ反応性が高いと認識され、ベシマム現象が顕著に現れるものである⁹⁾。また、骨材 E のように溶解シリカ量に比べてアルカリ濃度の減少量が小さいものや、骨材 F のようにアルカリ濃度の減少量が負の値のものもある。これらの結果は化学法の試験中に骨材のガラス相からアルカリが多量に溶出している可能性を示唆している^{10), 11)}。

軽量骨材からのアルカリ溶出量を図-2 に示す。人工軽量骨材は初期より比較的多くのアルカリを溶出するが、浸せき 28 日までにほぼ終了していることが特徴である。とくに、ガラス廃材から製造された骨材 F は他の人工

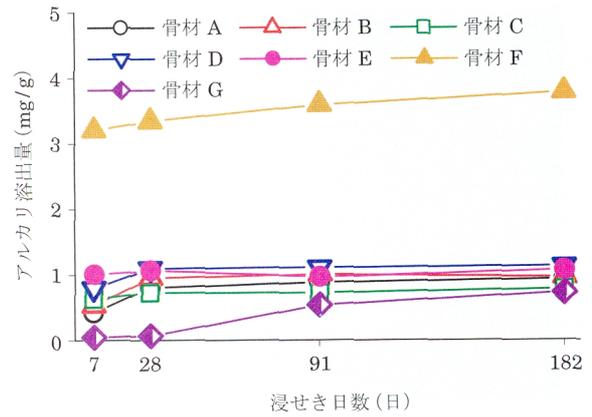


図-2 軽量骨材からのアルカリ溶出量

軽量骨材と比較して顕著なアルカリ溶出が認められる。一方、天然骨材 G は浸せき 28 日までのアルカリ溶出量は少ないが、浸せき日数の経過とともにアルカリ溶出量が增大していることが特徴である。

4.3 モルタルバー法による判定

促進膨張試験 (JIS A 1146, ASTM C 1260 およびデンマーク法) におけるモルタルバーの膨張挙動を図-3、図-4 および図-5 に示す。3 種類のモルタルバー法は規格に準拠した質量配合 ($S/C=2.25$) と標準砂との密度差を考慮した容積配合 ($S/C=1.35$, W/C は各規格に準拠) の 2 条件で実施した。

JIS A 1146 の試験では、いずれの軽量骨材も材齢 182 日における膨張量が 0.1% 以下となり「無害」と判定された。また、骨材 E 以外の軽量骨材のモルタルの膨張量は、容積配合 ($S/C=1.35$) と質量配合 ($S/C=2.25$) とともに材齢 7 日まで膨張が急激に増加し、その後は緩やかな膨張挙動となった。とくに、軽量骨材の中で、X 線回折分析によってガラス相およびクリストバライトが同定された骨材 E は他のものと比べて膨張量が全体に大きくなった。一方、アルカリが外部より常時供給され、高温環境下におかれる ASTM C 1260 の試験では、いずれの軽量骨材も材齢 14 日における膨張量が 0.1% 以下となり「無害」と判定されたが、JIS A 1146 と異なりモルタルの膨張が漸増傾向となった。ASTM C 1260 の試験でも、骨材 E は他のものと比べて膨張量が大きく

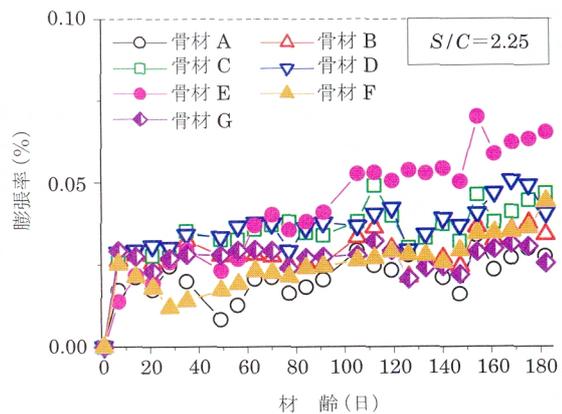
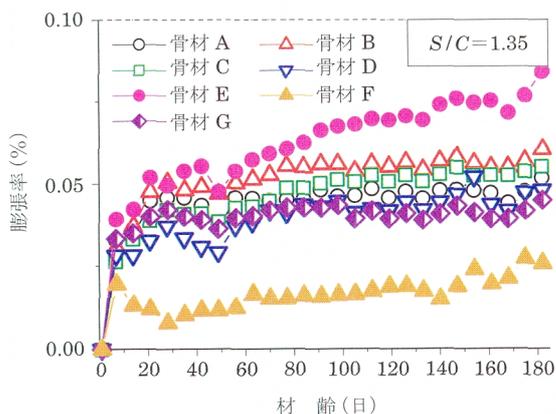


図-3 モルタルバー法の結果 (JIS A 1146-2005)

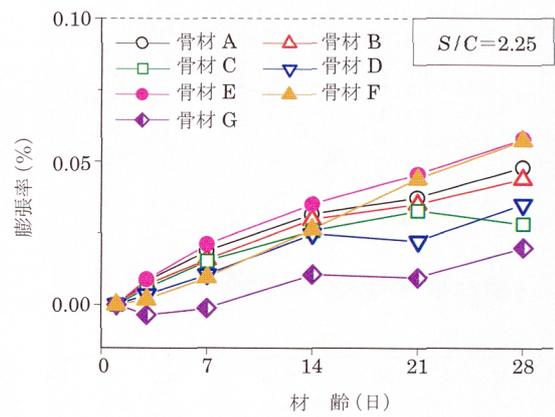
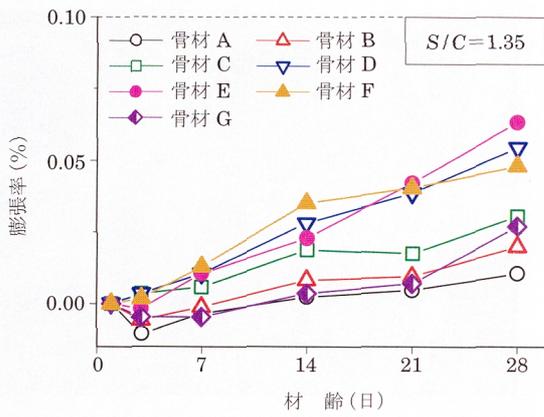


図-4 モルタルバー法の結果 (ASTM C 1260)

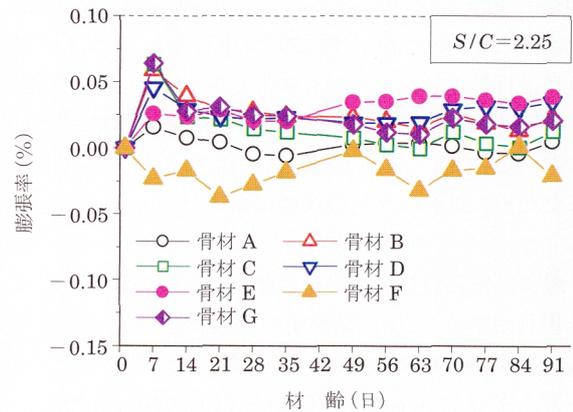
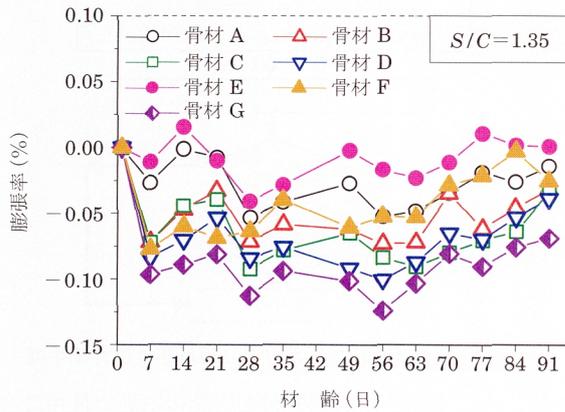


図-5 モルタルバー法の結果 (デンマーク法)

なり、JIS A 1146と同様な傾向であった。また、デンマーク法の試験は、JIS A 1146およびASTM C 1260と比較して膨張が全体的に小さくなり、容積配合のものは質量配合のものと異なり、浸せき期間中に収縮するものがあつた。軽量骨材のガラス相の反応性はアルカリ雰囲気依存し、デンマーク法で形成されるアルカリ濃度ではガラス相のASRが生じていない可能性がある¹²⁾。

軽量骨材モルタルはASRによる膨張挙動が密実な反応性骨材の場合とは大きく異なるものと予測される。すなわち、軽量骨材にモルタルバー法 (JIS A 1146, ASTM C 1260 およびデンマーク法) を適用すると、いずれの軽量骨材も膨張率が0.1%未満になるのに対して、川砂利にJIS A 1146, ASTM C 1260 およびデンマーク法を適用すると膨張率がそれぞれ、0.443% (材齢182日)、0.710% (材齢14日) および1.237% (材齢91日) となった¹³⁾。軽量骨材の場合には、モルタルバー法では、破碎した骨材断片を使用することになるので、骨材内部の多数の気孔がセメントペーストと直接接触することになり、ASRゲルが骨材の気孔中に貯留されることから、ASRによる膨張圧が大きく緩和されるものと推測できる¹⁴⁾。これは、AEコンクリートにおいて連行空気が果たす膨張抑制の効果と同様なものである。

4.4 コンクリートバー法による判定

軽量骨材を使用したコンクリート (CSA法, ASTM法およびデンマーク法) の膨張挙動を図-6、図-7 およ

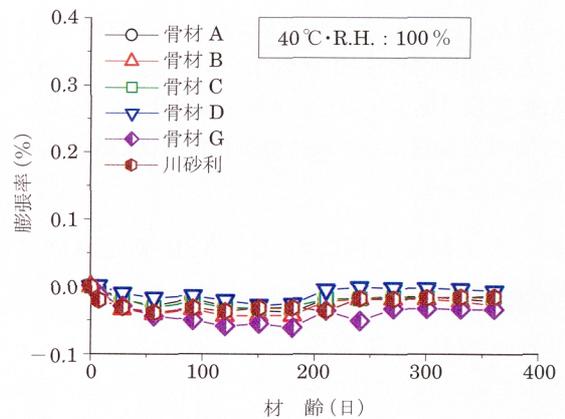


図-6 コンクリートバー法の結果 (CSA A 23.2-14 A)

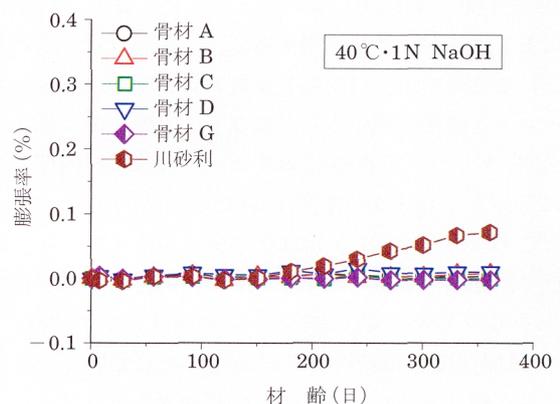


図-7 コンクリートバー法の結果 (ASTM法)

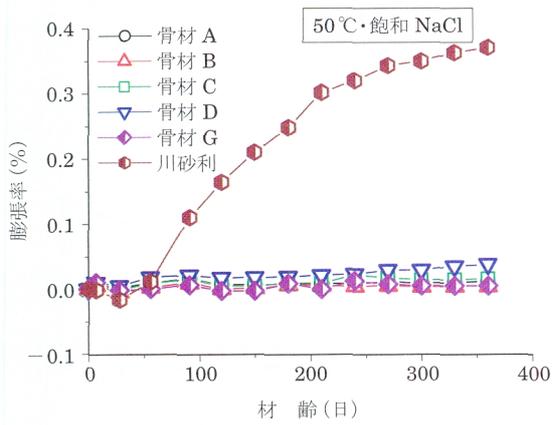


図-8 コンクリートバー法の結果（デンマーク法）

び図-8に示す。図-6に示すように CSA 法（Canadian Standard Association, 恒温恒湿槽養生）では、いずれの軽量骨材コンクリートも膨張しなかった。この原因は、CSA 法で規定されたアルカリ量が軽量骨材に対して少ないことや、湿度 100% に保持することが出来なかったために試験体が乾燥状態になったことによるものであった。

一般に、多孔質な軽量骨材は乾燥の影響が普通骨材よりも現れやすく、ASR 試験中の湿度管理がより重要であると指摘できる。

一方、図-7に示した ASTM 法（1N・NaOH 溶液への浸せき）では、川砂利のみが材齢 6 カ月以後に膨張したが、いずれの軽量骨材もほとんど膨張が発生しなかった。また、図-8に示したデンマーク法（飽和 NaCl 溶液への浸せき）では、川砂利のみが材齢 2 カ月以後に急激に膨張し、亀甲状のひび割れが発生した。しかし、ASTM 法と同様にいずれの軽量骨材もほとんど膨張は発生しなかった。

5. 人工軽量骨材における ASR 判定試験法の提案

現行の骨材の ASR 試験法としては化学法がもっとも普及しているが、原骨材を破碎して用いること、軽量骨材の気孔中にアルカリ溶液が吸着されるために、分析用の液量が一定にならないこと、などを考慮して、化学法（JIS A 1145）は適用しないことにした。また、軽量骨材にモルタルバー法を適用する場合、破碎骨材を用いることになるので、骨材内部の多数の気孔部分がセメントペーストと直接接触することになる。実際、モルタル中の ASR ゲルは、写真-5に示すように軽量骨材内部の気孔に貯留しているのが観察された。SEM-EDX 分析より、このような ASR ゲルは化学組成的にも吸水膨張性が低く、膨張への寄与が小さいものと考えられた。化学法とモルタルバー法の結果より判断すると、現行の ASR 試験法で軽量骨材を適用範囲外としていることの妥当性が検証できた。さらに、軽量細骨材の種類によっては骨材から多量にアルカリが溶出するものがあった。

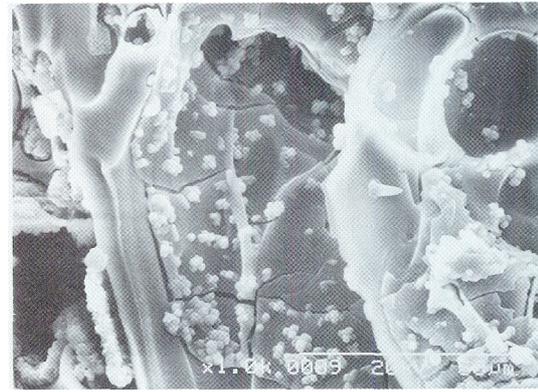


写真-5 骨材 G の気孔中に生成した ASR ゲル（ASTM 法）

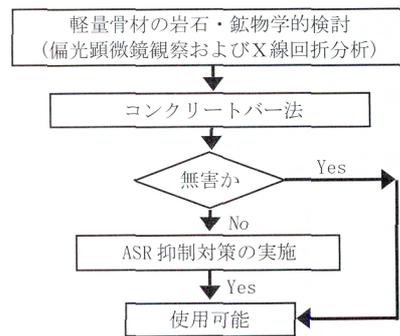


図-9 軽量骨材のアルカリシリカ反応性の評価手順

以上のことから、軽量骨材を実際の状態で使用できるとともに、軽量細骨材を他の骨材と組み合わせて試験が行えるコンクリートバー法が軽量骨材の ASR 試験法としてもっとも適しているものと判断できた。しかし、本研究で使用した軽量骨材の中には有害な膨張は生じていないが、ASR ゲルの生成が実際に認められることから、コンクリートバー法による判定の基準値および材齢は、今後、人工軽量骨材による ASR の事例検証が進む過程で再度見直す必要があるものと考えられる。さらに、軽量骨材の反応性鉱物に関する岩石・鉱物学的検討が従来実施されていないことから、軽量骨材の使用実績との関係を明確にするためにも、コンクリートバー法の実施とともに、軽量骨材の岩石・鉱物学的検討を実施することを推奨する。

人工軽量骨材における ASR 判定試験法のフロー図を図-9に示す。以下に、岩石・鉱物学的検討およびコンクリートバー法の詳細を示す。

(1) STEP 1：岩石・鉱物学的検討

まず、実構造物での ASR の発生の有無を確認し、軽量骨材の使用実績について明らかにする。これは、軽量骨材のアルカリシリカ反応性を評価する方法として、もっとも基本的なものである。また、高温で焼成された人工軽量骨材や火山礫からなる天然軽量骨材の中には、アルカリシリカ反応性をもつ鉱物（ガラス相、クリストバライト、トリジマイトなど）を含有する可能性がある。このため、偏光顕微鏡観察や X 線回折分析を実施し、軽量骨材の反応性鉱物の種類とその量を検討する。

(2) STEP 2: コンクリートバー法

CSA A 23.2-14 A 法 (恒温恒湿槽養生) では, 規定されたアルカリ量が軽量骨材には少ないことと, 軽量骨材は湿度の変化の影響を受けやすいことなどから, CSA の試験法を軽量骨材に適用するのは困難であり, 推奨しない。このため, 試験方法は, 外部よりアルカリが常に供給され, 湿度管理が不要である ASTM 法またはデンマーク法を適用することにした。この際, コンクリートに外環境から影響するのは NaCl 溶液であり, ASTM 法に用いる 1 N・NaOH 溶液は管理上の問題もあるので, 試験の実施が比較的容易であるデンマーク法を推奨する¹⁵⁾。コンクリートバー法の膨張量の判定基準は, 当面, CSA A 23.2-14 A のもの (膨張量が 0.04% 以上の場合を材齢に無関係に「有害」とする) に準拠することとした。

6. まとめ

軽量骨材コンクリートに対する一連の ASR 試験の結果より, 軽量骨材でも ASR の反応自体は実際に発生すること, 軽量骨材の ASR 判定にはコンクリートバー法がもっとも適していることを述べた。しかし, 本試験の範囲内ではコンクリートバー法の具体的な判定基準を設定することはできなかった。これは, 実構造物の調査で軽量骨材コンクリートの ASR の事例検証が十分でないことから, どのような使用・環境条件下 (凍害や乾湿の繰り返しとの複合作用の影響を含めて) で軽量骨材に実際に ASR が発生したかが明確になっていないことによる。今後, 実構造物の ASR 調査や軽量骨材コンクリートの屋外暴露試験より, 軽量骨材コンクリートの ASR によるひび割れ発生のメカニズムを明らかにすることが重要であると考えている。このことに関連して, 軽量骨材は普通骨材と比較すると凍結融解に対する抵抗性が小さいために, 積雪寒冷地での軽量骨材コンクリートのひび割れの発生は, ASR が発生しても凍害が主因である可能性が高い。このような観点からの構造物の調査・診断を見直すことも必要である。最後に, 軽量骨材の場合

のみならず, ASR の抑制対策や試験法の確立のためには, 管理者 (使用者) 側からの積極的な ASR の情報開示が不可欠であり, 産官学のそれぞれの立場よりどのような ASR に対する対応を図るべきかという問題を今一度真剣に考えてみる時期にきている。

参考文献

- 1) 松田芳範・津吉 毅・石橋忠良: 軽量骨材コンクリートを用いた実構造物の調査報告, 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.4, pp.183~188, 2004
- 2) Ceukelaire, L. De.: Alkali-silica Reaction in a Lightweight Concrete Bridge, Proc. of the 9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, pp.231-239, 1992
- 3) Mladenovic, A., Suput, J.S., Ducman, V. and Skapin, A.S.: Alkali-Silica Reactivity of Some Frequently Used Lightweight Aggregates, Cement and Concrete Research, Vol.34, No.9, pp.1809-1816, 2004
- 4) 杉山彰徳・鳥居和之・酒井賢太・石川雄康: 人工軽量骨材のアルカリシリカ反応性と ASR 判定試験法の提案, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.1, pp.79~91, 2007
- 5) 川村満紀: コンクリート構造物の耐久性上の問題点とその対策アルカリ骨材反応 (その 1), コンクリート工学, Vol.32, No.4, pp.74~79, 1994
- 6) 川村満紀: コンクリート構造物の耐久性上の問題点とその対策アルカリ骨材反応 (その 2), コンクリート工学, Vol.32, No.5, pp.68~75, 1994
- 7) 鳥居和之: 骨材のアルカリシリカ反応性の品質保証, コンクリート工学, Vol.39, No.5, pp.68~71, 2001
- 8) 鶴田孝司・佐々木孝彦・工藤輝大・飯島 亨: 軽量骨材のアルカリ骨材反応性, 資源・素材学会学術講演会 (室蘭), B5-1, pp.225~226, 2005
- 9) 日本材料学会: 建設材料実験, pp.69~71, 2003
- 10) 鳥居和之: アルカリシリカ反応にいかに対応するか, 試験, 診断と対策の課題, セメント・コンクリート, No.696, pp.1~9, 2005
- 11) 鳥居和之・杉山彰徳・山戸博晃・酒井賢太: 廃棄ガラス起源リサイクル砂のアルカリシリカ反応性に関する研究, 材料, Vol.55, No.10, pp.905~910, 2006
- 12) 川端雄一郎・山田一夫・松下博通: 岩石学的分析に基づいた安山岩の ASR 反応性評価および膨張挙動解析, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.4, pp.689~703, 2007
- 13) 鳥居和之・野村昌弘・本田貴子: 北陸地方の反応性骨材の岩石学的特徴と骨材のアルカリシリカ反応性試験の適合性, 土木学会論文集, No.767/V-64, pp.185~197, 2004
- 14) Collins, R.J. and Bareha, P.D.: Alkali-silica Reaction: Suppression of Expansion Using Porous Aggregate, Cement and Concrete Research, Vol.17, No.1, pp.89-96, 1987
- 15) 松下博通・田中慎一郎・山田一夫: 骨材のアルカリ反応性判定法に関する問題点, コンクリート工学, Vol.43, No.10, pp.9~17, 2005