

# 論文 コンクリートプリズムを用いた 60°C加速養生によるアルカリシリカ反応性の評価に関する研究

佐川 康貴\*1・山田 一夫\*2・鳥田 慎也\*3・小川 彰一\*4

**要旨:** 本研究では、化学法やモルタルバー法では判定が困難なペシマム現象や遅延膨張性骨材のアルカリ反応性および混和材の抑制効果の評価を行うことを目的とし、2種類のコンクリートプリズム供試体を用いた加速試験を行い、考察した。100×100×400mmの供試体は湿布で包み、75×75×250mmの供試体は底部に水を張ったステンレス容器に格納し、それぞれ60°Cで加速養生を行い、所定の材齢で長さ変化を測定した。その結果、両者の試験でペシマム現象や骨材の粒径の違いがアルカリシリカ反応に及ぼす影響や、混和材の抑制効果を適切に検出できた。また、試験法の違いが膨張挙動に及ぼす影響についても検討を行った。

**キーワード:** ASR, 加速試験, コンクリートプリズム, ペシマム現象, 遅延膨張性骨材

## 1. はじめに

わが国では、1980年代よりアルカリシリカ反応 (ASR) の抑制対策に対して様々な検討がなされてきた<sup>1)</sup>。現在の ASR 対策として、2002年の国土交通省の通達では、(1) アルカリ総量 3.0 kg/m<sup>3</sup>以下への規制、(2) 抑制効果のある混和材の使用、(3) 安全と認められる骨材の使用、の3点が示されている。しかしながら、フライアッシュ (FA) の抑制効果が、骨材の反応性の違いや FA 自身の品質の違いによって異なること<sup>2)</sup>や、上記 (1) ~ (3) のいずれかの抑制対策を行ったにもかかわらず、ASR が生じた例<sup>3)</sup>などが報告されている。

その原因の一つとして、ペシマム現象が挙げられる。井上ら<sup>4)</sup>は、モルタルバーによる試験を行い、ペシマム現象を引き起こす骨材において FA の ASR 抑制効果が低下する傾向にあること、また、FA 混合率の増加に伴いペシマム混合率が低い領域に遷移することを報告している。

ASR は非常に複雑な反応であるため、従来のモルタルバー法や化学法では判定が困難な場合がある。また、ペシマム現象を有する骨材や遅延膨張性骨材の評価、ASR 抑制効果を検討するためにはモルタルではなく、実配合あるいはそれに近いコンクリートでの試験が必要である。しかし、特に国内では、コンクリートを用いた ASR 検出方法についてはデータの蓄積が不足している。

本研究では、コンクリート角柱供試体 (コンクリートプリズム) を用いた促進試験として、JASS 5N「建築工事標準仕様書・同解説 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」において規定される JASS 5N T-603「コンクリートの反応性試験方法」および RILEM AAR-4「Detection of potential alkali-reactivity - Accelerated method

for testing aggregate combinations using concrete prisms<sup>5)</sup>の2種類の試験に着目した。これらの試験法を元にコンクリートプリズムを作製し、加速養生を行った。そして、所定の養生期間において ASR による膨張挙動を測定し、ペシマム現象の評価と FA および高炉スラグ微粉末 (BFS) による ASR 抑制効果を調べた。さらに、養生方法の違いが膨張挙動に及ぼす影響についても検討した。

## 2. 骨材の ASR 反応性

### 2.1 岩石学的観点からの骨材の観察

山田ら<sup>5)</sup>は、化学法やモルタルバー法などの骨材の ASR 反応性試験を適用する場合は、骨材の岩石学的評価も必要であると提案している。まず本研究では、使用した反応性骨材3種類および非反応性骨材1種類 (表-1) について、骨材の化学組成および相組成を調べるとともに、構成鉱物と組織の観察を行った。相組成の算出には粉末 X線回析装置を使用した。骨材の観察には厚さ 15μm 程度の鏡面研磨薄片を作製し、偏光顕微鏡を用いた。

表-2に、各骨材の化学組成および相組成を構成する鉱物を示す。相組成を構成する鉱物は、骨材 A では斜長石と ASR 反応性鉱物であるクリストバライトが、骨材 C

表-1 本研究で使用した骨材の種類

骨材名	種類	構成鉱物	備考
粗骨材A 細骨材B	安山岩	斜長石、 クリストバライト	細骨材Bは粗骨材Aを 破砕・粒度調節したもの
粗骨材C	安山岩	斜長石、輝石、 トリディマイト	-
粗骨材D	砂質岩 ホルンフェルス	石英、斜長石、 黒雲母、緑泥石	-
粗骨材P 細骨材Q	石灰石	方解石	細骨材Qは粗骨材Pを 破砕・粒度調節したもの

\*1 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 准教授 博士 (工学) (正会員)

\*2 (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 博士 (工学) (正会員)

\*3 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 (学生会員)

\*4 (株) 太平洋コンサルタント 営業推進部 修士 (薬学) (正会員)

表-2 骨材の化学組成及び構成鉱物

骨材	ig.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cl	Total	構成鉱物
A,B	4.92	63.31	14.06	5.38	4.58	0.98	0.06	3.94	1.39	0.64	0.19	0.20	0.00	99.65	斜長石, クリソバライト 斜長石, 輝石, トリディマイト 石英, 斜長石, 黒雲母, 緑泥石 方解石
C	0.39	59.43	16.40	7.49	7.24	3.75	0.00	2.71	1.67	0.70	0.12	0.15	0.00	100.1	
D	2.72	69.43	13.82	3.36	2.06	1.30	0.40	3.23	2.80	0.46	0.11	0.07	0.00	99.76	
P,Q	43.57	0.35	0.14	0.11	54.66	0.44	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	99.32	

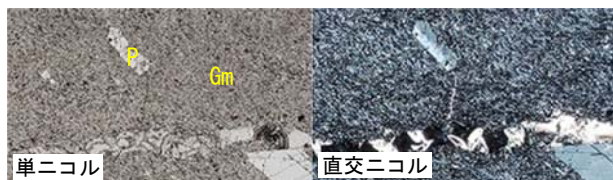


写真-1 骨材 A の全体像

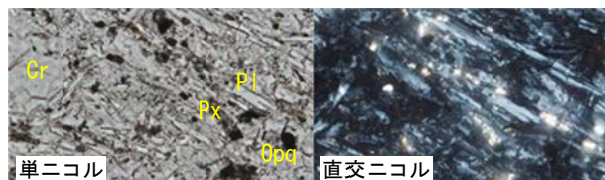


写真-2 骨材 A の石基

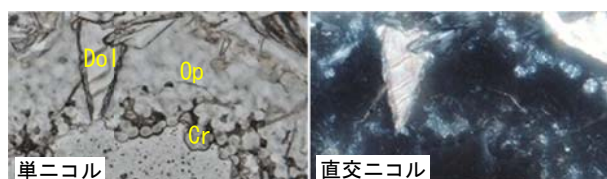


写真-3 骨材 A のオパール

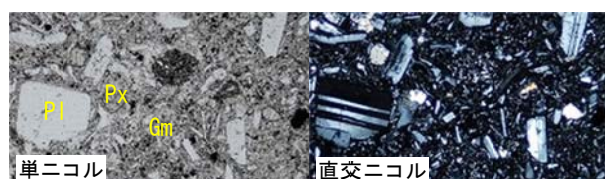


写真-4 骨材 C の全体像

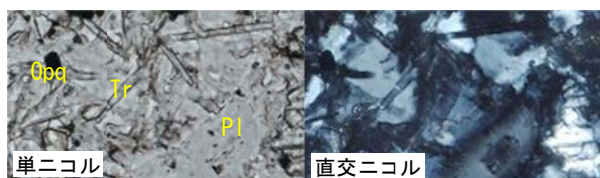


写真-5 骨材 C の石基

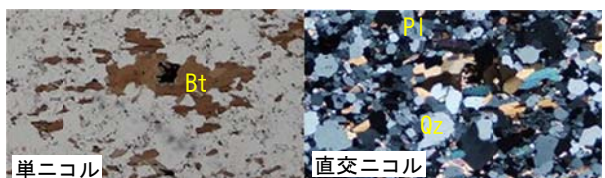


写真-6 骨材 D の全体像



写真-7 骨材 D の拡大写真

(Gm: 石基, Pl: 斜長石, Px: 輝石, Cr: クリソバライト, Opq: 不透明鉱物, Dol: ドロマイト, Tr: トリディマイト, Bt: 黒雲母, Qz: 石英, Ms: 白雲母, Mic-Qz: 微晶質石英)

では斜長石, 輝石と ASR 反応性鉱物であるトリディマイトが検出された。また, 骨材 D では石英, 斜長石, 黒雲母および緑泥石が, 骨材 P では方解石が検出されたが ASR 反応性鉱物は検出されなかった。

写真-1 に骨材 A・B の偏光顕微鏡写真を示す。写真-1 は試験片の全体像を, 写真-2 は写真-1 中の石基 (Gm) の部分を拡大したものを, 写真-3 は写真-1 中のオパール (Op) の部分を拡大したものを示している。偏光顕微鏡観察の結果, 骨材 A は斑状組織を示し, 斑晶は, 斜長石 (Pl), 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物 (Opq) のほか, アパタイトの微斑晶をごく少量含むことが認められた。石基は, 斜長石, クリソバライト (Cr), 輝石 (Px), 不透明鉱物から構成されていた。輝石は斑晶と石基に含まれるが, いずれも大部分がスメクタイト, オパール, 炭酸塩鉱物などに変質していた。また, 岩石中には微細な割れ目が多く分布し, これを充填するようにオパール脈や, その表面に二次生成したクリソバライトの粒状結晶, またドロマイト (Dol) が生成していた。ガラスは存在していた可能性があるが, 現在は変質してスメクタ

イト, オパール, クリソバライトに変化したと考えられる。したがって, 構成鉱物と組織からこの岩石は変質作用を受けた安山岩と判定でき, また ASR 反応性鉱物であるオパールが脈状に分布し, また多量のクリソバライトを含んでおり, 微細な割れ目も多く分布することから, ASR 反応性が高い骨材と考えられる。

写真-4, 5 に骨材 C の偏光顕微鏡写真を示す。写真-4 は試験片の全体像を, 写真-5 は写真-4 中の石基 (Gm) の部分を拡大したものを示している。偏光顕微鏡観察の結果, 骨材 C は斑状組織を示し, 斑晶は斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, カンラン石, ホルンブレンドのほか, 不透明鉱物を含むことが認められた。また, そのほかに石英の捕獲結晶を斑晶状に含むことも認められた。ホルンブレンド斑晶は, ほとんどが完全にオパサイト化していた。石基は, 斜長石, トリディマイト, 斜方輝石, 単斜輝石および不透明鉱物から構成されていた。骨材 C は比較的徐冷により生じた完晶質の安山岩なので, 残留メルトが結晶化してトリディマイトと長石が生じたものと考えられる。したがって, ガラスは存在しなかった。ASR

反応性鉱物としてトリディマイトを多量に含むことが認められたので、ASR 反応性が高い骨材と考えられる。

写真-6, 7 に骨材 D の偏光顕微鏡写真を示す。写真-6 は試験片の全体像を、写真-7 は写真-6 中の枠で囲まれた部分を拡大したものを示している。偏光顕微鏡観察の結果、骨材 D は砂質岩および泥質岩起源のホルンフェルスであり、主成分鉱物は、石英、斜長石、黒雲母、白雲母であった。石英や斜長石は完全なグラノプラスチック組織を示し、特定の方向へ伸長しないことから、黒雲母と白雲母が示す弱い定向配列は原岩の堆積構造を反映したものと考えられる。副成分鉱物としてアパタイト、電気石、不透明鉱物、ジルコンなどを含むことが認められた。また、骨材粒子によってはピナイト化した葦青石が見られるものや、黒雲母の変質により生成した緑泥石や方解石脈が見られるものもあった。石英と斜長石の粒径は 0.02~0.3mm 程度で、ASR 反応性鉱物として微晶質石英が含まれていた。したがって遅延膨張を引き起こす骨材であることが考えられる。

## 2.2 化学法による ASR 反応性の確認

骨材の反応性を確認するため、JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（化学法）」を行った。図-1 にその結果を示す。骨材 A はアルカリ濃度減少量  $R_c = 207 \text{ mmol/l}$ 、溶解シリカ量  $S_c = 672 \text{ mmol/l}$ 、骨材 C はアルカリ濃度減少量  $R_c = 112 \text{ mmol/l}$ 、溶解シリカ量  $S_c = 592 \text{ mmol/l}$  となった。この結果から骨材 A および骨材 C は「無害でない」と判定された。骨材 D はアルカリ濃度減少量  $R_c = 109 \text{ mmol/l}$ 、溶解シリカ量  $S_c = 16 \text{ mmol/l}$  と低い値を示し、「無害」と判定された。

## 2.3 モルタルバー法による ASR 反応性の確認

次に、JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」により骨材の反応性を判定した。セメントには普通ポルトランドセメント（OPC）（密度  $3.16\text{g/cm}^3$ 、比表面積  $3110\text{cm}^2/\text{g}$ 、強熱減量 1.87%）を、骨材には粒度調整を行った反応性骨材を使用し、 $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  のモルタル供試体を作製した。セメントの全アルカリが  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  で 1.2 mass% となるよう NaOH 水溶液で調節した。成型後 1 日で脱型し、供試体を湿布で包み、 $40^\circ\text{C}$  で養生を行った。長さ測定は JIS A 1129-3「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法—第 3 部：ダイヤルゲージ法」に準拠した。

図-2 にモルタルバー法の結果を示す。骨材 A および C は養生開始直後から大きく膨張を生じ、材齢 182 日における膨張率は骨材 A で 0.304%、骨材 C で 0.354% となり、共に「無害でない」と判定された。骨材 D および P の材齢 182 日における膨張率は、骨材 D で 0.018%、骨材 P で 0.013% となり、「無害」と判定された。

## 2.4 促進モルタルバー法（ASTM C1260）による ASR 反応性の確認

次に、ASTM C 1260 : Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method) により骨材の反応性を判定した。セメントには OPC を、骨材には粒度調整を行った反応性骨材を使用し、 $25 \times 25 \times 285 \text{ mm}$  のモルタル供試体を作製した。成形後、 $80^\circ\text{C}$  の水中で 1 日養生を行い、その後  $80^\circ\text{C}$  の 1 規定 NaOH 水溶液中で 28 日間の加速養生を行い、長さ変化を測定した。

図-3 に結果を示す。促進期間 14 日における膨張率は、骨材 A で 0.431%、骨材 C では 0.430% となり共に「潜在的有害」と判定された。骨材 D は 0.120% となり「不明確」、骨材 P は 0.071% で「無害」と判定された。

## 3. コンクリートプリズムによる加速試験

前章における試験の結果、本研究で使用した反応性骨材 A および C は非常に高い ASR 反応性を示すことが分かった。また、骨材 D は化学法および JIS A 1146 では無害と判定されたが、ASTM C 1260 では不明確と判定され

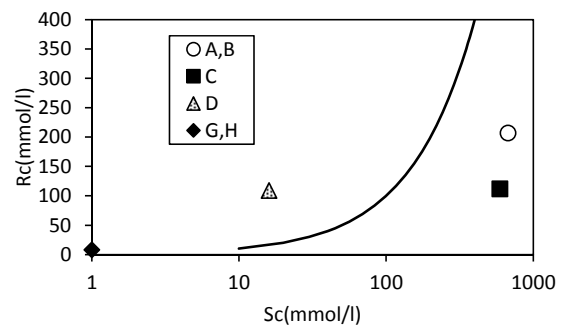


図-1 化学法の結果

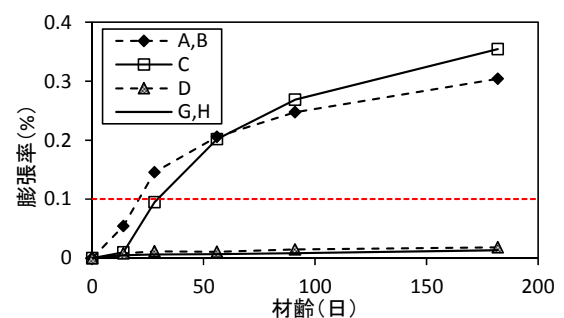


図-2 JIS A 1146 (モルタルバー法) の結果

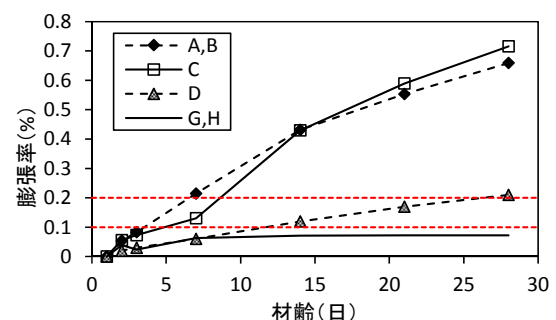


図-3 ASTM C 1260 の結果

た。なお、既往の研究から骨材 A および C はそれぞれ反応性骨材混合率 30% で大きく膨張を示すペシマム現象を生じることが明らかとなっている<sup>2),4)</sup>。

そこで、ペシマム配合および反応性骨材混合率 100%、アルカリ総量 5.5kg/m<sup>3</sup> でコンクリートプリズムを作製し、2 種類の加速試験で ASR 反応性試験を行った。

### 3.1 配合および骨材の組合せ

表-4 に使用した骨材の物理的性質を、また、表-5 に骨材と結合材の組合せを示す。

まず、粗骨材として骨材 A と骨材 P を 30 : 70 (体積比) で使用し、結合材に OPC を 100% 使用した配合を No.1-1 とした。No.1-1 の OPC の 25, 35% を FA で置換したものをそれぞれ No.1-2, No.1-3 とし、55% を BFS で置換したものを No.1-4 とした。次に、粗骨材として骨材 A を 100% とし、結合材に OPC を 100% 使用した配合を No.2-1 とし、OPC の 25% を FA で置換したものを No.2-2 とした。また、細骨材として骨材 B と骨材 Q を 30 : 70 で使用し、結合材に OPC を 100% 使用した配合を No.3-1 とし、その 25, 35% を FA で置換したものをそれぞれ No.3-2, No.3-3 とした。

さらに、粗骨材として骨材 C と骨材 P を 30 : 70 で使用し、結合材に OPC を 100% 使用したものを No.4-1 とし、OPC の 25, 35% を FA で置換した配合をそれぞれ No.4-2, No.4-3 とした。また、粗骨材として骨材 D を 100% とし、結合材に OPC を 100% 使用した配合を No.5-1 とした。

表-4 骨材の物理的性質

骨材	表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)	実積率(%)
A	2.52	2.33	57.2
B	2.63	5.78	58.7
C	2.69	2.06	59.5
D	2.66	0.71	57.4
P	2.70	0.55	57.3
Q	2.70	0.61	68.9

表-5 骨材および結合材の組合せ

Mix	結合材(%)			細骨材*	粗骨材*	修正 JASS 5N	AAR-4
	OPC	FA	BFS				
No.1-1	100	-	-	Q <sub>100</sub>	A <sub>30</sub> :P <sub>70</sub>	○	○
No.1-2	75	25	-	Q <sub>100</sub>	A <sub>30</sub> :P <sub>70</sub>	○	○
No.1-3	65	35	-	Q <sub>100</sub>	A <sub>30</sub> :P <sub>70</sub>	○	-
No.1-4	45	-	55	Q <sub>100</sub>	A <sub>30</sub> :P <sub>70</sub>	○	-
No.2-1	100	-	-	Q <sub>100</sub>	A <sub>100</sub>	○	-
No.2-2	75	25	-	Q <sub>100</sub>	A <sub>100</sub>	○	-
No.3-1	100	-	-	B <sub>30</sub> :Q <sub>70</sub>	P <sub>100</sub>	○	○
No.3-2	75	25	-	B <sub>30</sub> :Q <sub>70</sub>	P <sub>100</sub>	○	○
No.3-3	65	35	-	B <sub>30</sub> :Q <sub>70</sub>	P <sub>100</sub>	○	-
No.4-1	100	-	-	Q <sub>100</sub>	C <sub>30</sub> :P <sub>70</sub>	○	-
No.4-2	75	25	-	Q <sub>100</sub>	C <sub>30</sub> :P <sub>70</sub>	○	-
No.4-3	65	35	-	Q <sub>100</sub>	C <sub>30</sub> :P <sub>70</sub>	○	-
No.5-1	100	-	-	Q <sub>100</sub>	D <sub>100</sub>	○	○

\*記号は骨材種類、添字は体積混合比を示す。

水結合材比、細骨材率および単位水量は、それぞれ、W/C = 50%, s/a = 45 % および W = 160 kg/m<sup>3</sup> と一定条件とした。セメントには 2.3 で使用した OPC を用いた。混和材はフライアッシュ II 種 (密度 2.30g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 4190cm<sup>2</sup>/g, 強熱減量 2.37%) および高炉スラグ微粉末 4000 (密度 2.89g/cm<sup>3</sup>, 比表面積 4400cm<sup>2</sup>/g, 強熱減量 0.87%) である。アルカリ総量を Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub> で 5.5kg/m<sup>3</sup> とし、粒状 NaOH を練混ぜ水に溶解して調整した。

### 3.2 供試体寸法および養生方法

本研究では、コンクリートプリズムを用いた 2 種類の方法で促進膨張試験を行った。一方は JASS 5N 「建築工事標準仕様書・同解説原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」における JASS 5N T-603 「コンクリートの反応性試験方法」を元にした方法である。JASS 5N T-603 に規定される養生温度 40°C では温度が低く、また、現行のセメントはアルカリ量が低いため、アルカリ総量を 1.2, 1.8 および 2.4kg/m<sup>3</sup> 増加させる方法では ASR の反応を加速できない可能性がある。そこで、温度は 40°C から 60°C に変更し、アルカリ総量を 5.5kg/m<sup>3</sup> に変更した方法 (以下、修正 JASS5N 法) を新たに採用した。100×100×400 mm の供試体は 3 本 1 組で、それぞれの両端にステンレス製のゲージプラグを埋め込んだ。打設後 24 時間温度を 20±2°C に保った恒温室で養生を行い、その後脱型を行った。脱型後、20±2°C の水中に供試体を浸漬し、30±5 分間吸水させた後、供試体長さを測定し、基長とした。測定後に含水量 50g の不織布 2 枚で供試体を覆い、ラップフィルムおよびビニール袋で密閉した。

もう一つの方法は、RILEM AAR-4 “Detection of potential alkali-reactivity - Accelerated method for testing aggregate combinations using concrete prisms”による方法 (以下、AAR-4 法) で、75×75×250 mm の角柱供試体を作製した。脱型後から 30±5 分間吸水させ、供試体長さを測定し、基長とした。供試体 3 本 1 組で底部に水を張った密閉できるステンレス容器に立てて格納した。

修正 JASS 5N 法と AAR-4 法の双方とも、供試体は温度 60±2°C、湿度 95% 以上に保った養生槽内で加速養生を行った。促進期間 5, 10, 15, 20, 26 週でステンレス容器を養生槽から取り出し、20°C に保った室内で 24 時間冷却した後、JIS A 1129-3 と RILEM AAR-4 に従い、供試体長さを測定した。

### 3.3 コンクリート加速試験結果

修正 JASS5N 法の促進期間 26 週における試験結果を図-4 に示す。全ての反応性骨材の組合せにおいて、FA および BFS による ASR 抑制効果が認められた。しかし、BFS を置換した No.1-4 と FA を 25, 35% で置換した No.1-2, No.1-3 を比較すると No.1-4 の膨張率の方が高く、また膨張も収束しておらず、本研究の条件では、BFS の抑制効



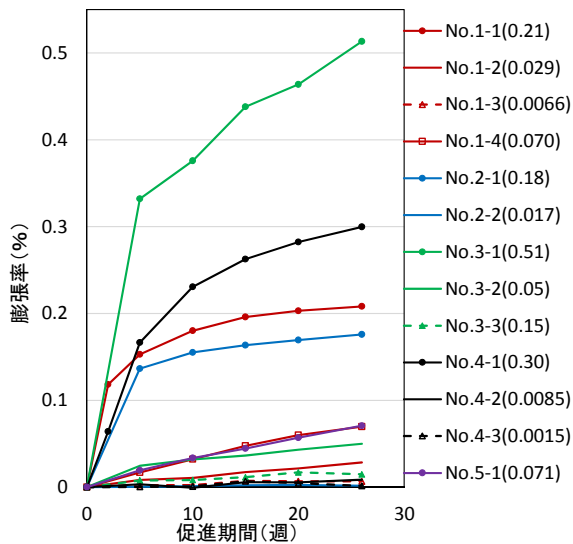


図-4 修正 JASS5N 法試験結果  
(カッコ内数値：26 週時の膨張率 (%))

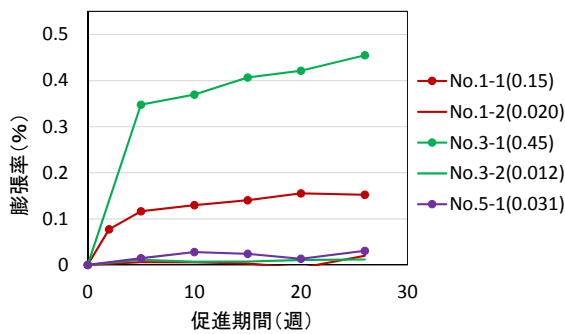


図-5 AAR-4 法試験結果  
(カッコ内数値：26 週時の膨張率 (%))

果は FA よりも低い結果であった。また、No.3-1 の膨張率が 26 週時点で 0.51%と最も高く、No.1-1 の 0.21%よりも大きい膨張を示した。これは十分にアルカリがある条件で反応性骨材を細骨材として使用したことにより、表面積が大きくなり反応が促進されたためと考えられる。

さらに、No.1-2、No.2-2 および No.3-2 を比較した結果、No.2-2 の膨張率が 0.0017%なのに対し、No.1-2 は 0.029%、No.3-2 は 0.050%とやや大きな膨張を示した。これはベシム現象を引き起こす配合では、FA の抑制効果が低下するためと考えられる。

骨材 D は化学法やモルタルバー法では「無害」と判定されたが、No.5-1 の膨張率が促進期間 26 週において 0.071%となっており、また膨張も収束していないことから、今後さらに膨張を続けることが予想される。

次に、図-5 に AAR-4 法の試験結果を示す。AAR-4 法においても FA の抑制効果が認められた。また、No.3-1 が No.1-1 よりも膨張率が高くなっているが、これは粒径の影響によるものと考えられる。しかし、No.5-1 の膨張率が促進期間 26 週において 0.030%となり、JASS5N の半分以下となった。また、膨張挙動に収束傾向が見られ

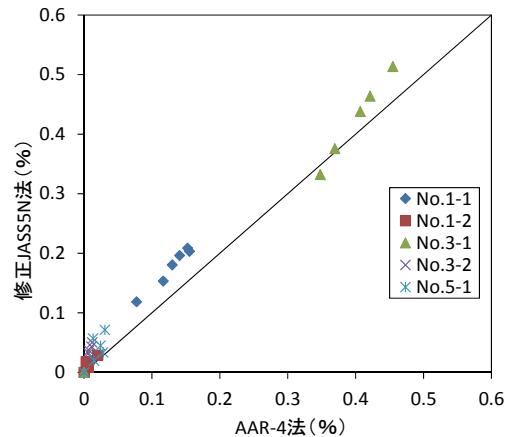


図-6 修正 JASS5N 法と AAR-4 法の膨張率

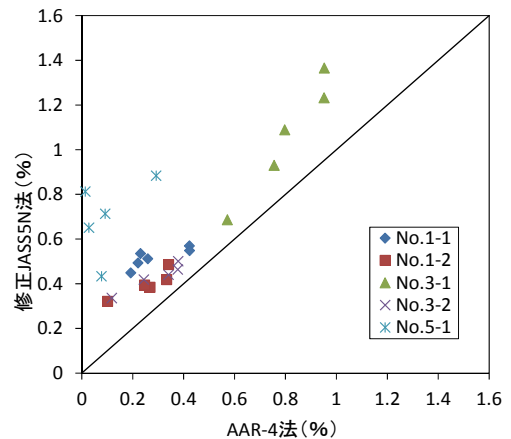


図-7 修正 JASS5N 法と AAR-4 法の質量変化

ることから、AAR-4 法では No.5-1 はこれ以上膨張しないものと予測される。

以上の結果より、修正 JASS5N 法と AAR-4 法の 26 週経過時までの膨張率および質量を比較した結果をそれぞれ図-6、図-7 に示す。膨張率の高い範囲では修正 JASS5N 法と AAR-4 法の膨張率は、やや修正 JASS5N 法の方が大きいものの、同程度となった。しかし、膨張率の小さい範囲では、修正 JASS5N 法の方が AAR-4 法より大きい傾向を示した。また、図-7 に示すように修正 JASS5N の質量増加が AAR-4 法より大きいことが分かった。

また、促進期間 26 週経過後に、修正 JASS5N 法の不織布 2 枚および AAR-4 法のステンレス容器底部の水に含まれているアルカリ量を測定した。なお、不織布に含まれているアルカリは、不織布を熱水抽出し、ろ液を用いて測定した。その結果、修正 JASS5N 法では No.1-1 でアルカリ総量  $5.5\text{kg/m}^3$  に対し 3.4%、No.5-1 では 2.1%のアルカリが溶脱していることが明らかとなった。一方で、AAR-4 法では No.1-1 で 16.3%、No.5-1 で 30.3%のアルカリが溶脱することが認められた。

これは、修正 JASS5N 法では供試体を吸水させた不織布で包み、さらにラップフィルムおよびビニール袋で密閉し養生することで、供試体に十分な水分を供給でき、

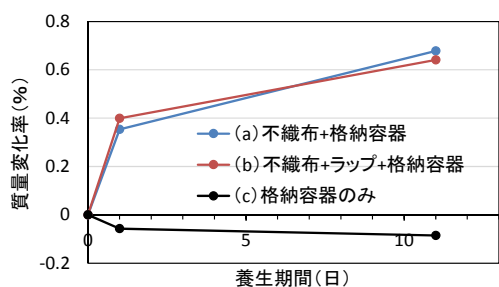


図-8 水分供給方法を変化させたコンクリートの質量変化

かつ、供試体からのアルカリ溶脱は不織布中への水に限定されたため少なかったと考えられる。一方で、AAR-4法はステンレス容器が密閉されているが、水がコンクリートに直接供給されず、また、外部から容器を加熱保温する仕組みとなっている。したがって、温度上昇時には冷えた供試体に結露を生じ溶脱が大きくなると考えられる。さらに、冷却時には容器天板等への結露で供試体が乾燥を受けると考えられる。よって、遅延膨張性骨材のような膨張速度の遅い骨材では、溶脱によって膨張過程でのアルカリ量の減少と乾燥の影響で膨張が生じにくくなり、評価が困難になる可能性が考えられる。

#### 4. 促進試験方法に関する考察

本研究の結果、AAR-4法では、供試体を吸水した不織布（湿布）で包んで養生した修正 JASS5N 法と比較すると、供試体への水分供給が不十分になる可能性があり、また、アルカリ溶脱が非常に大きくなることが明らかとなった。そこで、AAR-4法の供試体（75×75×250 mm）を用い、(a) 50gの水を吸水させた不織布1枚で包み格納容器へ入れたもの、(b) 50gの水を吸水させた不織布で包みその上からラップフィルムで密封し格納容器へ入れたもの、(c) 供試体をそのまま格納容器へ入れたもの、の3水準を40℃で養生し、質量変化を測定した。使用したコンクリートはASRゲルによる吸水の影響を避けるため、非反応性骨材のみを用いて作製し、また、AAR-4に準拠して、脱型時における乾燥の影響を防ぐため、脱型直後30分間吸水させたものを使用した。

図-8に結果を示す。供試体を湿布なしで格納容器に入れた(c)は容器に入れてから質量の減少が認められ、容器底部に水があっても乾燥が生じていた。しかし、湿布で包んだ供試体(a)、および、さらにラップフィルムを巻いた供試体(b)は、両者ともほぼ同様に質量が増加し、水分供給されていた。

これらのことから、AAR-4の試験については、まず、ASR反応に必要な十分な水を供給するための湿布と、溶脱を防止するためのラップフィルムを使用することが望ましいと考えられる。また、吸水によって、ASR反応に必

要な液層中のアルカリ濃度が低下する懸念もあるので、湿布にはアルカリ水を使用し、吸水による液層の濃度低下を抑制する方法も考えられる。

AAR-4は、前述のようにペシマム現象や混和材の抑制効果の確認に有用であるだけでなく、供試体は小型で取扱いが容易であり、また60℃の加速試験は試験期間の短縮からも有用と考えられ、養生条件については、今後さらなる検討を行う予定である。

#### 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 修正 JASS5N 法および AAR-4 法の両者において、反応性骨材を細骨材として用いた配合で非常に高い膨張率が認められた。また、OPC に対し FA や BFS を置換して用いることで ASR 抑制効果が認められた。コンクリートプリズムを用いた加速試験によって骨材の粒度依存性や混和材の抑制効果を評価できた。
- (2) 修正 JASS5N 法の膨張率は AAR-4 法のものよりやや大きい傾向を示した。化学法およびモルタルバー法では検出できなかった遅延膨張性骨材では、修正 JASS5N 法で明らかな膨張を示し、検出が可能であった。その一方で、AAR-4 法の膨張率は高くなかった。これは AAR-4 法が供試体を湿布で包まずに養生を行うため、供試体からアルカリが相当量溶脱し、また十分な水分供給がなされないため膨張が起こらないと考えられる。
- (3) 今後は AAR-4 法について、コンクリートの乾燥およびアルカリ溶脱を防ぐために養生条件を変え、より有効な加速試験方法を検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 社団法人 日本コンクリート工学協会：作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会 報告書, pp.45-47, 2008
- 2) 内村中, 池田隆徳, 濱田秀則, 佐川康貴, 高橋晴香, 山田一夫: ペシマム現象を伴う ASR を生じた場合における FA の抑制効果, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.806-807, 2012
- 3) 鳥居和之: アルカリシリカ反応にいかに対応するか, セメント・コンクリート, No.696, pp.1-9, 2005.2
- 4) 井上祐一郎, 濱田秀則, 川端雄一郎: ペシマム現象を生じる骨材を用いたモルタルのフライアッシュによる ASR 抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.953-958, 2010
- 5) 社団法人 日本コンクリート工学協会：作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会 報告書, pp.111-114, 2008