

## 各種骨材のアルカリ骨材反応性試験に関する一考察

### - 4 種類の試験方法による判定結果とコンクリートの膨張量の比較 -

(株)内山アドバンス 須藤 絵美 日本建築専門学校 竹村 雅行 ものつくり大 中田 善久  
元日大生産工 笠井 芳夫 日大生産工(院) 西田 健治

#### 1. はじめに

アルカリシリカ反応性によるコンクリート構造物の劣化が社会問題となる中で<sup>1)</sup>、1986年にJIS A 5308の改正により、アルカリ骨材反応の抑制に関する規格が制定され、アルカリ骨材反応に対する大幅な規制が行われるようになった。我が国では、骨材のアルカリシリカ反応性を判定する試験方法として、JISに化学法、モルタルパー法および迅速法が規定されている。しかし、これらの試験方法は、特定の条件下で反応性を促進する試験方法であるために、これらの試験方法による判定結果と実際の使用環境におけるアルカリ骨材反応の関係には不明確な点が多く、これにより骨材の反応性を判断するべきではないと言う見解もある<sup>2)</sup>。また、試験によっては結果の判定に複数の方法が示されており、これらの関係にも不明確な点が多い。

そこで、本報告は、19種類の骨材についてアルカリシリカ反応性試験を行い、各試験方法の判定結果およびこれらの試験結果とアルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張量との関係を明らかにするために比較・検討を行ったものである。

#### 2. 実験概要

実験は、次の3つの項目について行った。

##### (1) 各試験方法による判定結果の比較

ここでは、JISに規定されている各試験方法の判定結果の違いを明らかにするために、化学法(以下、化学法(JIS)と称す)、モルタルパー法および迅速法の判定結果を比較した。

##### (2) 試料の粒径の違いが化学法の判定結果に及ぼす影響

ここでは、試料の粒径の違いが判定結果に及ぼす影響を明らかにするために、化学法(JIS)および試料の粒径を150 $\mu\text{m}$ 以下に微粉碎した試料による化学法(以下、化学法(150 $\mu\text{m}$ 以下)と称す)の比較を行った。

##### (3) コンクリートの膨張量に関する検討

ここでは、各試験結果とアルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張量との関係を明らかにするために、19種類の骨材を用いたコンクリート供試体を屋外および40 $^{\circ}\text{C}$ の温水に養生した供試体の膨張量について検討した。

#### 2.1 各試験方法による判定結果の比較

##### (1) 使用材料

骨材の組合せおよび試験に用いた骨材の種類を表1に示す。試料として用いた骨材は、北陸地方の骨材3種類( ~ )および関東地区の生コン工場5社において使用されている骨材16種類( ~ )の合計19種類とした。

##### (2) 試験方法

試験は、JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(化学法)」、JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルパー法)」およびJIS A 1804「コンクリート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)」により行った。なお、化学法における溶解シリカ量(以下、Scと称す)の定量は、質量法および吸光光度法により行なった。モルタルパー法および迅速法は、長さ変化の測定により判定を行った。

#### 2.2 試料の粒径の違いが化学法の判定結果に及ぼす影響

##### (1) 使用材料

試験に用いた骨材は、2.1(1)と同様とし、各骨材について150 $\mu\text{m}$ 以下に微粉碎した試料とした。

##### (2) 試験方法

アルカリシリカ反応性試験は、JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(化学法)」により行った。なお、化学法におけるScの定量は、質量法および吸光光度法により行なった。

表1 骨材の組合せおよび試験に用いた骨材の種類

供試体番号	No.	骨材の種類	絶対密度(g/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)	粗粒率	粒径判定実積率(%)
A		碎石	2.59	1.67	6.79	61.8
B		碎石	2.62	2.01	6.66	58.8
C		碎石	2.60	0.96	6.77	61.5
D		碎石(砂岩)	2.61	1.23	-	59.0
		砕砂(砂岩)	2.55	2.26	2.75	-
E		山砂	2.52	2.30	1.80	-
		碎石(石灰)	2.69	0.35	-	61.0
		碎石(硬質砂岩)	2.63	0.60	-	59.3
		砕砂(硬質砂岩)	2.59	1.62	3.10	-
F		陸砂	2.55	2.19	2.30	-
		碎石(石灰)	2.66	0.98	6.72	62.2
		砕砂(石灰)	2.61	2.29	3.21	-
G		碎石(石灰)	2.68	0.60	6.59	59.7
		碎石(砂岩)	2.64	0.51	6.60	59.8
		砕砂(石灰)	2.67	0.96	3.19	-
		陸砂	2.57	1.11	2.21	-
H		川砂	2.51	1.86	1.91	-
		陸砂	2.55	1.74	2.97	-
		陸砂利	2.60	1.45	6.88	63.2 <sup>1)</sup>

1: 実積率

## 2.3 コンクリートの膨張量に関する検討

### (1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は2.1(1)と同様とした。A~Cの細骨材には、Dの砕砂(No. )を用いた。骨材の組合せは、表1に示す供試体番号A~Hとした。

### (2) コンクリートの調合

コンクリートの調合を表2に示す。調合は、呼び強度36、目標スランプ18cmとした。長さ変化の測定に用いた供試体は、寸法が100mm×200mmの円柱とした。

### (3) アルカリを添加したコンクリート

アルカリを添加したコンクリートは、表2に示すDの調合に水酸化ナトリウムを添加したもとした。アルカリの添加方法を表3に示す。アルカリの添加方法は、ZKT-206、JIS A 1146およびJIS A 1804に準拠した。

### (4) 屋外暴露養生

屋外暴露養生は、A~Hおよびアルカリを添加した供試体を翌日に脱型し、前養生として28日間標準養生を行った後、水位を100mmに調節した水槽中に供試体の下半分を浸漬、上半分を気中に暴露した状態で、所定の材齢まで養生した(以下、屋外暴露養生と称す)。

### (5) 温水養生

温水養生は、アルカリを添加した供試体を前養生として恒温恒湿室(室温20℃、湿度60%)に48時間静置した後脱型し、反応を促進するために温度が40℃(±2℃)かつ乾湿の影響を確認するために水位が40mmおよび100mmの水槽中に供試体の下側を浸漬させ、上側を気中に暴露した養生状態で、所定の材齢まで養生した(以下、温水養生と称す)。

### (6) 長さ変化の測定方法

試験方法は、(社)日本コンクリート工学協会JCI-DD2に準拠し、供試体の長さ変化の測定により供試体の膨張量を調べた。図1にゲージプラグの取付け位置を示す。ゲージプラグは、供試体の側面の中心線上で、それぞれの標点間の距離が100mmになるように取り付けた。また、水位が100mmの温水養生の供試体には、下側のゲージプラグから60mmの位置にもゲージプラグを取り付けた。

## 3. 結果および考察

### 3.1 各試験方法による判定結果の比較

各試験方法の判定結果の比較を表4に示す。

川砂は、骨材の最大寸法が1.2mmであり、モルタルバー法および迅速法の試験に用いる試料の粒度を満足することができなかつたため、両試験を実施できなかった。これより、化学法における質量法と吸光光度法、モルタルバー法および迅速法による判定結果が全て「無害」とな

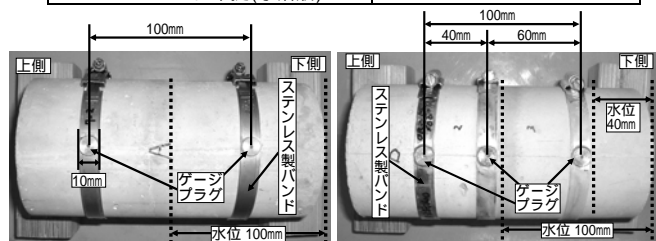
表2 コンクリートの調合

供試体番号	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量(kg/m <sup>3</sup> )						混和剤 <sup>2</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
			W	C	S1	S2	G1	G2	
A	45.0	46.7	170	378	812	-	979	-	5.29
B	45.0	46.7	170	378	812	-	945	-	5.29
C	45.0	46.7	170	378	812	-	967	-	5.29
D	45.0	46.7	170	378	812	-	935	-	4.54
E	45.0	44.7	170	378	583	250	468	461	3.78
F	45.0	45.9	170	378	556	243	961	-	3.78
G	45.5	46.1	170	374	559	248	477	483	3.55
H	44.1	44.5	170	386	609	152	968	-	2.64

2：高性能AE減水剤

表3 アルカリの添加方法

アルカリの添加方法	全アルカリ量(Na <sub>2</sub> O換算)
ZKT-206に準拠(粒状)	3.1%
JIS A 1146に準拠(水溶液)	1.2%
JIS A 1804に準拠(水溶液)	2.5%



左：屋外暴露養生の供試体 右：温水養生の供試体

図1 ゲージプラグの取付け位置

表4 各試験方法の判定結果の比較

供試体番号	No.	骨材の種類	化学法		モルタルバー法	迅速法
			質量法	吸光光度法		
A		砕石	×	×	×	×
B		砕石	×	×		×
C		砕石	×	×		×
D		砕石(砂岩)				×
		砕砂(砂岩)				×
E		山砂				
		砕石(石灰)				
		砕石(硬質砂岩)				
		砕砂(硬質砂岩)				
F		陸砂				×
		砕石(石灰)				
G		砕砂(石灰)				
		砕石(砂岩)	×	×		
		砕砂(石灰)				
		陸砂				
H		川砂			-	-
		陸砂				
		陸砂利				

○：「無害」、×：「無害でない」

った骨材が12種類、全て「無害でない」となった骨材が1種類、試験方法により判定結果が異なった骨材が5種類あり、「迅速法」>「化学法における質量法および吸光光度法」>「モルタルバー法」の順に「無害でない」判定結果が多くなった。これは、以前に筆者らが行った結果と同様の傾向<sup>3)</sup>となった。

### 3.2 試料の粒径の違いが化学法の判定結果に及ぼす影響

化学法における質量法および吸光光度法による試験結果がほぼ同等であったことから、ここでは、吸光光度法における結果を示した。Scが同等か大きい場合の化学法(JIS)および化学法(150μm以下)の試験結果の比較を図2に、Scが小さい場合の試験結果の比較を図3に示す。アルカリ濃度減少量(以下、Rcと称す)は、19

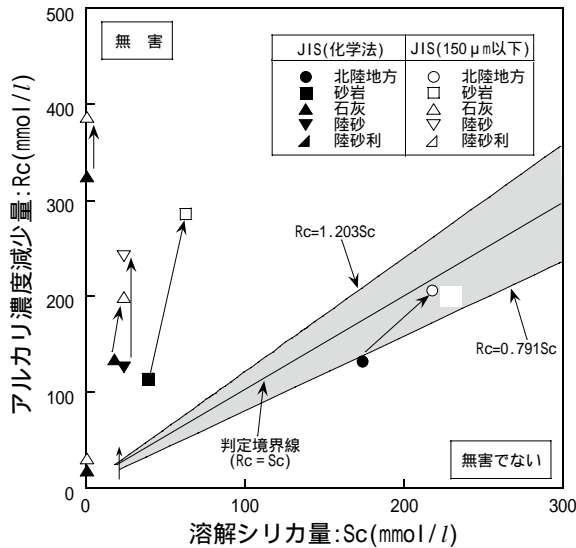


図2 JIS(化学法)および JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)の試験結果の比較(Scが同等か大きい場合)

試料の全てにおいて JIS(化学法)より JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)の方が大きくなった。これは、骨材を微粉砕することにより試料の反応面積が増加したためと考えられる。一方、 $\text{Sc}$  および  $\text{Rc}$  の  $\text{Sc}$  では、JIS(化学法)と JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)の結果はほぼ同等であった。このうち、 $\text{Sc}$  および  $\text{Rc}$  の3種類が石灰石であった。他の石灰石(北陸地方砂岩、山砂、川砂)では JIS(化学法)および JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)ともごく微量であった。これより、石灰石の  $\text{Sc}$  は、JIS(化学法)および JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)の結果がほぼ同等であることから、ゲルを生成する種類の可溶性シリカ成分の含有量が微量であることが推測される。また、 $\text{Sc}$  が JIS(化学法)より JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)の方が大きくなったものは、北陸地方の砕石、山砂、川砂の2種類あった。その他、19種類中の13種類の骨材で JIS(化学法)より JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)の方が  $\text{Sc}$  の値が小さくなった。特に、北陸地方の砕石、山砂、川砂の3種類でその傾向が顕著であった。また、北陸地方の砕石、山砂、川砂は、JIS(化学法)における判定結果は「無害でない」であったにも関わらず、JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)では、「無害」となった。これは、JIS(化学法)の判定結果は、判定境界線( $\text{Rc} = \text{Sc}$ )となった場合の母平均の95%信頼区間<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>(以下、グレーゾーンと称す)に分布しており、5%以上の危険率で判定結果が異なる場合があると考えられる。

### 3.3 コンクリートの膨張量に関する検討

#### (1) 屋外暴露養生

屋外暴露養生した供試体の材齢と長さ変化率の関係を図4に示す。A~DおよびFでは、材齢に伴い長さ変化率が大きくなり、若干膨張する傾向が見られた。表4より、膨張する傾向がある供試体に用いられている粗骨材および細骨材のどちらかには、迅速法の判定結果が「無害で

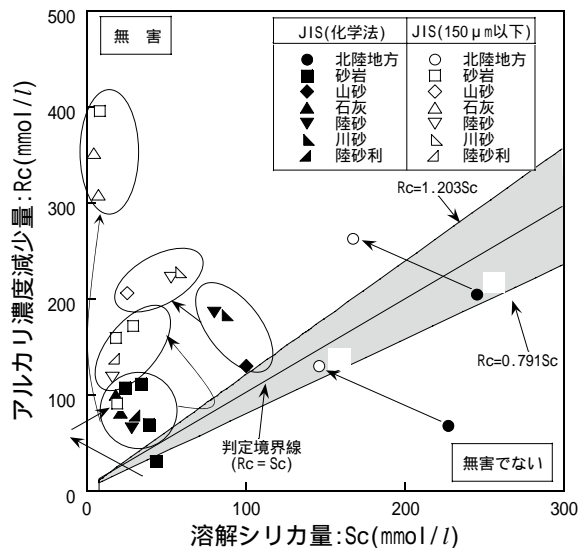


図3 JIS(化学法)および JIS(150 $\mu\text{m}$ 以下)の試験結果の比較(Scが小さい場合)

ない」となったものがあった。判定結果が化学法(JIS)および化学法(150 $\mu\text{m}$ 以下)で異なったCおよびGでは、膨張量の傾向が異なっていた。これは、図3よりCの砕石およびGの砕砂の結果は、グレーゾーン<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>にあるために、試験ごとに判定結果が異なる可能性があるためと考えられる。

アルカリを添加した供試体では、材齢に伴い長さ変化率が大きくなり、膨張する傾向が見られた。全アルカリ量( $\text{Na}_2\text{O}$ 換算)は、2.5%よりも3.1%の方が多いにもかかわらず、膨張量は、2.5% > 3.1% > 1.2%の順に大きくなった。これは、3.1%におけるアルカリ添加方法が練上がり直後のフレッシュコンクリートに粒状の水酸化ナトリウムを加えて練り混ぜる方法のため、水酸化ナトリウムの粒が溶け残っている場合にその周辺のアルカリが高濃度となり、供試体の表面付近において前養生期間中に養生水にアルカリイオンが溶出したためと考えられる。

#### (2) 温水養生

温水養生した供試体の材齢と長さ変化率の関係を図5に示す。水位が40mm、測定幅100mmおよび水位100mm、測定幅40mmにおいて、アルカリの添加率が0%および1.2%では、長さ変化率は小さく、収縮する傾向となった。これは、測定箇所が気中に露出しているため、乾燥によるものと考えられる。3.1%および2.5%では、長さ変化率が大きくなり、膨張する傾向が見られた。水位100mm、測定幅60mmでは、長さ変化率は大きくなり、膨張する傾向が見られ、その膨張量は、2.5% > 3.1% > 1.2%の順となり、アルカリを添加し屋外暴露養生した供試体と同様の結果であった。これより水位の違いにより膨張量が異なることから、アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張は、水分の供給の影響を大きく

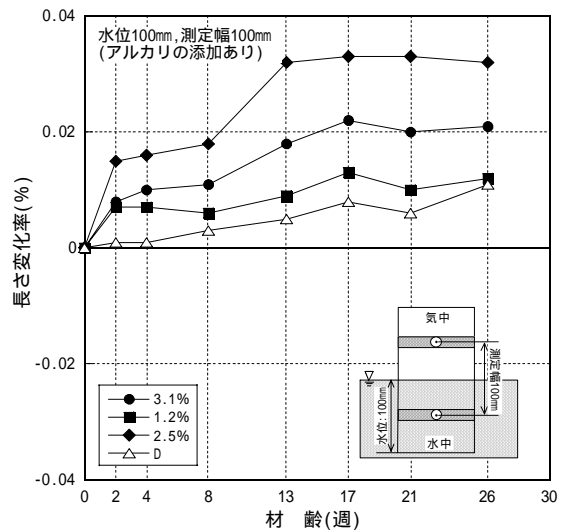
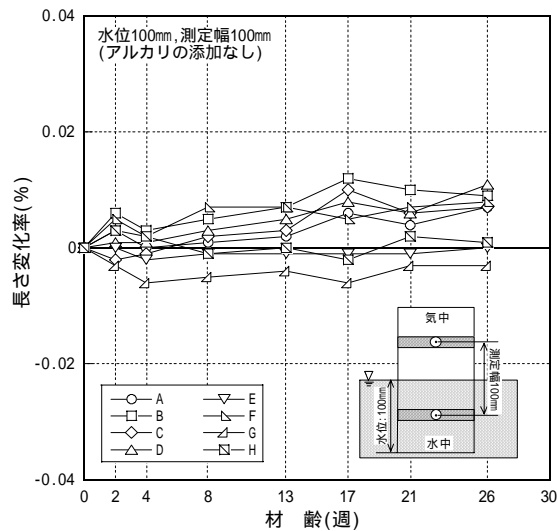


図4 材齢と長さ変化の関係(屋外暴露養生)

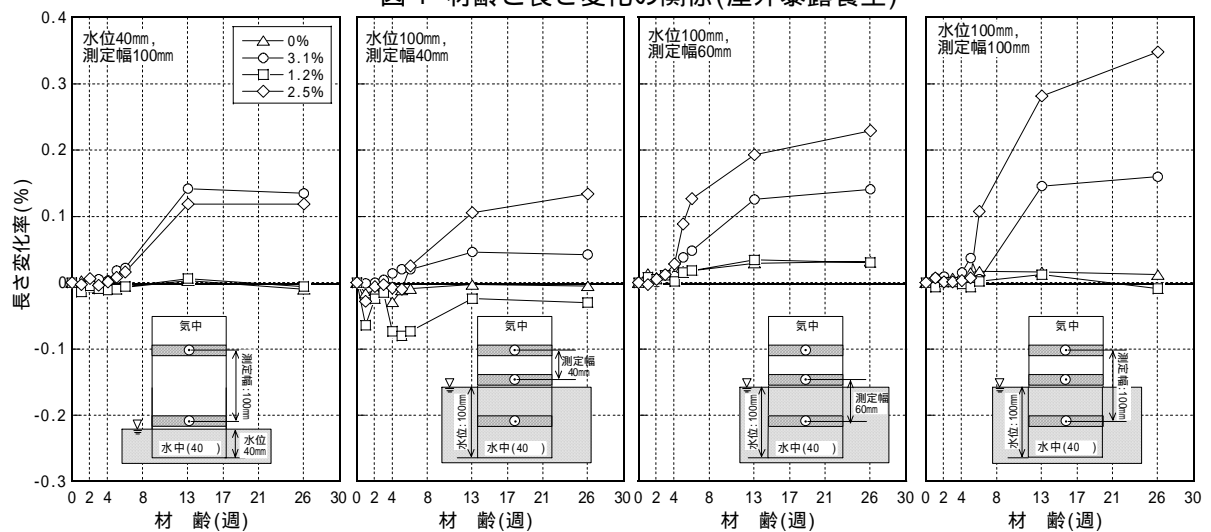


図5 材齢と長さ変化の関係(温水養生)

受けられる。また、アルカリの添加率が3.1%および2.5%では、水位100mm、測定幅100mmの膨張量の方が屋外暴露養生した供試体の膨張量(図4)より大きくなった。この原因として、アルカリ骨材反応は、温度が高くなるほど反応が促進される傾向にある<sup>5),6)</sup>ことが考えられる。これより、実際の構造物において季節や日照、温度などの環境条件の変動が膨張量に及ぼす影響は大きく、さらに、硬化の挙動が比較的不安定な強度発現の初期にこれらの環境条件の変動が重なると、膨張の挙動はより一層複雑化する可能性がある。

#### 4. まとめ

今回の実験結果から、次の知見が得られた。

- (1) JISに規定されている方法で試験を行った結果、迅速法 > 化学法 > モルタルバー法の順に「無害でない」の判定結果が多くなった。
- (2) 化学法(JIS)の試験結果と比較して試料を150 $\mu$ m以下にすることにより、全ての骨材で

Rcが大きくなる傾向を示した。

- (3) 屋外暴露養生では、迅速法の判定結果が「無害でない」となった骨材を用いた場合、膨張する傾向がみられた。
- (4) アルカリを添加した供試体は、水分を供給することにより、また、養生温度を高くすることにより膨張量が大きくなった。

#### 【謝辞】

本実験を行うにあたり、ものづくり大学技能工学部の森田鉄也君に多大なるご協力を頂きました。ここに付記し、心より感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 久保善司, 鳥居和之, アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化損傷事例と最新の補修・補強技術, コンクリート工学, Vol.40, 6, 2002.6
- 2) 小林一輔編, アルカリ骨材反応の診断, 森北出版株式会社, p110(1991)
- 3) 須藤絵美他, 各種骨材のアルカリシリカ反応性試験に関する一考察, 第57回セメント技術大会講演要旨, pp134-135(2003)
- 4) 竹村雅行他, 各種骨材のアルカリシリカ反応性試験結果のばらつきに関する一考察, 第57回セメント技術大会講演要旨, pp132~133(2003)
- 5) (社)日本コンクリート工学協会, コンクリート便覧, p296(1996)
- 6) 鳥居和之ほか, 自然環境下に暴露したコンクリートのアルカリシリカ反応による膨張とひびわれ, コンクリート工学論文集, vol.6, No.1, pp11~19(1995)