

論文 ポーラスコンクリートのアルカリシリカ反応特性に関する一検討

坂本 英輔*1・杉原 大祐*2

要旨: 本研究では、ポーラスコンクリート（以下、POCと略記）に JIS A 1804 と JCI AAR-3 を援用し、それぞれ POC のアルカリシリカ反応の基礎特性とその抑制策として亜硝酸リチウムの効果を実験的に検討した。その結果、POC に JCI AAR-3 を援用した場合、有害となるほどのアルカリシリカ反応による膨張が生じる可能性が示唆された。また、設計空隙率 15% および 22.5% の POC 供試体では抑制効果は見られなかったが、設計空隙率 30% の POC 供試体においては抑制効果が確認された。なお、JIS A 1804 に規定されている総アルカリリ量では POC の練混ぜ時の作業性が悪くなるため、JIS A 1804 を POC に援用することは現段階では難しい。
キーワード: ポーラスコンクリート、アルカリシリカ反応、JIS A 1804、JCI AAR-3、亜硝酸リチウム

1. はじめに

POC は、粗骨材同士をセメントペーストやモルタルによって連結させたおこし状のコンクリートである。その内部には連続もしくは独立した空隙を持っており、それらの空隙によって得られるさまざまな性能¹⁾などを活用し、社会基盤材料として道路舗装、河川護岸、法面保護など幅広く用いられている²⁾。国内にも長期間供用されている POC 構造物もあり、現場で考える多様な POC の耐久性に関する検討を進める必要がある。耐久性の一つである POC のアルカリシリカ反応については、既往の研究が少なく^{3), 4)}、アルカリシリカ反応性試験方法も確立されていないのが現状である。POC の骨材には、一般的に単一粒度の砕石が用いられることが望ましく、普通コンクリートに用いられるコンクリート用砕石と同様に様々な岩種の骨材が用いられている。既往の調査では、日本各地にはアルカリシリカ反応性骨材が分布していると考えられており、POC においてもアルカリシリカ反応特性に関するデータを蓄積し、アルカリシリカ反応性試験方法を確立すること重要である。参考として、図-1 に我が国におけるアルカリシリカ反応性骨材分布図^{5), 6)}を示す。調査は 471 種類の岩体からサンプルを収集して行われたもので、地質学的・岩石学的に均質な岩体であっても骨材のアルカリシリカ反応性について均質であるかは不明な点が多いため留意する必要がある。

本研究では、POC のアルカリシリカ反応特性に関するデータの蓄積およびアルカリシリカ反応性試験方法の検討を目的として、POC に、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）」と JCI AAR-3 「コンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験方法」⁷⁾を援用し、それぞれの試験方法により POC のアルカリシリカ反応の基礎特性およびその抑制策として亜硝酸リチウムの効果を実験的に検

討した。

2. 実験概要

2.1 要因と実験水準

表-1 にコンクリートのアルカリシリカ反応性試験方法の概略を示す。本研究では、POC のアルカリシリカ反応性試験方法として、試験期間が短い JIS A 1804 と特殊な試験装置が不要な JCI AAR-3 に注目し、POC に JIS A 1804 および JCI AAR-3 を援用した試験方法を、それぞれ JIS A 1804 援用法および JCI AAR-3 援用法と表記することとした。表-2 に実験の要因および水準を示す。両試験方法ともに、反応性骨材と反応性のない骨材（以下、普通骨材と略記）の比較による基礎特性の把握を目的としたシリーズ I と、骨材の種類を反応性骨材に固定し、POC のアルカリシリカ反応の抑制策としての亜硝酸リチウムの影響を検討するシリーズ II を実施した。なお、POC 供試体との比較用に、JIS A 1804 援用法ではモルタル供試体を、JCI AAR-3 援用法ではコンクリート供試体

□ 反応性試験の対象としなかった岩体(新第三紀よりも新しい堆積岩類)。
 ■ 反応性のある岩石をほとんど含まない岩体(深成岩類, 漸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おそれのある岩体(古第三紀よりも古い堆積岩類, 変成岩類)。
 ● 反応性のある岩石が高率で含まれるおそれのある岩体(中新世よりも新しい火山岩類)。
 なお、図示していない地域は今回未調査あるいはコンクリート用砕石を生産していない地域である。

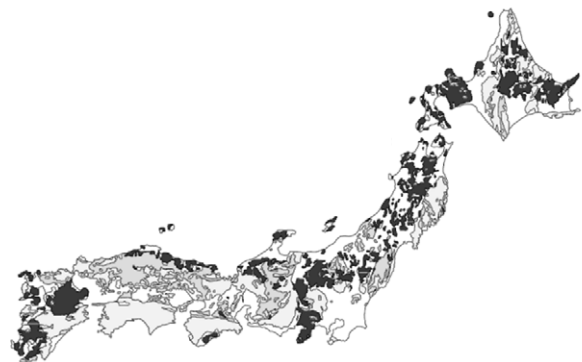


図-1 アルカリシリカ反応性骨材分布図^{5), 6)}

*1 広島工業大学 工学部建築工学科准教授 博士（工学）（正会員）

*2 （一財）建材試験センター西日本試験所 主任 修士（工学）（正会員）

表-1 コンクリートのアルカリシリカ反応性試験方法

試験方法	試験体寸法 (mm)	試料へのアルカリの添加	養生条件	試験期間	備考
JCI-DD2法	φ100×250	無	標準: 温度20°C・湿度 95%以上 促進: 温度40°C・湿度 95%以上	3ヶ月～	主にコア
カナダ法	φ50×150	無	温度80°Cの1mol/L NaOH溶液に浸漬	14日	主にコア
デンマーク法		無	温度50°Cの飽和NaCl溶液に浸漬	3ヶ月	主にコア
迅速法 (ZKT-206)	φ100×200	NaOH: 9kg/m ³ (Na ₂ O換算)	温度40°Cの水に浸漬→30分間で 50kPa(111°C)に昇温し2時間煮沸→ 30分間で20～40°Cに冷却	1日	—
コンクリート法 (JCI AAR-3)	100×100×400 または 75×75×400	NaOH: 2.4kg/m ³ (Na ₂ O換算)	温度40°C・湿度100%	6ヶ月	—

もそれぞれ作製した。

2.2 使用材料

普通骨材（岩種：石灰石）および反応性骨材（岩種：安山岩）は、あらかじめ 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（モルタルバー法）」および JIS A 1804 の試験を実施し、アルカリシリカ反応性の確認を行った。表-3 に使用骨材のアルカリシリカ反応性試験結果を示す。表-4 に使用材料の特性値を示す。JIS A 1804 援用法では、JIS A 1804 で規定されている 40×40×160mm の供試体を POC で作製することを考慮して 7 号砕石を、JCI AAR-3 援用法では 6 号砕石をそれぞれ使用した。なお、亜硝酸リチウムの添加量は、設定した総アルカリ量に対して Li/Na のモル比が 0.8 となるよう設定した。

2.3 実験方法

(1) JIS A 1804 援用法

当初は、ZKT-206 に準拠して試験を行ったが、POC では促進養生前後の水分状態の違いにより一次共鳴振動数を正確に測定できなかつたため、長さ変化率が規定されている JIS A 1804 を援用することとした。以下にその手順を示す。

供試体寸法は 40×40×160mm とし、型枠にはモルタル収縮膨張試験用ゲージプラグ（上部φ4.5mm、底面φ6mm、全長 20mm）を埋め込むことのできる鋼製型枠を使用した。表-5 に JIS A 1804 援用法における調合表を示す。NaOH 試薬により総アルカリ量が 6kg/m³ (Na₂O 換算) となるように調整した。これは、予備実験において、NaOH 試薬の添加量を増やすとセメントペーストの流動性が著しく低下し、POC の練り混ぜが困難になったことから、作業性も考慮して最大の総アルカリ量を決定したためである。なお、モルタル供試体の場合の総アルカリ量を比較すると、JIS A 1804 援用法の総アルカリ量は、JIS A 1804 の約 40%にあたる。練混ぜには、4L のモルタ

表-2 実験の要因および水準

(a) シリーズ I

要因	実験水準
骨材の種類	普通骨材, 反応性骨材
設計空隙率(%)	15, 22.5, 30

(b) シリーズ II

要因	実験水準
設計空隙率(%)	15, 22.5, 30
亜硝酸リチウム	無, 有

[註] シリーズIIでは、反応性骨材のみ使用

表-3 使用骨材のアルカリシリカ反応性試験結果

(a) 化学法

骨材の種類	溶解シリカ量 Sc (mmol/L)	アルカリ濃度減少量 Rc (mmol/L)	JIS A 1145 による判定
普通骨材	1	7	無害
反応性骨材	334	115	無害でない

(b) モルタルバー法

骨材の種類	測定材齢26週での平均膨張率 (%)	JIS A 1146 による判定
普通骨材	0.012	無害
反応性骨材	0.365	無害でない

(c) 迅速法

骨材の種類	長さ変化率 (%)	JIS A 1804 による判定
普通骨材	0.02	無害
反応性骨材	0.97	無害でない

ルミキサを用い、ペースト先練り方式とし、ペースト練混ぜ時に NaOH 試薬を外割で添加した。なお、亜硝酸リチウムは、練混ぜ水の内割として添加した。打込みの際、調合表から型枠の容積に応じた POC 質量を算出し、所定量を型枠に打ち込むことにより空隙率の管理を行った。締め固めは、2 層各層を突き棒で締め固め、木槌で叩いた後、型枠振動機で振動を与え、コテで仕上げ後、湿布養生とした。なお、水準ごとに POC 供試体は 4 体、モルタル供試体は 3 体ずつ作製した。

表-4 使用材料の特性値

材料	種類	特性値	
セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16 g/cm ³ , 総アルカリ量: 0.51% (JIS A 1804援用法), 0.45% (JCI AAR-3援用法)	
細骨材	砕砂	表乾密度: 2.61 g/cm ³ , 吸水率: 3.08%	
粗骨材	普通骨材 (石灰石)	7号	粒径: 2.5~5 mm, 表乾密度: 2.69 g/cm ³ , 吸水率: 0.26%, 実積率: 59.4%
		6号	粒径: 5~13 mm, 表乾密度: 2.69 g/cm ³ , 吸水率: 0.37%, 実積率: 60.0%
	反応性骨材 (安山岩)	7号	粒径: 2.5~5 mm, 表乾密度: 2.57 g/cm ³ , 吸水率: 1.11%, 実積率: 56.6%
		6号	粒径: 5~13 mm, 表乾密度: 2.59 g/cm ³ , 吸水率: 0.87%, 実積率: 58.1%
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系	

材齢 1 日で脱型し、それ以降は封緘養生とし、材齢 3 日でダイヤルゲージ方法により基長を測定した。基長測定後、写真-1 に示す反応促進装置を用いて促進養生を行った。促進養生は、予め水温 40℃ に設定しておいた圧力容器内に供試体を浸漬し、40±10 分間でゲージ圧 150kPa (温度 127℃) になるように過熱し、さらに 4 時間、同圧力下で煮沸した。煮沸後、水を注ぎ、30±10 分間で水温を 20℃~40℃ とした後、供試体を圧力容器から取り出し、20±2℃ の水中に 1 時間以上浸漬した後、表面の水を拭き取ってから直ちに長さを測定した。試験前後の長さ変化から長さ変化率を算出した。

(2) JCI AAR-3 援用法

JCI AAR-3 を援用して以下の手順で実施した。供試体寸法は 100×100×400mm とし、型枠にはコンクリート収縮膨張試験用ゲージプラグ (上部φ4.5mm, 底面φ6mm, 全長 30mm) を埋め込むことのできる鋼製型枠を使用した。表-6 に JCI AAR-3 援用法における調合表を示す。NaOH 試薬により総アルカリ量が 4kg/m³ (Na₂O 換算) となるように調整した。JCI AAR-3 では、コンクリート 1m³ 中の総アルカリ量が 3~4 kg/m³ (Na₂O 換算) を超えたときに有害な膨張が発生することを考慮し、添加アルカリ量を 2.4kg/m³ (Na₂O 換算) と規定している⁷⁾。本研究で取り扱う POC では、設計空隙率によって 1m³ 中のセメント量が大きく変化するため、添加アルカリ量ではなく総アルカリ量を規定した。練混ぜには、65L の揺動式オムニミキサーを用い、ペースト先練り方式とし、ペースト練混ぜ時に NaOH 試薬を外割で添加した。なお、亜硝酸リチウムは、練混ぜ水の内割として添加した。打込みの際、調合表から型枠の容積に応じた POC 質量を算出し、所定量を型枠に打ち込むことにより空隙率の管理を行った。締め固めは、2 層各層を突き棒で締め固め、木槌で叩いた後、ハンマドリルで振動を与え、コテで仕上げ後、湿布養生とした。なお、水準ごとに POC 供試体は 3 体、コンクリート供試体は 3 体ずつ作製した。

材齢 1 日で脱型し、20±3℃ に制御された室内でダイヤルゲージ方法により基長を測定した (写真-2 (a) 参照)。次に、供試体の表面を給水紙で覆い、ポリエチレン

表-5 JIS A 1804 援用法における調合表

(a) POC

骨材の種類	亜硝酸リチウム	W/C (%)	設計空隙率 (%)	単位質量(kg/m ³)			NaOH 添加量 (kg/m ³)	LiNO ₂ 添加量 (kg/m ³)
				W	C	G		
骨材	無	25	15	113	452	1600	4.8	0
			22.5	80	319		5.6	
			30	47	187		6.5	
反応性	無	25	15	126	502	1455	4.4	20.5
			22.5	92	370		5.3	
			30	59	237		6.2	
	有		15	126	502		4.4	
			22.5	92	370		5.3	
			30	59	237		6.2	

【註】 W/C:水セメント比, W:水, C:セメント, G:粗骨材, NaOH:水酸化ナトリウム, LiNO₂:亜硝酸リチウム

(b) モルタル

骨材の種類	亜硝酸リチウム	1バッチ量(g)				NaOH 添加量 (g)	LiNO ₂ 添加量 (g)
		W	C	S1	S2		
普通	無	300	600	600	600	3.4	0
反応性	有						19.4

【註】 W:水, C:セメント, S1:豊浦標準砂, S2:粉碎試料, NaOH:水酸化ナトリウム, LiNO₂:亜硝酸リチウム



(a) 外観



(b) 圧力容器内

写真-1 JIS A 1804 援用法に用いた反応促進装置

製の袋に入れて密閉し、湿度 100% を保つよう梱包した。そして、温度 40±2℃ に制御された恒温室内に、互いが接触しないよう貯蔵した。長さ変化測定は、基長測定時のほかに、4, 8, 13, 17, 21, 26, 30, 34 および 38 週の材齢で実施した。JCI AAR-3 に規定されている試験期間は材齢 26 週 (6 ヶ月) であるが、POC の長期データを得るため、材齢 38 週 (9 ヶ月) まで試験を継続した。なお、長さ変化測定の 24 時間前に、恒温室 (写真-2 (b) 参照) から供試体を取り出し、梱包された状態で 20±3℃

表-6 JCI AAR-3 援用法における調査表

(a) POC

骨材の種類	亜硝酸リチウム	W/C (%)	設計空隙率 (%)	単位質量(kg/m ³)			NaOH 添加量 (kg/m ³)	LiNO ₂ 添加量 (kg/m ³)
				W	C	G		
普通	無	25	15	110	442	1582	2.6	0
			22.5	77	309		3.4	
			30	44	177		4.1	
			15	119	474		2.4	
反応性	有	25	22.5	85	342	1474	3.2	13.7
			30	52	209		4.0	
			15	119	474		2.4	
			22.5	85	342		3.2	
			30	52	209		4.0	

[註] W/C:水セメント比, W:水, C:セメント, G:粗骨材, NaOH:水酸化ナトリウム, LiNO₂:亜硝酸リチウム

(b) コンクリート

骨材の種類	亜硝酸リチウム	W/C (%)	空気量 (%)	単位質量(kg/m ³)				NaOH 添加量 (kg/m ³)	LiNO ₂ 添加量 (kg/m ³)
				W	C	S	G		
普通	無						922	0	
反応性	有	55	4.0	175	317	894	866	3.3	
								13.7	

[註] W/C:水セメント比, W:水, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材, NaOH:水酸化ナトリウム, LiNO₂:亜硝酸リチウム

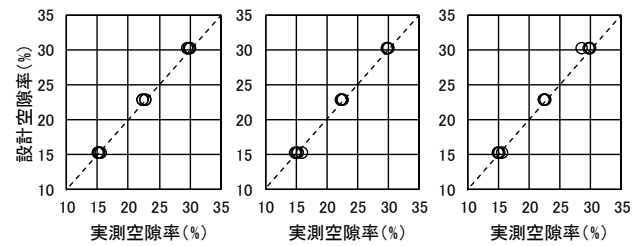


(a) 長さ測定



(b) 恒温室での貯蔵

写真-2 JCI AAR-3 援用法



(a) 普通 (b) 反応性・亜硝酸無 (c) 反応性・亜硝酸有

図-2 設計空隙率と実測空隙率の関係

に制御された室内に静置した。

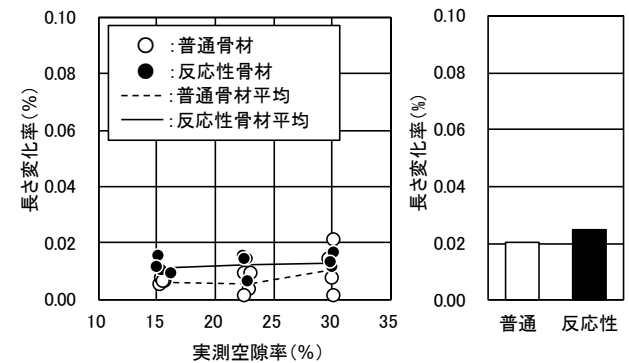
3. 実験結果および考察

3.1 JIS A 1804 援用法

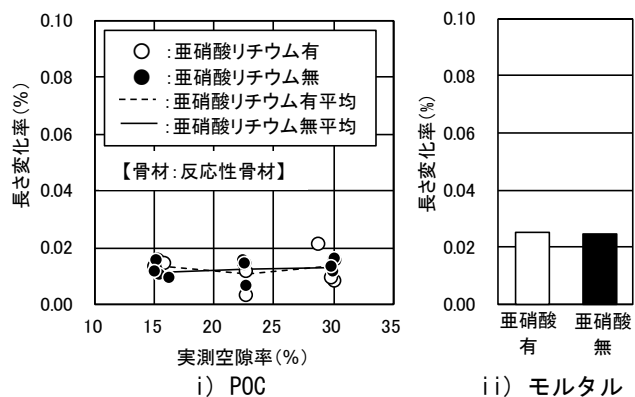
図-2 に設計空隙率と実測空隙率の関係を示す。同図によれば、本実験で作製した供試体は、バッチによらず、ほぼ設計空隙率どおりの空隙を有していることが分かる。なお、設計空隙率と実測空隙率の差は最大で1.3%であった。

図-3 に JIS A 1804 援用法による長さ変化率を示す。シリーズ I の結果である図-3 (a) によれば、モルタル、POC ともに、反応性骨材は、普通骨材より若干長さ変化率が大きくなっており、アルカリシリカ反応による膨張が生じている可能性が考えられる。また、POC の膨張率は、モルタルのそれより小さく、空隙率による影響はほとんどないことが分かる。ここで、モルタル、POC ともに、JIS A 1804 の判定基準を適用した場合、「長さ変化率 0.10%未満」を満足し、「無害」の判定結果となる。ただし、表-3 (c) の迅速法の結果も加味すると、この判定結果は総アルカリ量が極端に少ない条件であったためと考えられる。そのため、練混ぜ時の作業性の問題から、これ以上総アルカリ量を増やすことができない POC への JIS A 1804 の援用は現段階では難しいと考える。

シリーズ II の結果である図-3 (b) によれば、モルタル、POC ともに、亜硝酸リチウムの抑制効果は確認できなかった。そこで、試験終了後の供試体で曲げ試験を行い、その割裂面に呈色反応試薬 TDI を塗布したところ、モルタルは茶褐色に変色したが、POC は変化しなかった。なお、TDI は無色透明の液体であり、亜硝酸リチウムのうちの亜硝酸イオンと反応して茶褐色に変色するが、そ



i) POC (a) シリーズ I



i) POC (b) シリーズ II

図-3 JIS A 1804 援用法による長さ変化率

の濃淡とそこに含まれるリチウムイオン量との間には相関関係があり、リチウムイオン含有量の大小を相対的に示す指標となる⁸⁾。今回は、モルタルではリチウムイオンが存在しているにもかかわらず、亜硝酸リチウムの抑制効果が確認できなかったことから、実験条件での総ア

ルカリ量が極端に少なく、膨張量が小さくなったため、亜硝酸リチウムの抑制効果が表れなかったと考えられる。加えて、POCでは、連続空隙を通して、水中に亜硝酸リチウムが溶け出しと考えられる。

目視観察の結果、両シリーズともに、いずれの供試体においてもひび割れは確認されず、骨材の剥離も認められなかった。

3.2 JCI AAR-3 援用法

図-4 に設計空隙率と実測空隙率の関係を示す。同図によれば、本実験で作製した供試体は、バッチによらず、ほぼ設計空隙率どおりの空隙を有していることが分かる。なお、設計空隙率と実測空隙率の差は最大で0.7%であった。

図-5 に JCI AAR-3 援用法による膨張率と材齢の関係を示す。反応性骨材を使用し、亜硝酸リチウムを添加しない条件は、2 回試験を行い、その平均値を用いているため、図-5 (a) および (b) とともに同じデータである。

シリーズ I の結果である図-5 (a) によれば、コンクリート、POCによらず、反応性骨材は普通骨材と比べて膨張率が大きくなるのが分かる。また、POCでは、膨張が材齢 21 週程度で収束するのに対して、コンクリートでは、材齢 38 週まで増加傾向が継続していることが分かる。さらに、POCでは、骨材種類によらず、設計空隙率が大きくなるほど膨張率が大きくなっている。これは、空隙率が大きくなるほど、セメントペーストの膜厚が薄くなることから、骨材内やセメントペーストと骨材との界面に生じるアルカリシリカ反応によるひび割れによって、骨材の割れや付着切れが発生しやすくなるためと考えられる。ここで、JCI AAR-3 の「測定材齢 6 ヶ月での膨張率が 0.100%未満の場合を反応性なし」とする判定基準を用いると、反応性骨材を使用したコンクリートは「反応性あり」の判定結果となる。また、POCにおいても、反応性骨材を使用した設計空隙率 30%の供試体では膨張率が 0.100%に近い値となっている。このことから、POCにおいても、有害となるほどのアルカリシリカ反応による膨張が起きる可能性が示唆された。

シリーズ II の結果である図-5 (b) によれば、コンクリート供試体においては、亜硝酸リチウムによる抑制効果が確認された。これに対して POC では、設計空隙率 15%および 22.5%の供試体では、亜硝酸リチウムによる抑制効果は見られなかった。しかし、設計空隙率 30%の供試体では、測定材齢 26 週における亜硝酸リチウムによる膨張率の差が 0.046%となっており、抑制効果が確認された。これは、設計空隙率 15%および 22.5%の場合は、そもそも膨張量が大きくないため、亜硝酸リチウムによる抑制効果が顕著ではなかったためと考えられる。なお、亜硝酸リチウムを添加した供試体の 4 週目の膨張率が低

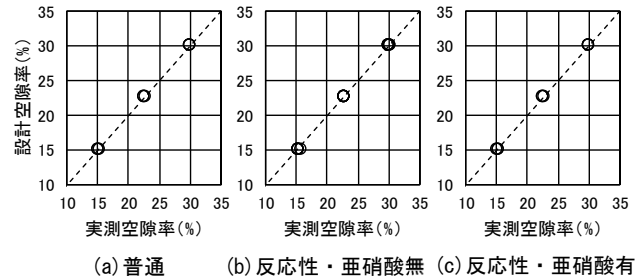
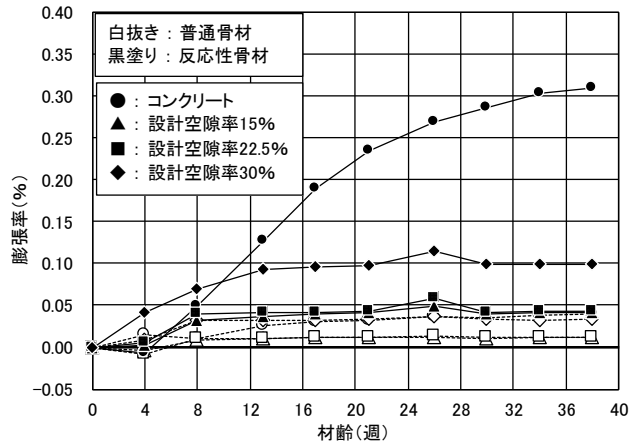
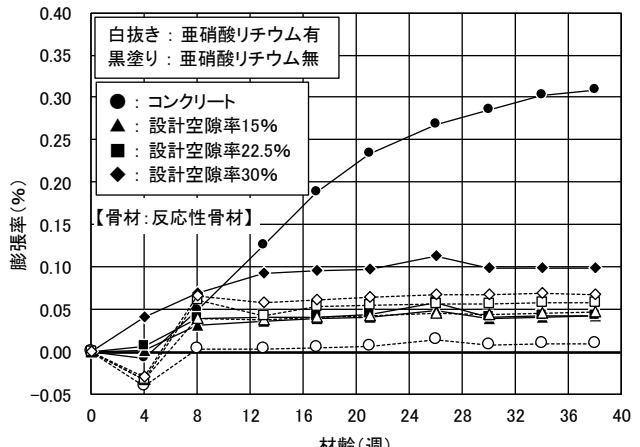


図-4 設計空隙率と実測空隙率の関係



(a) シリーズ I



(b) シリーズ II

図-5 JCI AAR-3 援用法による膨張率と材齢の関係



写真-3 骨材の割れの様子
(シリーズ I : 反応性骨材・設計空隙率 30%)

下している点については、現時点では明確な考察はできないが、以下のように考える。既往の研究9)によれば、亜硝酸リチウムの Li/Na のモル比によっては、亜硝酸リ

チウムの添加により収縮が生じる可能性が伺える結果が示されている。このことから、本研究においては、材齢初期に、亜硝酸リチウムによる収縮の影響が顕著に表れた可能性が考えられる。

測定材齢 26 週における目視観察の結果によれば、普通骨材を用いた供試体では、ひび割れなどは生じていなかった。しかし、反応性骨材を使用し、亜硝酸リチウムを添加しなかった場合、コンクリートでは供試体全体に無方向性のひび割れが、POC では骨材の割れがそれぞれ全ての供試体に 1 か所以上生じていた（写真-3 参照）。POC において割れが生じた骨材は、骨材断面を観察することができ、周辺のセメントペーストにはひび割れは生じておらず、割れの方向には規則性は見られなかった。これは、POC の場合、セメントペーストの膜厚が一定ではないため、骨材内に生じたアルカリシリカ反応によるひび割れとセメントペーストの膜厚が薄い部分が交わった場合に偶発的に起こるためと考えられる。反応性骨材を使用しても、亜硝酸リチウムを添加した場合、コンクリートではひび割れは生じていなかったが、POC では骨材の割れが生じている供試体が若干存在した。

4. 結論

本研究では、POC に JIS A 1804 と JCI AAR-3 を援用し、それぞれ POC のアルカリシリカ反応の基礎特性とその抑制策として亜硝酸リチウムの効果を実験的に検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) JIS A 1804 援用法では、POC においてもアルカリシリカ反応による膨張が若干生じた。しかしながら、練混ぜ時の作業性を考慮すると、JIS A 1804 に規定されている総アルカリ量を全量添加することはできず、現段階では JIS A 1804 を POC に援用することは難しいと言える。
- (2) JIS A 1804 援用法では、モルタル、POC とともに、亜硝酸リチウムの抑制効果は確認できなかった。この原因は、実験条件での総アルカリ量が極端に少なかったためであり、POC については、加えて、連続空隙を通して水中に亜硝酸リチウムが溶け出したためと考えられる。
- (3) JCI AAR-3 援用法では、POC においても、有害となるほどのアルカリシリカ反応による膨張が起きる可能性が示唆された。
- (4) JCI AAR-3 援用法では、設計空隙率 15% および 22.5% の POC 供試体では、亜硝酸リチウムによる抑制効果は見られなかった。しかし、設計空隙率 30% の POC 供試体では、亜硝酸リチウムによる抑制効果が確認された。

今後は、JCI AAR-3 援用法における空隙率や圧縮強度の変化、測定方法（ダイヤルゲージ方法とコンタクトゲージ方法の違い）を検討していく予定である。また、アルカリを練混ぜ時に添加しないカナダ法などの試験方法についても検討していく必要があると思われる。

謝辞

本研究は、2015 年度日本コンクリート工学会中国支部「ポーラスコンクリート耐久性研究委員会（委員長：坂本英輔）」において取り組んだ成果である。本研究を進めるにあたり、松原竜馬氏（建材試験センター西日本試験所）、寺西功志朗君（広島工業大学卒業生）、免出雄輝君（広島工業大学卒業生）のご助力を得た。また、太平洋セメント株式会社からはセメントを、株式会社フローリックからは高性能 AE 減水剤を、福德技研株式会社からは亜硝酸リチウムをそれぞれ提供して頂いた。ここに付記して謝意を申し上げる。

参考文献

- 1) Hatanaka, S., Mishima, N., Maegawa, A. and Sakamoto, E.: Fundamental Study on Properties of Small Particle Size Porous Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.12, pp.24-33, Jan. 2014
- 2) 日本コンクリート工学会：性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会報告書，2015.6
- 3) 小林隆芳，長岡誠一，君島健之：ポーラスコンクリートのアルカリ骨材反応特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, No.1, pp.1443-1448, 2004
- 4) 阿部和宏，半井健一郎：アルカリ反応性骨材を用いたポーラスコンクリートの性能評価，土木学会第 66 回年次学術講演会（平成 23 年度），pp.1089-1090, 2013
- 5) (財) 土木研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果），pp.293-294, 1988.5
- 6) 古賀裕久，河野広隆：骨材のアルカリ骨材反応性に関する全国調査結果，土木学会第 59 回年次学術講演会，pp.1-2, 2004
- 7) 西林新蔵：コンクリート法によるアルカリ骨材反応判定試験方法研究委員会報告，コンクリート工学年次論文集，Vol.13, No.1, pp.7-16, 1991
- 8) 江良和徳：リチウム内部圧入によるアルカリシリカ反応の抑制について，コンクリート工学，Vol.50, No.2, pp.155-162, 2012
- 9) 斉藤満，北川明雄，榎場重正：亜硝酸リチウムによるアルカリ骨材膨張の抑制効果，材料，Vol.41, No.468, pp.1375-1381, 1992