

骨材からのアルカリ溶出性状と ASR による膨張挙動の関係

九州大学大学院 学生会員 ○池田 隆徳 九州大学大学院 正会員 濱田 秀則
 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 (独)港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎
 太平洋セメント(株) 正会員 山田 一夫

1. はじめに

近年、骨材からのアルカリ溶出による経時的なアルカリ量の増加が指摘され¹⁾、多くの骨材についてアルカリ溶出の可能性が検討されている¹⁾。しかし、アルカリ溶出を生じる骨材の岩石学的特徴やアルカリシリカ反応(ASR)による膨張に対する影響度などは十分に明らかではない。そこで、本研究では、骨材の溶液浸漬試験により得られた骨材からのアルカリ溶出性状を鉱物組成に基づき整理し、さらに、溶液の OH⁻濃度変化およびモルタルの膨張試験から、骨材からのアルカリ溶出が ASR 膨張に及ぼす影響を検討した。

表-1 骨材の化学組成および鉱物組合せ

	化学組成(mass%)													鉱物含有量						
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I.	Total	qz	cr	tr	pl	pyx	cl	gl	
An1	74.05	0.12	13.56	1.93	0.02	0.45	1.43	3.64	3.67	0.06	0.98	99.91		◎		◎	△			
An2	60.78	0.85	17.92	4.42	0.11	1.67	6.88	3.80	2.56	0.31	0.54	99.84		+		◎	△			
An3	62.85	0.77	15.83	4.47	0.08	2.68	5.35	3.76	1.97	0.21	1.83	99.80				◎	△		+	
Tu1	68.50	0.50	13.03	2.99	0.06	2.73	2.10	2.24	4.14	0.10	3.34	99.73	◎			◎	△	△		
Tu2	67.00	0.54	13.03	3.62	0.08	3.13	2.57	2.50	3.83	0.12	3.31	99.73	◎			◎	△	△		
Tu3	68.05	0.43	14.51	3.34	0.08	2.59	1.56	3.41	3.44	0.10	2.34	99.85	◎			◎	△	+		

含有量:◎>○>△>+

qz:石英, cr:クリストバライト, tr:トリディマイト, pl:斜長石, pyx:輝石, cl:粘土鉱物, gl:火山ガラス

2. 骨材の溶液浸漬試験

2.1 使用骨材

本研究では、輝石安山岩 3 種類(An1~3)および安山岩質凝灰岩 3 種類(Tu1~3)を使用した。表-1 に骨材の化学組成および鉱物組合せを示す。

骨材中のアルカリは、主に斜長石、火山ガラス、粘土鉱物等に含まれ、斜長石はすべての骨材に多く含まれる。また、火山ガラスは、An3 に多く、粘土鉱物は凝灰岩に含まれ、特に Tu1, Tu2 に多い。

2.2 試験方法

本研究では、1N NaOH および KOH 溶液に骨材を粉砕した試料を浸漬し、骨材からのアルカリ溶出性状を評価した。なお、NaOH 浸漬により K 溶出を、KOH 浸漬により Na 溶出を評価した。試料は、骨材を 0.15~0.30mm となるよう粉砕・調整したものとし、固液比を 25g/100ml とし、温度 60°C の恒温水槽中で最長 6 ヶ月間保管した。

定期的に溶液を分取し、Na⁺、K⁺、OH⁻濃度を測定した。溶液の分取後は、浸漬溶液と同種の溶液を分取量と等しい量を浸漬溶液に加え、固液比を常に一定とした。なお、Na⁺、K⁺濃度は、原子吸光光度計により、OH⁻濃度は中和滴定により測定を行った。

2.3 アルカリ溶出挙動

図-1 に NaOH 浸漬時の K 溶出量を、図-2 に KOH 浸漬時の Na 溶出量の経時変化を示す。

An3, Tu1, Tu2 からの溶出量は K, Na の両者ともに多い傾向にある。

キーワード アルカリ溶出, ASR, 火山ガラス, 粘土鉱物, OH⁻濃度

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL:092-802-3387

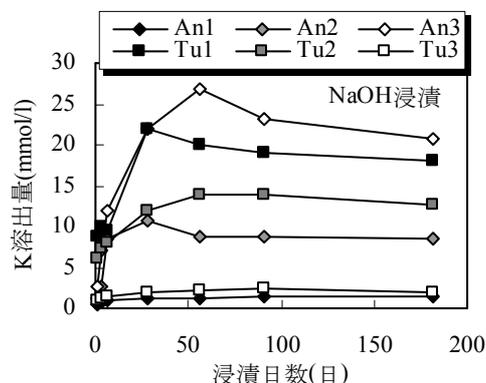


図-1 K 溶出挙動 (NaOH 浸漬)

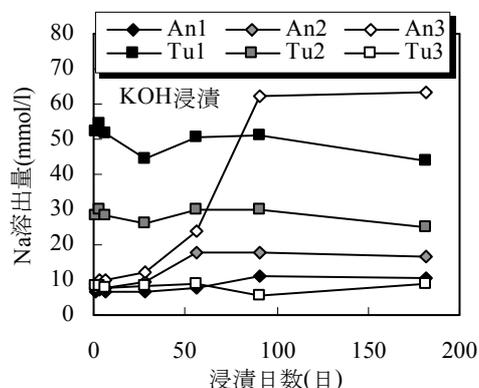


図-2 Na 溶出挙動 (KOH 浸漬)

これらの骨材の含有鉱物より、火山ガラス、粘土鉱物がアルカリ溶出に対し影響度が大きいことが推察される。また、本研究で使用した骨材では、斜長石の影響度は小さいものと考えられた。

また、溶出挙動に着目すると、K 溶出は、溶出量は浸漬初期から経時的に増加し、浸漬 28 日程度で収束している。一方で、Na 溶出では、Tu1, Tu2 で浸漬 1 日から多い溶出量が見られる点が特徴的である。Tu1 および Tu2 に粘土鉱物が多く含まれることから、浸漬 1 日の初期からのアルカリ溶出は、粘土鉱物のイオン交換反応によるものと考えられる。

2.4 アルカリ溶出挙動と OH 濃度変化の関係

図-3 および図-4 に NaOH 浸漬時および KOH 浸漬時の OH 濃度の経時変化を示す。図よりアルカリ溶出を生じている骨材であっても、OH 濃度は浸漬初期から低下していることが分かる。

3. モルタル膨張試験

3.1 試験方法

上記の溶液浸漬試験より、アルカリ溶出量が多い骨材として An3 および Tu2 をモルタル膨張試験に供した。なお、アルカリ溶出の ASR 膨張に対する影響の評価のため、一般的な反応性骨材としてクリストバライトを含む安山岩(R)および非反応性と考えられる石灰石骨材(NR)を組合せて使用し、表-2 に示す要因のように、それぞれ 2 種類を 50mass% ずつ混合し、各要因の膨張率の比較よりアルカリ溶出の ASR 膨張に対する影響度を評価した。

セメントには、普通ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm³, ブレーン比表面積 3370cm²/g, Na₂O_{eq}=0.55%)を使用した。配合は、水セメント比を 0.50, 砂セメント比を 2.25 とした。また、セメントアルカリ量が 1.20% となるよう NaOH 溶液を添加した。

3.2 試験結果および考察

図-5 にモルタルの膨張率の経時変化を示す。最も膨張率が高い要因は、R と NR の組合せ(R-NR)であり、アルカリ溶出骨材を混合した An3-R, Tu2-R の膨張率は R-NR と比較して、低くなった。特に、Tu2 を R と混合した場合(Tu2-R)には全く膨張を生じなかった。このように、今回の実験結果からは、骨材からのアルカリ溶出による ASR 膨張の促進効果は認められず、上記の浸漬試験における OH 濃度変化の結果と相関性が認められた。以上より、アルカリ溶出が必ずしも ASR 膨張を促進しない可能性が示された。

4. 結論

- (1) 骨材の溶液浸漬試験より、火山ガラス、粘土鉱物を含む骨材でアルカリ溶出量が多い傾向にあった。
- (2) 骨材の溶液浸漬試験において、アルカリ溶出を生じる骨材であっても OH 濃度は低下した。さらに、モルタル膨張試験において、アルカリ溶出骨材によって ASR 膨張を促進する効果は認められなかった。したがって、骨材からのアルカリ溶出が必ずしも ASR 膨張を促進するわけではないことが示された。

【参考文献】 1) M. A. Berube et. al.: Laboratory Assessment of Alkali Contribution by Aggregate to Concrete and Application to Concrete Structures

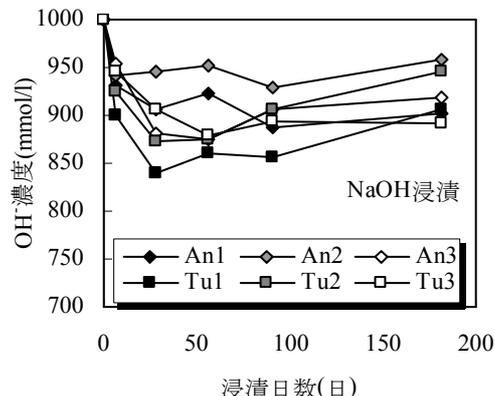


図-3 OH 濃度の経時変化 (NaOH 浸漬)

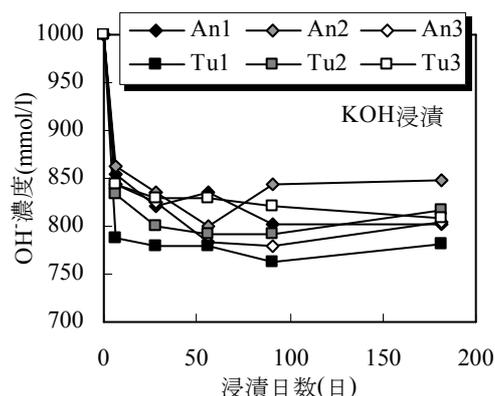


図-4 OH 濃度の経時変化 (KOH 浸漬)

表-2 骨材の混合割合

要因名	アルカリ溶出骨材		反応性骨材 R	非反応性骨材 NR
	An3	Tu2		
An3-R	50	-	50	-
Tu2-R	-	50	50	-
An3-NR	50	-	-	50
Tu2-NR	-	50	-	50
R-NR	-	-	50	50

(mass%)

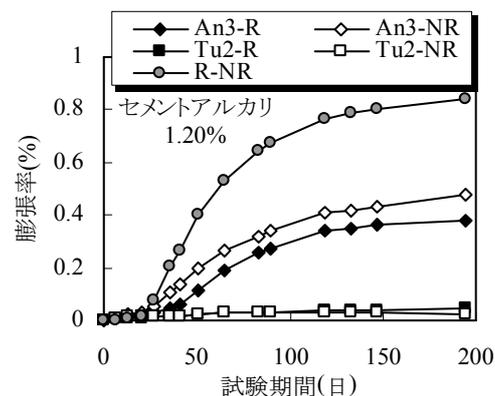


図-5 モルタル膨張率の経時変化