

各種促進養生試験における安山岩の ASR 膨張挙動の評価

九州大学工学部 学生会員 志岐朋晃
九州大学大学院 学生会員 川端雄一郎

九州大学大学院 フェロー 松下博通
太平洋セメント(株) 正会員 山田一夫

1. はじめに

安山岩は反応性骨材の一つとして知られているが、その挙動は明確になっておらず、安山岩の鉱物組成によってその反応性は異なる。よって、安山岩の反応性を適切に評価することは ASR を制御する上で重要である。そこで本研究では、岩石学的評価を行った種々の安山岩について各種促進養生試験により膨張挙動を評価し、安山岩の鉱物組成からその反応性について考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

表-1に、細骨材として用いた組成の異なる安山岩(An)4種の XRD による構成鉱物の結果を示す。安山岩中の反応性鉱物はクリストバライト(Cr)、トリディナイト(Tr)、火山ガラス(GI)である。試料 An(A), (B), (C) は Cr の量が C>B>A の順で多く、An(D)は反応性鉱物のうち GI のみを含むガラス質安山岩であった。Tr はどの安山岩も含まれていなかった。

セメントは JIS A 1146 に規定される普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³, 比表面積 3280cm²/g)を用いた。モルタルの配合は水セメント比 50%, 砂セメント比 2.25 とし、4×4×16cm の供試体を作製した。

2.2 試験方法

(1) ASR 反応性試験

安山岩の反応性の評価を JIS A 1145(化学法)に準拠して行った。試験結果を図-1に示す。安山岩は全て「無害でない」となった。一部の骨材については、溶液の pH を変化させ溶解シリカ量を測定する実験も行った。

また膨張量の評価に、JIS A 1146 法(JIS 法)、デンマーク法、ASTM C 1260 法(ASTM 法)の3種類の試験を行った。試験内容を表-2に示す。

デンマーク法は飽和 NaCl 溶液という外来アルカリの影響を考慮した過酷な試験環境であり、北陸地方における実構造物の損傷状況に一致することが報告されている¹⁾。

(2) 細孔溶液の pH 測定

セメントのアルカリ量を 0.6, 1.2, 2.4%として行った JIS 法の供試体、デンマーク法での試験終了後の供試体から、圧搾抽出により細孔溶液を採取し、中和滴定により pH を測定した。細骨材には非反応性である石灰石(LS)を使用した。0.6%は現在用いられているセメントのアルカリ量と同等程度である。

3. 実験結果および考察

3.1 各促進養生試験における膨張率測定

膨張率の測定結果を図-2に示す。まず、JIS 法では全ての安山岩が「無害でない」となり、どの安山岩も 1.2%より 2.4%の方が、pH が高いために膨張率が高くなっていることが分かる。このことから ASR は pH に依存していると言える。1.2%では組成が異なるにも関わらず膨張量が全て同等となるのは、化学法において Rc, Sc が共に

表-1 安山岩の鉱物組成

	鉱物組成				
	Qz	Cr	Pl	Pyx	Gl(%)
An (A)	△	○	◎	◎	16
An (B)	◎	○	◎	◎	15
An (C)	○	◎	◎	◎	—
An (D)	・	・	◎	◎	27

◎: 1000cps以上 ○: 1000~500cps

△: 500~250cps ・250以下 —: 未測定

Qz: 石英 Cr: クリソバライト Pl: 斜長石

Pyx: 輝石 Gl: 火山ガラス An: 安山岩

(XRD測定条件: 40kV, 26mA)

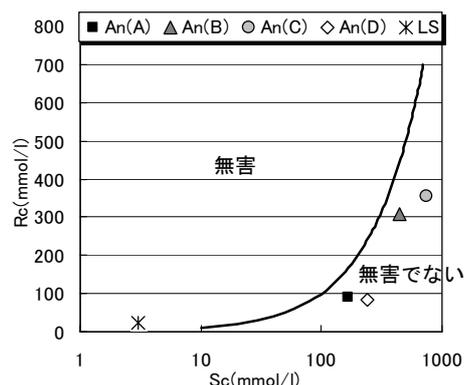


図-1 化学法の判定結果

表-2 促進養生試験の種類

試験方法	養生条件	評価材齢	膨張率の判定基準
JIS法	JIS A 1146に準拠。 ※アルカリ量 1.2, 2.4% (Na ₂ O _{eq} 換算)	182日	0.1%未満:「無害」 0.1%以上: 「無害でない」
デンマーク法	50°Cの飽和NaCl 溶液に浸漬	91日	0.1%未満:「無害」 0.1~0.4%:「不明」 0.4%以上:「有害」
ASTM法	80°Cの1N NaOH 溶液に浸漬	14日	0.1%未満:「無害」 0.1~0.4%:「不明」 0.4%以上:「有害」

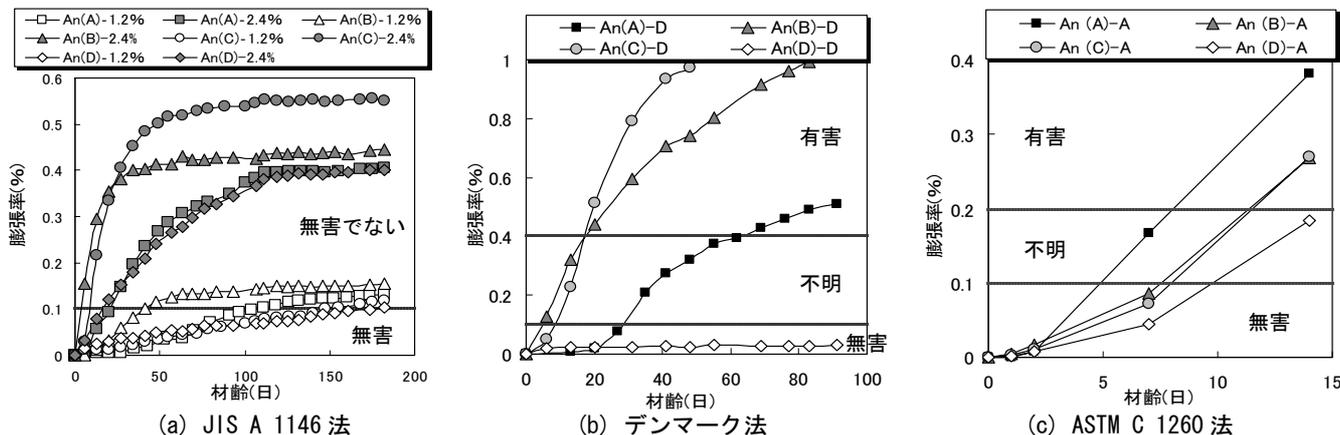


図-2 各促進養生試験による膨張率の経時変化

高く Cr を含有する安山岩ではペシマム現象も影響しているためと考えられる。次に、デンマーク法では An(D)のみが「無害」、その他は「有害」であった。また、Cr の量が多いほど膨張量が高いことが分かる。一方、ガラス質安山岩である An(D)は膨張挙動を示さなかった。さらに、ASTM 法では An(D)のみ「不明」となり、その他の安山岩は「有害」となった。

全体的な傾向としては、Cr を含む安山岩では全ての促進養生試験で膨張挙動を示したが、シリカ鉱物を含まないガラス質安山岩は外来アルカリを想定したデンマーク法においては膨張していなかった。また、Gl の量・組成が異なるガラス質安山岩でも同様の結果が得られている²⁾。

3.2 アルカリ溶液による Cr, Gl の溶解挙動と各試験法の pH の評価

An(C), (D)について pH と溶解シリカ量との関係を図-3 に示す。図-3 より2種類の安山岩で溶解を始める pH には差が生じている。An(C)と An(D)の違いは骨材中の Cr の有無である。また、An(C)が pH=13.6 から Sc が上がり始めていることから、pH=13.6 付近で Cr は急激に溶解を開始し、Gl は十分には溶解していないことが推察される。次に、LS を用いた供試体で行った各促進養生試験後における細孔溶液の pH 測定結果を図-4 に示す。なお、LS を用いたのは、ASR に対して非反応性であるため、LS により各促進養生試験において ASR による影響を受けていない pH を測定できると考えたためである。

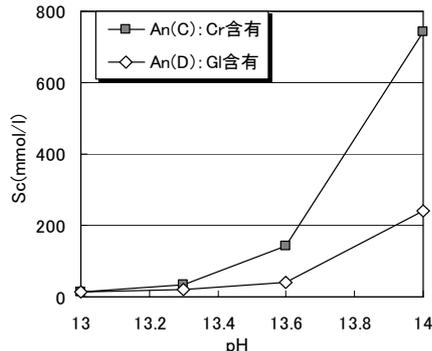


図-3 pH と溶解シリカ量の関係

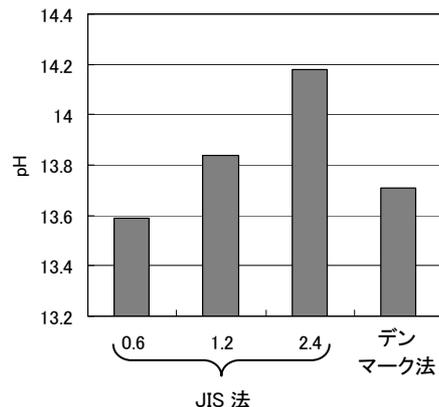


図-4 細孔溶液の pH

図-4 より、デンマーク法では pH=13.7 であり、現行のモルタルバー法(1.2%)での pH に相当する 13.8 には達していない。ASTM 法は pH=14 の溶液に浸漬させることからそれに近い値になる。

以上より、Cr は pH=13.6 で急激に溶解することから、どの促進養生試験においても Cr 含有の安山岩は全て膨張している。一方、Gl は pH=13.6 で溶解していないことから、pH=13.7 であったデンマーク法では An(D)は膨張せず、JIS 法や ASTM 法のような pH の高い環境では膨張したと考えられる。また、デンマーク法は飽和 NaCl 溶液に浸漬するという、外来アルカリとして非常に過酷な試験環境であるが細孔溶液の pH は低い。以上を考慮すると、アルカリ総量規制を十分に遵守すれば外来アルカリ環境でも、ガラス質安山岩は膨張しない可能性が示された。

4. まとめ

各促進養生試験によって安山岩の膨張挙動は異なるものとなり、ガラス質安山岩はデンマーク法では膨張しなかったものの、Cr を含む安山岩では全ての促進養生試験で膨張した。これは各促進養生試験における細孔溶液の pH と、反応性鉱物の溶解挙動の違いから説明できた。したがって、鉱物組成を把握する岩石学的評価は、骨材の ASR 反応性を評価するにあたり必要な項目であると言える。

【参考文献】 1) 鳥居和之ほか: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, pp185-197, 2004
2) 藤井亨:岩石学的観点からのアルカリ-シリカ反応性評価でのアプローチ, 九州大学大学院修士論文, 2006