

岩石学的評価に基づく各種促進養生試験における安山岩の膨張挙動解析

九州大学大学院 学生員 ○川端 雄一郎 九州大学大学院 フェロー 松下 博通
九州大学大学院 正会員 濱田 秀則 太平洋セメント(株) 正会員 山田 一夫

1. はじめに

各種促進養生試験において安山岩のアルカリシリカ反応性の判定結果が異なる。本研究は、これらの原因について検討し、2種類の促進養生試験によって鉱物組み合わせの異なる安山岩の膨張挙動を評価した。また、安山岩の岩石学的評価、モルタル空隙水の pH, pH の異なる溶液中における安山岩の溶解挙動から、膨張挙動を解析した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

表-1 に本研究で使用した 5 種類の安山岩(An)5 種の XRD による鉱物組み合わせを示す。また、ガラス量については EPMA と光学顕微鏡を併用して定量を行った。An(C), An(E)のガラス量は測定していない。An(B), (C), (D), (E)はクリストパライト(cr)量が $C > B > E > D$ の順で多く、An(A)はガラス(gl)のみを含むガラス質安山岩である。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/cm^3 , 比表面積 $3280\text{cm}^2/\text{g}$)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、 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ の角柱供試体を 3 体作製した。

2.2 試験方法

(1) ASR 反応性試験

安山岩の反応性評価として、JIS A 1145 に準拠して化学法を行った。また、An(A), An(C), An(E)については、溶液の pH を変化させて溶解シリカ量を測定した。膨張量の評価には、JIS A 1146 法(JIS 法)、温度 50°C の飽和 NaCl 溶液に浸漬する促進試験方法(以下、デンマーク法)を行った。JIS 法については、セメントのアルカリ量を 0.6, 1.2, 1.8, 2.4%とした試験体も作製した。

(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。

3. 実験結果および考察

図-1 に化学法試験結果を示す。図中には、JIS の「無害」、「無害でない」とともに、ASTM C 289 に基づいた「潜在的有害」領域も記載している。本研究で使用した安山岩は全て「無害でない」と判定され、さらに cr 含有量の大きい An(B), An(C)は「潜在的有害」領域に区分された。「潜在的有害」領域では、ペシマム現象を生じる骨材が多いことが知られている。cr 含有量の小さい An(D), An(E), ガラス質安山岩 An(A)は Rc が小さい領域に区分された。

図-2 に An(A), An(C)の JIS 法におけるモルタルの膨張挙動を示す。JIS 規格のセメントのアルカリ量 1.2%では、An(A), An(C)ともに膨張していることが分かる。また、セメントのアルカリ量に伴って膨張率は大きくなっている。

表-1 安山岩の鉱物組成

	qz	cr	tr	pl	pyx	gl
An(A)	-	-	-	◎	△	27
An(B)	◎	○	-	◎	△	15
An(C)	○	◎	-	◎	△	-
An(D)	△	○	-	◎	△	16
An(E)	○	○	-	◎	◎	-

◎:1000cps<, ○:1000~500cps, △:500~250cps,
qz:石英, cr:クリストパライト, tr:トリディマイト,
pl:斜長石, pyx:輝石, gl:火山ガラス(EPMA(vol%))

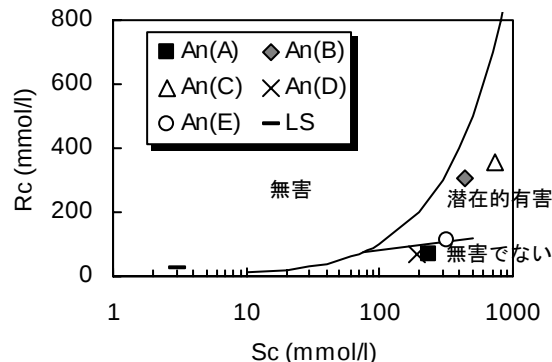


図-1 化学法試験結果

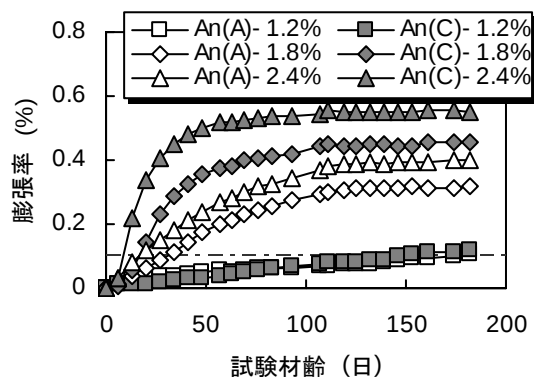


図-2 膨張挙動(JIS 法)

キーワード ASR, 安山岩, 火山ガラス, pH, 岩石学的評価, 空隙水

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地ウエスト 2 号館 11 階 1103 号室 TEL092-802-3387

図-3 にセメントのアルカリ量と膨張率の関係を示す。セメントのアルカリ量 1.2%の場合、いずれの骨材も「無害でない」と判定された。cr 含有量に着目すると、cr 含有量と膨張率の傾向は一致しない。これは、上述したようなペシマム現象の影響が考えられる。セメントのアルカリ量を増大に伴い膨張率は大きくなり、ASR による膨張量は空隙水の pH に依存していることが分かる。高いアルカリ量においては、An(E)を除いて cr 含有量と膨張率に相関が認められる。An(E)は cr 含有量の膨張率が大きい原因については不明であるが、An(E)の造岩組織も関係していると考えられる。JIS 法においては cr, gl といった鉱物組成の違いによって膨張挙動に大きな差は認められなかった。

図-4 にデンマーク法における各種安山岩の膨張挙動を示す。cr 含有安山岩はいずれも大きな膨張を示しており、An(E)を除いて cr 含有量の増加に従い膨張率が大きい傾向が認められる。最も特徴的な点として、一般的に高反応性と考えられるガラス質安山岩である An(A)が全く膨張していないことが分かる。

図-5 に An(A), An(C), An(E)について pH と溶解シリカ量 Sc の関係を示す。図より、それぞれの安山岩において溶解を開始する pH には差が認められる。An(C), An(E)については pH=13.6 において Sc が大きい。An(A)については非常に小さい。すなわち、pH=13.6 付近では cr は溶解を開始するが、gl は十分に溶解しない。図-6 に材齢 91 日におけるモルタル空隙水の pH を示す。JIS 法において、セメントのアルカリ量に伴い pH が高くなる傾向が確認できる。JIS 法においてセメントのアルカリ量が 1.2%の場合、液相は pH=13.8 であった。一方、デンマーク法における液相は pH=13.7 であり、セメントのアルカリ量が 0.6%から 1.2%の中間付近の値となっている。よって、外部からアルカリの供給があっても、JIS 法の液相より pH は低いことが分かった。

以上から、安山岩の膨張挙動を解析する。JIS 法におけるモルタルの液相は pH=13.8 と非常に高い。この場合、cr, gl ともに溶解し、「無害でない」という判定に至る。また、化学法も pH=14.0 における試験であるため、cr, gl ともに溶解する。一方、デンマーク法は pH=13.7 である。この pH では cr は溶解するが、gl は十分に溶解しない。よって、デンマーク法においてガラス質安山岩は膨張しない。また、An(E)の Sc は pH=13.6 において An(C)とほぼ同等である。デンマーク法における An(C), An(E)の膨張率はほぼ同等であり、デンマーク法における安山岩の膨張は pH=13.6 程度のシリカの溶解量に依存するといえる。現在の日本のセメントのアルカリ量の平均値が 0.6%であることを考慮すると、外来からアルカリの供給がある環境においてもガラス質安山岩は膨張しない可能性が示された。

4. 結論

- 1) 促進養生試験方法によって各種安山岩の膨張挙動と ASR 反応性判定結果は異なる。これは、安山岩の溶解の pH 依存性とそれぞれの試験法におけるモルタル空隙水の pH の関連から説明できる。
- 2) 外来からアルカリの供給がある場合において、これまで高反応性とされてきたガラス質安山岩は膨張しない。現在のセメントのアルカリ量が 0.6%程度であれば、火山ガラスは膨張に至らない可能性がある。

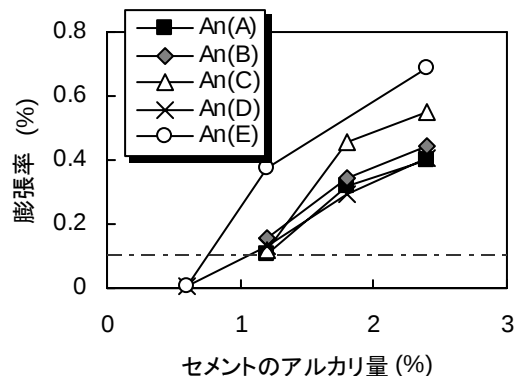


図-3 セメントアルカリ量と膨張率の関係

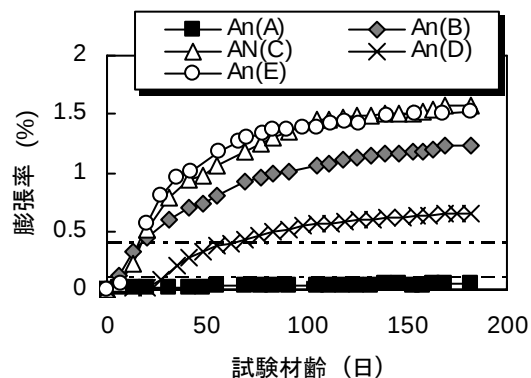


図-4 膨張挙動(デンマーク法)

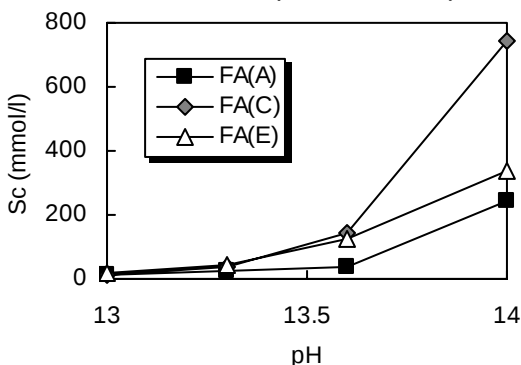


図-5 pH と溶解シリカ量の関係

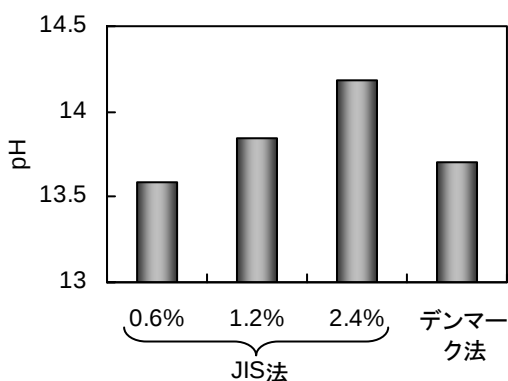


図-6 モルタル空隙水の pH