

## 黄鉄鉱含有掘削ずり浸出水の酸性化緩和のための方解石の利用

北海道大学大学院工学研究科 正会員 五十嵐敏文  
 北海道大学大学院工学研究科 丸山 悠  
 北海道大学大学院工学研究科 朝倉 國臣

**1. はじめに** 大規模トンネルの建設に伴い大量の掘削ずりが発生するが、トンネル掘削予定地が海成の堆積岩や変質帯を含む場合、ずり中に黄鉄鉱(pyrite,  $\text{FeS}_2$ )などの硫化鉱物が多量に含まれることがある。掘削ずりに黄鉄鉱が含まれると、酸化雰囲気中で黄鉄鉱の酸化が進行し、ずり埋立地からの浸出水が酸性化することが予想される。これまで岩石中に含まれる方解石と黄鉄鉱との含有量比によって溶出水 pH が決まることが報告されている<sup>1)</sup>。そこで、本研究ではこのような浸出水の酸性化を防止するために、黄鉄鉱含有掘削ずりに方解石を加え、その中和能を活用できるかどうかを実験的に検討した。本報では、黄鉄鉱を含む試料と方解石を含む試料とを任意の割合で混合し、その混合物の溶出水水質を分析した。

**2. 岩石試料** 実験に用いた岩石試料は、黄鉄鉱を含む熱水変質を被った安山岩と方解石を含む新鮮な玄武岩である。安山岩には、X線回折結果から、明瞭な黄鉄鉱のX線ピークが観察され、2次鉱物としてパイロフィライトやカオリナイトも認められた。一方、玄武岩には方解石のX線ピークが観察され、2次鉱物としてクロライトも認められた。さらに、岩石の化学分析結果から、安山岩には 6.5wt%の硫化物態イオウが含まれ、玄武岩には 0.23wt%の炭酸態炭素が含まれることがわかっている。これらの岩石試料は塊状のまま十分に風乾し、メノウ乳鉢で粉碎後、粒径 2 mm 以下のものを溶出試験に供した。

**3. 試験方法** 溶出試験は、岩石粉碎試料 10 g を脱イオン水 200 mL に添加し、振とう機を用いて 60 rpm の往復振とうにより、好氣的条件下で 1 日、7 日あるいは 28 日間固液接触させた。その後、溶液の水温、pH、電気伝導度 (EC) を測定し、ミリポア製 0.45  $\mu\text{m}$  メンブレンフィルタにより固液分離を行った。ろ液に対して、主要元素である Ca、Mg、Na、K、Si、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  と微量元素である Fe、Mn、Al を分析した。 $\text{HCO}_3^-$  の分析は硫酸滴定法により、その他の元素は ICP 発光分析法により分析した。試験ケースは、各試料単独の溶出試験 (安山岩 100% と玄武岩 100% の 2 ケース) と 2 種類の試料を混合した溶出試験 (安山岩 75% 玄武岩 25%、安山岩 50% 玄武岩 50%、安山岩 25% 玄武岩 75% の 3 ケース) の合計 5 ケースである。

#### 4. 試験結果と考察

##### (1) 溶出時間と pH、EC、Ca 濃度、 $\text{SO}_4$ 濃度との関係

安山岩と玄武岩との混合試料に対する溶出試験結果を図 1～図 5 に示す。なお、図中には安山岩および玄武岩単独の結果も示す。これらの図では横軸を溶出時間とし、縦軸をそれぞれ pH、EC(25°C 換算値)、Ca 濃度、 $\text{SO}_4$  濃度とした。図 1 から、安山岩の溶出水 pH は 3 程度であり、玄武岩では 8～10 程度となった。また、安山岩の混合率が増加するとともに

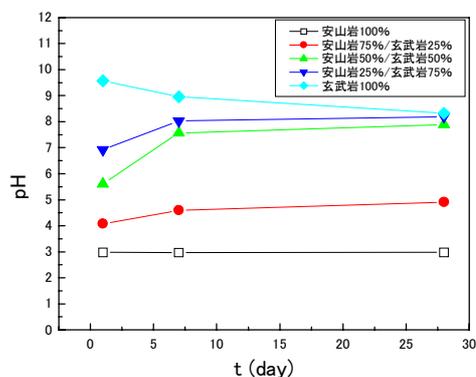


図-1 溶出時間と pH との関係

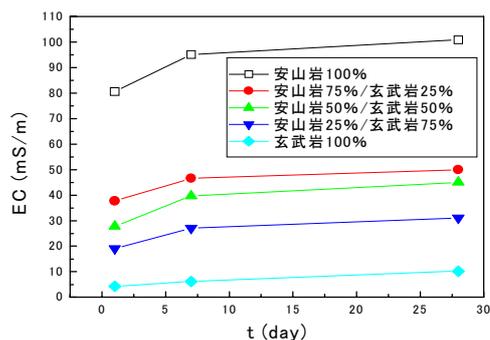


図-2 溶出時間と EC との関係

キーワード：黄鉄鉱、方解石、酸化、溶出試験、中和

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL: 011-706-6308 FAX: 011-706-6308

pH は低下することがわかる。図-2から、溶出水中の EC は安山岩で 80~100mS/m 前後、玄武岩で 5~10mS/m 程度となった。また、安山岩の混合率が増加するとともに EC は増加することがわかる。また、図-3から SO<sub>4</sub>は EC と同様の変化パターンを示し、安山岩の混合率の増加とともに濃度が上昇した。しかし、図-4に示す Ca 濃度に関しては、安山岩 75%玄武岩 25%の試料において最も高く、次いで安山岩 50%玄武岩 50%となり、安山岩や玄武岩の単独試料よりも高くなった。これは、玄武岩中の方解石が安山岩の添加による pH 低下に伴い溶解反応が進行し、溶出水中の Ca 濃度が高くなったためであると考えられる。また、他の元素に対しても、おおむね混合率に対応した濃度となった。

(2) 溶出水 pH と岩石含有成分との関係

黄鉄鉱含有量の指標となる固相中の硫化物態イオンと方解石の含有量の指標となる固相中の炭酸態炭素とのモル濃度比 C/S(carbonate-C/sulfide-S)と溶出水 pH との関係を図-5に示す。この図から、安山岩、玄武岩単独試料では、従来の堆積岩で得られた結果<sup>1)</sup>と同様に C/S が 0.5~1 を超える試料では pH は 7.5~9.5 の弱アルカリ性を呈し、それ以下では C/S の減少とともに pH が低下する傾向が認められる。しかし、混合試料のみ、C/S が 10 以上であるにもかかわらず、pH は 4~8 の広範な値を示し、既往堆積岩データ<sup>1)</sup>から外れている。すなわち、単独試料に対しては C/S によって溶出水の酸性化を評価できるが、混合試料に対してはそれがそのまま適用できないことを示唆する。しかし、混合試料では、図中の矢印で示すように溶出時間の増加とともに pH が上昇する傾向を示す。これは、安山岩からの酸性成分の溶出速度が非常に速く、いったんは pH が低下するが玄武岩中の方解石の溶解の影響が徐々に現れることによって、その後の pH が漸増すると考えられる。

混合試料の溶出水中の Ca 濃度と SO<sub>4</sub>濃度との関係をプロットしたところ、Ca と SO<sub>4</sub>とがモル比で 1:1 となった。このことは、黄鉄鉱の酸化に伴い発生した SO<sub>4</sub> と方解石の溶解に伴い発生した Ca とが当量関係にあることを意味する。方解石の溶解反応も実際は進行しているが、pH 上昇にはより長期の時間が必要であるといえる。

**5. まとめ** 黄鉄鉱を含む安山岩と方解石を含む玄武岩との混合試料に対する溶出試験を行った結果、以下のことが明らかにされた。

- (1) 混合試料において、pH、EC、Ca 濃度、SO<sub>4</sub> 濃度は混合率に応じてそれぞれの値が変化する。特に、pH に関しては溶出水の酸性化が方解石の溶解によって緩和される。
- (2) 固相中の硫化物態イオン含有量と炭酸態炭素含有量とのモル濃度比において、単独試料に対しては C/S によって溶出水の酸性化を評価できるが、混合試料に対してはそれがそのまま適用できない。今後各鉱物の溶解速度評価が重要である。〈参考文献〉1)五十嵐他：応用地質，42[4]，214(2001)。

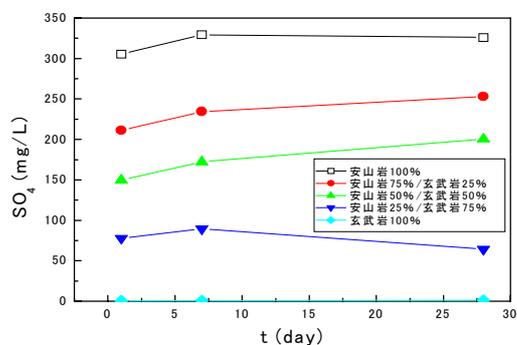


図-3 溶出時間と SO<sub>4</sub>濃度との関係

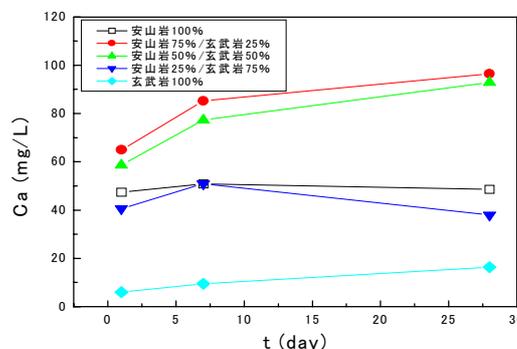


図-4 溶出時間と Ca 濃度との関係

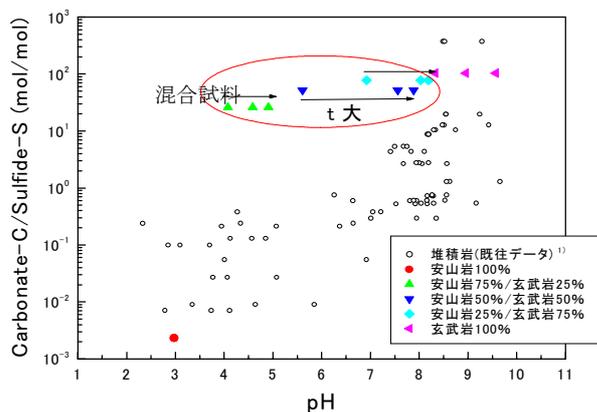


図-5 溶出水 pH と炭酸態炭素/硫化物態イオウのモル濃度比との関係(溶出期間：1、7、28 日)