

# 岩石の酸化により溶出する重金属の影響評価

## Impact Assessment of Heavy Metals Dissolved from Rocks by Oxidation

門 間 聖 子 (もんま まりこ)

応用地質株式会社 技術部グループリーダー

### 1. はじめに

近年、自然の岩石から重金属が溶出する可能性があるという事実は、地盤の調査や施工に携わる方々にも広く認知されるようになってきた。また、その特徴が、岩石に含まれる硫化鉱物(黄鉄鉱:  $\text{FeS}_2$ )が掘削に伴い曝露されて酸化し、ある期間が経過した後、硫酸酸性水を生成して重金属を溶出し始めることにあるという点も一般的に知られるようになった。

しかし、このような「酸化溶出リスク」の評価方法については確立されていないのが現状であり、それゆえに、個々の建設事業においてその評価に頭を悩ませるという状況にある。

### 2. 岩石の酸化による溶出

岩石の酸化による溶出は、黄鉄鉱が酸素と水に接触して酸化され分解することに起因する。酸化され分解された黄鉄鉱は硫酸イオンと水素イオンを生じ、その過程で鉱物を溶解し、含まれている重金属が硫酸酸性水と共に溶出する。この反応は、本来は緩慢に進行する反応であるが、鉄酸化細菌等のバクテリアが関与することにより反応速度は増大する<sup>1)</sup>ことが知られている。

そして、近年の調査において、微細な黄鉄鉱(フランボイダル黄鉄鉱)を含む海成泥岩では、通常の結晶状態の黄鉄鉱を含む火成岩等と比較すると酸化速度が速いのではないかと感じる事例を経験している。実際にどの程度の時間経過で酸化が進行するかという点については、現在検証中であるため、詳細は今後の報告の機会を待ちたいと思う。ただ、酸化速度が早い可能性があるがゆえに、調査段階では、ボーリング掘削から分析までに酸化が進行しないような配慮をせざるを得なくなった。一般に、化学反応の速度は温度に依存することから、酸化の進行を遅らせるには、低温状態に保つことが第一に要求される。このため、分析前のボーリングコアを近隣の低温倉庫に保管した時などは、秋ともなると、配送途中のリンゴ箱の隣で、ボーリングコアが甘い香りに包まれながら分析を待つというかつてない光景を味わうこともあった。

### 3. 酸化溶出の影響評価のための試験方法

建設工事においてこのような岩石の酸化溶出を分析・評価する場合、試料は機械ボーリング等で採取すること

が多く、ほとんどの場合、採取した時点では上記で述べたような試料の酸化は進行していない。このため、岩石が酸化した後の重金属の溶出性を評価するためには、何らかの手段で試料を酸化させなければならない。しかしながら、基準化された試験方法が存在しないことから、様々な方法を試みてきた。以下に、その手法を紹介する。

#### 3.1 過酸化水素水を用いたカラム通水試験

円筒形のアクリルカラムに粉碎した岩石試料を充填し、図-1に示す装置で溶媒を間欠的に通水して、屋外に堆積した掘削岩が降雨浸透と乾燥を繰り返しつつ酸化していく状況を想定した試験である。このとき、酸化を促進する目的で、溶媒には3%の過酸化水素水を用いる。溶媒のpHは、硫酸を用いて評価対象地付近の降雨のpHと同程度に調整する。また、同じ装置で溶媒を過酸化水素水ではなく鉄酸化バクテリア懸濁液に替え、バクテリアが関与した場合の酸化溶出状況を評価するという方法もある<sup>2)</sup>。

通常は2日通水、5日通気を1サイクルとして3~5サイクル繰り返す。

この試験方法の利点は、酸化溶出の経時的な挙動を明らかにできる点である。例えば、硫化鉱物を多量に含む岩石は、時間の経過と共に試料の酸化が進行し、硫化鉱物を含まない岩石と比較して溶出水の酸性化が進行していく状況を示すことが多い(図-2)。なお、図-2では硫黄含有量が1.61%を示す試料のほうが、1.91%を示す試料より酸性化が進行している。これは、pHを緩衝

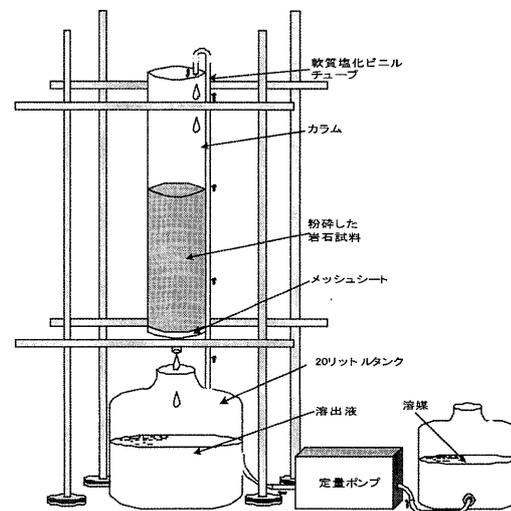
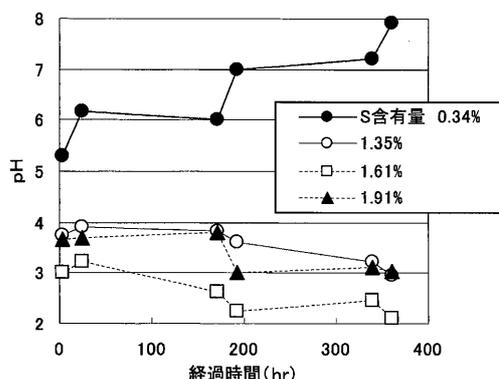


図-1 カラム通水試験装置概念図



図一 2 カラム透水試験における pH の変化

する成分であるカルシウム含有量が影響している可能性が考えられる<sup>3)</sup>。このため、現在では、酸化溶出との関連を議論する際に、硫黄含有量だけではなく、硫黄とカルシウムのモル比も考慮することとしている。

### 3.2 強制酸化溶出試験

試料中の硫化鉱物を完全に酸化させ、酸化溶出の最大値を確認する試験である。この方法は、地盤工学会基準の pH 試験において、基準以外の方法として紹介されている<sup>4)</sup>試験を応用し、pH 測定だけでなく、溶液中の重金属を定量する方法である。これは、試料に30%の過酸化水素水を加えて完全に酸化させ、その後所定量の水を加えて作成した溶液について分析を行うものである。

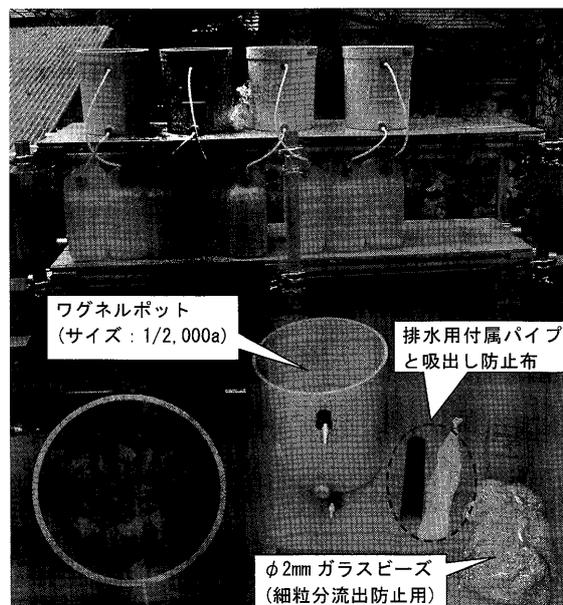
しかし、30%という高濃度の過酸化水素水による反応は現実の酸化と比較して過剰ではないかとの疑問が生じる。この点については、過酸化水素水の濃度・反応時間を制限することで、自然条件下の酸化と同等に酸化できる可能性があるため、現在検証を行っているところである。

### 3.3 雨水曝露試験

上述のカラム透水試験や強制酸化試験など、酸化を促進させる試験を行った場合、自然の条件ではどの程度の期間で酸化溶出が生ずるのかを推定するのは困難である。この点についての解答を得るための試験方法の一つに、雨水曝露試験がある。

これは、土木研究所との共同研究報告書<sup>5)</sup>で紹介しているもので、試験容器にワグネルポットを用いる方法が土研式雨水曝露試験である。ワグネルポットは元来農業関係の試験で用いられているもので、容器上面の面積が1/2 000a (アール)、1/5 000a といった規格で作られている。底面付近に排水口があるため、ライシメータ的な利用ができるものと思ひ、上述の共同研究において試験容器としての採用を提案した。写真一1は、試験容器と設置状況である。なお、この写真では、豪雨時のオーバーフロー対策として、ワグネルポット上部にも排水口を設けている。

この試験では、試料の粒径が40 mm 以下と碎石サイズであるほか、溶媒は雨水 (硫酸、硝酸、炭酸等を含み、



写真一 1 土研式雨水曝露試験装置 (上: 曝露状況, 左下: 試料充填状況, 右下: 試験資材)

pH は 5 前後) であり、また酸化の速度に最も影響のある温度条件も自然状態の気温で行うため、屋外で曝露され酸化溶出が生ずる状況を実際の時間経過の下で把握できる。

## 4. おわりに

今回紹介した酸化溶出リスクを評価するための試験方法は、先の共同研究報告書で紹介はされているものの、試験仕様が基準化されるには至っていない。今後も、地盤工事において、酸化溶出リスクを有する岩石への対応が必要とされる機会は増えていくものと思われる。このため、酸化溶出リスク評価のための試験方法の確立に向けて、知見を集積していきたい。

### 参考文献

- 1) 千田 信: バイオリーチング, 「資源環境地質学—地球史と環境汚染を読む」, 資源地質学会, pp. 387~392, 2003.
- 2) 大橋英隆・高橋知克・堀 雅明・平野嘉隆: 硫化鉱物含有土のバクテリアによる酸化溶出について, 土壌環境センター技術ニュース, No. 7, pp. 1~4, 2003.
- 3) 服部修一・太田岳洋・木谷日出男: 酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討—鉱山に接近して施工される八甲田トンネルにおける岩石評価法—, 応用地質, Vol. 43, No. 6, pp. 359~371, 2003.
- 4) 地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会: 土質試験の方法と解説—第一回改訂版—, 地盤工学会, pp. 164, 2000.
- 5) 鈷土木研究所・応用地質(株)・大成建設(株)・三信建設工業(株)・住鉱コンサルタント(株)・日本工営(株): 岩石由来する環境汚染に関する共同研究報告書 建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル (暫定版), 共同研究報告書 第358号, pp. 88~89, 2007.

(原稿受理 2008.1.15)