

## 9. 黄鉄鉱起源の酸性浸出水による水質汚染の影響・対策事例

The Counter Instance of Water Pollution Caused by Acid Seepage Water from Pyrite

小笠原 洋, 田尻宣夫, 新見 健 (復建調査設計)  
Hiroshi Ogasahara, Nobuo Tajiri, Ken Niimi

### 1. はじめに

近年、道路施工やトンネル建設などにおいて、環境配慮の必要性から、発生残土が持つ化学的性質も注目されてきている。特に近年、黄鉄鉱 ( $\text{FeS}_2$ ) に関連する事例が多数報告されており、基礎研究も進んでいる。

黄鉄鉱は、熱水変質帯や海成泥岩層などに含まれる鉱物で、一部鉱床などでは多量産出する。黄鉄鉱は水・空気との化学反応で酸性水を生成し、周辺環境に影響を及ぼすことがある。

本稿では、黄鉄鉱を含む岩盤で切土施工とそれに伴う発生残土を埋め立てにより発生した、酸性水の環境汚染事例について報告する。

現地調査として、地質踏査や浸出水の水質連続観測などを実施し、切土部岩盤由来の黄鉄鉱が酸性水を発生させ、溜池の酸性化に大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。また、その対策として、酸性水の流路に消石灰と石灰石を設置する緊急対策とともに、残土置き場への雨水の浸透を止める表層遮水工を施工した。その結果、浸出水およびため池の水質が好転した。

### 2. 調査地の概要及び調査内容

調査地は花崗岩などからなる丘陵山地に位置する(図-1)。そこでの新設道路の施工として、山地部の切土および発生残土の置き場を3カ所設置したところ、切土法面の残土置き場から酸性水が浸出し、法面が損傷した(写真-1)。また、残土置き場直下流の溜池のpHが4.5以下まで低下した(写真-2)。

以上の状況をふまえ、現地踏査にて道路構造物の損傷状況を把握するとともに、道路周辺及び溜池下流域の浸出水、溜池水、水路、下流域の家庭井戸等についての水質調査を実施した。

その結果、家屋の井戸に酸性水の流入は確認されなかったものの、道路周辺にある4つの溜池のうちA池とB池の酸性化を確認した。



写真-1 茶褐色化した法面



写真-2 酸性化した溜池

### 3. 地質汚染の原因

法面や残土置き場のズリ石を構成する岩石について、肉眼による岩種判定を行った結果、本地域は泥岩、流紋岩、花崗岩からなることが明らかとなった。そのうち、花崗岩は変質作用を被って原岩組織が失われており、黄鉄鉱（FeS<sub>2</sub>）をしばしば含む。岩片の表面は黄白色を帯び、僅かな硫黄臭が確認できた（写真-3）。

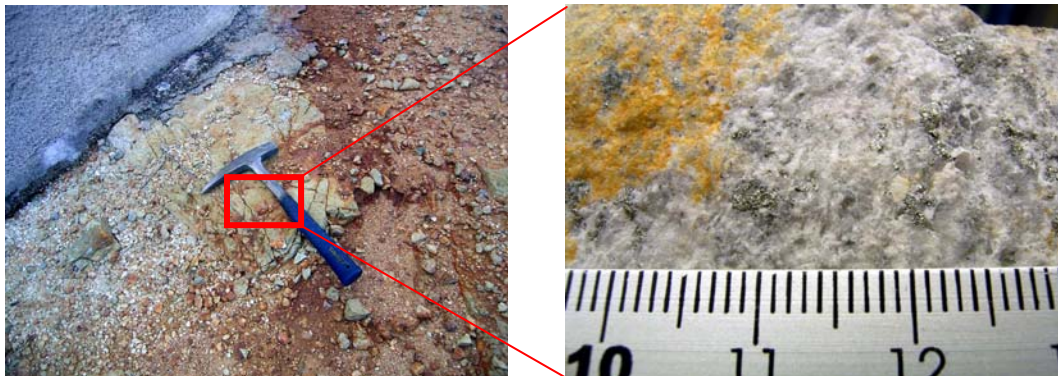
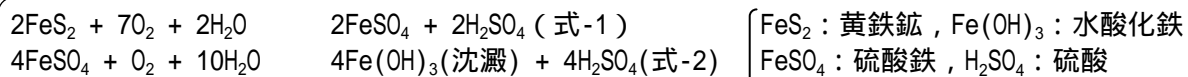


写真-3 花崗岩の露頭

損傷した法面からの浸出水は pH4.0~6.3 を示していたが、その法面の背後は黄鉄鉱を多量に含む変質花崗岩であった。また、残土置き場からの浸出水は pH2.6~3.4 とさらに低かったが、このズリ石も大部分が黄鉄鉱を含む花崗岩であった。このように、花崗岩中の黄鉄鉱から酸性水が発生していることが考えられた。

花崗岩中の黄鉄鉱から酸性水が発生する化学反応を模式的に示すと式-1、式-2 のようになる。式-1 で黄鉄鉱は水・酸素と反応して硫酸鉄と硫酸を生じ、その硫酸鉄がさらに水・酸素と反応して水酸化鉄（沈澱）と硫酸を生成する。



したがって、酸性水発生の原因としては、もともと地中に埋まっていた状態の花崗岩を法面の掘削によって空気に触れやすい環境としたために、黄鉄鉱が水と反応して酸性化したと考えられる。残土置き場のズリ石も同様の原因であるが、岩片を細かく砕いたために反応が促進され、酸性化が顕著となった。

酸性水の汚染経路は、図-2 に示すとおりである。A 池へは、損傷した法面から pH5.3~6.1 の浸出水と、一号残土置き場からの pH3.1 の浸出水が流入している。水量は、前者は 1L/分以下と少量であるが、後者は好天時でも毎分 3L/分以上存在した。B 池には、二号残土置き場から発生した浸出水 B が流入し、水路からは浸出水 C が流入していた。浸出水 B は残土置き場本体からの浸出水で、pH が 2.6 と強酸性を示す。一方、浸出水 C は残土置き場の浸出水とともに C 池の排水が多分に含まれており、流量が毎分 80 L 以上と非常に多い反面、pH は 5.4 程度の弱酸性である。

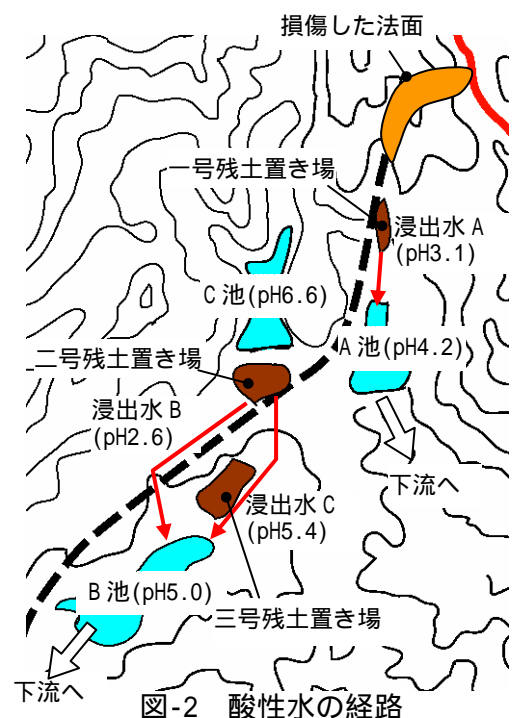


図-2 酸性水の経路

残土置き場への水の進入路を図-3 に示す。一号残土置き場は雨水と地下水が、二号残土置き場はC池からの水と雨水がそれぞれの供給源となっていると考えられる。

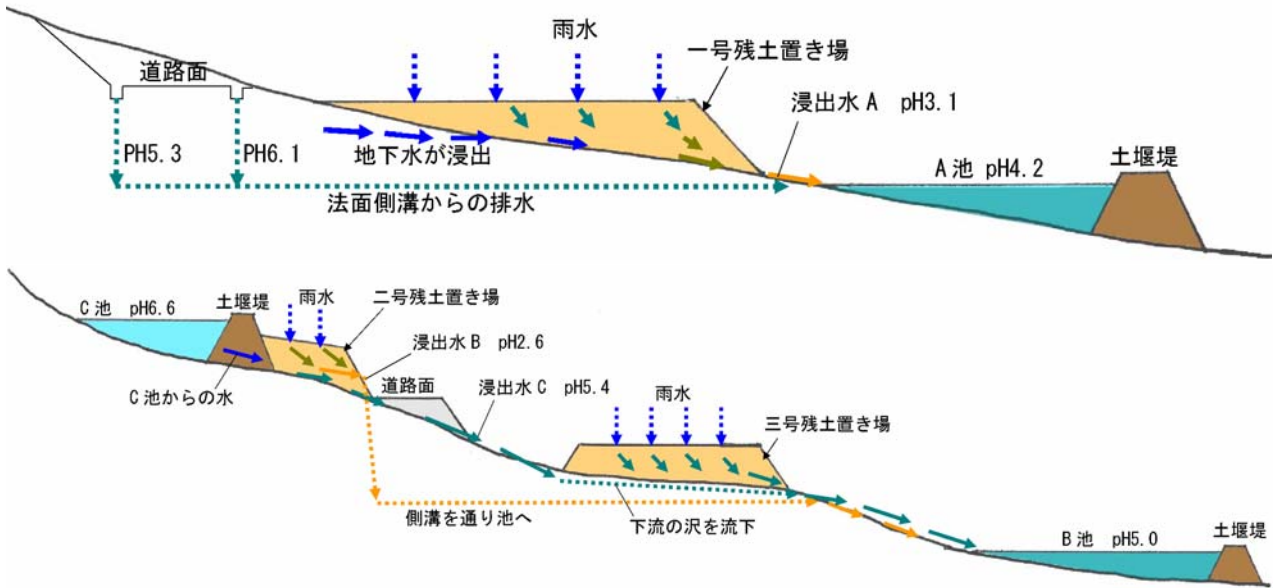


図-3 A池およびB池の酸性水経路の模式図

水質について、pH と硫酸イオンの関係は図-4 のようになる。残土からの浸出水と A 池・B 池、そして C 池・D 池が直線に並んだ位置関係にあり、もともと C 池・D 池程度の位置にあったであろう A 池・B 池の水質が、浸出水の流入によって浸出水へ向かってシフトしたことを示している。このように、残土置き場からの浸出水が溜池水の酸性化に大きな影響を及ぼしている。

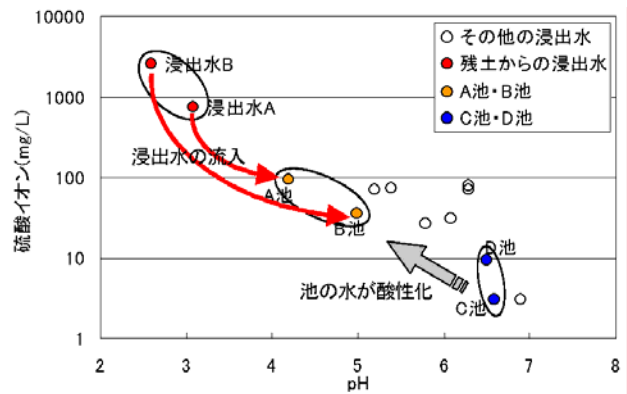


図-4 pH と硫酸イオンの関係

#### 4. 酸性化した溜池水の対策

A 池と B 池については酸性化したため、pH が農業用水基準を満たさない状況となっていた。したがって、浸出水の流出地点と池までの中間地点で中和剤を投入し、溜池の酸性化抑止対策を実施した。

実施にあたり、中和剤の選定がまず問題となった。中和剤は大きく、石灰系とソーダ系に大別されるが、表-1 に示すように長所や欠点があり、現地の状況に応じて使い分ける必要がある。室内実験等で検討した結果、浸出水 A と B については消石灰、浸出水 C については石灰石を用いることとした。

投入量は、室内実験結果と浸出水の流量とで調整しつつ、消石灰で 2 週間あたり 54 ~ 200kg、石灰石で 111kg とした。

表-1 中和剤の種類及び特徴

中和剤の種類	物質名	長所	短所	安全性
石灰系	炭酸カルシウム (石灰石)	・粒径がさまざまである (粉末~粗石) ・中性までしか反応が進まない	・反応が遅い ・水溶液が作成できない	安全
	水酸化カルシウム (消石灰)	・もっとも実績がある ・熱が出ない ・比較的反応が早い	・0.1%溶液しか作成できない ・沈澱物が大量に出る	やや危険
ソーダ系	水酸化ナトリウム (苛性ソーダ)	・反応が速やかに進む ・溶液で取り扱える ・沈澱物が少ない	・投入量が多いと強アルカリになる ・取り扱いが困難 (劇物)	危険

緊急中和対策を実施した結果、A池とB池で水質の改善が認められた。図-5 および図-6 は残土の浸出水と溜池水の水質の変化を pH と電気伝導度で示したものである。A池について、浸出水Aの水質はあまり変化していないが、A池の水は対策前より pH が中性側へ変化した。同様に、B池についても対策前より池水の pH が中性側へ改善した。

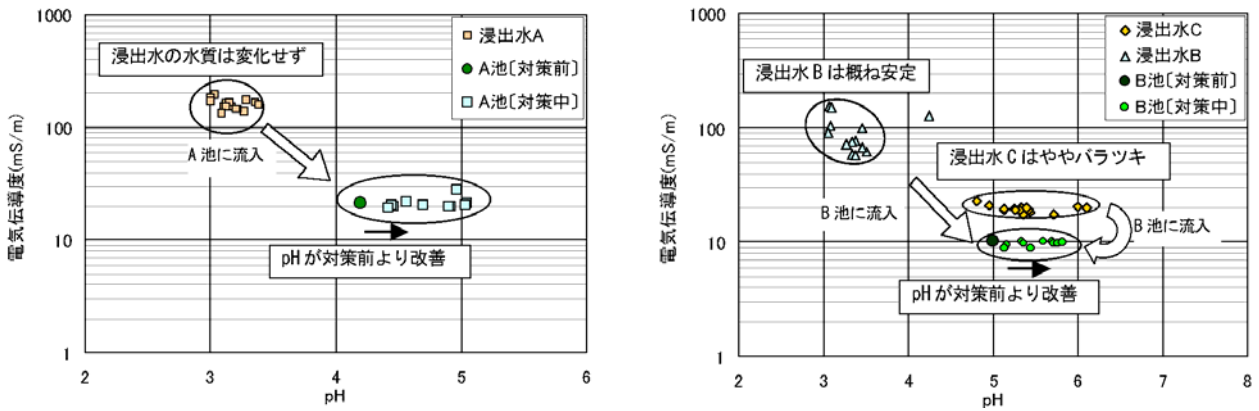


図-5 対策によるA池（左）B池（右）の水質変化

次に、残土置き場からの浸出水の実態を把握するべく、浸出水の水量及び水質の連続観測を実施した。図-7と図-8は水量とpHの降雨に対する変動をそれぞれ示したものである（pHは。水量は降水時、それも日雨量30mm程度以上になると急激に上昇しており、大雨時に流量が急増していることが確認される。また、pHは平時の3.7程度に対して豪雨時は2.5程度まで急低下している。このことから、豪雨時の浸出水は酸性が強い上に流量が多いという、溜池に対しての影響度が大きいことが確認された。

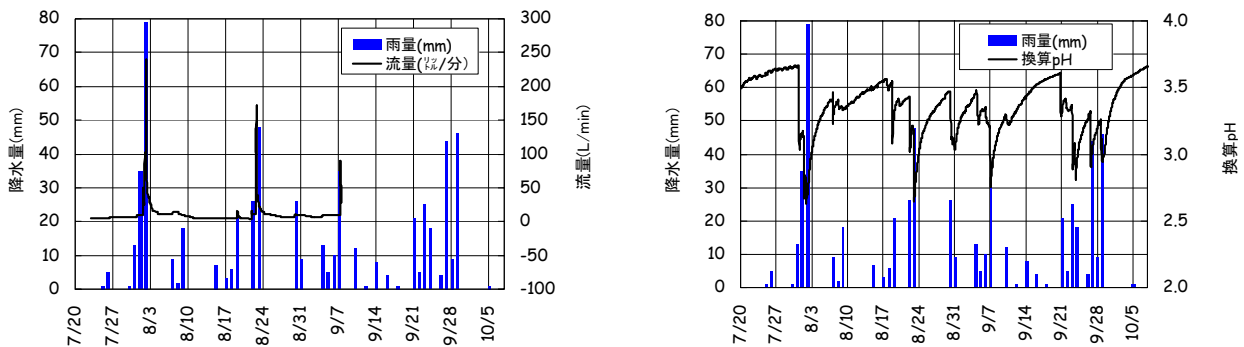


図-6 水量の変化（左）および pH の変動（右）

## 5. 構造物への対策

次に、道路法面および残土置き場についての対策工を検討した。

法面については、酸性水の浸出によって酸化鉄の付着、石灰の剥離、法面植生工の一部枯死などの影響が認められたが（写真-1）、法面勾配は 1:0.8~1:1.0 で安定していることから、直ちに法面の安定に支障をきたす状況にはないと判断された。したがって、切り直し等の対策は行わず、モルタル吹付にて雨水から法面を遮断する対策が最適工法であると考えられた。

残土置き場からの浸出水については、図-7 および図-8 に示すように、大雨時に 1) pH が下がる、2) 水量が対数的に増加しており、酸性水が大量発生している。したがって、残土置き場への雨水の流入を遮断する対策工が最も望ましく、遮水シート工およびプレキャスト水路を設置して、雨水の流入を防止することとした。

図-9 および図-10 は対策後の水量・pH を示しているが、浸出水の pH は対策前の 2.6~3.4 から 3.8~4.5 まで改善する一方、水量も降水時の急増が抑えられており、対策による効果が確認できた。

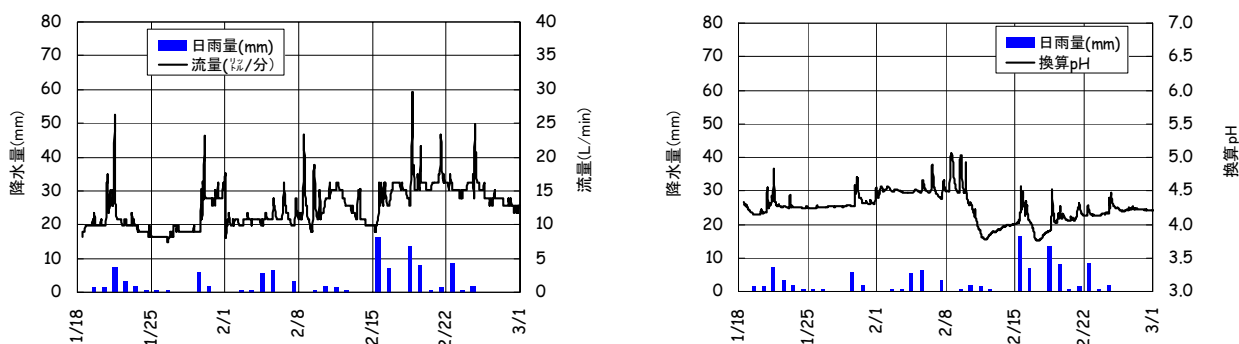


図-7 残土置き場遮水対策後の水量（左）および pH（右）の変化

これらの対策から 3 ヶ月経過した時点の A 池の水質を分析したところ、pH は 4.7 までの改善を見ており、対策工の効果が溜池にも現れていることが確認された。

## 6. まとめ

本事例は、花崗岩中の黄鉄鉱を起源とする硫酸酸性水が溜池水を酸性化させ、法面等の道路構造物に影響を与えたケースである。このような酸性水は、植物の枯死や法面の劣化などの目に見える環境変化が起こるため、問題となりやすい。酸性水は黄鉄鉱と水、空気が反応することが発生条件であるため、水を遮蔽することが効果的な対策となる。

ところで、水の pH が低下すると、地盤の微量成分として含まれる砒素やカドミウムなどが水に溶解し、酸性水とは別の地下水・土壤汚染を誘発する場合もある。本事例では重金属類の汚染は確認されなかったが、黄鉄鉱は変質帯や泥岩など、重金属類を微量含む岩種でしばしば含まれる鉱物であり、注意が必要である。

今回の事例に示されるように、ひとたび汚染等が発生するとその影響が広範囲に及び、その対策に費用と手間がかかることとなる。事前にある程度の予測が可能であれば、残土置き場への遮水工設置や法面排水などを効果的に配置することで、被害を軽減できると考えられる。

## 参考文献

- 1) 武藤速夫(1978)：石灰乳中和法による酸性河川の水質改善について,土木学会論文報告集, No.275, pp.41-52.
- 2) 桜本勇治(1994)：海成泥質岩が酸性水を発生させる可能性について,地下水技術, Vol.36, No.4, pp.29-33.
- 3) 五十嵐敏文・大山隆弘(1997)：黄鉄鉱の酸化に伴う貯水池水質の酸性化とアルミニウムの溶出,応用地質, Vol.38, No.5, pp.244-251.
- 4) 五十嵐敏文・大山隆弘・斎藤典之(2001)：黄鉄鉱を含む堆積岩の溶出水酸性化ポテンシャルに関する実験的検討,応用地質, Vol.42, No.4, pp.214-221.
- 5) 五十嵐敏文・井筒崇文・岡泰道(2002)：2段階溶出モデルによる黄鉄鉱の酸化・溶解速度の評価,応用地質, Vol.43, No.4, pp.208-215.
- 6) 町屋安定・伊東佳彦(2002)：黄鉄鉱を含む岩石の風化促進試験における酸性化と重金属類の溶出,第37回地盤工学研究発表会(大阪), pp.2387-2388.
- 7) 服部修一・太田岳洋・木谷日出男(2003)：酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討 - 鉱山に近接して施工される八甲田トンネルにおける岩石特性評価法 -, 応用地質, Vol.43, No.6, pp.359-371.
- 8) 五十嵐敏文・丸山悠・朝倉國臣・服部修一(2003)：黄鉄鉱起因酸性水の抑制のための方解石含有岩石の利用に対する実験的研究,応用地質, Vol.44, No.4, pp.234-242.