31.硫化鉱物を含有する大規模切土区間における酸性化評価事例

Case study of acidification evaluation of rocks containing sulfide minerals, on a large-scale cut slope

○村松 樹，河又 久雄，長谷川 怜思，樋口 明良(八千代エンジニヤリング)
MURAMATSU Itsuki，KAWAMATA Hisao，HASEGAWA Satoshi，HIGUCHI Akiyoshi

1.はじめに

黄鉄鉱に代表される硫化鉱物は,大気に晒されて酸化が進行する際に,硫酸に起因する酸性水の発生や自然由来重金属等の過度な溶出により周辺環境に重大な影響を与える可能性があるが,岩石中に自然的な要因で含まれる硫化鉱物の存在そのものは「汚染」ではなく「地域の資源」であり,「建設材料」としての発生土の取り扱い次第では十分に盛土材等への活用が可能である.

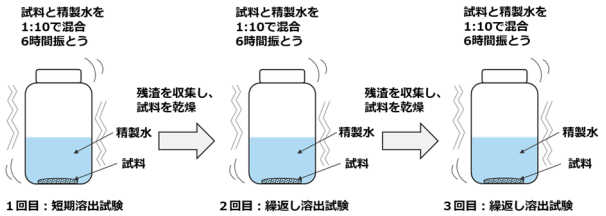
本論では,過年度に実施された酸性可能性試験にて,「酸性水への対策が必要とされていた発生土（岩）」を対象に,実現象に近い状態の岩石特性試験にて検証し,酸性化傾向を再評価した事例について報告する.

2.室内試験・分析

「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル」[1)]が改定されたことを受けて,実現象に近い状態で当該事業区間の岩石特性を検証する必要があった.そこで,今後の施工で生じうる発生土の実粒径や,施工時における安全かつ簡易的な迅速判定への適用可能性を見据えつつ,6 試料で各種試験を実施した（表-1）.

表－1　室内試験一覧

試験項目			試験粒径		
			2mm未満	2～10mm	10～40mm
鉱物学的特性試験	1	岩石試料薄片作成・観察	考慮せず		
	2	微量元素SEM-EDSによる元素マッピング	考慮せず		
化学的特性試験	3	底質調査方法による全含有量試験	考慮せず		
	4	酸性化可能性試験 (JGS0271-2016)	●	●	●
	5	短期溶出試験 (環告18 号に準ず) 第二種特定有害物質(シアンを除く8項目)	●	●	●
	6	攪拌翼を用いた繰り返し溶出試験※図-1 第二種特定有害物質(シアンを除く8項目)	●	●	●
	7	試験検液を用いた無機溶存イオン分析 （Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-）	●	●	●
	8	試験検液の電気伝導率・pH・酸化還元電位	●	●	●



図－1　短期溶出試験・繰返し溶出試験のイメージ

3.結果

3.1.顕鏡下観察等による硫化鉱物の産状確認

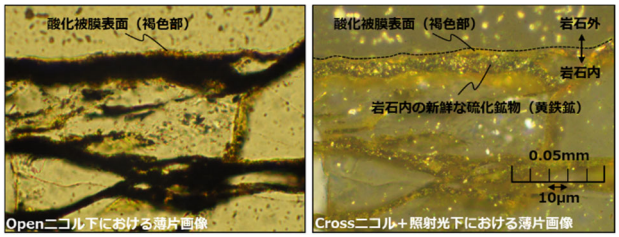
当該事業区間で課題となる硫化鉱物は,鉱物学特性から黄鉄鉱と判断した.長谷川ほか（2018,2019）では,岩石に含有する黄鉄鉱の形態は,その生成環境と周辺の水質に関りがあることが示されていることから,本研究では,簡易 pH 試験と薄片観察にて硫化鉱物の性状について確認した.

3%過酸化水素水にて酸性化の有無を確認したところ,新鮮なボーリングコアの割れ目沿いに酸性化が認められ,既施工区間で数年暴露された岩石のうち,褐色に風化したものは酸性化が認められなかった(写真-1).

岩石を薄片にて観察した結果,黄鉄鉱は初生的に岩石に含有するものと,後生的な割れ目に伴う 2 つの性状が確認された.

数年経過した岩石の表層には褐色の酸化被膜（写真-2）が認められ,これがシールのような役目を果たすことで岩石深部への酸化が抑制され,各種重金属等や酸性水の溶出が長期的に発生しない可能性が示唆された.

写真－1　3%過酸化水素水を用いた簡易 pH 試験結果



写真－2　顕鏡下で観察された硫化鉱物の酸化被膜

3.2.自然由来重金属等の含有・溶出傾向

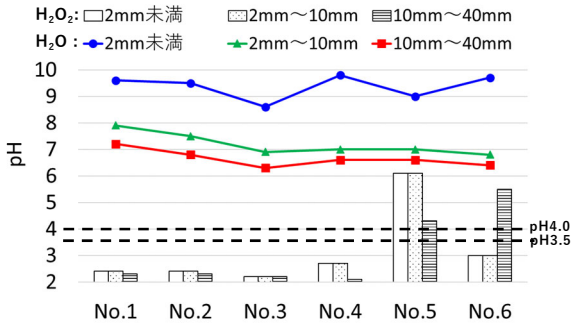
各種試験において,粒径に関わらず自然由来重金属等の項目が含有・溶出ともに基準値未満であったため,改訂マニュアルに基づいて,当該事業区間の岩石は直接および地下水等経由の摂取リスクなしと評価した.

3.3.酸性化傾向

3.3.1.酸性化可能性試験・短期溶出試験検液の pH

30%過酸化水素水を用いた酸性化可能性試験の結果,粒径に関わらず pH3.5 を下回ったが,短期溶出試験では粒径に関わらず全ての試料で要管理土の判定の目

安である pH4.0 を下回っていない.なお,粒径が最大の試料の pH がわずかに低いが,これは岩石全体を砕くよりも,大粒径の方が黄鉄鉱の晶出した潜在的な割れ目が露出しやすいためと考えられる（図-2）.



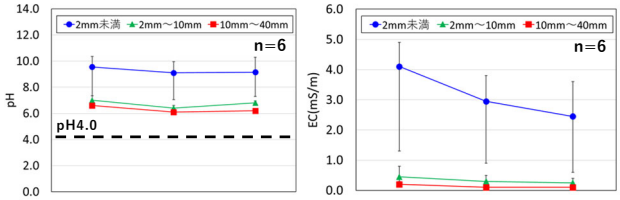
図－2　酸性化可能性試験・短期溶出試験検液の pH

3.3.2.攪拌翼繰り返し溶出試験検液の pH・EC

溶出回数を増やしても,精製水の場合はpH4.0以上で横ばいとなる.また,溶出回数とともに溶存イオン量が減少したことから,岩石と水の反応は短期間で完了し,中期的には安定すると評価した（図-3）.

当該地のように,スレーキングしない堅硬な岩片の割れ目に顕著な変質もなく硫化鉱物が晶出した岩石の場合は,鉱物と水との反応がさほど積極的に進まないと考えられる.

また,既施工区間の建設発生土を仮置きした際には,酸性水が認められなかったことなども踏まえると,長期的にも酸性化リスクが低いと評価した.



図－3　短期溶出試験・繰り返し溶出試験時の pH・EC

4.試験結果を踏まえた施工時の対応

4.1.当該事業区間における発生土の評価

当該事業区間の発生土は,過年度の酸性化可能性試験の結果より,酸性水を生じる可能性がある要対策土と判定されていた.しかし,①自然由来重金属等は直接および地下水等経由の摂取リスクなしと評価できたこと,②当該事業区間の岩石特性や,実現象に近い試験の結果と既施工区間の観測事実を踏まえると,酸性化可能性試験のみで酸性化傾向を判断するとやや過大な対策を招く可能性があること,③実際には長期的な溶出リスクは低いと評価できることを各種試験にて確認し,「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(2023 年版)」に基づき,当該事業区間の発生土を「酸性土ではない場合の通常の発生土」として評価した.

4.2.施工時の日常管理

施工時における迅速判定や,事前評価の検証を目的として,発生土の酸性化傾向を判定する日常管理試験を提案した.併せて,5,000 ㎥毎に大粒径による短期溶出試験の実施することで,事前評価の検証をしながら安全性を担保することを提案した.

また,30%過酸化水素水を用いた迅速判定は,地質学を未習の施工者でも硫化鉱物の有無を簡便に判定できる利点はあるが,劇物のため現場で利用するには取り扱いが難しい.そのため,本事業区間では,室内試験結果をもとに,現場にて安全かつ簡易的に実施可能な精製水を用いた発生土の迅速判定手法を提案した。

4.3.周辺環境のモニタリング

当該事業区間の発生土を建設材料として盛土施工等に使用する場合は,周辺環境へ過度な負荷が生じていないことを確認するために,施工中の水質モニタリングを提案した（表-2）.

表－2　モニタリング項目一覧

調査項目	頻度	内容
日常モニタリング	1 回/日	水温・pH・電気伝導率
水質モニタリング	1 回/月	室内分析（採水）:水温・pH・電気伝導率・第二種特定有害物質（シアンを除く 8 項目）

5.まとめ

本研究では,地質学的知見に基づいて,硫化鉱物を含む岩石の酸性化や自然由来重金属等のリスク評価を行い,施工時の対応を合理化させつつ,周辺環境に過度な負荷を生じさせることなく,当該発生土を建設材料として利活用できた事例について報告した.

最後に,施工時には一連の提案対応がなされ,周辺環境にも問題を生じることなく施工が完了できたとの報告を得た.今後も,地質学的な知見を生かし,持続可能な社会の実現に向けて貢献したい.

文献

1）建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル改訂委員会(2023)：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(2023 年版)

2）長谷川怜思,大塚智久,山本晃,堀内瀬奈 (2018)：海成泥質岩の続成程度に着目した物理・化学特性の研究 - 特に自然由来重金属等の溶出特性について -，日本応用地質学会 平成 30 年度研究発表会講演論文集, pp.175-176

3）長谷川怜思,山本晃,樋口明良,堀内瀬奈 (2019)：“愚者の黄金”にみる物質循環と岩石・水圏との相互作用，日本応用地質学会 令和元年度研究発表会講演論文集, pp.193-194