

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

廃棄物を中心とした低コスト資材による火山地帯の酸性渓流水の中和処理

研究代表者氏名 斎藤 健志¹⁾
研究分担者氏名 渡部 直喜²⁾

1) 埼玉大学大学院理工学研究科 2) 新潟大学災害・復興科学研究所

研究要旨

本研究では、炭酸カルシウムなどの中和剤の代替として、廃棄物を中心とした低コスト資材（リサイクルコンクリート、鉄鋼スラグ、軽量気泡コンクリート、石炭灰）を活用し、酸性渓流水（草津温泉の酸性廃水）の中和処理性能を室内実験に基づいて評価した。また、中和処理に伴う、重金属類（ヒ素と鉛）の除去性能についても、評価を行った。特に、リサイクルコンクリートと鉄鋼スラグについて、しばしば実務で用いられる炭酸カルシウムと、その中和処理性能を比較すると、固液比 1 : 100 の条件下で実験を行った場合、中和後の pH に差異は認められたが、ヒ素と鉛の除去率に大きな違いはなく、いずれもほぼ 100%を示した。今後は、固液の比率を 1 : 500 などに大きくし、その際の pH、ヒ素と鉛の除去に関する検討を進める予定である。

A. 研究目的

日本列島には、多くの火山が存在することもあり、酸性の温泉廃水や鉱山廃水が流入して形成される酸性渓流が、各地で認められる。この酸性渓流水は、しばしば pH が 2 を下回ることもあり、基本的には、極めて低い pH を示す。同時に、ヒ素や鉛に代表される重金属類など、有害元素が高濃度に検出されることも多い。このような酸性渓流、そして、その酸性渓流水が流入する河川では、多くの環境問題や人間生活への影響が懸念されている。

例えば、砂防施設を含むコンクリート構造物の劣化である。砂防堰堤に代表される砂防施設は、流域における土砂災害の防止・軽減策として不可欠であるが、酸性渓流では、低い pH によりその劣化速度が速く、実際に、コンクリートが溶解している事例も見受けられる。その対策の一例としては、塗布剤やシート、石材パネルなどによるコーティングや、混和剤・固化剤などの添加がある。また、高濃度の重金属類を除去する目的も兼ねているが、酸性渓流の上流部にて、中和処理が施される事例も認められる。2013 年時点では、国内の

約 80 箇所において、中和処理が実施されている。通常、酸性渓流の中和処理では、炭酸カルシウムなどの天然資材を用い、24 時間 365 日、絶え間なく処理が行われており、莫大なコストを要する。コスト低減や天然資材の利用量削減などを目指し、例えば、アルカリ性を示す廃棄物を活用できる可能性がある。しかしながら、その処理性能に関する検討事例等、未だ研究例に乏しいのが現状である。

そこで、本研究では、炭酸カルシウムなど天然の中和剤の代替とし、廃棄物を中心とした低コスト資材を活用して、酸性渓流水の中和処理性能を室内実験に基づいて評価した。同時に、中和処理に伴う、重金属類（ヒ素と鉛）の除去性能についても、評価を行った。

B. 研究方法

本研究で活用したアルカリ性を呈する廃棄物は、リサイクルコンクリート、鉄鋼スラグ、軽量気泡コンクリート、石炭灰（フライアッシュおよびクリンカアッシュ）である。コントロールとして、実務でしばしば用いられる炭酸カルシウム、

水酸化カルシウム、酸化カルシウムも、比較対象として選定した。酸性渓流水としては、群馬県吾妻川流域（利根川の支流）上流部に位置する草津温泉の温泉廃水を使用した。

草津温泉では、過去50年以上に渡って、国土交通省により、炭酸カルシウム微粉末（75 μm程度）を用いた中和処理が常時行われている。1日の炭酸カルシウム使用量は約55トンであり、年間の使用量に換算すると、およそ2万トンにもものぼる。筆者らは、2017年から、この温泉廃水の水質を定期的に測定している。計5回のモニタリング結果に基づくと、pHは1.6～2.2の範囲を示し、電気伝導度（Electric Conductivity：EC）は4330～5130 μS/cmであった。なお、本研究で下記の中和処理実験に用いた温泉廃水は、pHが2.11、ECが5980 μS/cmを示すものである。

中和処理の性能評価は、室内において、バッチ中和実験を行った。具体的には、中和剤となる廃棄物と草津温泉の廃水を1：10ならびに1：100の固液比で50 mLの遠沈管に取り、それらを振とう器にかけた。振とう時間には、10分、1時間、3時間、12時間、24時間を採用した。振とう後の上澄み液に対しては、遠心分離後、pHとECを測定してから、0.20 μmのフィルターで濾過をした。最後に、比較的、高濃度に含まれることが分かっているヒ素と鉛を対象とし、ICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析計）を用いて定量を行った。なお、廃棄物の粒度は、基本的に、～106 μm、106～2000 μm、2000～4760 μmの3粒度としたが、コントロールとして用いた3試料およびフライアッシュについては、草津温泉の中和処理工場で利用されている炭酸カルシウム微粉末（75 μm程度）と同程度の粒度とした。各試料とも、少なくとも3試料ずつ準備し、繰り返して実験を行った。

C. 研究結果

図1に、一例として、リサイクルコンクリート（～106 μm）と草津温泉の廃水を1：100の固液比にて、バッチ中和実験に供した結果を示す。多少のバラつきは認められるものの、振とう時間が長くなるにつれてpHは上昇し、その後、一定のpHに近づく傾向が得られた。基本的には、廃棄物の種類や粒度に関わらず、ほぼ同様の傾向が確認されている。一方で、コントロールとして用いた炭酸カルシウム、水酸化カルシウム、酸化カルシウムは、純度が極めて高いこともあり、温泉廃水との反応は少なくとも10分間で終了している可能性が高く、振とう時間に関わらず、一定のpHを示した。炭酸カルシウムと温泉廃水を1：100の固液比でバッチ中和実験を行った結果では、常にpHは6.7前後であった（表1）。

ここで、表1は、実現場での中和処理後、そして、リサイクルコンクリートと鉄鋼スラグ（いずれも、粒度は、～106 μmを採用）、コントロールとしての炭酸カルシウムについて、固液比1：100

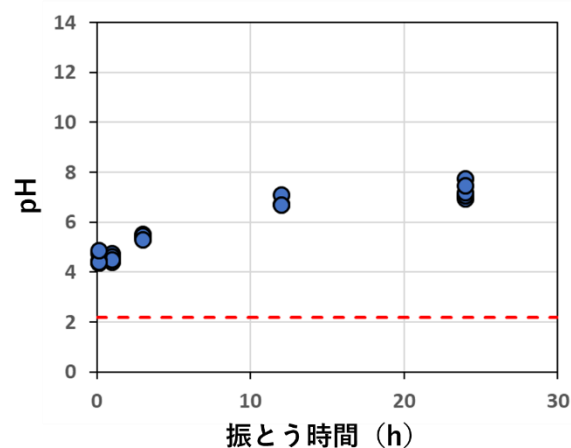


図1 バッチ中和実験におけるpH変化（リサイクルコンクリート（～106 μm）と温泉廃水を1：100の固液比で混合）

表1 実現場および各種中和剤の10分間振とう後におけるpH、ヒ素・鉛濃度とその除去率

	固液比	pH	As	Pb	除去率 (%)	
			μg/L	μg/L	As	Pb
実現場（中和処理前）	—	2.11	1336.7	82.8	—	—
実現場（中和処理後）	—	4.90	10.8	5.8	99.2	93.0
炭酸カルシウム	1:100	6.68	11.2	N.D.	99.2	99.9
鉄鋼スラグ	1:100	10.98	3.6	N.D.	99.7	99.9
リサイクルコンクリート	1:100	4.71	3.4	1.6	99.7	98.0

で10分間の振とう後に、pH、ヒ素と鉛濃度を測定した結果を示している。併せて、中和処理前の温泉廃水中におけるpH、ヒ素と鉛濃度も示しており、それらに対する中和処理後の除去率も載せてある。なお、振とう時間に10分を適用した理由は、次の通りである。実現場では、中和処理地点の3 km程度下流に、中和処理に伴い生成される中和生成物が堆積する人工ダムがあり（定期的に浚渫され、最終処分される）、そこに至るまでの時間を反応時間とみなし、それがおよそ10分以下であるためである。

リサイクルコンクリートと鉄鋼スラグは、実現場における中和処理後のデータとコントロールとしての炭酸カルシウムと比較しても、ヒ素と鉛の除去率に大きな差異はなく、それらはほぼ100%を示した。ただし、pHについては、特に鉄鋼スラグで、高い結果が得られた（表1）。

D. 考察

炭酸カルシウムなど天然の中和剤の代替として、どの廃棄物がより中和剤に最適かを考察すると、リサイクルコンクリートもしくは鉄鋼スラグが本研究で用いた廃棄物の中でも、より適すと考えられる。リサイクルコンクリートは、コントロールとして用いた炭酸カルシウムよりも、固液比1:100では、pHは酸性側の値を示したが、ヒ素と鉛をほぼ100%、除去できている。一方、鉄鋼スラグの固液比1:100の結果に着目すると、炭酸カルシウムよりpHはアルカリ性側にあり、ヒ素と鉛もほぼ100%、除去が可能であった。

鉄鋼スラグは、固液比を1:100ではなく、例えば、1:500など比率を大きくしても、そのpHは中性付近の値を示し、ヒ素と鉛の除去率も保持できる可能性はある。炭酸カルシウムも、同様のことが予想され、固液の比率を大きくした方が中和剤の添加量も減り、コスト低減にも繋がるため、固液比を変えた際の検討については、今後の課題としたい。

E. 結論

本研究では、炭酸カルシウムなど天然の中和剤の代替とし、廃棄物を中心とした低コスト資材を活用して、酸性渓流水の中和処理性能を室内実験に基づいて評価した。同時に、中和処理に伴う、

重金属類（ヒ素と鉛）の除去性能についても、評価を行った。リサイクルコンクリートと鉄鋼スラグについて、しばしば実務で用いられる炭酸カルシウムと、中和処理性能を比較すると、それらと温泉廃水を固液比1:100の条件下で実験を行った場合、中和後のpHに差異は認められたが、ヒ素と鉛の除去率に大きな違いはなく、いずれもほぼ100%を示した。炭酸カルシウムの中和実験後におけるpHは6.7前後であり、これと比較して、リサイクルコンクリートは酸性側、鉄鋼スラグはアルカリ性側の値を呈した。今後は、固液の比率を1:500などに大きくし、その際のpH、ヒ素と鉛の除去に関する検討を進める予定である。

F. 研究発表

1. 論文発表（掲載誌名・巻号・頁・発行年を記入し、掲載論文あるいはPDFファイルを別紙で1部提出）

(1) Saito, T. and Watanabe, N. (2020): Variations of water quality along acidic rivers in volcanic areas of eastern Japan. International Journal of GEOMATE, 19, 36-41.

2. 学会発表（学会名・発表年月・開催地なども記入）

(1) Saito, T., Kumara, G.M.P., Matsuno, A., Kato, A., and Kawamoto, K. (2019): Utilization of construction and demolition waste and industrial by-products for wastewater treatment. 2nd NUCE and SU Joint Seminar, Hanoi, Vietnam, (September 2019).
(2) Saito, T. and Watanabe, N. (2020): Variations in water quality along acidic rivers in volcanic areas of Eastern Japan. 5th International Conference on Science, Engineering & Environment (SEE), Bangkok, Thailand, (November 2019).

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし