

コンクリート廃材を利用した酸性鉱山廃水の中和処理に関する研究

山形大学 工学部	佐々木 貴史
山形大学 工学部	玉木 優作
山形大学 大学院 理工学研究科	吉川 栄史
山形大学 大学院 理工学研究科	遠藤 昌敏

1. はじめに

休廃止鉱山に由来する中和処理は半永久的に多額の維持費を要することから、廃水処理技術の開発によるコスト削減が望まれている。また、高度成長期に建設された社会資本が更新期を迎え、コンクリート廃材の発生量は増加傾向にあり、その有効利用が緊急課題となっている¹⁾。本研究では、コンクリート材料の強アルカリ性に注目し、コンクリート廃材を有効利用した新規の酸性鉱山廃水処理システムの実用可能性について検討した。

2. 実験方法

本研究では、山形県内の再生骨材関連企業の協力を得て、構造物基礎、ビル等の構造物躯体および電柱等のコンクリート柱を由来とする3種類のコンクリート廃材のサンプリングを行った。得られたコンクリートをジョークラッシャーによって破碎し、ふるい分けによって粒径を整えたものを実験に供した。

2.1 土壌溶出試験方法（環境省告示46号）に基づいた溶出試験：HClまたはNaOHでpHを5.8~6.3に調整した純水に調整した粒径2-40mmおよび<2mmの各RCサンプルを液固比:10ml/gとなるように添加し、6時間の水平振とう(約200回/min)を行った。検液を遠心分離後、0.45μmでろ過した。ろ液を硝酸で加熱分解して定容した後、ICP-MSおよびICP-AESを用いてCa, Na, Mg, Al, Fe, Sr, Cr, B, Ni, Cu, ZnおよびPbの測定を行った。

2.2 Batch試験によるコンクリート廃材を用いた酸性河川水の中和試験：本実験では希硫酸によってpH3.0に調整した酸性河川水を中和処理対象サンプルとした。使用した酸性河川水は山形県米沢市を流下する松川であり、西吾妻鉱山からの鉱山水を受容する酸性河川である。また、上述のコンクリート廃材サンプルを粒径19.0-22.4[mm]、11.2-19.0[mm]、9.5-11.2[mm]および2.0-9.5[mm]にふるい分けし中和資材として実験に供した。まず、pH調整した松川の河川水500mlに2.0-9.5[mm]のコンクリート廃材サンプルでは5.0gずつ添加し、その他の粒径では計量後、1粒ずつ添加し、5min後のpHをガラス電極法により測定した。pHが中性以上に上昇した時点で実験終了とし、試験液を0.45μmのメンブレンフィルターでろ過し、ろ液を硝酸で加熱分解して定容した後、ICP-AESを用いて各金属濃度の測定を行った。Cr(VI)については逆相系固相充填カラム(NOBIAS RP-OD1E)で濃縮後、ジフェニルカルバジド法により測定した。また、上述の実験操作においてエアレーションによる曝気処理を添加した条件についても検討を行った。

3. 調査結果および考察

各コンクリート廃材サンプルにおける溶出試験の結果を表-1に示す。各サンプルを由来別に比較した場合では、構造物躯体由来のサンプルにおけるCa, Fe, Al, Sr, CrおよびCuの溶出量が他のサンプルと比較して少ないことが明らかとなった。小粒径(<2mm)の構造物躯体由来サンプルではBの溶出量が顕著に高い値を示している。コンクリート混和材であるフライアッシュにはBが400mg/kg程度含まれていることが報告されており²⁾、構造物躯体サンプルにはこのフライアッシュを混和材とするコンクリートが多く含まれていた可能性が高いといえる。各サンプルを粒径別に比較すると、主要成分であるCa, Mg, AlおよびFeと微量成分であるB, Cu, CrおよびNiの溶出量はほとんどの場合、大粒径(2-40mm)よりも小粒径(<2mm)の方が多いことが確認された。結果から、鉱山廃水の中和処理剤としてコンクリート廃材を使用する場合に、それらの粒径を調整することにより金属溶出を抑制し、水域生態系に対する安全性を確保できることが示唆された。

図-1にコンクリート廃材による中和試験結果を示す。図中の凡例「Air」はエアレーション処理を添加した条件であることを示す。なお、図中の投入量は[g/L]は鉱山廃水試料水へのコンクリート廃材サンプル累計投入量を1L当りに換算した値を示す。コンクリート廃材サンプルの種類お

表-1 コンクリート廃材サンプルにおける溶出試験の結果

Type	基礎	躯体	コンクリート柱	基礎	躯体	コンクリート柱
Grain size	<2mm			2-40mm		
Ca	mg/l	101	36.7	112	59.8	21.7
Mg		6.51	6.93	6.41	6.36	6.84
Al		2420	56.3	1640	1400	170
Fe		303	84.4	314	160	49.5
Sr		357	76.4	223	144	18.2
Cr		73	16	43	5.6	2.8
B	μg/l	51.3	81.2	41.9	57.2	38.0
Cu		37.1	10.5	23.3	2.08	0.83
Zn		0.1	<0.1	0.3	0.6	<0.1
Pb		0.3	0.2	<0.2	<0.2	<0.2

n.d.: Not detected

よびエアレーションの有無の条件ごとに結果を比較すると、粒径 19.0-22.4[mm]の実験終了時におけるサンプル投入量に対して、11.2-19.0[mm]は1/2.5～1/1.5、9.5-11.2[mm]は1/3～1/2.5 および2.0-9.5[mm]の投入量は1/10～1/3 程度となり、粒径が小さいほどサンプル投入量が減少する結果が得られた。各粒径間における比表面積の違いに伴う試料水との接触効率の差異が、コンクリートサンプルの投入量の違いに大きく影響しているものと考えられる。また、エアレーションによる曝気処理を添加した条件ではエアレーション無しの場合に比べていずれの粒径においても pH の上昇勾配が増大し、サンプル投入量は1/2～1/1.5 程度となり、処理効率が上昇することが明らかになった。コンクリート廃材サンプルによる酸性水の中和処理では、コンクリート中に含まれる CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および CaCO_3 等のアルカリ分が試料水に溶解することによって pH が上昇する。この時、 CaCO_3 等の炭酸塩が試料水中に溶解することによって溶存二酸化炭素 $[\text{CO}_2(\text{aq})]$ および炭酸水素イオン $[\text{HCO}_3^-]$ が試料水中で過飽和の状態であると考えられる。この過飽和状態の試料水をエアレーションし、急激な CO_2 の気液平衡を進めることによって試料水中の過剰な CO_2 が大気へ散逸し、以下の反応が右に進みアルカリが供給され、pH の上昇が促進されているものと考えられる。



図-2 に各コンクリート廃材サンプルの中和実験後の試料水への $\text{Cr}(\text{VI})$ の溶出濃度を示す。処理前の河川水と比較して処理水のすべての条件において $\text{Cr}(\text{VI})$ 濃度は上昇した。しかしながら、いずれの場合でも試料水への $\text{Cr}(\text{VI})$ の溶出は環境基準である 50[ppb]を十分に下回る結果となった³⁾。また、エアレーション処理を添加した条件では $\text{Cr}(\text{VI})$ の溶出濃度が低下しており、コンクリート廃材による中和処理にエアレーションを付与することによって、水域生態系に対してさらなる安全性を確保

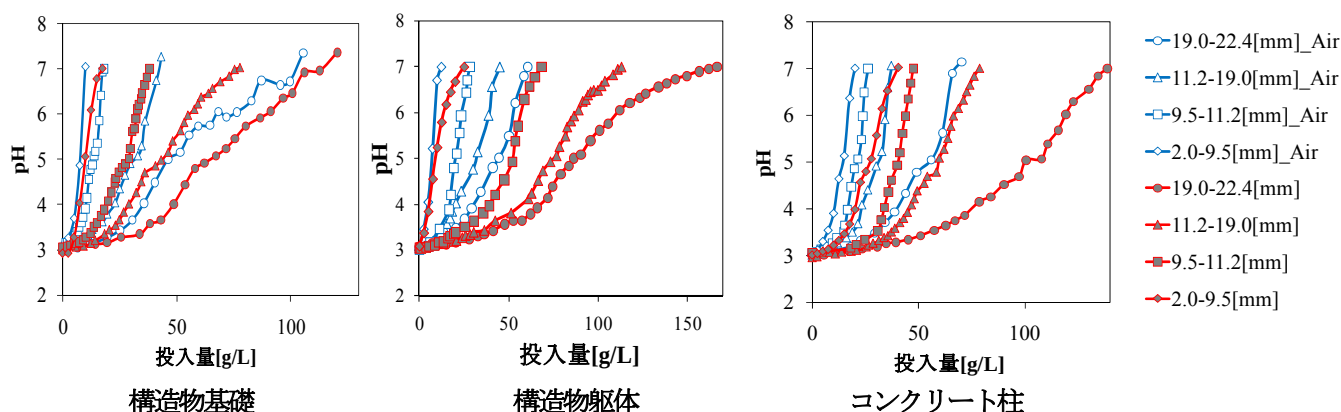


図-1 コンクリート廃材サンプル（構造物基礎、構造物躯体およびコンクリート柱）による中和実験結果

保できることが示唆された。

4. まとめ

- ・ 溶出試験の結果より、コンクリート廃材を使用する場合に、粒径を調整することによって金属の溶出量を抑えることが可能であり、水域生態系に対する安全性を確保できることが示唆された。
- ・ 中和試験の結果から、コンクリート廃材による鉱廃水の中和処理が可能であることが示唆された。また、処理水中の $\text{Cr}(\text{VI})$ の溶出濃度はいずれの条件でも環境基準を十分下回った。
- ・ エアレーション処理の添加により、コンクリート廃材サンプルの投入量を削減させ、中和処理を高効率化し、処理水中の $\text{Cr}(\text{VI})$ 濃度を減少させ、処理水の水質を向上させることが可能であった。

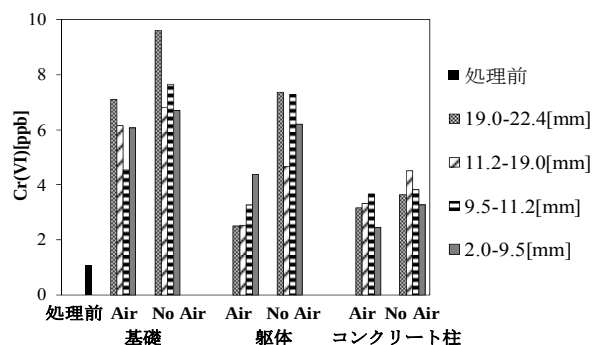


図-2 処理前試料水および処理水 $\text{Cr}(\text{VI})$ 溶出濃度

5. 参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局「建設リサイクルに関する今後の動向 H17 年度」, 2005.
- 2) 土木学会コンクリート委員会編, コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題, 丸善, 2005.
- 3) 環境省編, 水質汚濁に係る環境基準について, 2003