



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Long-term acid generation containing heavy metals from the tailings of a closed mine and its countermeasures [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	KHOEURN, Kimleang
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13655号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74044
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kimleang_Khoeurn_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	氏名	Kimleang KHOEURN
審査担当者	主 査 教 授	五十嵐 敏文	
	副 査 教 授	佐藤 努	
	副 査 教 授	廣吉 直樹	
	副 査 准教授	原田 周作	

学位論文題名

Long-term acid generation containing heavy metals from the tailings of a closed mine and its countermeasures

(休廃止鉱山における鉱滓からの重金属を含む酸性水の長期溶出とその対策)

休廃止鉱山からの酸性坑廃水 (AMD) は世界的に知られている課題である。この AMD は黄鉄鉱などの硫化物態の金属の酸化によって生成される。銅、亜鉛、鉄などの重金属も含まれることから、周辺環境へ影響を及ぼし、人が汚染水や汚染作物を摂取すると、健康影響も懸念される。多くの研究者によって、これまで中和処理に関する研究が実施されてきたが、いつこの処理を終了できるかに関してはわかっていない。この問題に解答するためには、重金属や酸性水の長期的な溶出挙動を明らかにする必要がある。本研究では、ある鉱山の鉱滓集積場からの銅、亜鉛、鉄の長期溶出を支配する機構に関して検討した。はじめに、鉱滓集積場の性状を調査し、重金属の化学形態を評価した。次に鉱滓を対象としたカラム溶出試験を実施し、長期溶出挙動を評価した。最後に、安価な卵殻を中和材として用いた試験を実施し、その適用性を評価した。

本論文は 5 章から構成される。

第 1 章は、鉱滓集積場からの AMD 発生の背景、本研究の意義と目的を記述した。

第 2 章は、鉱滓からの AMD の発生機構と含有重金属である銅、亜鉛、鉄の移行挙動を評価した。鉱滓に対してバッチ溶出試験および逐次抽出試験を実施し、溶出挙動や固相中の分配特性を評価した。中和能試験も実施するとともに、溶出試験結果に対して主成分分析を適用することによって銅、亜鉛、鉄の溶出や酸生成を支配する要因を明らかにした。溶出試験の結果、亜鉛、鉄、電気伝導度、硫酸イオンの間に正の相関が認められた。このことは、黄鉄鉱や硫化亜鉛などの硫化鉱物が亜鉛や鉄を溶出する主要鉱物であることを示す。この傾向は、主成分分析からも裏付けられた。集積場上部では水溶解性や硫化物態の重金属はすでに流出する一方、集積場内部ではそれらの形態の重金属は残留していた。このことは、特段の対策を取らない限り、重金属は今後も溶出し続けることを示唆する。

第 3 章は、集積場内部 (深度 1 ~ 3 m) の重金属を高濃度で含有する鉱滓を用いて、長期間の銅、亜鉛、鉄の溶出、酸性水の溶出を理解するために、84 週間にわたるカラム溶出試験を実施した。この鉱滓に対して鉱物・化学分析、SEM-EDS 観察、逐次抽出試験、カラムからの溶出水分析を実施し、重金属や硫酸イオンの溶出に寄与するプロセスを同定した。鉱滓中の銅、亜鉛、鉄のおもな形態は、イオン交換態および硫化物態であった。溶出水 pH は 3 ~ 3.7 を呈し、銅は 15 ~ 23%、亜鉛は 35 ~ 45%、鉄は 2.5 ~ 4% がカラムから流出した。また、これら重金属の濃度や硫酸イオンの濃

度が試験初期に高かった。これは、鉱滓に含まれる硫酸塩鉱物の溶解に起因すると考えられる。その後の継続的な溶出に関しては、黄鉄鉱やその他の硫化物の酸化溶解に起因すると考えられる。さらに、カラム試験期間中にカラム上部に鉄酸化水酸化物が生成し、これらの鉱物が、銅や亜鉛を吸着あるいは共沈することもわかった。これらの結果は、鉱滓集積場から溶出する重金属の長期挙動を評価する上で重要な知見である。

第4章は、AMDの中和と重金属除去のために、卵殻の有効性を評価した。卵殻は廃棄物を再利用したもので、洗浄、乾燥、粉碎後、バッチ吸着試験に供した。鉱滓からの溶出水をAMDとして使用し、それに粉碎した卵殻を加え、反応時間、粒径、添加率をかえて実験を行った。この結果、24時間の反応時間で、粒径が0.075~0.15 mm、固液比1:25で、pHは6.7に達し、銅、亜鉛、鉄、マンガンの除去率はそれぞれ98%、60%、99%、20%となった。重金属の除去率は、鉄、銅、亜鉛、マンガンの順序となり、鉄と銅は30~40 min以内で除去されたが、亜鉛とマンガンは平衡濃度に達するまで24時間必要であった。このことから、鉄と銅は沈殿によって、亜鉛とマンガンは吸着によって除去されると推定された。この結果、卵殻は、AMDの中和および重金属の除去に有効であることが示された。

第5章は、本研究のまとめとAMDに関する今後の課題を整理した。本論文の結果は、休廃止鉱山の集積場の管理に関する有益な情報を提供するといえる。

以上、これを要するに、著者は、休廃止鉱山の管理上重要な坑廃水対策に関して、鉱滓からの長期的な酸性水の溶出および重金属の溶出が複数の連続的な現象によって起こることを解明するとともに、卵殻を中和材とした合理的対策を提案した。これは、坑廃水に対する長期的な対応の方向性を示唆するものであり、環境資源工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。