

奥村組特定研究報告

No.34

山岳トンネル工事で発生する掘削岩の 砒素溶出特性に関する研究

2025.3

岩手大学博士(工学) 清水 祐也

YUYA SHIMIZU
Dr. Eng. IWATE UNIVERSITY

この「奥村組特定研究報告」は著者が
岩手大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、掲載するものである。

山岳トンネル工事で発生する掘削岩の砒素溶出特性に関する研究

論文の要旨

地層中には自然現象の影響を受けて人の健康に悪影響を及ぼす元が濃縮していることがある。このような地層を山岳トンネル工事等で掘削した場合、大量の岩石が発生する。これらの処分先には拡散防止対策が必要となる。この対策の計画は「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」を参考に検討することが多く、各種溶出試験の結果を基に掘削岩からの有害物質の溶出特性が考慮されている。しかし、埋立て後等の周辺の環境変化による溶出特性の変化は十分に考慮されていない。周辺環境への影響評価を定量的に行うための手法として飽和・不飽和移流分散解析が用いられているが、不飽和環境下での解析は難しいのが現状である。また、環境変化による溶出特性の変化をパラメータとして数値解析に利用する検討については報告がない。さらに、建設工事現場では掘削岩処分費を削減するため要対策か否かを判別する必要があり、迅速判定試験等が行われるが 1 日以上時間を有するため仮置き場が必要となる。

本研究では上記課題を解決するために、①実際に掘削岩をベントナイト混合土で封じ込めた処分場内の環境をモニタリングした。さらに、②酸化還元条件の変化が掘削岩中の砒素溶出に与える影響を、バッチ試験や不飽和カラム試験、シリアルバッチ試験、酸素濃度影響評価試験を実施して確認した。これらの結果と長期の不飽和カラム試験結果の結果を基に、③一般的な移流・分散方程式の改良を行うとともに、酸化還元条件の変化をパラメータとして数値解析に利用できるか、④ハイパースペクトルカメラを用いた掘削岩の対策の要否判別手法を検討した。

①の結果では、処分場内の酸素濃度は夏季に低く、冬季に高くなることが分かった。また、深度によっても異なり、深い方が季節変動は大きい結果であり、その差は 10 %～20 %程度であった。処分場内の気圧が大気圧と連動した結果であったことから、底部に設置された浸出水排水管を通して空気の出入りがあると推察され、冬季に深い深度の酸素濃度が高くなる原因と考えられる。また、温度も同様に季節変動しており、深くなるほどその差は小さくなる傾向であった。最も浅い深度 (2.0 m) では、季節によって 10 ℃程度の差が生じており、砒素の溶出に影響が生じる可能性があることが分かった。また、夏季の温度上昇に伴い、微生物や鉱物による酸素消費量が増加すると考えられ、上記の酸素濃度低下の原因となっていると考えられる。浸出水の酸化還元電位 (Eh) は概ね 250mV で安定しており、一般的な表流水よりもわずかに還元的な条件となっていることが分かった。

②では、まず対象とした掘削岩中の砒素の所在について EPMA 分析により確認した。結果、砒素は磁硫鉄鉱中に点在して存在することを確認した。次に、酸化条件による溶出特性の変化を大気曝露で、還元条件による変化を還元剤 (ギ酸 Na とアスコルビン酸 Na) で再現したバッチ試験を行った。還元剤濃度を 0.005～1.0 mol/L で添加することで、Eh を約 -50～+300 mV の範囲で調整することができた。また、バッチ試験の振とう後やカラム試験の浸出水でも Eh の上昇はなく低い値を維持でき、ギ酸 Na およびアスコルビン酸 Na を用いた溶出試験の有効性が示唆された。試験の結果、曝露期間が

長い程砒素溶出量が多くなり、さらに強い還元条件になるほど砒素溶出量が多くなることを確認した。カラム試験やシリアルバッチ試験では、破碎直後の酸化されていない試料を対象に還元条件の影響を確認した。結果、バッチ試験同様に、強い還元条件の方が砒素溶出量は多くなる結果であった。また、2 つの試験結果を比較すると、シリアルバッチ試験の方が同じ累積砒素溶出量に達するまでの液固比が多い結果（累積砒素溶出量 0.10 mg/kg になる液固比は、カラム試験で約 20、シリアルバッチ試験で約 100）であり、カラム試験での砒素溶出挙動を再現することは困難であることが示唆された。次に、不飽和環境下での酸化条件の違いによる影響を評価するため、酸素濃度の異なる場所で養生した岩石からの砒素溶出量の推移を確認した。結果、掘削岩周辺の酸素濃度が低い場合であっても磁硫鉄鉱の酸化分解が進むことが示唆され、その反応は酸素濃度が高い方が早いと考えられる。したがって、酸素濃度が 20% よりも低い環境下では、砒素溶出は低濃度で長期間継続する可能性が示唆された。

③では、岩石試料の粒径と散水流量の条件をかえた 12 ケースの不飽和カラム試験を行った。この結果から、不飽和条件では、砒素の溶出を体積含水率や粒子の表面積、通水時間の関係で評価できることを確認し、新たに溶出モデルを構築した。さらに、12 ケースの内 1 ケースで 9,700 時間経過時点から散水する精製水にギ酸 Na を添加し、カラム内を還元環境へと変化させた。環境変化直後に、環境基準値未満で安定していた砒素濃度が増加して再度基準値を超過した。このような環境変化に伴う砒素溶出量の変化を解析的に評価する方法を検討した。これにより、現地での掘削岩周辺の酸化還元環境変化による砒素溶出特性の変化を解析的に評価できる可能性があることが確認できた。

④では、鉱物や岩石の標本を被写体として近赤外線～短波赤外線領域の反射スペクトルを記録できるハイパースペクトルカメラで岩種の判別ができるかの撮影試験を行った。結果、種類の異なる鉱物や岩石の反射スペクトルの違いを評価できることを確認した。また、同じ岩種であれば、産地の異なる標本で抽出した教師データを基に判別できる可能性がある。さらに、上記の岩種による反射スペクトルの特性が認められる波長帯で判別することで精度を向上させることができることが確認できた。