

ハンドヘルド型分析装置を用いた地質試料の重金属溶出判定法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令 5～令 7

担当チーム：防災地質チーム

研究担当者：倉橋稔幸、日外勝仁、山崎秀策、
遠藤のぞみ

【要旨】

トンネル等の掘削施工においては、施工中に発生土から自然由来有害重金属等の想定外の溶出が検出され、追加調査や対策が必要となる事例が散見される。通常、施工前調査で実施される溶出試験は、ボーリングコアを対象に 5-10 m 間隔の試料採取で実施されるため、数 m 以下の地質不均質性を十分に把握できず、判定漏れが生じる場合がある。そこで本研究では、溶出試験における試験数量の不足を補い、地質不均質性に起因する重金属等溶出量のばらつきを現場で迅速かつ簡便に評価する手法として、ハンドヘルド型分析装置を用いた溶出量判定法の構築を目的とした。

まず、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置 (hXRF) およびハンドヘルド型レーザー誘起ブレイクダウン分光分析装置 (hLIBS) を用い、砒素や鉛などを含有する岩石を対象に測定方法および条件を検証した。その結果、hXRF は非破壊分析であることから、未処理のボーリングコアや岩片、粒子間の結合が弱い堆積岩試料や加圧ペレット試料などに対しても比較的精度良く測定可能であることが分かった。また、砒素や鉛については、測定時間を 30 秒とすることで、含有量 20～50 mg/kg 程度の低濃度試料を測定する場合でも、おおむね誤差±30%以内で測定可能であることを示した (文献リスト e-2)。一方、hLIBS は hXRF で検出困難なフッ素やホウ素を検出できる可能性があるものの、レーザー照射に伴う試料破壊・粒子飛散により測定値のばらつきが大きく、地質試料を対象とした現場適用には課題が残った。

次に、既存文献を整理し、重金属等の溶出試験値と含有量との関係を検証した。事例数が多い砒素についても、地質試料全般では溶出量と含有量に明瞭な相関は認められなかったが、鉍化変質岩や pH が中性～酸性となる一部の堆積岩類では、おおむね一定の溶出率となる相関関係が認められた。これは、砒素を微量含有する黄鉄鉍の量が、試料の砒素溶出量を支配している可能性を示唆している。このことから、特定の岩種によっては、hXRF による含有量の測定結果を用いて溶出量を推定するスクリーニング調査が有効であることが示された。

さらに、文献調査で得られた知見に基づき、砒素等の溶出が懸念される実施工現場において、ボーリングコア試料を対象に hXRF 測定を実施した。その結果、トンネル掘削ルートにおいて数 m 以内で重金属等 (砒素) の含有量が変化する分布特性を把握し、高溶出区間を特定することができた (文献リスト e-1)。

以上の成果から、現場において迅速かつ簡便に重金属等の溶出リスクを推定し、対策が必要な区間・箇所を判別するスクリーニング分析方法として、hXRF 分析法が有効に機能することを明らかにした。引き続き、本調査法を活用し、重金属等の溶出量と含有量のデータセットを蓄積することで、建設発生土の重金属等溶出調査法の高度化および汎用化に資することが期待される。

キーワード：建設発生土、重金属等、化学分析、ハンドヘルド型化学分析装置

Assessment of Toxic Heavy Metal Leaching from Excavated Rocks Using Handheld Analytical Instruments

Research Period: FY2023-2025

Research Team: Geological Hazards Research Team,
Cold-Region Construction Engineering Research Group

Author: TOSHIYUKI Kurahashi
AGUI Katsuhito
YAMAZAKI Shusaku
ENDO Nozomi

Abstract: Unexpected leaching of naturally occurring potentially toxic elements such as arsenic and lead from excavated rocks is sometimes detected during tunnel excavation and other construction works. Because conventional pre-construction leaching tests are generally conducted on boring core samples collected at 5–10 m intervals, small-scale geological heterogeneity may not be sufficiently captured. This study aimed to develop a rapid and convenient on-site screening method for evaluating leaching potential using handheld analytical instruments. Handheld X-ray fluorescence analysis (hXRF) and handheld laser-induced breakdown spectroscopy (hLIBS) were tested on rocks containing leachable arsenic, lead, and other elements. hXRF enabled relatively accurate measurements of untreated boring cores, rock fragments, and powder pellet samples. For arsenic and lead, samples with concentrations of approximately 20-50 mg/kg or less could be measured within an error of $\pm 30\%$ with an acquisition time of 30 s (Reference list e-2). In contrast, although hLIBS could detect fluorine and boron in single mineral crystals at high concentrations, the measurement error was large for natural rock samples and pressed powder pellets because of particle scattering during laser irradiation. These results indicate that further investigation of sample preparation methods is required to improve the stability and applicability of hLIBS measurements for geological samples. The relationship between leaching concentrations and bulk concentrations in various rock types was also examined. Although no clear correlation was observed for arsenic across all rock types, correlations with relatively consistent leaching ratios were found in mineralized and hydrothermally altered rocks and in some sedimentary rocks showing neutral to acidic pH. This suggests that the amount of arsenic-bearing pyrite may be a key factor controlling arsenic leaching. These results indicate that hXRF-based concentration measurements can be effective for estimating leaching potential depending on rock type. Application of the optimized hXRF conditions to boring core samples from actual excavation sites revealed significant variations in arsenic concentrations within several-meter intervals and enabled the identification of zones with high arsenic concentrations and potentially high leaching risk (Reference list e-1). These results demonstrate that hXRF analysis is an effective rapid screening method for identifying sections requiring countermeasures against potentially toxic element leaching.

Keywords: Excavated rock materials, Toxic heavy metal elements, Geochemical analysis, Handheld analytical instruments

論文リスト

● 学術誌等による成果普及

学会発表等その他（計 2 本）

- e-1) 山崎秀策、倉橋稔幸：ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を用いたボーリングコア試料の重金属等分析事例（口頭発表）、日本応用地質学会北海道支部・北海道応用地質研究会 令和 6 年度研究発表会 講演予稿集、第 44 号、pp. 19-20、2024.
- e-2) 遠藤のぞみ、山崎秀策、日外勝仁：P43 ハンドヘルド型蛍光 X 線分析による含有量分析の精度とボーリングコア試料の測定事例（ポスター発表）、日本応用地質学会令和 7 年度研究発表会講演論文集、pp. 289-290、2025.

土研刊行物（計 1 本）

- f-1) 遠藤のぞみ、山崎秀策、日外勝仁：既存地質調査データに基づく自然由来重金属等の溶出量と全含有量の関係性、寒地土木研究所月報、第 875 号、pp.16-22、2025.