

P21. 海成泥質岩の続成程度に着目した物理・化学特性の研究

—特に自然由来重金属等の溶出特性について—

Study on Physical and Chemical Characteristics Focusing the Diagenesis in Marine Mudstone

○長谷川 怜思, 大塚 智久, 山本 晃, 堀内 瀬奈 (八千代エンジニアリング株式会社)
HASEGAWA Satoshi, OTSUKA Tomohisa, YAMAMOTO Akira, HORIUCHI Sena

1. はじめに

トンネルをはじめ地山の掘削を伴う工事において、建設発生土から基準を超過する重金属等の溶出や酸性水の発生により、発生土の処理・処分や、水処理など多額な費用がかかることがしばしばある¹⁾ ほか、

自然的要因で岩石に含まれる重金属等そのものは、土壤汚染物質ではなく「地域資源」であり、土壤汚染対策法や土壤環境基準等の適用外となるが、実際の施工現場では、これらに準じた対応がなされている。

本研究は、非変質の海成泥質岩を対象に、物理・化学的特性を把握する目的で室内試験を実施したものである。調査・解析の結果、続成程度に起因した物理・化学特性の違いや黄鉄鉱の産状等により、溶出する重金属等や水質が異なる点が明らかとなった。本稿では、分析結果から岩石中における自然由来重金属等の含有・溶出メカニズムを考察した事例について報告する。

2. 室内試験・分析の手順

本研究では、泥質岩の形成年代や続成・変成程度の違いによる各種重金属等の含有・溶出特性の差異を把握すべく、建設発生土や露頭にて採取した14試料(表-1参照)にて、表-2に示す室内試験を実施した。

併せて、新潟大学所蔵の走査型電子顕微鏡(SEM)ならびに、エネルギー分散型X線分光器(EDS)を併用した元素マッピング分析により、岩石中における自然由来重金属等の存在状態について視覚化を試みた。

表-1 本研究で用いた試料の概要

試料名	地質概要	風化程度
1 西八代層群 泥岩1	山梨県 新第三紀 中新世 トラフ充填堆積物	新鮮
2 西八代層群 泥岩2	山梨県 新第三紀 中新世 トラフ充填堆積物	新鮮
3 富士川層群 泥岩1	山梨県 新第三紀 中新世～鮮新世 トラフ充填堆積物	新鮮
4 富士川層群 泥岩2	山梨県 新第三紀 中新世～鮮新世 トラフ充填堆積物	新鮮
5 富士川層群 泥岩3	山梨県 新第三紀 中新世～鮮新世 トラフ充填堆積物	新鮮
6 富士川層群 泥岩4	山梨県 新第三紀 中新世～鮮新世 トラフ充填堆積物(破砕質)	新鮮
7 富士川層群 泥岩5	山梨県 新第三紀 中新世～鮮新世 トラフ充填堆積物	新鮮
8 富士川層群 泥岩6	山梨県 新第三紀 中新世～鮮新世 トラフ充填堆積物	弱風化
9 瀬戸川層群 頁岩	山梨県 古第三紀 始新世～漸新世 四万十層群 付加コンプレックス	弱風化
10 月布層 泥岩	山形県 新第三紀 中新世～鮮新世 グリーンタフ地域 整然層(弱変質)	強風化
11 西小沢層 泥岩	秋田県 新第三紀 中新世～鮮新世 グリーンタフ地域 整然層	弱風化
12 鳥ノ巣層群 頁岩	徳島県 中生代 ジュラ～白亜紀 陸棚相砕屑岩	弱風化
13 登米層 粘板岩	岩手県 古生代 ヘルム紀 陸棚相砕屑岩	弱風化
14 足尾帯 泥質ホルンフェルス	新潟県 中生代 ジュラ紀 足尾帯 付加コンプレックス	新鮮

表-2 本件で実施した試験項目の一覧

試験項目	試験方法
1 岩石薄片作成・観察	-
2 含有量・溶出量試験用岩石粉碎	-
3 蛍光X線分析	粉末プレス法
4 X線回折分析	NEXCO試験方法 第1編土質関係試験方法、東・中・西日本高速道路株式会社、2010
5 岩石の一軸圧縮試験	JGS 2521-2009
6 岩石の超音波伝播速度試験	JGS 2110-2009
7 岩石の密度試験	JGS-2132-2009(ノギス法・浮力法)
8 岩石の吸水および有効間隙率試験	JGS-2132-2009
9 岩石の促進スレーキング試験	JGS-2125-2009
10 土壌溶出量試験	H15.3 環境省告示第18号
11 土壌含有量試験	H15.3 環境省告示第19号
12 土壌含有量試験(全含有量)	H24.8 環境省告示第120725002号 底質調査方法
13 土懸濁液のpH試験(H ₂ O、H ₂ O ₂)	JGS 0211(精製水、過酸化水素で検討)
14 土懸濁液の電気伝導率試験	JGS 0212
15 溶出量試験検液の無機溶存イオン分析	イオンクロマトグラフ法、JIS K 0400
16 ビトリナイト反射率測定	顕微分光光度計による反射率測定
17 C E C 試験	JGS 0261-200900
18 A E C 試験	土壌、水質及び植物体分析法
19 交換性陽イオン(Na ⁺ 、K ⁺ 、Ca ²⁺ 、Mg ²⁺)	原子吸光度法
20 交換性陰イオン(Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻)	原子吸光度法

3. 室内試験の結果から考察される現象の整理

3.1 続成程度と岩石の物理特性との関係

一般に沈積直後の泥質堆積物は間隙に富み、膨潤性の粘土鉱物や粒子間に多量の水を含む。堆積物がしだいに地下深くに埋没しながら時間が経過すると、温度・圧力が上昇していく。この過程で粒子間隙の減少に伴って、間隙を満たしていた水の移動・脱水が生じ、より強固かつ化学的に安定な岩石へと変化する(図-1)。また、地層の埋没深度が深くなり地温が上昇するほど、岩石に含まれるビトリナイト(石炭質ケロジェン)反射率は増加するため、ビトリナイト反射率は続成程度を把握する鍵となる。図-1から、続成の熟度が単に形成年代のみでは決定されていないことがわかる。

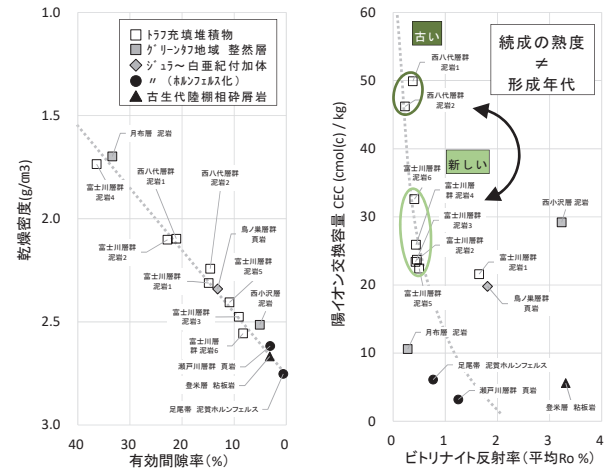


図-1 続成程度と物理・化学特性との関係

左：有効間隙率と乾燥密度，右：ビトリナイト反射率とCEC

3.2 岩石中における黄鉄鉱の形態変化

砒素や硫黄の物質循環において、重要な記録媒体となる黄鉄鉱[FeS₂]は、最も普遍的に産出する硫化鉄鉱物である。肉眼で観察できるものは、立方体や五角十二面体など自形結晶(Euhedral-Pyrite)を示すが、堆積物(岩)中で自生する非常に微小な粒子(直径1μm~250μm程度)は、木苺状の集合形態(Framboidal-Pyrite)をなすことで知られる。Z.Sawlowicz(1993)は、堆積物(岩)中における黄鉄鉱の形態に着目し、木苺状の黄鉄鉱どうしが集合して、新しい自形結晶へと変化する点を指摘している²⁾(図-2参照)。筆者らの薄片観察でも、続成の程度に応じて様々な形態の黄鉄鉱が存在することを確認した。したがって、岩石中に散在する黄鉄鉱も続成の熟度に応じて形態が変化し、その脱水プロセスにおいて自形結晶の系外へと水溶性物質が排出されるものと考えられる。これは安定同位体の濃縮分別作用のメカニズムとよく似ており、結果として自形結晶中に非水溶性の物質が濃集されることとなる。

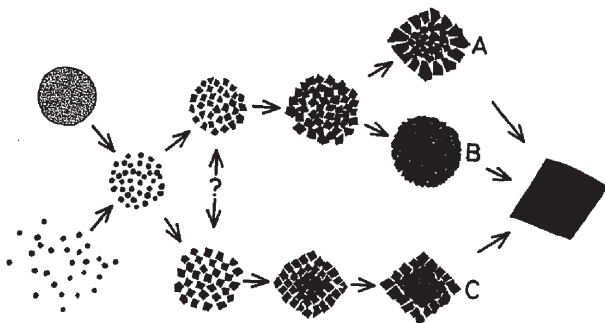


図-2 黄鉄鉱の形態変化プロセス²⁾

3.3 黄鉄鉱から溶出しやすい物質の存在状態

岩石の風化過程では、黄鉄鉱と水・空気との化学反応により、硫酸・セレン・砒素等の溶出や、酸性水が発生する。風化は鉱物表面から進行する為、水酸化鉄の被膜ができると溶出ポテンシャルが減少する。SEM-EDS 元素マッピングの結果からは、黄鉄鉱(Framboidal-Pyrite, Euhedral-Pyriteとも)中に硫黄・砒素・セレンが濃集し、結晶の中心ほど高濃度を示すことが判る。

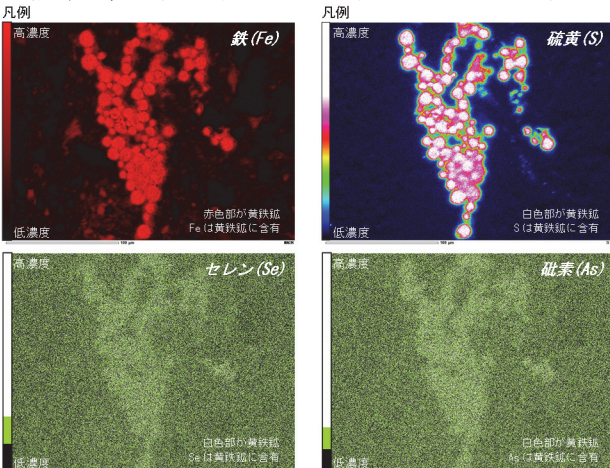


図-3 SEM-EDS 元素マッピングの分析例

3.4 自然由来重金属等の含有量と溶出量との関係

海成泥質岩では、含有量と溶出量に関係性は認められない。一方で、続成の熟度が増すとセレンやホウ素等といった水溶性重金属等が減少する(図-4参照)。

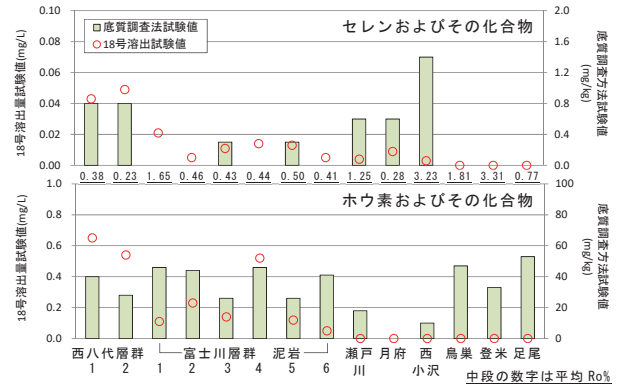


図-4 海成泥質岩における重金属等の含有・溶出量

3.5 泥質岩の風化過程で形成される水質型

岩石に含まれる黄鉄鉱の酸化反応により硫酸が生じるが、有孔虫化石や炭酸塩鉱物による中和や膨潤性粘土鉱物によるイオン交換に起因して、結果必ずしも酸性水が発生するわけではない(図-5参照)。このことは、泥質岩トンネルからの中央排水が長期的にアルカリを示す可能性があることなどを示唆している。

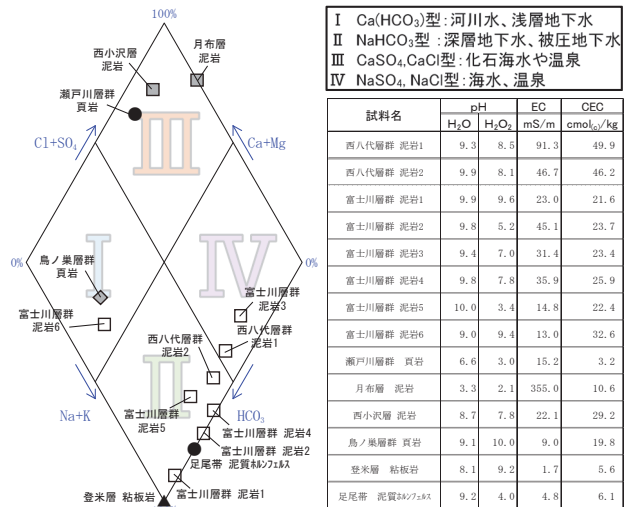


図-5 18号溶出量試験液の水質型

4. 今後の課題

試験結果から、岩石の続成程度に応じて、風化過程で溶出する物質が異なることを示した。引き続き、建設発生土の有効活用や適正処理を視野に、検証事例を増やして持続可能な社会に向けて貢献したいと考える。

文献

- 1) 独立行政法人土木研究所ほか(2015): 建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック, 株式会社大成出版社
- 2) Z.Sawlowicz(1993): Pyrite framboids and their development: a new conceptual mechanism., Geol Rundsch, 82, pp.148-156