

アルカリ資材添加による黄鉄鉱を含む土の酸性化抑制の検討

九州産業大学 学生会員 長野 佑希 九州産業大学 正会員 林 泰弘
ラサテック 非会員 佐久山 晋 MT アクアポリマー 正会員 田村 明
中道環境開発 非会員 中道 和徳 九州産業大学 正会員 松尾 雄治

1. はじめに

シールド工事等によって黄鉄鉱を含む還元状態にあった堆積岩等が粉碎され地上に搬出される過程で大気に触れることで酸化、酸性化し、それに伴って含有する砒素等の重金属の溶出が増大することが懸念されている。本研究ではこのような土砂を汚染土としないために、アルカリ資材を添加することで土の酸性化を抑制し砒素が溶出しにくい環境を作るための基礎的な実験を行った。

2. 黄鉄鉱の酸化による砒素の溶出の抑制

黄鉄鉱は酸素と水に触れることで酸化され、酸化の過程で硫酸を生じ酸性化する¹⁾。黄鉄鉱の酸化とともに砒素が亜ヒ酸やヒ酸として水中に溶出するが、酸化鉄、水酸化鉄のコロイドや有機物に吸着しやすく、中性域、還元状態では溶出しにくい。しかし、酸化の過程で硫酸を生じ pH が低下することで周辺の水へ溶出しやすくなる²⁾。

黄鉄鉱の酸化が進む過程でアルカリ資材を添加することで、土を中性に保つことによって砒素の溶出を抑制できると考えられる。

3. 研究の方法

研究の流れを図-1 に示す。物性の異なる複数の試料を対象に黄鉄鉱の添加による酸性化挙動を把握したうえで、硫酸を用いた酸性土と黄鉄鉱混合土にアルカリ資材を添加して、pH の経時変化を検討した。

用いた試料は横浜市のシールド立坑工事で発生した土丹と福岡県で発生した砂質土とした。これらの物理特性を表-1 に示す。土丹は砂質土に比べ細粒分を多く含んでいる。シールド工事で排出される土はコーン指数が 200kN/m² 以下の泥土として排出されるため、試料をコーン指数が

150kN/m² になる含水比（土丹 39%、砂質土 22.7%）に調整して用いた。アルカリ資材は、最大粒径が 5mm の製鋼スラグと、炭酸カルシウム(特級 JIS K 8617)を用いることにした。製鋼スラグは、転炉を使った製鋼過程で生成する副産物で有効利用が求められており、セメントに類似した組成を持ち重金属の不溶化の可能性が示されている³⁾。炭酸カルシウムは pH8~9 の反応でアルカリ性による環境影響が小さい。

4. 黄鉄鉱の添加による酸性化

黄鉄鉱を含有した土の酸化後の pH を知るために酸性化可能性試験²⁾を行った。図-2 に黄鉄鉱添加率と pH の関係を示す。対象土によらず黄鉄鉱の添加率が約 2% 以下では pH が急激に低下したが、それ以上黄鉄鉱を添加しても pH=2 程度までしか低下しなかった。そこで、十分酸性化され则认为られる黄鉄鉱添加率 7% の試料を作製し、時間の経過に伴う JGS 0211 の土懸濁液試験による pH の変化を計測した。図-3 に時間経過と pH の関係を示す。砂質土においては黄鉄鉱を添加することによって 1 日程度で pH=3~4 に下がったが、土丹においてはあまり変化が見られなかった。酸性化可能性試験結果と異なる原因は不明である。

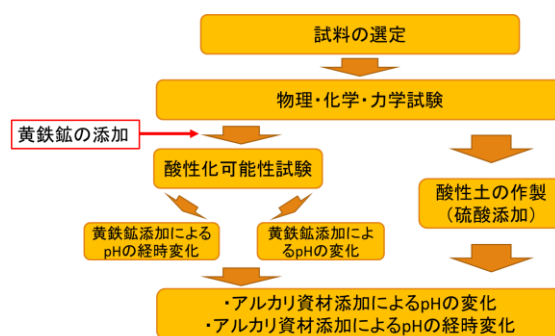


図-1 研究の流れ

表-1 材料の物理特性

試料名称	土丹	砂質土
初期含水比 w_0 (%)	26.6	22.2
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.557	2.63
分類名	シルト (低液性限界)	細粒分質砂
砂分 (0.075-2mm) (%)	14.8	52.7
細粒分 (0.075mm 以下) (%)	85.2	47.3
均等係数 U_c	53	632.5
曲率係数 U_c'	3.14	4.23
液性限界 W_L	45.7	NP
塑性限界 W_P	28	NP
塑性指数 I_p	17.7	NP

5. 硫酸による酸性土の作製

簡易的に酸性土を作製するために硫酸を用いた。土に加える硫酸添加量の目安を得るための予備試験として土懸濁液試験を行った。試料を懸濁状態にし、土懸濁液に 0.9mol/L の硫酸を添加し pH を測定した。さらに硫酸を添加し pH を測定する作業を繰り返した。確認試験として風乾した試料を所定の含水比に調整する際に 0.9mol/L または 1.8mol/L の硫酸を希釈して添加した。加水後の試料は、硫酸を馴染ませるため 1 日密閉養生した後、pH を測定した。図-4 に硫酸添加量と pH の関係を示す。予備試験と確認試験では同じ硫酸添加量で pH の低下に違いが見られた。土丹においては大きなばらつきが見られた。

6. アルカリ資材添加による中性化

所定の含水比に調整する際に硫酸の濃度を土丹は 0.2mol/kg と 0.37mol/kg、砂質土は 0.09mol/kg と 0.2mol/kg になるよう硫酸を添加し酸性土を作製した。硫酸を馴染ませるため 1 日密閉養生した後、製鋼スラグを 0%、10%、20%または炭酸カルシウムを 0%、5%、10%を添加した。図-5 に添加直後のアルカリ資材添加率と pH の関係を示す。硫酸添加量の違いの影響はあまり見られなかった。炭酸カルシウムは 5%添加で pH が急激に上がったが添加量を増やしても pH の変化は見られず中性域を保った。製鋼スラグは添加率を大きくするにしたがって pH も上がったが中性域にはいたらなかった。添加率を 40%程度で中性域になりそうだが 20%を超えると土の性質が変わる恐れがある。

硫酸の濃度を土丹は 0.2mol/kg、砂質土は 0.09mol/kg、製鋼スラグの添加率を 20%、炭酸カルシウムの添加率を 5%にした場合の養生日数と pH の関係を図-6 に示す。養生中は空気と触れさせるために非密閉容器に入れた。時間経過による pH の変化は、砂質土では製鋼スラグを添加した場合の pH の上昇が少し見られた。土丹において大きなばらつきが見られた。

7. まとめ

黄鉄鉱を含む土は酸化によって強酸性の土になることは確認されたが、実際の養生において黄鉄鉱を含む土丹の pH はあまり低下せずばらつきが大きかった。中性化に用いるアルカリ資材は炭酸カルシウムが効果的だが製鋼スラグでもある程度の効果がみられた。

謝辞：本研究の遂行にあたって九州大学大学院農学研究院の和田信一郎教授に助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献：1)島田允堯：自然由来重金属等による地下水・土壤汚染問題の本質：ヒ素, pp.47-48, 2009

2)建設工事における自然由来金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：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(暫定版), pp.10, pp.54-55, 2010.3.

3)社団法人 地盤工学会九州支部：環境と経済を考慮した建設発生土と廃棄物の有効利用, pp.3-2-3-8,2003.10.10

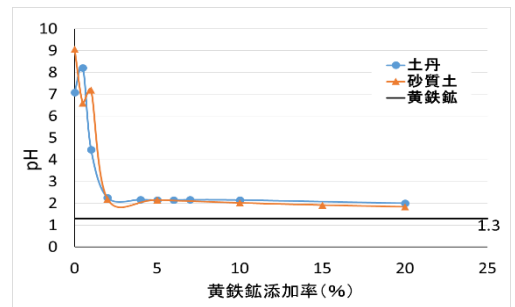


図-2 黄鉄鉱添加率と pH の関係

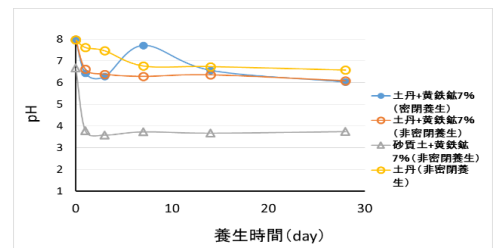


図-3 黄鉄鉱添加による時間経過と pH の関係

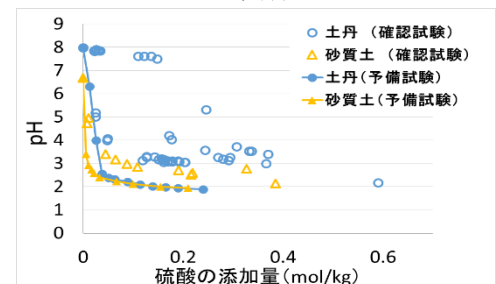


図-4 硫酸添加量と pH の関係

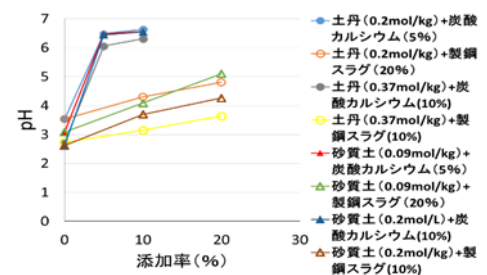


図-5 アルカリ資材添加率と pH の関係

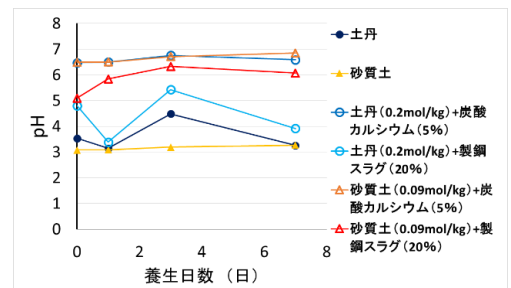


図-6 アルカリ資材添加率と pH の関係