

不溶化処理土からの重金属溶出挙動評価（その2）

鹿島建設(株) 正会員 ○河合達司 石神大輔 佐藤 毅
 鹿島建設(株) 正会員 篠原智志 フェロー会員 川端淳一
 国立環境研究所 正会員 肴倉宏史

1. 目 的

循環型社会推進の観点から、重金属等を含む土や廃棄物を土木資材として再生利用することは、有効な手段だと考えられる。しかしながら、現状では、社会的受容の合意形成が十分とは言えず、積極的な再生利用には至っていない。この要因の一つとして、重金属等が長期的な視点で環境中に再溶出する可能性を予測し、安全性を評価する方法が未確立であることが考えられる。そこで筆者らは、不溶化処理土を実環境下に暴露し長期的な溶出挙動を評価するとともに、利用前に短期間で長期溶出リスクを評価予測できる室内促進試験方法の確立を目指して検討を進めている。前報では、雨水曝露試験において黄鉄鉱の酸化による重金属類の溶出促進の可能性が示唆され、特に浸出水中のフッ素濃度は、乾湿繰返し試験による室内試験の結果を大きく上回った¹⁾ことを報告した。本報では、上記雨水曝露試験を継続した約2年間の観測結果を報告するとともに、黄鉄鉱の酸化が重金属等の溶出に与える影響について実施した基礎的な室内試験結果も合わせて報告する。

2. 供試試料

雨水曝露試験には、マグネシウム系の不溶化材を30kg/m³混合し、自然由来のヒ素の土壤溶出量を基準に適合させた不溶化土を用いた(表-1)。黄鉄鉱の酸化の影響を検討する室内試験には、原土を用いた。原土および不溶化土共に、セレンとフッ素の溶出量は基準以下であり、他の自然由来重金属類は検出限界以下であった。土壤溶出試験の検液のpHは原土および不溶化土共に中性であったが、原土には黄鉄鉱が含まれるため、酸性化可能性試験の結果はpH 3.2と酸性を示した。

3. 試験方法

(1) 雨水曝露試験 再生利用先の環境を、雨水が浸透して重金属が溶出する可能性がある環境と想定し、屋外での雨水曝露試験を実施した(図-1)。試料2,200gを開口部面積200cm²のワグネルポットに12cm高で充填し、屋外に設置した。雨水により生じた浸出水を3ヶ月毎に回収して0.45μmのメンブレンフィルターでろ過し、pHをガラス電極法、ヒ素とセレン濃度をICP質量分析法、フッ素濃度を流れ分析法で分析した。また、1年および2年経過後に土壌を採取し、重金属類の溶出量とその検液のpHを測定した。

(2) 黄鉄鉱酸化の再現室内試験 室内促進試験において、黄鉄鉱の酸化に伴い硫酸が生成し、pHが酸性化する現象を再現する方法として、①酸化剤を添加する方法と②硫酸を添加する方法を実施した。

①酸化促進試験 不溶化土10gに対して酸化剤溶液100mLを加え、200rpmで6時間振とうし、ろ過検液の重金属類の濃度を測定した。

金属類の濃度を測定した。酸化剤として過酸化水素を用い、濃度が0.001%、0.01%、0.1%、1%、30%の5ケースを設けた。

表-1 土壤溶出量と酸性化可能性試験結果

項目 [単位]	ヒ素 [mg/L]	セレン [mg/L]	フッ素 [mg/L]	pH(H ₂ O) -	pH(H ₂ O ₂) -
原土	0.016	0.004	0.18	7.5	3.2
不溶化土	<0.001	0.005	0.21	6.7	-

注) pH(H₂O): 土壤溶出試験の検液のpH

注) pH(H₂O₂): 過酸化水素水を用いるpH試験方法(地盤工学会)

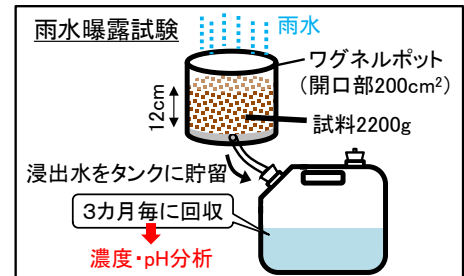


図-1 雨水曝露試験の方法

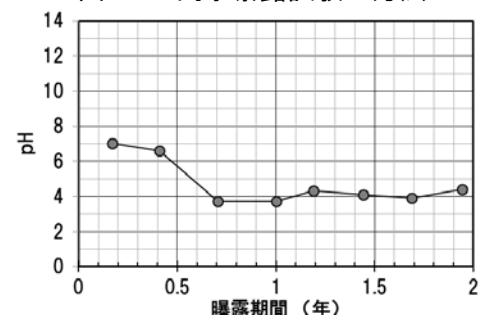


図-2 雨水曝露試験のpH変化

キーワード 自然由来重金属、不溶化、再生利用、黄鉄鉱、雨水曝露試験

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6651

②pH調整試験 不溶化土10gに対して硫酸溶液100mLを加え、所定のpHとなるまで1~24時間、200rpmで振とうしてpHを調整し、ろ過検液の重金属類濃度を測定した。pHは、不溶化土の初期pH6.7からpH3までの間に6ケースを設けた。

4. 試験結果

(1) 雨水曝露試験結果 2015年12月より試験を開始し、約2年間のデータを取得した。浸出水のpHは、開始後0.4年目までは中性であったが、0.7年目にpH3.7と急激に酸性化し、その後もpH4前後の酸性を維持した(図-2)。浸出水中のヒ素濃度は、大きな変動もなく、地下水基準以下を維持した。セレンは、0.4年目に基準(0.01mg/L)の8倍程度の濃度が確認されたが、その後は濃度が低下し、基準以下を維持した(図-3)。フッ素は、開始後0.4年目までは基準(0.8mg/L)以下の濃度であったが、0.7年目に基準を超過した。その後、濃度は減少傾向を示し、1.4年目以降は基準以下を維持した。なお、開始後1、2年目にワグネルポットから採取した土壌のpHは浸出水と同じく、pH4程度の酸性を示したが、ヒ素とセレンの土壌溶出量は検出限界付近の値を示し、フッ素も基準値の5分の1以下と低い値を示した。

(2) 黄鉄鉱酸化再現室内試験結果 ヒ素は、pH3以下ではpH調整試験に比べて酸化促進試験で溶出量が大きく低下する傾向が見られたが、pH4以上では顕著な差が見られなかった(図-4)。これは、pH3以下では多量の酸化剤の添加により生じたヒ酸が、水酸化鉄への吸着や鉄酸化物との反応²⁾等が生じた可能性があるが、要因の特定にはさらなる検討が必要である。セレンは、酸化促進試験とpH調整試験では溶出量に顕著な差は認められなかった(図-5)。一方、フッ素は、pHの値に関わらず、pH調整試験に比べて酸化促進試験で溶出量が上回る傾向が見られ、酸化促進試験が、雨水曝露試験結果により近い結果を示した(図-6)。

5. まとめ

土壌溶出量では基準に適合したセレンとフッ素が、長期の溶出特性を評価する雨水曝露試験において、黄鉄鉱の酸化の影響により基準を超過した。したがって、対象土が黄鉄鉱を含む場合、溶出量の評価に加えて黄鉄鉱の酸化による影響を考慮した試験を行い、不溶化の可否を判断することが、再生利用先での環境リスクを低減する上で重要であると考えられる。また、フッ素に関しては、硫酸を加えるpH調整試験に比べて、過酸化水素水を加える酸化促進試験の方がより雨水曝露試験に近い結果が得られた。室内促進試験で黄鉄鉱の酸化の影響を評価する際には、硫酸を加えて酸性化するだけでは十分ではなかった。黄鉄鉱の酸化などの大気中の酸素による酸化反応は比較的緩やかに進行するため、酸化剤の添加等により反応を促進させる条件の方が、より実現象での重金属の溶出を再現できる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤, 他: 不溶化処理土からの重金属溶出挙動評価, 土木学会第72回年次学術講演会講演概要集, 2017.9
- 2) V.P.Evangelou: Environmental Soil and Water Chemistry, John Wiley & Sons, 1998, p.446-447

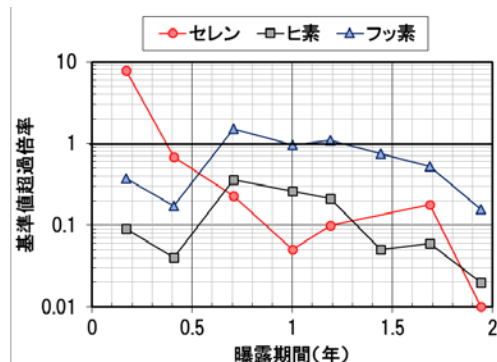


図-3 雨水曝露試験の重金属濃度変化

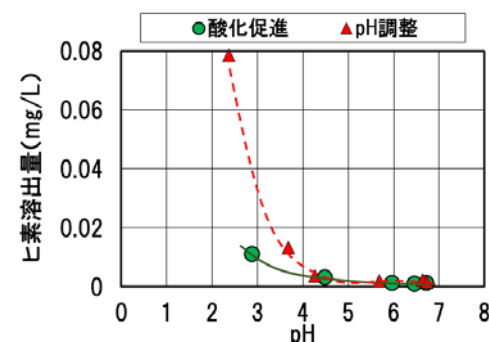


図-4 室内試験のヒ素溶出量

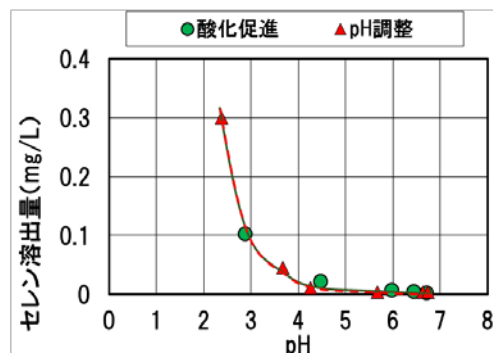


図-5 室内試験のセレン溶出量

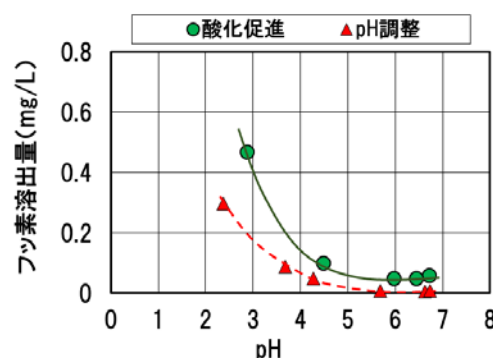


図-6 室内試験のフッ素溶出量