自然由来ヒ素含有土不溶化処理物のカラム試験による環境耐久性評価について

鹿島建設(株)　正会員　○篠原智志　石神大輔　伊藤圭二郎
国立環境研究所　正会員　肴倉宏史

1．はじめに

自然由来の重金属等を含有する土壌などから重金属等を溶け出さないようにする不溶化工法は，土中に重金属等が残るものの，浄化と比較して設備が簡易であり，経済的な場合が多い．しかし，施工直後の酸化的・中性的な環境では問題なかった不溶化効果が，長期的な周辺環境の影響（例えば，酸性土由来の酸性水の接触や盛土内部での嫌気性還元化など）により，重金属等が再び溶出する恐れもある．また，このような環境変化を考慮した評価手法が確立されておらず，不溶化処理の適用件数が少ないのが現状である[1)]．

そこで筆者らは，長期的な環境変化要因として pH と ORP（酸化還元電位）に着目し，これらが永続的に変化しても不溶化効果が持続する配合を検討している．既報では，鉄粉・酸化鉄・カルシウムの配合により，pH4～10 で ORP によらずヒ素の不溶化ができることを水－不溶化材系のバッチ試験で評価した（**図－1**）[2)]．本報では，実際のヒ素含有土への不溶化効果を確認するために，カラム通水試験によって，pH を酸性側に変化させた際のヒ素の不溶化効果の持続性を評価した．

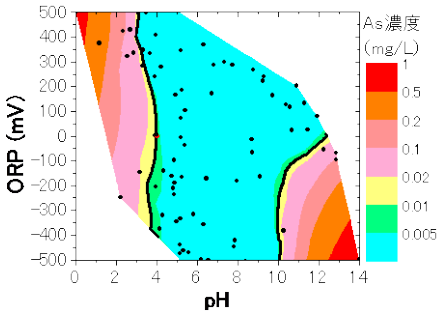
2．使用した試料

試験には建設現場より採取した自然由来のヒ素含有土を使用した．**表－1** に試料の初期物性を示す．細粒分が 30%以上含まれており，ヒ素が基準値（0.01 mg/L）を超過している．本検討では，事前の予備試験により，鉄粉・酸化鉄・カルシウムを配合した不溶化材を重量比で 3%混合したものを不溶化処理土とした．**表－2** に溶出試験結果を示す．不溶化材の添加によってヒ素の溶出濃度が基準値未満となっている．

3．カラム試験方法

図－2 にカラム試験の概要図を示す．内径 5 cm，高さ 30 cm のアクリルカラムを用い，試料の充填はカラムを 15 層に分け，各層に 125 g のランマーで落下高さ約 20 cm から 3 回ずつ突き固めることで行った．

試験はカラム下端より蒸留水を 15 mL/h の速度で通水させ飽和後，2 日間静置養生してから通水し，開始した．試験期間中は所定の間隔で浸出水を採取し，水量，pH，ORP，ヒ素濃度等を分析した．**表－3** には試験ケースと供試体の初期乾燥密度を，**表－4** には通水ステップと溶媒種を示す．



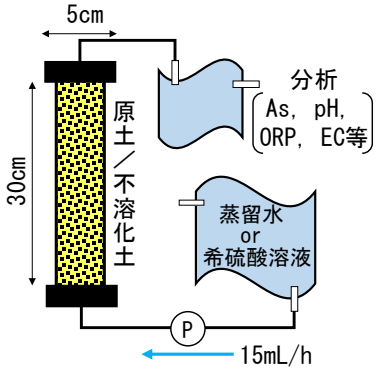
図－1　バッチ試験で得られたヒ素のコンター図 [2)]

表－1　試料の基本物性

土粒子密度（g/cm³）		2.666
含水比（%）		24
細粒分（< 0.075 mm）（%）		38.5
砂分（< 2 mm）（%）		61.5
As 全含有量（mg/kg）		8.3
環告 46 号試験	As（mg/L）	0.056
	pH	9.1

表－2　不溶化処理後のヒ素濃度

不溶化材添加率（%）		3
環告 46 号試験	As（mg/L）	0.002
	pH	7.4



図－2　カラム試験の概要図

表－3　試験ケースと乾燥密度

試験ケース	CASE1	CASE2
土の種類	原土	不溶化土
乾燥密度（g/cm³）	0.92	0.90

表－4　通水ステップと溶媒種

ステップ	累積液固比	通水溶媒
①	0～10	蒸留水
②	10～18	pH4 希硫酸水
③	18～25	pH3 希硫酸水
④	25～34	pH2 希硫酸水
⑤	34～56	蒸留水

キーワード：ヒ素，不溶化，カラム試験，pH-ORP
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　ＴＥＬ042-489-6662

© Japan Society of Civil Engineers

4．カラム試験結果

図－3，図－4，図－5，図－6 に，浸出水の pH，ヒ素濃度，ヒ素の積算溶出量，ORP を示す．図中の①～⑤は**表-4** で記載したステップ番号を示している．

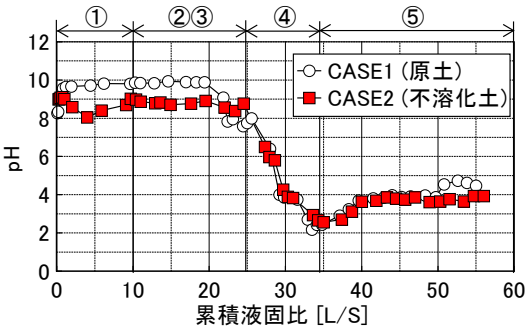
蒸留水を通水したステップ①では，pH は原土と不溶化土で 1 程度の相違がみられた．また，原土は通水初期からヒ素の溶出濃度が基準値 0.01 mg/L を超過し，ピーク時には 0.41 mg/L の溶出が確認されており，累積液固比 10 までで本試験終了時の 80%のヒ素が溶出した．一方，不溶化土は累積液固比 10 までの期間，全ての浸出水でヒ素濃度は 0.01 mg/L 未満であり，累積液固比 10 までで，原土に対して 5%程度のヒ素が溶出した．

ステップ②，③では土壌の緩衝作用により浸出水の pH は大きく変化しなかったが，ステップ④では pH が低下し，最終的には pH3 程度となった．この間，どちらの試料でも pH が 4 を下回る累積液固比 30 付近で，ヒ素の溶出濃度が上昇する傾向が確認された．特に不溶化土では pH が 2.7 となった累積液固比 34 で，基準値を超過するヒ素が溶出した．また，この時の ORP は約 400 mV であった．なお，原土で超過がみられなかったのは，ステップ①～③の通水で多くのヒ素が溶出したためと考えられる．

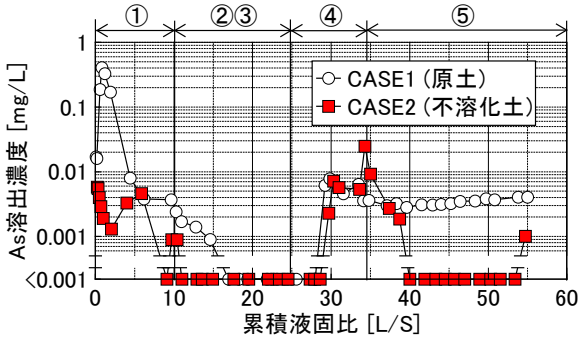
再度蒸留水を通水したステップ⑤では，pH は徐々に上昇し 4～5 で推移し，この間の原土のヒ素の溶出は基準値の 50%程度続くのに対し，不溶化土は溶出下限値未満であった．**図－5** で示すヒ素の積算溶出量から，不溶化土のヒ素溶出ポテンシャルはまだ残っていると考えられる．

以上より，不溶化土のヒ素不溶化効果は持続していると推測される．また，本試験で観測された ORP は 0～460 mV であり，通水が経過するに従って増加する傾向を示した．

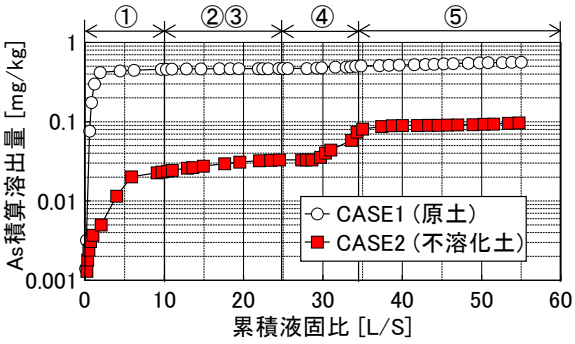
カラム試験の結果と**図－1** を比較すると，今回のカラム試験で得られた pH や ORP の範囲では，バッチ試験に基づいて描かれたコンター図と整合し，不溶化効果が維持することを確認した．



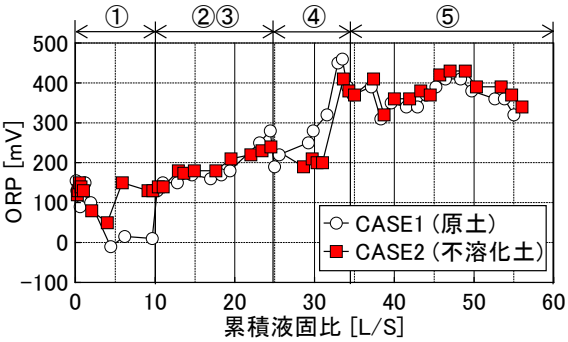
図－3 浸出水の pH



図－4 浸出水のヒ素濃度



図－5 浸出水のヒ素積算溶出量



図－6 浸出水の ORP

5．おわりに

実際の自然由来ヒ素含有土を用いたカラム試験にて，pH 変化に伴う不溶化安定性を評価した。その結果，酸性側の領域においては，カラム試験で得られた pH や ORP の範囲でのヒ素の不溶化効果は，バッチ試験で描かれるコンター図（**図－1**）と整合した．今後はアルカリ域や還元域での評価を行っていく予定である。

参考文献

1) 環境省：平成 29 年度 土壌汚染対策法の施工状況及び土壌汚染調査・対策事例に関する調査結果，〈http://www.env.go.jp/water/report/h31-01/full.pdf〉，（2020 年 3 月 17 日閲覧）

2) 石神ら：広範囲の環境条件で安定な不溶化技術，土木学会全国大会，第 73 回年次学術講演会，pp.189-190，2018

© Japan Society of Civil Engineers