

酸性地下水の原位置中和処理における透水性変化に関する検討

大成建設株式会社 正会員 ○廣岡 真一
正会員 根岸 昌範
正会員 高畑 陽

1. はじめに

地盤中の黄鉄鉱等が経年的に酸化溶解して硫酸酸性の浸出水が発生し、地盤の酸性化やそれに伴う重金属類の溶出促進などにより周辺環境を汚染する事例が報告されている¹⁾。筆者らは、硫酸酸性水の拡散防止対策として、炭酸カルシウムを反応材として使用する待ち受け式の原位置浄化技術「アルカリバリア」を開発している²⁾。炭酸カルシウムの粉末をスラリー状にして帯水層に注入する方法が一般的であるが、地盤に浸透しやすい塩化カルシウム溶液と炭酸ナトリウム溶液を注入して帯水層中で炭酸カルシウムを合成する方法について検討している。

酸性地下水の中和に伴って析出する反応生成物は沈殿物として地盤間隙中に蓄積するため、局所的に透水性が低下する可能性がある。そこで、本研究ではカラムに充填した模擬地盤にアルカリバリアを構築して酸性地下水を通水し、通水前後の透水性変化の評価および溶存金属類の固定化量との関係について考察した。

2. 実験方法

実験装置の概要図を図1に示し、実験条件を表1に示す。内径40mm×高さ400mmの亚克力製カラムの下部に、定量ポンプで地下水を通水するラインと定水位透水試験装置から水道水を通水するラインを接続し、各ラインに開閉式のcockを設置した。カラムには炭酸カルシウムを混練した珪砂を充填し、間隙を水道水で飽和した。カラム1には濃度4.0mol/Lの塩化カルシウム溶液と濃度1.0mol/Lの炭酸ナトリウム溶液から合成した2液合成品、カラム2には石灰石の微粉末である鉱物破砕品（ソフトン1,200；白石カルシウム（株）製）を使用した。カラム3には炭酸カルシウムを添加しない条件とした。地下水を通水する前の各カラムの透水係数を定水位透水試験により測定し、それぞれ 1.9×10^{-5} m/s、 1.6×10^{-5} m/s、 2.2×10^{-5} m/sであった。鉱さい堆積場で採水した地下水の組成を表2に示す。pHは2.7で酸性を示し、排水基準や水質環境基準に定められる有害金属類を高い濃度で含有している。定量ポンプにより地下水を通水速度15ml/hで各カラムに通水し、カラム出口側から流出した地下水のpHおよび金属・イオン類の濃度を定期的に分析した。また、地下水通水後に再び定水位透水試験を実施した。

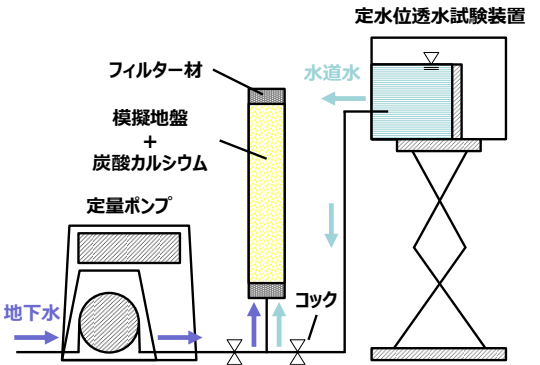


図1 実験装置の概要図

表1 実験条件

項目		カラム1	カラム2	カラム3
模擬地盤	組成	珪砂2号:4号:7号=7:3:5 (重量比)		
	透水係数(m/s) (地下水通水前)	1.9×10^{-5}	1.6×10^{-5}	2.2×10^{-5}
	充填高さ(mm)	300		
	間隙率(%)	26		
炭酸カルシウム	種類	2液合成品	鉱物破砕品	-
	添加量(g)	1.0	1.0	-
地下水	通水速度(ml/h)	15		
フィルター材	組成	2号珪砂		

表2 鉱さい堆積場の地下水組成

組成	測定結果	測定方法
pH(-)	2.7	ICP発光分光質量分析
Mn(mg/L)	140	
Fe(mg/L)	53	
Zn(mg/L)	50	
Cd(mg/L)	0.15	
Pb(mg/L)	0.078	イオンクロマトグラフ
Ca ²⁺ (mg/L)	570	
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1400	

3. 実験結果

地下水通水後におけるカラムの外観を写真1に示す。カラム1・2では褐色物質が析出した。カラム出口側におけるpHおよび金属類のうち特に高濃度で含有されているFe・Mn・Zn濃度の経時変化について、間隙置換回数(PV)で整理した結果を図2に示す。カラ

キーワード アルカリバリア, 浄化, 中和, 酸性地下水, 炭酸カルシウム, 透水性
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設株式会社
TEL : 080-9579-4309 E-mail : hrosni00@pub.taisei.co.jp

ム1・2ともにカラム3よりも長期間高いpHを維持しており、炭酸カルシウムによる中和効果が確認された。Feについては、カラム出口側のpHが4程度になるまでは検出されず、水酸化鉄として析出してカラム1・2が褐色化したと考えられる。Mn・Znについては、すべてのカラムでFeに比べて破過が早く、一時的に地下水濃度よりも高い値を示すことから固定化分が再溶出した可能性も考えられるため、沈殿物として地盤間隙中に固定された量は少ないと考えられた。また、本実験条件においては2液合成品と鉱物破砕品の金属固定化量に有意な差は見られなかった。なお、 SO_4^{2-} についても通水前後で大きな変化は見られず、石膏としてカラム内に析出した可能性は低かった。

地下水通水前後における各カラムの透水係数を表3に示す。すべてのカラムで透水係数は大きく変化せず、本実験条件ではアルカリバリアによる原位置浄化が地盤の透水性へ与える影響は小さかった。

4. バリア厚さと透水性変化の関係

帯水層中で炭酸カルシウムを合成する方法では、薬液の注入量や濃度を調整して炭酸カルシウムの析出範囲、つまりバリアの厚さをコントロールできる。実験の結果から、地盤間隙中に蓄積した沈殿物は主にFeであると考えて、カラム1とカラム3のFe溶出量の差分からカラム1における固定量を算出したところ160mgであった。実流速50cm/dayのサイトでFeの溶出を10年間抑制するバリアを構築する場合を想定すると、地盤の単位断面積あたり150kg/m²の炭酸カルシウムが必要であり、主に水酸化第二鉄として析出するとして10年間で47kg/m²であると算出された。炭酸カルシウムと水酸化第二鉄の真比重を2.0と仮定し、中和処理に伴う炭酸カルシウムの消費を無視した場合のバリア厚さと透水係数の低下率の関係を図3に示す。透水係数の低下率の算出にあたってはTerzaghiの透水係数推定式³⁾を用いた。バリア厚さを5m確保することで透水係数の低下率を25%程度とすることができ、沈殿物形成による経年的な透水性の低下を抑制できる可能性が示唆された。

5. まとめ

カラム内の模擬地盤にアルカリバリアを構築して酸性地下水を通水し、通水前後の透水性変化を評価して溶存金属類の固定化量との関係について考察した。得られた知見を以下に示す。

- ・本実験条件では、中和処理による沈殿物の地盤透水性への影響は小さかった。
- ・中和処理により地盤間隙中に蓄積した沈殿物は主にFeであり、炭酸カルシウム1gで160mgのFeを固定できた。
- ・適切なバリア厚さを確保することで、沈殿物形成による経年的な透水性の低下を抑制できる可能性が示唆された。

参考文献

1) 遠藤祐司ら (2014) : 坑廃水のパッシブトリートメントの概要とその適用, 北海道地質研究所報告, 第86号, pp.25-35.
2) 廣岡真一ら (2022) : 有害金属を含む酸性地下水の中和処理技術に関する実験的検討, 第27回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, pp.60-62.
3) 最上武雄 (1969) : 土質力学, 技術堂出版 (株), pp.893-940.



写真1 地下水通水後

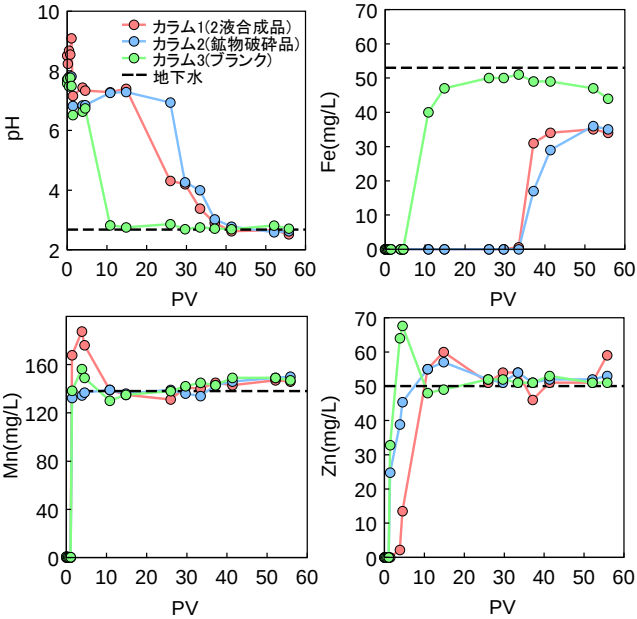


図2 カラム出口におけるpH, Mn, Fe, Znの経時変化

表3 通水前後の透水係数

透水係数 (m/s)	地下水 通水前	地下水 通水後
カラム1	1.9×10^{-5}	1.9×10^{-5}
カラム2	1.6×10^{-5}	1.8×10^{-5}
カラム3	2.2×10^{-5}	2.2×10^{-5}

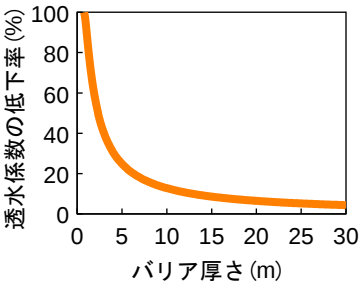


図3 バリア厚さと透水性低下