

酸性地下水の中和処理における析出物の評価

大成建設（株） 正会員 ○廣岡 真一
正会員 根岸 昌範

1. はじめに

鉱さい堆積場等のサイトにおいて、地盤中の黄鉄鉱等の酸化溶解に起因する酸性地下水の発生が報告されている。酸性地下水により地盤中の重金属類の溶出が促進する可能性があることから、微量元素の周辺環境への拡散が懸念される。筆者らは、酸性地下水の浄化方法として炭酸ナトリウム溶液と塩化カルシウム溶液を帯水層に供給して炭酸カルシウムを合成させるアルカリバリアを検討している²⁾。この浄化方法においては、炭酸ナトリウム溶液は塩化カルシウム溶液と反応するだけでなく、酸性地下水とも反応して炭酸塩や中和による水酸化物等の析出物を形成し、局部的に透水性を低下させる可能性がある。

そこで、本研究では鉱さい堆積場の地下水質を模擬した汚染水を炭酸ナトリウム溶液で中和処理した際の析出物の形成量と化学組成を分析した。また、析出物が間隙体積を占める割合を試算し、地盤の透水性の変化に与える影響について簡易的に評価した。

2. 模擬汚染水の中和処理実験

2.1 模擬汚染水の作成

試験で用いた模擬汚染水は、ある鉱さい堆積場で採水した地下水の水質を参考に、希硫酸を用いて pH を調整した蒸留水に対して、 FeSO_4 、 ZnSO_4 、 MnSO_4 、 CaSO_4 、 CdCl_2 、

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 Na_2SO_4 の各試薬を添加して作成した。採水した地下水および模擬汚染水の水質分析結果を表 1 に示す。地下水は pH3 程度の酸性を示し、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。作成した模擬汚染水は無色透明であり、地下水に近い水質となっている。

2.2 実験方法

作成した模擬汚染水をポリプロピレン製の容器に 1L 分取し、ここに濃度 1mol/L の炭酸ナトリウム溶液を添加して中和処理を行った。炭酸ナトリウム溶液の pH は 12 程度であり、添加量を変えて中和処理後の模擬汚染水の pH を表 2 に示すケース 1~5 の 5 段階に調整した。吸引濾過装置を用いて、各ケースで形成した析出物を孔径 130 μm の濾紙上に採取した。採取した析出物の外観を写真 1 に示す。ケース 1 の析出物は褐色に近く、中和処理後の pH が高いケースほど析出物が黒色に近づいた。

2.3 析出物の形成量

模擬汚染水 1L を中和処理した際に形成した析出物の重量を電子天秤で測定した結果を表 3 に示す。中和処理後の pH が高いケースほど析出物の重量が増加する傾向が見られることから、中和処理後の pH が高いほど析出物の形成量が多くなると考えられる。一方で、ケース 5 はケース 4 よりも析出物の重量が減少したことから、高 pH 領域では pH に依存して析出物の結晶性が変化し、水和水の量が増加する可能性がある。また、レーザー粒度計（島津製作所製；SALD-3100）を使用して、各ケースで形成した析出物の粒度分布を測定した結果を図 1 に示す。中和処理後の pH が高いケースほど、大きな粒子径の析出物が増加する傾向が見られた。ここで、沈殿物の粒子を球形とみなし 50% 粒径から粒子の体積を計算すると、最も析出物の重量が小さいケース 1 の粒子の体積と比較して、最も析出物の重量が大きいケース 4 の粒子の体積は 7.3 倍と計算される。以上のことから、中和処理後の pH が高いほど析出物の重量および体積は増加すると考えられる。

表 1 地下水および模擬汚染水の水質分析結果

項目	pH	Fe ^{**}	Zn ^{**}	Mn ^{**}	Ca ^{**}	Cd ^{**}	Pb ^{**}	SO ₄ ^{2-***}
単位	-	mg/L						
地下水	2.8	87	58	150	160	0.048	0.73	1200
模擬汚染水	2.9	83	55	140	130	0.060	0.88	1100

* : ICP 発光分光質量分析計 (Agilent Technologies 製 ; 7700 series) で分析

*** : イオンクロマトグラフ装置 (Waters 製 ; Empower e2695) で分析

表 2 試験ケース

項目	中和処理後の pH
単位	-
ケース 1	6.1
ケース 2	6.9
ケース 3	8.8
ケース 4	9.8
ケース 5	11

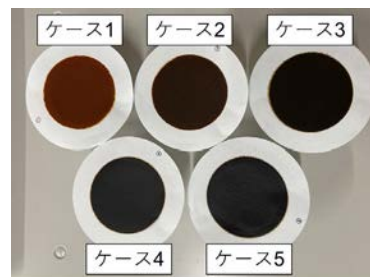


写真 1 析出物の外観

表 3 析出物の重量

項目	析出物の重量
単位	mg
ケース 1	110
ケース 2	180
ケース 3	280
ケース 4	770
ケース 5	680

キーワード 地下水 pH, 中和処理, 析出物, 有害金属, 2液合成

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株） TEL : 080-9579-4309 E-mail : hrosni00@pub.taisei.co.jp

2. 4 析出物の化学組成

得られた析出物を室温 20°Cで 1 日程度静置して自然乾燥させ、化学組成を波長分散型蛍光 X 線分析装置（リガク製；ZSX PrimusII）で分析した結果を表 4 に示す。ケース 1 の pH6.1 では金属類のうち鉄の重量が最も大きく、鉛についても模擬汚染水中の濃度が比較的低いにもかかわらず重量が大きい。写真 1 のようにケース 1 では褐色の析出物が多く見られており、鉄の多くは水酸化第二鉄として沈殿し鉛も共沈したと考えられる。ケース 2 の pH6.9 では亜鉛の重量も増加し析出物を形成したと考えられるのに対して、マンガンは中性領域ではほぼ析出せず、pH8.8 よりアルカリ領域で重量が増加した。ケース 4 の pH9.8 ではカルシウムの重量が増加しており、同時に炭素の重量も増加していることから、高 pH 領域では地下水中のカルシウムイオンを利用して炭酸カルシウムを形成できる可能性がある。また、硫黄の重量はすべてのケースで小さく、石膏は析出しなかったと考えられる。

3. 間隙体積の変化による透水性への影響評価

析出物の形成量が最も多かったケース 4 の測定結果を用いて、炭酸ナトリウム溶液の供給による地盤の透水性の変化を簡易的に評価した。ここでは、本研究で用いた地下水を採水した鉱さい堆積場の透水係数 $5.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、動水勾配 4.0×10^{-2} を用いて、析出物の形成過程における透水係数の経時変化は無視する。

ケース 4 では模擬汚染水 1L あたり 770mg の析出物が形成された。析出物の比重を 2.0 と仮定すると体積は $3.9 \times 10^{-7} \text{m}^3$ である。炭酸ナトリウム溶液の供給期間を 100 日、地盤の間隙率を 30% とすると、この間に地盤中の単位断面面積を通過する地下水流量は 17m^3 であり、形成する析出物の体積は $6.7 \times 10^{-3} \text{m}^3$ となることから、析出物が間隙体積を占める割合は 2.2% と算出される。ここで、Terzaghi の透水係数推定式³⁾を用いて、間隙率を除くパラメータの変化を無視した場合、炭酸ナトリウム溶液の供給の前後で地盤の透水係数は 8.3% 低下すると算出され、析出物の形成による地盤の透水性の変化は小さいと推測された。

4. まとめ

本研究では、鉱さい堆積場の地下水を模擬した汚染水を炭酸ナトリウム溶液で中和処理し、中和処理後の pH に応じた析出物の形成量および化学組成を分析した。また、地盤間隙での析出物の形成による地盤の透水性の変化について簡易的に評価した。得られた知見を以下に示す。

- ・中和処理後の沈殿物の粒度分布は pH に応じて異なり、pH が高いほど形成する析出物の重量および体積が増加する傾向が示唆された。
- ・酸性の汚染水を炭酸ナトリウム溶液により中和処理を行うと、鉄・鉛・亜鉛は中性領域で、マンガン・カルシウムについてはアルカリ性領域で析出物を形成した。
- ・本研究で用いた汚染水の中和処理による析出物が、鉱さい堆積場の透水性に与える影響は小さいと試算された。

今後は、帯水層中に形成したアルカリバリアの分布状況の把握、バリア形成後の経年的な地盤の透水性の変化についての評価等、実用化に向けた詳細な検討を行う予定である。

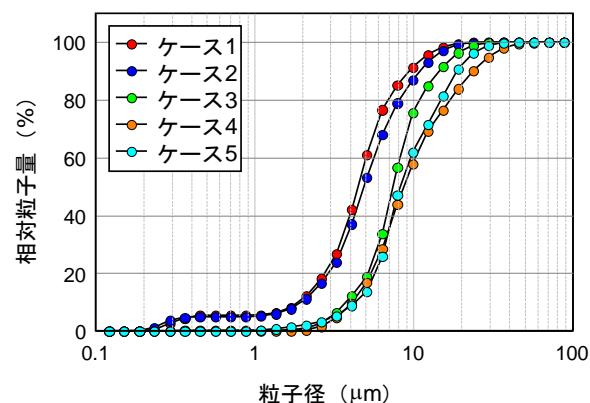


図 1 析出物の粒度分布の測定結果

表 4 析出物中の各元素の重量分析結果

項目	Fe	Zn	Mn	Ca	Cd	Pb	S	C	O
単位	mg								
ケース 1	41	2.8	0.32	0.29	N.D.	0.49	1.5	5.9	58
ケース 2	54	23	2.9	0.79	N.D.	0.53	1.6	7.4	90
ケース 3	48	29	40	4.7	N.D.	0.63	2.1	14	140
ケース 4	62	35	110	81	N.D.	N.D.	1.4	41	440
ケース 5	46	25	80	89	N.D.	N.D.	N.D.	39	390

N.D. : 測定装置の定量下限値未満であることを示す

参考文献

- 1) 遠藤祐司, 萩野激, 野呂田晋 (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, 根岸昌範, 海野円 (2021) : 酸性地下水の浄化に対する炭酸カルシウムの適用性の評価, 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会講演集, III-361.
- 3) 最上武雄 (1969) : 土質力学, 技報堂出版 (株), pp.893-940.