

鉄酸化細菌を用いた酸性水の浄化実験について

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム ○大日向昭彦
岡崎 健治
倉橋 稔幸

建設発生土を仮置きすると、黄鉄鉱が雨水と反応するなどして酸性水を発生させることがある。これらの酸性水では鉄分が中和処理の障害となっており、多くの手間と費用を要している。そこで、筆者らは鉄酸化細菌が溶存鉄(二価鉄)を体内に蓄積する能力に着目し、カラムに鉄酸化細菌を層状に充填し浄化材を設け酸性水を通水させ、酸性水中の溶存鉄(二価鉄)を取り除く浄化実験を行った。その結果、酸性水中の溶存鉄(二価鉄)の9割程度を低減させることが可能であることを明らかにした。

キーワード：建設発生土、酸性水、中和処理、鉄酸化細菌、溶存鉄(二価鉄)

1. はじめに

トンネル掘削工事等の建設発生土中に黄鉄鉱をはじめとする硫化鉱物が含まれている場合、硫化鉱物が大気中の酸素や雨水と接触することで酸化・分解反応が起こり、酸性水を発生させることがある¹⁾ (図-1)。その酸性水には鉄分が多く溶存し、沈殿物が石灰石に付着するなどして中和処理の障害となっている。そのため、その処理に多くの手間と費用を要している。

そこで、筆者らは資源やエネルギーをできるだけ消費せず、自然の浄化作用により経済的に酸性水を浄化する手法として鉄酸化細菌に着目した。鉄酸化細菌とは、水中に溶存する二価鉄を酸化して三価鉄とし、これを体内に沈積する能力を持った細菌である²⁾ (図-2)。この能力を活用することで酸性水中の溶存鉄(二価鉄)を低減し水質を浄化する技術の開発を目指している。

本報告では、鉄酸化細菌をカラムに充填し浄化材を設け、酸性水の溶存鉄浄化実験を行い、鉄酸化細菌の溶存鉄低減能力を分析した結果について報告する。

2. 実験方法

(1) 試料採取

実験に使用した溶媒(酸性水)として、道南の鉱山跡地から採水した。表-1に示すように酸性水の水素イオン指数(pH)は1.8、電気伝導度(EC)は650mS/m、二価鉄濃度は128mg/Lであった。一方、鉄酸化細菌は道央のトンネルで採取した(図-3)。鉄酸化細菌は菌種により独特の外観を形成する特徴がある。「工業用水中の鉄細菌の存在を顕微鏡によって定性的に判定する試験方法(JIS K 0350-80-10)」を用いて菌種を同定したところ、表-2に示すようにリボンをねじったような形状のガリオネラ(図-4(左

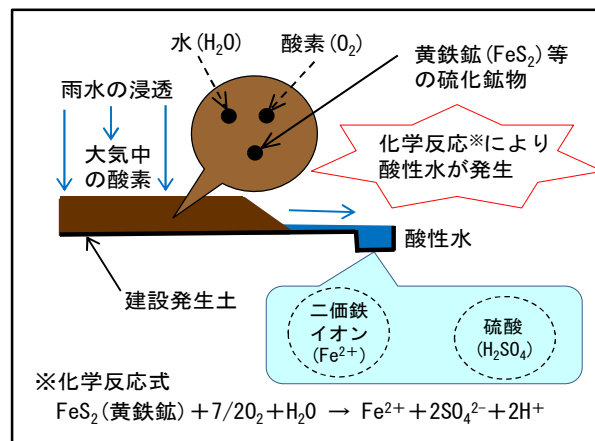


図-1 建設発生土における酸性水発生概念図

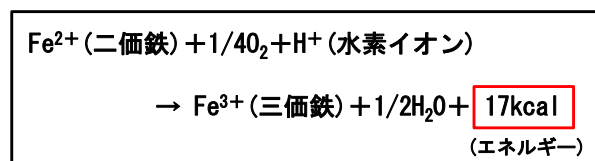


図-2 鉄酸化細菌の作用

鉄酸化細菌は二価鉄を三価鉄に酸化し、体内に沈積させる。細菌は、その時に発生するエネルギーを利用して生育する。

表-1 溶媒(酸性水)の水質

水素イオン指数 (pH)	1.8
電気伝導度 (EC)	650mS/m
二価鉄濃度	128mg/L



図-3 鉄酸化細菌の培地

表-2 顕微鏡観察による菌種の同定結果

菌種	ガリオネラ (Gallionella)	シデロコッカス (Siderococcus)
出現頻度	+++	+

《凡例》
 +++ : 非常に多く出現する(顕微鏡のすべての視野に数個体以上)
 ++ : 多く出現する(顕微鏡のすべての視野に1個体以上)
 + : 出現する(顕微鏡の幾つかの視野に散見)
 - : 出現しない

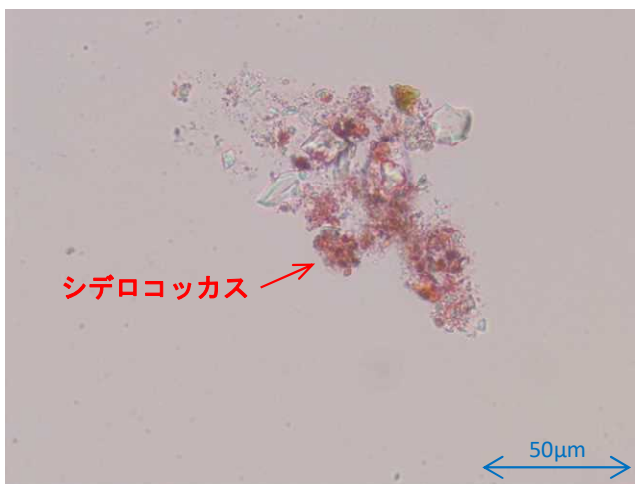


図-4 鉄酸化細菌の顕微鏡写真(左:ガリオネラ、右:シデロコッカス)

))のほか、小球形の細胞が不規則に集まり小さな集塊状となるシデロコッカス(図-4(右))が散見された。

(2) 浄化実験方法

本浄化実験は、「ISO/TS 21268-3 上向流カラム通水試験」を準用して実施した。実験装置は図-5に示すように、溶媒タンク、ポンプ、カラム、採水タンクで構成される。実験条件を表-3に示す。まず、カラムに母材である珪砂5号450gと浄化材である鉄酸化細菌の培地45g(湿潤重量)を充填した。鉄酸化細菌の培地45g(湿潤重量)は供試体の底部及び中間部の2層に分け(22.5gずつ)投入した。次に溶媒(酸性水)をカラム下端から12mL/hの速度で通水し、液面がカラムの上端に達し珪砂5号が湿潤したことを確認した後、ポンプを停止し72時間静置した。その後、12mL/hの速度で累積液固比(L/S) (L:酸性水の累積通水量 [mL]、S:珪砂5号の充填量 [g])が20(累積通水流量9,000mL)になるまで酸性水を継続して通水した。累積液固比(L/S)が5(2,250mL), 10(4,500mL), 15(6,750mL), 20(9,000mL)となった時にカラムを通過した浸出液を採水し、それぞれ検液として水質分析を行った。なお、ケース1

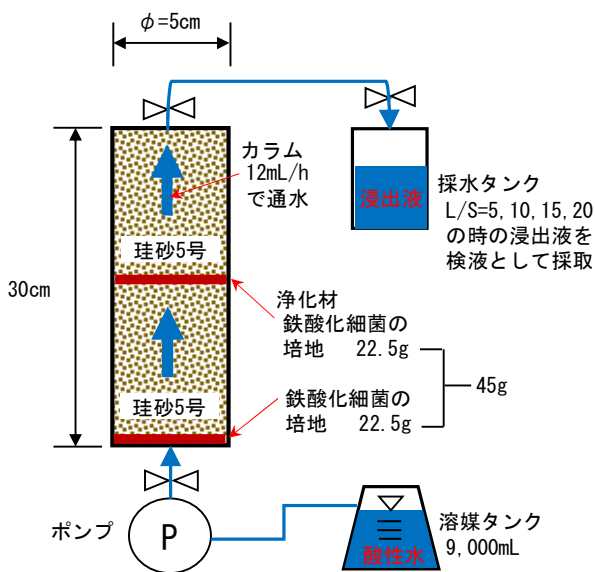


図-5 浄化実験装置の模式図

の常温(20°C)とケース2の低温(5°C)の2つの温度条件に分けて実験を行った。

(3) 水質分析方法

浸出液の水質分析は、表-4に示す溶解性の二価鉄濃度、水素イオン指数(pH)及び電気伝導度(EC)を測定した。まず、二価鉄濃度は、0.2μmメンブランフィルターで濾過した検液50mLに、硝酸が4%になるように添加したものを分析試料とし、ICP発光分光分析法(JIS K0120 57.4)で行った。次に、水素イオン指数(以下、pHと略す)は、0.45μmメンブランフィルターで濾過した検液を、ガラス電極法(JIS K0120 12.1)により分析した。続いて、電気伝導度(以下、ECと略す)は、0.45μmメンブランフィルターで濾過した検液を、白金黒極法(JIS K0120 13)により分析した。ECは水中での電気の通しやすさを表す指標で、水中に溶存する総イオン量が多い程、電気は通りやすく値が大きくなると予想される。

3. 実験結果と考察

(1) ケース1(常温(20°C))の実験結果

ケース1(常温(20°C))の実験結果を図-6~図-8に示す。まず、図-6に示す二価鉄濃度について、初期値128mg/Lであった酸性水が、累積液固比5(2,250mL通水時)では7.4mg/L、累積液固比10(4,500mL通水時)では8.2mg/L、累積液固比15(6,750mL通水時)では7.2mg/Lとなり、通水終了時の累積液固比20(9,000mL通水時)でも5.4mg/Lに低減されていた。累積液固比20(9,000mL通水時)の二価鉄除去率は96%であり、通水流量が増加しても9割程度の二価鉄が安定して低減されていることが確認された。二価鉄が低減された要因としては、図-2に示す鉄酸化細菌の作用により、溶解性の二価鉄が三価鉄となり鉄酸化細菌に沈積し、酸性水中の二価鉄が減少したことが考えられる。続いて、図-7に示すpHについては、初期値1.8であった酸性水が、累積液固比5(2,250mL通水時)では2.3に、累積液固比10(4,500mL通水時)では2.1に、累積液固比15(6,750mL通水時)及び累積液固比20(9,000mL通水時)では2.0となった。初期状態と比較し、全体的に僅かに上昇する傾向が確認された。これは図-2に示す鉄酸化細菌の作用により、二価鉄が三価鉄に酸化される際に水素イオンが消費される。このため、酸性水中の水素イオンが減少し、pHが上昇したものと考えられる。最後にECについては、図-8に示すように初期値650mS/mであった酸性水が、累積液固比5(2,250mL通水時)では331mS/mに減少した後、累積液固比10(4,500mL通水時)では451mS/mに、累積液固比15(6,750mL通水時)では501mS/mに、累積液固比20(9,000mL通水時)では512mS/mに微増した。ただし、初期状態と比較すると全体的に低下する傾向が確認された。これは図-2に示す鉄酸化細菌の作用により、二価鉄が三価鉄に酸化される際に水素イオンが消費される。

表-3 カラム試験条件

カラムの大きさ	直径：50mm 長さ：300mm
カラム充填材	母材：珪砂5号(平均粒径0.4mm)450g 浄化材：鉄酸化細菌の培地45g(湿潤重量)
溶媒	酸性水9,000mL
通水速度	12mL/h
採水頻度	液固比(L/S)5、10、15、20
温度条件	ケース1：常温(20°C) ケース2：低温(5°C)

表-4 浸出水の水質分析方法

水質分析項目	試験方法
二価鉄濃度	ICP発光分光分析法(JIS K0120 57.4)
水素イオン指数(pH)	ガラス電極法(JIS K0120 12.1)
電気伝導度(EC)	白金黒極法(JIS K0120 13)

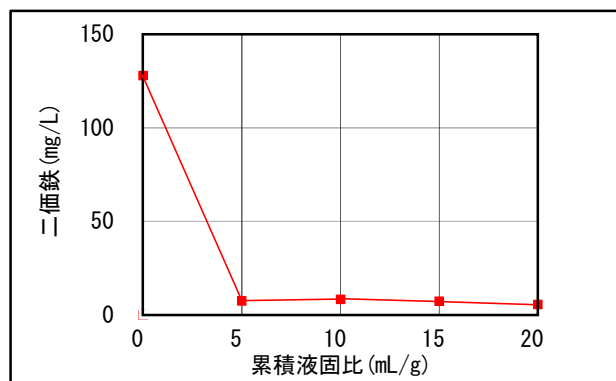


図-6 ケース1(常温(20°C))の二価鉄濃度の変化

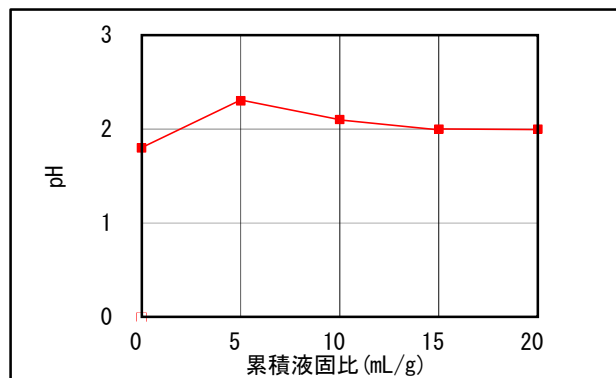


図-7 ケース1(常温(20°C))のpHの変化

水素イオンが消費され、酸性水中の総イオン量が減少し EC が低下したものと考えられる。

(2) ケース 2 (低温 (5°C)) の実験結果

ケース 2 (低温 (5°C)) の実験結果を図-9~図-11 に示す。まず、図-9 に示す二価鉄濃度について、初期値 128mg/L であった酸性水が、累積液固比 5 (2, 250mL 通水時) では 15.4mg/L、累積液固比 10 (4, 500mL 通水時) では 8.9mg/L、累積液固比 15 (6, 750mL 通水時) では 6.6mg/L、通水終了時の累積液固比 20 でも 5.2mg/L に低減されていた。累積液固比 20 (9, 000mL 通水時) の二価鉄除去率は 96% であり、ケース 1 (常温 (20°C)) と同様に、通水終了時まで 9 割程度の二価鉄が継続して低減されていることが確認された。続いて、図-10 に示す pH については、初期値 1.8 であった酸性水が、累積液固比 5 (2, 250mL 通水時) では 2.4 に、累積液固比 10 (4, 00mL 通水時) 及び累積液固比 15 (6, 750mL 通水時) では 2.1 に、累積液固比 20 (9, 000mL 通水時) では 2.0 となった。ケース 2 (低温 (5°C)) もケース 1 (常温 (20°C)) と同様に、全体的に初期状態から僅かに上昇する傾向が確認された。最後に EC については、図-11 に示すように初期値 650mS/m であった酸性水が、累積液固比 5 (2, 250mL 通水時) では 314mS/m に減少した後、累積液固比 10 (4, 500mL 通水時) では 429mS/m に、累積液固比 15 (6, 750mL 通水時) では 472mS/m に、累積液固比 20 (9, 000mL 通水時) では 485mS/m に微増した。ただし、こちらもケース 1 (常温 (20°C)) と同様に、初期状態と比較し全体的に低下する傾向が確認された。

(3) 常温条件と低温条件の比較

まず、初期値 128mg/L であった二価鉄濃度について、通水終了時の累積液固比 20 (9, 000mL 通過時) では、ケース 1 (常温 (20°C)) の場合 5.4mg/L に、ケース 2 (低温 (5°C)) の場合 5.2mg/L となり、ともに酸性水中の 96% の二価鉄が除去された。続いて、初期値 1.8 であった pH については、累積液固比 20 (9, 000mL 通過時) では、ケース 1 (常温 (20°C)) とケース 2 (低温 (5°C)) の場合、ともに僅かに上昇し 2.0 となった。最後に、初期値 650mS/m であった EC については、累積液固比 20 (9, 000mL 通過時) では、ケース 1 (常温 (20°C)) の場合 512mS/m に、ケース 2 (低温 (5°C)) 場合 485mS/m となり、どちらも 150mS/m 程度減少した。以上の結果から、二価鉄濃度、pH 及び EC は、常温 (20°C) と低温 (5°C) の温度条件にかかわらず、同様の傾向を示すことが確認された。

4. まとめ

カラム内に鉄酸化細菌による浄化材を設け酸性水を通水し、溶存鉄浄化実験を行った結果、鉄酸化細菌の溶存鉄低減能力について、以下の知見を得た。

- ・ガリオネラを主体とする鉄酸化細菌により、常温 (20°C) と低温 (5°C) の温度条件ともに、酸性水中の溶存鉄

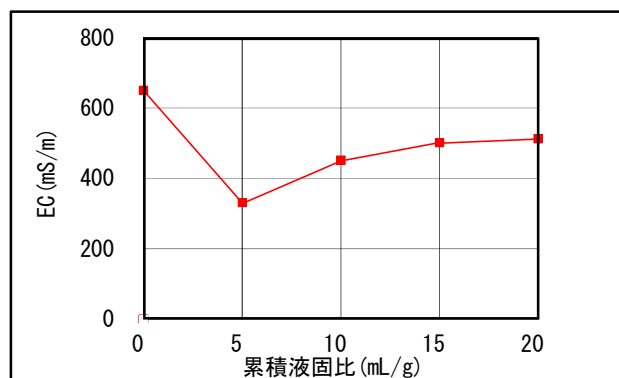


図-8 ケース 1 (常温 (20°C)) の EC の変化

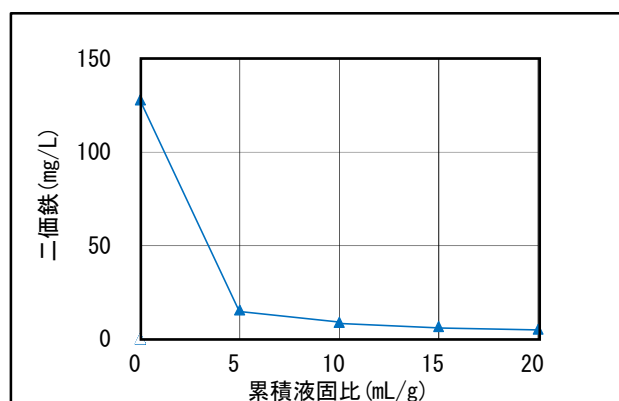


図-9 ケース 2 (低温 (5°C)) の二価鉄濃度の変化

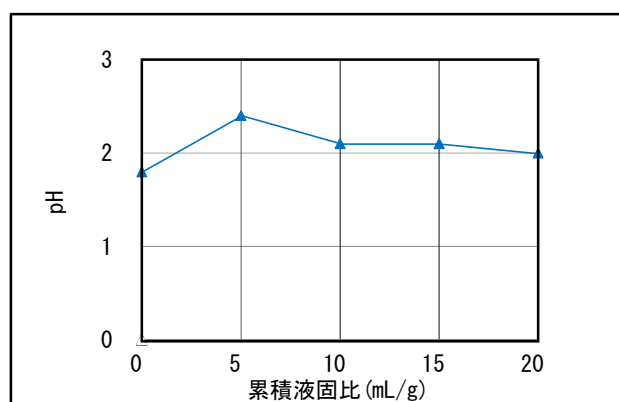


図-10 ケース 2 (低温 (5°C)) の pH の変化

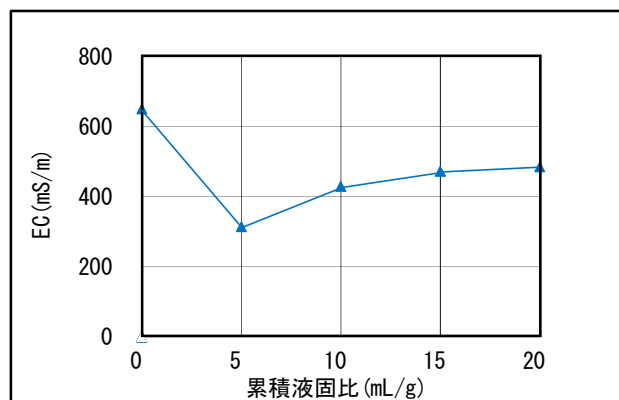


図-11 ケース 2 (低温 (5°C)) の EC の変化

(二価鉄)の9割程度を累積液固比20(9,000mL通水時)まで継続して低減させることが可能である。

- ・ガリオネラを主体とする鉄酸化細菌は、低温(5°C)の温度条件においても、常温(20°C)と同程度の溶存鉄低減能力を有する。

今後は薬剤を使用せず、天然資源を活用して酸性水を中和処理する方法を検討し、鉄酸化細菌による溶存鉄低減手法と組み合わせ、自然の浄化作用を活用した経済的

な酸性水処理技術を開発する予定である。

参考文献

- 1) 五十嵐敏文, 大山隆弘, 斎藤典之 : 黄鉄鉱を含む堆積岩の溶出水酸性化ポテンシャルに関する実験的検討, 応用地質, 第42巻, 第4号, pp. 214-221, 2001
- 2) 小島貞男, 須藤隆一, 千原光雄 : 環境微生物図鑑, 講談社, pp. 3-5, 1995