

鉄バクテリア法による地下水中のマンガン除去を支配する要因の検討

大阪産業大学 ○郭 ギョウ・菅原正孝・濱崎竜英・岩崎元・魏明林
京都大学 藤川陽子

1. はじめに

鉄バクテリアは地下水等に棲息し、鉄・マンガンを酸化するバクテリアの総称である。鉄バクテリア法（以下、鉄バク法）とは地下水を生物ろ過塔に連続通水し、鉄バクテリアをろ過層上に定着・繁殖させ、溶解性の鉄とマンガンを酸化させる。酸化された鉄やマンガンは粒子状物質として菌体またはろ材上に物理的に沈積し、物理的にろ過・除去される。地下水中の砒素は連続的に生成する鉄の酸化物（鉄バクフロック）上に、吸着・除去される。

2. 研究目的

本研究は2004年度以来、京都府下で実施してきた一連の鉄バク法パイロット試験の2010年度の結果に関連し、特にマンガン除去を支配する要因の解明を目指す。2010年度は、当初、砒素の除去率を向上させることを目標として試験を開始したが、その中で従来と比べてマンガン除去率の著しい低下が認められた。そのため並行してベトナムで実施しているパイロット実験の結果についても考察し、日本のパイロット試験におけるマンガン除去率の向上方策について検討を行った。

3. 京都府下でのパイロット実験方法と結果

2007年10月より、直径300mmの大口径カラムに軽石ろ材を充填し、LV 150m/day、ろ材高を1.5mとして、原水を連続的に通水させるパイロット試験を開始した。2008年10月からは、LVを600m/dayに変更した。生物ろ過塔内への溶存酸素（DO）供給は、コンプレッサによる強制送気によって行った。2010年10月からはろ材を洗浄したうえで再度ろ過塔に充填した上で、コンプレッサ送気に代えて原水を落水曝気するための調整槽を設置し、11月から、通水を再開した。調整槽の中では曝気により鉄バクフロックが繁殖し、一部はそのまろ過塔へ流れ込むため、今後、ろ過塔の逆洗ポンプの負荷軽減について工夫が必要と見られた。地下水をポンプでくみ上げ着水井に貯留しているものを原水、生物ろ過塔を通過後のものを処理水とし、中間処理水として、曝気後の調整槽、生物ろ過塔の上部・下部より採水を行った。水質観測項目としては、全鉄、砒素、マンガン、アンモニア性窒素等とした。

2010年度の向日市のパイロット実験の砒素とマンガンの除去率を図1に示す、前期は6月25日—9月15日まで、後期は11月30日—2011年1月6日までの期間を指す。途中の2ヶ月間はパイロット装置を改装したため、一旦、運転中止になっていた。日本でのパイロット試験では2009年度末から2010年度の試験において、従来成立していたマンガンの除去が認められず、マンガンの平均除去率は1.2%となった。2010年度前期の試験では、原水ポンプの目詰まりが起こり、全般に流量が低下したうえに、流入するフロックのために、逆洗が正常に行われなくなった状態であった。そのため通常マンガン除去の起こる中の下付近のろ過層においても、ろ材表面が絶えず老化した鉄バクのフロックで覆われている状態となっていると見られた。マンガン酸化は、マンガン酸化菌の定着したろ材表面もしくは新鮮な鉄バクフロック上で起こるが前期の濾過塔の状態は、マンガン酸化に不適切な状態であった。さらに曝気のためのコンプレッサが度々停止し、好気性菌であるマンガン酸化菌の繁殖に不利な環境になった。その状況が続く中でマンガン酸化菌の活性が低下した可能性がある。後期の試験においてははまだマンガン除去の発現が認められておらず経過を見ているところである。

4. ベトナムでのパイロット実験方法と結果

キーワード 鉄バクフロック、鉄バクテリア、マンガン、砒素、地下水汚染、パイロット実験

連絡先 〒575-8530 大阪府中垣内3-1-1 大阪産業大学新産業開発センター環境準備室 TEL 072-875-3001(7824)

ベトナム・ハノイにおけるパイロット実験プラントは、向日市で運転している実機と同じ構造であり、直径 200 mm のカラムに、レンガを破碎して粒径 2~3mm となるようにふるったものをろ材として充填した。ろ材の高さは 1m 弱であり、原水を落水曝気後 LV100m/day で、2009 年 11 月 4 日より、通水を開始した。不定期な停電による通水停止があるため、運転時間を積算タイマーで積算し、合計 12 時間運転する毎に逆洗を行うように設定した。通水開始後 120 日目に地下水位の低下が確認されたため、それ以降は 1 時間通水し 3 時間通水停止するという間欠運転に切り替えた。

今年度のベトナムのパイロット実験の結果を図 2 に示す。全砒素の除去率は、8 割以上に維持されている。

ベトナムのマンガンの除去については、通水開始から 60 日目ごろより除去率 60% 程度で除去が起こっている。その後途中原水中にマンガンが検出されない時期が続き、再び 300 日目以降に原水にマンガンが検出された。除去率は 40%-60% 程度と高くはないが、京都府下での試験と比べてマンガン除去が順調に起こっている点が注目し値する。

鉄とマンガンでは鉄の方が酸化されやすいため、ろ層に同時に入った鉄・マンガンのうち、鉄はろ層上部で酸化され、マンガンは鉄より下層まで流下した後に酸化されることが知られている。さて、マンガン酸化菌の繁殖には高濃度の DO が必要である。ベトナムでの落水曝気による DO は 4mg/L 程度であるが、ベトナムでの原水中の鉄濃度は 10mg/L と高濃度である。生物酸化により水酸化鉄が生成されるとすると、理論的には約 2mg/L の DO が消費される。その結果ベトナムでのろ過塔内の DO は 2mg/L 内外となるが、より DO 供給を高めてマンガン酸化の起こるろ層部分を好気的な条件に保つことで、ベトナムのろ過塔ではマンガン除去率がさらに向上する可能性もある。

ベトナムでのパイロット試験でマンガンの除去において比較的良い結果が出られた原因は、間欠運転や停電による通水停止の効果という可能性も考えられる。すなわち、マンガン酸化菌は水の中に懸濁するよりも固体表面に定着して繁殖する性質がある。過去の本研究グループの研究で、ろ層での流速を低くすることでマンガン酸化菌のろ材への定着を促す効果があることが判っている。ベトナムでは間欠運転や、不定期な停電による通水停止時はろ過塔の中には原水が残ったままである。そのような静的な条件下でろ材へのマンガン酸化菌の定着が促進された可能性がある。また、それ以外に水中の微量成分の影響も考えられ、現在検討中である。

5. 結論と今後の展開

今年度の向日市のパイロット実験の結果から、鉄バク法におけるマンガン酸化の阻害要因として、ろ層の逆洗不足によるろ層の閉塞、曝気不全による低 DO 環境の持続によるマンガン酸化菌の活性低下が考えられた。逆に、ベトナムのパイロット試験の事例からは、ろ過塔への通水を時々停止もしくは間欠的な運転を行うことで却ってマンガン酸化菌のろ材への定着が促進される可能性があることが判った。

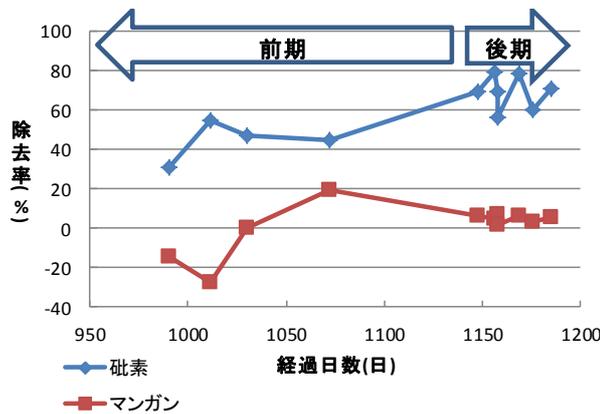


図 1 パイロット実験での全砒素・マンガンの除去率の推移

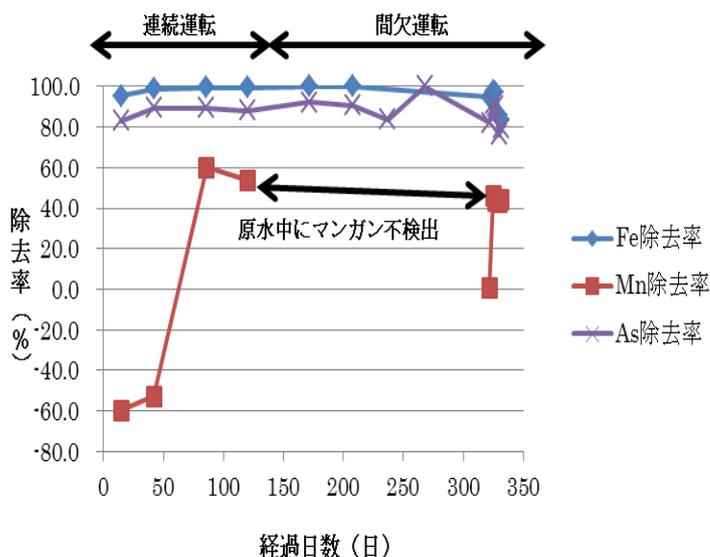


図 2 ベトナムのパイロット実験での鉄・砒素・マンガンの除去率推移