

炭素繊維における水利用技術への活用とその市場性

小暮 幸雄 (特非) 炭素繊維水利用工法研究会 会長

〒 370-0018 群馬県高崎市新保町 1665-1, Tel : 027-384-3445, Fax : 027-352-4875, E-mail : kogure@cfma.jp

1 はじめに

炭素繊維は、軽くて強く腐食しないという優れた特長から、様々な工業製品に幅広く使われ活況を呈しているが、炭素繊維のもう一つの大きな特長に生物親和性が高いことがある。素材がほぼ炭素であり、表面積が大きく、電気抵抗が小さい等の理由により細菌類・微生物が好んで付着して活性化する。炭素繊維水利用技術は、炭素繊維の物理化学的特性と生物親和性に着目し、20年ほど前より産学官連携事業にて研究が開始され、その成果として炭素繊維水質浄化材が誕生した。汚染された河川や湖沼に設置するだけで水質浄化が図られるため、環境団体などにより設置開始され、多くのフィールドにて水質浄化効果が実証されている。その効果は、テレビや新聞などメディアにも取り上げられ、国や地方自治体による公共工事にも採用が開始された。さらに、海外からも注目され、中国など環境破壊の進行する発展途上国での導入が進んでいる。近年では、排水処理設備にての活用も開始され、パッシブで持続可能な水処理技術としてその幅広い応用が期待される。そこで、今後の炭素繊維水利用の可能性と市場性を考える。

2 水質浄化のしくみ

水質浄化材に用いられる炭素繊維は、PAN系炭素繊維のトゥタイプを用いて造られている。一般製品との違いは、水利用炭素繊維の表面処理が、水溶性サイズ剤にて施されていることだ。これは、通常の炭素繊維が樹脂等により固化して高強度材料を得るのとは対照的に、水

質浄化材は水中で全てのフィラメントがばらけ広がるようにするためである。炭素繊維の微細フィラメントの各々が、軽く高弾性であることから、広がったフィラメントは水中で縮んだり固まったりせずに漂い、揺れることができる。さらに炭素繊維表面に、凹凸があることから総体的に表面積が大きく、電気抵抗が小さいため炭素繊維には多くの物質が付着・吸着される。水中の汚染物質はもちろん、細菌類や微生物も好んで付着して、離れづらいため固着する。固着した微生物類は、集まる汚染物質を餌として活発に増殖を行い、結果として汚染物質は分解除去され、水質浄化メカニズムが炭素繊維表面において構築される。

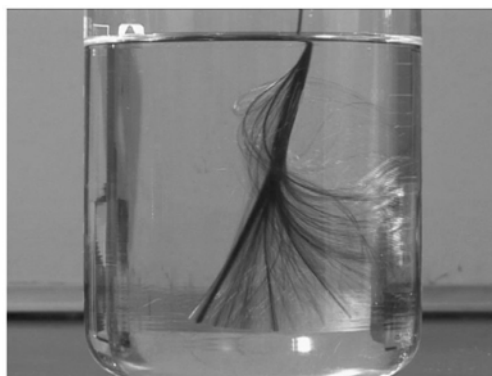


写真1 炭素繊維の水中での広がり

2.1 微生物付着メカニズム

炭素繊維の生物親和性は、他の化学繊維や合成繊維に比べ微生物の付着量が多く剥離しにくく、かつ付着微生物が活性することは、多くの実験等により確認されてい

る。そして、ついに近年の研究によりその付着メカニズムの科学的根拠が明らかになった。

炭素繊維と他の繊維との微生物細胞付着の比較研究によると、水中では繊維類表面と微生物細胞表面の電位は、全て負電荷に帯電している。そのため、水中での両者は（負-負）の関係にあり反発力が働き付着しづらい。しかし、炭素繊維の負電荷は、他の繊維に比べて小さいことから、炭素繊維には電氣的抵抗がなく微生物類が付着しやすい。また、全ての物質には分子間力と呼ばれる互いに引き合う相互作用が働くが、水中では炭素繊維と微生物間に働くこの相互作用が、他の繊維と微生物との間に働く相互作用より強い。微生物細胞および各繊維の表面電位、およびこれらの相互作用を算出し、微生物が各繊維に付着する際に生じるエネルギーを計算すると、炭素繊維以外の繊維と微生物が付着する際にはエネルギー障壁があるが、炭素繊維に微生物が付着する際には、このエネルギーの障壁が存在しない。そのため微生物が、他の繊維に付着するには、エネルギー障壁を越えなければならず時間がかかるが、炭素繊維に対してはエネルギー障壁がないため、微生物は素早く容易に付着することができる。さらに、窒素を分解除去する働きを持つ硝化細菌と呼ばれる微生物も、炭素繊維によく付着することを明らかになっている。

これら付着メカニズムは、水中の有機物や栄養塩類など様々な物質に対しても同様であり、炭素繊維には水中の汚染物質が付着しやすい。付着した汚染物質は、合わ

せて付着する微生物細胞の生物活動により捕食分解される。炭素繊維の微細なフィラメント間には、大量の微生物が固着し、増殖を活発に行うことから有機物や栄養塩類などの汚染物質は分解除去され水質浄化される。この作用を排水処理に利用すれば、他の物質により製造された生物処理用接触材に比べ、炭素繊維を接触材に用いれば、微生物が活性化されるため処理機能は向上する。

2.2 炭素繊維の揺れ

炭素繊維は、軽く高弾性であることから、水中においても長い繊維形態のまま漂い、僅かな水の動きにて揺れることができる。この炭素繊維の揺れにより、水中の汚染物質や微生物類を捕捉し付着させる。また、炭素繊維は、微細フィラメントの集合体であることから、フィラメント間に大量の汚泥を固着し保持する。

炭素繊維水質浄化材を排水処理で用いる活性汚泥中に入れると、微生物の集合体である汚泥が大量に付着し、汚泥塊が形成され長期にわたり維持される。この汚泥塊の特長は、内部に好気性相と嫌気性相が混在していることで、汚泥塊内部の物質移動が通常の微生物膜内のそれと比較して数百倍も大きい。この物質移動は、炭素繊維の揺れによる対流によって行われ、ネットポンプ運動といわれる変形-回復の繰り返し運動を行っている。この形状維持力やネットポンプ運動は、炭素繊維の持つ高い弾性率によると考えられる。

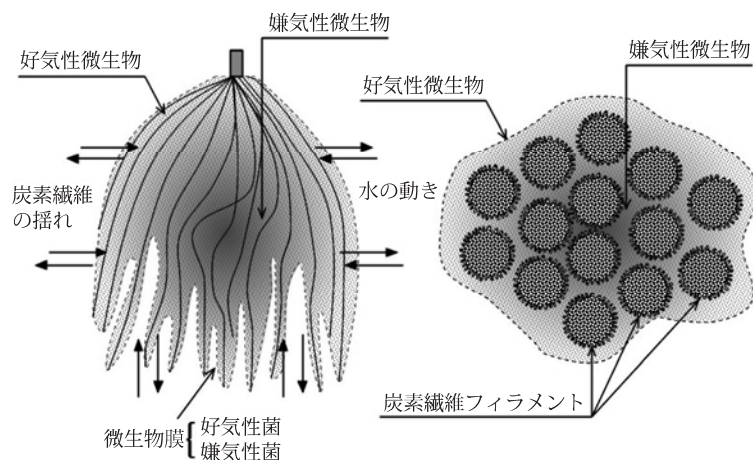


図1 炭素繊維揺れのメカニズム

水質浄化に炭素繊維を用いる利点として、以下があげられる。

- ①汚染物質の補足効果が高い
- ②微生物活性化により分解処理速度が速い
- ③余剰汚泥の発生が少なく、剥離し難い
- ④硝化菌の付着により脱窒効果が大きい
- ⑤エネルギーコスト、環境負荷が少ない

炭素繊維による水質浄化は、透視度 (SS) の改善、COD および BOD の低減に効果があり、全窒素 (T-N) および全リン (T-P) に関しても改善の効果が数値的に確認されている。

3 炭素繊維水質浄化材の適用箇所

炭素繊維水質浄化材は、その特質より様々な汚染物質と微生物類を付着させ、炭素繊維表面上において微生物類の生物活動として水質浄化を図ることができる。微生物類の汚染物質分解除去作用は、有機物を最終的に二酸化炭素と水に分解し、窒素を大気中に拡散さし水中より除去する (図 2)。

3.1 河川、湖沼などの環境水

河川や湖沼の水質浄化は、炭素繊維水質浄化材の開発当初からの主要課題であり、多くのフィールドにて実証されている。河川や湖沼には、本来水を浄化するための土着菌が存在しているが、流入汚染物質の増加により、浄化機能が果たせず水質悪化が進行する。そこで、水中に微生物が付着できる担体を設置し、微生物類を活性化させ汚染物質との接触を図れば、水質浄化機能が復元す

る。これは、河川や湖沼の持つ自然浄化機能の補完補強であり、特に生活排水や尿尿などの都市下水が流入する場合に威力を発揮する。下水中の有機物は、微生物類の増殖に適し、炭素繊維に固着した微生物は活発に捕食共生を行い有機物量を減少させ、硝化菌は窒素を分解除去するため、藍藻類など栄養源を断ち発生を抑制する。

3.2 生物処理用接触材

生活排水や尿尿、工場排水などの水処理の多くは、活性汚泥法を基とした生物処理が主体である。その活性汚泥中に微生物の担体となる接触材を設置すれば処理機能は高まるため、様々な素材の接触材を用いた接触酸化法が行われている。この接触酸化法に、炭素繊維を接触材として設置すれば、その処理機能が著しく向上する。炭素繊維は、設置が容易なため既存排水処理設備に設置すれば簡単に機能向上が図れる。既設排水処理設備への使用例では、穏やかな流れの沈殿分離槽へ設置し、最終放流水の安定化を図る場合が多く見られる。

3.3 人工湿地、ラグーン

中国などでは、排水処理設備の後工程として人工湿地を設け、植生により水質向上を図っているが、この人工湿地に炭素繊維水質浄化材を設置すれば、処理水質の向上が図れる。

また、世界的に見ると、近代的な下水処理施設や工場排水処理設備の完備されているのは先進国のみで、発展途上国では自然の浄化機能に頼るラグーン方式と呼ばれる処理施設が多く存在する。近年、経済発展とともに都

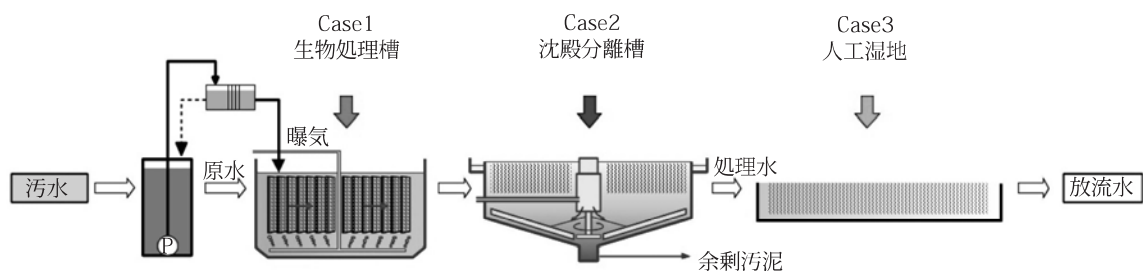


図 2 排水処理設備の設置場所

市化問題が発生し、既存のラグーンには想定を超える下水が流入して処理機能が低下している。このラグーンに炭素繊維水質浄化材を設置することで、処理機能を高める試みが開始されている。

4 炭素繊維水質浄化材の複合技術

炭素繊維水質浄化材は優れた接触材ではあるが、条件により機能しづらい場合もある。その対策として、以下の三手法が考えられる。

①循環曝気 + A (Air)

炭素繊維に付着し有機物等を分解するのは主に好気性菌の働きだが、好気性菌は酸素の少ない環境では活性化しない。水中の溶存酸素の少ない場合には、曝気を行うことが有効である。また、曝気により水を循環させ、炭素繊維に汚染物質を接触させることにより処理効果は高まる。

②微生物供給 + B (Bio)

炭素繊維は、微生物類を付着させやすいが、水中に微生物が居ないあるいは少ない環境では、水質浄化は進行しない。藍藻類などが大量に存在して、水中の動物プランクトンが減少してしまうと、汚濁が進行する一方である。このような場合には、種微生物となる微生物群を供給すると有効である。

③陽イオン供給 + C (Cation)

水中の炭素繊維や汚染物質、微生物類は、負電荷にて帯電しているため、陽イオンを供給して電気的中和を図ると水質浄化は進行する。陽イオンは金属イオンであり、鉄などの金属イオンは、生態系に欠かせないミネラル分でもある。鉄イオンは、水中のリン酸イオンとも反応してリン酸鉄を形成し、植物プランクトンの栄養とならないため藍藻類の増殖を抑制する。通常、金属は水に溶けづらくイオン化しないが、炭素繊維と合わせて設置すると、炭素繊維の電気陰性度が金属より大きいいため容易にイオン化し水中に溶出する。

5 まとめ

炭素繊維水利用技術は、炭素繊維の優れた特性から河川や湖沼などの環境水では、設置するだけで水質浄化が図れ、強制的な水質浄化を行う排水処理設備には容易に機能向上が図れる。その中間に位置する人工湿地やラグーンなどに設置すれば、水質浄化機能を高めることができ、安全で衛生的な水資源確保に資することができる。

これらの効果は炭素繊維の素材特性によるもので、大きなエネルギーや薬剤、維持管理に多額の費用を要しないパッシブで持続可能処理方法である。今後、この機能をさらに高めるため、設計・施工方法や他技術と組み合わせた複合技術を確立することにより、水処理分野における需要は高まり市場は拡大するであろう。

世界的には、多くの発展途上国において経済発展を優先するためインフラ整備が追いつかず、水質汚染と水不足が大きな問題となっている。炭素繊維水利用技術は、これら世界共通の水問題解決の一手法となりうる技術であり、さらに大きな市場となることが期待される。

参考文献

- 1) 「炭素繊維水利用技術設計指針—環境水編—」(特非)炭素繊維水利用工法研究会
- 2) 「炭素繊維軟組織への微生物固着現象を利用した水環境整備技術の開発」成果報告書(財)群馬地方発明センター
- 3) Shinya Matsumoto, Akihito Ohtaki, and Katsutoshi Hori
Environmental Science & Technology (2012) Carbon Fiber as an Excellent Support Material for Wastewater Treatment Biofilms