

上向流木炭浄化法による水質浄化について

River Water Purification by Up-flow Charcoal Bed Contact Treatment Technique

竹田 光一*

Kouichi Takeda*

ABSTRACT; The performance of up-flow Charcoal bed contact treatment plant was experimentally investigated to determine the design-operating parameters and its proper maintenance method to ensure effective purification. Some improvements(e.g., in flow direction, and lower part of tank) have been made on this plants. In this experimental plant, polluted water runs through charcoal bed in the upward direction, which is different from conventional gravel bed contact treatment plant, where contaminated water runs in the horizontal direction. Water-purification test, biological test, and a test on maintenance methods were conducted, with using river water and secondarily treated domestic waste water.

Removal efficiencies of BOD, SS, T-N and T-P were approximately 80%, 90%, 30% and 40%, respectively, at about 30-40 minutes of contact time. Also, it became apparent that the SS removal in influent part of the plant was expected to allow long-term purification without the rapid development of clogging in charcoal bed. The aeration-washing of the charcoal bed with diffuser avoided the deterioration of treatment performance due to the clogging. Therefore, up-flow charcoal bed contact-purification seemed to have a advantage to treat river water polluted.

KEYWORD; river water, contact-purification, up-flow, charcoal, self-purification

1. はじめに

都市化の進展、生産活動の拡大などに伴い、うるおいある快適な河川環境への関心が高まる中で、河川が本来有する親水機能が再認識され、清浄な河川水質の保全が求められるようになっている。野川（多摩川支川）の高水敷に礫間接触酸化法による河川水の直接浄化施設が建設されて以来、河川直接浄化手法が注目を集めている。

上向流木炭接触酸化法は、礫間接触酸化法と同様に、木炭表面への浮遊性物質の接触沈殿と付着生物膜による生物酸化の効果を積極的に利用するため、維持管理が容易でエネルギーをほとんど必要とせずに水質浄化が行える方法である。また、接触材として森林管理において発生する間伐材を有効利用した木炭を用い、さらに使用済みの木炭を堆肥化することにより、水質浄化効果に加え、産業サイクルの副次的効果が期待でき、環境システムの改善に有効に働くものと考えられる。

本報告は、上向流木炭接触酸化法について、良好な浄化効果を維持するために必要な設計操作因子（接触時間など）を明らかにすることを目的としたものである。約1年間にわたる水質調査結果をもとに、(1)実験装置の浄化性能、(2)付着生物膜の性状、(3)設計操作因子の違いによる浄化特性について得られた知見を報告する。

*建設省 近畿地方建設局 近畿技術事務所 Kinki Regional Construction Bureau

2. 実験装置の概要

実験装置は、近畿技術事務所構内に設置し、原水としては、事務所構内の下水2次処理水を主体とする生活排水路汚濁水を一時貯留（滞留時間：約1時間、暗条件）したものを用いた。図1に実験装置の概要を示す。この実験装置は、流入部、污泥堆積部、木炭充填部からなる上向流浄化装置を2槽連結したものである。装置内の通水方向を流入部では下向流にすることで浮遊性物質の沈降が促進され負荷が低減したり、木炭充填部では上向流とすることで均一な流れを確保するなどの効果も期待できる。

また、装置内の状況が観察できる透明アクリル製の水槽内には、流入部にDO供給用の散気管、木炭充填部の下に曝気洗浄用の散気管、さらに槽底部の污泥堆積部には污泥引抜き管を設置した。木炭充填部の大きさは100cm×50cm×100cmとした。なお、多層ろ過の考えにもとづき、第1槽には粒径の大きい木炭を、第2槽には粒径の小さい木炭を充填し、木炭間隙の目詰まりを抑制するよう配慮した。充填木炭の性状を表1に示す。

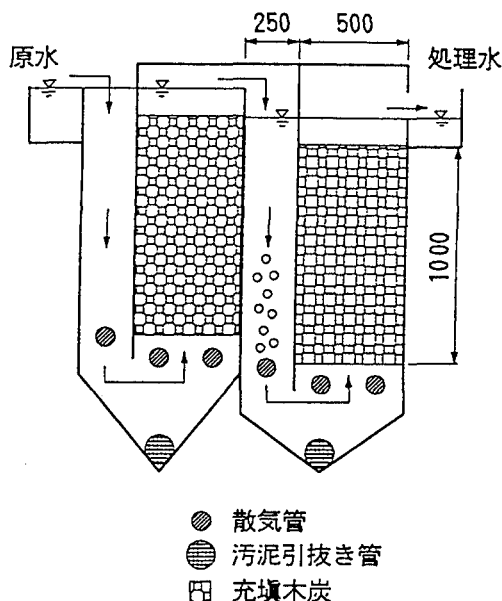


図1 上向流木炭接触酸化実験装置の概要

表1 充填木炭の性状

	第 1 槽	第 2 槽
木炭粒径 ¹⁾	10～15cm	2～5cm
炭化温度	800℃	600℃
原木	杉、檜（間伐材）	広葉樹（間伐材）
充填部間隙率 ²⁾	52%	59%

1)木炭粒径：破碎した木炭の平均粒径(d_{50})

2)充填部間隙率：1-(木炭体積/充填部容積)

3. 実験条件と実験方法

この実験装置を用いて、平成5年4月下旬～平成6年1月中旬まで浄化実験を実施した。なお、通水開始後、数週間を経て木炭表面に生物膜の形成が確認された後、運転条件を変化させ、BOD、SS、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 T-N 、 T-P を測定するとともに、木炭充填部の閉塞状況について観察した。通水流量は3～27 l/min、木炭充填部間隙流速は3～10 cm/min、装置全体での木炭接触時間は9～40分とした。

なお、この実験で用いた原水は比較的濃度変動が大きいため、実験装置の原水および処理水の採水時間については、塩化カリウムを用いたトレーサ実験から測定した装置全体の滞留時間を考慮して決定した。また、屋外実験のため水温の制御は行わなかったが、藻類の増殖を抑制するため貯留槽を含め実験装置全体を黒布で覆い、暗条件下で実験を行った。

木炭表面の付着生物膜については、光学顕微鏡および電子顕微鏡を用いて生物種を同定し、その優先種から生物膜の特性を把握した。

4. 実験結果および考察

4.1 実験装置の浄化性能

原水、処理水水质および除去率の変動範囲を表2に示す。全般的に流速が小さい方が除去率が高くなる傾向がみられ、それぞれ変動範囲は大きいもののBOD、SS、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は隙間接触酸化法と同程度の除去率が、栄養塩類はやや高い除去率が得られた。栄養塩類の浄化効果としては、主に浮遊性成分の除去であると考えられるが、曝気により $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化反応も促進されていると推測される。浄化効果が変化するの、原水が下水処理水を主体とする生活排水路の汚濁水であり汚濁負荷の時間変動が大きいため、浮遊性物質除去を中心とした浄化機能の変動が大きく寄与していることによると考えられる。

表2 実験装置の浄化効果

水质項目	原水 (mg/l)	処理水 (mg/l)	除去率 (%)
BOD	2~40	0.2~8	50~95
SS	1~40	0.1~10	65~99
$\text{NH}_4\text{-N}$	1~5	0.2~3	30~80
T-N	6~15	4~10	5~80
T-P	0.5~2.0	0.3~1.0	20~60
水温	6.8~18.5℃		

浮遊性物質の削減効果については図2に示すように、流入量の約50%が流入部で重力沈降により除去され、さらに、木炭充填部における接触沈殿により約70%が除去されたことから、この実験装置の形状は、これまで隙間接触酸化法で問題となっていた充填部間隙の目詰まり抑制にも効果的であることが確認された。

この実験では、屋外実験のため温度の制御が行えなかったが、1年間にわたる調査からある程度の温度変化には対応できるものと考えられる。また、原水水质が時間的、季節的に大きく異なり、浄化特性を把握することが困難であったが、長期間にわたり一定の浄化効果が確認された。したがって、この実験装置は木炭充填部での目詰まり、堆積汚泥の排出など維持管理を定期的に行えば、良好な浄化効果を維持できるものと考えられる。木炭間隙の閉塞を抑制するために、定期的に全面曝気を行い木炭表面の過剰生物膜を剝離除去した。

連続通水実験の結果では、目詰まりが生じた時点までの累積SS除去量を算定したところ、木炭充填部の単位間隙体積当たりの抑留SS量が約10kg/m³となり、付着生物膜の含水率が約99%（活性汚泥法余剰汚泥と同程度）になると目詰まりが発生していた。この結果から、安定した浄化効果を維持するためには、抑留SS量がその値以下となるよう配慮する必要があることが知見として得られた。

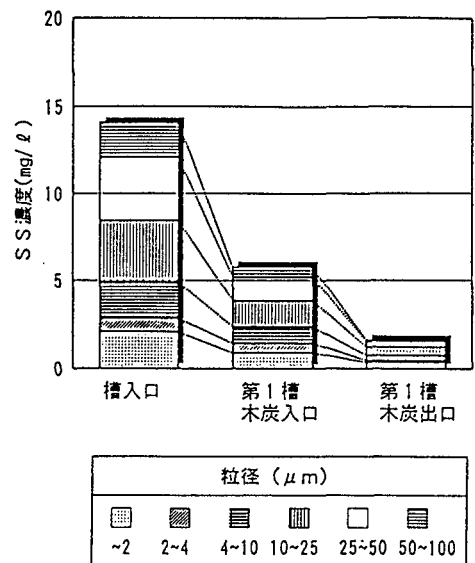


図2 第1槽でのSS濃度の粒径別変化

4.2 接触時間と浄化効果

BOD, SSについて接触時間と除去率の関係を図3, 4に示す。長期間の実験における流入負荷変動や水温変化などの要因から除去率にバラツキがみられるものの、接触時間が長くなると除去率が概ね増加する傾向がみられた。

これらの関係から、接触時間を必要以上に大きくして施設規模を拡張しても、それに応じた除去率の向上が期待できないので、実際の浄化施設を計画する際には、経済性などを勘案すると接触時間は30~40分とするのが適当であると考えられる。

また、この浄化実験においては、原水のDOが比較的高い(約8 mg/l)ので第1槽では曝気を行わなかったが、第1槽で消費されたDOを補給して有機物の酸化分解を促進させるため第2槽の流入部で曝気を行った。ここで、付着微生物による酸化分解の効果を把握するため、第2槽におけるDO消費状況を図5に示す。木炭充填部での接触時間が長くなるとDOが減少する傾向がみられた。一般に、DOが2 mg/l以下になると好気性微生物の活動に支障をきたすとされていることから、木炭充填部を好気性条件下に保ち安定した浄化効果を維持するためには、1槽当たりの接触時間を15~20分以下にすることが望ましいと考えられる。

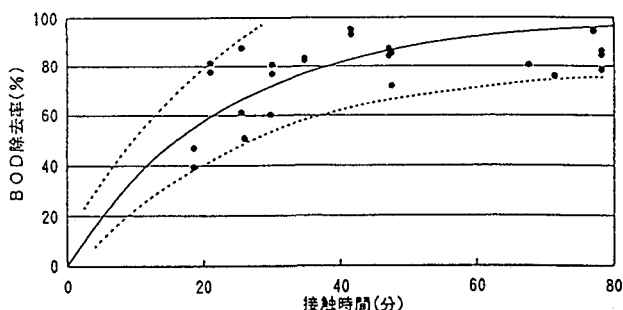


図3 接触時間とBOD除去率の関係

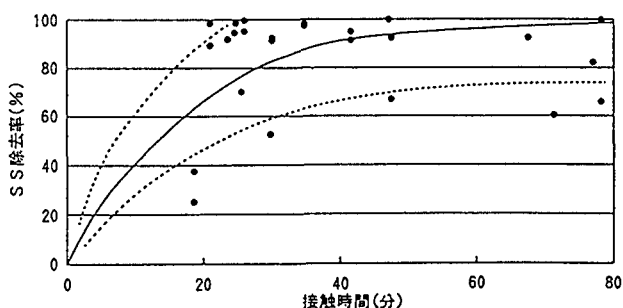


図4 接触時間とSS除去率の関係

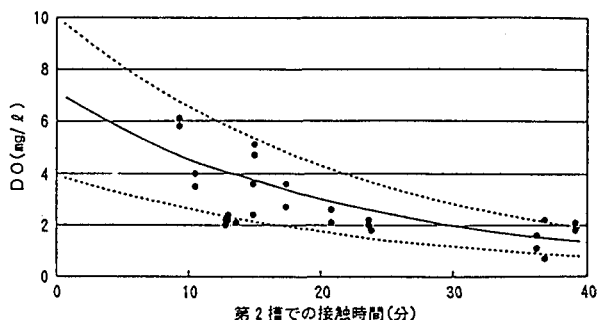


図5 接触時間とDO除去率の関係

4.3 付着生物膜の特性

木炭充填部において、通水後約1週間位から木炭表面に生物膜や浮遊性物質が付着しているのが確認された。付着生物膜の特徴は、各槽とも褐色を呈し、通常の下水处理などでの生物膜と同様な外観であった。

付着植物の優占種は緑藻類であり、珪藻類も観察された。付着動物は、ツリガネムシなどの原生動物、輪形動物、環形動物、軟体動物などが観察された。このほか、特異的なものとしては化学栄養細菌である鉄細菌(*Crenothrix* sp.)も観察された。

装置の壁面、木炭籠の金網、木炭表面、堆積污泥などには大型付着・底生動物が出現した。大型付着動物(幼生の段階)の生息は通水開始1ヶ月後位からみられ、主な出現種としては、甲殻類(カイミジンコ、ミズムシなど)、昆虫類(ユスリカなど)が多くみられた。これら後生生物は、木炭表面や装置壁面に多量に付着しているのが観察された。

4.4 維持管理および事業化

上向流木炭接触酸化法の維持管理で最も大きな問題は、過剰な付着生物膜の剥離、流出による浄化水質の悪化とこれに伴う木炭間隙の閉塞である。したがって、この実験では付着生物膜量を適正に制御するため、木炭充填部での損失水頭が大きくなった場合、散気管による曝気洗浄を試みた。この方法の概要は、流入・流出口を閉じ、木炭充填部の下に設置した散気管によって槽内に循環流を発生させ、木炭表面の過剰生物膜を剥離、沈降、堆積させるものである。ここでは、約10分間（曝気空気量 約 $700\text{ l/m}^2\cdot\text{分}$ ）の曝気洗浄により木炭間隙の目詰まりが解消された。また、汚泥は堆積状況に応じて3ヶ月に1回程度の割合で引き抜きを行った。

また、近畿地方建設局では図6に示すように、河川の高水敷を利用して浄化事業を実施していく予定である。なお、事業化にあたっては河川高水敷の条件、計画浄化水量、汚泥の処理・処分、有効利用方法などについて今後も検討する必要がある。

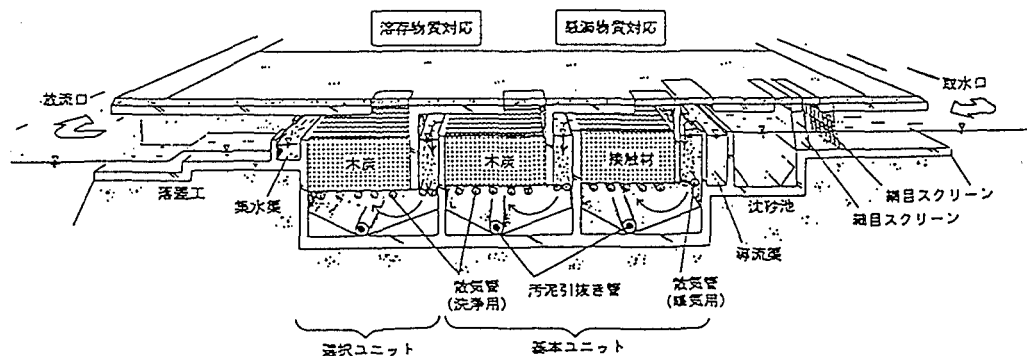


図6 上向流木炭浄化施設の事業化例

5. まとめ

新しい河川の水質浄化手法として期待できる上向流木炭接触酸化法を適用した浄化実験の結果、次の知見が得られた。(1)BODなど各水質項目について概ね良好な浄化効果が確認され、流入部では目詰まりの原因となる懸濁物質も効率よく除去できた。(2)接触時間と浄化効果の関係から、浄化施設の計画では30～40分間の接触時間が適当であることが明らかになった。(3)光学顕微鏡や電子顕微鏡を用いた生物膜の観察結果から、木炭表面の付着生物膜において多様な生態系が形成されており、出現生物は通常の生物膜処理の場合とほぼ同様であった。

上向流木炭浄化法は、BOD、SS、 $\text{NH}_4\text{-N}$ については、礫間接触酸化法と同等の浄化効果が得られ、T-N、T-Pについてもある程度の浄化効果が期待できる結果が得られた。また、通水方向を上向流とすることで礫間接触酸化施設よりも施設面積を小さくできるため用地上の制約がある場所でも建設が可能となり、事業化において有利な浄化手法であると考えられる。

今後は、実河川に設置したパイロットプラントの実験的な運用などから、堆積汚泥の調査および汚泥の処理・処分、有効利用方法など維持管理サイクルについて、さらに検討していく予定である。