

竹炭を利用した都市河川の水質改善に関する 実験的検討

高見 徹¹・神田 佳一²・渡部 守義³

¹正会員 明石工業高等専門学校准教授 都市システム工学科 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡679-3)
E-mail:t.takami@akashi.ac.jp

²正会員 明石工業高等専門学校教授 都市システム工学科 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡679-3)
E-mail:kanda@akashi.ac.jp

³正会員 明石工業高等専門学校准教授 都市システム工学科 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡679-3)
E-mail:mwata@akashi.ac.jp

本研究では竹炭による都市河川の水質改善効果を定量的に評価するため、加古川水系養田川の旧河道（公園内水路）における実証実験とともに竹炭の溶存態有機物の吸着性能を評価し、公園内水路における竹炭のBOD低減効果を見積もることを目的とした室内実験を行った。その結果、実証実験において竹炭によるSSとBODの低減効果が認められた。また、室内実験においてFreundlich型吸着等温線による竹炭のメチレンブルー吸着性能とBOD成分（グルコース）の除去効果を評価し、公園内水路のBODを低減するために必要な竹炭質量を見積もることができた。

Key Words : water purification, bamboo charcoal, river of urban region, adsorption isotherm, BOD

1. はじめに

養田川は一級河川加古川水系の河口部に位置する流路延長約1.5 kmの都市河川（準用河川）である。1998（平成10）年の区画整理事業によって河道は直線化され、蛇行していた旧河道の一部は公園内の修景や親水、生物生息場の提供を目的とした水路として整備されている。しかし、その水質はBODが3~8 mg/L程度¹⁾と高く、水路の目的を鑑みれば改善が望まれる。他方で近年、西日本の里山地域における竹林の拡大が問題となっている²⁾。この対策として間伐が行われているが、発生する間伐竹材の有効利用方法を見出す必要がある³⁾。

神田・渡部らはこれまで養田川の水質改善と里山の環境維持のための間伐竹材の有効利用を狙って、間伐竹材から作製した竹炭を公園内水路に設置し、その水質改善効果に関する実証実験やLCAによる有益性評価を行ってきた⁴⁾。竹炭は内部に多くの細孔を有し、その表面に水中の溶存分子を物理化学的に吸着するとともに、好気性の従属栄養性細菌が定着し、有機物の生物学的酸化が生じることで、水質改善効果を得ることができる。しかし、実証実験による水質改善効果については、季節や天候の変化に伴う水温や流量、水質の変動に対応した観測

頻度が確保できないため、十分な評価が得られていない。また、他者による既往の研究では、竹炭の吸着特性^{5) 6)}や単一成分（硝酸イオン、フミン酸、界面活性剤等）の吸着性能に関する室内実験^{7) 8)}、あるいは水田排水路の濁水ろ過を目的とした実証実験¹⁰⁾がなされているが、都市河川の水質改善を目的とした実証実験とその効果を室内実験によって定量的に評価した研究は見当たらない。水質改善のための竹炭利用を実際の都市河川に広く適用できるようにするためには、当該水路での実証実験によって定性的に評価するだけでなく、水質改善に係る竹炭の吸着性能や竹炭における生物反応を定量的に評価し、所定の水質目標を達成する実用上の効果を見積もる必要がある。

そこで、本研究では竹炭による都市河川の水質改善効果を定量的に評価するため、実証実験とともに竹炭の溶存態有機物の吸着性能と竹炭における生物反応を評価し、公園内水路における竹炭のBOD低減効果を見積もることを目的とした室内実験を行った。

2. 現地観測と室内実験方法

(1) 対象河川と現地観測

対象とした河川は、兵庫県加古川市尾上町を流れる養田川の旧河道の一部（公園内水路）で、その水路延長は約50 m、水路幅は約1 m、平均縦断勾配は1/150である（図-1）。流水は養田川本川よりポンプによって導水されている。また、本川が降雨等により増水すれば、分流堰を越流して水路へ直接流入する。水路の水質改善を狙った竹炭は、近隣の竹林で間伐した真竹および孟宗竹を明石高専内に設置した高収率低温炭化装置（巴製罐社製、エコタン-191）を用いて400~500℃で約2時間炭化処理したものである。この竹炭を5~10 cm程度の大きさに破碎し、一辺60 cmの洗濯用ネットに約5 kg詰め、これを図-2に示すように水路の縦断方向の番号①~④に示す位置に4袋（総質量約20 kg）ずつ設置している。設置状況は図-3に示すとおりであり、袋が流されないように重石を載せている。

現地観測では、竹炭による水質改善効果を評価するため、ポンプで導水された直後（上流端）と水路内の竹炭の各設置場所の直後で多項目水質計による水質指標（水温、pH、DO）と流量を直接観測するとともに、試料水を持ち帰り、実験室内でJIS K 0102: 2013に従って懸濁物質濃度（SS）およびBODの測定を行った。なお、竹炭は2009（平成21）年5月24日に設置以来、現在に至るまで毎年1回、5月下旬から6月の間に新たに作製し、各地点に設置した袋の内容物を全て新しいものに交換している。

(2) 竹炭の吸着性能評価試験

実証実験では不明瞭となり得る竹炭の水質改善効果をより厳密に定量的に明らかにするため、竹炭の溶存態有機物の吸着に関する基本性能を評価する回分式の室内試験を行った。試験はJIS K 1474: 2014活性炭試験方法に準じ、竹炭のメチレンブルー（MB）吸着性能を表す吸着等温線を求めた。竹炭は、上記(1)の方法で作製したものを長さ8~10 cm、幅2~5 cmに破碎し、所定質量を量り取ってそれぞれの実験に供した。MB（ $C_{16}H_{18}N_3S \cdot Cl \cdot 3H_2O$ ）はナカライテスク社製粉末試薬（試薬特級）をMilli-Q水（Millipore社製、UV-mini）に溶解し、4 mg/Lの試験溶液を調整した。実験は室温（23.8~25.4℃）において1 Lのガラス製ビーカーに1 Lの試験溶液を注入した後、所定質量の竹炭をポリエチレン製の袋状ネットに入れた状態で浸漬し、スターラーで攪拌しながら96時間後まで所定の経過時間ごとに試験溶液のMB濃度を測定した。竹炭の平衡吸着量（ Q ）とMBの平衡濃度（ C ）の関係からFreundlich型吸着等温線を求めた。また、竹炭を粉末活性炭（和光純薬社製、試薬特級；粒径数十~数百

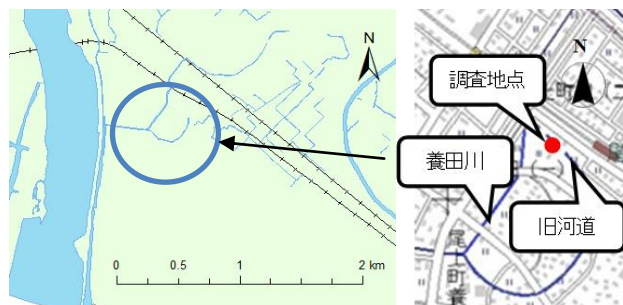


図-1 養田川の概要

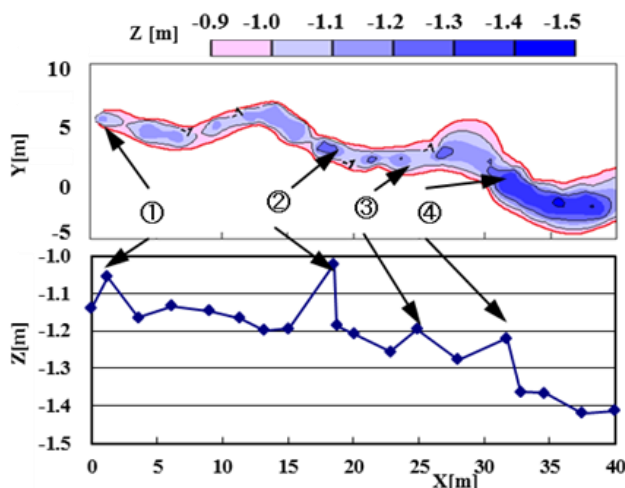


図-2 対象河川の形状と竹炭の設置場所

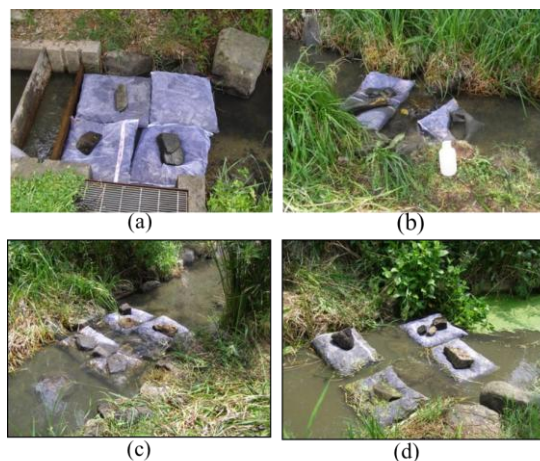


図-3 各地点の竹炭袋設置状況

μm) に替えた比較実験も行い、竹炭の吸着性能を評価した。なお、MB濃度は、分光光度計（Optima社製、SP-300）を用いて波長665 nmにおける吸光度を測定して求めた。

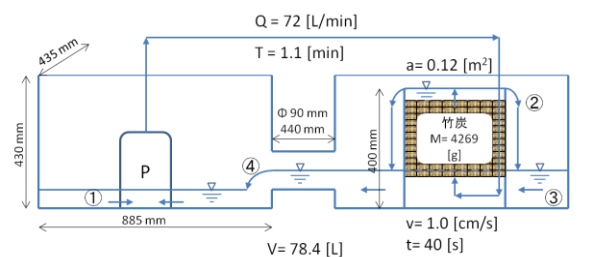
(3) 模型実験による竹炭のBOD成分除去性能の評価

水路や実河川と同様の通水条件における竹炭の溶存態有機物およびBOD成分の除去性能を見積もるため、次に示す模型実験を行った。上記(1)の方法で作製した未

使用の竹炭（長さ8～10 cm，幅2～5 cm；総質量4 269 g）をポリエチレン製の袋状ネットに入れた状態（1袋あたり約350 g，計12袋）で自作の模型（図-4）に設けた竹炭充填槽に充填し，所定流量におけるMB溶液またはBOD成分を想定したグルコース溶液（体積はともに78.4 L）を試験溶液として，それぞれの経時的な濃度変化を測定した．模型は，内寸L885×D435×H430mmの亚克力製水槽2槽を，内寸φ90×L440mmの亚克力製パイプで連結したものであり，一方の水槽内に竹炭を充填した槽（竹炭充填槽，容量0.12m³×400mm）を設置した．試験溶液はもう一方の水槽に設置したポンプ（寺田ポンプ製作所社製，SP-150BN）によって竹炭充填槽の下部に導水され，槽内を上向きに流れ上部より越流する．越流水は水槽間を連結するパイプを通じてポンプに戻り，循環が繰り返される．

MB溶液を用いた実験では，水道水にMBを溶解し，初期濃度約4 mg/Lの試験溶液を調整した．循環ポンプ流量（ Q ）72 L/min，循環周期（ T ）1.1 min，竹炭充填槽内の通水速度（ v ）1.0 cm/s，滞留時間（ t ）40 sとし，この条件で竹炭によるMBの吸着実験（72時間）を2回繰り返した．ただし，2回の実験に用いた竹炭は同じものを用い，1回の実験終了後に竹炭を充填槽から取り出して試験溶液を入れ替えた後，再び2回の実験に供した．

グルコース溶液を用いた実験では，水道水に20 mg/L（8.0 mg CL）相当のグルコース（C₆H₁₂O₆；和光純薬社製，試薬特級），10 mg/L（1.4 mg NL）相当の硝酸ナトリウム（NaNO₃；和光純薬社製，試薬特級），ならびに1 mg/L（0.2 mg P/L）相当のリン酸二水素カリウム（KH₂PO₄；和光純薬社製，試薬特級）を溶解した模擬河川水を調整し，実験に供した．実験は3回行い，各実験における循環ポンプ流量（ Q ）および循環周期（ T ），竹炭充填槽内の通水速度（ v ）および滞留時間（ t ），ならびに実験時間は表-1のとおりにした．なお，本実験においても竹炭は上記のMB溶液による実験と同じものを同実験の終了後に引き続き使用した．また，本実験においては所定時間ごとに測定点①と②においてDO飽和度（%）も測定した．



P: 循環ポンプ，V: 総水量，Q: ポンプ流量，T: 循環周期，a: 竹炭充填槽水面積，v: 竹炭充填槽内通水速度，t: 竹炭充填槽内滞留時間，M: 竹炭充填量，→: 水の流れ，①～④: 測定点

図-4 模型概要図

表-1 模型実験の実験条件（表中の記号は図-4に示すとおり）

実験	Q (L/min)	T (min)	v (cm/s)	t (s)	実験 時間 (hr)
1回目	72	1.1	1.0	40	96
2回目	12	6.4	0.17	230	48
3回目	3.1	25	0.04	930	24

3. 結果と考察

(1) 現地観測結果

表-2に水路の上流端および③地点における各水質指標と流量の測定結果を示す．流量の変化は，ポンプの目詰まりや故障，天候，水源である養田川の水位変動によって生じている．養田川の水位は，降雨や取水口下流にある取水堰の高さによって変化する．そのため，水路の流量は堰が立つ春季から夏季にかけて大きく，堰が倒伏する秋季から冬季では小さくなる傾向がある．水路内の水温は，河川水が水路内に設置した竹炭を通過してもほとんど変化はないが，冬季で流量が小さい場合（2014（平成26）年3月14日）は上流端と比較して③地点で大きく低下した．これは河川水が水路内に滞留することで外気温の影響を強く受けたと考えられる．pHは上流端と③地点との間に明らかな傾向は認められなかった．これに対して，DOは上流端と比較して③地点の方が低下する傾向が認められる．これは河川水が本川から水路内に流入する際の曝気効果によって溶存した酸素が水路を流下するにつれて次第に脱気されただけでなく，生物反応（有機物の酸化）によって消費された可能性がある．これらの観測結果から，水路内の水温は気温と流量に影響を受ける，また，③地点におけるDOの低下は水路内または竹炭における生物反応の可能性を示すと考えられる．

表-2 公園内水路における水質指標および流量の測定結果

観測日	場所	水温 [°C]	pH	DO [mg/L]	流量 [L/s]
平成23年 9月16日	上流端	27.5	8.2	7.2	11.4
	③	26.3	7.6	5.8	
平成24年 9月27日	上流端	22.6	8.0	11.3	3.5
	③	23.1	8.0	7.6	
平成25年 5月27日	上流端	23.8	8.6	12.4	5.2
	③	19.9	7.9	7.1	
平成25年 9月26日	上流端	22.8	8.0	5.2	7.1
	③	22.8	8.1	5.9	
平成26年 3月14日	上流端	15.8	8.0	2.5	0.0
	③	10.1	8.2	4.3	
平成27年 6月24日	上流端	27.2	9.3	6.7	1.5
	③	26.9	9.0	6.2	

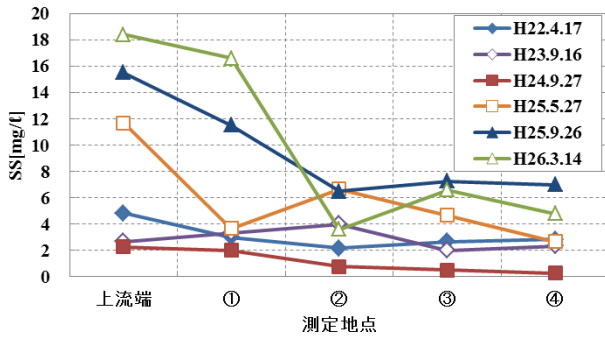


図-5 公園内水路におけるSSの変化

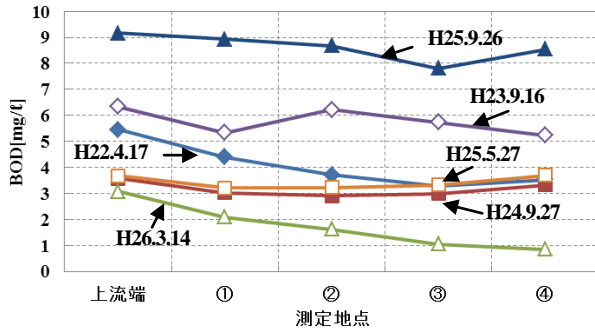


図-6 公園内水路におけるBODの変化

図-5にSSの測定結果を示す。図より、河川水が竹炭を通過するごとにSSの値は概ね低下していることが分かる。上流端と④地点のSSの差を上流端のSSで除して求めたSS除去率はすべての観測日を通じて12.5～88.9%であり、流量の最も大きかった2011（平成23）年9月16日を除けば、その平均値は67.2%（n=5）であった。この河川水の流下に伴うSSの低下は、浮遊物質が水路内の河床材料や竹炭の間隙中に抑留した、あるいはそれぞれの材料の表面や微細孔に吸着したことが原因であると考えられる。また、上記の水路内におけるDO低下の観測結果から、それぞれの材料表面に増殖した微生物がSSの低下に関与した可能性も指摘できる。特に、竹炭は河川水の流路を横断するように設置されており、河川水が竹炭袋内部を通過する可能性が高いことから、河床材料に比べSSの低下への寄与が大きいと考えられる。BODの測定結果（図-6）からは、河川水の流下に伴う明瞭な濃度低下は認められなかった。しかし、SSの場合と同様に上流端と④地点のBODの差を上流端のBODで除してBOD除去率を求めると、各観測日におけるBOD除去率は、除去率が負（-0.5%）となった2013（平成25）年5月27日を除けば、6.8～72.4%であり、その平均値は27.8%（n=5）であった。なお、2013（平成25）年5月27日のBOD除去率が負になった原因は明らかではないが、同日は竹炭袋の内容物の交換直後であり、竹炭表面の細菌定着がなく、BOD成分に対する生物学的酸化反応が生じなかったことが一因として考えられる。

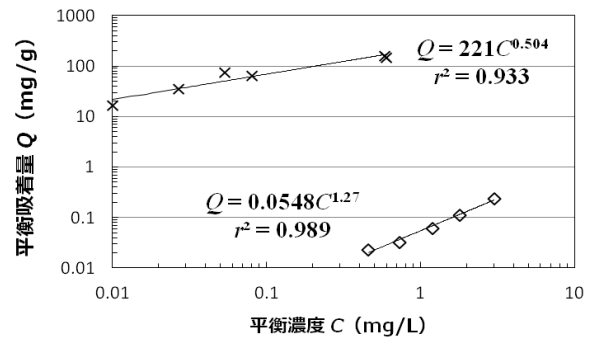


図-7 竹炭と粉末活性炭のMBに対するFreundlich型吸着等温線（23.8～25.4℃）の比較（◇：竹炭，×：粉末活性炭）

以上の実証実験により、水路内において河川水の流下に伴うSSおよびBODの低下傾向が明らかになった。このSSとBODの低減効果は、竹炭の設置間隔が短いことや河川水の通水状況から竹炭による寄与が大きいと考えられる。なお、竹炭の効果をより明瞭にするためには、観測頻度を高くする、観測地点数を増やし竹炭の設置場所前後の水質変化を評価するなどを行う必要があるが、本研究では次節以降に示す室内実験を行い竹炭の基本的な性能を定量的に計量することによって明らかにすることを試みた。

(2) 竹炭のMB吸着性能

竹炭と粉末活性炭のMBに対するFreundlich型吸着等温線を図-7に示す。図より、竹炭と粉末活性炭のMBに対する吸着等温線はそれぞれ次式(1)、(2)が得られた。

$$\text{竹炭} : Q = 0.0548 C^{1.27} \quad (1)$$

$$\text{粉末活性炭} : Q = 221 C^{0.504} \quad (2)$$

式(1)より、MB溶液の平衡濃度（C）が1.00 mg/Lとなる平衡吸着量（Q）を求めると、その値は0.0548 mg/gとなる。つまり、MB溶液を初期濃度の4.00 mg/Lから1.00 mg/L（その差3.0 mg/L）まで低下させるためには、MB溶液1 L当たり54.7 gの竹炭が必要であると見積もることができる。

また、吸着等温線はそのy軸にかかる切片が大きいほど、また、その傾きが小さいほど、低濃度から高濃度までの被吸着物質を吸着できることを示す¹¹⁾。上式より、竹炭は粉末活性炭に比較して、切片が1/4 000倍小さく、また、傾きが2.5倍大きかった。すなわち、竹炭は粉末活性炭と比較して、MB吸着性能が大きく劣るといえる。この両者の吸着性能の差は竹炭と粉末活性炭の原材料や作製方法の違いの他、材料の寸法の違いによって生じる。特に本研究では、実河川での利用や実験の際の取り扱い易さを考慮して、長さ8～10 cm、幅2～5 cmに破碎した

竹炭を使用したのに対して、粉末活性炭は粒径数十～数百 μm のものを使用したため、両者の寸法に大きな差があった。寸法が小さいほど吸着性能を高める比表面積（材料1 g当たりの表面積）が大きくなることから、これが両者の吸着性能の差に大きな影響を与えたと考えられる。竹炭（炭化温度 400°C 、粒径 $< 150 \mu\text{m}$ ）の比表面積は $18.01 \text{ m}^2/\text{g}$ であることが報告されている⁷⁾。本研究で用いた竹炭の比表面積は不計測であるが、竹炭を本研究で用いた平均的な寸法（長さ9 cm、幅3.5 cm、厚さ1 cmの直方体とする）からより小さな寸法（例えば長さ5 mm、幅5 mm、厚さ5 mmの立方体とする）へ破碎することで、比表面積を（相対値として約250倍に）増加させることができる。したがって、竹炭を実際の水路に設置する場合には、取り扱い易く流失しない程度の大きさに小さく破碎することで、竹炭の吸着能力の向上が期待できる。また、竹炭の寸法の違いは竹炭の間隙の大きさを変化させ、SSの抑留に影響を及ぼすと考えられる。このような竹炭の寸法と吸着能力ならびにSS除去能の関係を明らかにすることは、竹炭利用の実用化に向けた今後の課題である。

(3) 模型実験によるMBとグルコースの除去効果

図-8に2回の模型実験におけるMB濃度の経時変化を示す。本実験に用いた竹炭質量は4 269 gであり、上記の式(1)から見積もられたMB溶液を 1.00 mg/L まで低下させる竹炭質量の換算値（MB溶液が78.4 Lの場合4 288 g）とほぼ一致させた。MB濃度は1回目の実験（Run_1st）では図-4中の①～④の測定点すべてにおいて、初期値の 3.3 mg/L から24時間後までに 1 mg/L を下回るまで大きく低下し、見積もり通りの結果が得られた。しかし、2回目の実験（Run_2nd）では72時間後においても 2 mg/L 程度までしか低下しなかった。これは2回の実験で同じ竹炭を繰り返し用いたため、2回目の実験では竹炭の吸着量が飽和容量に近づいたこと、また、図-7に示したように竹炭は粉末活性炭よりも吸着等温線の傾きが大きく、低濃度領域の吸着性能が低いことが原因であると考えられる。

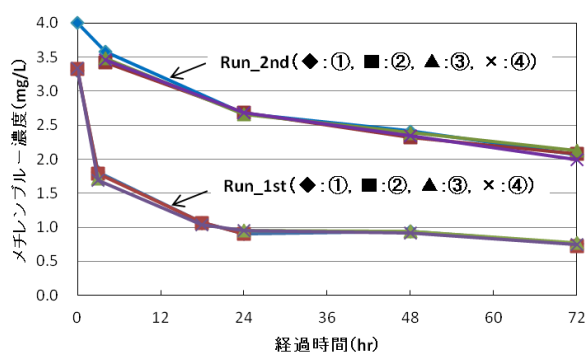


図-8 2回の模型実験におけるMB濃度の経時変化

これに対して、グルコースを用いた3回の実験ではMBの実験に続いて同じ竹炭を用いたにも関わらず、1回目から3回目のすべての実験において、初期濃度の $18\sim 22 \text{ mg/L}$ （平均 20 mg/L ）から24時間後には $1.1\sim 2.0 \text{ mg/L}$ （平均 1.4 mg/L ）まで低下した（図-9）。また、図-10に示す3回の実験における測定点①と②のDO飽和度の差より、循環ポンプ流量の最も大きい1回目（Run_1st）を除いて、DO飽和度は測定点①（竹炭充填槽流入前）よりも測定点②（同流出後）の方が小さくなり、その差は循環ポンプ流量の最も小さい3回目（Run_3rd）で最も大きくなった。グルコースはMBと異なり、生物易分解性の物質である。また、竹炭充填槽の前後でDO飽和度が低下し、その低下量（DO消費量）は流量が小さい程、すなわち、竹炭充填槽での滞留時間（竹炭との接触時間）が長い程大きいことが確認できた。これらのことから、本実験におけるグルコース濃度の低下は竹炭充填槽内での生物反応の効果が加わって得られたと考えられる。つまり、竹炭は吸着による効果だけでなく、表面に微生物が増殖することで生物反応による溶存態有機物の除去効果を発揮し、その効果を継続させることができるといえる。このことは、本研究のように公園内水路に竹炭を設置する場合においてもその水質改善効果が長期間期待できることを意味する。

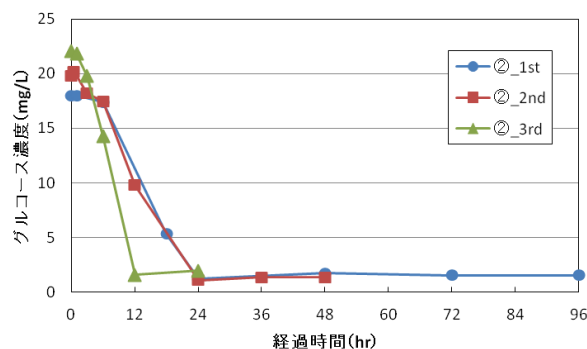


図-9 3回の模型実験（測定点②）におけるグルコース濃度の経時変化

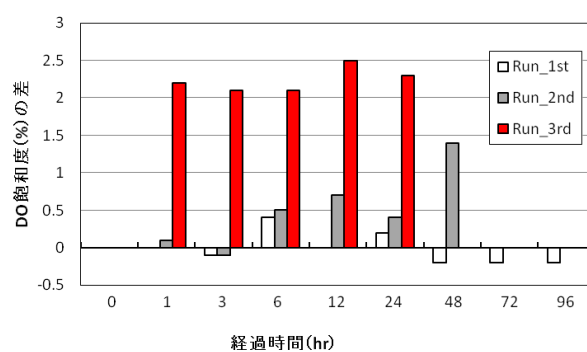


図-10 3回の模型実験における測定点①と②のDO飽和度の差

また、図-9より、グルコース濃度の初期値（18～22 mg/L）からの低下速度は流量が72 L/min（Run_1st）および12 L/min（Run_2nd）ではほぼ同じであったが、流量が3.1 L/min（Run_3rd）ではおよそ2倍に上昇した。つまり、グルコース濃度の低下速度は流量の増加（すなわち、竹炭充填槽内の循環頻度）に比例せず、むしろ本実験条件の範囲では、図-10におけるDO消費量の変化と同様に流量が小さく、竹炭との接触時間が大きい程（竹炭充填槽内の通水速度が遅い程）、速くなるといえる。これはグルコースの流水による竹炭表面への輸送速度と微生物内への摂取速度との速度差に起因していると考えられる。したがって、公園内水路においても流量（断面積と流速）を制御し、竹炭袋への通水速度と接触時間を最適化することで、竹炭によるBOD低減効果を向上できるといえる。

(4) 公園内水路における竹炭のBOD低減効果

上記(3)の模型実験で設定したグルコース濃度の初期値（平均20 mg/L、すなわち8.0 mg CL）と24時間後の濃度（平均1.4 mg/L、すなわち0.6 mg CL）は、グルコース（ $C_6H_{12}O_6$ ）と酸素（ O_2 ）がモル比1:6で生物学的酸化反応を生ずるとすると、理論上の究極酸素消費量（ BOD_u ）はそれぞれ21 mg/Lと1.5 mg/Lとなる。これらの値と生物化学的分解速度定数（ $k = 0.1$ ）から BOD_5 （= $BOD_u(1-10^{-kt})$, $t = 5$ ）¹²⁾を見積もると、それぞれ15 mg/Lと1.0 mg/Lであると算出できる。つまり、本研究で作製した竹炭は通水速度と接触時間を最適化すれば、公園内水路のBOD（3～8 mg/L程度）¹⁾を1 mg/Lまで低減できる性能を有すると評価できる。

また、グルコース溶液での模型実験（Run_1st）の流量は72 L/min（すなわち、1.2 L/s）、竹炭充填槽内（断面積0.12 m²）の通水速度は1.0 cm/sであり、ここで使用した竹炭質量は4 269 gであった。一方、実証実験で観測された公園内水路の流量（表-2）の平均値は4.8 L/sであり、これが幅1 m、水深12 cm（断面積0.12 m²）の水路を流れると仮定すると、平均流速は4 cm/sとなる。この平均流速で延長50 mの水路を流下すると、その上流端から下流端までの流下時間は約21分と算出できる。ここで設置している4箇所の竹炭の総質量は約80 kgである。実証実験の結果から仮定された平均流速は模型実験（Run_1st）の通水速度と比較して4倍速いため、上記(3)で示した通水速度の低下に伴うグルコース濃度の低下速度の上昇は期待できない。そのため、通水速度が模型実験（Run_1stおよびRun_2nd）と同じ速度であるとみなすと、公園内水路におけるBOD低減効果は流水の流下時間内に接触する竹炭の総質量に依存すると考えられる。この依存関係が単純比例だとすると、模型実験（Run_1stおよびRun_2nd）においてBODを1 mg/Lまで低減できる時

間（24時間）は実証実験の結果から仮定した公園内水路の流下時間（21分）の69倍であり、これがBOD低減に必要な竹炭質量に比例する。したがって、公園内水路において1 mg/LまでのBOD低減効果を得るには模型実験で使用した竹炭質量（4 269 g）の69倍、すなわち約295 kg（現状の3.7倍）の竹炭が必要であると見積もることができる。

4. おわりに

本研究では竹炭による都市河川の水質改善効果を定量的に評価するため、旧養田川（公園内水路）における実証実験とともに竹炭の溶存態有機物の吸着性能と竹炭における生物反応を評価し、公園内水路における竹炭のBOD低減効果を見積もることを目的とした室内実験を行った。その結果、次の知見を得た。

- 1) 実証実験における現地観測の結果、公園内水路のSSとBODは流下に伴って低下する傾向にあることが明らかになった。このSSとBODの低減効果は、竹炭の設置間隔が短いことや河川水の通水状況から竹炭による寄与が大きいと考えられる。
- 2) JIS K 1474:2014活性炭試験方法に準じてメチレンブルー（MB）吸着性能を表すFreundlich型吸着等温線を求めた結果、竹炭のMB吸着性能は粉末活性炭と比較して大きく劣るが、小さく破砕し比表面積を大きくすることで吸着能力の向上が期待できる。
- 3) 模型実験の結果、BOD成分（グルコース）の場合、生物反応により、竹炭を繰り返し用いても一定の除去効果を発揮することが確認できた。また、グルコース濃度の低下速度は竹炭充填槽への通水速度と接触時間に依存することが指摘できる。
- 4) 本研究で作製した竹炭は公園内水路のBOD（3～8 mg/L程度）を1 mg/Lまで低減できる性能を有すると評価できる。また、そのために必要な竹炭質量を水路の平均流量（断面積と平均流速）ならびに流下時間から見積もることができた。

以上の実験的検討の結果、本研究の対象河川（水路）においてBODの低減を達成する竹炭の実用的な効果と利用方法を定量的に明らかにすることができた。これを他の都市河川に広く適用するためには、竹炭の寸法と吸着能力およびSS除去能の関係、利用可能な継続時間（更新頻度）、河床への安定な固定方法などの課題を解決する必要がある。

謝辞：本研究における現地観測および室内実験において、明石工業高等専門学校専攻科新友友里子氏および都市システム工学科亀井星亜氏の両学生のご協力を賜りました。

ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 池田愛, 藤本浩輔, 神田佳一: 竹炭を用いた河川水の有機物除去に関する実験的研究, *Journal of Japn Association for College of Technology*, Vol.18, No.3, pp.15-20, 2013.
- 2) 林野庁: 荒廃竹林対策の強化(拡充), <http://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/hojojigyou/pdf/k8.pdf> (2016年3月21日修得)
- 3) 柴田昌三: 竹資源の新たな有効利用のための竹林施業, *森林科学*, No.58, pp.15-19, 2010.
- 4) 神田沙英, シア・メイ・シェン, 新免友里子, 渡部守義: 竹炭を用いた水質浄化材と爆破竹繊維を用いた建設材料のLCAに関する研究, *明石工業高等専門学校研究紀要*, Vol.57, pp.7-14, 2015.
- 5) 藤井隆夫・迫田章義: 市販竹炭の吸着特性と細孔構造の推定, *廃棄物学会論文誌*, Vol.19, No.3, pp.191-196, 2008.
- 6) 安部郁夫・長谷川貴洋・澁谷康彦・岩崎訓: 竹炭の細孔構造特性, *炭素*, No.215, pp.241-245, 2004.
- 7) 伴野雅之・久場隆広・佐野弘典・河村直哉・市川瞬平・酒井雄介: 竹炭における硝酸イオン吸着能とその機構, *水環境学会誌*, Vol.32, No.7, pp.369-374, 2009.
- 8) 中倉英雄・松塚和也・岩崎真治: 竹炭微粒子を助剤層とした溶解性フミン酸溶液の清澄濾過機構, *化学工学会研究発表講演要旨集 2008*, p.98, 2008.
- 9) 伊原靖二・赤坂尚美・上杉和愛: 竹炭による界面活性剤含有排水の吸着処理に関する研究, *山口県立大学生活科学部研究報告*, Vol.32, pp.35-42, 2007.
- 10) 小川美紀・深田三夫: 水田排水路における濁水ろ過材としての効果的な竹炭の敷設方法, *雨水資源化システム学会誌*, Vol.14, No.2, pp.67-72, 2009.
- 11) 近藤精一・安部郁夫・石川達雄: 吸着の科学(第2版), 丸善, 2001.
- 12) 土木学会環境工学委員会編: 環境工学公式・モデル・数値集, 土木学会, 2004.

(2016.3.22 受付)

EXPERIMENTAL STUDY ON THE WATER PURIFICATION OF RIVER IN URBAN REGION USING BAMBOO CHARCOAL

Tohru TAKAMI, Keiichi KANDA and Moriyoshi WATANABE

This study was aimed at estimating effectiveness on bamboo charcoal for the water purification of river in urban region. The demonstration experiment in water purification using bamboo charcoal was conducted at a distributary channel of Yota River in Kakogawa River basin. The laboratory experiment in adsorption isotherm for methylene blue and the model experiment on glucose as a constituent of BOD were also conducted. As the results of these experiments, it demonstrated a decrease in SS and BOD in the channel water by passing through bamboo charcoal. In addition, it obtained the Freundlich isotherm for adsorption of methylene blue onto bamboo charcoal. Furthermore, the result of the model experiment suggested the necessary weight of bamboo charcoal for decreasing in BOD in the channel water.