

原著論文

竹炭入りコンクリートによる水質浄化

土田大輔・中村融子・徳永隆司*1・世利桂一*2・倉富伸一*3

竹炭を含有させたコンクリートブロックを作製し、その水質浄化能を、コンクリートから溶出してくる溶解物質と、付着微生物による有機物分解の両面から検討した。試験片による室内での浸漬実験の結果、竹炭入りコンクリートからは、カルシウムイオン、硫酸イオンといったセメントに由来するものは少なく、カリウムイオンなどの竹炭由来の無機物質が多く溶出することがわかった。また竹炭入りコンクリートは、竹炭の入っていないコンクリートに比べ、六価クロムの溶出量が少なく、吸着実験の結果、竹炭に吸着されていることがわかった。試験片を酸化池に3カ月間沈めて微生物を付着させた結果、普通コンクリートの3倍近い量が付着しているのが確認された。この微生物量の違いにより、BOD除去速度も大きいことがわかった。

〔キーワード：竹炭、護岸ブロック、付着微生物、六価クロム〕

1 背景及び目的

竹類の需要の減少、海外からの竹材やタケノコの輸入増加などにより、竹林が放置され、異常繁殖していることが社会問題化している。そのため竹の新しい用途を開発し、これを有効利用することによって、竹林産業の活性化を図ろうとする動きが全国の竹材生産地を中心に進められている。そのひとつとして炭焼きの技術を生かした竹炭の生産が行われている¹⁾。

これまで、竹炭などの炭化物には水質の浄化能があることが報告されている²⁾。しかし、これらは炭化物が有機汚濁物質を吸着する効果を利用したものであり、吸着量が有限であるため、実際の河川で浄化能を持続させるのは困難である。そこで、表面に無数の細孔のある竹炭を、コンクリートに含有させることで微生物の付着を促し、水質浄化に役立たせることを目的としたコンクリートブロックを開発した³⁾。コンクリートの表面を微生物の住処として利用すると、付着微生物が河川増水時に剥離し、その後、新たな微生物が付着増殖することで、水質浄化能を長期間維持できると考えられる。

また、1997年の河川法の改正により、河川管理の目的として、治水、利水だけでなく環境の保全も含まれるようになった。これに伴い、全国で自然石や植物を利用した護岸の施工例も多くなっているが、全ての河川で行うのは難しい。今回開発された竹炭入りコンクリートは、大規模な工事を行うことなく設置が可能であり、維持管理も容易であることから、都市河川や人工水路でも実用

化が可能である。

本研究では、コンクリートからは種々の溶解物質が溶け出すことが知られている⁴⁾が、竹炭を含有させることにより溶出する物質にどのような違いが現れるか、付着微生物による浄化作用⁵⁾⁶⁾に注目し、コンクリート表面の竹炭により、微生物の付着量が増加し、水質浄化能を高めるかどうかを明らかにすることを目的とした。

2 方法

2・1 実験試料

本実験に使用した竹炭入りコンクリートの製造方法⁷⁾を以下に示す。竹炭はモウソウチクを原料として、ロータリーキルン式連続炭化炉で製造したものをを用いた。竹炭の大きさは、長辺5 - 10mm、短辺2 - 3mmの長粒状である。竹炭の性状を表1に示す。セメントは竹炭を混合すると強度の低下が予想されることから、従来のセメントに比べ圧縮強度、曲げ強度が大きくなる特殊セメントを使用した。これらの竹炭とセメントを重量比3 : 7で混合した後、水を加えてミキサーで攪拌した。材齢7及び28日における圧縮強度は、21.3及び20.1(N/mm²)でJIS強度を満たした。また対照として竹炭の入っていないコンクリート(普通コンクリート)も作製した。

室内実験のために、竹炭入り、普通コンクリート両方について、一辺2cmの立方体試験片を作製した。実際のコンクリート製品では蒸気養生工程があるが、試験片

福岡県保健環境研究所

(〒818-0135 太宰府市大字向佐野39)

*1 現：リサイクル総合研究センター

(〒808-0135 北九州市若松区ひびきの2番1号)

*2 現：福岡県商工部新産業・技術振興課

(〒812-8577 福岡市博多区東公園7番7号)

*3 (株)神垣組

(〒819-0165 福岡市西区今津5413-10)

については行っていない。試験片の外観を図1に示す。竹炭入りコンクリートは表面に黒い竹炭が露出している。

表1 竹炭の性状

pH	灰分 %	揮発分 %	炭素 %	水素 %	酸素 %	高比重 g/cm ³	比表面積 m ² /g
10.2	6.4	11.2	87.2	0.9	5.5	0.23	226

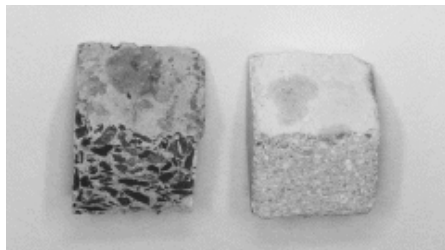


図1 竹炭入りコンクリート(左)と普通コンクリート(右)の外観

2・2 浸漬実験

竹炭入り、普通コンクリートの試験片6個を300ml トールビーカーにそれぞれ入れ、蒸留水250ml に浸し、ロータリーシェイカーにより振とう攪拌(80rpm)した。浸漬期間中、電気伝導度とpHを測定し、値が安定した後、浸漬させた水を採取し、溶出した無機物質の濃度を測定した。実験は20の恒温室内で行った。

無機物質の測定には、イオン項目についてはイオンクロマトグラフィー(横河社製 IC7000)、金属類はICP-OES (PERKIN ELMER社製 OPTIMA3000)をそれぞれ用いた。全リン(T-P)及びリン酸イオン(PO₄-P)はアスコルビン酸還元吸光度法、六価クロムはジフェニルカルバジド吸光度法によって定量した。また、得られた浸漬水を、0.1N 塩酸により滴定し、中和滴定曲線を求めた。

2・3 竹炭によるクロム吸着試験

濃度0.1mg/l に調製した六価クロム溶液1lを2lビーカーに入れ、竹炭入りコンクリートに使用したのと同じ竹炭10gを添加した。これをスターラーで攪拌しつつ、数時間おきに駒込ピペットで溶液を採取した。採取した溶液中の六価クロム濃度は、0.45µmのメンブレンフィルターで濾過した後、ジフェニルカルバジド吸光度法によって定量した。また実験終了後の溶液の全クロム濃度をICP-OESで定量した。

2・4 微生物付着実験

竹炭入り、普通コンクリートの試験片を酸化池に約3カ月間浸漬し、付着した微生物量を測定した⁸⁾。

酸化池は、平均水深0.45m、面積270m²であり、植物や藻類が繁茂している。水質は、水温：5 - 15℃、溶存酸素飽和度：60 - 100%、pH：6.0 - 9.0、COD：5.9

- 17mg/l、T-N：0.3 - 12.6mg/l、T-P：0.13 - 1.4mg/lであった。

微生物量の測定は以下の2つの方法で行った。付着重量は一定面積から付着微生物をハブラシで落とし、105℃で乾燥して、単位面積あたりの乾重量として求めた。好気性従属栄養細菌数はPYG寒天培地(ポリペプトン1.0g、酵母エキス0.5g、グルコース0.2g)に、ハブラシで落としたものを希釈後に表面塗布し、20℃で14日間培養して計測した。

2・5 BOD除去実験

酸化池で微生物を付着させた、竹炭入り、普通コンクリートの試験片5個をそれぞれ合成下水200mlに入れ、20℃の恒温暗室内で振とうした。合成下水はペプトン20mg、サッカロース20mg、リン酸二水素カリウム5mg、炭酸水素カリウム10mgを蒸留水1lに溶解させることにより得た。

3 結果と考察

3・1 コンクリートから溶出する無機物質

コンクリートが護岸ブロックとして、河川で使われることを想定し、コンクリートと水が接したときに溶出してくる無機物質を把握するために浸漬実験を行った。コンクリートから浸漬水に溶出したイオンと金属類の分析結果を表2に示す。イオン項目についてみると、竹炭入りコンクリートからは、竹に多く含まれるカリウムイオンが350mg/l溶出している。これは竹に含まれていたカリウムが炭化によって無機化し、溶出したものと思われる。植物体内のカリウムの挙動は十分には解明されていないが、カリウムイオンとして存在し、体内を移動するとされる⁹⁾。逆にセメント由来と思われる硫酸イオン、カルシウムイオンは少ない。また硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は普通コンクリートの半分ほどの濃度であった。

金属類については、竹炭入りコンクリートからアルミ

表2 コンクリートから溶出した無機物質

	竹炭入りコンクリート		普通コンクリート		
	竹炭入り コンクリート	普通 コンクリート	竹炭入り コンクリート	普通 コンクリート	
F	<0.02	<0.02	T-Cr	0.06	0.80
Cl	43.1	34.5	Cr()	0.06	0.99
Br	0.3	0.2	Zn	<0.01	0.02
NO ₂ -N	0.5	1.1	Cd	<0.01	<0.01
NO ₃ -N	1.2	2.1	Pb	<0.01	0.01
NH ₄ -N	<0.02	<0.02	Co	<0.01	<0.01
PO ₄ -P	<0.2	<0.2	Ni	<0.01	0.03
T-P	0.08	0.01	Fe	0.01	<0.01
SO ₄	7.8	299	Mn	<0.01	<0.01
Na	12.8	82.2	Cu	<0.01	<0.01
K	350	33.9	Al	140	0.08
Mg	<0.02	0.5			
Ca	2.6	75.7			

(単位:mg/l,浸漬期間:8日間,n=2)

ニウムが140mg/l 溶出した．これは竹炭入りコンクリートの製造過程で，竹炭とセメントの結合を高めるため，バインダーとしてシリカアルミナセメントが使用されたことによると考えられる．アルミニウムは非常に高濃度であったため，今後は溶出機構の解明と用いるバインダーの工夫が必要である．

また普通コンクリートから，有害物質である六価クロムが0.99mg/l 溶出した．六価クロム濃度が全クロム濃度よりも高くなっているが，これは六価クロムを定量するときの発色過程で正の妨害があると考えられる．

普通コンクリートに比べ，竹炭入りコンクリートからの六価クロム溶出量が少ない理由としては，竹炭による吸着と三価クロムへの還元の一つの要因が考えられる¹⁰⁾が，今回の実験では，三価クロムは浸漬水中にほとんど存在しないことから，吸着によって減少したものと考えられる．

浸漬水の六価クロム濃度の経時変化を図2に示す．六価クロムの濃度は，普通コンクリートでは経過時間とともに徐々に高くなったが，竹炭入りコンクリートでは，0.1mg/l 前後で推移し，その後わずかではあるが減少した．このことから，一度コンクリート部分から水に溶け出した六価クロムが，竹炭部分に吸着されたと考えられる．

また浸漬水の中和滴定曲線を図3に示す．竹炭入りコンクリート浸漬水は，普通コンクリート浸漬水に比べてpH9前後での緩衝能が大きいことがわかる．

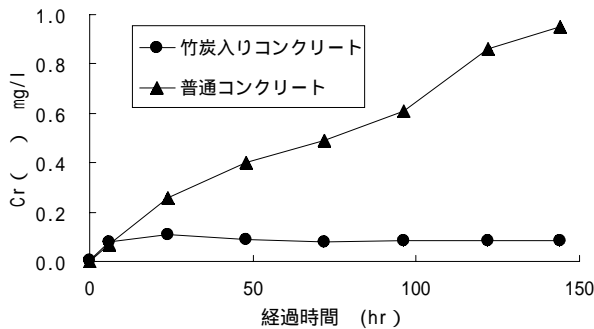


図2 浸漬水中の六価クロム濃度

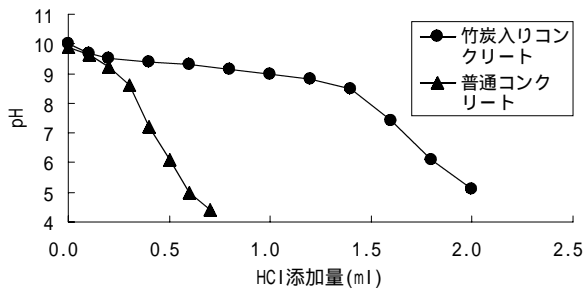


図3 浸漬水の中和滴定曲線

3・2 六価クロムの吸着

竹炭入りコンクリートの，竹炭部分による六価クロムの吸着を確認するため，竹炭による吸着実験を行った．この結果を図4に示す．時間の経過とともに六価クロム濃度が減少し，260時間経過後には検出下限値(0.02 mg/l)以下となり，竹炭が六価クロムを効果的に吸着することがわかった．また実験終了後の溶液の全クロム濃度は0.01mg/l 以下であり，三価クロムも存在していないことが確認できた．

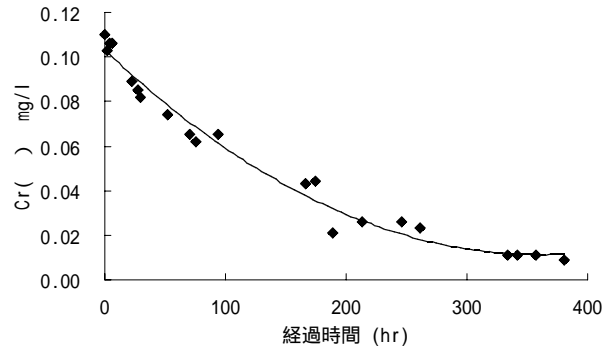


図4 竹炭による六価クロムの吸着

3・3 微生物付着量の比較

コンクリート表面の違いによる付着微生物量の差異を把握するため，酸化池で付着させた微生物量を測定した結果を表3に示す．竹炭入りコンクリートには普通コンクリートに比べ，約3倍量の付着微生物と好気性従属栄養細菌が存在していた．表面に竹炭が露出することで表面積が増し，微生物の増殖に好都合になっている¹¹⁾ためと考えられる．

表3 微生物の付着量

	竹炭入り コンクリート	普通 コンクリート
付着重量 mg/cm ²	1.22	0.42
好気性従属栄養細菌数 × 10 ⁶ CFU/cm ²	14.5	5.20

実験期間 (1998/12 ~ 1999/3)

3・4 BOD除去効果の比較

微生物付着実験で得られた試験片を人工下水に入れ，BOD 残存率の経時変化を測定した結果を図5に示す．最終的な BOD 濃度には大きな違いはみられないが，竹炭入りコンクリートの方がより速く減少した．BOD が開始時の50%以下になるのに要する時間は，竹炭入りコンクリートの方が4時間近く速かった．

実際の河川は流水系であるため，付着藻類と水が接する時間は短く，BOD 除去速度の大きい方が水質浄化には効果的であると考えられる．

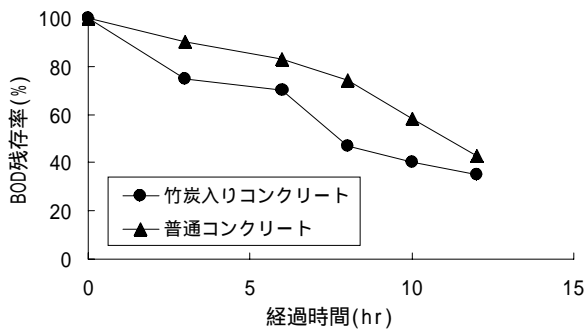


図5 生物付着コンクリートによるBOD除去

4 まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

コンクリートブロックを河川の護岸ブロックに使用することを想定し、水中に浸漬する実験を行った結果、竹炭入りコンクリートからは、セメントに含まれるカルシウムイオンや硫酸イオンの溶出は少なく、カリウムイオン、アルミニウムが多く溶出することがわかった。カリウムは竹に多く含まれるため、竹炭から溶け出したと考えられる。またアルミニウムは、竹炭入りコンクリートの製造過程で、バインダーとして使われたシリカアルミナセメントに由来すると考えられた。アルミニウムは非常に高濃度であったため、今後、溶出機構の解明とバインダーの工夫が必要であると思われる。

また有害物質である六価クロムの溶出量が、普通コンクリートに比べ少なかった。竹炭のみによる六価クロム吸着実験の結果、コンクリート表面の竹炭へ吸着されていることがわかった。

酸化池でコンクリート試験片に微生物を付着させたところ、普通コンクリートに比べ、竹炭入りコンクリートには、3倍近くの微生物が付着していた。付着微生物量が多いことにより、BOD除去速度も大きいことがわ

かった。この付着微生物量の違いは竹炭を入れたことで表面積が増したことによると思われる。

文献

- 1) 池嶋庸元：竹炭は効く，183 - 184，至知出版社，1999.
- 2) 田中淳夫：伐って燃やせば森は守れる，108 - 114，洋泉社，1999.
- 3) 世利桂一，徳永隆司，中村融子，野田和孝，倉富伸一：植物系炭化物を混合した機能性コンクリートの調製と水質浄化特性，第50回日本木材学会研究発表要旨集，542，2000.
- 4) 小林一輔：コンクリートが危ない，19 - 24，岩波書店，1999.
- 5) 玉井信行・水野信彦・中村俊六 編：河川生態環境工学，27 - 28，東京大学出版会，1993.
- 6) 桜井善雄・市川新 監修：都市の中に生きた水辺を，75 - 77，信山社出版，1996.
- 7) 世利桂一，平野吉男，倉富伸一，徳永隆司，中村融子：木質系炭化物を混合した多機能コンクリートの調製とキャラクターゼーション，第5回日本木材学会九州支部大会講演集，67 - 68，1998.
- 8) 中村融子・緒方健・志水信弘・徳永隆司：シュロガヤツリによる池の水質浄化と水生昆虫の定着，水環境学会誌，22(12)，1010 - 1015，1999.
- 9) 畑野健一・佐々木恵彦：樹木の生長と環境，331 - 335，養賢堂，1987.
- 10) Han I, Schlautman M, Batchelor B: Removal of Hexavalent Chromium from Groundwater by Granular Activated Carbon, *Water Environ. Res.*, Vol. 72, No. 1, 29 - 39, 2000.

A Study on the Water Purification Ability of Concrete containing Bamboo Charcoal

Daisuke TSUCHIDA, Takashi TOKUNAGA, Yuko NAKAMURA, Kei-ichi SERI, Shin-ichi KURATOMI

Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,

39 Mukaizano, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan

Concrete blocks containing bamboo charcoal were manufactured to enhance their water purification ability at the river bank. The mechanisms of purification were considered from two aspects, one was the water soluble matter leached from concrete, and the other was the microbial degradation by periphyton of its surface. We made 2cm cubic test pieces of "charcoal concrete" and "normal concrete" for the laboratory scale experiment.

First, the test pieces were submerged in distilled water to leach soluble inorganic matter and then this water was analyzed. It was found that the potassium concentration in charcoal concrete water was higher than that in normal concrete water, and that potassium in charcoal concrete water was derived from bamboo charcoal. On the other hand, calcium, sulfate ions and hexavalent chromium levels in the charcoal concrete water were much lower than normal. As a result of the adsorption experiment with

bamboo charcoal, it was suggested that hexavalent chromium was adsorbed in charcoal effectively.

Second, the test pieces were submerged in an oxidation pond for three months, after which their surfaces were covered with periphyton. The amount of periphyton on the charcoal concrete was three times as much as that of normal concrete. The BOD removal rate of periphyton clinging to charcoal concrete was greater than that of normal concrete.