

特集／環境修復

竹炭を混合したコンクリートの水質浄化特性*

土田大輔*¹・石橋融子*¹・徳永隆司*²
世利桂一*³・倉富伸一*⁴

キーワード ①竹炭 ②護岸ブロック ③付着微生物 ④六価クロム

要 旨

竹炭を混合して作製されたコンクリートブロックの水質浄化特性を、コンクリートから溶出する溶解物質と、コンクリート表面に付着した微生物による有機物分解の両面から調査した。試験片による室内での浸漬実験の結果、竹炭混合コンクリートは、竹炭の入っていない普通コンクリートに比べ六価クロムの溶出が少なく、竹炭由来のカリウムイオンや使用した特殊セメント由来のアルミニウムイオンなどが多く溶出した。吸着実験の結果、六価クロムは竹炭に吸着されたことがわかった。ま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、竹炭混合コンクリートには普通コンクリートの約3倍量の微生物が付着した。この微生物量の違いにより、BOD除去速度も大きかった。

1. 背景および目的

海外からの竹材・タケノコの輸入増加や竹類の需要の減少などが原因で、竹林が放置されて異常繁殖していることが問題となっている。そこで、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。そのような有効利用法の1つとして、竹炭の生産が行われている¹⁾。

生産された竹炭などの炭化物が水質の浄化能を有していることはよく知られている²⁾。これは炭化物が汚濁物質を吸着する効果を利用したもので

あるが、吸着量が有限であるため、河川水質の浄化などに用いる場合、その浄化能を持続させるのが難しいという問題点がある。

そこで、表面に無数の細孔のある竹炭をコンクリートに混合することで、表面積を増加させた河川護岸用コンクリートブロックを開発した³⁾。これは、この護岸ブロックを河川に設置した際、コンクリート表面に微生物が付着することを促し、微生物による水質浄化を持続させることを目的としたものである。

本研究では、竹炭混合コンクリートの水質浄化特性を明らかにすることを目的とし、次の2点に

*Water Purification Properties of the Concrete containing Bamboo Charcoal

*¹Daisuke TSUCHIDA, Yuko ISHIBASHI(福岡県保健環境研究所)Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

*²Takashi TOKUNAGA(福岡県リサイクル総合研究センター)Fukuoka Research Center for Recycling Systems

*³Keiichi SERI(福岡県工業技術センターインテリア研究所)Fukuoka Industrial Technology Center Interior Design Research Institute

*⁴Shinichi KURATOMI(くら有限公司)Cra Inc.

について考察した。まず、一般に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⁾ため、竹炭混合コンクリートから溶出する物質を調査し、通常のコンクリートと比較した。次に、付着微生物による浄化作用⁵⁻⁶⁾に注目し、コンクリート表面に竹炭を混合することによる、微生物付着量および水質浄化能の変化について調査を行った。

2. 方 法

2.1 実験試料

本実験に使用した竹炭混合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の長粒状であった。竹炭の性状を表1に示す。竹炭を混合することによる強度の低下が予想されたことから、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。次に、竹炭とセメントを重量比1:3で混合した後、水を加えてミキサーで攪拌した。材齢7日および28日における圧縮強度は、24.2および25.5N/mm²でJIS強度を満たした。

室内実験に用いるため、一辺2cmの立方体のコンクリート試験片を作製した。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)の試験片も作製した。なお、実際のコン

表1 竹炭の性状

pH	灰分 %	揮発分 %	炭素 %	水素 %	酸素 %	嵩比重 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

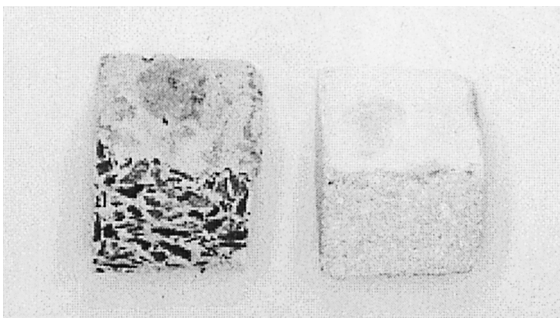


写真 竹炭混合コンクリート(左)と普通コンクリート(右)の試験片の外観

クリート製品では蒸気養生工程があるが、これらの試験片については行わなかった。写真に各試験片の外観を示す。

2.2 浸漬実験

竹炭混合コンクリートおよび普通コンクリートの試験片6個を300ml トールピーカーにそれぞれ入れ、蒸留水250mlに浸した後、ロータリーシェイカーにより約80rpmで巡回振とうした。実験は20℃の恒温室内で行った。浸漬期間中、電気伝導度とpHを測定し、値が安定した後、浸漬した水を採取し、溶出した無機物質の濃度を測定した。

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)およびリン酸イオン(PO₄-P)はアスコルビン酸還元吸光光度法、六価クロムはジフェニルカルバジド吸光光度法によって定量した。また、得られた浸漬水を0.1mol/lの塩酸により滴定し、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ピーカーに入れ、この溶液に竹炭混合コンクリートに使用したものと同一竹炭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。採取した溶液を0.45μmのメンブレンフィルターで濾過した後、濾液中の六価クロム濃度をジフェニルカルバジド吸光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

竹炭混合コンクリート、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、実験期間中は植物や藻類が繁茂していた。水質は水温5～15℃、溶存酸素飽和度60～100%、pH6.0～9.0、COD5.9～17mg/l、T-N 0.3～12.6mg/l、T-P 0.13～1.4mg/lであった。

微生物付着量は、付着重量と好気性従属栄養細菌数の2種類の方法で測定した。付着重量は、コンクリートの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、単位面積当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0.5

g, グルコース0.2g)に、一定面積から採取した附着微生物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

酸化池で微生物を附着させた状態の竹炭混合コンクリートおよび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℃の恒温暗室内で巡回振とうした。一定経過時間ごとに溶液を採取し、BODを測定した。実験に用い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調製した。

3. 結果および考察

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す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、竹炭混合コンクリートからはカリウムイオンが350mg/l溶出した。これは竹に多く含まれるカリウムが炭化によって無機化し、溶出したものと考えられた。植物体内のカリウムの形態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すると考えられる⁹⁾。

逆に、セメント由来と思われる硫酸イオン、カルシウムイオンの溶出は少なかった。また硝酸性

窒素およ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、竹炭混合コンクリートからアルミニウムが140mg/l溶出した。これは竹炭混合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た。アルミニウムは非常に高濃度であったため、今後は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六価クロムが0.99mg/l溶出した。普通コンクリートに比べ、竹炭混合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¹⁰⁾の2つの要因が考えられた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かった。アルミニウム、六価クロム以外の金属類については高濃度の溶出は認められなかった。

次に、それぞれの浸漬水の中和滴定曲線を図1に示す。竹炭混合コンクリートの浸漬水は、普通コンクリートの浸漬水に比べてpH9前後での緩衝能が大きかった。

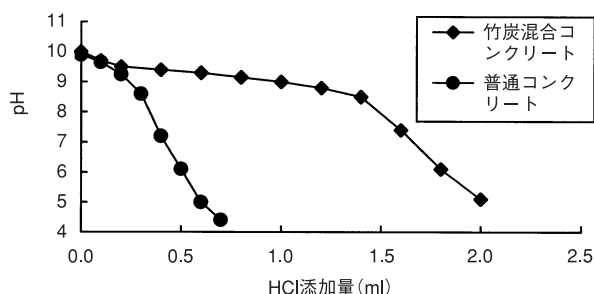


図1 浸漬水の中和滴定曲線

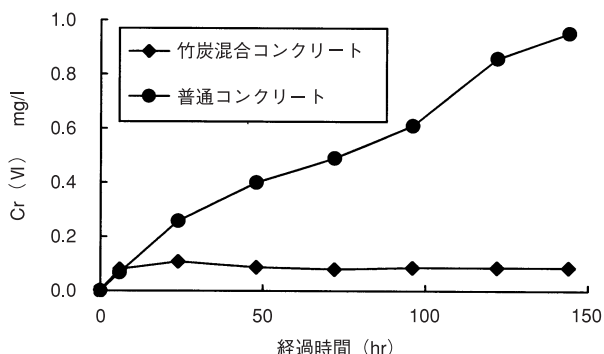


図2 浸漬水の六価クロム濃度の経時変化

表2 コンクリートから溶出した無機物質

	竹炭混合 コンクリ ート	普通コ ンクリ ート		竹炭混合 コンクリ ート	普通コ ンクリ ート
NO ₂ -N	0.5	1.1	Na	12.8	82.2
NO ₃ -N	1.2	2.1	K	350	33.9
NH ₄ -N	<0.02	<0.02	Mg	<0.02	0.5
PO ₄ -P	<0.2	<0.2	Ca	2.6	75.7
T-P	0.08	0.01	Al	140	0.08
SO ₄	7.8	299	Cr(VI)	0.06	0.99
Cl	43.1	34.5			

単位：mg/l, 浸漬期間：8日間, n=2

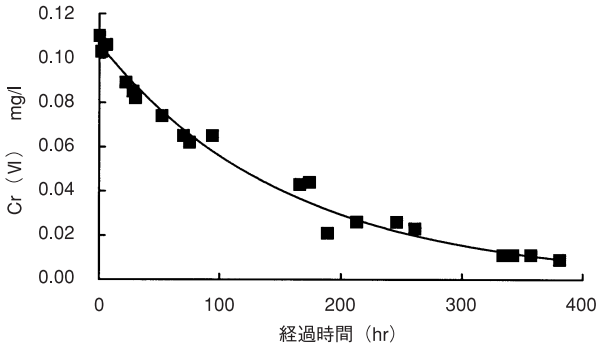


図3 竹炭による六価クロム吸着

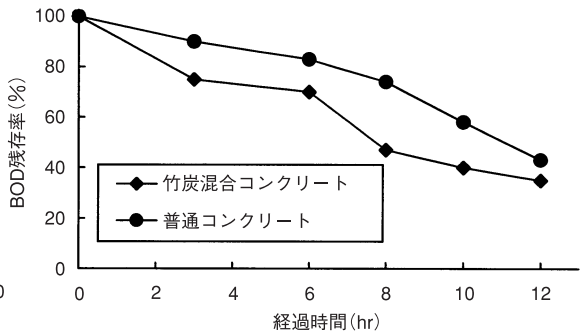


図4 コンクリート付着微生物によるBOD除去

表3 微生物の付着量

	竹炭混合 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

浸漬期間：1998年12月～1999年3月

3.2 六価クロムの吸着

2.2節の浸漬実験において、普通コンクリート浸漬水中に有害物質である六価クロムが検出されたため、浸漬実験期間中の六価クロム濃度の経時変化を測定した。結果を図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、竹炭混合コンクリートでは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た。

そこで、竹炭混合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、竹炭のみによる吸着実験を行った。この結果を図3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(0.02mg/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、三価クロムとしても存在していないことを確認した。

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微生物付着量の差異を把握するため、酸化池で付着させた微生物

の量を測定した結果を表3に示す。竹炭混合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た^{1,2)}ためと考えられた。

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たときの、BODの経時変化を図4に示す。縦軸は初期濃度に対する残存率で示した。最終的なBOD残存率に大きな違いはみられないが、竹炭混合コンクリートの方がより速く減少した。

BODが初期濃度の50%以下になるまでに要する時間は、竹炭混合コンクリートの方が4時間近く速かった。実際の河川では、付着藻類と水が接する時間は短いため、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。

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。その結果、竹炭混合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ことから、竹炭から溶け出したと考えられた。またアルミニウムは、竹炭混合コンクリートの製造過程で、バインダーとして使用し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、

バインダーの工夫が必要である。

また、竹炭混合コンクリートでは、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、竹炭混合コンクリートには普通コンクリートに比べ約3倍の微生物が付着した。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ためと考えられた。

付着微生物量が多いことにより竹炭含有コンクリートのBOD除去速度も大きかったが、実際の河川水質への効果については今後検証が必要である。

—引用文献—

1) 池嶋庸元：竹炭は効く。pp.183-184, 致知出版社, 東京,

1999

- 2) 田中淳夫：伐って燃やせば森は守れる, pp.108-114, 洋泉社, 東京, 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, p.542, 2000
- 4) 小林一輔：コンクリートが危ない, pp.19-24, 岩波書店, 東京, 1999
- 5) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六：河川生態環境工学. pp.27-28, 東京大学出版会, 東京, 1993
- 6) 桜井善雄, 市川新：都市の中に生きた水辺を. pp.75-77, 信山社出版, 東京, 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, pp.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, pp.1010-1015, 1999
- 9) 畑野健一, 佐々木恵彦：樹木の生長と環境. pp.331-335, 養賢堂, 東京, 1987
- 10) Han I, Schlautman M, Batchelor B: Removal of Hexavalent Chromium from Groundwater by Granular Activated Carbon. Water Environment Research, 72, pp.29-39, 2000