

微生物固定した軽石による水質浄化に関する基礎的研究

岡林悦子*, 田中光徳*, ミヨーキン*, 岡林巧**, 大竹孝明**

Basic research on water quality purification with pumice that fixes microorganism

Etsuko OKABAYASHI, Mitsunori TANAKA, Myo KHIN, Takumi OKABAYASHI and Takaaki OHTAKE

Abstract

Kagoshima Prefecture commence its fourth stage of Kagoshima bay blue plan for the inner side, and sets the water quality control target. The Kagoshima inner bay has exceeded COD and exists with the increasing tendency. In this research, the water quality purification experiment was done by using the character to which porosity and adsorbent of the abundant pumice distributed in Southern Kyushu. The microorganism was attached on the surface of pumice like thin film, and the change by the variation of water temperature in the tube type circulation operation and flow velocity COD was examined, and the feature of the adhesion microorganism of jurisdiction was examined. It took about three weeks for microorganism to stabilize. The first stage of processing with this provision can almost be considered as a first order reaction.

Keywords : Pumice tube type circulation operation porosity

1. はじめに

鹿児島県は閉鎖性水域である鹿児島湾に対して、現在第4期鹿児島湾ブルー計画をたて、その水質保全目標をCOD2mg/l, 窒素0.3mg/l, りん0.03mg/lと定めている。中でも、排出汚濁負荷量は湾奥IVゾーンが34%と最も高い。そのため、県は湾奥を平成5年に生活排水対策重点地域と指定し、その対策に乗り出している。しかし天降川流出海域ではCODが超過し増加傾向にある。

本研究では、南九州に分布する軽石の多孔性、吸着性に富む性質を利用して水質浄化実験を行なった。今回は軽石の表面に膜状に微生物を付着させ、管型流通操作での水温、流速の変化によるCODの変化について検討し、管内の付着微生物の特徴についても調べた。

2. 既往の研究と研究目的

軽石は比表面積が大きく、ろ過機能や吸着能力に優れている。そのため、生活排水や河川等の汚れや悪臭、不純物を吸着するとともに、軽石に付着した微生物が水質汚染となる有機物を分解し、水質を浄化する能力を持つと考えられる。ろ過機能や吸着能力に優れている竹炭と比較しても十分にその可能性を持つと考えられる。そこで、軽石の細孔内に生物膜を付着させ、管型流通式操作における操作条件の影響について検討し、微生物を固定化した軽石による排水処理技術の開発を行なった。

本研究は、南九州に分布する軽石の特性を利用して水質の浄化を目的とし、軽石の表面に膜状に微生物を付着させ、管型流通式操作における操作条件のおよぼす影響について検討する。

*社会環境学科

**鹿児島工業高等専門学校

3. 試験概要

(1) 試料

軽石は、第四紀地質時代における噴出源を始良火山由来とし、鹿児島県垂水市および鹿屋市を主な分布地として甚だに埋蔵している¹⁾²⁾。表-1に微生物固定に用いた軽石および竹炭の物理的性質を示す。比重は、内包する空隙を十分すりつぶした真比重であり、火山由来の火山ガラス(比重約2.2)より軽石、竹炭ともに小さな値を示している。吸水率値は、試料に対する含有する水分量の質量比を表しており、軽石が竹炭同様に多孔質で、比表面積の大きな素材であることを示している。

また、実績率は、管型流通式反応器の設計をす

る際の軽石の充填の算定に必要な値の一つで、水が流動可能な容積を表している。

軽石の実体顕微鏡写真の一例を示したものが図-1(a)竹炭が(b)である。図からも軽石は多孔質で比表面積の大きな素材であることが確認できる。軽石は表-1と図-3より吸水率の面では軽石より竹炭のほうが2倍程度高い値を示すものの、ほぼ同様な物理的性質を示している。

また、軽石を使用した試験は、先行して行なった竹炭と比較するために、ふるい分け試験¹⁾し、粒度分布を竹炭の粒径加積曲線に合わせ、図-2の粒径加積曲線上に乗るように軽石の粒度の調節を実施した。

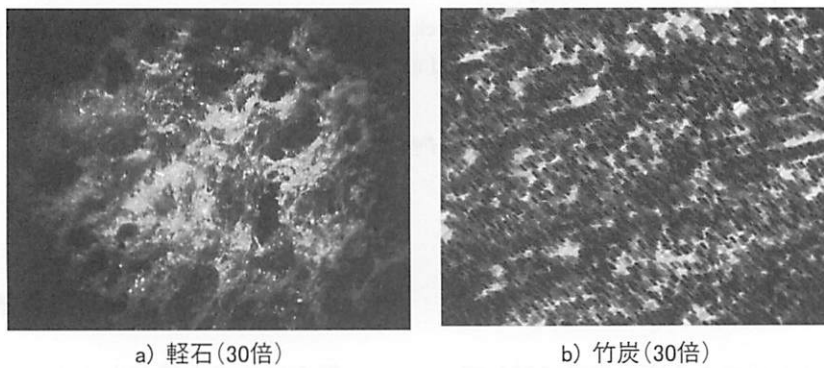


図-1 軽石および竹炭の実体顕微鏡写真

表-1 試料の物理的性質

	比重	単位容積質量(g/cm ³)	吸水率(%)	実績率(%)
軽石	1.262	0.332	55.413	40.27
竹炭	1.223	0.223	115.373	40.44

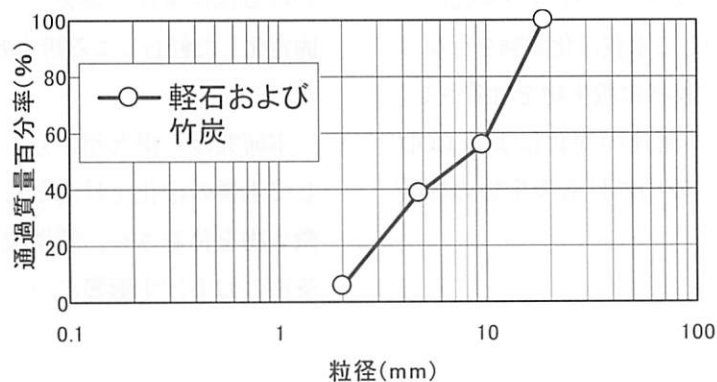


図-2 粒径加積曲線

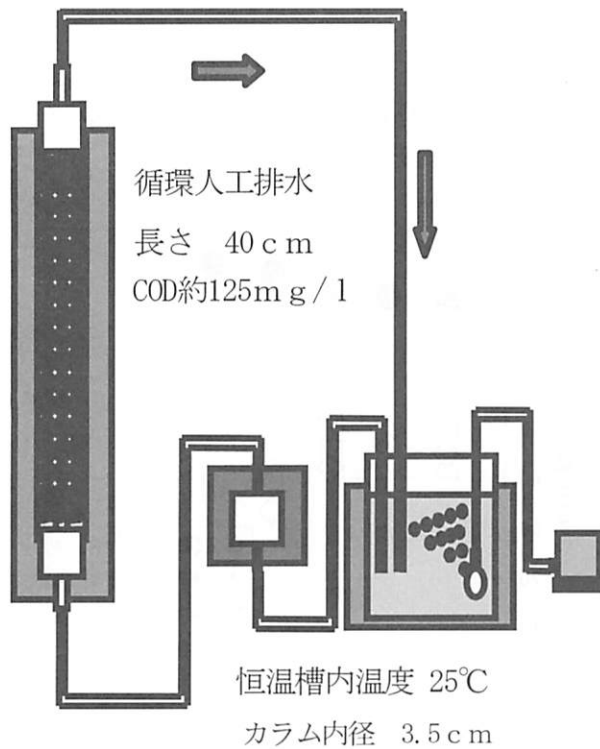


図-3 微生物付着試験

図-3に示すような内径3.5cm, 長さ40cmの亚克力製のカラム(管型)に大きさが0.2~2cmの軽石を充填させ, 人工排水を $3.33 \times 10^{-4} \sim 5.00 \times 10^{-4}$ l/sの流量で曝気させながら循環させた。カラムを入れた恒温槽内温度はデジタルサーモペット (NTT-1200) を用いて25°Cに維持した。

表-2 人工排水組成¹⁾ (COD 約125mg/l)

(NH ₄) ₂ SO ₄	21.7mg/l
KH ₂ PO ₄	6.6mg/l
NaHCO ₃	37.5mg/l
MgSO ₄ ·7H ₂ O	56.3mg/l
CaCl ₂ ·2H ₂ O	37.5mg/l
NaCl	37.5mg/l
C ₆ H ₁₂ O ₆	200mg/l
POLYPEPTON	40mg/l

表-3 人工排水組成¹⁾ (COD 約21mg/l)

(NH ₄) ₂ SO ₄	5.56mg/l
KH ₂ PO ₄	1.69mg/l
NaHCO ₃	9.6mg/l
MgSO ₄ ·7H ₂ O	14.46mg/l
CaCl ₂ ·2H ₂ O	9.6mg/l
NaCl	9.6mg/l
C ₆ H ₁₂ O ₆	51.2mg/l
POLYPEPTON	10.24mg/l

(3) 管型流通式処理試験

表-2の人工排水により3ヶ月間カラム内で微生物を馴養させ充填した軽石に微生物膜を付着させた。その後, このカラムに表-3の人工排水(2000ml)を曝気させながら流通させる管型流通式処理操作を行った。水質浄化能力に対する流量の影響を検討するため, 流量を $2.50 \times 10^{-4} \sim 7.50 \times 10^{-4}$ l/sまで変化させ, それぞれCODの経時変化を測定しCOD除去率変化を調べた。pHはカラム流入前が6.5前後で, カラム流入後が約6.0であった。CODはCODメーター(C-331)を, pHはpHメーター(IM-20E)を用いた。

(4) 試料のCOD測定

COD測定は100°Cにおける過マンガン酸カリウムによる化学的酸素要求量を測定した。これらの操作は, 途中中断すると反応が進み液温が冬場は低下するため, 測定誤差が大きくなるので手際よく行なう必要がある。

4. 結果および考察

(1) 管型流通式処理

図-4は軽石の各流量(2.50×10^{-4} [l/s], 4.17×10^{-4} [l/s], 5.83×10^{-4} [l/s], 7.50×10^{-4} [l/s])におけるCOD除去率の時間的变化を示したものである。液温は25°Cで一定とした。流量が小さい 2.50×10^{-4} [l/s], 4.17×10^{-4} [l/s]では時間とともに, COD除去率は上昇した。これは流量が小さいためにカラム内の排水滞留時間が長くなったため, 微生物の排水への接触時間が長くなったことに起因すると考えられる。逆に 5.83×10^{-4} [l/s], 7.50×10^{-4} [l/s]は流量が大きいため, 微生物の処理速度がおいつかず, 30分でCOD除去率は低下する。これらの結果よりCOD除去率は流量によって大きく影響を受けることがわかる。

図-5は, 軽石の各温度の違いにおけるCOD除去率の時間的变化を示したものである。各温度とも時間の経過とともにCODが減少しており, 微生物による有機物分解が進行していることがわか

る。32.1℃では60分後に約80%近く除去されているのに対し、5.7℃では40%しか除去されなかった。この事から温度を下げるに従ってCODの除去率は大きく低下し、温度の影響が極めて大きいことがわかる。

図-6は、カラム内の軽石の実績率を40.27%の1/2にして、微生物を今までと同じ条件下で馴養させた時のCODの除去率を示したものである。微生物を馴養し始めてから1週間、2週間と馴養する期間が長いほど微生物の量は増えて、3週間ほどで微生物の量は安定した。図-6からわかるように、1、2週間後には、COD除去率は60分で約70%、3、4週間後では約80%とCOD除去率に顕著な差がみられた。また、実績率を1/2にしても除去率は、前回とほぼ同様であった。

(2) 軽石に付着した微生物

図-7は上向流式カラムの上層部に出現した細菌である。カラムの軽石表層部に近い部分は黄褐色から乳白色の細菌のフロックが見られ、その外側に糸状菌が出現した。糸状体は鞘と隔壁を持ち枝分かれし、鞘は同じ幅で伸び、長いものは700~800μm、先端は基部より細くなる。

図-8はカラムの中層部に出現した細菌である。上部同様、軽石表層部に近い部分は黄褐色から乳白色の細菌のフロックが見られ、その外側に上部と同じ種類の糸状菌が出現する。糸状体は上部ほど発達しない。

図-9はカラムの下層部に出現した細菌である。表層部に近い部分は黄褐色から乳白色の細菌のフロックが見られ、その外側に上部と同じ種類の糸状菌が出現する。糸状体は上部と同程度に発達する。反応管表面下部に少量の紅色細菌が出現した。また、流入口付近では原生動物繊毛虫類 *Colupidium* その他数種の繊毛虫類が出現した。これはこの付近の溶存酸素と汚濁濃度が生存に適していたためと考えられる。黄褐色から乳白色の細菌は通性嫌気性菌から嫌気性の菌群と考えられ、糸状菌はこれらのフロックより空隙に向かって糸状体が形成されることから、前者より好気性菌であると考え

られる。

図-5と図-6のそれぞれについて60分後DOの測定を行った。DOは2から3前後を示し流量が多く馴養が永いほど、嫌気性に傾いた。

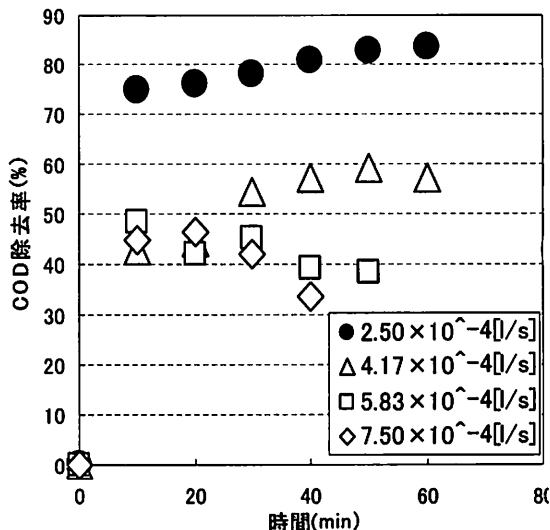


図-4 COD除去率と流量の関係

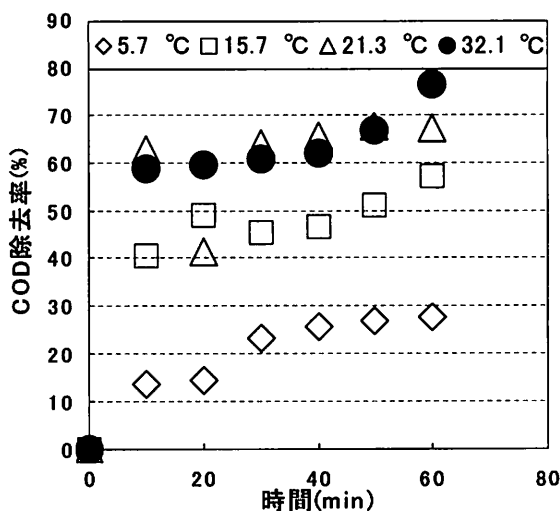


図-5 COD除去率と馴養温度の関係

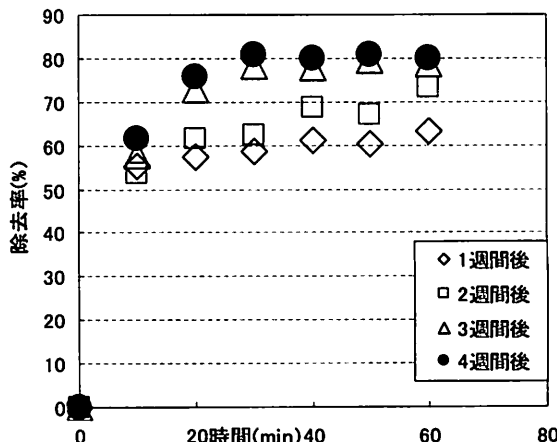
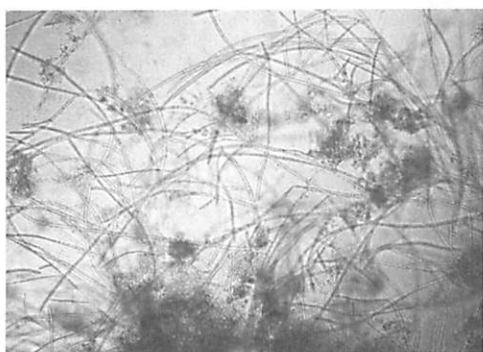
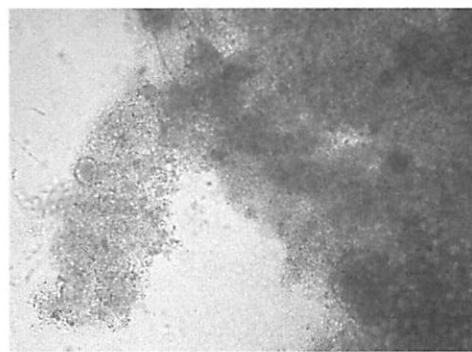


図-6 軽石のCOD除去率と馴養期間の関係

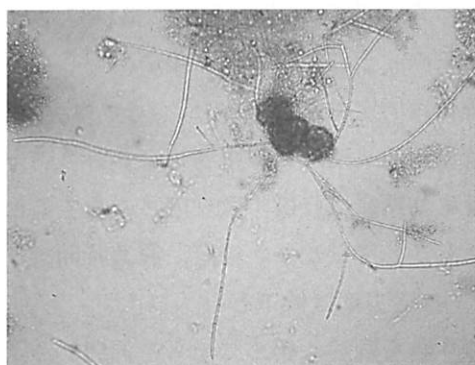


(a) 細菌のフロックを土台として広がる糸状菌

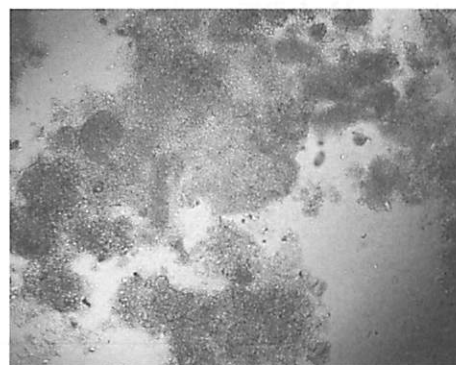


(b) フロック状となった細菌

図-7 カラムの上部に出現した細菌



(a) 細菌のフロックを土台として広がる糸状菌

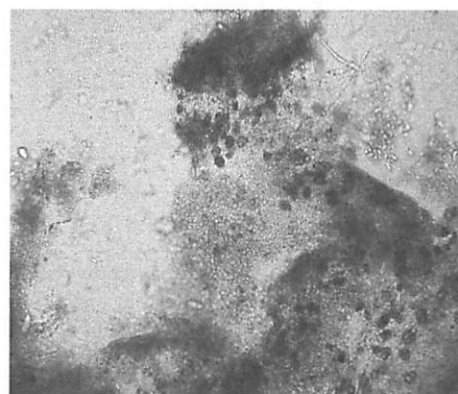


(b) フロック状となった細菌

図-8 カラムの中部に出現した細菌



(a) 細菌のフロックを土台として広がる糸状菌と原生動物繊毛虫類



(b) フロック状になった細菌と紅色細菌

図-9 カラムの下部に出現した細菌

(3) 滞留時間と反応率の関係

本研究の流通式試験の微生物の有機物分解反応は、一時反応であると考えられる¹⁾²⁾。

$$-r = kC_0(1-x) \dots\dots\dots(1)$$

上式を管型反応器の設計方程式

$$\frac{V}{F_0} = \int_0^x \left(\frac{1}{-r} \right) dx \dots\dots\dots(2)$$

に代入すると、

$$\frac{V}{F_0} = \int_0^x \left\{ \frac{1}{kC_0(1-x)} \right\} dx \dots\dots\dots(3)$$

積分すると、

$$\frac{kVC_0}{F_0} = -\ln(1-x) \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $F_0 = v_0C_0$ なので

$$\frac{kVC_0}{(v_0C_0)} = -\ln(1-x) \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{kV}{v_0} = -\ln(1-x) \dots\dots\dots(6)$$

C_0 = 入口 COD (mg/l)
C = 出口 COD (mg/l)
v_0 = 入口体積流量 (l/s)
F_0 = 入口COD 流入速度 (mg/s)
k = 速度定数 (s^{-1})
V = 竹炭層容積 (l)
x = 反応率 (-)

ここで、 $\frac{v}{v_0}$ は試料層を通過する滞留時間であり、 $-\ln(1-x)$ の対数は、滞留時間に比例して増加することになる。図-10より流量が 4.17×10^{-4} [l/s]と 5.83×10^{-4} [l/s]では反応率は、上昇していないが流量を少なくし滞留時間を増加させると、反応(除去)率も大きくなり(6)式とほぼ一致する傾向を示した。

5. おわりに

本研究では、南九州に分布する軽石および竹炭の特性を利用して河川水の浄化を目的とした基礎的試験を行い、排水処理初期の変化について検討を行った。本研究で得られた結論を以下に要約する。

(1)微生物を固定した軽石を用いた管型流通式排水処理における COD 除去率は、通水流量、温度に大きく影響を受けるが、実績率を変えてもほとんど変化が見られなかった。

(2)反応管の上、中、下に共通して出現したものは黄褐色から乳白色の細菌が出現した。糸状菌はカラムの下部に最も多く出現したが全体としては少なかった。また、カラムの下部には紅色細菌と *Colupidium* その他の繊毛虫類が出現した。その他の細菌は同定できなかった。

(3)管型流通式処理の微生物による有機物分解反応は反応初期にはほぼ1次反応とみなすことができる。しかし流量が多い場合、流通時間経過とともに COD 除去率は低下した。

(4)微生物を馴養し始めてから1週間、2週間と期間が長いほど COD 除去率は高くなり、3週間程で微生物の量は安定したと考えられる。

(5)各流量変化による測定では60分経過後の DO はすべて2から3の嫌気性を示し、管型流通式処理装置を解体時の軽石は硫化水素臭をともなった。

(6)各流量変化による測定では60分経過後に微生物の剥離がみられた。

本研究は平成17、18年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（C）：研究代表者大竹孝明）を受けたものであり、平成17年度土木学会西部支部研究発表会にて発表したものである。また、本研究を遂行するにあたり、管型流通式処理装置による試験は鹿児島工業高等専門学校専攻科土木工学専攻特別研究生下園広喜氏のご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 下園広喜, 岡林巧, 大竹孝明, 岡林悦子, 蔵園有佑, 福地茂穂: 微生物を固定化した軽石による排水処理技術の開発, 平成17年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集1105-1106 (2006)
- 2) 大竹孝明, 岡林巧, 下園広喜, 蔵園有佑, 馬場秀二, 岡林悦子, 吉田昌弘: 竹炭等の自然物を利用した水質浄化技術の開発, 化学工学会鹿児島大会研究発表講演要旨集 B107, 33 (2006)