



Title	多孔性コンクリートブロックを用いた開水路の浄化機能に関する研究
Author(s)	古川, 憲治; 中川, 雅世; 藤田, 正憲 他
Citation	日本水処理生物学会誌. 1991, 27(1), p. 67-75
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3484
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

多孔性コンクリートブロックを用いた 開水路の浄化機能に関する研究

Studies on Treatment Capability of Open Water Channel using Porous Concrete

古川 憲治¹⁾, 中川 雅世¹⁾, 藤田 正憲¹⁾, 玉井 元治²⁾
Kenji FURUKAWA¹⁾ · Masayo NAKAGAWA¹⁾ · Masanori FUJITA¹⁾
and Motoharu TAMAI²⁾

(大阪大学工学部環境工学科¹⁾ · 近畿大学理工学部土木工学科²⁾)
(Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University¹⁾
Department of Civil Engineering, Faculty of Science and Technology, Kinki University²⁾)

Abstract

The pilot plant tests for assessing the application possibility of water channel packing porous concrete to direct purification of polluted river water were conducted. Hence porous concrete provided enough available attached area for algae, which was an useful biooxygenproducer, synthetic polluted river water less than 20mg-TOC/L were successfully treated in water channel without deficiency of dissolved oxygen. About 70% of TOC removal was possible under volumetric TOC loading rate below 80 mg/L/day and effluent TOC concentration less than 3 to 4 mg/L could be obtained under volumetric TOC loading rate below 30mg/L/day. Nitrification did not occur in water channel, so that only 20% of nitrogen was removed. But about 50 % of phosphorus was removed by the dissolution of calcium component from porous concrete. Through the SS trapping function of porous concrete, treatment capability of water channel increased tremendously, and the observed sludge yield

decreased apparently by the increase of sludge retention time. In water channel packed with porous concrete, filamentous microorganism, such as *Geotrichum* sp. and *Beggiatoa* sp., and *Rotaria* sp., *Diplogaster* sp. and *Paramecium caudatum* were dominated in the sludge.

1. はじめに

近年、下水道の普及とともに河川環境は徐々に改善されつつあるものの、一部都市河川では生活雑排水や未規制の小規模事業排水による汚濁が依然として著しい状況にある。一方、都市化の進んだ中で、河川の本来有する親水機能が再認識され、清浄な河川水質の維持が求められるようになり、早急なる対策が待たれている。昭和58年、多摩川水質浄化対策の一助として、支川である野川の河川敷内に表面積13,600m²の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、それが順調に機能している¹⁾ことが契機となり、河川水の直接浄化法が注目されるようになってきた。河川水の直接浄化法は、あくまでも下水道整備がなされるまでの暫定的な措置であるが、本来河川の有する自浄化作用を人為的に増強させた方法であることから、低コストの浄化が可能で、今

後このような処理施設の建設が増えるものと考えられる。河川水の直接浄化法のうち、礫や各種接触材を用いて付着生物量を増し、付着生物によって汚濁物を吸着、酸化分解する方法を接触酸化法と呼んでいる²⁾。今回、河川水の直接浄化に使用する接触充填材として、海水浄化で著しい効果の認められた多孔性コンクリートブロック³⁾を取り上げ、これが汚濁河川水の浄化にどの程度効果が見られるのかを、長さ24m、有効容積900Lの実験水路で合成河川水を用いて実験的に検討した。

2. 実験装置並びに方法

(1) 実験装置

Fig.1に用いた実験装置の模式図を示した。本処理装置は、幅25cm、水深15cm、長さ8m、有効容量300Lのアクリル製の水路を3段積み重ねた全長24m、全有効容量900Lの細長い水路と、容量130Lの調製槽から構成されている。この実験水路の一段目水路のみに、後述する多孔性コンクリートブロックを100ヶ充填した。日の当たらない部屋側の水路側面に、藻類の生育活性を高める目的で各段当り20Wのフィッシュルクスを12本設置し、午前6時から午後6時までの12時間点灯した。

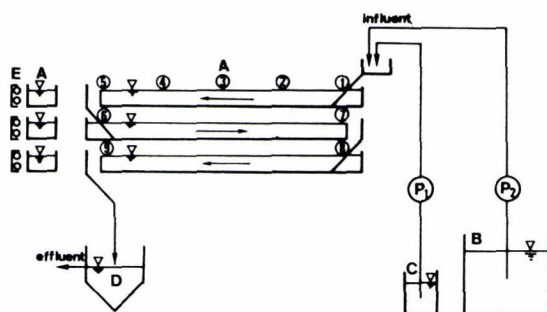


Fig 1. Schematic diagram of channel flow process.

A: open channel, B: tap water for dilution
C: concentrated polluted river water
D: regulation tank, E: fluorescent lamp
figure in ○ indicates sampling point

(2) 水路充填材

① 充填材の作成方法

水路の充填材として、海水浄化と海域環境の保全にその有効性が明らかにされている多孔性コンクリートブロックを用いた。セメント、シリカヒューム、ナフタレン系の高性能減水剤、骨材(6号砕石)を空隙率が30%となるように混合し、Fig.2に示す方法で多孔性コンクリートブロックを作成した。作成した多孔性コンクリートブロック(Photo.1)の形状と特性をTable 1に示した。

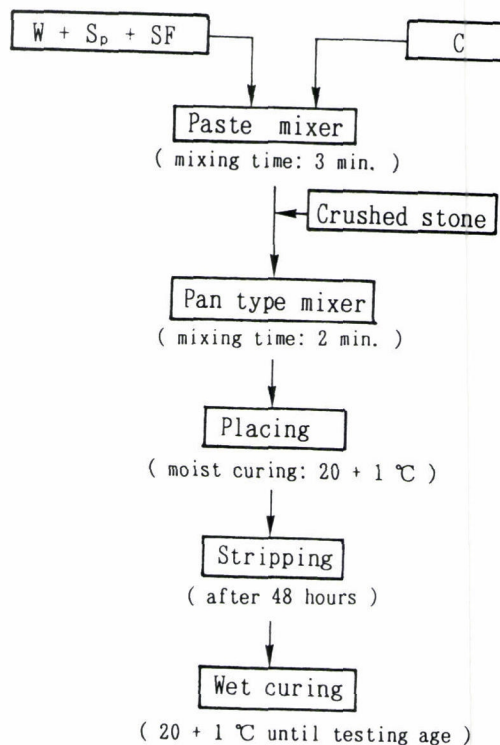


Fig 2. Mixing and fabrication of the specimen.

W: water, Sp: super plasticizer
SF: silica fume



Photo.1 Porous concrete.

left : fabricated porous concrete.
right: porous concrete.

Table 1.Physical properties of porous concrete

Diameter	100 mm
Length	198 mm
Unit weight	1,768 kg/m ³
Void ratio	30 %

②充填材の中性化処理

作成直後の多孔性コンクリートブロックは中性化が全く進行していないため、そのまま水路に充填すると水路内の水をアルカリ化させるので、次に述べる方法で中性化処理を施した。400L容の大型ポリ容器に作成した100ケの多孔性コンクリートブロックを詰めた後、1Nの硫酸溶液をそそぎ込み、72時間浸漬した。その後、水道水を270m³/日の流量で70日間掛け流して多孔性コンクリートブロックの中性化を図った。

③充填材の設置方法

中性化処理を施した多孔性コンクリートブロックを、Fig.3に示すように円柱の断面が水流方向に垂直となるよう、2列2段で直列に一段目水路に充填した。Photo.2にその充填の様子を示した。なお、水質サンプリング用に1.5m間隔に充填ブロックの間に約2cmの間隔を設けた。

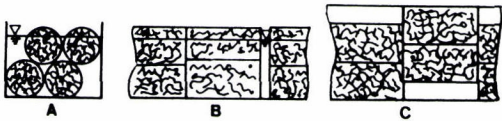


Fig 3.1st water channel packked with porous concrete.

- A:cross sectional view
- B:side view
- C:plan view

(3)供試汚水

実験水路に、Table 2に示した組成の合成汚濁河川水を1,000L/日の流量で流入させ、one through modeで連続処理を行った。汚濁河川水を想定して、合成汚濁河川水のTOC/N、TOC/Pがそれぞれ1、5となるように調製した。



Photo 2.Setting condition of porous concrete in the 1st water channel.

Table 2.Composition of synthetic polluted river water

Component	Concentration
Glucose	20 - 50 mg/L
(NH ₄) ₂ SO ₄	47.6 - 119 〃
KH ₂ PO ₄	8.8 - 22 〃
Tap water	1.0 L

∴ pH 7.1
∴ TOC/N and TOC/P were kept to be 1.0 and 5, respectively.

(4)実験方法

実験水路の運転条件をTable 3に示すように種々変化させて、RUN1～5の実験を行った。

(5)測定方法

試験期間中、水温(正午に測定した温度を代表温度とした)、各サンプリング地点におけるDO濃度、一段目水路出口(地点5)、三段目水路出口(地点9)の水質測定を適宜行った。No.5Bの濾紙で濾過した試料について、pH、TOC、NH₄-N、NO₃-N、ケルダール窒素、全燐を測定した。測定は全て下水試験方法によった。DOはポーラロ型溶存酸素計(セントラル科学、UC-12型)、TOCはTOC分析計(島津製作所、TOC-500)で測定した。

Tbble 3. Experimental conditions

RUN No.	Experimental term(month/day)	Influent(mg/L)			Presence of porous concrete
		TOC	T-N	T-P	
1	5/29 - 10/3	10	10	2	-
2	10/4 - 11/7	10	10	2	+
3	11/8 - 1/13	15	15	3	+
4	1/14 - 1/25	20	20	4	+
5	1/25 - 2/18	25	25	5	+

水路壁面，多孔性コンクリートブロックに付着した生物量は，一定間隔毎にナイロンタワシ，歯ブラシ等でそれぞれの表面からはぎ取って測定し，その測定値をもとに水路に存在する付着生物量を推定した。付着生物のクロロフィル含有量は，試料を超音波破砕機(日本精機製作所，GT-200型，200W，20KHz，5分間)にかけた後アセトン抽出法⁴⁾にて測定した。

3. 実験結果並びに考察

(1) 処理成績

① 処理の経日変化

試験期間中の流入水，一段目流出水，最終処理水のTOC，T-N，T-P濃度と水温の変化をFig.4に示した。

② pHの変動

充填材として採用した多孔性コンクリートブロックはペーストとしてセメントを用いているために，その中性化が不十分であると，水中でそのアルカリ成分が溶出し，水路のpHを高めることが予想される。水路のpHが余りにも高まると，多孔性コンクリートブロックへの微生物の付着が妨げられ，水路の処理機能が低下する。そこで，運転開始直後のpH変動を追い，Fig.5に示す結果を得た。多孔性コンクリートブロックを海水に浸漬した場合には，約1ヶ月程度で海洋性の生物が付着するのに対して³⁾，本実験で酸処理と水道水の掛け流しによる中性化処理を施した多孔性コンクリートブロックを使用したにもかかわらず，水路への流入水量が少ないことも手伝って，水路のpHが生物反応に影響を及ぼさないと考えられる値(pH 8程度)にまで低下するのに約1ヶ月を要した。その後，藻類等の生物が多孔性コンクリートブロックに付着するようになり，2ヶ月後には地点5，9のpH値は7.5程度にまで低下した。

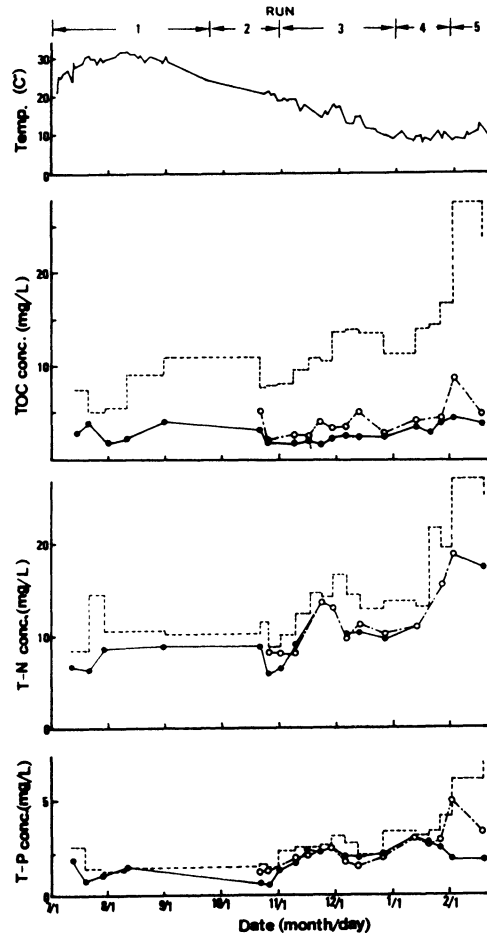


Fig.4 Treatment results of water channel.
 ----- influent
 ---○--- effluent from 1st channel
 ---●--- effluent from 3rd channel

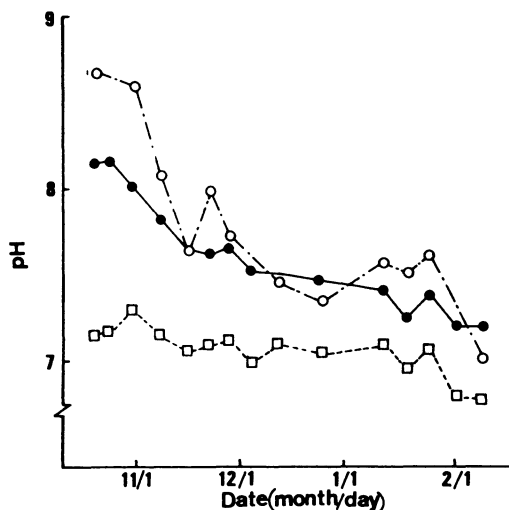


Fig.5 pH change after setting porous concrete.

--□-- influent
 --○-- effluent from 1st channel
 --●-- effluent from 3rd channel

③DOの変動

水路処理では、酸素は水路表面並びに水路接続部での再曝気、それに水路内に発生する藻類の光合成によって供給される⁵⁾。DO律速状態で水路が運転されると、処理能力が低下するばかりか悪臭発生の原因ともなるので、水路内のDO分布についての知見は水路の適正管理に欠かすことはできない。

Fig. 6に各RUNで水質の安定した時点における、DOの流れ方向に沿っての変動を示した。Fig. 4に示したように、多孔性コンクリートブロックを充填した一段目水路で流入TOC成分がほぼ除去されてしまうことから、一段目水路でのDO変動が大きく、しかもそのDO低下速度が流入TOC濃度の増加につれて大きくなる。TOC濃度を25mg/Lに高めた冬期の試験では、流入水のDO濃度が10mg/L以上あるにもかかわらず水路を2m流下するだけでDOが3mg/Lにまで低下し、0～2mの区間で大きなTOC除去の起きていることを示している。流入TOC濃度を高めると、水路内のDOが不足し、水路が嫌気状態に陥るものと予想していたが、全ての実験において水路中心部で測定したDO濃度が0mg/Lになることはなかった。これには、空隙率の高い多孔性コンクリートブロックを充填材として用いたため、酸素供給能を有する藻類が高い密度で附着生育することが可能であったことに加え、上部ブロックの上半分が水面上に出ている状

態で使用したことから、藻類の生育に適した水際環境が造出されたことが関係している。

④TOC除去

多孔性コンクリートブロックを充填しない水路によっても、TOC濃度が10mg/L程度の汚水であれば、21.5時間の滞留時間で70%程度の効率でTOCを除去することができた。多孔性コンクリートブロックを充填した一段目水路流出水のTOC濃度は、三段目流出水のTOC濃度より1～2mg/L高いものの、流入水TOC濃度が15mg/L程度までは、多孔性コンクリートブロックを充填しない水路の三段目流出水のTOC濃度とほぼ同程度の3～4mg/Lで推移した。このことは、水路に多孔性コンクリートブロックを充填することで、水路の処理能力が約3倍に向上することを示している。Fig. 7には、流下に伴うTOC濃度変化の一例を示した。この図からも、TOC除去反応の大部分が一段目水路で起きていることは明らかである。

流入TOC濃度を25mg/Lに高めた実験でも、一段目水路だけで80%程度のTOCが除去されたが、一段目流出水に若干のどぶ臭と濁りが認められたことから、本処理装置でTOC濃度25mg/L以上の汚水の処理は無理と判断した。

本研究の一つの目的が、年間を通じての水路処理機能の評価であったため、水温制御を全く行わず、処理水温は10～30℃まで変動した。水路の処理機能は当然水温の影響を受けるが、あえてここでは水温を考慮せずに水路のTOC除去機能を解析してみた。(RUN1では、三段目の処理水質データを用いて三段の水路全体について、それ以降の実験では一段目流出水の水質データをもとに一段目水路のみについて検討した) Fig. 8には、TOC容積負荷量とTOC容積除去速度の関係を示した。TOC容積除去量が80mg/L・日以下であれば、TOCを平均して70%の効率で除去できることがわかる。

Fig. 9にはTOC容積負荷量と処理水TOC濃度との関係を示した。水路処理においては、TOC容積負荷量が高くなるにつれて処理水のTOC濃度が高くなった。それ故、多孔性コンクリートブロックを充填した水路で3～4mg/L程度まで汚濁河川水を処理するには、TOC容積負荷量を30mg/L・日程度に維持しなければならない。

⑤窒素除去

多孔性コンクリートブロックを水路に充填していないRUN1でのT-N除去率は13%であったが、多孔性コンクリートブロックを充填したRUN2以降の実験では、一段目水路流出水基準、三段目水路流出水基準のT-N除去率はそれぞれ18%、24%に向上した。Fig. 9に示した

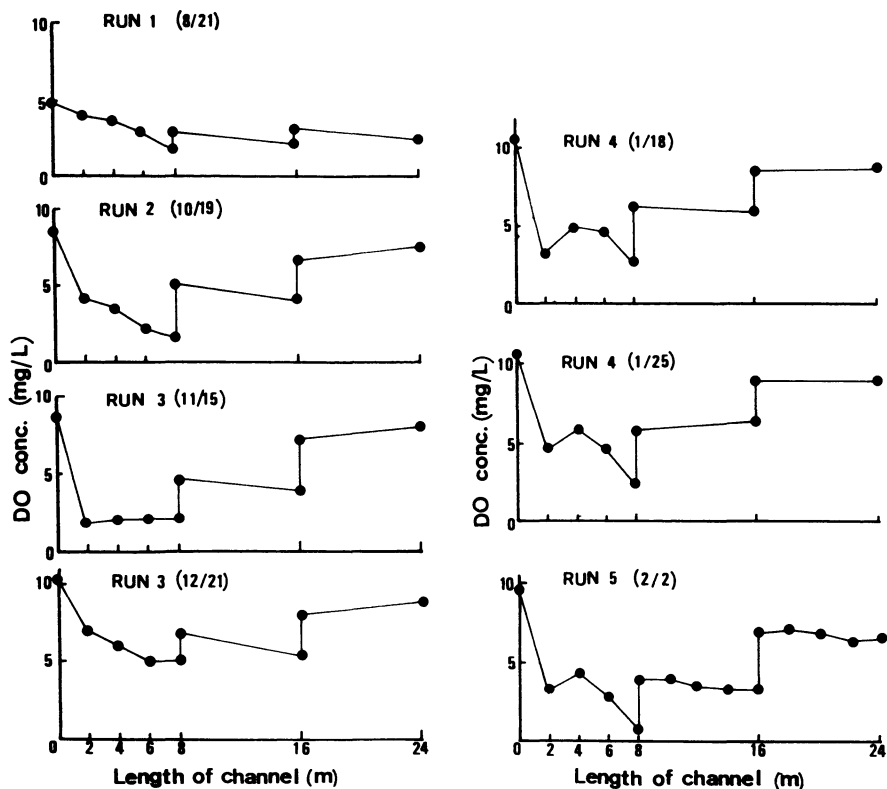


Fig 6.Change of DO concentration in water channel.

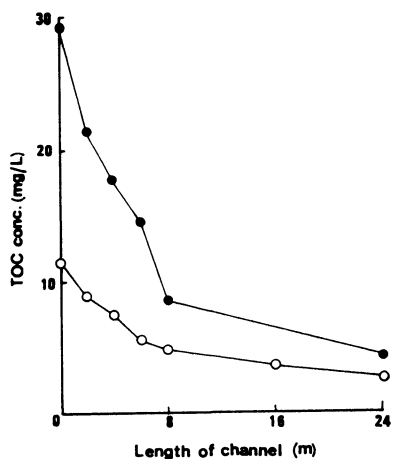


Fig 7.Change of TOC concentration in water channel.

--○-- RUN 1 --●-- RUN 5

ように、処理水中の窒素の大半が $\text{NH}_4\text{-N}$ で占められること、TOC除去の終了した二段目、三段目でも $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度がそれほど高まらないことから判断して、試験水路では硝化反応は殆ど期待できない。これには、試験水路を明条件で運転したことから、硝化菌を余り含まない藻類を主体とする生物膜が形成されたことが原因している。

⑥ 磷除去

RUN1でのT-P除去は28%であったのが、多孔性コンクリートブロックを水路に充填したRUN2以降の実験ではT-P除去率が50%程度にも高まった。このような多孔性コンクリートブロックを水路に充填することによるT-P除去率の向上は、多孔性コンクリートブロックから溶出する Ca^{2+} が大きく関与しているものと考えられる。Fig.4に示したように、TOC、T-Nに比べ二段目、三段目水路でもかなりのT-Pが除去されている。これには、二段目、三段目水路内には藻類が優占的に水路壁面に付着生育することから、水路内のpHがカルシウムヒドロキシアパタイトの形成に適したアルカリ側にシフトしたことが密接に関係しているものと思われる。

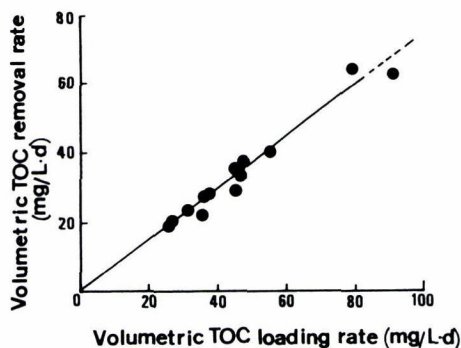


Fig. 8. TOC removal capability of water channel.

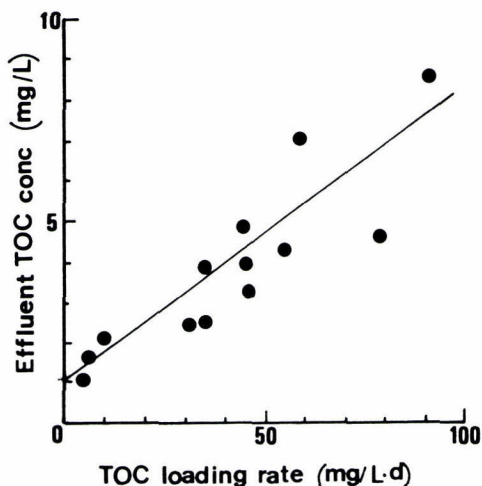


Fig. 9 Relationship between TOC loading rate and effluent TOC concentration.

(2)汚泥生成

多孔性コンクリートブロックを敷き詰めた水路で汚濁河川水を処理する際、どの程度の量の汚泥がどの様に付着生育するのか、又どの程度の期間で充填材が汚泥によって閉塞するかについての知見は、水路の処理機能の定量的な評価に必要であるばかりか、水路維持管理の重要な指針ともなる。

①多孔性コンクリートブロックへの生物膜の付着状況

前述のように、充填材投入後約1ヶ月は水路内のpHが高いこともあり、多孔性コンクリートブロックに付着する生物を肉眼で認めることはできなかった。ただ、充填材が詰まっていない流入口付近で、Photo. 3に示す寒天様物質の蓄積がRUN2の実験開始2週間後には認められ

た。その後、流入負荷量を高めるにつれてこの寒天様物質と藻類の付着生育が流入口付近から徐々に流下方向に広がっていくのが観察された。二、三段目水路では、水路壁面をフィッシュルクスで連続照射したこともあり、壁面に藻類が旺盛に付着生育した。流入TOC濃度を15 mg/L以上に高めたRUN3以降の実験では、微好気条件下の水路で優占的に増殖することの認められている *Beggiatoa* の発生が、その特有の白い薄膜の形成によって確認された。一番負荷量を高めたRUN5の実験では、二段目水路の底部にも *Beggiatoa* の白い薄膜の形成が認められた。

1月11日に投入後約3ヶ月を経過した多孔性コンクリートブロックを取り出し、その付着生物量を測定した。Photo. 4に示すように、上半分が水面上に出ている上段ブロックには、寒天様物質、藻類を主体とする生物膜の付着が見られたが、完全に水没している下段ブロックには、肉眼で付着生物を確認できなかった。しかし、硫化物によってブロックが黒変していることから、水路下部が嫌気状態となっていたことが明かとなった。この嫌気域の存在が、高い負荷域での *Beggiatoa* の大発生につながっている⁵⁾。水路の充填材として用いたブロックは多孔性と言えども、水没した状態で水路に充填すると嫌気状態に陥り易いので、水路充填材としてその特性を生かすためには、その一部が水面上に出ている状態で使うのが好ましい。



Photo. 3 Agar-like substance appeared at the inlet port of 1st water channel.



Photo 4. Attached biomass grown on the porous concrete.

②汚泥蓄積量の変化

RUN1, 3, 5終了後に測定した水路壁面及び充填材に付着した生物量のデータをもとに水路内での汚泥の分布状況を求めFig.10に示す結果を得た。RUN1では、一段目水路に全体の約40%の汚泥が存在したが、RUN3では多孔性コンクリートブロックを充填した一段目水路に全体の約80%の汚泥が存在し、多孔性コンクリートブロックの優れた生物保持能力を確認することができた。流入負荷量を高めると、一段目水路に捕捉される生物量は大幅に増加するため、水路が嫌気状態となり、どぶ臭が発生するようになった。

水路内に発生する藻類の目安として、RUN3終了時に採取した汚泥についてそのクロロフィル含有量を測定し、Fig.11に示す結果を得た。一段目水路に発生する汚泥のクロロフィル含有量は0.8%と低いものの、流入口から離れるにつれて汚泥のクロロフィル含有量が増加した。これは、有機物が除去された後、藻類が優占するという生態遷移を反映している。

③汚泥の収率

水路内に発生する全汚泥量と全TOC投入量から、見かけの汚泥収率(Y_{ob})を求め、Table 4に示す結果を得た。RUN1終了時点での Y_{ob} は0.42g-MLSS/g-TOCと活性汚泥法等の廃水処理における Y_{ob} 値と大差なかった。低負荷域で水路を運転したにもかかわらず以外と Y_{ob} 値が大きかったのは、有機物除去終了後の藻類の水路壁面への付着生育によるところが大きい。これに対して、RUN3, 5終了時での Y_{ob} 値はRUN1の約半分の値となった。

Y_{ob} は平均汚泥滞留時間(θ_c)の関数として、次式で示される。⁶⁾

$$Y_{ob} = \frac{Y}{1 + b\theta_c}$$

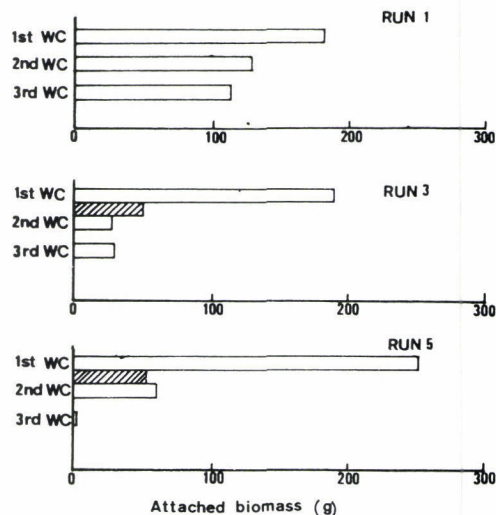


Fig 10. Distribution of attached biomass in water channel.

WC: water channel

□ : biomass attached on wall

▨ : biomass attached on porous concrete (including biomass entrapped by porous concrete)

ここで、 Y は真の収率(g-MLSS/g-TOC)、 b は汚泥の自己分解係数(1/日)を示す。この式から、水路内に汚泥捕捉能力の高い多孔性コンクリートブロックを投入したことにより θ_c が大きくなり、 Y_{ob} 値が低下したことがわかる。

④汚泥の生物相

押し出し流れで運転される水路においては、水質が流れ方向に沿って連続的に変化するので、水路内に発生する汚泥の生物相は、流入負荷量の変化によって変化するばかりでなく、流れ方向に沿っても大きく変化する。

廃水流入口では、*Geotrichum* sp. が優占的に出現したが、流入負荷量の高まったRUN5では微好気域を好む

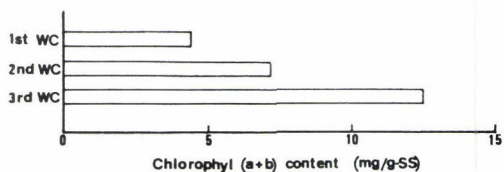


Fig.11 Change of chlorophyll (a+b) content in the sludge.

*Beggiatoa*が優占するようになった。一段目水路の汚泥中には、様々な種類の原生動物、後生動物が観察されたが、中でも*Rotaria*, *Diplogaster*, *Paramecium caudatum*が多く観察された。RUN5では、*Amoeba* sp.が一段目水路の汚泥全てに出現し、処理が限界に達してい

Table 4. Sludge yield for open water channel.

Term		Observed sludge yield	
5/29	10/3	0.42	g-SS/g TOC
10/4	1/13	0.27	“
10/4	2/18	0.20	“

ることが出現する生物相からも示された。多孔性コンクリートブロックを水路に充填することによって、藻類の付着生育が促進され、多種類の藻類が出現した。藍藻類では、*Chroococcus* sp., *Dactylococcopsis* sp., *Microcystis* sp., *Oscillatoria* sp.が、珪藻類では、*Navicula* sp.が、緑藻類では、*Scenedesmus* sp.が優占的に観察された。

4. 要 約

多孔性コンクリートブロックを充填した水路による汚濁河川水の直接浄化の可能性につき、パイロットプラントを用いて実験的に検討し、次の結論を得た。

- ①中性化した多孔性コンクリートブロックを使用しないと、多孔性コンクリートブロックから溶出するアルカリ分によって、充填材や水路壁面への生物の付着が妨げられる。
- ②多孔性コンクリートブロックを水路に充填することにより、藻類の付着面積が増えることから、藻類の光合成による酸素供給量が増加し、TOC濃度が25mg/L以下の河川水であれば、水路を酸素不足にならぬ状態で運転することが可能であった。
- ③水路のTOC容積負荷量が80mg/L・日以下で、TOCを約70%の効率で除去できること、TOC濃度が25mg/L以下の河川水であれば水路のTOC容積負荷量を30mg/L・日以下にとることによって3-4mg/L程度にまで処理できることが明かとなった。
- ④水路では硝化反応を殆ど期待することが出来ないことから、水路処理においては生物膜の形成に使われる窒素分しか除去されなかった。一方、磷は多孔性コンクリートブロックから溶出するCa²⁺ の効果も手伝って50%も

の効率で除去された。

⑤多孔性コンクリートブロックを水路に充填することによって、SS成分が効果的に捕捉されるので、水路の処理能力が大幅に向上すると共に、水路汚泥の平均滞留時間が長くなり、発生する汚泥の見かけの収率が低下した。発生した汚泥中には、*Geotrichum* sp., *Beggiatoa* sp.の糸状菌、*Rotaria* sp., *Diplogaster* sp., *Paramecium caudatum*等の原生動物が優占的に出現した。

参考文献

- (1) 長内武逸：礫間接触酸化法による河川水の直接浄化、用水と廃水、32：676-685(1990)。
- (2) 須藤隆一：水域直接浄化の意義と展望、用水と廃水、32：663-667(1990)。
- (3) 玉井元治、河合章、西脇祐二：ポーラスコンクリートの海洋生物付着に関する研究、第44回セメント技術大会講演集、p.822-827(1990)。
- (4) Vonshak, A. et al.:Production of Spirulina biomass-Maintenance of monoalgal culture outdoors, Biotech., Bioeng., 15：341-349(1979)。
- (5) 古川憲治、播口光、尾住英樹、藤田正憲：水路によるフェノール排水の処理に関する研究、衛生工学研究論文集、27：87-95(1991)。
- (6) Schroeder, E.D.:Water and Wastewater Treatment, pp.247, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York(1977)。