

サルボウ貝殻を用いた水域直接浄化法の実証実験と設計操作因子

松尾保成¹・荒木宏之²・古賀憲一³

¹正会員 工修 佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程 (〒840-8502 佐賀市本庄町1)
(松尾建設株式会社技術研究所)

²正会員 工博 佐賀大学低平地研究センター (〒840-8502 佐賀市本庄町1)

³正会員 工博 佐賀大学理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1)

本研究は、水域直接浄化システムの基礎的研究^{1),2),3)}で基本特性を明らかにしたサルボウ貝殻(水産加工場からの未利用資源)を接触材に用いた水質浄化システムの実用化を目指して、河川水質浄化に関する実証実験を行い、処理水質の安定性、浄化特性、維持管理について検討を行ったものである。その結果、本水質浄化システムは、BOD、SS、NH₄-N、透視度に対し、長期にわたり安定した高い浄化能力を有しており、容易にメンテナンスを行うことができることが分かった。さらに、本報では河川浄化施設の処理性能を負荷で評価することにより、浄化機構を考慮した適切な設計手法について提案し、本施設の操作因子について考察した。

Key Words: "SARUBOU" shell, contact media, river water purification, recycling

1. はじめに

下水道未整備地区における都市河川の水質汚濁が問題視される中、水質浄化の緊急的あるいは補完的対策として河川直接浄化法の導入が行われている。直接浄化法として、接触酸化法、希釈法(導水方式など)や水生植物利用法などがあげられる⁴⁾。我が国で河川水質改善を目指した直接浄化法には、接触酸化法が一般的に用いられており、多くの河川で浄化施設の建設が行われている⁵⁾。

この河川浄化施設の接触酸化法の設計では通常、滞留時間と除去率の関係から所定の除去率を得るための滞留時間が決められている⁴⁾。特に礫間接触酸化法では、野川浄化施設における実験の滞留時間と除去率の関係を参考として設計されるケースが多い⁶⁾。しかし、汚濁形態は各河川で異なるため、合理的な処理施設の設計・操作因子を得るためには浄化特性に及ぼす汚濁濃度や汚濁成分の影響を把握する必要がある。

近年では、廃水処理に使用されてきたプラスチック接触材の用途開発を目的とした浄化施設の開発や、地

域未利用資源を再利用し、資源循環型社会を目指した河川・水路の直接浄化法の研究も行われている^{7),8)}。

一方、九州有明海ではサルボウ貝の養殖が盛んに行われている。サルボウ貝は、有明海で最も生産量の多い水産物のひとつで、全国の約8割が佐賀県側の有明海沿岸市町村で採れる⁹⁾。サルボウ貝の貝殻は、これまで一部飼料、消石灰あるいは水田の暗渠排水管の根巻き材としてモミガラと同様に利用されてきた。しかし、今日の農政事情の変化に伴い現在は工場の近くに山積みの状態で放置されている。

著者らは、サルボウ貝殻の有効利用として水質浄化システムの接触材に着目し、その浄化資材としての可能性を検討してきた。その結果、サルボウ貝殻を用いた水質浄化システムは、高いSS除去率や安定した処理特性を有していること、さらに目詰まりが生じにくい特性を有していることを明らかにした^{1),2),3)}。

本研究は、サルボウ貝殻を用いた水質浄化システムの実用化を目的とし、テストプラントによる河川水質浄化実験を行い、長期にわたる処理水質の安定性や浄化特性について検討を行った。さらに、実験結果に基づき接触酸化法の設計操作因子の検討を行った。

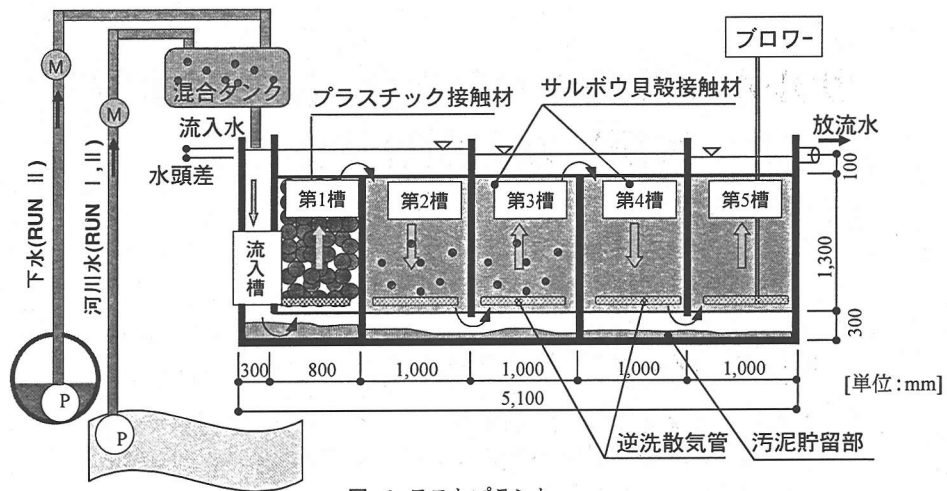


図-1 テストプラント

2. 実験装置および方法

実験に用いたテストプラントの概要を図-1に示す。テストプラントは、幅1,300mm×長さ5,100mm×高さ2,100mmの鉄製である。槽を流れ方向に5分割し、全槽の下部には堆積汚泥貯留部300mmの空間を設けている。河川水中の草木やゴミ類など大型のSSを除去するために第1槽目にはφ150mmのボール状プラスチック接触材を充填し(空隙率96%, 見掛けの比表面積53m²/m³)、微細SSの除去やBOD酸化のために第2～5槽目にはサルボウ貝殻を充填した(空隙率80%, 見掛けの比表面積250 m²/m³)。ここで見掛けの比表面積とは、嵩容積に対する接触面積の表面積である。各槽の接触材底部には散気管を設置し、曝気による洗浄を可能としている。河川水は、テストプラント各槽内を上向流、下向流交互に連続通水させている。

長期間の水質浄化特性を検討するために、佐賀市内の河川に約1年間テストプラントを設置し、連続実験(RUN I)を行った。この時の水理学的滞留時間HRT(空筒基準)は、カラム基礎実験^{1),2)}から安定した結果が得られた4時間を基準とした。

負荷と除去率の関係を明らかにするために、流入河川水に下水を混入させ流入濃度とHRTを変化させた実験(RUN II)を行った。接触槽内のDO低下を防ぐために、2,3槽目の散気管により一定量の曝気を行った。実験条件を表-1に示す。

採水個所は流入口と放流口とした。測定水質項目は、水温、透視度、水頭差、pH、DO、SS、BOD、NH₄-N、大腸菌群数である。

表-1 実験条件

項目	RUN I	RUN II
流量(m ³ /hr)	1.80-2.82	1.98-5.40
HRT(hr)	2.9-4.5	1.5-4.0
水温(°C)	5-27	5-27
透視度(度)	5-100	3-100
pH	7.0-7.8	6.3-7.8
DO(mg/L)	3-12	0-8.6
SS(mg/L)	0-891	0-224
BOD(mg/L)	1.5-24	2-386
DBOD(mg/L)	1-8	1-234
PBOD(mg/L)	0.5-22	1-268
NH ₄ -N(mg/L)	0.1-1.7	0.1-28

3. 結果および考察

(1) 河川流入系の長期浄化特性 (RUN I)

図-2にpHの経日変化を示す。流入水pHは7.0～7.8の範囲であるのに対し、放流水pHはサルボウ貝殻からのCaCO₃溶出により若干上昇し7.4～8.3の値となっている。実験開始直後の放流水pH上昇(pH8.6)は、プラント上部の開放によるプラント槽内の藻類光合成によるものである。この光合成の影響は放流水のDO上昇にもみられた。プラント上部を遮光した後は、放流水pHは平均7.8程度になり、7.5まで徐々に低下している。

図-3に透視度の経日変化を示す。9月～10月、4月～7月は河川の水量が多く、河川底質の巻き上げにより流入水透視度が20～30度と低い。5,6月は河川工事がおこなわれていたため、透視度が15度と特に低

くなっている。こうした河川水の水質変動にもかかわらず放流水透視度は良好で、ほぼ100度以上と安定している。

図-4にSSの経日変化を示す。プラント側面観察窓からの観察では、実験開始後4ヶ月経過したところで第1槽と2槽目に汚泥堆積がみられ、特に第2槽目(第1サルボウ貝槽)の表層には多くの堆積がみられた。図-4からも分かるように5,6月は河川工事期間中であつたため特に河川水が土砂等により白濁しており、流入水SSは150~900mg/Lと高い。これに対し、放流水SSは1mg/Lと低く、サルボウ貝殻のSS除去率の高さを示している。この結果はカラム基礎実験の結果^{1),2)}からも実証されており、サルボウ貝殻の空隙の分布や充填構造がランダムになっているため、水の流向が複雑となり、貝特有の椀状のくぼみでSSが捕捉されやすいことによるものと考えられる。

図-5にBODの経日変化を示す。河川水量が少なくなった1月頃から河川BODが上昇し始め最大25mg/Lまで大きく変動しながら上昇している。このようなBOD変動に対しても放流水BODは1~3mg/Lと安定していることが分かる。4,5月では流入水BODが高くなるとともに、放流水BODも若干高くなってはいるが、比較的安定しており2~3mg/Lである。

図-6にNH₄-Nの経日変化を示す。1月中旬までは低水温期においても放流水のNH₄-Nは0.05mg/L以下で硝化率100%と高い値が得られた。また、降雨による影響で流入水NH₄-Nが1.7mg/Lと高い日があるが、このときも放流水NH₄-Nは0.05mg/L以下であった。2~5月において、流入水BOD、NH₄-Nが高くなるとともにDO律速による硝化不足から、放流水NH₄-Nが残存するようになった。その後、第2槽の接触材層底部から全面曝気(曝気強度0.5m³/m³/hr)によるDO供給を行った結果、硝化率は100%となった。

接触材の目詰まりを把握するために第1槽と第5槽の水頭差を測定した。図-7に水頭差の経日変化を示す。実験開始4ヶ月後から第1,2槽の接触材層に汚泥の堆積がみられ始め、水頭差は上昇した。図-5のBOD経日変化で示したように、1月にBODが上昇し始めた頃から、第2槽目(第1サルボウ貝殻槽)の接触材表層にミズワタが発生し、汚泥が堆積するようになった。その結果、水頭差が徐々に上昇した。水頭差が20cmを越えた時点で、接触材のエアによる曝気洗浄を行った。最初はプロワー1台でサルボウ貝殻4層(貝殻層厚1.3m)を同時に曝気洗浄した。曝気量が少なく洗浄が不十分なため水頭差の回復(低下)が見られなかった。この時の曝気強度は約2.5m³/m³/hrであつ

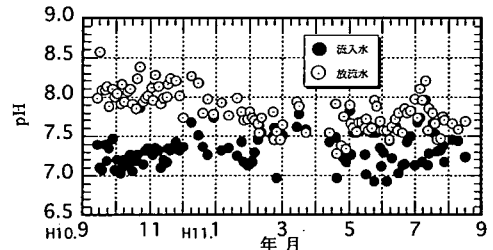


図-2 pHの経日変化

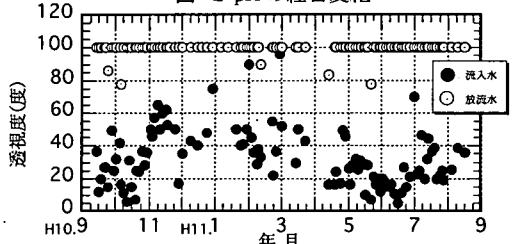


図-3 透視度の経日変化

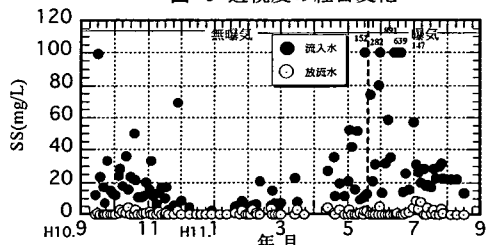


図-4 SSの経日変化

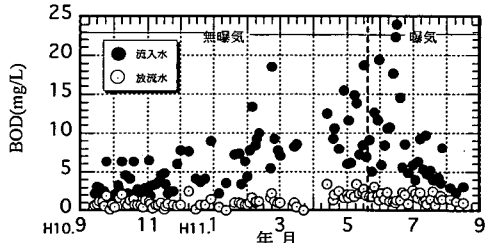


図-5 BODの経日変化

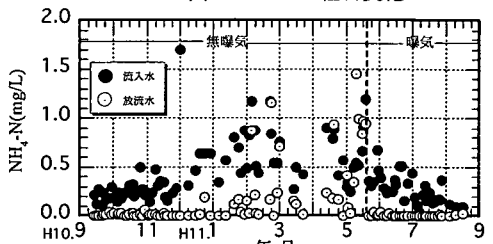


図-6 NH₄-Nの経日変化

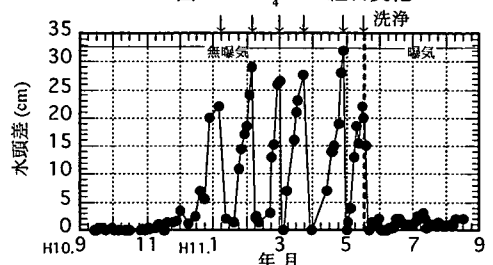


図-7 水頭差の経日変化

たが、ブロー1台でサルボウ貝殻2槽を同時洗浄した場合(5m³/m³/hr)、水頭差の回復は良好であったため、その後は同一曝気強度で毎月1度洗浄を行った。サルボウ貝殻層厚を2.0mとした他の実験でも曝気強度5m³/m³/hrで良好な水頭差の回復結果が得られた。洗浄時は、剥離汚泥の流出を防ぐために、プラント流入水を停止させている。1時間洗浄を行った後、プラントへ河川水をポンプで流入させた。河川水流入直後のプラント放流水は、一時的に白濁したものの、清澄な水となり高濃度のSS流出は見られなかった。プラント側面のガラス窓からの観測では、曝気洗浄に伴うサルボウ貝殻に付着した生物膜の剥離と、剥離生物膜の汚泥貯留部への容易な輸送を確認している。実験開始9ヶ月後に、流入水BODとNH₄-Nの上昇によるプラント槽内のDO低下が認められたので、第2槽目を曝気(曝気強度0.5m³/m³/hr)した。この時点からDO供給を目的とした曝気によっても接触材表面の生物膜剥離が生じ、水頭差の再上昇は見られなくなった。

約1年間の長期実験をもとに槽流下方向のSS,BOD除去率について整理をした。図-8に槽流下方向のSS,BOD除去率を示す。流下距離とは接触材の流れ方向の距離を表している。図中の●印はSS、○印はBODの各槽流出地点での平均除去率を表したものである。流下に従いSS,BODの除去率は上昇しており、放流口ではSS除去率95%、BOD除去率80%であった。SS除去率は第1槽目(接触沈殿槽)で急激に上昇している。第1,2槽堆積汚泥と後段の接触酸化槽の堆積汚泥とを比較した結果、第1,2槽堆積汚泥の無機質含有量が高いことから、第1槽目の接触沈殿槽では主に土砂が沈殿除去されているものと考えられる。BOD除去率は、SS性BOD(PBOD)の接触沈殿・ろ過作用³⁾と溶解性BODの生物分解作用により徐々に増加している。

次に大腸菌群数の槽内変化について検討を行った。測定は4月から8月の大腸菌の増殖速度が大きい期間に行った。この期間中の平均な大腸菌群数の槽内変化を図-9に示す。この図から分かるように、放流口で約95%の除去率が得られ、プラント槽内のSS除去率の変化と一致していることから、大腸菌除去はSS除去に関連しているものと考えられる。貝殻表面の高pHによる殺菌作用の寄与も否定できないが、詳細は今後の課題としたい。放流口の大腸菌群数は平均4.2×10³MPN/100mLとなり、親水利用目的別の水質目標の親水B級以下(大腸菌群数5000MPN/100mL)となった。

実験終了時、第2槽の貝殻体積が実験開始前に比

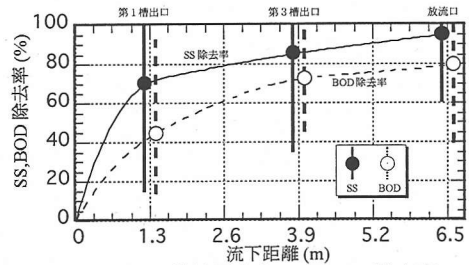


図-8 槽流下方向のSS,BOD除去率

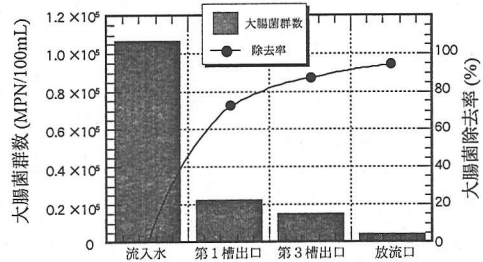


図-9 大腸菌群数の槽内変化

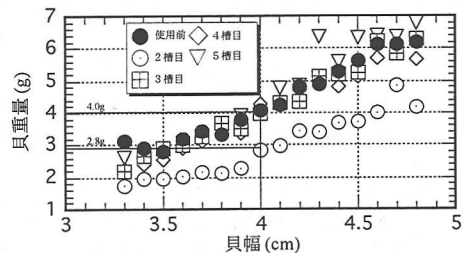


図-10 貝幅と貝重量の関係

表-2 SS,PBOD収支

	流入量	放流量	引抜量	残留量	分解量
SS(kg)	160 (100%)	6 (3.7%)	60 (37.5%)	30 (18.8%)	64 (40.0%)
PBOD(kg)	25.5 (100%)	0 (0%)	3.2 (12.5%)	1.6 (6.3%)	20.7 (81.2%)

べ、約2割減少した。実験終了後に各槽の上部より貝殻を補充したが、目詰まりや浄化性能の低下などはみられなかった。プラント内のサルボウ貝殻をそれぞれ無作為に約200個づつ取りだし、貝幅と乾燥重量を測定した。図-10は未使用とテストプラント使用後のサルボウ貝殻重量の変化を示したものである。その結果、未使用に比べ使用後のサルボウ貝殻の重量は減少していることが分かった。特に、第2槽目(第1サルボウ貝殻槽)のサルボウ貝殻接触材の溶解量が大きく、第1サルボウ貝殻槽の重量換算溶解率は0.29/年となった。つまり除去効果を維持するためには1年に3割程度の貝殻補充が第2槽目に必要である。

表-2に施設のSS, PBOD収支(収支の算定期間は実験開始から200日間)を示す。流入出SSから求ま

る流入水SS総量は約160kg、放流水SS総量は約6kgであり、施設外に排出された堆積汚泥量は60kgであった。貝殻の空隙など施設内に残留している汚泥量は、曝気洗浄後の各槽の上,中,下層における貝殻の付着汚泥量から推定した結果30kgとなった。これから、流入水SS量の約4割が分解していると考えられる。このことは、流入水SSの約5割が有機性(PBOD)であることから確認される。

(2) 下水混入河川水流入系の浄化特性 (RUN II)

RUN IIの実験は、HRTと流入水質濃度を変化させ、その処理特性について検討を行った。図-11に実験期間中の設定HRTを示す。目標HRTは、2hr,4hrとしている。曝気条件は、RUN Iと同様にプラント第2,3槽を低強度曝気(0.5m³/m³/hr)を行った。11月の実験は曝気を行っていない。

図-12にBODの経日変化を示す。5月の流入BODは300mg/L、7月は100mg/L、8月は30mg/Lに設定した。これに対し、処理水濃度の変化は少なく、ほぼ一定である。10,11,12月の実験では、流入濃度を徐々に上げ負荷変動による影響について検討した。この図から分かるように、処理水BODは流入水BODの上昇に伴い連動して上昇していることが分かる。

図-13にSSの経日変化を示す。放流水SSはBODに比べ安定した除去が行われているのが分かる。特に10月以降の実験で流入水SS濃度を徐々に高くしたにもかかわらず、放流水SSの挙動はBODと異なり安定している。

図-12と図-13の結果から、BOD除去は流入濃度あるいは負荷に依存し、SS除去は滞留時間に依存していることが分かる。

図-14に水頭差の経日変化を示す。全体的に各滞留時間とも運転開始から上昇している。HRT2hrに設定した7,12月では、水頭上昇速度が速い。HRT4hrでも流入負荷の高い5,10月では水頭差上昇速度が速い。これに対し、負荷の低い9月の実験では水頭差上昇速度は低いことから、流入負荷と滞留時間は水頭差の上昇に影響していることが分かる。HRT変更時に、曝気洗浄を行ったが水頭差の回復はRUN Iの実験と同様に良好で、生物膜の剥離は十分に行われた。

(3) 浄化施設の適正操作条件の解析・評価

設計操作因子を検討するために、各基質の除去率を滞留時間と流入負荷により整理した。低負荷時の実験データRUN Iに加えて高負荷時の実験データRUN IIの曝気時のデータを総括して整理した。

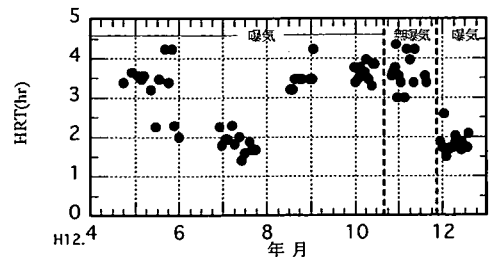


図-11 設定HRTの経日変化

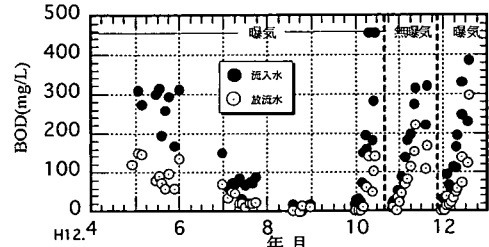


図-12 BODの経日変化

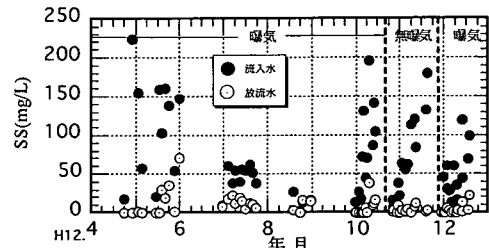


図-13 SSの経日変化

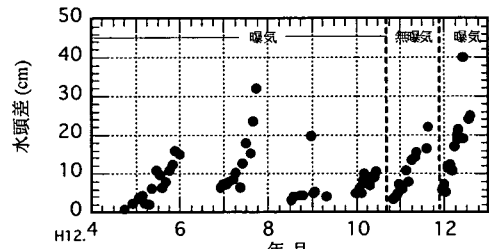


図-14 水頭差の経日変化

図-15に滞留時間とBOD除去率の関係を示す。滞留時間が長くなるに従い、除去率も平均的に高くなっている。しかし、同一滞留時間におけるBOD除去率は大きく変動しており、後述するようにBOD成分をPBOD(SS性)とDBOD(溶解性)と分けた時の浄化機構が異なるためと考えられる。

図-16に滞留時間とPBOD除去率の関係を示す。データに若干変動はあるものの、図-15に比べ同一滞留時間でのデータのまとまりは良く、滞留時間によってPBOD除去効率を評価できると言える。

図-17のSSについても同様のことが言え、滞留時間でSS除去効率を評価できることが分かる。

一方、滞留時間とDBOD除去率の関係を図示すると図-18のようになる。DBOD除去率データは、PBOD

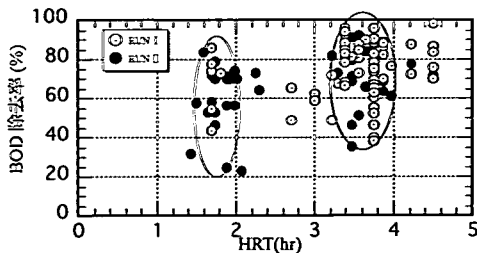


図-15 滞留時間とBOD除去率の関係

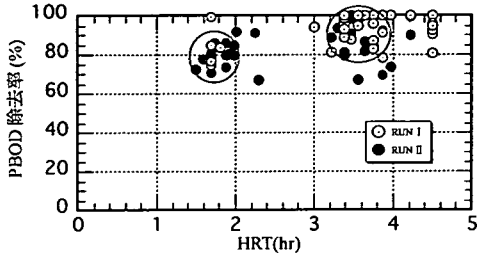


図-16 滞留時間とPBOD除去率の関係

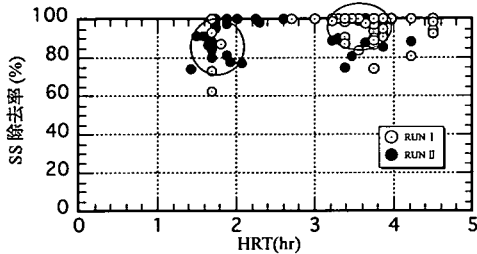


図-17 滞留時間とSS除去率の関係

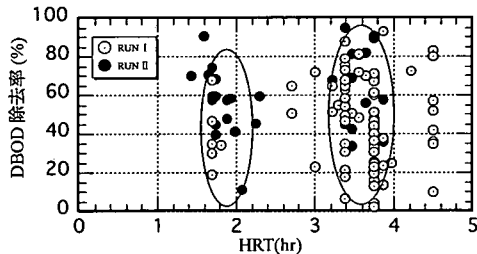


図-18 滞留時間とDBOD除去率の関係

に比べ同一滞留時間において変動している。これは、PBODが接触沈殿・ろ過作用で除去されるのに対し、DBODは主に生物分解されることから、生物による除去速度が流入水質の影響を受けたためと考えられる。

図-19に流入水DBODと除去率の関係を示す。本図のようにDBOD除去率は滞留時間と流入水質双方の影響を受け、図-18に示したデータ変動は以下の影響を反映している。即ち、1) 低流入DBODの場合は、堆積汚泥からのDBOD溶出や難分解性DBODの存在量に応じて除去率に差が生じること、2) 高流入DBODの場合は、流入DBODに応じた除去率の差が生じること、これら双方の除去率を滞留時間のみで

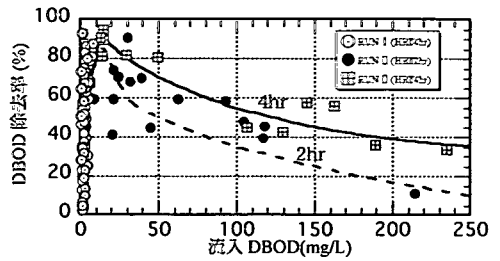


図-19 流入DBODと除去率の関係

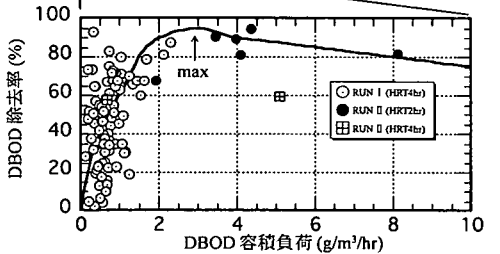
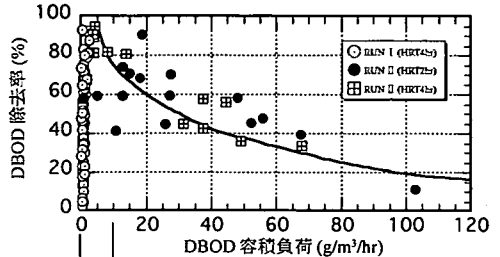


図-20 DBOD容積負荷と除去率の関係

表現できないためである。このように、DBOD除去率は滞留時間と流入水質を考慮に入れた、容積負荷を用いて評価する必要がある。

図-20にDBOD容積負荷と除去率の関係を示す。この図からDBOD除去率はほぼ容積負荷の関数として表現できることが分かる。低負荷の範囲を拡大した図からは除去率が負荷とともに上昇し、最大となった後、その後負荷の増加に伴い除去率は低下することが分かる。このように容積負荷を用いることにより堆積汚泥からのDBOD溶出や難分解性DBODを考慮した除去率の表現が可能になったものと考えられる。

以上のように、接触酸化法におけるPBODは接触沈殿・ろ過作用で除去されDBODは主に生物分解されるというように除去機構がそれぞれ異なるため、浄化施設の性能評価を従来の滞留時間と除去率の関係から単に導くと、処理施設の設計に大きな誤差を生じかねない。PBODとDBODの浄化機構を十分考慮したうえで浄化施設を計画・設計しなければならないと言える。

4. まとめ

テストプラントによる河川の実証実験から得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1)サルボウ貝殻を用いた水域直接浄化システムは長期間安定した水質が得られ、高い浄化能力を有している。
- (2)1ヶ月に1回程度の曝気洗浄によって目詰まりの解消ができ、メンテナンスも容易である。
- (3)第1サルボウ貝殻槽の接触材の溶解量が大きく、1年間に3割程度の貝殻の補充を行えば浄化効果を維持できる。
- (4)河川浄化施設の処理性能を負荷で評価することによって、適切な設計手法を提案した。

本研究では、水質浄化システムの接触材として未利用資源であるサルボウ貝殻の再利用に着目し、テストプラントを用いた実用化実験を行った。その結果、サルボウ貝殻は接触材として高い浄化能力を有しており、河川の直接浄化システムとして使用した場合、高い除去率や安定した処理特性を発揮できることが分かった。また、浄化施設の維持管理で問題になる目詰まりについても、曝気洗浄によって容易に解消できることから、本プラントは実用可能な水質浄化システムであると言える。

謝辞：本研究は松尾建設(株)と佐賀大学の「民間等との共同研究(区分A)」で行ったものである。また、研

究の実施に当たり当時大学院学生廣松美希氏、堤健一氏と学部学生浅尾静佳氏の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1)松尾保成, 荒木宏之, 古賀憲一: 赤貝殻を用いた接触酸化法の水質浄化特性に関する基礎的研究, 土木学会第53回年次学術講演会, pp.434-435, 1998.
- 2)廣松美希, 松尾保成, 荒木宏之, 古賀憲一: サルボウガイを用いた接触酸化法の水質浄化特性, 土木学会第54回年次学術講演会, pp.8-9, 1999.
- 3)松尾保成, 荒木宏之, 古賀憲一: サルボウ貝殻を用いた接触酸化法の浄化機構に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.720/VII-25, pp.39-44, 2002.
- 4)河川直接浄化の手引き, 財団法人日本国土技術センター(旧国土開発技術センター), 1997.
- 5)河川における水質環境向上のための総合対策に関する研究, 財団法人河川環境管理財団, pp.85-98, 2001.
- 6)多摩川の浄化事業-野川浄化施設, 国土交通省(旧建設省関東地方建設局京浜工事事務所), 1982.
- 7)橋本敬之助: 湖沼・河川・排水路の水質浄化, 海文堂, 1997.
- 8)稲森悠平: 地域未利用資源を活用した生物膜付着接触担体における微生物活性に基づく充填条件の解明, 第33回日本水環境学会年次講演集, pp.452-453, 1999.
- 9)農林水産省「平成11年漁業・養殖業生産統計年報」.

(2001.12.20 受付)

A VALIDATION AND DESIGN FACTORS IN A TEST PLANT OF WATER PURIFICATION SYSTEM USING THE "SARUBOU" SHELL

Yasunari MATSUO, Hiroyuki ARAKI and Kenichi KOGA

In order to develop a water purification system using the "SARUBOU" shell for practical application, this practical study was conducted on investigate the stability of processed water quality, purification characteristics, and maintenance through the field experiments in a river and a pond. As a result, it was shown that this system has a high purification efficiency and stability of removal for BOD, SS, transparency and algae as well as easy maintenance without clogging in the shell media. It was also revealed that a more suitable design of the water purification system is possible with the evaluation from a pollution load.