

懸濁粒子生物模法による廃水処理技術に関する研究(2)

— 担体の生物付着性と連続処理法による処理特性 —

化学室 宮城 周子
比嘉 三利
照屋 輝一

1. はじめに

食品工場等の有機性廃水の低廉かつ効果的な処理技術の開発を目的に、琉球石灰岩を微生物付着担体として活用した懸濁粒子生物膜法による廃水処理技術について、前報ではある一定量の活性汚泥中に石灰岩担体（以後担体とする）を投入し、エアリフト（上昇気泡）方式により、曝気槽内を担体が流動循環する方法での実験を行い、一連の処理機能の評価を行った。その結果、懸濁粒子生物膜法による高負荷（BOD負荷 $1\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ 以上）処理における処理性は、対照の活性汚泥法（担体無添加）と比較して、その顕著な差異はみられなかった。

この要因として、担体の比重が重く、エアリフト方式での流動性の限界のため、担体投入量が曝気槽容積の1~2%と少ないことによることが考えられる。従って、その処理機能の向上を図るためには、担体の投入量を増やし、また、その効率的な流動性が得られるよう曝気槽構造の改善（攪拌機の設置）を行うこと等が課題となる。よって今回、担体の投入量を増やして、①自然増殖法（種汚泥の植種をしないで、自然発生的に生物膜を付着形成させる方法）による担体への生物付着性並びに②連続処理法による処理特性について検討し、2、3の知見を得たので、その結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1 担体への生物付着実験

前報と同様担体は粒径 $0.15 \sim 0.25\text{mm}$ に篩分した(1)牧港石灰岩（粟石）、(2)読谷石灰岩（コーラル）および(3)海砂を使用し、基質にはペプトン、グルコースを主体とした合成廃水を用いた。その組成及び水質を表1に示す。また実験装置の概略図を図1、その外観は写真1に示すように5ℓのビーカーを曝気槽に使用した。その内径は 180mm 、有効水深 175mm で実容積は4ℓである。曝気槽内には担体が沈積せず、均一に流動できるよう攪拌機（プロペラ型攪拌翼）を設置し、また空気の供給はコンプレッサーにより、ガラスボールフィルターで微細な気泡を送り、溶存酸素濃度が $1\text{mg}/\ell$ 以上保持できるようにした。

表1 合成廃水の組成および水質

| | | | | | |
|---|---|---|---|-----------|---|
| ペ | プ | ト | ン | 100 g / ℓ | pH 7.1 BOD 100,000mg / ℓ TOC 50,000mg / ℓ |
| グ | ル | コ | ス | 100 g / ℓ | |
| リ | ン | 酸 | ニ | 20 g / ℓ | |
| 硫 | 酸 | マ | グ | 4 g / ℓ | |
| 硫 | 酸 | 第 | 一 | 0.2 g / ℓ | |
| 塩 | 化 | カ | ル | 0.2 g / ℓ | |

処理方式は1日1回上澄水を引き抜き、その後当量の廃水を瞬時に添加する方法の回分処理方式とし、曝気時間は約20時間とした。また担体量は曝気槽容積の10%投入し、合成廃水を供給して曝気することにより、自然的に微生物の付着、増殖を起こさせることにし、実験期間中の汚泥調整（汚泥引き抜き）は行なわなかった。実験期間中、顕微鏡観察による生物付着性、汚泥生成量及び処理効率について調べた。

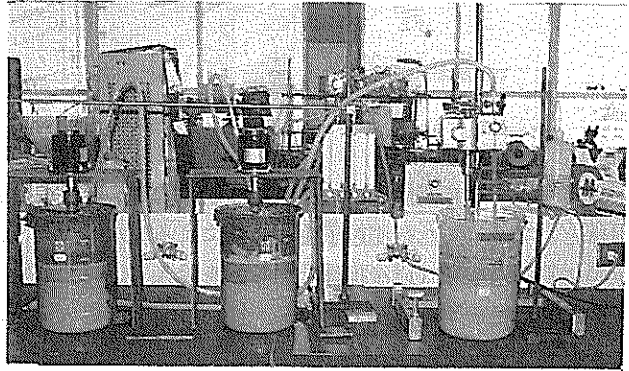
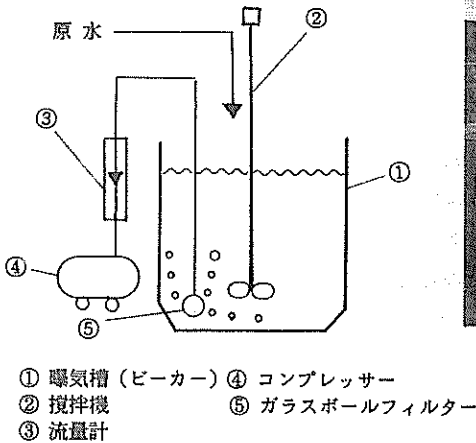


写真1 実験装置の外観

図1 回分処理実験装置の概略図

2. 2 連続処理試験

担体に読谷石灰岩(粒径0.15~0.25mm)を使用し、基質には前項と同様の合成廃水を実験に供した。

実験装置の概略図は図2に、その外観を写真2に示す。実験装置は透明アクリル樹脂製で、曝気槽、担体分離槽及び沈殿槽で構成され、分離槽で担体と剥離汚泥等の浮遊性汚泥とが分離され、沈殿槽を径由して処理水が流出するようにした。その曝気槽の実容積は5 lで、担体分離槽は2 l、及び沈殿槽は5 lである。

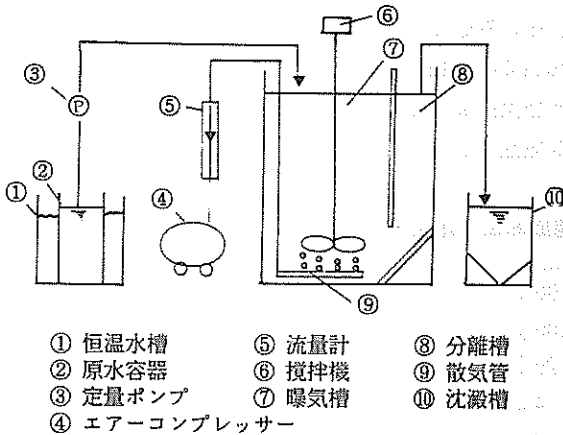


写真2 連続処理実験装置の外観

図2 連続処理実験装置の概略図

担体量は曝気槽容積の15%投入し、曝気槽内には担体が沈積せず流動循環出来るよう攪拌機（プロペラ式攪拌翼）を設置し、また空気はコンプレッサーにより、塩化ビニール製散気管で微細な気泡として供給し、溶存酸素濃度が $2\text{mg}/\ell$ 以上維持するようにした。

原水は、定量ポンプにより、曝気槽へ連続的に供給し、BOD負荷（以下負荷とする）の設定は原水のBOD濃度を増す方法で行った。なお、原水容器は原水の変質腐敗を防止するため、約 10°C の恒温水槽中に設置した。

実験は①BOD負荷と処理効率の関係、及び②汚泥生成量と沈降性との関係等を主眼において行い、また水質分析はJIS K 0102（1986）に準拠して行った。

3. 実験結果及び考察

3. 1 担体の生物付着性実験

(1) 生物付着性

懸濁粒子生物膜法は担体粒子に浄化に關する微生物を付着形成させて廃水を処理する方法であり、担体の生物付着性は極めて重要となる。そこで栗石、コーラル、及び海砂のそれぞれの担体について生物膜がほとんど皆無の状態から合成廃水を基質として自然的に微生物を増殖させ、顕微鏡観察による定性的な方法で、各担体の生物付着性を調べた。

実験は、BOD負荷 $0.5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ の低負荷から開始し、10日間経過後ごとに $1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 及び $2\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ と順次負荷を増す方法で微生物の集殖、培養を行った。

実験開始2日目頃から浮遊性汚泥フロックの発生が検鏡により観察されるようになり、以後、処理の経過とともに浮遊性汚泥は除々に増え、処理4日目では肉眼でも認められるようになったが、この時点でも、各担体実験区とも担体と浮遊性汚泥とが分離した状態で生物膜の付着は認められなかった。その後、処理12日目のBOD負荷 $1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ の処理前期まで生物膜らしきものの発生は確認できなかった。一方、処理15日目には各担体とも生物膜の付着が認められ、また栗石、及び海砂の担体の周囲には処理が良好な時に出現するとされている繊毛虫類のボルティセラが観察された。その担体への生物膜の付着状況例を写真3～5にそれぞれ示す。また参考のため実験開始時の担体を写真6に示す。

一般に担体に生物膜を付着形成させる方法として、活性汚泥中に担体を投入して生物膜を付着形成させる方法と、本実験のように種汚泥の植種をしないで廃水の添加、曝気を行うことにより、自然発生的に微生物を増殖させ、担体に生物膜を発生させる方法がある。その中で自然発生的に微生物を増殖させる方法は、種汚泥を植種した場合と比較して担体の生物膜の付着形成が速く、またこの現象は担体の材質に關係しないことが知られている。この方法は所定の汚泥量に達するのに日数を要するが、石灰岩担体の場合も種汚泥の植種なしで、生物膜の付着形成を起させることが有利であると考えられる。

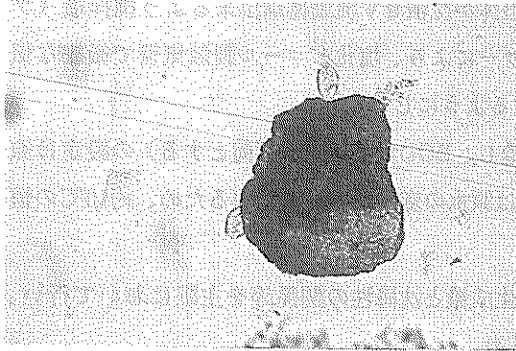


写真3 担体(栗石) × 100

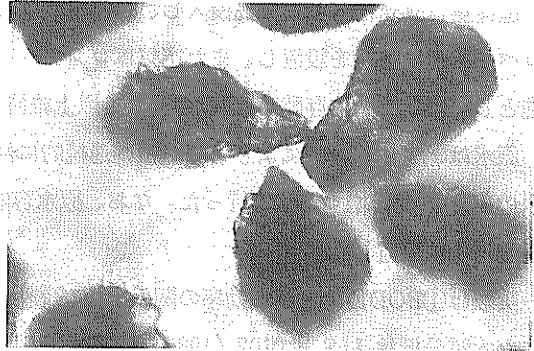


写真4 担体(コーラル) × 100

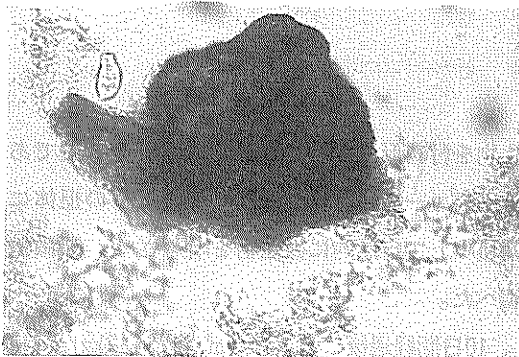


写真5 担体(海砂) × 100



写真6 実験開始時の担体の一例

以上の結果から、各担体とも約2週間で生物膜の発生が認められ、担体相互間にその付着時期についての差異はみられなかった。

(2) 汚泥生成量及び沈降性状

担体への生物付着性に関連する曝気槽内の汚泥生成量について調べた。なお、汚泥生成量は曝気槽混合液を採取して600℃での強熱減量を生物量とし、MLVSS（揮発性浮遊物質質量）で表わし、担体の生物膜量と浮遊性汚泥量を合算した値で示した。その結果を図3に示す。

実験当初、各担体実験区ともMLVSSは約1,000mg/lを示すが、BOD負荷0.5kg/m³・日の処理後期では、栗石、コーラルの実験区でMLVSS約3,000mg/lを示すのに対し、海砂実験区は約5,000mg/lを示し、汚泥の増加量に差異がみられる。

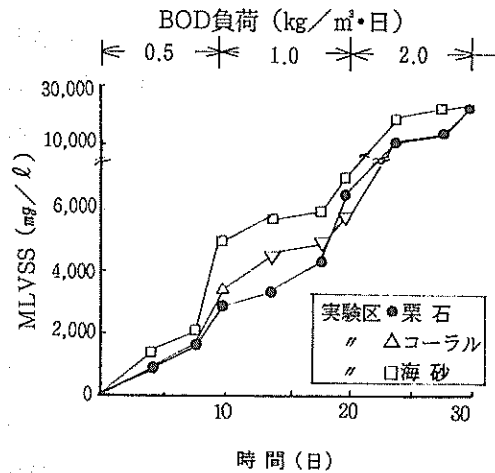


図3 各負荷におけるMLVSSの変化

以後、BOD負荷を増すに伴ない汚泥生成量は増加する傾向がみられ、BOD負荷 $2\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ では、各担体実験区ともMLVSSは約 $10,000\sim 20,000\text{mg}/\ell$ と高い値を示す。

以上の結果から汚泥の生成量は各担体実験区とも、BOD負荷 $0.5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ の低負荷ではゆるやかな増加を示すが、BOD負荷 $1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以上の高負荷では急激な増加を示す傾向がみられた。また各担体の実験区間における最終的な汚泥生成量には差異はみられなかった。また一般に浄化に参与する微生物が有機物を酸化分解するに伴なって汚泥が増殖するとされ、本実験での曝気槽に負荷したBOD量に対する汚泥生成率は、負荷により変動があり、約 $40\sim 60\%$ を示す。

次に、懸濁粒子生物膜法は担体に生物膜が付着しているため、固液分離性に優れることが特徴になっている。本実験での汚泥の沈降性を調べた結果を図4に示す。なお、沈降性は曝気を停止して1時間静置後の曝気槽中の汚泥界面高さを測定して SV_{60} (1時間静置後の汚泥容積%) で示した。

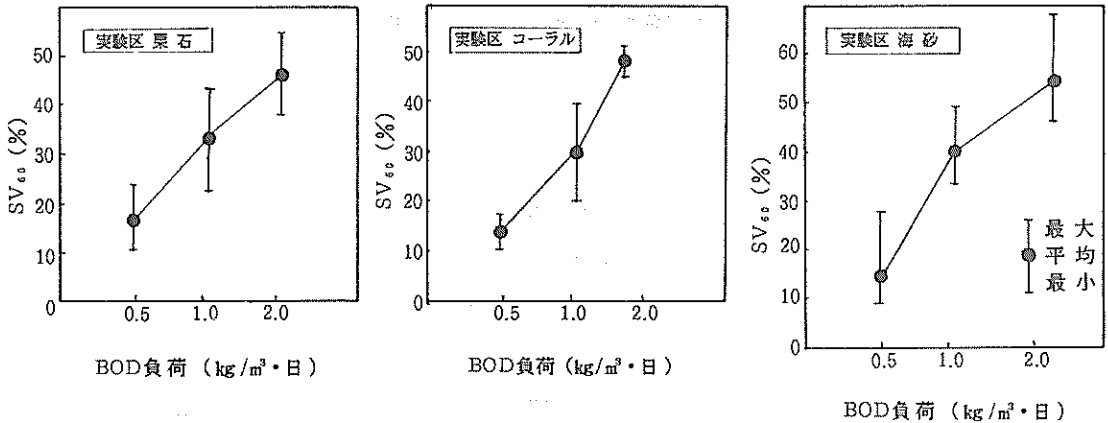


図4 各負荷における SV_{60} の変化

各担体実験区ともBOD負荷 $0.5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ での SV_{60} は $14\sim 17\%$ を示し、また、負荷 $1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ では $30\sim 40\%$ 、および負荷 $2\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ で 50% を示す。この汚泥の沈降性は曝気槽中の汚泥量に関連し、汚泥量の増加に伴ない SV_{60} は高くなる傾向にあるが、負荷 $2\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ までは総じて汚泥の沈降性は良好であった。

(3) 処理性

実験期間中の処理水水質について調べた。その処理水TOC値の変化を図5に示す。

各担体実験区における処理水水質は負荷 $0.5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ では原水のTOC値約 $1,000\text{mg}/\ell$ に対し、処理水のTOC値は $20\sim 50\text{mg}/\ell$ の範囲の値で除去率約 $95\sim 98\%$ を示し、処理水水質は比較的的良好である。これに対して、負荷 $1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ での処理水のTOC値は $50\sim 90\text{mg}/\ell$ (原水約 $2,000\text{mg}/\ell$)、また負荷 $2\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ でのTOC値は $130\sim 220\text{mg}/\ell$ (原水約 $4,000\text{mg}$

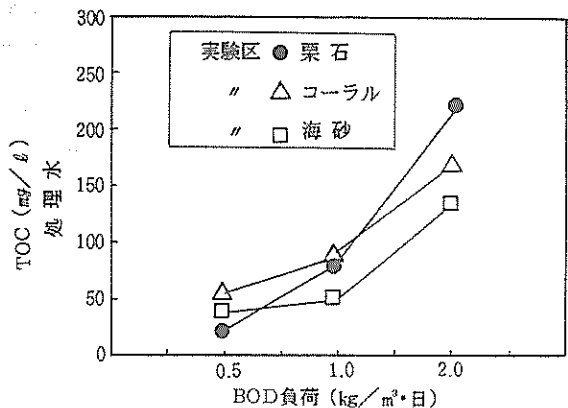


図5 各負荷におけるTOCの変化(平均値)

／ l)を示し、各担体実験区ともBOD負荷の増加とともに処理水水質は悪くなる傾向がみられる。

なお、本実験では、各担体実験区に共通して全般的に処理水の外観は茶黄色濁を呈し、また、透視度は2~15cmと低く、処理水に混入している微細な汚泥が水質に影響を与えていることも考えられ、この微細汚泥の分離法が重要な課題となる。

3. 2 連続処理法による処理実験

担体の生物付着性実験から、栗石、コーラルおよび海砂の各担体間の生物付着性に大きな差異はみられなかったので、採鉱量が多く、安価で入手が容易であるコーラルを生物膜担体に使用した連続処理法による処理特性について検討した。

実験当初の20日間は微生物の集殖、培養期間とし、活性汚泥等の植種は行わず、自然発生的に担体に生物膜を付着形成させた後、本実験を行った。また、曝気槽への原水の供給量は5 l とし、BOD負荷は原水のBOD濃度を増す方法で、20日間経過ごとに1kg/m³・日、2kg/m³・日、3kg/m³・日、5kg/m³・日及び7kg/m³・日になるように設定した。

(1) 各負荷における処理性

各負荷における処理水水質を調べた結果を表2と図6に示す。

負荷1~2kg/m³・日での処理水のBOD値は10~28mg/ l を示し、BOD除去率約98~99%の高い浄化結果が得られ、TOC値は40~125mg/ l で除去率90~94%を示し、処理水水質は良好である。また負荷3kg/m³・日及び5kg/m³・日での処理水のBOD値はそれぞれ47~100mg/ l (TOC値95~140mg/ l)、94~179mg/ l (TOC値95~320mg/ l)を示し、処理水のBOD及びTOC値は負荷の増大とともに高くなり、処理水水質はやや悪くなる傾向がみられる。一方、負荷7kg/m³・日では曝気槽での発泡現象が発生し、また処理水のBOD値は約240mg/ l を示し、処理性は極めて悪くなる。

次に本実験では原水の透視度は30cm以上を示すのに対し、処理水の外観は茶色濁を呈し、全般的に透視度が低く(2~11cm)、また、処理水のTOC値がBOD値よりも高い値を示すこと等が特徴であった。一般に懸濁粒子生物膜法では担体粒子の表面から定常的に剥離する生物フロックは標準活性汚泥法のそれと比較して小さく、沈降性が劣り、処理水中に懸濁して処理の障害になることが知られている³⁾。また本実験では曝気槽中に担体の流動循環のための攪拌機を設置しており、その攪拌の剪断作用による汚泥の微細化も考えられ、従って、これらのいくつかの要因が重って、処理水中に微細な汚泥が懸濁して、処理水水質に影響を与えていることが考えられ、その微細汚泥の分離処理が重要な課題となる。

以上の結果から、各負荷における処理性は、負荷5kg/m³・日までは廃水の放流基準BOD(平均120mg/ l 、最大160mg/ l)に適合する水質であり、BOD負荷は1~5kg/m³・日が適正であると考えられる。

表2 各負荷における処理水水質

| 項目 | BOD負荷 kg / m ³ · 日 | | 1.0 | | 2.0 | | |
|--------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|-------|
| | 種別 | | 原水 | 処理性 | 原水 | 処理性 | |
| 外観 | | | 淡白色 | 淡黄色 | 淡白色 | 淡黄色濁 | |
| 透視度 (cm) | | | 30以上 | 5~11 | 30以上 | 6~8 | |
| pH | | | 7.40~7.41 (7.40) | 7.75~8.10 (7.89) | 7.15~7.35 (7.24) | 7.70~8.05 (7.91) | |
| BOD (mg / ℓ) | | | 932.0~1,156 (1,033) | 10.7~25.2 (21.3) | 1,712~2,460 (1,913) | 20.6~28.7 (23.8) | |
| TOC (mg / ℓ) | | | 667~1,000 (846.0) | 40.0~68.0 (48.0) | 1,245~1,505 (1,356) | 62.0~125.0 (91.0) | |
| | | | | | | | |
| | | 3.0 | 5.0 | | 7.0 | | |
| | | 原水 | 処理水 | 原水 | 処理水 | 原水 | 処理水 |
| | | 淡白色 | 淡茶色濁 | 淡白色 | 淡茶色濁 | 淡白濁 | 茶色濁 |
| | | 30以上 | 3~10 | 30以上 | 3~4 | 30以上 | 2.0 |
| | | 7.10~7.40 (7.28) | 7.85~8.25 (8.05) | 7.10~7.40 (7.31) | 8.20~8.40 (8.28) | 7.25 | 8.40 |
| | | 2,780~4,820 (3,585) | 47.0~100.0 (94.2) | 4,070~4,710 (4,418) | 94.2~179.0 (144.0) | 7,480 | 239.2 |
| | | 1,006~1,794 (1,564) | 95.0~144.0 (122.0) | 2,360~2,490 (2,423) | 95.0~320.0 (165.0) | 3,390 | 295.0 |

() 平均値

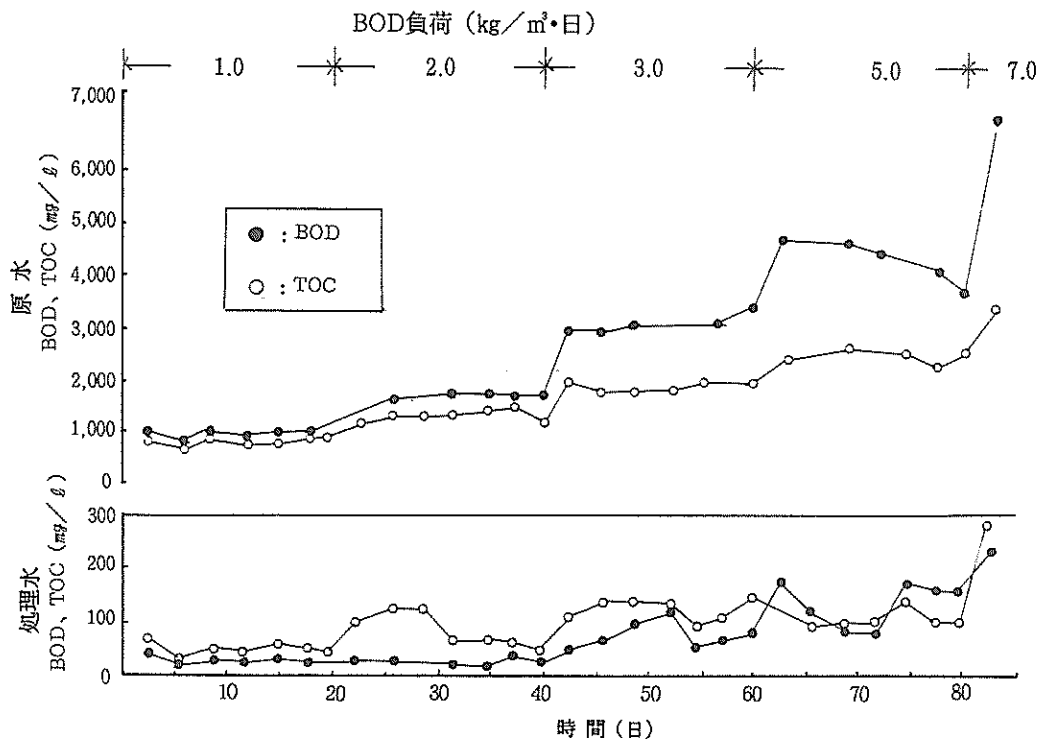


図6 各負荷におけるBODとTOCの経時変化

(2) 曝気槽内のMLVSSの変化

曝気槽内の浄化に関与する微生物量の目安となるMLVSSについて調べた。その結果を図7に示す。

曝気槽内のMLVSSは実験当初の負荷 $1\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ では平均 $3,000\text{mg}/\ell$ を示し、その後、負荷の増加に伴って汚泥生成量は増加する傾向がみられ、負荷 $5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ では約 $5,000\text{mg}/\ell$ を示す。なお負荷 $7\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ ではMLVSSの低下がみられるが、同負荷では曝気槽内で異常発泡現象が発生しており、浮遊性汚泥等が泡に付着して流出を起し、MLVSSが低下したことも考えられる。

一般に曝気槽に供給したBOD量と浄化に関与する微生物量の比（BOD汚泥負荷という）は処理効率を左右する重要な操作因子とされ、標準活性汚泥法でのBOD汚泥負荷は $0.2\sim 0.4\text{kgBOD}/\text{kg}\cdot\text{MLVSS}\cdot\text{日}$ の範囲で運転されている。これに対して、本実験でのBOD汚泥負荷は $0.3\sim 1.7\text{kgBOD}/\text{kg}\cdot\text{MLVSS}\cdot\text{日}$ の範囲を示し、実験期間を通して高い値を示したが、BOD汚泥負荷 $1\text{kgBOD}/\text{kg}\cdot\text{MLVSS}\cdot\text{日}$ までは、概ね良好な処理性を示す。

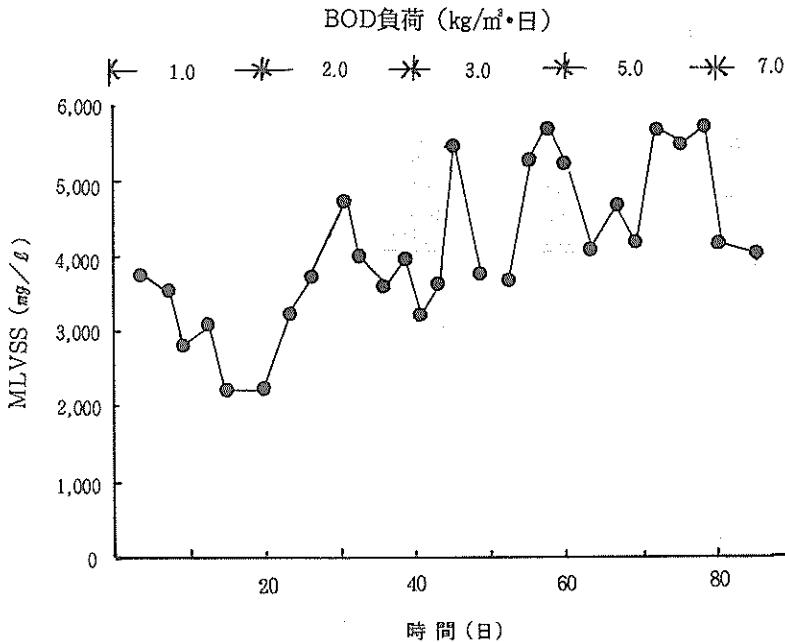


図7 各負荷におけるMLVSSの変化（曝気槽）

以上、本実験では担体の剥離汚泥等の浮遊汚泥が定常的に沈殿槽に流出し、曝気槽内のMLVSSは約 $3,000\sim 5,000\text{mg}/\ell$ の範囲の値を示す。

(3) 汚泥の沈降性

懸濁粒子生物膜法では、担体からの剥離汚泥等の浮遊性汚泥と処理水の分離は極めて重要である。そこで、沈殿槽内の汚泥量及びその沈降性について調べた結果を図8～図10に示す。

沈殿槽内のMLSSは負荷の増加とともに増える傾向がみられ、 $700\sim 2,700\text{mg}/\ell$ の範囲の値を示す。なお、負荷 $7\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ ではMLSS量が低下するが、これは、曝気槽での異常発泡による汚泥流出の影響が考えられる。

各負荷における汚泥のSV₃₀（30分静置後の汚泥沈降容積％）はMLSS量に対応して高くなる傾向を示し、7～32％の範囲を示し、また汚泥の沈降濃縮性を表すSVI（汚泥沈降容量指標）は平均100～230を示す。

一般にSVIは50～100の範囲が適正であるとされているが、本実験での各負荷での汚泥はこの適正值以上の値を示し、全般的に汚泥の濃縮性は劣る結果を示す。しかし、本実験では沈殿槽に流出する汚泥量は少なく、また、沈殿槽での処理水の滞留時間（24時間）が長いので、処理の支障は生じなかった。

また、前述したように、本実験での処理水は濁度が高く、この要因は担体から剥離した微細汚泥等の影響が考えられ、この分離法は重要となる。

一般にその分離処理法として、凝集沈殿法及び汙過法等が有効であることが知られている⁹⁾。従って、同処理法の採用により、高度な処理水が得られることが期待できる。

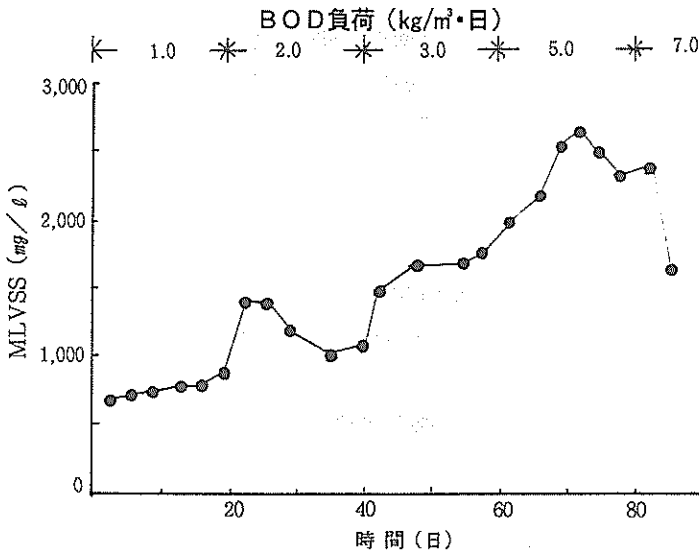


図8 各負荷におけるMLSSの変化（沈殿槽）

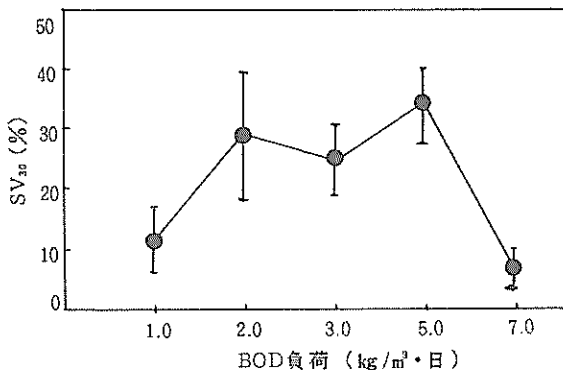


図9 各負荷におけるSV₃₀の変化（沈殿槽）

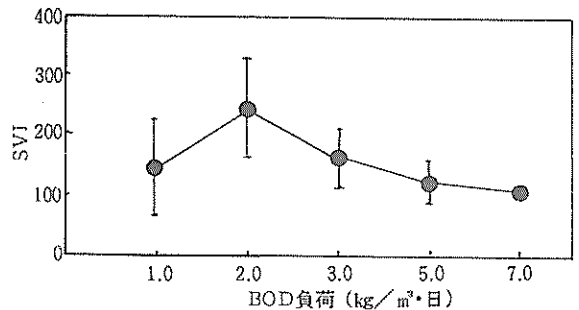


図10 各負荷におけるSVIの変化（沈殿槽）

4. まとめ

琉球石灰岩（栗石、コーラル、及び海砂）を生物膜担体に活用した懸濁粒子生物膜法による廃水処理技術の確立を目的に①担体の生物付着性、及び②連続処理法による処理特性について検討し、次の結果を得た。

(1) 担体への生物付着実験

- ① 担体への生物付着性は約2週間で生物膜の発生が認められ、担体相互間にその付着時期に差異はみられなかった。
- ② 汚泥の生成量は負荷の増加とともに増え、曝気槽に供給したBOD量に対する汚泥生成率は約40～60%を示す。
- ③ BOD負荷 $0.5\sim 2.0\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ における汚泥の沈降性は総じて良好である。

(2) 連続処理実験

- ① BOD負荷 $1\sim 5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ での処理性は良好であり、BOD負荷は $5\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{日}$ 以内が適正であると考えられる。
- ② 曝気槽内のMLVSSは負荷の増加と共に増える傾向があり、約 $3,000\sim 5,000\text{mg}/\ell$ を示し、また、BOD汚泥負荷は $0.3\sim 1.7\text{kgBOD}/\text{kg}\cdot\text{MLVSS}$ の範囲を示す。
- ③ 沈殿槽に流出する剥離汚泥等のSVI（汚泥沈降容積指標）は $100\sim 230$ を示し、一般にその濃縮性は劣る結果を示す。
- ④ 処理水の濁度が高く、微細な汚泥の混入による影響が考えられ、その分離除去は重要である。

以上の結果から、琉球石灰岩を生物膜担体に利用した懸濁粒子生物膜法による処理性は通常の活性汚泥法と比較して高負荷での処理が可能と考えられ、適正な処理条件の設定により高い浄化結果が期待でき、その有効性が示唆される。

なお、今回の実験はモデル廃水を基質に実験室規模装置で行ったものであり、その実用化にあたっては、実廃水を対象とした中間工業試験規模装置での詳細な検討を行い、その処理機能の評価を行う必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 宮城周子、比嘉三利、照屋輝一：懸濁粒子生物膜法による廃水処理技術に関する研究(1)、沖縄県工業試験場業務報告、17号（1989）
- 2) 白石皓二、山内敏弘：粒状媒体を用いた廃水の生物処理（その1）PPM 7 49（1987）
- 3) 高原義昌編者：廃水の生物処理 P.85 地球社（1981）
- 4) 同沢 勇編著：生物膜法 P.131 思考社（1982）

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。