

武蔵工業大学大学院 ○杉尾 勝之

武蔵工業大学工学部 多田 剛紳, 長岡 裕

1. はじめに

浄化工法の1つとして, 海岸構造物(透過性構造物)に水質浄化の役割を担わせるものが注目されている。そこで本研究では, 小型の造波水路内に模擬的な透過性構造物を設け, 波動による往復流下における付着生物膜の基質消費機構について検討した。

2. 実験装置

実験水路は図1に示すような, 全長200cm, 幅25.5cm, 高さ26cmの亚克力製の造波水路である。下流側には, 反射波の影響を防ぐため消波装置を約60cm設け, 排水口(ドレーン)を設けることにより, 水深を約14.6cmとなるようにし容積を約75lに保った。水路上流から13cmの位置に造波板を設けることにより波高2.

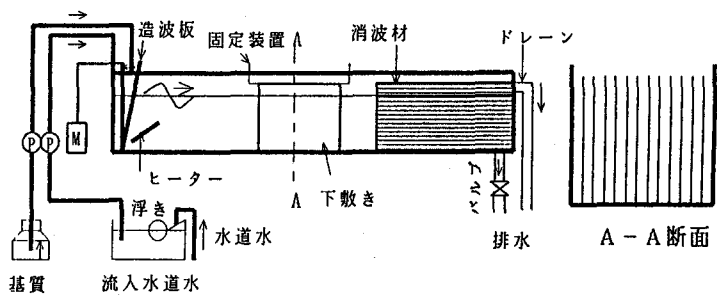


図-1 実験装置概略図

1cm, 周期2s, 波速64.7cm/sの波を起こすことが出来る。また水温を約20℃に保つため, 造波板近くに観賞魚用ヒーターを2つ設置した。上流から約90cmの位置に模擬の透過性構造物として, 高さ18cm, 長さ25cmの下敷きを2cm間隔で12枚設置した。下敷きには生物膜が付着しやすいように, 100番のサンドペーパーで粗くした。

また基質と水道水の供給は小型ポンプで上流側より行った(基質の投入点は上流側より30cmの位置)。流入量は, 約8.3l/sで水理学的滞留時間は約2.5時間になるように調整を行った(基質の組成は, 表1に示す)。生物膜は基本的に透過性構造物内だけに付着したものだけとし, その他に付着したものについては, ハケ等を用いて除去するようにした。

往復流下における現象と一方向流下(開水路)における現象を比較するために, 2本の小型開水路を用意した¹⁾。小型の造波水路及び開水路で用いた基質の組成は同じものを使用し, 両水路の水路内基質濃度が等しくなるように調整を行った。また両水路の生物膜の性質を同じにするため, 定期的に両水路内水の交換を行うようにした。開水路の水温は約23℃で, 高流速(断面平均流速36.29cm/s)及び低流速(断面平均流速6.15cm/s)の水理学的条件下のもとで実験を行った。

3. 実験方法

3.1 採水及び水質分析

生物膜の基質の消費状況を調べるために, 流入水道水, 流入基質, 水路内水のTOC濃度を測定した。水路内

表1 基質成分 (mg/l)

グルコース	6.88	KH ₂ PO ₄	0.08
CaCl ₂	0.24	Na ₂ HPO ₄	0.32
MgSO ₄	0.192	NH ₄ Cl	0.384
KH ₂ PO ₄	0.24	酵母エキス	0.192

水については、透過性構造物の上流側、構造物内、下流側の3点を20mlのピペットで両壁面、中央の3点を十分時間をかけて採取を行った。

3.2 付着生物膜密度、軌道長径の測定

下敷きに付着した生物膜を、波の振幅により上下する水路底面から15.7~13.7cm、それより下の部分では3.4cm間隔に4等分し、1つのポイントにつき2つずつ生物膜をはがし取り、100℃の炉で一日乾燥させ、各点の膜の分布状況を調べた。また各点で波動による楕円軌道の長径の計測した。

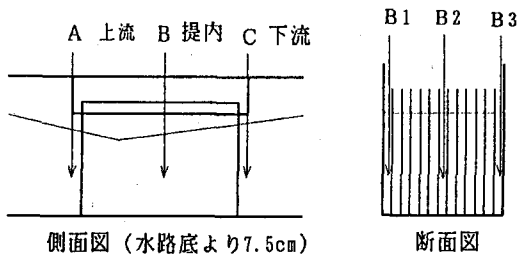


図-2 水路内水採取位置

3.3 付着生物膜による基質除去速度（フラックス）の計算

水路内の全基質消費速度（ R_t ）は、透過性構造物内に付着した生物膜による消費速度（ R_b ）と水路内中に浮遊あるいは、消波材等に付着した生物膜による消費速度（ R_o ）からなる。ただし、 R_o は消波装置の交換や浮遊している生物膜の除去により本研究に於いては無視できると仮定する。基質除去フラックス F ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$) は、

$$F = (C_o - C_c) Q / A \dots (1)$$

Q : 基質流入量 (l/h) C_o : 流入基質濃度 (mg/l) C_c : 下流の基質濃度 (mg/l) A : 断面積 (cm^2) となる。また、低基質濃度下では一次反応が成立するので、比フラックス f (cm/h) は

$$f = F / C_B \dots (2) \quad C_B: \text{水路内（採水ポイントB）基質濃度（mg/l）}$$

と表される。

3.4 摩擦速度の計算

本実験装置の付着面のように往復流下で時間的に変化する底面摩擦応力（底面せん断応力）の振幅 τ_{bm} は次の式で表される。

$$\tau_{bm} = \frac{\rho}{2} f_w u^2 \dots (3)$$

u_{bm} : 底面に於ける水平流速振幅

f_w : 底面摩擦係数

ここで、(3.4-1) 式を変形し次式求めた。

$$|u| = \sqrt{\frac{1}{\pi} f_w \frac{2\pi}{T} a_{bm}} \dots (4)$$

$|u|$: 摩擦速度の絶対値の時間平均値

T : 周期 a_{bm} : 水粒子軌道振幅

摩擦係数はJonssonの摩擦係数算定図²⁾ から算定を行った。なお開水路の摩擦速度の算出は、測定した流速分布を対数分布則にフィティングすることにより算出した。

4. 実験結果

4.1 TOC濃度分布及び基質除去フラックス

図3に示すように、水路内水の TOC濃度は上流側から下流側へと減少する値の結果を得た。

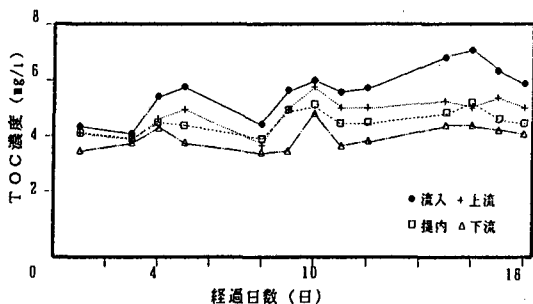


図-3 流入、水路内水TOC経日変化

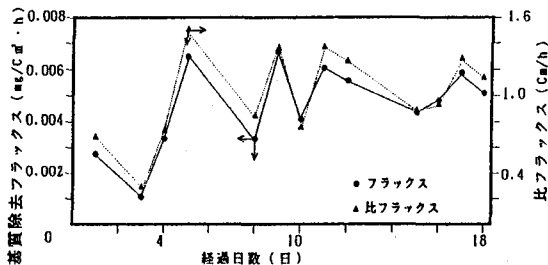


図-4 付着生物膜によるフラックス・比フラックス経日変化

図4で示す通り基質除去フラックスも $0.005\text{mg}/\text{cm}^2$ 前後で安定した値となっている。

4. 2 生物膜密度の分布

図5に付着生物膜密度の分布を示す。付着生物膜の分布は、水面に近づくほど大きくなるのが解った。これは、水面近くでは軌道長径が大きく、一回の振幅で広範囲の水との接触を起こすため生物膜が多く、基質を取り入れ、密度が大きくなったと推定される。また波の上下により水に接したり、空気に接したりする領域は、他のポイントに比べ特に生物膜密度が大きくなった。また図6に付着面の摩擦速度（絶対値の平均値）と生物膜密度のとの関係を示しているが、図に示されるよう摩擦速度の増加にともない生物膜密度も増加傾向を示した。

4. 3 一方向流との基質除去速度比較

図7において、一方向流と往復流下の摩擦速度に対する定常時の基質除去比フラックスの値を示す（往復流下に於いての摩擦速度それぞれの高さで求めたものの平均値）。図7によって示されるように、往復流下での生物膜の比フラックスの値は、一方向流下に比べ小さい値を得た。本実験のような往復流下においてのレイノルズ数 Re は次のような式で求まる。

$$Re = u_{bm} a_{bm} / \nu \quad \dots (5)^{2)}$$

ν : 動粘性係数

(5) 式より本実験でのレイノルズ数を求めると約 $Re = 1200$ となりこの値を jonsson の図²⁾ にフィティングすると本実験条件下においての水の流れの状態は層流であった。このため生物膜内部への基質の輸送がよく行われず、一方向流下と差が生じたものと思われる。

5. 結論

1) 波のように移流の無い往復流下において生物膜を繁殖させた。摩擦速度が開水路に比べ大きな値を示した条件下においても、流れの状態は層流であり、基質の輸送が分子拡散によって律速され、基質除去比フラックスの値は開水路に比べ低い値を示した。

2) 往復流下においての生物膜密度の分布は、摩擦速度（絶対値の平均値）の減少にともない減少傾向を示す結果を得た。

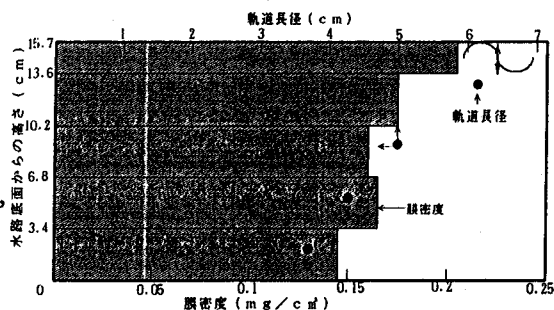


図-5 膜密度及び軌道長径と底面からの高さとの関係

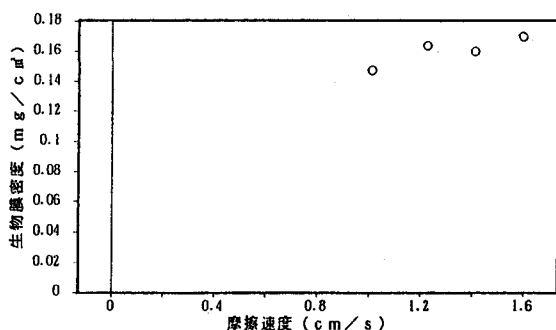


図-6 摩擦速度と生物膜密度との関係

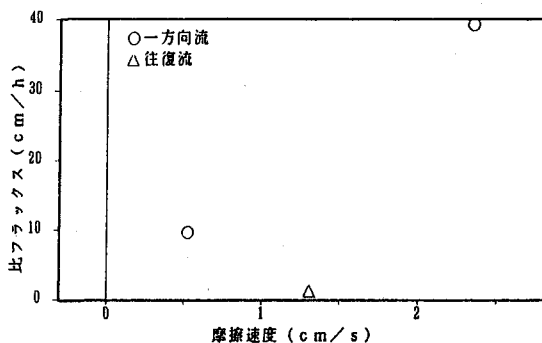


図-7 摩擦速度と比フラックスの関係

※参考文献

- 1) 杉尾勝之, 長岡裕 (1992) 付着生物膜上の流れの構造が基質の輸送機構に与える影響, 土木学会47回年次学術講演会講演集第二部, pp1002~1003
- 2) 土木ハンドブック第4版 (1989) pp1870~1871