

武蔵工業大学大学院 杉尾 勝之

武蔵工業大学工学部 宮崎正人 長岡 裕

1. はじめに

海岸構造物の要求される機能は、本来港内を平穏に保ち港湾の諸施設を保護する事であった。しかし近年ウォーターフロント計画等により、水域の多目的利用や環境保全への配慮等様々な新しい機能が要求されるようになった。そこで本研究では、小型の造波水路を用いて往復流下における生物膜の基質消費及び水理条件の変化が生物膜の基質消費に与える影響について検討した。

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14.6cmとなるようにした。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2cm、周期2秒、波速64.7cm/sの波を起こすことが出来る。また水温を20℃に保つため上流側造波板近くに観賞魚用ヒーターを設置した。また上流から約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1.5cm間隔で16枚設置した。下敷きは生物膜が付着し易いように、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水路の上流側より行った（基質の組成は表1に示す）。また水理学的滞留時間は約1時間に調整した。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と及び浮遊しているものはハケや観賞用の網を用いて除去を行った。

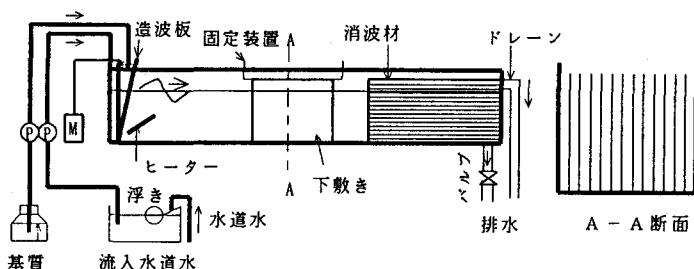


図-1 実験装置概略図

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

3. 実験方法

3.1 採水及び水質分析

生物膜の基質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点を両壁面、中央の3点を十分時間をかけて採水を行った。

3.2 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

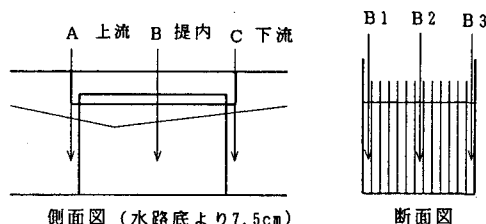


図-2 水路内水採取位置

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_s) からなる。ただし、 R_s 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おいては無視できる物と仮定する。基質消費フラックス F ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$) は、

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

Q : 基質流入量 (l/h) C_o : 流入基質濃度 (mg/l) C_c : 下流側の基質濃度 (mg/l) A : 断面積 (cm^2)

となる。また低基質濃度下では1次反応が成立するので、比フラックス f (cm/h) は

$$f = F / C_B \quad \dots (2) \quad C_B = (C_1 + C_2 + C_3) / 3$$

C_B : 水路内基質濃度 (mg/l)

C_1 : 採水ポイントA基質濃度 (mg/l)

C_2 : 採水ポイントB基質濃度 (mg/l)

C_3 : 採水ポイントC基質濃度 (mg/l)

3. 3 水理条件の変動による影響

表2 実験条件

水理条件の変動が生物膜の基質消費に与える影響を調べるため、表2に示すRun1~Run3の3種類の

実験を行った。各実験においてNO.1~NO.3へと周期及び造波板の振幅の幅を短期的に変化させる事により、水理条件の変動による生物膜の基質消費に与える影響を調査した。なお、それぞれの水理条件下における採水は、条件変化後3時間(滞留時間の3倍)経過した後にを行った。また、各条件における生物膜近傍の流速を測定するため、図-3に示すようにレーザードップラー流速計を用いて計測を行った。なお周波数は100Hz、サンプル数は4096で行った。また流速の測定ポイントは、生物膜がレーザを遮らないぎりぎりの下敷きより約12mmの地点で行った。

	Run1		Run2		Run3	
	周期	振幅	周期	振幅	周期	振幅
NO.1	2秒	23 cm	2秒	27.2cm	2秒	27.2cm
NO.2	7秒	22.6cm	2秒	22.6cm	5秒	22.6cm
NO.3	15秒	21.8cm	2秒	13.5cm	10秒	15.4cm

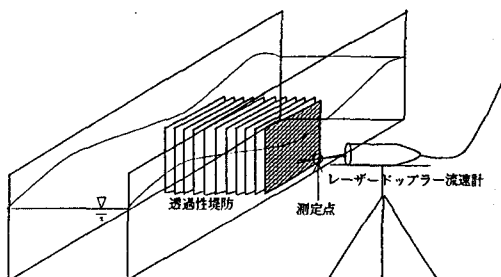
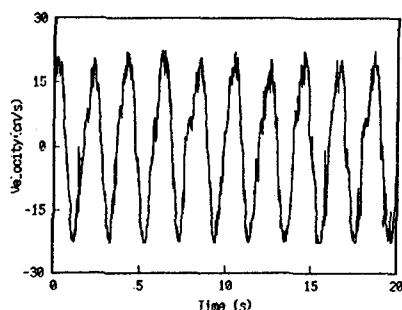


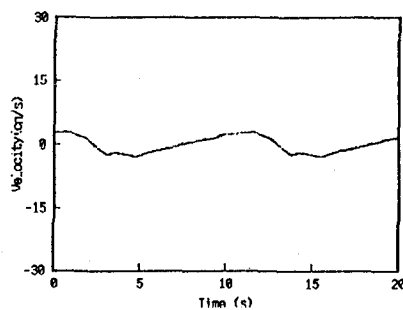
図-3 流速測定概略図

4. 結果及び考察

4. 1 流速及びスペクトル解析



(周期2秒, 振幅27.2cm)



(周期10秒, 振幅15.4cm)

図-4 流速データ

Run2のNO.1の流速データ及びRun3のNO.3の流速データを図-4に、それぞれのスペクトル解析の結果を図-5に示す。図-4に流速の早いデータと遅いデータが示されているが、図に示されるように高流速であるRun2のNO.1の流速データでは最大流速を示す付近において乱れと思われる波形の乱れがみられる。一方低流速であるRun3のNO.3の流速データにおいてはそのような波形の乱れを生じたものは見られず、全体になめらかな変動を見せた。

図-5は、上記の流速データのスペクトル解析結果を示したもののだが、高流速すなわちRun2のNO.1の解析

結果では、0.5Hz付近における波動によるピークを除けば、開水路乱流とほぼ同じ様のスペクトル分布を示している。また低流速であるRun3のN0.3の結果では、同様に0.1Hz付近で波動の影響によるピークがみられるものの、Run2のN0.1のような緩やかな減少は示されず、急激な減少を示し、生物膜近傍の流れはほとんど乱れない、層流の状態に近い流れになっていることが示されている。

4. 2 水平流速振幅及びRe数と比フラックスとの関係

図-6に水平流速振幅と比フラックスの関係、図-7にRe数と比フラックスとの関係を両対数表示したものを示す。図-6に示されるように、比フラックスは水平流速振幅の減少にともない減少する傾向を示した。これは、流速が大きくなるに従い生物膜近傍の流れに乱れが生じ、生物膜への基質の輸送が活発になり、生物膜による基質消費が大きくなったためである。

図-7にRe数と比フラックスの関係を示したが本研究の様な往復流下におけるRe数は(1)の様な式で求まる。

$$Re = \frac{u_{bm} a_{bm}}{\nu} \dots (1) \quad 1)$$

ν : 動粘性係数, u_{bm} : 水平流速振幅,

a_{bm} : 水粒子軌道振幅

Re数と比フラックスとの関係においてもRe数の減少にともない、比フラックスが減少する結果を得た。このことから、Re数の増加、すなわち生物膜近傍における流れの乱れが大きくなるに従い生物膜への基質の輸送が活発となり、生物膜の基質消費が大きくなる事が示されている。また開水路乱流の実験²⁾において比フラックス(f)の乱れ強度($\sqrt{u'^2}$)との関係においてその傾きは0.5となる結果が得られているが、往復流において比フラックスとRe数との関係では1.0という結果となり開水路乱流実験に比べ大きな傾きを示した。これは往復流における限界Re数が約 10^4 であり、本研究において測定した水理条件が層流から乱流へ遷移する領域にあったため、少しのRe数の変化が、大きく比フラックス(f)に影響した。

5. まとめ

1) 本研究のように往復流下における生物膜実験では、波の周期、振幅を大きくする事により水平流速振幅は大きくなり、生物膜近傍の流れに乱れのようなものが生じる事を確認することが出来た。

2) 波の様な往復流下においても水平流速振幅の増加や、Re数の増加のように水理条件の変動によって生物膜の基質消費に影響を与える事が示された。

3) 乱流から層流への遷移領域においては、少ないRe数の変化でも比フラックスは大きく影響される。

※参考文献：1) 土木ハンドブック第4版(1989) pp1870~1871

2) 杉尾ら(1993) 付着生物膜内部における乱流拡散係数の分布考慮した反応速度モデル, 第48回土木学会年次学術講演会, pp1308~1309

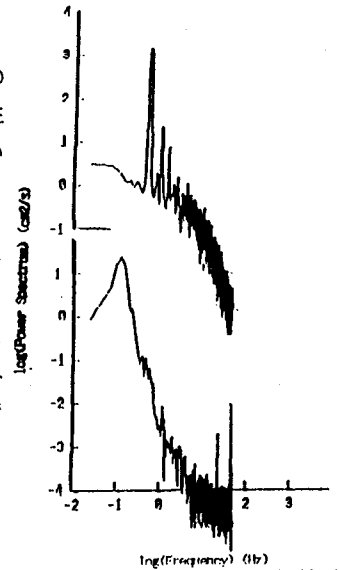


図-5 スペクトル解析結果

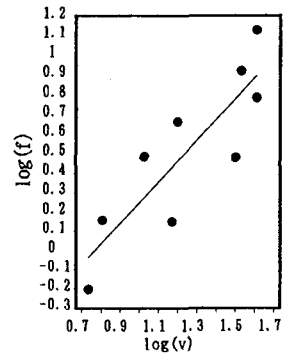


図-6 水平流速振幅(v)と比フラックス(f)

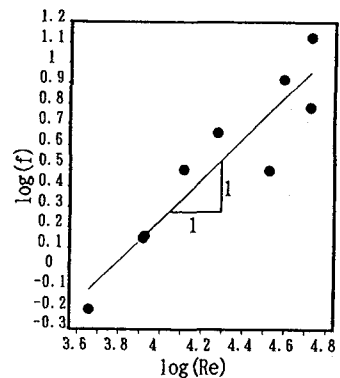


図-7 Re数と比フラックスの関係