

VII-189 透過性堤防内部における物質輸送機構に関する実験的研究

武蔵工業大学大学院 学生員 ○熊倉 孝雄

武蔵工業大学工学部 正 員 長岡 裕

はじめに

透過性堤防内部に付着した微生物膜による水質浄化の機構を解明するには、堤防内部における水理学的特性を把握する必要がある。微生物膜による浄化効率は堤防内部における物質輸送に依存していると考えられる¹⁾ため、本研究では、堤防内部における分散係数と流速変動を測定し、これらの関係について検討した。

1. 実験概要

1-1 実験装置および実験条件

実験にはFig.1に示すような幅0.6m×高さ1.0m×長さ26.0mの造波水路を使用し、造波装置から約15.9m下流に透過性堤防を設置した。堤防には直径75mmの発泡スチロール球を560個使用し、Fig.2に示すような格子状に積み重ねた形状とし、空隙率47.6%、空隙スケール1.0675cmとした。実験条件をTable1に記す。各指標には容量式波高計を使用し、ベロフリップ法により算出した。

1-2 導電率の測定

メタールで比重調整したNaCl溶液(100mg/l)を堤防から上流1.45mにある柵の中に投入し、波の到達と同時に開扉し、各センサー地点における導電率変化を測定した。各センサーは3秒毎にリリーし、30分間測定を行った。同様な波動条件による導電率測定を5回行い、これらを平均した導電率より一次元フィック型拡散方程式に基づき、分散係数を算出した。また、柵の中に着色インクを投入し、視覚的に物質輸送の様子を観察した。

1-3 流速の測定

流速の測定には、後方散乱型2次元光ファイバーレーザー Doppler 流速計を用い、周波数100Hz、サンプリング数4096で導電率測定実験と同じ波動条件下で、流下方向の流速を測定した。流速の測定位置は導電率センサー間の中央部で、水路底面より150mm、水路壁面より75mm(流下方向に筒抜けた疎通領域)、および112.5mm(流下方向を阻害された遮蔽領域)の位置で行った。測定後にはFFT法によりスペクトル解析を行い、流速変動を波成分と乱れ成分とに分離した。成分分離には、境界パワースペクトルを堤防内部で $25\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ 、堤防外部で $10\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ とし、それ以上に卓越した周波数成分を波動成分、それ以外の周波数成分を乱れ成分とした。実験の一例をFig.3に示す。

2. 実験結果

導電率は上流側センサーから順に上昇し、十分な経過時間後には全センサーによる測定値が一定値に近づくことから、堤防内部において物質の拡散が偏りなく行われていることがわかる。これは、着色したトレー実験からも

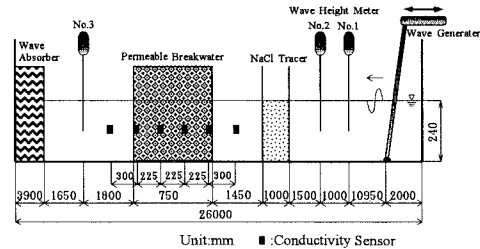


Fig.1 Experimental Setup

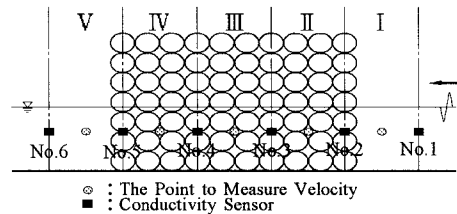


Fig.2 A Side View of Permeable Breakwater.

Table 1 Experimental Conditions

Case	T(s)	H(m)	H'(m)	C(m/s)	Kr(%)
1	1.76	0.103	0.030	1.69	29.7
2	3.03	0.021	0.010	1.69	47.3
3	2.17	0.034	0.012	1.91	36.0
4	1.81	0.103	0.021	1.75	20.4
5	1.93	0.137	0.036	1.81	26.2
6	1.49	0.117	0.023	1.73	20.1
7	1.12	0.194	0.037	1.79	18.9
8	2.53	0.046	0.014	1.82	29.2
9	1.75	0.112	0.024	1.70	21.3
10	2.44	0.052	0.015	1.69	28.4

T: Cycle (s) H: Wave Height (m)

H': Permeated Wave Height (m)

C: Wave Velocity (m/s) Kr: Permeability (%)

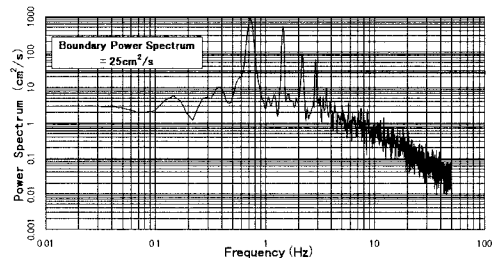


Fig.3 Power Spectrum of Velocity (Case6-Area II-Through Area)

確認でき、トレーの分散には流れが関与せず、開扉した投入柵からトレー濃度が正規分布状に拡散していることが目視された。

Fig.4に全条件を平均した分散係数の算出結果を示す。ただし、透過距離は、発泡スチロール球の直径(75mm)で無次元化した。堤防内部では、分散係数が流下方向へ徐々に減少していることから、堤防内部の前方ほど分散による物質輸送が盛んに行われていることがわかる。また、堤防前面の領域で分散係数が非常に大きな値となったのは、反射波の乱れによる影響だと考えられる。

Fig.5に疎通領域、および遮蔽領域における流速変動分布を示す。流速変動には、波成分と乱れ成分とが存在し、疎通領域では、波成分は乱れ成分を卓越し、透過距離に応じて徐々に減衰の傾向を示すが、乱れ成分は一定になる傾向がある。遮蔽領域では波成分は微少に存在し、乱れ成分は透過距離に応じて一定であり、疎通領域のそれに近い値となっている。

3. 考察

分散係数は波動による成分と、乱流拡散による成分との和で表現され、次式に示すようにそれぞれの係数は、流速変動と混合距離との積で表せるのではないかと考えられる。

$$K = K_{disp} + K_{diff} \\ = I_{disp} \sqrt{U'^2_{wave}} + I_{diff} \sqrt{U'^2_{turb}}$$

ただし、 K ：分散係数、 K_{disp} ：分散係数の分散成分、 K_{diff} ：分散係数の拡散成分、 I_{disp} ：波動による分散の混合距離、 I_{diff} ：乱れの混合距離、 $\sqrt{U'^2_{wave}} (=F_{wave})$ ：流速変動の波成分、 $\sqrt{U'^2_{turb}} (=F_{turb})$ ：流速変動の乱れ成分である。

Fig.6に分散係数を流速変動の波成分と乱れ成分とで重回帰した結果を示す。波動による混合距離は0.6883 cm、乱れによる混合距離は1.3418cmとなり堤防の空隙スケール1.0675cmにほぼ等しい値となった。Fig.7に重回帰から求めた混合距離を用いて K_{disp} と K_{diff} を算出した結果を示す。 K_{disp} は堤防透過に応じて直線的に減少し、それに対し、 K_{diff} の減少傾向は微々たるものであった。

以上のように、分散係数は堤防の空隙スケールと流速変動とで表現できるのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 杉尾, 宮崎, 長岡 (1993) : 往復流下における流れの変化が生物膜の基質消費に与える影響, 第30回環境工学研究フォーラム講演集, pp52~pp54

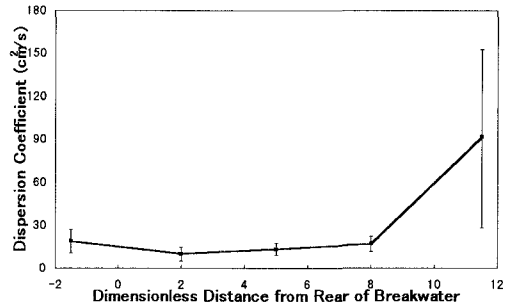


Fig. 4 Variation of Average Dispersion Coefficient

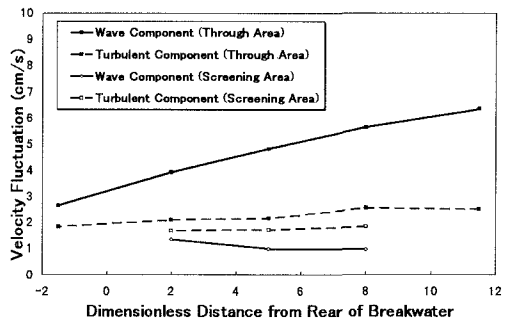


Fig. 5 Variation of Average Velocity Fluctuation in The Through Area and The Screening Area

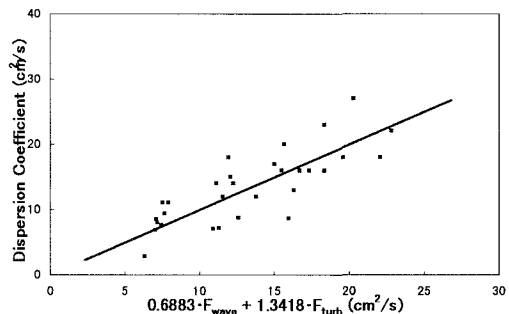


Fig. 6 Regression for Dispersion Coefficient in The Through Area

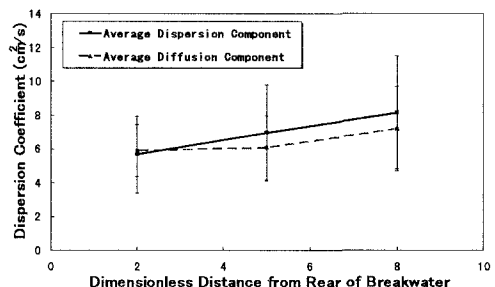


Fig. 7 Dispersion Coefficient from Regression