

1. はじめに

近年、ウォーターフロントの開発などにより沿岸域における水質保全の問題が取り上げられるようになり、水質浄化法の一つとして、海岸構造物（透過性堤防）の内部に付着した生物膜により水中の有機物を分解するという自然浄化作用を利用するものが考えられている。その生物膜の浄化効率、構造物内部における物質輸送速度に依存すると考えられている。本研究は、透過性堤防内部の分散係数および流速を実測する事により、物質輸送機構の解明を試みたものである。

2. 実験概要

2.1 実験装置

実験にはFig.1に示すような幅60cm、長さ26mの造波水路を用い、造波装置より17.5mの位置に直径7.5cmの発泡スチロール球を368個積み重ね（空隙率44.5%）堤防とした。実験条件はTable 1に示す通り（T:周期, H:入射波高, h:透過波高, c:波速, K_T :透過率）で、容量式波高計を用い、ゼロアップクロス法の最高波（最大波高・周期）により算出した。

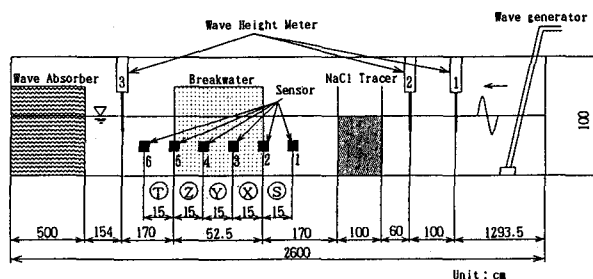


Fig.1 Experimental Setup

2.2 実験方法

(1) 導電率の測定

導電率測定用のセンサーは、3.0cm×3.0cm×0.1cmの銅板を用いて自作し、Fig.1に示すように堤防上流側に2箇所、下流側2箇所、堤内に2箇所設置した。各センサーの導電率出力と塩分濃度との関係は、実験開始前に線形性であることを確認した。

実験は、エタノールで比重調整した塩水を堤防上流側に設けた柵の中に投入し、波が投入点に到達すると同時に柵を開け、各センサーにおける導電率の変化を測定した。導電率の測定間隔は、30秒間隔で行い、測定値の安定後には、間隔を1分、3分、6分とした。また、導電率の測定と同時に、着色液を用いて分散状態を可視化した。

(2) 流速の測定

流速測定は、レーザードップラー流速計(L.D.V.)を用い、パーソナルコンピュータにより解析した。測定ポイントは、Fig.2, Fig.3に示した隣合うセンサー間の中央で3箇所ずつ測

Table 1 Experimental Condition

Case	T(s)	H(cm)	c(cm/s)	h(cm)	K_T (%)
1	1.83	11.1	147.3	1.4	12.6
2	1.90	7.9	109.7	1.6	20.3
3	1.89	5.8	103.8	1.2	20.7
4	1.74	4.3	104.7	1.0	23.3
5	2.26	4.4	155.3	1.4	31.8
6	2.46	3.1	149.3	0.8	25.8
7	2.44	2.5	44.7	0.8	32.0

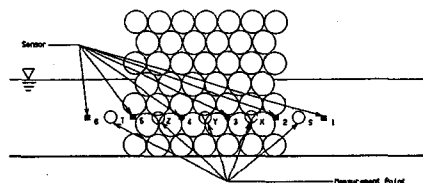


Fig.2 Permeable Breakwater

定し、その平均を各区域での測定値とした。

3. 実験結果

3.1 物質輸送状況

導電率の測定による濃度変化の結果をFig.4, Fig.5に示す。入射波高の大きさにより物質輸送状況が変化し、波高が大きくなるほど、堤防上流側から下流側にかけて盛んに物質輸送が行われている。

3.2 分散係数の計算方法及び結果

堤防上流から下流方向への物質輸送現象は一次フィック型分散方程式で表される。

$$\frac{\partial c(t, x)}{\partial t} = K \frac{\partial^2 c(t, x)}{\partial x^2} \quad (1)$$

$c(t, x)$: 濃度, x : 距離 (長さ)

t : 時間, K : 分散係数

上流側に設置したセンサーの地点 $x = 0$ における濃度変化が $f(t)$ で与えられる場合、初期条件及び境界条件は、

$$c(0, x) = 0 \quad (2) \quad c(t, 0) = f(t) \quad (3) \quad \lim_{x \rightarrow \infty} c(t, x) = 0 \quad (4)$$

となり、この境界条件の下で式(1)を解くと、

$$c(t, L) = \frac{L}{2\sqrt{\pi K}} \int_0^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{L^2}{4K(t-\tau)}\right\} d\tau \quad (5)$$

を得る。ここで K を透過性堤防の分散係数とし、 L を上流側センサーと下流側センサーの間の距離と考え、この式の $f(\tau)$ に上流側センサーの出力を与えると式(5)の左辺は下流側センサーの出力を表すことになる。 L をそれぞれFig.1に示すS, X, Y, Z, Tとし、式(5)で与えられる曲線と下流側無次元化導電率の曲線をフィッティングしてその区間での分散係数 K とした。計算にあたっては、各データ間を線形補完して、時間刻みを短くした。また、無次元化導電率が低下する直前までのデータを用い計算を行った。ここで、上流側と下流側の導電率の値が重なりあったり、逆転する場合を計算不能とした。

各区域における分散係数の計算結果は、Fig.6に示したとおり入射波高が大きいほど、堤防内部 (Y域) で急激に分散係数が低下していく様子がわかる。

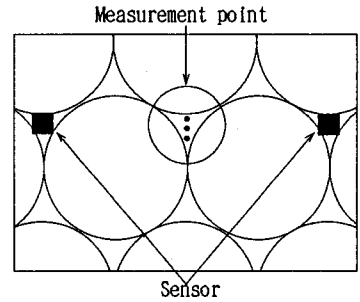


Fig.3 Measurement Point of Velocity

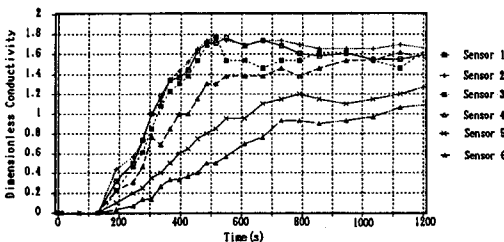


Fig.4 Variation of Concentration (case2)

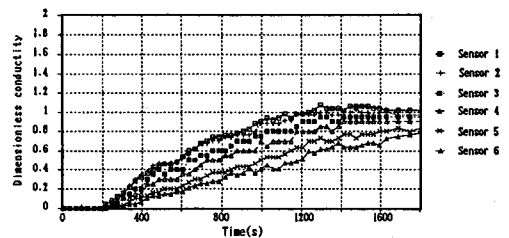


Fig.5 Variation of Concentration (case7)

3.3 流速の測定結果

各区域における $\sqrt{u^2}$ (流速変動の2乗平均値の平方根) の変化をFig.7に示す。また、Case2における各区域での流速データ及びスペクトル解析結果を、Fig.8, Fig.9に示し、各区域での $\sqrt{u^2}$ と空隙スケールの積と、分散係数の関係をFig.10に示す。ここで、空隙スケールとしては、堤防空隙体積を全球の表面積で除

した値(1.003cm)を用いた。Fig.6, Fig.7, Fig.8より、物質輸送速度は、入射波が堤防上流から堤内へ浸入した時、一度増加し、堤内では徐々に減少する様子がうかがえる。スペクトル解析結果(Fig.9)をみると、入射波(S)に比べ、堤内(X, Y, Z)において高周波領域における乱れが発生している事が示されている。

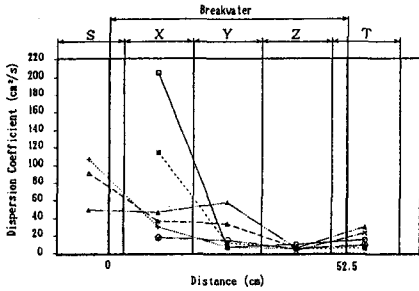


Fig.6 Dispersion Coefficient and Distance

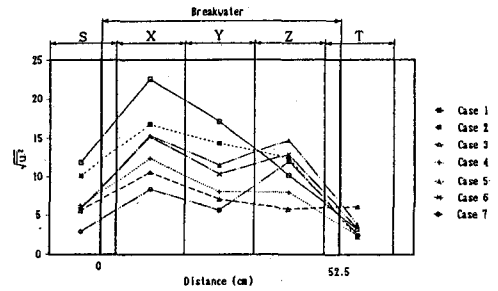


Fig.7 $\sqrt{u^2}$ and Distance

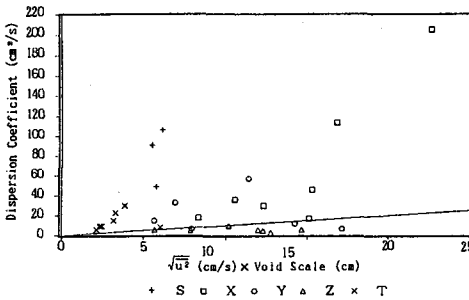


Fig.10 $\sqrt{u^2} \times (\text{Void Scale})$
and Dispersion Coefficient

4. 考察

Fig.10より、堤防内部のみの値(堤防外部(S, T域)の値を除く)でみると、多少のばらつきはあるが、分散係数が流速変動の2乗平均値の平方根と堤内の空隙スケールとの積でおおむね説明される事が示されている。堤防外部では、空隙は存在せず、空隙スケールとの関係ではなく、他のパラメーターを用いて考察する必要がある。また、流速においても $\sqrt{u^2}$ 以外のパラメーターで論じる必要があると思われる。

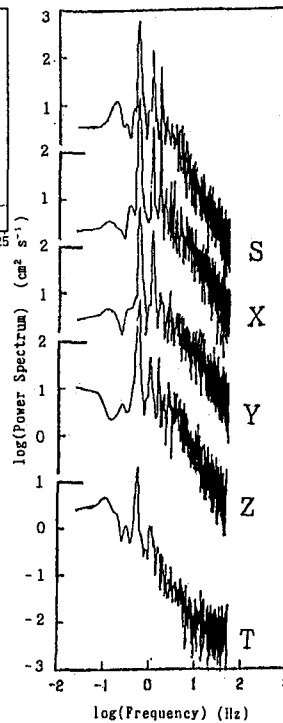


Fig.9 Spectrum
of Velocity
Fluctuation
(Case2)

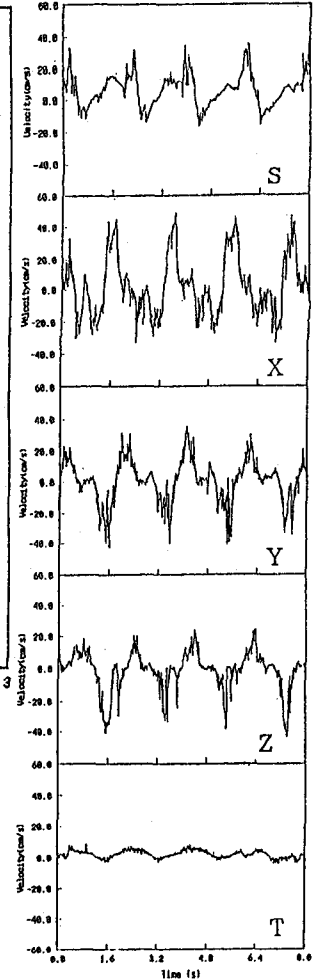


Fig.8 Velocity Data
(Case2)