

Crenellated Breakwater の拡散性

高 隆 二*・田 川 昌 宏**

1. 緒 言

Crenellated breakwater¹⁾ の効果は、流れの疏通および波による堤内外水の交換にある。防波堤開口比と縮流係数²⁾の積で与えられる透水率³⁾は常に1よりはるかに低く、別途許容値を示されないかぎり必ずしも有用ではない。

他方、波による拡散は、特に瞬間的な汚染に対し十分な海水交換を行なうと期待される。

2. 理 論

図-1 のように一様水深 h の海中に置かれた狭間防波堤周辺に座標を定め、重複波領域Ⅰ、噴流域Ⅱ、伝達波領域Ⅲに区別する。外水の濃度 (たとえば塩分) c_0 は一定、噴流域では一様濃度 $c_i(t)$ 、伝達波領域では濃度 $c(x, t)$ とする。半周期間に各狭間を通る流量は、噴流の流速 V を用いて、

$$Q = \int_0^{T/2} CA_2 |V| dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

と表わされ、噴流の速度は、

$$V = \frac{A_1}{CA_2} \frac{gH_T T}{4\pi h} \tanh kh \sin \sigma t \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられるから¹⁾、

$$Q = A_1 \frac{gH_T T}{4\pi h} \tanh kh \int_0^{T/2} \sin \sigma t dt = \frac{A_1 H_T L}{2\pi h} \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。ここで、 C は縮流係数、 A_1 は堤体断面積、 A_2 は狭間断面積、 g は重力加速度、 H_T は伝達波高、 T は波の周期、 $\sigma = 2\pi/T$ 、 L は波長、 $k = 2\pi/L$ である。

1 周期間に領域ⅠからⅡへの流入量は Qc_0 、領域Ⅰ、Ⅲへの流出量はそれぞれ Qc_i 、 $-[K(\partial c/\partial x)]_{x=0} A_1 T$ である。ただし、 K は伝達波の拡散係数である。これらの差は領域Ⅱでの増加量 $(dc_i/dt) A_1 l_0$ となるから、連続方程式は、

$$Q(c_0 - c_i) = \frac{dc_i}{dt} A_1 l_0 T - \left(K \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0} A_1 T$$

となり、式(3)を用いて、

$$\frac{H_T L}{2\pi h T} (c_0 - c_i) = \frac{dc_i}{dt} l_0 - \left(K \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0} \quad \dots\dots\dots (4)$$

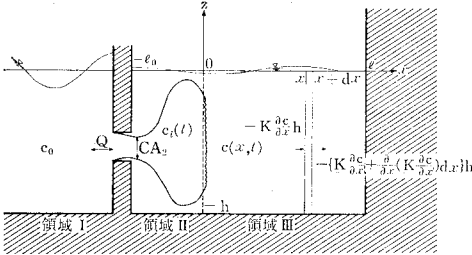


図-1 Crenellated Breakwater

となる。ただし、 l_0 は噴流長である。領域Ⅲにおいては、微小距離 dx だけ離れた x 、 $x+dx$ の鉛直断面で囲まれた部分の貯留量 $(\partial c/\partial t) A_1 dx$ は、流入量 $-K(\partial c/\partial t) A_1$ 、流出量 $-[K\partial c/\partial t + (\partial/\partial x)[K(\partial c/\partial x)]] A_1$ の差であるから、良く知られた1次元拡散方程式

$$\frac{\partial c}{\partial t} = K \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

を得る。式(5)を初期条件

$$c(x, 0) = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

と、噴流先端から岸壁までの距離を l として、境界条件

$$c(0, t) = c_i(t) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$c_x(l, t) = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

の下に解く。時間 t に関して Laplace 変換

$$C(x, s) = \int_0^\infty c(x, t) e^{-st} dt$$

を施すと⁴⁾ 式(5)は、

$$K \frac{d^2 C}{dx^2} = sC - c(x, 0) = sC$$

となり、この解は、

$$C(x, s) = A(s) e^{-\sqrt{(s/K)}x} + B(s) e^{\sqrt{(s/K)}x} \quad \dots\dots (9)$$

となる。式(6)~(8)はそれぞれ

$$\lim_{s \rightarrow \infty} sC(x, s) = \lim_{t \rightarrow 0} c(x, t) = c(x, 0) = 0 \quad \dots\dots (10)$$

$$C(0, s) = \int_0^\infty c_i(t) e^{-st} dt = C_i(s) \quad \dots\dots (11)$$

$$C_x(l, s) = 0 \quad \dots\dots (12)$$

となる。式(4)を

$$\left. \begin{aligned} \frac{dc_i}{dt} + Dc_i &= Dc_0 + E \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0} \\ D &= \frac{H_T L}{2\pi h T l_0}, \quad E = \frac{K}{l_0} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (13)$$

と書き換えて変換すると、

$$(s + D)C_i = \frac{Dc_0}{s} + EC_x(0, s) \quad \dots\dots (14)$$

* 正会員 工修 日本港湾コンサルタント水理室長
** 正会員 工修 日本港湾コンサルタント水理研究所

となる。式 (9), (11) により

$$C(0, s) = A(s) + B(s) = C_i(s)$$

式 (12) から,

$$C_x(l, s) = \sqrt{\frac{s}{K}} \{-A(s)e^{-\sqrt{(s/K)l}} + B(s)e^{\sqrt{(s/K)l}}\} = 0$$

となり, したがって $A(s)$, $B(s)$ は,

$$A(s) = \frac{C_i(s)e^{\sqrt{(s/K)l}}}{2 \cosh \sqrt{\frac{s}{K}l}}, \quad B(s) = \frac{C_i(s)e^{-\sqrt{(s/K)l}}}{2 \cosh \sqrt{\frac{s}{K}l}} \quad (15)$$

と求まる。式 (15) を式 (9) に代入して

$$C(x, s) = \frac{C_i(s)}{2 \cosh \sqrt{\frac{s}{K}l}} \{e^{\sqrt{(s/K)(l-x)}} + e^{-\sqrt{(s/K)(l-x)}}\} \\ = \frac{C_i(s) \cosh \sqrt{\frac{s}{K}(l-x)}}{\cosh \sqrt{\frac{s}{K}l}} \quad (16)$$

となり,

$$C_x(0, s) = -C_i(s) \sqrt{\frac{s}{K}} \tanh \sqrt{\frac{s}{K}l}$$

を式 (14) に代入すると, $C_i(s)$ は,

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{e^{st} \cosh \sqrt{\frac{s}{K}(l-x)} \cdot Dc_0}{s \frac{d}{ds} \left\{ (s+D) \cosh \sqrt{\frac{s}{K}l} + E \sqrt{\frac{s}{K}} \sinh \sqrt{\frac{s}{K}l} \right\}} \right]_{s=-(K/l^2)\alpha_n^2} \\ = -Dc_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-(K/l^2)\alpha_n^2 t} \cos \left(1 - \frac{x}{l}\right) \alpha_n}{\frac{K}{l^2} \alpha_n^2 \cos \alpha_n \left\{ 1 + \frac{El}{2K} \left(\frac{\tan \alpha_n}{\alpha_n} + \sec^2 \alpha_n \right) \right\}}$$

となる。したがって原空間にもどした濃度は,

$$c(x, t) = c_0 \left[1 - D \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-(K/l^2)\alpha_n^2 t} \cos \left(1 - \frac{x}{l}\right) \alpha_n}{\frac{K}{l^2} \alpha_n^2 \cos \alpha_n \left\{ 1 + \frac{El}{2K} \left(\frac{\tan \alpha_n}{\alpha_n} + \sec^2 \alpha_n \right) \right\}} \right] \quad (22)$$

$$c_i(t) = c_0 \left[1 - D \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-(K/l^2)\alpha_n^2 t}}{\frac{K}{l^2} \alpha_n^2 \left\{ 1 + \frac{El}{2K} \left(\frac{\tan \alpha_n}{\alpha_n} + \sec^2 \alpha_n \right) \right\}} \right] \quad (23)$$

で与えられる。特に, i) $l=0$ では,

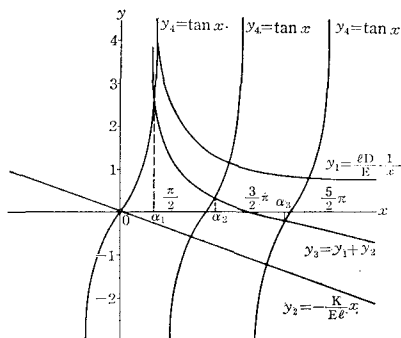


図-2 固有値

$$C_i(s) = \frac{Dc_0}{s(s+D+E\sqrt{\frac{s}{K}} \tanh \sqrt{\frac{s}{K}l})} \quad (17)$$

と求まる。したがって式 (16) より濃度分布は,

$$C(x, s) = \frac{\cosh \sqrt{\frac{s}{K}(l-x)} \cdot Dc_0}{s \left\{ (s+D) \cosh \sqrt{\frac{s}{K}l} + E \sqrt{\frac{s}{K}} \sinh \sqrt{\frac{s}{K}l} \right\}} \quad (18)$$

で表わされる。

原空間にもどすために $s=0$ での留数を求めると

$$\lim_{s \rightarrow 0} sC(x, s) = c_0 \quad (19)$$

であり, また,

$$s+D+E\sqrt{\frac{s}{K}} \tanh \sqrt{\frac{s}{K}l} = 0 \quad (20)$$

の根を

$$\sqrt{\frac{s}{K}}l = i\alpha_n, \quad (n=1, 2, \dots) \quad (21)$$

とおくと, 式 (20) は,

$$\tan \alpha_n = \frac{l}{E} \left(\frac{D}{\alpha_n} - \frac{K}{l^2} \alpha_n \right)$$

となり, 固有値 α_n の値が求まる (図-2)。 α_n における留数は,

3. 実験

(1) 目的

噴流長 l_0 および伝達波による 1 次元拡散係数 K を測

定する。

(2) 測 定

a) 噴 流 長

幅 0.8 m × 高さ 1.0 m × 長さ 30 m のフラップ型造波水路の造波板より 15 m 離れて、図-3 に示す模型 (縮尺 1/32.5) を設置した。波が定常的になったのち、狭

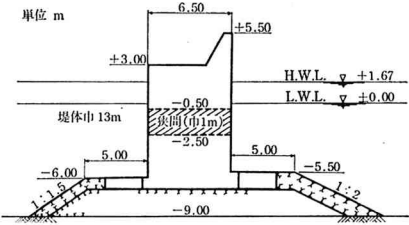


図-3 須磨港防波堤断面図

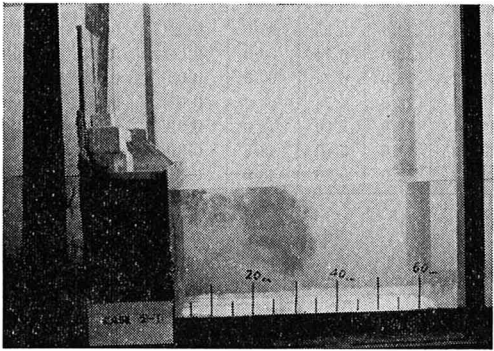


写真-1 噴 流

表-1 実 験 条 件 (噴流長)

ケ ー ス	h (m)	T (sec)	L (m)	H_I (m)	H_T (m)	h/L	H_I/L	H_T/h	ϵ (%)
I-1	12.0	11.7	120.0	2.40	0.072	0.100	0.020	0.006	1.28
I-2	12.0	11.7	120.0	4.80	0.144	0.100	0.040	0.012	1.28
II-1	12.0	8.35	80.0	1.60	0.048	0.150	0.020	0.004	1.28
II-2	12.0	8.35	80.0	3.20	0.096	0.150	0.040	0.008	1.28
II-3	12.0	8.35	80.0	4.80	0.144	0.150	0.060	0.012	1.28
III-1	12.0	6.74	60.0	1.20	0.036	0.200	0.020	0.003	1.28
III-2	12.0	6.74	60.0	2.40	0.072	0.200	0.040	0.006	1.28
III-3	12.0	6.74	60.0	3.60	0.108	0.200	0.060	0.009	1.28
IV-1	12.0	5.80	48.0	0.96	0.029	0.250	0.020	0.002	1.28
IV-2	12.0	5.80	48.0	1.92	0.058	0.250	0.040	0.005	1.28
IV-3	12.0	5.80	48.0	2.88	0.086	0.250	0.060	0.007	1.28

b) 拡 散 係 数

同水路の造波板より 13 m 離れて、染料投入装置を設置し、鉛直方向に様な瞬間投入を行なった (図-4, 写真-2)。定常的部分重複波 (反射率約50%) の腹の位置に染料を投入し、染料前線を追跡しているため、拡散係数は低目であろう。波高は低く、測定時間も長いので、造波板より 2 m 前方にフィルターを設けた。前線は必ずしも鉛直方向に一樣でなく、平均位置を読み取った (写真-3)。染料投入装置の規模は波高計程度であり、部分重複波の

腹に設置して乱れの発生を極力防いだ。実験条件を表-2 に示す。

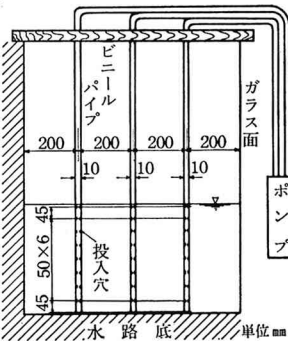


図-4 染料投入装置

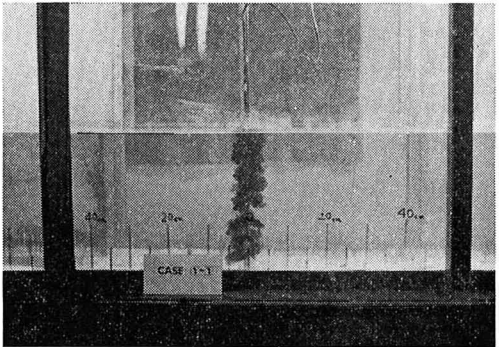


写真-2 波による拡散 (投入時)

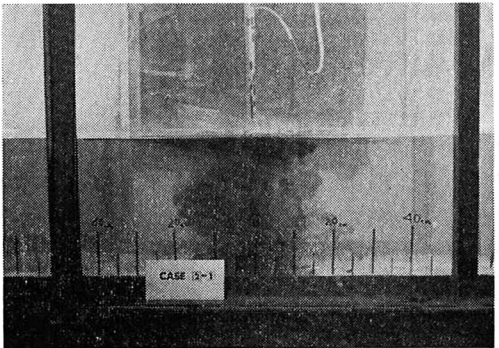


写真-3 波による拡散 (2分後)

表-2 実験条件(拡散係数)

ケース	h (m)	T (sec)	L (m)	H (m)	h/L	H/h
I-1	12.0	8.35	80.0	0.012	0.150	0.010
I-2	12.0	8.35	80.0	0.018	0.150	0.015
I-3	12.0	8.35	80.0	0.024	0.150	0.020
II-1	12.0	6.74	60.0	0.012	0.200	0.010
II-2	12.0	6.74	60.0	0.018	0.200	0.015
II-3	12.0	6.74	60.0	0.024	0.200	0.020
III-1	12.0	5.80	48.0	0.012	0.250	0.010
III-2	12.0	5.80	48.0	0.018	0.250	0.015
III-3	12.0	5.80	48.0	0.024	0.250	0.020

4. 検 討

(1) 噴 流 長

噴流長の振幅は、狭間に関する平均流速¹⁾

$$V' = \frac{1}{\varepsilon} \frac{gH_T L}{4\pi h} \tanh kh \sin \sigma t$$

を積分して(ε は開口比),

$$l_1 = \int_0^{T/4} V' dt = \frac{H_T L}{4\pi \varepsilon h} \dots\dots\dots (24)$$

となり、噴流長 l_0 と関連する。

(2) 拡散係数

原点で $t=0$ に投入した物質の1次元分布を誤差関数で表わし、前線濃度を一定とすると、

$$c(x, t) = \frac{e^{-(x^2/4Kt)}}{2\sqrt{\pi Kt}} = \text{const.}$$

となり、微分すると拡散係数は、

$$K = \frac{x^2}{2t} - x \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots (25)$$

と表わされ、前線の位置 $x(t)$ を追跡し算出できる。

時刻 t_0 に速度 $v(t_0)$ で原点を通過する小水塊は、それ以前の時刻 t には $y(t_0, t)$ だけ離れていたとすると、拡散係数⁵⁾ は、

$$K(t) = \frac{1}{T} \int_0^T y(t_0, t) v(t_0) dt_0$$

であり、進行波による水粒子の鉛直平均変位

$$y(t_0, t) = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \frac{H}{2} \frac{\cosh k(z+h)}{\sinh kh} dz \cdot \sin \sigma(t-t_0) \\ = \frac{H}{2kh} \sin \sigma(t-t_0)$$

$$v(t_0) = \frac{d}{dt} y(t_0, t) = \frac{\sigma H}{2hk} \cos \sigma(t-t_0)$$

を用い、時間的に平均すると、

$$K_0 = \left(\frac{H}{2kh} \right)^2 \sigma^2 \frac{2}{T} \int_{t+(T/4)}^t \sin 2\sigma(t-t_0) dt_0 \\ = \frac{1}{2T} \left(\frac{H}{kh} \right)^2 \dots\dots\dots (26)$$

となり、拡散係数の測定値と関連するであろう。

5. 結 果

(1) 噴 流 長

噴流の振幅に対する噴流長の比 l_0/l_1 は、入射波の波

形勾配 H_I/L と無関係で、相対水深 h/L の増加とともに減少する(表-3, 図-5)。

表-3 噴 流 長

ケース	h/L	H_I/L	l_0 (m)	l_1 (m)	l_0/l_1
I-1	0.100	0.020	29.6	4.71	6.28
I-2	0.100	0.040	38.4	8.55	4.49
II-1	0.150	0.020	11.8	2.08	5.69
II-2	0.150	0.040	22.7	4.00	5.68
II-3	0.150	0.060	22.8	5.65	4.04
III-1	0.200	0.020	3.4	1.12	3.09
III-2	0.200	0.040	10.5	2.22	4.72
III-3	0.200	0.060	14.3	3.47	4.12
IV-1	0.250	0.020	1.38	0.74	1.86
IV-2	0.250	0.040	2.52	1.53	1.65
IV-3	0.250	0.060	4.36	2.17	2.01

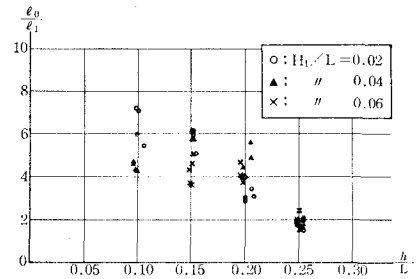


図-5 噴 流 長

(2) 拡散係数

投入初速度の影響を除くため等価時間を用い、長時間経過後前線濃度の低下するまでは、染料前線の拡がりは式(25)を満足する(図-6)。測定した拡散係数 K は K_0 とおおよそ等しく、 h/L , H_T/h と明瞭な関連はない(表-4, 図-7)。

表-4 拡 散 係 数

ケース	h/L	H_T/h	K (cm ² /sec)	K_0 (cm ² /sec)	K/K_0
I-1	0.150	0.010	22.5	16.0	1.41
I-2	0.150	0.015	39.0	25.7	1.52
I-3	0.150	0.020	9.20	42.4	0.22
II-1	0.200	0.010	14.8	7.13	2.06
II-2	0.200	0.015	27.0	20.4	1.32
II-3	0.200	0.020	13.6	26.4	0.52
III-1	0.250	0.010	3.45	5.23	0.66
III-2	0.250	0.015	17.1	11.6	1.47
III-3	0.250	0.020	13.0	19.2	0.67

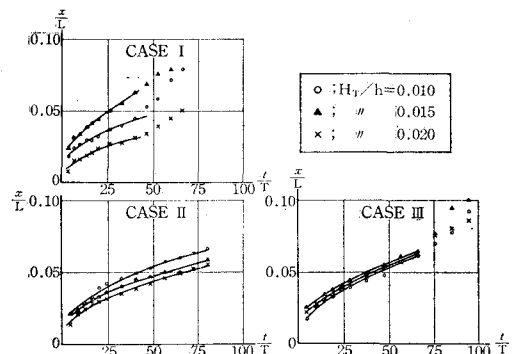


図-6 染料前線の拡がり

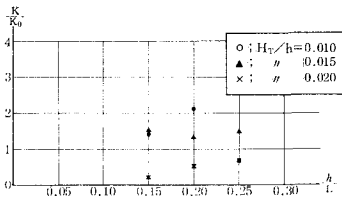


図-7 拡散係数

6. 計 算

実験より定めた噴流長 l_0 および伝達波の拡散係数 K を式 (22), (23) に代入し、須磨港における港内濃度を

表-5 計 算 条 件

$\epsilon(\%)$	K_T	$H_I(\text{m})$	$H_T(\text{m})$	$T(\text{sec})$	$h(\text{m})$	$L(\text{m})$	$l(\text{m})$	$K(\text{m}^2/\text{sec})$	$l_0(\text{m})$
1.2	0.03	5.75	0.173	7.55	12.7	71.8	215.0	16.0	29.1
4.8	0.12	5.75	0.690	7.55	12.7	71.8	215.0	226.0	29.1
9.6	0.24	5.75	1.38	7.55	12.7	71.8	215.0	1027.0	29.1
19.2	0.48	5.75	2.76	7.55	12.7	71.8	215.0	4072.0	29.1

表-6 無 次 元 量

$\epsilon(\%)$	H_T/h	KT/l^2	l/l_0	l/L
1.2	0.0136	2.61×10^{-7}	7.39	3.0
4.8	0.0544	3.69×10^{-6}	7.39	3.0
9.6	0.109	1.68×10^{-5}	7.39	3.0
19.2	0.217	6.65×10^{-5}	7.39	3.0

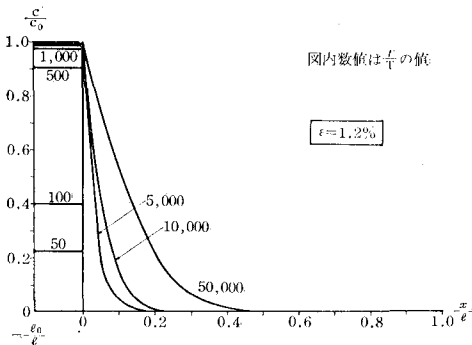


図-8 濃度の変化

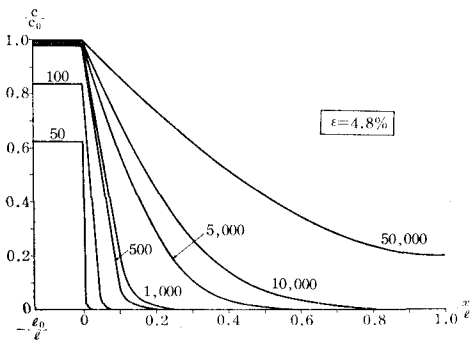


図-9 濃度の変化

算定した。両式を、

$$\frac{c}{c_0} = f\left(\frac{H_T}{h}, \frac{KT}{l^2}, \frac{l}{l_0}, \frac{l}{L}, \frac{t}{T}, \frac{x}{l}\right) \dots\dots(27)$$

$$\frac{c_i}{c_0} = g\left(\frac{H_T}{h}, \frac{KT}{l^2}, \frac{l}{l_0}, \frac{l}{L}, \frac{t}{T}\right) \dots\dots(28)$$

とし、狭間断面積の影響を調べた (表-5, 表-6)。

噴流域の海水交換は良く、港奥では開口比 1 割程度で数日、2 割程度で 1 日経過すればほぼ外水の濃度に回復する (表-7, 図-8~図-11)。なお拡散係数は小さく、両式の無限級数は容易に収束しないため、 $n=300$ まで固有値を算出している。

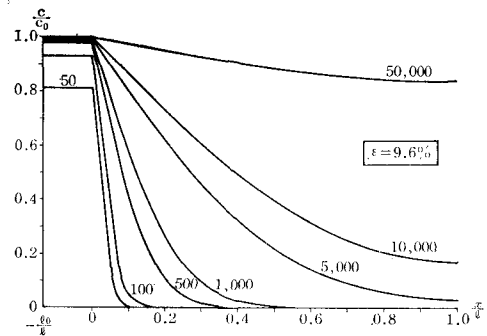


図-10 濃度の変化

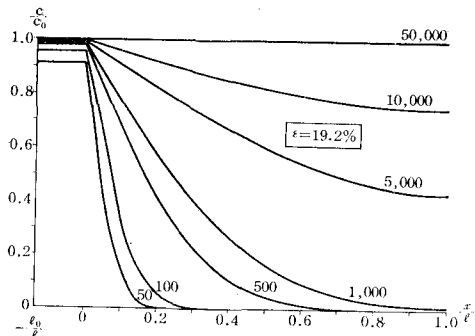


図-11 濃度の変化

7. 結 言

常時うねりや風波に見舞われる港では、狭間防波堤による海水交換を期待できる。現実には越波や港口からの進入波による海水交換もこれを助ける。

開口比は極端に小さくても、噴流域の海水交換は迅速に行なわれるから水産施設としても有用であろう。

表-7 濃度の時間的变化

$\varepsilon(\%)$	t/T	c/c_0	$(x/l)=0.1$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	50	0.2253	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	100	0.4008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	500	0.9065	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	1000	0.9784	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	5000	0.9941	0.0453	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	10000	0.9959	0.1608	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	50000	0.9982	0.5337	0.2140	0.0525	0.0130	0.0019	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0165	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	50	0.6219	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	100	0.8370	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	500	0.9811	0.0806	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	1000	0.9875	0.2271	0.0166	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	5000	0.9946	0.5963	0.2925	0.1151	0.00359	0.0088	0.0017	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
	10000	0.9962	0.7086	0.4577	0.2663	0.1387	0.0644	0.0265	0.0097	0.0031	0.0009	0.0004
	50000	0.9983	0.8687	0.7430	0.6247	0.5170	0.4224	0.3430	0.2802	0.2348	0.2074	0.1983
9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0388	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	50	0.8166	0.0044	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	100	0.9323	0.0491	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	500	0.9812	0.4158	0.1091	0.0161	0.0015	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	1000	0.9870	0.5699	0.2627	0.0946	0.0262	0.0055	0.0009	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
	5000	0.9943	0.8013	0.6198	0.4589	0.3246	0.2190	0.1410	0.0871	0.0529	0.0343	0.0284
	10000	0.9960	0.8597	0.7277	0.6041	0.4921	0.3945	0.3131	0.2492	0.2033	0.1757	0.1665
	50000	0.9993	0.9740	0.9493	0.9258	0.9042	0.8850	0.8685	0.8553	0.8456	0.8397	0.8377
19.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0.0773	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	50	0.9112	0.1449	0.0063	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	100	0.9534	0.3278	0.0597	0.0055	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	500	0.9817	0.6779	0.4194	0.2303	0.1115	0.0473	0.0176	0.0058	0.0016	0.0004	0.0002
	1000	0.9872	0.7704	0.5703	0.3940	0.2631	0.1631	0.0949	0.0520	0.0272	0.0148	0.0111
	5000	0.9949	0.9066	0.8207	0.7392	0.6640	0.5971	0.5401	0.4943	0.4607	0.4403	0.4334
	10000	0.9977	0.9586	0.9204	0.8842	0.8508	0.8211	0.7957	0.7752	0.7603	0.7511	0.7481
	50000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9998	0.9998	0.9997	0.9997	0.9997	0.9996	0.9996	0.9996

参 考 文 献

- 1) 高 隆二・木村 弘：Crenellated Breakwater の伝達波，第19回海岸工学講演会論文集，1972.
- 2) 高 隆二・木村 弘：Crenellated Breakwater の縮流係数，水産土木第9巻第2号（通巻18号），1973.
- 3) 高 隆二：Crenellated Breakwater の透水性，水産土木第9巻第2号（通巻18号），1973.
- 4) 近藤次郎：演算子法，培風館，1956.
- 5) 首藤伸夫：湾における物質の拡散，水工学に関する夏期研修会講義集，1970.