

エアバブルカーテンによる水質改善に関する研究

中村 充*・乃万俊文**・萩野静也***・稲垣 基****・矢内正樹****

1. ま え が き

海潮流が小さく、天然の流動エネルギーでは海水の交流・交換がはかれない場合、漁場水質を保持改善するために人工エネルギーを用いる必要がある。その一つの工法として筆者らは標題について一連の研究を実施してきた。昨年は比較的风量の大きい場合のエアバブルカーテンによる流況について解析し、エアバブルカーテンは漁場の水質改良保全工法として有効であるという結果を得た。しかしこの工法の実用化ということを考えると、風量の小さい場合のエアバブルカーテンによる流況も解析する必要がある。そこで今回は風量が小さく、しかもバブル発生を中層から行った場合も含めたエアバブルカーテンに誘起される流況、移流効果および鉛直拡散効果について解析した。さらに高知県水産試験場の協力を得て現地試験を行い実用化の可能性を見出した。その研究成

果を報告する。なお、現地実験で協力をいただいた高知水試に対しここに謝意を表する。

2. 実験装置と実験方法

(1) 水槽実験

水槽実験は長さ 22.5 m、深さ 2 m、幅 1.8 m の実験水槽のほぼ中央部に外径 (B_0) 60 mm、長さ 1.7 m の塩化ビニール製気泡発生筒を水深 0.25, 0.75, 1.25 m に設置して行った。空気発生筒には直径 (ϕ) 1 mm の空気噴出孔を 4 列 5 cm 間隔にあげ、3.7 kW のコンプレッサーで送気した。流速測定はフォトランジスター型回転式流速計で行った。実験は表—1 の実験ケースについて行った。

流速測定は、上流側は気泡発生筒より水平方向に 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 m、下流側は 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 m の位置で、鉛直方向には水面より

表—1 実験条件および水槽実験結果

CASE	実 験 条 件					水 槽 実 験 結 果													
	Q _a	Q _v	U _o	h	h _a	x _b	気泡筒からの距離x (下流を+) における表面流速 U _l max										f _{do}		
							-2.0	-1.0	-0.75	-0.5	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0			
0	2.94	0.0	0.0	1.5	1.25	0	25.1	31.0	40.5	43.2	44.6	39.7	41.1	32.9	27.3	20.0	0.26		
1	0.98	0.0	0.0	1.5	1.25	0	20.6	24.3	29.1	27.4	31.5	28.0	18.0	19.0	13.6	13.3	0.26		
2	0.49	0.0	0.0	1.5	1.25	0	11.3	16.0	16.9	20.0	17.5	19.0	17.1	12.9	11.4	8.1	0.29		
3	2.94	3.88	1.4	1.5	1.25	0.05	24.5	33.0	35.8	38.6	51.5	41.8	35.2	30.0	23.7	22.1	0.31		
4	0.98	4.55	1.7	1.5	1.25	0.08	12.8	22.4	21.1	24.3	22.2	25.3	23.8	20.3	17.6	11.2	0.28		
5	0.49	4.55	1.7	1.5	1.25	0.11	9.1	15.4	16.8	17.2	20.5	16.5	16.5	13.4	13.3	7.7	0.26		
6	1.96	0.0	0.0	1.0	0.75	0	10.2	25.8	32.3	29.9	27.8	24.6	22.0	15.9	9.9	6.3	0.26		
7	0.98	0.0	0.0	1.0	0.75	0	8.1	17.6	19.3	22.0	18.6	17.2	16.2	13.9	12.8	3.3	0.24		
8	0.49	0.0	0.0	1.0	0.75	0	4.7	11.7	13.5	15.6	13.5	12.8	11.7	7.4	5.1	—	0.22		
9	1.96	3.88	2.2	1.0	0.75	0.04	6.6	23.9	26.4	30.6	31.0	27.3	24.6	18.6	15.1	11.2	0.20		
10	0.98	4.11	2.3	1.0	0.75	0.06	3.7	14.2	18.3	20.5	19.8	20.6	13.6	14.9	11.7	7.8	0.22		
11	0.49	4.11	2.3	1.0	0.75	0.10	—	12.3	12.8	13.7	18.1	15.5	14.9	13.1	11.0	6.7	0.27		
12	2.94	0.0	0.0	1.5	0.25	0	9.2	12.4	15.2	10.1	18.1	17.0	16.5	15.8	11.8	8.8	0.16		
13	0.98	0.0	0.0	1.5	0.25	0	7.2	10.2	8.1	10.7	11.7	9.8	8.3	8.7	8.0	6.6	0.20		
14	0.49	0.0	0.0	1.5	0.25	0	4.6	6.8	8.1	6.9	6.7	5.9	5.2	5.2	4.1	3.6	0.22		
15	2.94	4.33	1.6	1.5	0.25	0	14.0	15.6	19.7	21.8	17.8	17.8	16.9	13.3	12.9	8.2	0.22		
16	0.98	4.33	1.6	1.5	0.25	0	—	12.6	12.4	15.5	10.4	11.5	12.3	10.0	8.6	6.0	0.26		
17	0.49	4.33	1.6	1.5	0.25	0.02	—	7.9	8.8	10.0	6.0	6.5	5.9	5.9	5.4	4.9	0.24		
18	2.94	0.0	0.0	1.5	0.75	0	17.6	25.9	27.2	34.1	37.6	31.0	25.4	23.5	18.2	13.5	0.23		
19	0.98	0.0	0.0	1.5	0.75	0	11.3	15.9	19.2	22.0	20.4	18.2	16.3	14.3	10.6	9.0	0.23		
20	0.49	0.0	0.0	1.5	0.75	0	9.9	11.4	14.0	16.2	17.4	13.7	11.7	8.6	7.8	3.9	0.24		
21	2.94	4.33	1.6	1.5	0.75	0.02	16.2	25.8	25.5	27.2	42.1	34.0	31.6	26.0	19.6	14.4	0.24		
22	0.98	4.33	1.6	1.5	0.75	0.03	11.4	16.6	17.6	22.0	18.7	18.7	17.0	15.9	12.0	10.6	0.22		
23	0.49	4.33	1.6	1.5	0.75	0.05	5.9	13.2	13.6	16.9	14.0	14.8	17.2	5.0	8.9	7.3	0.38		

Qa: 風 量 ($\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$), Qv: 水路の流量 ($\times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec}$), Uo: (水路の平均流速 ($\times 10^{-2} \text{ m}/\text{sec}$))

h: 水 深 (m), ha: バブル発生筒設置水深 (m)

* 正会員 農博 農業土木試験場 水産土木部

** 正会員 農業土木試験場 水産土木部

*** 農業土木試験場 水産土木部

**** 東海大学生

深さ 3, 8, 13, 18, 23, 43, 63, 83, 103, 123, 143 cm の各点で行った。

(2) 現地実験

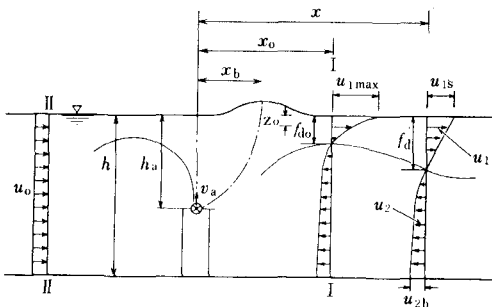
現地実験は高知県浦の内湾鯛付漁場で行った。本実験装置は直径 5 cm, 長さ 4 m の塩化ビニール製気泡発生筒を 26 本, 総延長 110 m を水深 10 m の水底に布設した。気泡発生筒には直径 1 mm の気泡発生孔を 4 列 5 cm 間隔計 320 個あけ, 15 kW, 22 kW, 22 kW の計 3 台のコンプレッサーで送気した。吐出圧力 7 kg/cm², 風量は平均約 1.7 l/sec/m である。また湾内漁場の固有な廻流を遮断するために気泡発生筒両端から両岸に向けて潮流遮断網を設置した。観測項目は流向流速調査, 染料による混合拡散調査, 上昇流速調査, 風量調査, 溶存酸素・水温・塩分調査で, 昭和 48 年 7 月 5 日～6 日, 10 月 11 日～12 日に行った。流況観測は CM2 型流向流速計を用い, 湾中央部の気泡幕にほぼ直角にひいた測線上で測定を行った。測点は水平方向には気泡幕先端より, 0.5, 10, 25, 50, 100 m の位置で, 鉛直方向には 0.2, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10 m の水深である。染料拡散調査はウラニン 5 gr を 500 cc の水に溶かした溶液を流し, その水塊移動を目視および写真撮影によって行った。水質調査 (溶存酸素, 水温, 塩分) はアンドリウス製 DO メーター, サリノメーターを用い, 気泡幕中心より 0, 50, 100, 150 m の位置で測定を行った。

3. 実験結果とその解析

(1) 実験結果

a) 水槽実験

水槽実験における主な実験結果を表-1 にまとめる。表中の記号は図-1 のとおりである。またエアバブルカーテンに一樣流が加わった場合の流況の一例を図-2 に示す。

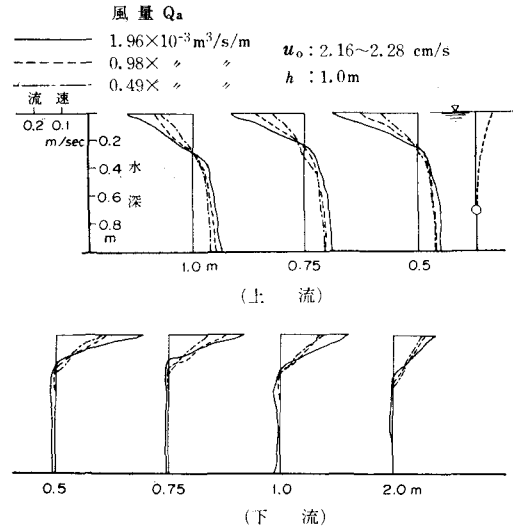


流況模式図

図-1 エアバブルカーテンによる流況模式図

b) 現地実験

10 月 12 日～13 日に現地で行った流向流速観測結果を測線上の水平流速成分で表示し表-2 に示す。表-3



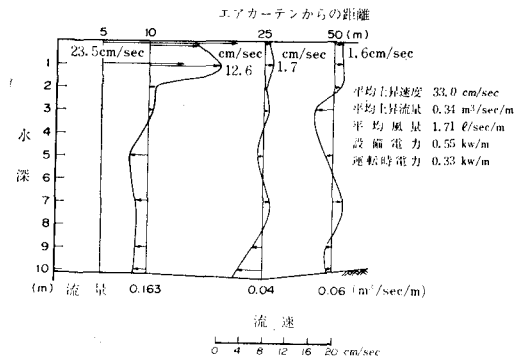
流速分布

図-2 エアカーテンによる流況分布図

表-2 流況観測結果

気泡 柱から の距離 深	コンプレッサー運転中				コンプレッサー休止中		
	5 m	10 m	25 m	50 m	0 m	25 m	50 m
0.2 m	cm/sec -31.0	cm/sec -14.9	-4.7	-3.8	cm/sec -8.4	-3.8	-2.2
1	-16.9	-15.4	-4.7	-2.1	-2.6	-3.0	-0.6
2		-2.6	-0.9	-1.3	-2.1	-0.8	-0.2
3		-3.8	-2.3	3.1	-3.9	-1.6	-0.2
5		2.1	1.0	0.6	-2.0	-0.0	-0.1
7		4.0	0.0	-0.4	2.4	1.1	1.4
9		6.7	4.3	2.7	6.6	2.1	1.3
10		6.4	5.6	1.7	5.7	0.9	0.8

+: 湾外へ向う流れ, -: 湾奥に向う流れ



流速分布

図-3 エアカーテンによる流速分布

のコンプレッサー運転中の流速の観測時刻は 10 月 12 日 10 時, コンプレッサー休止中の流速の観測時刻は 10 月 13 日 10 時 30 分である。なお, 測線は N 40° E である。

そして運転中の流速と休止中の流速の差をエアバブルカーテンによる流速効果とし、図-3 に示す。

この結果よりバブル発生筒より 5 m 離れた地点では最大流速 23.5 cm/sec, 10 m の地点では 12.6 cm/sec, 25 m, 50 m の地点では 1.6~1.7 cm/sec 程度であった。流速の鉛直分布形は 10 m の地点で実験室ほど顕著でないが上層はほぼ三角形分布, 下層は一様分布に近い形であった。その時の摩擦深度は約 3.5 m で上層は湾奥に向う流れ, 下層はバブル発生筒に向う流れが認められた。しかし, 25, 50 m の地点の流速の鉛直分布は非常に複雑な流れの様相を呈していた。

10 月 11 日~12 日に行った塩分調査結果を図-4 に示す。この図でコンプレッサー休止中の 10 月 11 日の観測値の表層の塩分低下は当日の降雨による影響である。しかし翌 12 日にコンプレッサーを運転 (運転開始時刻 9 時) し, 6 時間後に塩分観測をしてみると 50 m までは全層一様な塩分となっていて, 表層の塩分低下は回復していることが認められた。しかし, 100 m より奥についてはまだ降雨による塩分低下の影響が認められた。

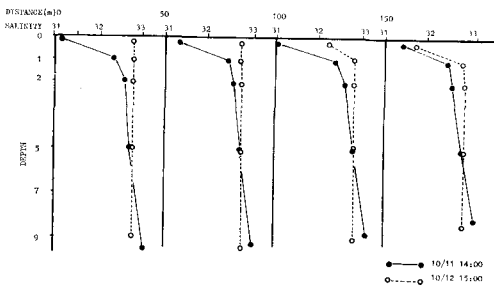


図-4 エアカーテン運転前後の塩分

なお染料拡散調査よりこの漁場での水平拡散係数を推定してみると $10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーで, 他の海湾にくらべ非常に小さい値であった。またエアバブルカーテンによって誘起される上昇流速は約 33 cm/sec, 上昇流量は $0.34 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$ であった。

(2) 表面流の減衰

図-2 よりエアバブルカーテンに一樣流が加わった場合の流速分布形は昨年の風量が多い場合と同様に上層はほぼ三角形分布に, 下層は一様分布に近いことが認められる。

次に, バブルカーテンからの距離による表面流速の減衰について検討する。

最大流速発生位置から下流側に測った距離 x における上層平均流速を $\bar{u}_1$ とすれば, この位置から dx だけ離れた位置での上層平均流速は運動量法則から次のように与えられる。

$$\rho_w \frac{\partial f_a \bar{u}_1^2}{\partial x} = \tau_x \cos \theta \, dx \quad (1)$$

ここに, ρ_w : 水の密度, f_a : x 位置での摩擦深度, τ_x : 摩擦深度における接面抵抗, θ : 摩擦深度面の傾斜角。

ここで $\theta \approx 0$ と近似されしかも

$$\tan \theta = \frac{df_a}{dx}$$

と置くことができるので式 (1) は次のようになる。

$$\rho_w \frac{\partial f_a \bar{u}_1^2}{\partial x} = \tau_x \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{df_a}{dx} \right)^2 \right\} dx \quad (2)$$

また連続の条件より

$$\frac{\partial f_a \bar{u}_1}{\partial x} = -v \quad (3)$$

ここに, v : 摩擦深度面を通過する下向流速である。

τ_x は f_a 面を通し上層から下層に輸送される運動量と粘性逸散によって次のように示すことができる。

$$\tau_x = -\rho_w v (\bar{u}_1 + u_2) - \rho_w f \bar{u}_1^2 \quad (4)$$

ここに, u_2 : x 位置における下層流速, f : f_a 面の摩擦抵抗係数, また連続の式より

$$\bar{u}_1 f_a = u_2 (h - f_a) + u_0 h \quad (5)$$

ここに, u_0 : 一樣流速, h : 水深。

式 (3), (5) を式 (4) に代入して

$$\tau_x = \rho_w \left(\frac{\bar{u}_1 h - u_0 h}{h - f_a} \right) \frac{\partial f_a \bar{u}_1}{\partial x} - \rho_w f \bar{u}_1^2 \quad (6)$$

式 (6) を式 (2) に代入し変形すれば

$$\frac{d\bar{u}_1}{dx} = - \frac{f \bar{u}_1^2}{f_a \left(\bar{u}_1 - \frac{\bar{u}_1 f_a - u_0 h}{h - f_a} \right)} \quad (7)$$

ここで,

$$\frac{x}{h} = \xi, \quad \frac{\bar{u}_1}{u_{1 \max}} = \frac{u_{1s}}{u_{1 \max}} = \eta, \quad \frac{u_0}{u_{1 \max}} = \eta_0$$

$$\frac{f_a}{h} = F_a$$

u_{1s} : x 位置での表面流速, $u_{1 \max}$: 下流側最大表面流速, とおき式 (7) を無次元化し解けば

$$F_a (1 - 2F_a) \ln \eta + \frac{\eta_0 F_a}{\eta} = -(1 - F_a) f \xi + C \quad (8)$$

$\xi=0$ で $\eta=1$ とすれば $C = \eta_0 F_a$

$$\therefore \eta = \exp \left[\frac{1}{F_a (1 - 2F_a)} \left\{ \eta_0 F_a \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) - (1 - F_a) f \xi \right\} \right] \quad (9)$$

となり式 (9) より η を求めることができる。特に $u_0 = 0$ の場合は次のようになる。

$$\eta = \exp \left\{ - \frac{(1 - F_a)}{F_a (1 - 2F_a)} f \xi \right\} \quad (10)$$

表面流速の減衰を図示したのが図-5 である。この場合は摩擦抵抗係数はほぼ 0.085~0.12 の間にあった。

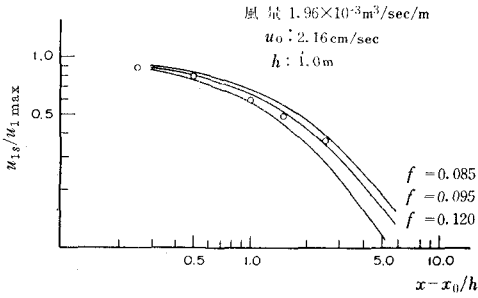


図-5 表面流速の減衰

(3) 最大表面流速の解析

図-1 のように検査面 I—I を下流側の最大流速を生じる断面に, II-II を上流側で十分離れた位置にとり, この検査面を単位時間に出入りする運動量方程式を前報と同じ方法でたて, また下流側において上層流量は一樣流量と下層流量との和に等しいとおくことにより表面最大流速は式 (11) のように得られる。

$$U_{1\max} = \frac{6}{F_d(4-7F_d)} \times \left[F_d^2 V_0^2 + \frac{F_d}{3} (4-7F_d) \left(2 - F_d V_0^2 + \frac{\alpha_m Q_a}{\sqrt{g\phi} h} H_0 (1-F_d) \ln \left(1 + \frac{H_a}{H_0} \right) \right)^{1/2} - F_d V_0 \right] \quad \dots\dots(11)$$

ここに,

$$F_d = \frac{f_{d0}}{h} \quad (f_{d0}: \text{最大流速位置の摩擦深度})$$

$$H_0 = \frac{h_0}{h} \quad (h_0: \text{大気圧の水柱換算値})$$

$$V_0 = \frac{u_0}{\sqrt{gh}}, \quad U_{1\max} = \frac{u_{1\max}}{\sqrt{gh}}$$

$$H_a = \frac{h_a}{h} \quad (h_a: \text{パブル発生筒設置水深})$$

α_m : 気泡群による上昇流の発生効率に関係する定数で気泡定数とよぶ。 Q_a : 風量。

また式 (11) より α_m は

$$\alpha_m = \frac{F_d(4-7F_d)U_{1\max}^2/12 + F_d V_0 U_{1\max} - (2-F_d)V_0^2}{\frac{Q_a}{\sqrt{g\phi} h} H_0 (1-F_d) \ln \left(1 + \frac{H_a}{H_0} \right)} \quad \dots\dots(12)$$

となる。これを図示したのが 図-6 である。昨年は底層からのパブル発生について α_m を図示したが風量の少ない場合のデータが現地観測による一点のみであったが, これを補足し, 同時に中層からのパブル発生も含めて表わした, これより風量が小さく, 水深が深いほど効率が良いことがわかる。

(4) 最大表面流速発生位置の摩擦深度の解析

エアパブルの注入に要するエネルギーの湧昇効率 α_E

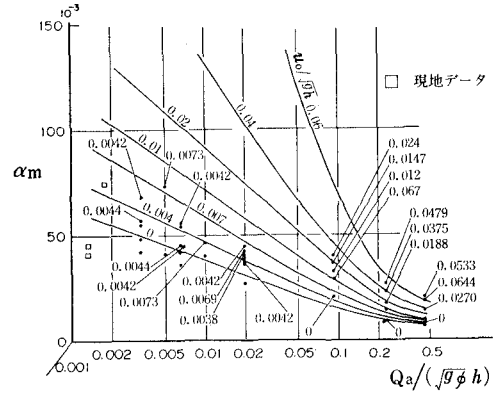


図-6 気泡定数

エネルギー係数 (α_E) と $u_{0\max}^3 / (gQ_a)$

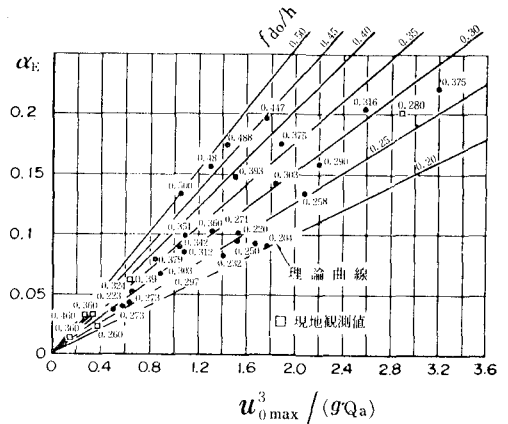


図-7 エネルギー係数

は前報と同様に式 (13) で求められる。

$$\frac{f_{d0}}{h} = \frac{4\alpha_E g Q_a}{u_{0\max}^3} \quad \dots\dots(13)$$

式 (13) の関係を前報のデータも含め図示したのが 図-7 である。

(5) 海水交換におよぼす効果

エアパブルカーテンによって生じる流況が鉛直移流・拡散による海水交換の増大にどの程度寄与するのかを現地実験結果より検討する。

a) 鉛直移流による海水交換

エアパブルによって湧昇した湾口水は上層水平流となって湾奥に向かい, 下層水は湾口に向かって流れる。そしてエアパブルカーテンのみによる表層流速の減衰は式 (10) で与えられる。この式を上層全流量 q を使って書き改めれば次のようになる。

$$q = \frac{u_{1s} f_d}{2} = \frac{q_u f_d}{2 f_{d0}} \exp \left\{ -\frac{f(1-F_d)}{F_d(1-2F_d)} \xi \right\} \quad (14)$$

ここに, q_u : 上昇流量。

x 位置での鉛直降下平均流速 v_b は

$$v_b = \frac{dq}{dx} \quad \dots\dots\dots (15)$$

となる。すなわち, 上層流量の減少量は連続条件によって摩擦深度面下に降下したことになる。そこである区間での上層流量の減少量と摩擦深度以深の水容積との比を交換率と考え求めたのが表—3である。式 (14) で摩擦抵抗係数 f は 10 月の流況調査より 0.16 となる。また表中 T は潮汐周期で 12 時間とする。

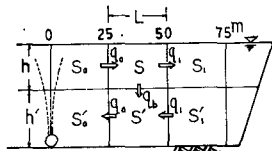
表—3 鉛直移流による海水交換

x	0	15	40	90	240
f_c (m)	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0
$2q/q_u$	1.0	0.188	0.009	0.000	0.0
q (m ³ /sec/m)	0.17	0.032	0.002	0.000	0.0
qT (m ³ /m)	7 344	1 384	69	0.17	0.0
$4qT$		5 960	1 315	68.8	0.2
平均交換率 (回/日)		132.4	17.5	0.46	
完全交換日数		0.008	0.057	2.174	

表—3 より全水量が完全交換に要する日数はバブル発生筒より 25 m 区間で約 0.008 日, 50 m 区間で 0.06 日, 100 m (水深の 10 倍) の区間で 2.2 日となる。

b) 鉛直拡散による海水交換

いま漁場の二層モデルを図—8 のように考え, バブルカーテンから 25 m~50 m 区間 (L) の単位幅当りの上下 2 層の塩分収支を考えてみると次のような連続の式が近似的になりたつ。ただし水位の変動は無視でき上下層の水平方向の拡散係数は同じとする。



図—8 漁場の二層モデル

$$h \cdot L \frac{\partial S}{\partial t} = q_0 S_0 - (q_1 + q_b) S + K_x h \times \left(\frac{S_1 + S_0 - 2S}{L} \right) + K_z L \frac{2(S' - S)}{h + h'} \quad \dots\dots\dots (16)$$

下層の塩分収支

$$h' \cdot L \frac{\partial S'}{\partial t} = -q_0 S' + q_1 S_1' + q_b S + K_x h' \times \left(\frac{S_1' + S_0' - 2S'}{L} \right) + K_z L \frac{2(S - S')}{h + h'} \quad \dots\dots\dots (17)$$

ここに h, h' : 上下層の厚さ, S, S' : 25~50 m 区間の上下層の平均塩分濃度, S_0, S_0' : 0~25 m 区間の上下層の平均塩分濃度, S_1, S_1' : 50~75 m 区間の上下層の平

均塩分濃度, q_0 : 25 m 地点の上下層の全流量, q_1 : 50 m 地点の上下層の全流量, q_b : 25~50 m 区間の降下流量, K_x : 水平方向の拡散係数, K_z : 鉛直方向の拡散係数。

そしてそれらの値は 10 月の流況, 塩分調査から次のようになる。ただしコンプレッサー運転開始直後 (10 月 12 日 9 時) の各区間の塩分濃度の値は 10 月 11 日 14 時の値を用いた。

$h=4$ m, $h'=6$ m, $L=25$ m, $q_0=0.032$ m³/sec/m, $q_1=0.002$ m³/sec/m, $q_b=0.030$ m³/sec/m, $S_0=32.33\text{‰}$, $S=32.34\text{‰}$, $S_1=32.34\text{‰}$, $S_0'=32.86\text{‰}$, $S'=32.86\text{‰}$, $S_1'=32.90\text{‰}$, $(\partial S/\partial t)=1.81 \times 10^{-5}$, $(\partial S'/\partial t)=-0.60 \times 10^{-5}$ 。

この条件の下で式 (16), (17) より K_x, K_z を求めるとそれらの値は次のようになる。

$$K_x = 2.1 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$K_z = 1.9 \times 10 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

すなわち当湾の水平拡散係数は拡散調査より $10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度の値が得られているのでエアバブルカーテンによってその値はほぼ 100 倍, 鉛直拡散係数は一般の海湾の 10~100 倍程度増大したことになり移流効果に加えて拡散効果が非常に大きくなる。

4. 結 言

水槽実験において中層からバブルを発生させた場合も含めた小風量時の流れの中でのエアバブルカーテンによる流況について解析を行い, これより実用設計に必要な定数, 係数等の理論解を求めた。また現地実験からは 1.7 l/sec/m の風量 (消費電力 0.33 kW/m) で湧昇流量約 0.4 m³/sec/m が発生し, このような小さい流量でもバブル発生筒から 50 m (水深の 5 倍) 離れた地点では移流によってほぼ 1 日に 17 回の海水交換が行われ, また水平, 鉛直拡散係数はエアバブルカーテンの運転前後で約 100 倍も違うことがわかった。このような事実からエアバブルカーテンは漁場の水質改善に十分効果があることが確認された。

なお今後に残された問題としては, 密度成層を形成している場合の解析であり, 実用上の問題としては運転初期における底層悪水湧昇後の水質改善速度や運転開始の季節など漁場水産生物と関連する事項である。49 年度に前者は水槽実験を, 後者は高知県宿毛湾小筑紫ハマチ養殖漁場で実用化試験を行う。

参 考 文 献

- 1) 中村 充: エアカーテンによる上昇流の発生に関する研究, 第 18 回海岸工学講演会論文集, 1971.
- 2) 中村 充・太西亮一・萩野静也・井上謙一: エアバブルカーテンによる水質改善に関する研究, 第 20 回海岸工学講演会論文集, 1973.
- 3) 宇野木早苗: 内湾の海水交流と鉛直混合に関する一考察, 沿岸海洋研究ノート, 第 11 巻 2 号

補 遺: エアバブルカーテンによる漂流物の遮断

エアバブルカーテンの応用の一つとして漂流物の制御の問題がある。ここでは赤潮の排除遮断, 浮遊ゴミの遮断を中心に報告する。

1. 赤潮対策

赤潮生物は表層 1~2 m に濃く日中は表層 3 m 付近までに分布する。湾内への流入など潮汐流中に赤潮が存在する場合には, 潮汐流と表層の対向流の合成方向下降流を生じ, この値は多くの場合赤潮の浮上力より大となり下降流に乗ってカーテンを通過してしまう。図一Aに示すように一様流中に円形にエアバブルカーテンを作った場合エアバブルカーテンから流出する放射流によって流れが押し除かれ迂回流となり, 内部に赤潮を入れずにすむかを検討する。

実験は広島県大野瀬戸に直径 10 m の 図一A に示す装置を設置し, カーテンの内側および十分離れた所にハマチ生簀置き, 流況および生物調査を行った。調査は海流板による流跡調査および拡散調査である。表層流の流跡線はほぼポテンシャル流に一致する。原点を円の中心にとり一様流方向に x , 直角方向に y 軸をとれば, バブルカーテンの外側の流れについて流れ関数 ϕ は次式で与えられる。

$$\phi = Uy + mr \tan^{-1} \frac{y}{x} \dots\dots\dots (i)$$

ここに, U : 一様流速, m : エアバブルカーテンから発生する表層流速, r : 円形状バブルカーテンの半径。

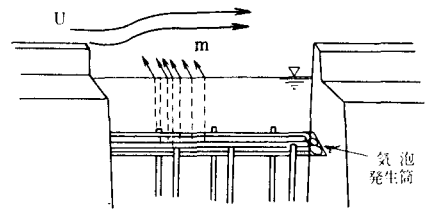
式 (i) による流線図を 図一B に示す。

この実験で染料の遮断は円形の縁辺へ流れた表層流は迂回流となるが, 中央付近のよどみ点に接近した水塊は 1 次元の場合と同様, 若干時間停滞した後円形内へ侵入し, 赤潮生物の遊泳力では降下流に抗して表面に止まることはできないので, 赤潮遮断は不可能である。

2. 浮遊ゴミの遮断

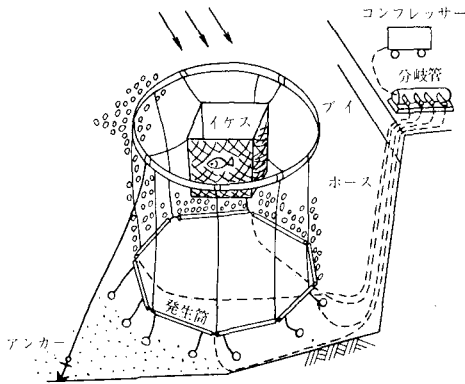
上述の研究から漂流物が十分な浮力があれば遮断できる。これを新川農業水利事業所で応用した。新川河口は, 制水門および機場があり, 制水門を閉めているとき, ここにゴミが溜り, 開扉のとき大量のゴミが流下し, 下流側右岸に港口をもつ五十嵐漁港にも流入し, 港内のゴミは大変な量となり, また港内へ流入したゴミは自然には流出しない。この流入を防止するために 図一C に示すように港口を 2 重のエアバブルカーテンで仕切った。この時の流出関数 ϕ は

$$\phi = Uy + mx \quad (0 \leq x < l) \dots\dots\dots (ii)$$

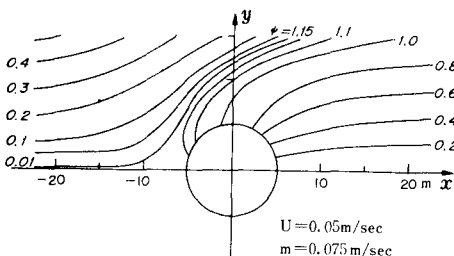


新川河口五十嵐漁港におけるバブルカーテン模式図

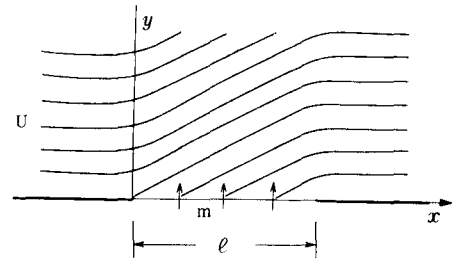
図一C 五十嵐漁港バブルカーテン模式図



図一A 円形バブルカーテン模式図



図一B 流線図



図一D 流線図

ここに, x : エアカーテンの上流端を原点としたカーテン沿いの x 軸, y : エアカーテンに直角方向の座標。

式 (ii) による流線を 図一D に示す。

このエアバブルカーテンによる浮遊ゴミの流入阻止は非常に有効であって, 港内に向う強い風がある場合にもゴミを完全に遮断した。