

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*・大西亮一**・萩野静也***・井上謙一****

1. ま え が き

エアバブルカーテンの水産における応用はいろいろと考えられる。昨年は空気防波堤としての応用について、発表した。今回は水質改善工法の一つとして流れの中にエアカーテンを発生させた場合の流況について報告する。

エアカーテンによる水質改善のメカニズムは、溶存酸素の供給と海水交換の増大にある。溶存酸素の供給は底層の無または貧酸素水塊を表層に湧昇させ海面曝気を促進する。また、底層滞流水の破壊によって底層へ溶存酸素を補給し、還元層の発生を防止して底質改善にも役立てることができる。次に湾における海水の交換は、恒流成分による流通と拡散によって行なわれる。エアカーテンにより鉛直方向の拡散係数を増大させ、また、上げ潮時は表層から流入し、下げ潮時は底層から流出させて層別恒流成分を増大させることによって、海水の交換を増大させることができる。

他方、エアカーテンは表層流を排除し、底層流を吸引するので表層付近に漂う物質の制御にも用いられる。これらの応用にはエアカーテンに誘起される上昇流の発生、上昇流の発生に伴う表層流、底層流の流況を知ることによって実用化の検討が可能となる。47年度は、水槽実験および高知県水産試験場との協同研究として現地試験を行なった。この研究成果を報告する。

2. 実験装置と実験方法

(1) 水槽実験

実験水槽は長さ35m、深さ1.2m、幅1.5mで中央に隔壁が設けられ、2つの水路に分けられている(図-1

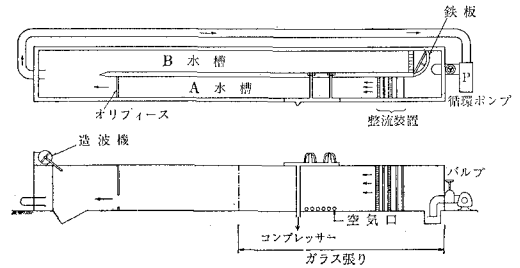


図-1 実験装置

参照)。その1つの水路は幅0.6mで、これに気泡発生筒が設けられている。気泡発生筒は、内径48mm、外径(B_0)60mmの塩化ビニール筒に直径(ϕ)1mmの空気噴出小孔が中心間隔4.5mmに設けられている。また、流れを作るために循環ポンプを設け、上流側には多孔整流装置を、下流側には直径20cm、40cmのオリフィスによる流量測定装置を設けてある。流速測定にはフォトランジスター型回転式流速計および、2次元超音波ドブラー式流速計を使用した。後者については自動平衡型ペンレコーダーに記録させた。なお、実験水深(h)は1.0mである。

実験は表-1の実験ケースについて行なった。

流速測定は、上流側は気泡筒より水平方向に0.5, 0.75, 1.0, 2.0, 3.0m、下流側は0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0mの位置で、鉛直方向には水面より深さ3, 8, 13, 18, 23, 33, 43, 53, 63, 78, 93cmの各点で行なった。

(2) 現地実験

現地実験は、高知県浦の内湾灰方の高知水試専用水面で行なった。本実験装置は直径5cm、長さ4mの塩化

表-1 実験条件

Case	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
風量 $Q_a(\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m})$	9.3	9.3	9.3	9.3	23.1	23.1	23.1	46.3	46.3	46.3	9.3	23.1	46.3
水路の流量 $Q_w(\times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sec})$	2.75	1.13	2.25	4.51	3.52	7.04	9.00	5.07	10.0	12.1	0.0	0.0	0.0
水路の平均流速 $v_0(\times 10^{-2} \text{ m}/\text{sec})$	4.6	1.9	3.8	7.5	5.9	11.7	15.0	8.5	16.7	20.2	0.0	0.0	0.0

*正会員 農博 農林省農業土木試験場水産土木部

**正会員 農林省農業土木試験場水理部

*** 農林省農業土木試験場水産土木部

**** 東海大学海洋学部

表-2 水槽実験結果

Case	x_l	気泡筒からの距離 x_m (下流を+) における表面流速 $u_1 \max$												f_{d0}
		-3.0	-2.0	-1.0	-0.75	-0.5	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	
0	0.16	9.6	18.8	36.8	—	43.9	—	—	55.6	—	38.0	27.6	20.9	0.375
1	0.065	11.0	17.5	35.4	—	45.5	57.4	—	45.0	—	30.5	19.5	17.1	0.258
2	0.131	10.4	17.3	34.2	—	38.4	58.5	—	53.0	—	37.1	23.8	19.8	0.290
3	0.262	—	13.9	27.5	32.6	41.0	66.4	64.5	65.0	—	46.7	36.0	30.2	0.275
4	0.178	19.3	30.0	45.5	50.3	55.1	58.8	57.6	62.0	—	49.1	34.6	29.4	0.342
5	0.356	—	13.5	37.6	43.6	48.6	51.2	66.3	69.9	—	67.0	51.8	47.7	0.393
6	0.455	—	—	29.6	36.9	45.6	—	64.2	73.6	—	72.9	62.6	53.9	0.447
7	0.229	23.1	41.7	59.8	63.6	68.8	—	52.9	68.8	72.6	72.2	58.0	47.0	0.379
8	0.453	—	—	42.0	49.6	52.4	—	—	66.7	76.1	83.9	78.4	61.6	0.480
9	0.548	—	—	29.0	39.2	45.0	—	—	68.3	83.2	86.7	80.8	71.6	0.488
10	0	—	—	—	—	—	51.8	—	39.1	29.0	23.3	14.4	10.6	0.250
11	0	—	—	—	—	—	—	—	51.3	40.7	37.2	23.3	15.6	0.273
12	0	—	—	—	—	—	—	—	65.9	53.4	47.3	36.0	31.0	0.273

ビニール製気泡発生筒を八角形に組み、水深 10m の水底に布設した。気泡発生筒には直径 1mm の気泡発生孔を 4 列 5 cm 間隔計 320 個あけ、15kW のコンプレッサーで送気した。吐出圧力 7 kg/cm²、風量は大気圧換算 3 m³/min(1.56 l/sec/m) である。観測項目は流速流向分布、染料による混合拡散調査で、昭和47年10月15日午前10時30分から午後 3 時30分まで行なった。流況観測は CM 2 型流向流速計を用い、気泡柱先端から 南西方向 (測線 No.1) と北西方向 (測線 No.2) に 5, 10, 20 m の位置で、鉛直方向には、0.2, 1, 2, 3, 5, 7, 9 m の水深で測定を行なった。混合拡散の調査は目視観測および写真解析で行なった。

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-2 にまとめる。流速の鉛直分布については、解析後の図として後記す

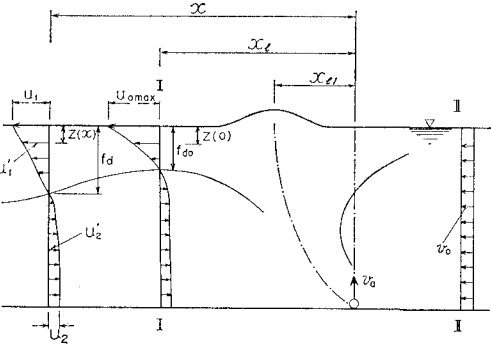


図-2 一様流とエアバブルカーテンによる流況模式図

る。表中の記号は 図-2 に説明しておく。

b) 現地実験

10月15日に高知県浦の内湾で行なった流向流速分布の観測結果を表-3 に示す。表-3 のコンプレッサー運転中の観測値のうちコンプレッサー圧 1.5 kg/cm² の流速の観測時刻は11時~11時 30 分, 13時~14時までの 2 回で、表の値はそれらの平均流速を示した。コンプレッサー圧 4 kg/cm² の流速の観測時刻は14時45分~15時30分まで、コンプレッサー休止中の流速の観測時刻は12時30分~13時, 14時~14時45分までの 2 回で、それらの平均値を表にした。そして、運転中の流速と休止中の流速の

表-3(a) 流況観測結果

バブル先端からの距離 (m)	水深 (m)	コンプレッサー-運転中 (測線 No.1)			
		コンプレッサー-圧 1.5 kg/cm ²		コンプレッサー-圧 4.0 kg/cm ²	
		N-S 成分 (N方向の流れを+)	E-W 成分 (E方向の流れを+)	N-S 成分 (N方向の流れを+)	E-W 成分 (E方向の流れを+)
5	0.2	-10.3	-3.1	-0.7	-5.3
	1	-1.8	-0.6	1.3	-2.4
	2	-0.4	-1.1	2.9	-1.1
	3	-0.4	0.5	2.2	2.2
	7	2.0	-0.4	-0.3	0
10	9	—	—	-5.5	0
20	0.2	-9.4	-1.0	-3.0	-7.0
	1	1.4	0.4	0.3	-3.2
	2	-2.0	0.4	2.6	-1.5
	3	-0.2	0.5	3.0	0
	5	1.0	1.8	—	—
	7	—	—	-2.3	-1.9
	9	2.5	0.2	—	—
20	0.2	0.9	0.5	1.0	0.1
	1	2.3	-6.5	1.7	-1.0
	2	-1.0	0.0	0.9	-0.5
	7	-2.0	0.2	—	—

差をエアカーテンによる流速効果として、N-S, E-W成分を計算し、さらにそれらを測線上で合成し、測線上の水平流速を計算した。その結果を図-3, 4に示す。

表-3(b) 流況観測結果

バブル先端からの距離 (m)	水深 (m)	コンプレッサー運転中 (測線 No.2)			
		コンプレッサー圧 1.5kg/cm ²		コンプレッサー圧 4.0kg/cm ²	
		N-S 成分 (N方向の 流れを+)	E-W 成分 (E方向の 流れを+)	N-S 成分 (N方向の 流れを+)	E-W 成分 (E方向の 流れを+)
5	0.2	16.6	-12.8	15.9	-2.6
	1	2.0	-7.2	8.8	-2.1
	2	1.0	-0.9	4.5	-2.2
	3	—	—	-0.2	-0.1
	5	0.3	0.1	-0.2	0.9
	7	1.2	6.6	0.0	-0.1
10	9	—	—	-1.0	0
	—	—	—	—	—
10	0.2	6.2	-4.2	1.3	-2.2
	5	-0.3	-0.2	—	—
20	0.2	-0.2	0.6	—	—
	1	-5.8	3.3	1.7	-1.0
	9	7.9	4.1	—	—

表-3(c) 流況観測結果

バブル発生箇 先端からの距離 (m)	水深 (m)	コンプレッサー休止中			
		測線 No.1		測線 No.2	
		N-S 成分 (N方向の 流れを+)	E-W 成分 (E方向の 流れを+)	N-S 成分 (N方向の 流れを+)	E-W 成分 (E方向の 流れを+)
5	0.2	-0.7	1.4	-1.2	0
	1	-1.4	1.4	-3.0	0
	2	-0.7	0	-1.0	0.2
	3	—	—	0.1	0.2
10	0.2	-0.3	0.5	2.3	-3.3
	1	-3.9	2.3	—	—
	2	-1.3	0.8	—	—
	3	-1.5	0.0	—	—
20	0.2	-0.5	-0.3	—	—
	1	-0.9	3.1	-0.9	0.5
	2	0.5	0.3	—	—
	7	1.0	0.1	—	—

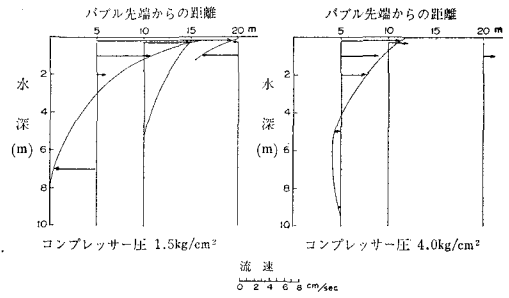


図-4 エアカーテンによる水平流速 (測線 No.2)

(2) 流れによるエアバブルカーテンの水面における吹かれ量

エアバブルカーテンに一樣流が加わった場合の流況を図-2に示す。

一樣流速 v_0 によるバブルカーテン中心の吹かれ量 x_{I1} は上昇流速 v_a と v_0 の合成値として

$$x_{I1} = \frac{v_0}{v_a} h \dots \dots \dots (1)$$

とおくことができる。ここに、 h は水深である。

また、流れのない場合の上昇流速 v_a は、

$$v_a = K \frac{u_{0\max} \cdot f_{d0}}{B} \dots \dots \dots (2)$$

である。ここに、 B : バブルの平均厚さ、 K : 上昇流量と下流側表層流量の比、 f_{d0} : 水平流向の反転層までの水面からの深さ。

前年における研究から流れのない場合の流速について

$$u_{0\max} = \sqrt{gh} \cdot f\left(\frac{\sqrt{g\phi} \cdot h}{Q_a}, \frac{B}{h}\right) \dots \dots \dots (3)$$

$$f_{d0} = h \cdot g\left(\frac{\sqrt{g\phi} \cdot h}{Q_a}, \frac{B}{h}\right) \dots \dots \dots (4)$$

$$\therefore v_a = \frac{h \cdot \sqrt{gh}}{B} \cdot E\left(\frac{\sqrt{g\phi} \cdot h}{Q_a}, \frac{B}{h}\right) \dots \dots \dots (5)$$

よって式(1)は

$$x_{I1} = \frac{v_0 \cdot h}{\frac{h \sqrt{gh}}{B} \cdot E\left(\frac{\sqrt{g\phi} \cdot h}{Q_a}, \frac{B}{h}\right)} \dots \dots \dots (6)$$

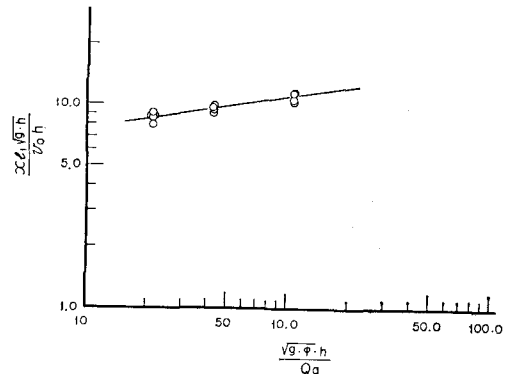


図-5 水面におけるバブル中心の流れによる吹かれ量

図-3 エアカーテンによる水平流速 (測線 No.1)

となる。これを無次元式に整理すると

$$\frac{x_{t1}\sqrt{gh}}{v_0 \cdot h} = G\left(\frac{\sqrt{g\phi} h}{Q_a}, \frac{B}{h}\right) \dots\dots\dots(7)$$

となる。実験値を式(7)で整理した結果が 図-5 である。

(3) 表面流の減衰

前報では静水中におけるエアカーテンの報告をしたので、その影響範囲を議論するためにエアバブルより離れた点の流速分布が問題であった。しかし流れの中にエアバブルがある場合には流れとの相互作用が問題となる。特に湾内の拡散を考えた場合には、エアバブルによる流れより潮汐および海流による流れのほうがはるかにスケールの大きなものである。そこで、エアバブルは下層の水を上層に運ぶ役目、すなわち湧昇効果が重要となるのであろう。この意味で今回はエアバブルの極近傍の流速分布を問題にする。まず表層流速の鉛直分布について検討する。流速分布形の相似性を検討するために表面流速の1/2の流速となる深さを z_0 として無次元化し図示すると 図-6, 7, 8 のようになる。図-6 は最大表面流速を生ずる位置での上層流速分布を、図-7 は下流側のすべての位置での上層流の流速分布を示す。図-8 は下流側のすべての位置での上下層全水深にわたっての流速分布である。これらの図から流速の鉛直分布形は下流側

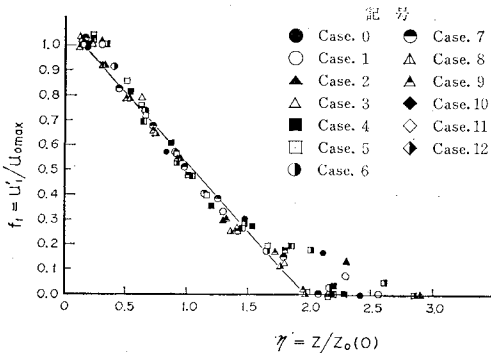


図-6 上層流速の鉛直分布 (最大流速を生ずる位置)

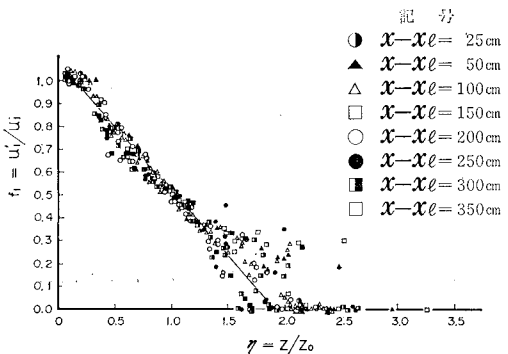


図-7 上層流速の鉛直分布 (下流側 全断面)

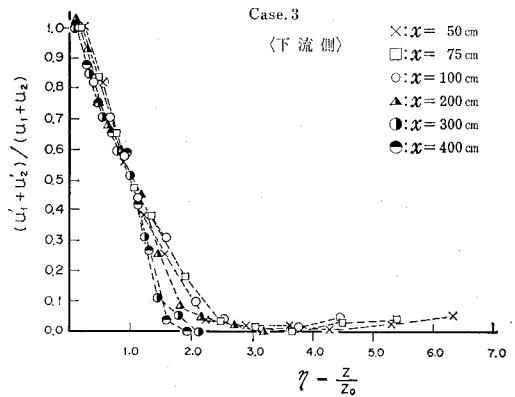


図-8 上下層流速の流速分布 (下流側 全断面)

について全断面相似であることがわかる。また、その分布形は流向反転層付近を除いて上層はほぼ三角形分布に、下層は一樣流に近いことがわかる。

次に、バブルカーテンからの距離による流速の減衰は 図-9, 10 に示される。

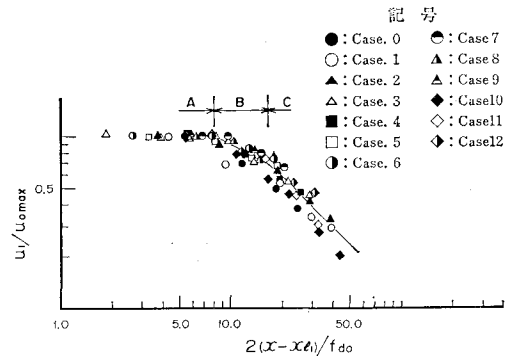


図-9 表面流速の減衰 (下流側)

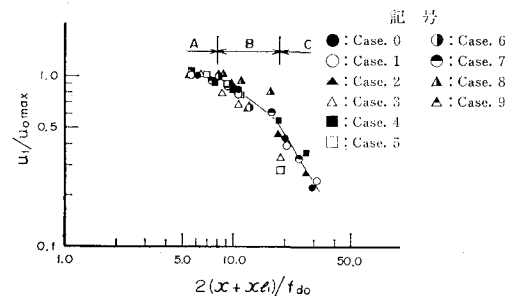


図-10 表面流速の減衰 (上流側)

(4) 最大表面流速の解析

最大流速を生ずる位置での上層流の流速分布は 図-6 から、

$$\frac{u_1'}{u_{0\max}} = a\left(\frac{z}{z_0}\right) + b \dots\dots\dots(8)$$

で示される。ここに、 a , b は定数、 u_1' は z なる深さの

水平流速である。

a) 連続方程式

上層流 $z=0 \sim f_{d0}$ を流下する流量は、上流からの流量と下層逆流量との和に等しい。よって、

$$\int_0^{f_{d0}} u_1' dz = u_2' (h - f_{d0}) + v_0 h \quad \dots\dots\dots (9)$$

式(9)に式(8)を代入すれば

$$\frac{u_{0\max} f_{d0}}{2} = u_2' (h - f_{d0}) + v_0 h \quad \dots\dots\dots (10)$$

b) 運動量方程式

図-2 のように検査面 I—I を下流側表面流が最大の位置に、II—II を上流側で十分離れた所にとると、この検査面を単位時間に出入りする運動量は

$$\mathcal{T} = \rho_w \int_0^{f_{d0}} u_1'^2 dz - \rho_w v_0^2 h - \rho_w u_2'^2 (h - f_{d0}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

として示される。外力は気泡群による上向きの浮力であり、この外力によって上昇流が発生し、これが重力によって方向が変換される。方向変換と流れ方向の運動量は変わらないと見なすことができるので、水平流に対する外力として取り扱える。

また、上下流検査面における水圧はほぼ水深一定と考えて相殺する。よって検査面における外力 F は、

$$F = g \cdot \int_0^h \gamma_a \cdot \rho_w \cdot B_{z'} \cdot dz' \quad \dots\dots\dots (12)$$

として示される。ここに、 $B_{z'}$: 底より z' の距離での気泡群幅、 γ_a : 容気率。

$$\gamma_a = \frac{Q_a}{B_{z'} \cdot v_a} \cdot \frac{h_0}{h_0 + z}$$

h_0 : 1 気圧を水柱で表わした値、 v_a : 気泡群の上昇速度である。よって、運動量方程式は運動量保存の法則から

$$\mathcal{T} = F \quad \dots\dots\dots (13)$$

として与えられる。

式(11)の第1項を変形すると

$$\begin{aligned} \rho_w \int_0^{f_{d0}} u_1'^2 dz &= \rho_w \int_0^{f_{d0}} u_{0\max}^2 \left(1 - \frac{z}{f_d}\right)^2 dz \\ &= \frac{\rho_w}{3} u_{0\max}^2 f_{d0} \quad \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

となる。

第3項において連続条件式(10)から u_2' は

$$u_2' = \frac{1}{h - f_{d0}} \left\{ \frac{f_{d0}}{2} u_{0\max} - v_0 h \right\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

となる。よって第3項は

$$\begin{aligned} \rho_w u_2'^2 (h - f_{d0}) &= \frac{\rho_w}{h - f_{d0}} \left(\frac{f_{d0}}{2} u_{0\max} - v_0 h \right)^2 \\ &\dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

とおくことができる。次に外力 F は

$$\begin{aligned} F &= g \rho_w \int_0^h \frac{Q_a}{B_{z'} \cdot v_a} \cdot \frac{h_0}{h_0 + z} B_{z'} dz \\ &= \frac{\rho_w g Q_a h_0}{v_a} \ln \frac{h_0 + h}{h_0} \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

よって式(11)は

$$\begin{aligned} &\frac{\rho_w \cdot f_{d0}}{3} u_{0\max}^2 - \rho_w \cdot v_0^2 h - \frac{\rho_w}{h - f_{d0}} \left(\frac{f_{d0}}{2} u_{0\max} - v_0 h \right)^2 \\ &= \frac{\rho_w \cdot g \cdot Q_a h_0}{v_a} \ln \left(1 + \frac{h}{h_0} \right) \quad \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

となる。よって変形すれば、

$$\begin{aligned} &\frac{f_{d0}}{12h} \left(4 - 7 \frac{f_{d0}}{h} \right) u_{0\max}^2 + \frac{f_{d0}}{h} v_0 \cdot u_{0\max} \\ &- \left\{ \left(2 - \frac{f_{d0}}{h} \right) v_0^2 + \frac{g \cdot Q_a}{v_a} \right. \\ &\left. \cdot \frac{h_0}{h} \left(1 - \frac{f_{d0}}{h} \right) \ln \left(1 + \frac{h}{h_0} \right) \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

となる。ここで、

$$\left. \begin{aligned} v_a &\propto \sqrt{g \cdot \phi} \\ v_a &= \frac{1}{\alpha_m} \sqrt{g \cdot \phi} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (20)$$

とおいて式(19)を $\sqrt{g \cdot h}$ を用いて無次元方程式にする

$$\begin{aligned} &\frac{1}{12} F_d (4 - 7 F_d) \cdot U_{0\max}^2 + F_d \cdot V_0 \cdot U_{0\max} \\ &- \left\{ \left(2 - F_d \right) \cdot V_0^2 + \frac{\alpha_m \cdot Q_a}{\sqrt{g \phi} h} \right. \\ &\left. \times H_0 (1 - F_d) \ln \left(1 + \frac{1}{H_0} \right) \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (21) \end{aligned}$$

となる。ここに、

$$F_d = \frac{f_{d0}}{h}, \quad H_0 = \frac{h_0}{h}, \quad V_0 = \frac{v_0}{\sqrt{g h}},$$

$$U_{0\max} = \frac{u_{0\max}}{\sqrt{g h}}$$

よって α_m および、 f_{d0} が求まれば式(21)によって $u_{0\max}$ を計算することができる。気泡定数 α_m は、気泡群による上昇流の発生効率に関係する量であるが、これを実験的に求める。 $U_{0\max}$ は式(21)をとり、

$$\begin{aligned} U_{0\max} &= \frac{6}{F_d (4 - 7 F_d)} \left[\left\{ F_d^2 V_0^2 + \frac{F_d}{3} (4 - 7 F_d) \right. \right. \\ &\times \left(2 - F_d \right) V_0^2 + \frac{\alpha_m Q_a}{\sqrt{g \phi} h} H_0 (1 - F_d) \\ &\left. \left. \times \ln \left(1 + \frac{1}{H_0} \right) \right\}^{1/2} - F_d V_0 \right] \quad \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

として求められる。また式(21)から、

$$\begin{aligned} \alpha_m &= \\ &\frac{1/12 F_d (4 - 7 F_d) U_{0\max}^2 + F_d \cdot V_0 \cdot U_{0\max} - (2 - F_d) \cdot V_0^2}{\frac{Q_a}{\sqrt{g \phi} h} \cdot H_0 (1 - F_d) \ln \left(1 + \frac{1}{H_0} \right)} \quad \dots\dots\dots (23) \end{aligned}$$

として α_m を実験的に求める。これを図示したのが 図-11 である。

(5) 最大表面流速発生位置の摩擦深度の解析

エアバブルの注入に要するエネルギーの湧昇効率について考える。エネルギー効率を α_E とすると、

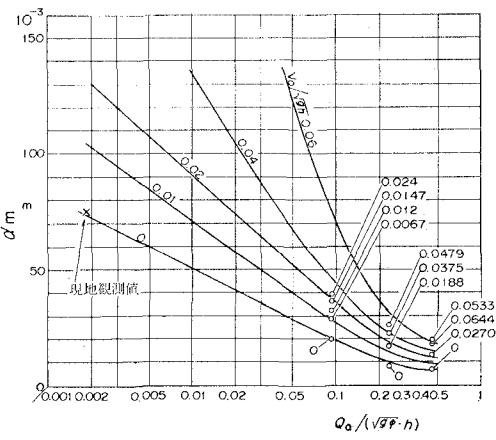


図-11 エネルギー係数 (α_E)

$$\alpha_E \rho_w g h Q_a = \frac{\rho_w q v^2}{2} \dots\dots\dots (24)$$

ここに、 q ：湧昇流量、 v ：最強断面平均湧昇流速。

他方、

$$\left. \begin{aligned} q &\doteq \frac{u_{0\max} f_{d0}}{2} \\ v &\doteq u_{0\max} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

式(25)を式(24)に代入して、

$$\frac{f_{d0}}{h} = \frac{4\alpha_E g Q_a}{u_{0\max}^3} \dots\dots\dots (26)$$

また、

$$\alpha_E = \frac{u_{0\max}^3}{4gQ_a} \cdot \frac{f_{d0}}{h} \dots\dots\dots (27)$$

実験的に式(27)に従って式(26)の関係を検討する。

図-12 に式(27)の関係を示す。この図から f_{d0}/h を比例定数として $u_{0\max}^3/(gQ_a)$ に比例することがわかり式(26)が正しいことがわかる。

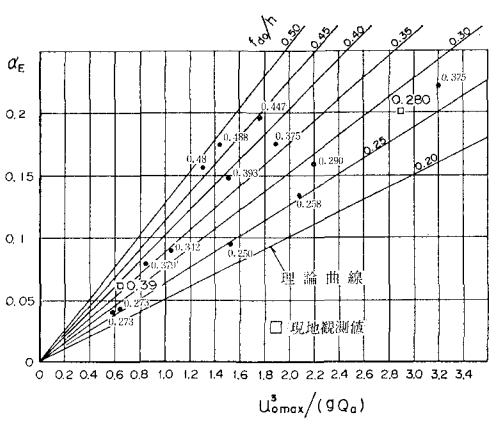


図-12 エネルギー係数 (α_E) と $u_{0\max}^3/(gQ_a)$, f_{d0}/h

さて、 α_E の内容を考えると上記因子の他に気泡径、水深が関係するので、これまでの検討に表われている無

次元項を参考に各因子の影響を分離する。式(27)を次のように変形する。

$$\alpha_E = \frac{1}{4} \left(\frac{u_{0\max}}{\sqrt{gh}} \right)^2 \frac{u_{0\max}}{\sqrt{g\phi}} \frac{\sqrt{g\phi} h}{Q_a} \frac{f_{d0}}{h} \dots\dots\dots (28)$$

式(28)の関係を図示すると 図-13 となる。この図は

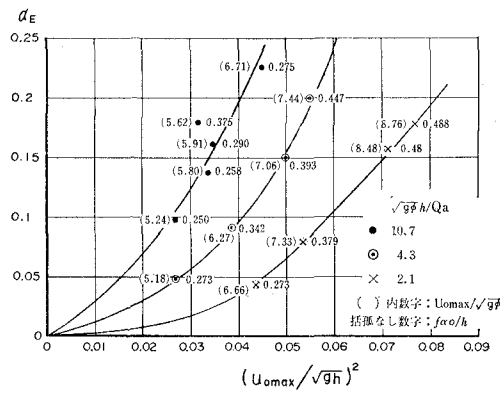


図-13 エネルギー係数 (α_E) と各因子

横軸に $(u_{0\max}/\sqrt{gh})^2$ をとり $(u_{0\max}/\sqrt{g\phi})$, $(\sqrt{g\phi}h/Q_a)$ (f_{d0}/h) を媒変数として示してある。これら媒変数の α_m に対する影響を見ると $(u_{0\max}/\sqrt{g\phi})$ は横軸に関係し α_m についてはほとんど関係しない。 $(\sqrt{g\phi}h/Q_a)$ は顕著に関係することがわかる。 (f_{d0}/h) はあまり関係なくなっている。以上から横軸と媒変数 $(\sqrt{g\phi}h/Q_a)$ を換えて図示すると 図-14 となる。これから式(28)に示すと

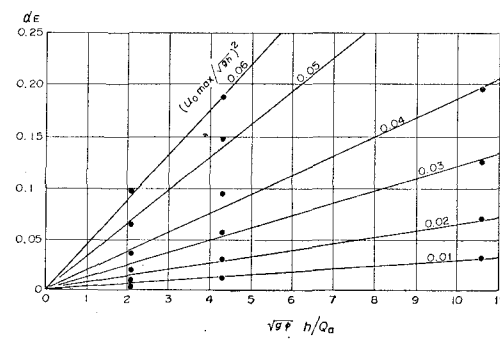


図-14 エネルギー係数 (α_E) と $\sqrt{g\phi} h/Q_a$, $u_{0\max}/\sqrt{gh}$

り α_E と $(\sqrt{g\phi}h/Q_a)$ とは比例関係にあることがわかる。

図-14 から α_E が求めれば式(27)から f_{d0} が計算される。ただしこれらを求めるには $u_{0\max}$ が既知でなければならないので、あらかじめ f_{d0} を仮定して $u_{0\max}$ を求め、これを用いて第2近似として f_{d0} を求める。こ

の操作を繰り返して流況を定めることができる。

成層を形成している場合の解析である。

4. 実用化についての諸問題

高知で行なった現地実験から、 1.56 l/sec/m のバブル量で、この時発生する湧昇流量は $1\text{ m}^3/\text{sec/m}$ 程度であった。このときの必要エネルギーは設備容量で、 0.5 kW/m 、運転時電力で 0.2 kW/m (負荷率0.4) で、この値は非常に高い効率で十分実用に供しうる値である。実用化のために今後に残された問題は海水の実質交換量推定のための層別恒流成分、拡散係数の解析と密度

5. 結 語

以上流れのある場合のエアバブルカーテンによる流況について、若干の解析を行なった結果を報告する。この研究では湧昇流の発生と水平流の流況制御効果について求めたが、まだ今後に残された問題点も多い。

エアバブルカーテンは、特に水質環境改良保全に有効であり、この観点から残された諸問題を今後早い機会に再び検討する。