

空気防波堤に関する研究(第1報)

—空気防波堤の基本的性質—

岩 垣 雄 一*・安 井 誠 人**

1. ま え が き

今世紀の初頭に、New York のアメリカ人 Philip Brasher が、初めて海底に付設した管から空気の泡を噴出させて波を消す方法を考え、特許をとった。そして1908年には Atlantic City の Million Dollar Pier に、また1915年にはカリフォルニア州の El Segundo にある Standard Oil Co. のピヤーにその方法を応用し、波の外力からピヤーを防護することを試みた。その他、この方法は各所で試みられたようであるが、すべての場合にうまくゆくわけではなく、その消波機構もよくわからなかった。したがって、その性能を予知することができず、その後この方式の防波装置は使用されなくなった。しかし、1924年には Payne (イギリス?)、1935年に Bogolepoff (ロシア)、1936年に Thijssse (オランダ)、1938年に Platzer (スウェーデン)、1940年に Schijf (オランダ)、1950年には Carr (アメリカ)によって、こうした空気防波堤(pneumatic breakwater)の消波実験が行われ、その実用性についての検証と消波機構の解明に努力が払われた。その結果は、多くの場合、否定的であって、有効に消波するには大きな動力の圧縮機が必要であることがわかった。ただ、Thijssse が private report であるが、波を静穏にする要素は気泡ではなくて、気泡の上昇によって発生する水平流が消波に関係があると指摘したことは注目すべきである。この消波機構については、1942年に Taylor と White (イギリス)が同じ説をとえ、1943年には Taylor は数学的に波と反対方向の表面流が波を阻止することを証明し、1955年になってこれを発表した。White の方は1943年に、主として実験的に気泡と水の噴流の両方を用いて研究し、これらは防波堤として実用の可能性があることを確かめている。また、土木技術者の Unna が、厚い逆向きの水平流は、ある限界波長より短い波の伝播を阻止することを示したのも、1942年であった。

以上のような記述は、1955年に発表された Evans の論文¹⁾に載せられているが、その頃までの研究は未だ暗

中模索という状態であったと思われる。わが国では、1954年に初めて九州大学応用力学研究所の栗原教授を中心とした水文学研究委員会のグループが空気防波堤の研究を開始し、室内実験とともに、長崎港外の伊王島や端島および日本鋼管鶴見造船所において、それぞれ現地実験を試み、有効に利用できることを見出した^{2),3)}。特に鶴見造船所では、恒久施設として1959年にこの防波堤を完成したが、それが同年の台風時に活用され、「係留船舶の波浪による動揺防止のためには空気防波堤は有効であって、かつ経済的にも許容の範囲にある」という結論が出された。また、イギリスの Dover 港に空気防波堤が設置されたのは1952年であった。

その頃から世界各地でこの防波堤に関する研究が盛んになり、1950年代の前半から1960年代の前半にかけてが最盛期であった。気泡による空気防波堤と同時に、噴流による噴流防波堤(hydraulic breakwater)の研究が行われたのもこの頃である。すなわち、イギリスの Evans (1955)¹⁾を初めとし、アメリカの Minnesota 大学の Wetzel (1955)、Herbich-Ziegler-Bowers (1956)(噴流)、Straub-Herbich-Bowers (1958)(噴流)、Straub-Bowers-Tarapore (1959)とか、ドイツの Hensen (1955)、アメリカの Beach Erosion Board (1959)、California 大学の Snyder (1959)(噴流)、イギリスの Bulson (1961, 1963)の大型実験など、主として実験的に研究が推進された。

わが国では、栗原らの研究のあと久しくこの種の研究が途絶えていたが、1968年に室田ら⁴⁾が下から水を噴出するウォーターカーテン流による消波実験を実施し、また1972年から中村充らが水質改善を兼ねたエアバブルカーテン流の利用を目的とした研究の一つとして、消波実験を行った⁵⁾。また1974年には三浦らもエアバブルカーテン流の実験を試みた⁶⁾。

このように、空気防波堤の研究は歴史的に古く、多くの人々によって研究された結果、その消波機能にはある限界があることがはっきりしてきたが、それは簡易防波堤と称されるこの種の防波堤の宿命であって、浮防波堤などの性能と同じ短所をもっているのである。すなわち、周期がある値以上の波には、まったく消波効果がなくなることである。しかし、中村らの研究目的のように、

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学教室

** 正会員 工修 運輸省第一港湾建設局

水質改善に役立ったり、オイルフェンスとして利用されたり、いろいろの用途があることと、施設が海中にあって姿が見えないなど、現在の社会的要請に適合している面が数多くあるので、捨てがたい魅力をもっているといえよう。

この研究は、空気防波堤の消波機構を明らかにするとともに、消波性能を向上させる方法を見出すことを目的としたもので、その第1報として、この防波堤の基本的な性質を調べてみた結果である。

2. エアバブルカーテンに伴う流れと現在の消波理論

(1) エアバブルカーテン流

水底にパイプを敷設し、パイプにあけたりオリフィス(通常、直径 0.5~3mm, 間隔 10~50cm)から空気を噴出させると、空気は気泡となって上昇し、それに伴って流れが発生する。この流れをいまエアバブルカーテン流とよび、その流れのパターンの模式図を Kobus²⁾ にならってかくと、図-1 のようになる。発生する気泡の最大径や大きさの分布は、ノズルの直径には無関係で、もっぱら単位時間、単位長さ当りの空気の供給量 Q_0 が関係することを多くの人々が確認している。このことは非常に都合のよいことである。いま、座標軸を 図-1 のようにとる。気泡群の上昇幅はオリフィスを原点として内

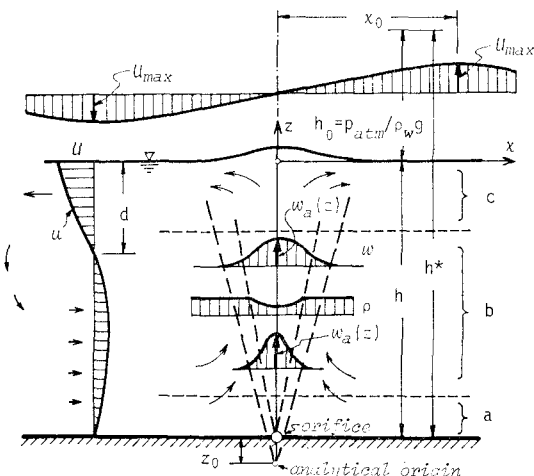


図-1 エアバブルカーテン流の模式図(Kobusより)

側の破線のように拡がり、気泡を含む水の見かけの密度 ρ の分布は図のようになるが、上昇流の幅は図の外側の破線で示すように、 z_0 だけオリフィスから下方へ離れた点を原点として、直線状に増大する。そして、上昇流の速度の分布は、Kobus が測定した結果では、次のようなガウス分布に似た形となるようである。

$$\left. \begin{aligned} w(x, z)/w_a(z) &= \exp(-x^2/2\sigma^2) \\ \sigma &= c(h+z+z_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

ここに、 $w_a(z)$: $x=0$ すなわち中心での上昇流速、 h : 水深、 c : 常数、である。ただし、この式が適用できるのは、図の a の助走領域と、c の自由表面の影響域を除いた b の完全発達域に対してである。このような分布形の上昇流は自由表面に衝突して両側へ方向を変え、変えたあとの速度分布は図の左側にえがいたように、水面で最大の流速 U をもち、かつ水面下 d のところで、その方向が反転するような形となる。Kobus は上昇流の運動量と浮力が等しいとおいて、上昇流の中心の速度 $w_a(z)$ を求め、さらに水面での w_a と水平流の最大流速 U_{max} は等しいと仮定して次式を導いた。

$$\frac{U_{max}}{\sqrt{gQ_0}} = 1.75 \left\{ \frac{h_0}{(h+z_0)} \ln \left(1 + \frac{h}{h_0} \right) \right\}^{1/2} \dots\dots(2)$$

ここに、 $h_0 = p_{atm}/\rho_w g$ で、 p_{atm} : 大気圧、 ρ_w : 水の密度、 g : 重力加速度である。なお、Kobus は z_0 として、 $z_0 = 0.8m$ を与えている。式(2)より、水深が一定であれば、 U_{max} は空気供給量の 1/3 乗に比例することがわかる。

(2) 現在の消波理論

空気防波堤の消波機能を理論的に考察した研究はあまりない。栗原らは波の進行方向と逆向きの水平流と渦動粘性が消波に与える効果を検討し、むしろ前者より後者の効果が著しいと主張している²⁾。また、中村ら³⁾は気泡の慣性抵抗、気泡の粘性抵抗および表面流の波の抑止作用の三者の合計が波の遮断に寄与するものとして、次元解析的に消波効果を調べている。しかし、Evans⁴⁾が気泡による水平流と同じ流速と分布をもつ水による水平噴流を与えて消波実験を行った結果、全く同じ消波効果が得られたこと、上昇する気泡自身の効果は、栗原らが検討したところでは無視してよいこと、などの研究結果から考察すれば、渦動粘性の大きい表面水平流が空気防波堤の消波に最も寄与しているものと見てよい。その意味で、現在のところでは、Taylor の消波理論⁵⁾は未だ輝きを失っていないと考えてよいであろう。したがって、ここでは Taylor の理論についてふれておく。

Taylor は 図-2 に示したように、表面水平流が厚さ d をもっていて、流速が一様である流れの場合(a)と、水面での流速を U_{max} とした三角形分布をした流れの場合(b)に、波が共存する場合を取扱った。その方法は、場を表

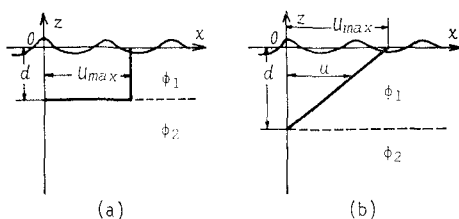


図-2 表面水平流の流速分布

面流が存在する領域と存在しない下層の領域に分け、それぞれの領域に対して速度ポテンシャル φ_1 および φ_2 を仮定し、水面条件および領域境界での連続性を満足する条件から波数 k 、角周波数 σ 、表面流速 U_{\max} 、表面流の厚さ d との関係式を導き、表面流が波の方向と逆向きの場合に、波数 k と角周波数 σ との関係が存在しなくなる限界を求めて、それが波を消波させる表面流速の条件であるとするものである。その限界条件は (a) と (b) の両者に対して計算され、波長 L_0 、表面流速 U_{\max} と表面流厚さ d の関係が無次元量で図によってあらわされているので、二つの量を与えれば他の一つが決まるようになっている。

しかし、この Taylor の理論は、図-2 の流れの場のモデルを 図-1 と比較してわかるように、現実と適合しない点がある。たとえば、理論では無限に表面流が存在すると仮定しているが、実際には後述するように、エアバブルカーテンの中心から遠ざかるにしたがって流速が急速に減衰することや、栗原らが主張しているように渦動粘性の効果が考慮されていないこと、また深海波のみに適用される理論であることなどであって、適用にあたっては十分注意すべきであろう。Bulson-Struct¹⁰⁾ は、上述の Taylor の理論曲線を用いて空気防波堤を設計することを提案しているが、その意味で検討の要がある。

3. 実験装置および実験方法

(1) 実験装置

実験には京都大学工学部土木系教室地下実験室に設置されている長さ 27 m、幅 50 cm、深さ 70 cm の両面ガラス張りの水槽を用いた。その一端には電気油圧式不規則波発生機が設置されている。使用したコンプレッサーは、出力 5.5 kW、最大使用圧力 7 kg/cm² の空冷式で、それに圧力調整のために減圧器を取り付け、一定圧力で空気を送れるようにした。空気供給量の測定には、直立式フロート型面積式流量計（ロータメータ、島津製作所製）を使用し、流量計の吐出部の圧力計の読みにしたがって、空気量を標準状態のものに補正した。空気を噴出するパイプすなわち気泡発生筒は塩化ビニール製で、外径 1 inch、長さは 47.5 cm、オリフィス孔は 1 列とし、厚さ 3 mm、長さ 50 cm の鉄板を錘りとして底面に敷き、その上に敷設した。オリフィス径とその間隔は、それぞれ 1, 2, 3 mm および 3, 4, 5, 6, 8 mm を組合せた 8 種類について表面流速を測定した結果、最も大きい流速がえられた径 1 mm、間隔 6 mm のものを主として用いた。

流速の測定は、ポイントゲージに取り付けた直径 18 mm のプロペラ式小型流速計（三光精密工業製）を用い、波高は電気抵抗線式波高計によって造波板より 5 m と 14 m 離れた気泡発生筒を挟む位置で測定し、入射波と透過波をペン書きオシログラフに記録させた。不規則波

に対しては同時にデータレコーダによって磁気テープにも記録した。

(2) 実験方法

まずエアバブルカーテンに伴って発生する水平流の流速を測定するために、コンプレッサーの元圧を 5~7 kg/cm² で一定に保ちながら、減圧器と流量計を通して圧縮空気を水槽底の気泡発生筒に送り、気泡を発生させた。そして、エアバブルカーテンが作られ、流速計のプロペラが回転を始めて約 10 数 sec 後に定常となるので、そのときの値を測定した。しかし、30 sec ほど経過すると側壁の影響と思われるが、流れが乱れてプロペラの回転が一定でなくなるので、そのときは空気の噴出を止めて、静穏になってから実験を繰り返し、その平均をとった。

このような方法によって最初に、気泡発生筒のオリフィス径と間隔の相違が表面流速におよぼす影響を調べた。前述のように 8 種類の発生筒に対して、空気量を一定にして、発生筒から水平に 45 cm 離れた水面下 5 cm のところに流速計を設置し流速を測定して、同一空気量で最も流速が大きい水平流がえられる発生筒を選び出したわけである。この点については 2. (1) で述べたことと相違するが、その理由についてはよくわからない。ついで、この発生筒を用いて、同様な方法により水深が 45 cm と 60 m の場合について流速分布を測定した。

消波実験は、規則波と不規則波の両者に対して行ったが、前者の場合は、ほぼ同一波高をもつ周波数 $f=0.4\sim 2$ Hz の範囲の波について実施した。気泡発生筒の位置は、造波板側の波高計 (I) より 3 m のところである。まず、消波実験を行うまえに、エアバブルカーテン自身によって発生する波の波高を 6 m 離れた波高計 (II) によって測定した。実験した基本空気量は、補正前で $Q=80(2.09), 130(3.73), 180(5.71), 230(8.38), 280(11.6), 330(17.0), 380(23.5), 430(33.3), 530(64.6)$ l/min で、() は 12.5°C で補正した換算値 Q_0 (l/sec·m) である。ついで、同一の空気量に対して消波実験を行ったが、そのときの空気噴出開始時期は、 $f\geq 0.8$ Hz の波の場合、波高計 (II) に波が到達した時点、 $f<0.8$ Hz の波の場合には、気泡発生筒上に第 2 波が到達した時点とし、入射波高は波高計 (II) で測定したものを採用した。一方、不規則波に対する消波実験は、ピーク周波数が 1.3 Hz および 0.5 Hz 付近の 2 種類の不規則波を発生させて行った。データレコーダにとった水位記録は、読みとり間隔 0.08 sec でスペクトル解析を行い、エネルギースペクトルの密度分布の変化を調べた。

4. エアバブルカーテン流の特性

(1) 水平流速の分布特性

図-3 は水深が 45 cm で、水面下 5 cm、図-4 は水深が 60 cm で、水面下 2 cm での水平流速の水平方向分

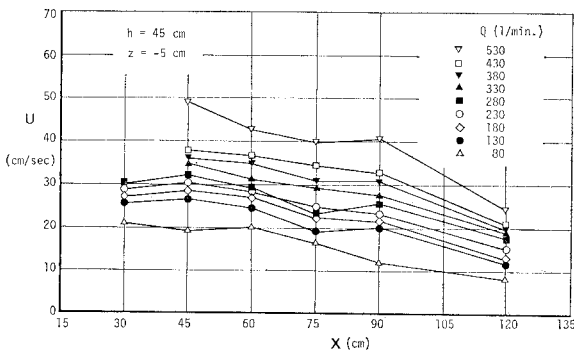


図-3 表層流の流速の水平方向分布 (1)

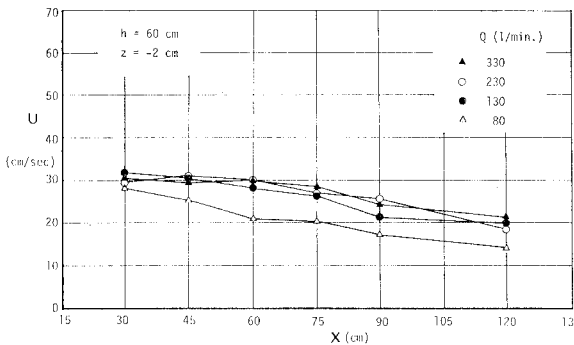


図-4 表層流の流速の水平方向分布 (2)

布の測定結果を示したもので、横軸に気泡発生筒からの水平距離 x がとってある。これらの図を見ると、空気量によって若干傾向が異なるが、ほぼ水深に等しい距離だけ気泡発生筒から離れると、そこで流速が最大となるか、あるいは一定であった流速が減少し始めることがわかる。そして、水深の3倍程度離れると、流速は1/2ほどに減衰する。 $x = (0.5 \sim 0.7)h$ で最大流速があらわれることは Kobus⁷⁾ も指摘し、Bulson¹¹⁾ のドックを用いた大型実験でも、 x が $0.5h$ か h のところで最大値を示している。

次に、水平流の鉛直方向の分布を測定した結果を図-5に示す。これから、図-1に示したような気泡発生筒

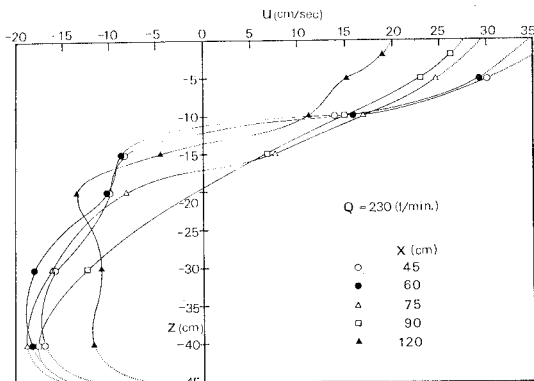


図-5 水平流速の鉛直方向分布

から遠ざかる速い表層流と、逆に発生筒に近づく底層流があることがよくわかる。表層流の厚さは、図-5では、はっきりしているように見えるが、実際はかなり不安定であることが観察された。しかし、表層流は気泡発生筒から遠ざかると、減速しながら厚さを増し、底層流とともに循環流を形成する。こうした流れの特性が、水質改善やオイルフェンス、塩水くさびの遮断、氷結防止などに利用されるゆえんである。

(2) 最大水平流速

Taylor によると、水面での水平流速が消波機能に関係があるので、ここではそれを取りあげてみる。水面といっても、流速計が水面から露出すると測定できないので、どうしても水面下ある距離の点にならざるをえない。図-6は、 $h = 45$ cm の場合の水面下5 cm で $x = 45$ cm の位置での水平流速を U_{max} として、空気供給量 Q_0 との関係を示したものである。式(2)によると、 U_{max} は $Q_0^{1/3}$ に比例するはずであるが、べき数が少し1/3より小さいようである。この理由は、 $z = -5$ cm の測定値であるためか、空気量増大に伴う水面や表層流の攪乱増加のための測定誤差であるのか、よくわからない。いま、この水平流速を $U_{max} / \sqrt[3]{gQ_0}$ の無次元量とし、気泡発

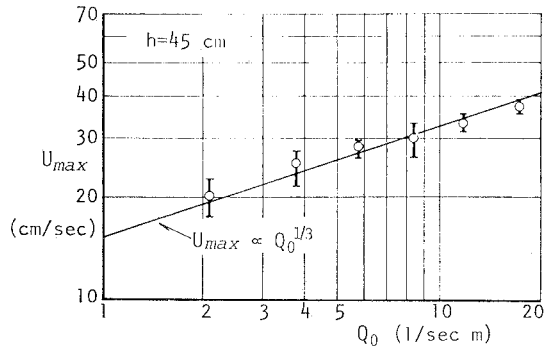


図-6 水平最大流速と空気供給量の関係 (U_{max} は $x = 45$ cm, $z = -5$ cm での値)

生筒の深さ h との関係点を点描すると、図-7のようになる。この図には Kobus の式(2)のほか、次のような栗原の式と Bulson の式から求められる関係と、従来の実験や現地観測での値が点描されている。

栗原 (1959):

$$\frac{U_{max}}{\sqrt[3]{gQ_0}} = 1.994 \left(\frac{h+h_0}{h_0} \right)^{-1/3} \dots\dots\dots (3)$$

Bulson (1961):

$$\frac{U_{max}}{\sqrt[3]{gQ_0}} = 1.46 \left(\frac{h+h_0}{h_0} \right)^{-1/3} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $h_0 = 10$ m である。なお、著者らの実験結果は、

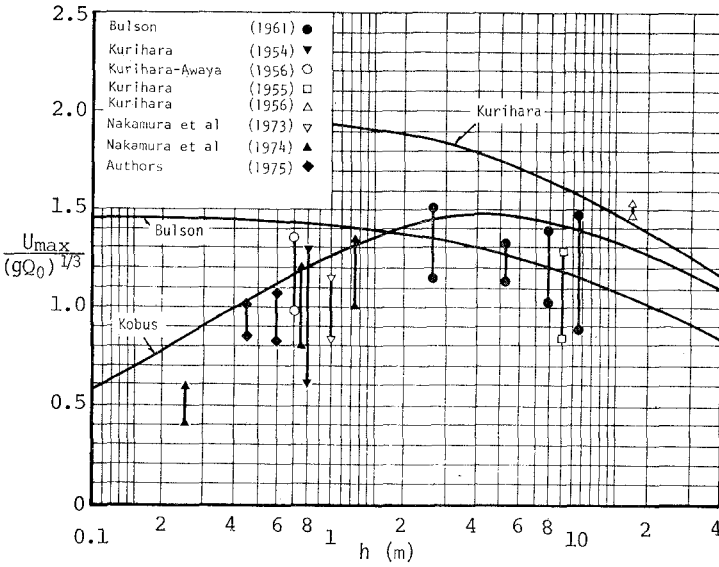


図-7 無次元水平最大流速と気泡発生筒の深さとの関係

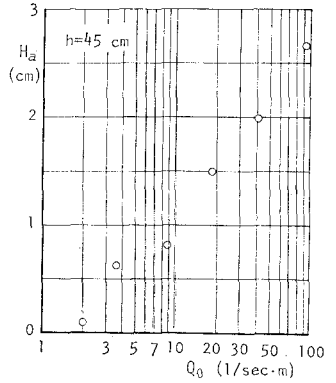


図-8 エアバブルカーテンによって発生する波の平均波高と空気供給量の関係

なるべく水面に近い測定値という意味で、 $z = -2\text{cm}$ における資料 ($h = 45\text{cm}$ のとき、 $Q = 80$ および 130 l/min 、 $h = 60\text{cm}$ のとき、 $Q = 80, 130$ および 440 l/min) が点描してある。この図から、実験値の上限を考えると、Kobus の曲線がほぼ一致しているが、ただ水深が 4m 程度を超えると流速が減少するという傾向は、栗原の現地での測定値や Bulson の実験値からみて疑問であるし、また水深が小さいときでも $z_0 = 0.8\text{m}$ としてよいかどうかについても問題がある。

5. エアバブルカーテンの消波特性

(1) エアバブルカーテンによって発生する波

入射波を消すためのエアバブルカーテンそれ自身によって波が発生するので、消波機能を調べる前に、発生波を測定した。図-8 は波高計によって記録した波の連続 $5 \sim 10$ 波の平均波高 H_a と空気量との関係を示したもので、そのときの平均周期は $0.6 \sim 0.9\text{ sec}$ 程度であるが、発生波のエネルギースペクトルの例を示すと図-9 のようである。これらの図から、空気量が増加すると波高あるいはピークのエネルギー密度は増大すること、スペクトル形は双峰型であって、空気量増大とともに低周波数側のピークが発達し、かつ低周波数側へ移ってゆくことがわかる。このことは、後述するように、消波限界の周波数が $1 \sim 1.4\text{ Hz}$ であるために、雑音として混入しやすいことを示している。

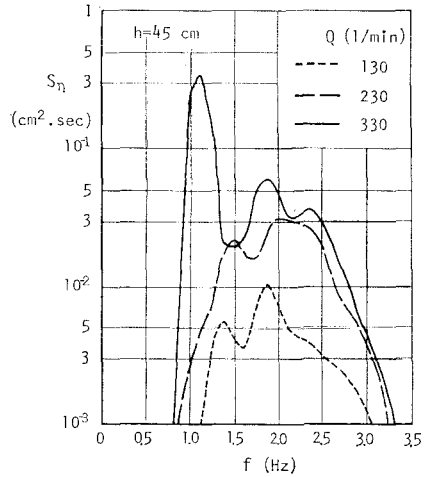


図-9 エアバブルカーテンによって発生する波のエネルギースペクトル

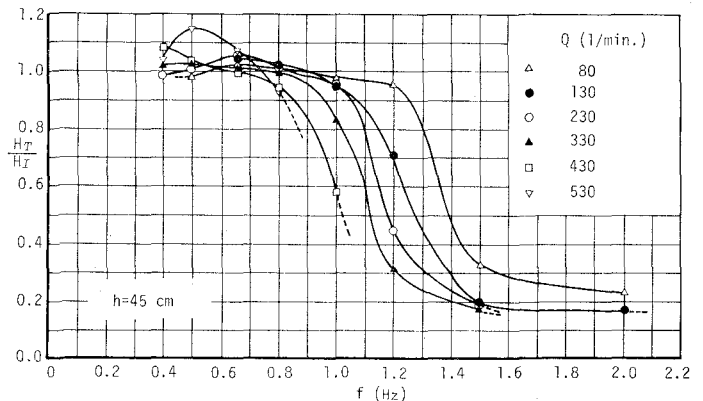


図-10 規則波に対するエアバブルカーテンの透過率と入射波の周波数の関係

(2) 規則波に対する消波特性

図-10 は規則波の場合の波の透過率

H_T/H_I (H_T : 透過波高, H_I : 入射波高) と周波数 f との関係で, 空気供給量をパラメーターとして示してある。なお, 反射率については, 測定が困難であったので求めなかった。この図から, 空気供給量が大いほど, 低周波数の波を消すことができること, この実験の範囲では透過率が 0.5 となる周波数は $f=1\sim 1.4\text{ Hz}$ であること, 周波数が大きくなって波が減衰し始めて透過率が 0.5 になるまでの周波数は約 1.4 倍程度で, かなりその範囲は狭いこと, 換言すれば周期が長くなると急に消波能力がなくなること, などがわかる。なお透過率が 1 を超える場合があるが, これは特に空気供給量が大いときに著しく, 前述したエアバブルカーテンに伴って発生した波による影響と思われる。

(3) 不規則波に対する消波特性

図-11 は高周波数成分が卓越した不規則波, 図-12 は低周波数成分が卓越した不規則波の場合の, 入射波および透過波のエネルギースペクトルを示したものである。これらの図から消波に関する周波数特性が明確にわかる。透過波で 2 Hz 前後のピーク周波数をもつ波は, エアバブルカーテンによって発生した波であって, 空気量が増加すると消波どころか逆に高周波数部分で波高が増大している。図-13 は 図-11 の $Q=130\text{ l/min}$ の場合について, 周波数ごとに透過率 $(H_T/H_I)_f$ を求めて示したもので, 図-10 に示した規則波の場合の透過率の値も比較のために点描してある。この図より, 規則波のときの透過率と非常によく一致することから, 不規則波の場合でも周波数ごとに線形的に取扱ってよいことがわかる。ただし, $f \geq 1.6\text{ Hz}$ の波は前述したエアバブルカーテンによる発生波であって, 透過波ではないので, 除外して考えるべきである。

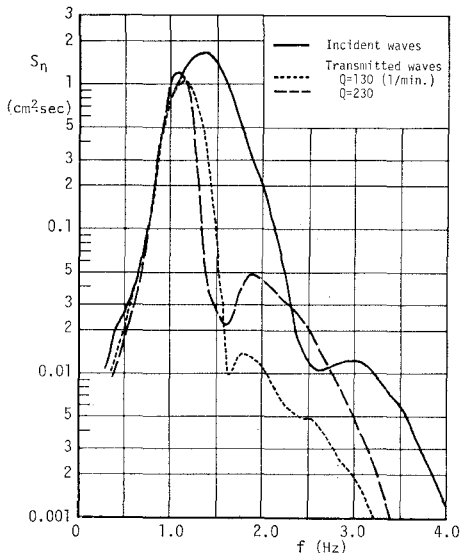


図-11 高周波数成分の卓越する不規則波に対するエアバブルカーテンの消波効果

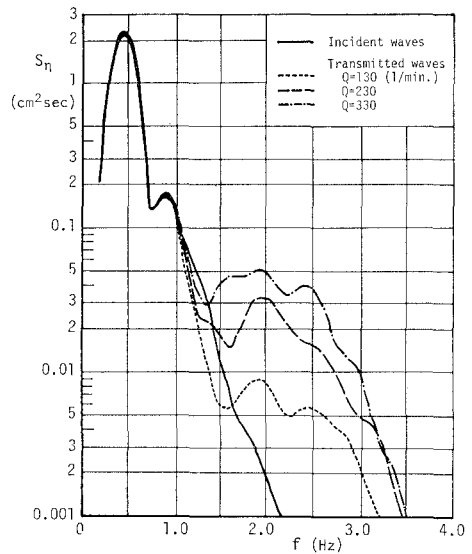


図-12 低周波数成分の卓越する不規則波に対するエアバブルカーテンの消波効果

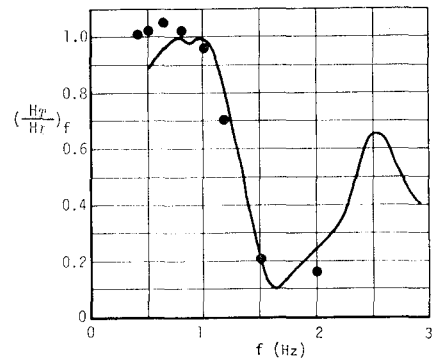


図-13 不規則波に対するエアバブルカーテンの透過率 ($Q=130\text{ l/min}$ の場合)

6. あとがき

以上, この論文では水質改善など数多くの効用をもつエアバブルカーテンを利用した空気防波堤の研究の第1報として, その基本的な性質を歴史的な研究経過の考察から始めて, 実験的に検討してみた。その結果の概要を記述すると次のようである。

1) 現在の空気防波堤の消波機構は Taylor の理論によって代表されるが, その基礎となっているモデルには問題があるので, 新しい展開が必要である。

2) エアバブルカーテンに伴う表層流の最大水平流速は, ほぼ Kobus の式が適用されうるが, それは気泡発生筒の深さが 4m 程度までで, それを超えると工合がわるくなる。

3) エアバブルカーテンの消波機能は, ある波の周期を越えると急激に消滅し, その特性は規則波でも不規則波でも同じである。

なお、消波機能についての従来の研究との比較や Bulson らの空気防波堤の設計法の検討など、未だ残された課題があるが、別の機会にゆずりたい。

この研究は文部省自然災害特別研究費による研究の一部であることを付記するとともに、実験や図面の作成等に助力して頂いた石田啓助手および栗生幸弘君(住友金属)に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Evans, J.T.: Pneumatic and similar breakwaters, Proc. Royal Society, A, Vol. 231, pp. 457~466, 1955.
- 2) 応用力学研究所水文学研究委員会: 空気防波堤の研究に就いて, I~VII, 九州大学応用力学研究所報, 第 5, 7, 9, 9, 11, 13, 15, pp. 17~41, 1~25, 25~33, 35~57, 39~59, 39~54, 23~38, 昭 29, 30, 31, 33, 34, 35.
- 3) 栗原道徳: 空気防波堤について (I)~(III), 海岸工学講演会講演集(研究会論文集), pp. 93~97, 71~77, 139~146, 昭 29~31.
- 4) 室田 明・村岡浩爾・中山茂雄: Water Curtain による波浪の減衰に関する実験的研究——鉛直上向き噴流列の応用研究——, 第 15 回海岸工学講演会講演集, pp. 334~339, 昭 43, 12.
- 5) 中村 充・佐々木泰雄・大西亮一・法貴貫四郎: エアカーテンによる消波機構について, 第 19 回海岸工学講演会論文集, pp. 217~220, 昭 47, 11.
- 6) 三浦 晃・遠藤茂勝: エアカーテンによる水平流の測定結果について, 土木学会第 29 回年次学術講演会講演概要集, 第 2 部, pp. 70~71, 昭 49, 10.
- 7) Kobus, H.: Berechnungsmethode für Luftschleier-Strömungen zur Auslegung von Pressluft-Ölsperren, Wasserwirtschaft, Band 62, Heft 6, s. 159~166, 1972.
- 8) Kobus, H.E.: Analysis of the flow induced by air-bubble system, Proc. 11th Conference on Coastal Engineering, Vol. II, pp. 1016~1031, 1968.
- 9) Taylor, Sir Geoffrey: The action of a surface current used as a breakwater, Proc. Royal Society, A., Vol. 231, pp. 466~478, 1955.
- 10) Bulson, P.S. and M.I. Struct: The theory and design of bubble breakwater, Proc. 11th Conference on Coastal Engineering, Vol. II, pp. 995~1015, 1968.
- 11) Bulson, P.S.: Current produced by an air curtain in deep water, The Dock and Harbour Authority, pp. 15~22, May 1961.