

空気防波堤に関する研究(第5報)

——空気防波堤の消波護岸への応用——

岩垣雄一*・浅野敏之**・須藤雄二***・山中庸彦****

1. ま え が き

近年、泊地の静穏を確保する目的で各種の消波護岸が設置されている。特に海岸線の埋立が進み、護岸の設置箇所が大水深化する現状においては、従来の捨石あるいは消波ブロックを用いる形式に代わる、より経済的な消波護岸の開発が期待されるようになってきた。その一形式として、不透過壁の前面に多孔壁やスリット壁等の透過性構造物を置いた直立型のものが考案され、実用化が行われている。また透過壁体の効果的な構造形式については、多くの実験的・理論的研究が試みられている。それによれば、反射率を小さくするためには、前面の透過壁が適当な反射率を持ち、また波が透過する時に、そのエネルギーを多く消散させる構造であることが必要とされる。

著者らは数年来、空気防波堤の消波機構の解明と消波性能向上について研究を行ってきたが、実験時の観察から、空気防波堤によって入射波はその一部が反射されることを見出した。また空気防波堤はその誘起する水平流によって、周期の短い波を砕波させ、エネルギーを消散させる効果がある。このような特性から、空気防波堤を護岸前方に設置することにより、消波護岸としての応用が可能ではないかと考えられる。

本研究はまず、空気防波堤自身の反射特性を調べ、透過特性との関係について考察する。次いで、鉛直不透過壁の前方に空気防波堤を設置した場合の反射率を測定するが、設置位置により消波効果が異なるかどうかについても検討を行う。

2. 実験装置および実験方法

(1) 実験装置

実験装置は第1報で用いられたものと同じであり、詳細は省略する。

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 の面

面ガラス張りの実験水槽を用いた。反射率の測定にあたっては5台の電気抵抗線式波高計を用い(周波数 $f=0.6$ Hz の波については6台)、これを 30 cm 間隔で台車に固定し、移動できるようにした。エアーカーテン流の流速測定はポイントゲージにとりつけた、直径 18 mm のプロペラ式小型流速計を用いた。

反射率の実験においては、常に水槽端における反射が問題となる。本実験では消波工として、1/3 勾配のアルミ製傾斜板を設置し、その上にステラシート、シュロマットおよび金網を敷いたものを用いた。消波工によって波が完全に消波するように、ステラシート等の配置については十分な検討を行った結果、最も良好な配置の下では、周波数が 0.6 Hz 以上の波に対して、ほぼ完全に反射率を 0 とすることができた。

(2) 実験方法

水深は 45 cm、空気供給量は補正前で $Q=300$ l/min および $Q=400$ l/min でいずれも一定とした。実験で用いた波は周波数が $f=0.6, 0.8, 1.0, 1.2$ および 1.4 Hz で、それぞれについて波高を大小2種類とした。

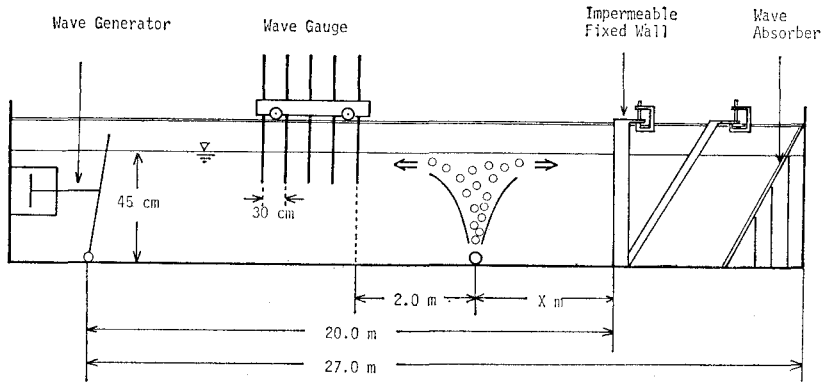
正確な部分重複波の波高分布を得るためには、少なくとも入射波の波長の 1/2 以上の領域にわたり、十分細かい間隔で波を読み取る必要がある。空気防波堤の発生する水平流の流速は、エアー噴出パイプから 2 m 離れた点では 10 cm/sec 以下となり、流れによる影響が少なくなることから、測定区間はこの点から造波機側に少なくとも半波長以上とり、約 16 分の 1 波長ごとに波高を読みとることとした。反射率算定にあたっては Healy の方法を用い、また合田・阿部¹⁾が提案した有限振幅重複波に対する補正を行った。まず波を起こし、エアーカーテン流が形成されるのに必要な時間を 10 sec として、その後波高測定を開始した。測定可能な時間はこの時点から、空気防波堤により反射した波が造波板で再反射し、測定点に到達するまでの時間となる。周期の長い波ではこの測定時間が非常に短くなるため、与えられた区間の波高測定を数回に分けて行った。また、波高計をとりつけた台車の移動間隔についても、十分な検討を行った。実験はまず空気防波堤単独の場合の反射特性を調べたが、この時にはエアー噴出パイプを造波板から 14.5

* 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 京都大学助手 工学部土木工学教室

*** 正 会 員 工修 清水建設

**** 学生会員 京都大学大学院工学研究科



図—1 実験水槽の模式図

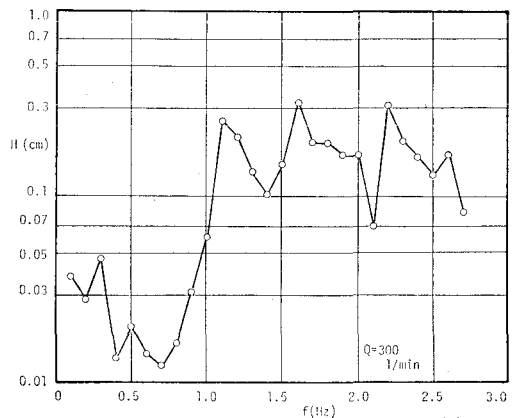
mの地点に設置した。次いで鉛直不透透壁と組み合わせた実験においては、その設置位置を造波機から20 mの地点とし、エアー噴出パイプをその前方に0 cm, 45 cm, 90 cm および 135 cm の4通りに離して設置した。この時の実験の模式図を 図—1 に示す。

3. 実験結果および考察

(1) 空気防波堤の反射特性

空気防波堤による反射が必ずしも無視できない大きさを持つことは、中村・佐々木²⁾により指摘されており、またこうした反射は、エアーカーテンによる波の遮断効果によるものであると述べている。しかし本実験における観察から、波の反射は入射波がエアーカーテンに到達する以前に現われることが認められ、また空気防波堤の誘起する水平流によって砕波し、エアーカーテンまで波動運動が到達しないような波に対しても、一定の反射率が得られることがわかった。したがって波の反射現象は、エアーカーテンの遮断効果よりは、水平流の流速勾配がかなり急であるために、入射波が流れの場を遡上できず、その一部が反射することによるものと考えられる。

図—2 は実験で得られた部分重複波の波高分布の一例である。ここで実験値に多少のばらつきが見られるのは、以下の理由による。その一つは、空気防波堤の誘起する水平流が定常なものではなく、また実験においては



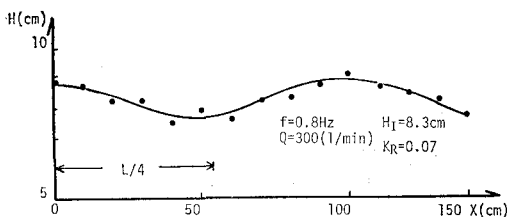
図—3 空気防波堤の発生する波の波高スペクトル

波を起こした後に空気泡を発生させたが、実験方法で述べた一定時間が経過した後も、波と流れの場は十分定常であるとはいえないことがあげられる。一方、空気防波堤自身が発生する波が部分重複波に重なることも、ばらつきの大きな原因である。この波の平均の波高は、空気量 $Q=300$ l/min の場合に 1.5 cm 程度、 $Q=400$ l/min の場合に 2.0 cm 程度で、場所的にあまり変化しない。しかもその波高スペクトルは 図—3 に示すように、ほぼ 1.0 Hz から高周波側にほぼ一様であり、ここで用いた実験波の範囲では、こうした空気防波堤の発生する波を取り除くことは不可能である。

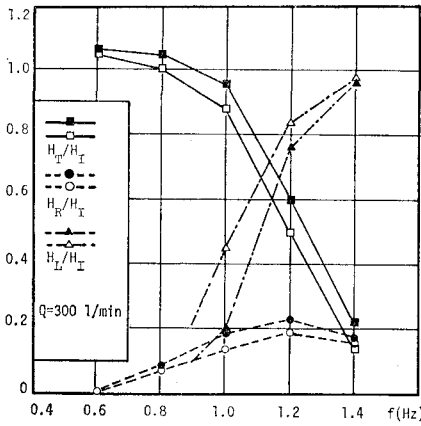
図—4 は入射波の周波数に対して、得られた反射率 H_R/H_I 、透過率 H_T/H_I および次式で定義される消散率 H_L/H_I を示したものである。

$$H_L/H_I = [1 - (H_T/H_I)^2 - (H_R/H_I)^2]^{1/2} \dots\dots(1)$$

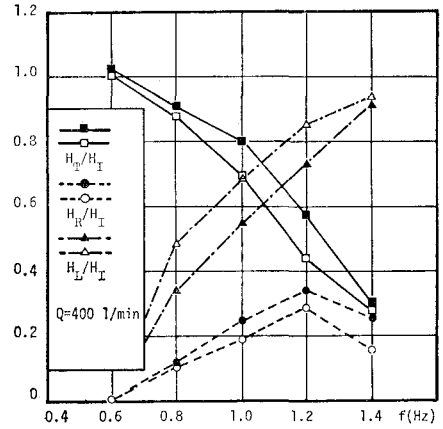
図中の黒塗り記号は波高が 3~5 cm の実験波から得られた値を示し、白抜き記号は波高が 6~8 cm のものである。以後、波高の小さい波の実験ケースを CASE I、波高の大きい波の実験ケースを CASE II と呼ぶこ



図—2 部分重複波の波高分布の1例



(a) $Q=300 \text{ l/min}$ の場合



(b) $Q=400 \text{ l/min}$ の場合

図—4 各周波数の波の透過率, 反射率および消散率

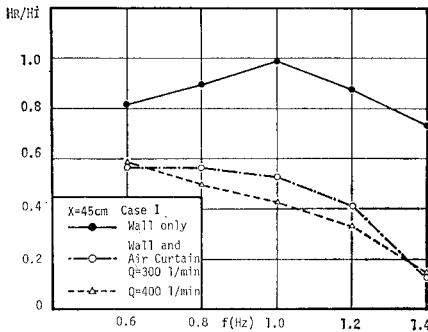
とにする。反射率は $f=0.6 \text{ Hz}$ でほぼ 0 となっている。他は, 0.1~0.3 程度の値を示している。また同一の周波数では波高が小さいほど反射率は高く, また空気量の多い方が反射率が高いことがわかる。

一方, エネルギー消散は空気量 $Q=300 \text{ l/min}$ の場合 $f=1.0 \text{ Hz}$ 以上, 空気量 $Q=400 \text{ l/min}$ の場合 $f=0.8 \text{ Hz}$ 以上の波に対して起こるが, これは水平流によって碎波

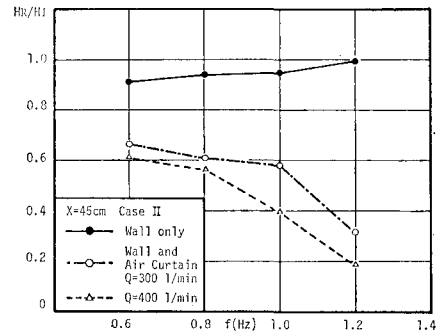
する領域の波と一致している。

(2) 鉛直壁前面に設置した時の反射特性

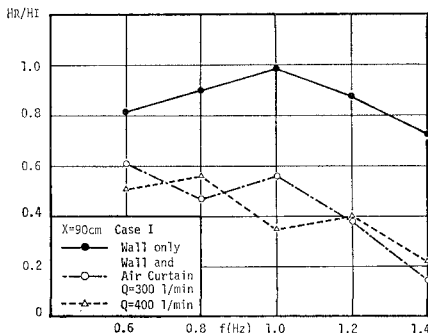
図—5 はエア—噴出パイプを鉛直壁の前方 45 cm および 90 cm の地点に設置した時の, 入射波の周波数と反射率との関係を示したものである。図から周波数が大きくなるにつれて, 反射率は小さくなることがわかる。一方, 空気防波堤が全く消波効果を持たない $f=0.6 \text{ Hz}$ あ



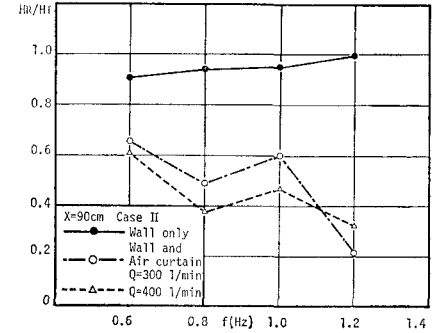
(a)



(b)



(c)



(d)

図—5 鉛直壁前方に空気防波堤を設置した時の反射率特性

るいは $f=0.8\text{ Hz}$ の波に対しても、反射率は 1 に近い値ではなく、0.6 程度の値が得られた。このことは空気防波堤の消波性能の向上を意味するわけであるが、前述した空気防波堤自身の発生波が、部分重複波波形に重なるために、得られた反射率は真の反射率より小さい値となることに注意する必要がある。すなわち、本実験のように Healy の方法で反射率を求めた場合、その波高分布記録には任意の位相で重なった空気防波堤自身の発生波が含まれており、特に node の点において、この雑音成分のために波高が見かけ上大きく測定されることが考えられる。したがって $f=0.6\text{ Hz}$ および $f=0.8\text{ Hz}$ の波の真の反射率は図-5 に示した値よりも大きいことが推定されるが、それでも雑音成分の波高の大きさから考えて、鉛直壁のみの反射率よりは小さくなると考えられる。こうした反射率の減少は、空気防波堤が誘起する流れによって鉛直壁との間に形成される乱れの卓越した循環流や、重複波に対するエアーカーテン流の消波効果によるものと考えられる。

図-6 はエアー噴出パイプと鉛直板との間の距離 X を変えた時の、周波数 $f=1.0\text{ Hz}$ の波の反射率の変化を示すものである。鉛直壁で形成される重複波に対するエアーカーテン流の効果は、重複波の位相により異なることが考えられ、反射率も X により変化することが予想されたが、結果は X に無関係に、ほぼ一定の反射率が得られた。これは多孔壁消波護岸に見られる、位相差による反射率の低減効果は期待できないことを意味する。このことは、空気防波堤の反射面が必ずしも一定してい

ないことなど、空気防波堤と多孔壁消波護岸の反射特性の違いがまずあげられる。しかし本質的には空気防波堤の消波護岸としての効果は、位相差の利用ではなく、水平流の砕波作用あるいは鉛直壁との間の循環流による、波動運動の減衰作用によるものであり、遊水部での波高減衰が卓越する場合には多孔壁消波護岸においても遊水長による反射率の変化が現われないことが明らかにされており³⁾、これが図-6 の結果となった理由と考えられる。

4. 結 び

この研究は、空気防波堤を鉛直不透過壁前方に設置し、その反射率特性を Healy の方法で測定することにより、消波護岸としての応用の可能性を検討したものである。主要な結果は次のとおりである。

(1) 空気防波堤自身の反射率は周波数 $f=0.8$ 以上の波に対して、0.1~0.3 程度の値を持つ。また波高の小さい波の方が反射率は大きいことがわかった。

(2) 鉛直不透過壁と組み合わせた場合には、 $f=0.6\text{ Hz}$ あるいは $f=0.8\text{ Hz}$ といった空気防波堤が消波効果を持たない波に対しても、反射率は鉛直不透過壁の反射率より小さくなり、見かけ上 0.6 程度の値となる。また、これより高周波の波については、さらに小さな反射率が得られることがわかった。

(3) 空気防波堤と鉛直不透過壁との距離を変えても、反射率はほぼ一定であり、多孔壁消波護岸のような位相差による反射率の低減効果は見られなかった。

なお、本研究は文部省科学研究費(試験研究)による研究の一部であることを記し、謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) Goda, Y. and Y. Abe: Apparent coefficient of partial wave reflection, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol. 5, No. 10, pp. 1~53, 1966.
- 2) 中村 充・佐々木泰雄・大西亮一・法貴貫四郎: エアー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, 1972.
- 3) 榎木 亨・岩田好一郎: 多孔壁式鉛直消波岸壁の水理特性に関する二、三の考察, 土木学会論文報告集, 第 220 号, pp. 53~64, 1973.

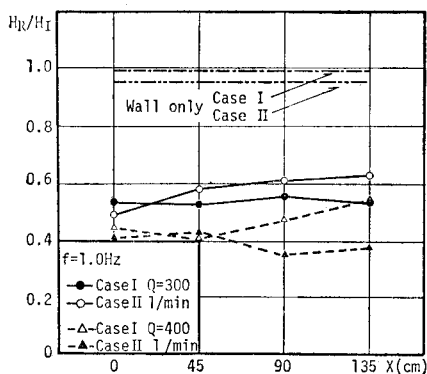


図-6 鉛直壁からの設置距離と反射率の関係