

空気潜袋群による波の遮断

——実験による考察——

上床隆彦*・井島武士**・牛房幸光***

1. 概 要

進行波を遮断し、静穏な水域を保持する方法として、一般には剛体の防波堤や潜堤などが用いられる。これらの構造物は設置が大水深であるとか、海底地盤が軟弱である場合には、技術的にも、工費的にも、きわめて困難となる。特に最近では沿岸水域の水質保全が求められるようになり、静穏水域と外域との海水交換の問題にも対処せねばならず、さらに景観上から天端高に制約を加えられることもある。

このような要請に対応する方法として、浮防波堤や潜堤が考えられるが、前者は堤体の耐波性、耐久性に問題があり、また波の遮断効果に関して特異な周波数があるて実用に応ずるには疑問の余地がある。また後者は天端が水面以下にあるために、波の遮断はほとんど期待できない場合が多い^{1),2)}。

本論文では、従来の固体潜堤や浮防波堤の代りに柔軟な空気袋（本文ではこれを空気潜袋と呼ぶことにし、以下“潜袋”とする）を用い、入射波による潜袋の変形によって生ずる空気流と同時に誘発される Radiation Wave を利用して消波する方法を実験的に検討したものである。

柔軟で自由に変形する潜袋であっても、単独の潜袋では変形が微小であって上記の効果はほとんど現われない。そこで、これら2個の潜袋を波の進行方向に消波しようとする波の波長の約 $1/2$ の間隔で一對とし、中空管により連結し、両方の潜袋を空気が自由に流通する構造とする。これにより、潜袋の変形は安定かつ十分に誘起され、水深 h の $2.0 \sim 5.0$ 倍程度の波長の波においては、両潜袋の表面に作用する逆位相の変動圧力による両潜袋間の空気の流動によって、潜袋の形と容積がともに単独の潜袋におけるよりも遙かに大きく変ることになる。潜袋の体積変化は Radiation Wave を誘起し、潜袋を通過して進行する波を相殺する作用を行ない、一方潜袋および連通管内部の空気流はその乱れによってエネルギー

の消滅作用を行い、それらの総合効果として入射波が遮断される^{3),4)}。

このような潜袋構造を実際に用いるためには、(i) 潜袋の材質、(ii) 遮断効果の周波数特性、(iii) 潜袋相互の連結法、(iv) 潜袋の設置法等の問題を解決しなければならない。

本研究は、それらについての基本的な問題を考察するために、2群の潜袋を一對とした潜袋群型構造と一對の潜袋列を複数対用いた潜袋列型の2種類の潜袋構造について、潜袋の材質としてゴムおよびポリエチレンの比較実験を行い、また潜袋構造を水底に固定した場合と水中に係留した場合の波の遮断効果を検討し、実験室的には、この方法によって十分に波を遮断することが可能であることを明らかにしたものである。

2. 実験装置と方法

(1) 実験装置

潜袋群型の構造を水中に係留した場合の実験を Fig. 1 に示すような長さ 25.0m、幅 60cm、高さ 1.2m のフラップ式造波装置をもつ、二次元水路において行い、

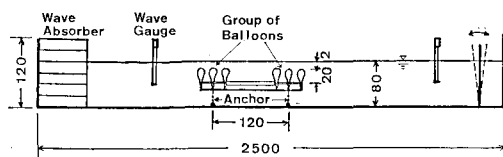


Fig. 1 Sketch of Wave Tank and System of Grouped Balloons (length in cm)

水深 $h=80$ cm で、 $kh=1.0 \sim 28$ (周期 $1.08 \sim 2.06$ 秒、波長 $L=1.80 \sim 5.03$ m、 $k=2\pi/L$)、入射波高 $H_i=4 \sim 5$ cm の波について容量式波高計を用いて通過率 K_t (通過波高/入射波高) と Healy の方法による反射率 K_r を測定した。また、潜袋列型の構造を水底に固定した場合を長さ 20.5m、幅 80 cm、高さ 80 cm の二次元水路で、水深 $h=40$ cm において、 $kh=0.63 \sim 1.9$ (周期 $0.95 \sim 2.15$ 秒、波長 $1.33 \sim 4.0$ m)、入射波高 $H_i=3 \sim 4$ cm の波について通過率を測定した。

(2) 潜袋の基本構造

Fig. 2 に示すような、ゴム製の氷のう (膜厚 0.2mm)

* 正会員 大分工業高等専門学校 助教授
 ** 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木工学科
 *** 九州大学文部技官 工学部水工土木工学科

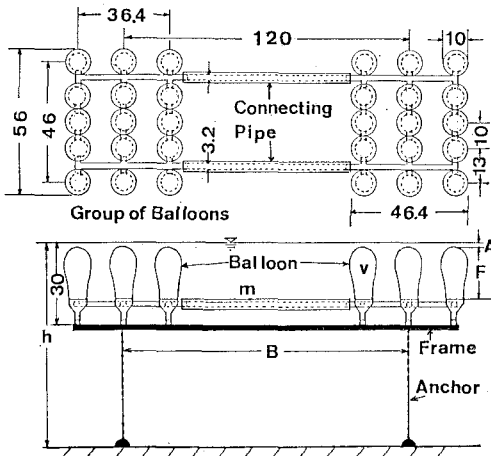


Fig. 2 System of Grouped Balloons (Floating Type) (length in cm)

を用いた潜袋を水路幅方向 ($R=56$ cm) に 5 個と水路長方向に 3 列とで 1 群とした潜袋 2 群を 2 本の中空管によって連通し、合計 30 個の潜袋を水平な固定構に取り付け、係留索によって水中に係留した潜袋群を基本構造とし、水深 $h=80$ cm、潜袋 1 個の空気量 $v=700$ cc、潜袋の高さ $F=20$ cm、潜袋天端の水深 $A=2$ cm、潜袋群の間隔 $B=120$ cm、連通管内径 $D=32$ mm を潜袋の基本条件とする。

(3) 実験方法

潜袋の基本構造と基本条件において、通過率 K_t に影響を与える構造と条件に対し、次のような 7 ケースについて、波の遮断効果を求めた。

Case 1 潜袋の材質はゴムの他にポリエチレン (膜厚 0.02 mm および 0.08 mm) を用い、潜袋構造は 3 対の潜袋列型 (7 個 2 列が 3 対の合計 42 個の潜袋) を水底に固定した。実験条件は $h=40$ cm、潜袋列の幅 $R=75$ cm、潜袋の高さ $F=16$ cm、潜袋天端の水深 $A=14$ cm、潜袋列の間隔 $B=100$ cm とする。

Case 2 潜袋の空気容量の最適値を求めるため、潜袋群型の基本構造の v を 300 cc, 500 cc, 700 cc, 900 cc とする。

Case 3 潜袋数および列数の影響を求めるため、1 列の潜袋群の水路幅方向の潜袋数 M を 2, 3, 4, 5, 7 とし、また、1 列の潜袋数 $M=5$ のときの列数 N を 1, 2, 3 とする。

Case 4 潜袋群の間隔 $B=120$ cm, 160 cm とし、水深との比を $B/h=1.5, 2.0$ とする。

Case 5 連通管の内径を $D=22$ mm, 32 mm, 50 mm とし、潜袋群幅 $R=56$ cm と 2 本の連通管径の和 ΣD との比 $m=R/2D$ を $m=6, 9, 13$ とする。

Case 6 潜袋群型構造の傾斜を $S=1/50, 1/40$ とする。

Case 7 潜袋の天端水深を $A=2$ cm, 10 cm, 20 cm とし、潜袋高さ $F=20$ cm との比を $A/F=0.1, 0.5, 1.0$ とする。

3. 実験結果と考察

(1) 膜質の影響 (Case 1)

弾性のあるゴムの代りに、柔軟なポリエチレン膜 (膜厚 0.02 および 0.08 mm) を潜袋の材質に用いた場合の波の通過率 K_t を示したのが Fig. 3 である。波の遮断

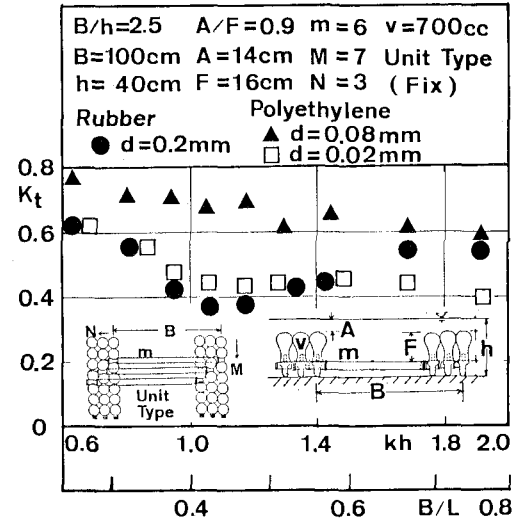


Fig. 3 Effect of the Material of Submarine Balloons and Thickness of Membrane on the Transmission Coefficients

効果は潜袋間の空気流通による潜袋の変形に基づくと考えられるが、Fig. 3 の結果から潜袋膜は弾性を持たなくても、柔軟な材質であれば良いことがわかる。これは潜袋に適当な空気量を与えると、潜袋下部に縦方向の“しわ”が生じ、この“しわ”の伸縮によって潜袋が変形していることによるのである。

また、Fig. 3 において、3 対の潜袋列構造を水底に固定した場合、 $B/L=0.4\sim0.5$ において K_t の最小値が 0.4 を示しているが、この結果は同様な条件で潜袋群型を水底に固定した結果とほぼ一致しており、潜袋構造の相違による波の通過率の変化は無視出来るので、本論文では潜袋群型構造による波の遮断について考察を進めて行く。

(2) 潜袋の空気容量の最適値 (Case 2)

潜袋 1 個に与える空気量 v を 300, 500, 700, 900 cc とした時、その最適値を求めた結果を Fig. 4 に示している。これによるとゴム製水のうの最適空気量 v は 700 cc で、 K_t の最小値は 0.2 となり、適量以下の空気量になると潜袋形状が小さくなり、潜袋が収縮するとき、潜袋の空気出入口が塞がれて空気の流通が阻害され、

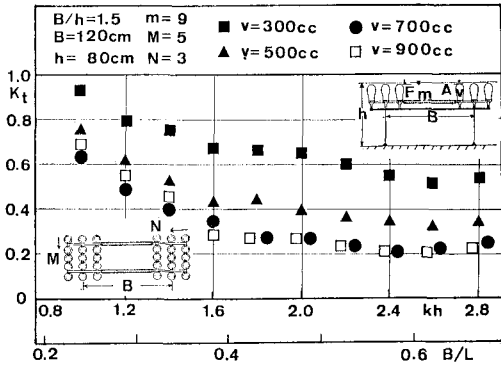


Fig. 4 Effect of Volume of a Balloons on the Transmission Coefficients

K_t の最小値は 0.3~0.5 となり、波の遮断効果が低下する。

(3) 潜袋数および列数の影響 (Case 3)

水路幅方向の潜袋数即ち、潜袋間隔を変えて波の通過率の変化を示したのが Fig. 5 である。潜袋径 R_b と隣

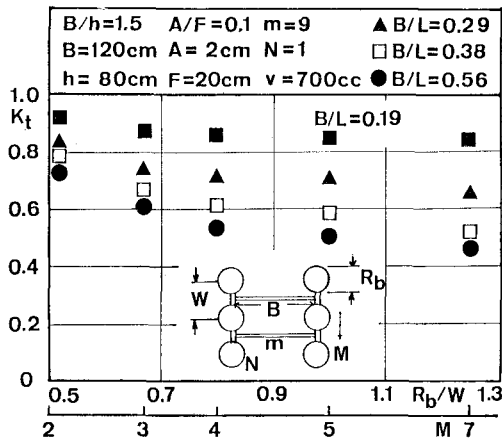


Fig. 5 Effect of Number of Balloons on the Transmission Coefficients (For Width of Wave Channel)

接する潜袋間隔 W との比 R_b/W が 1.0 前後で、 K_t の値がほぼ最小となり、潜袋数を減少させた $R_b/W < 1.0$ では K_t は大きくなる。潜袋個数は少ない方が経済的であるので、 $R_b/W = 1.0$ 、潜袋数 $M=5$ が適当と思われる。

次に水路長方向の潜袋群の列数を変化させた結果を Fig. 6 に示している。列数 $N=3$ のとき、 K_t は $B/L = 0.57$ で最小値 0.2 を示しており、また $B/L = 0.4 \sim 0.7$ で K_t は 0.3 以下となり、十分な波の遮断効果を示している。しかし、 $N \leq 2$ では K_t の最小値は 0.4 以上であり、波の遮断効果はあまり期待出来ない。

(4) 潜袋群の間隔の影響 (Case 4)

潜袋群の間隔 B を水深 h に対して、 $B/h = 1.5, 2.0$ と変化させた時、比 B/L による通過率の変化を示した

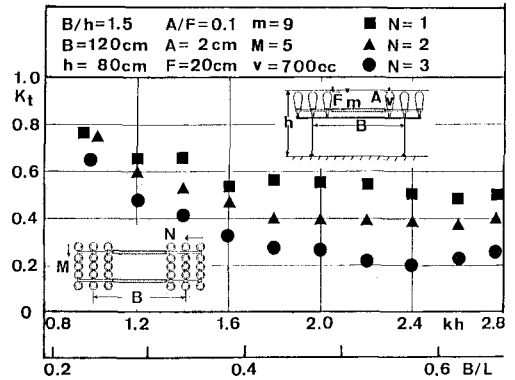


Fig. 6 Effect of Numbes of Balloons on the Transmission Coefficients (For Length of Wave Channel)

のが Fig. 7 である。これによると、 B/h が一定のとき、通過率 K_t は B/L の増加とともに低下し、 $B/L = 0.5 \sim 0.6$ において最小値を示し、その後 B/L の増加とともに K_t は漸増する。間隔 B は入射波長 L の 0.4~0.7

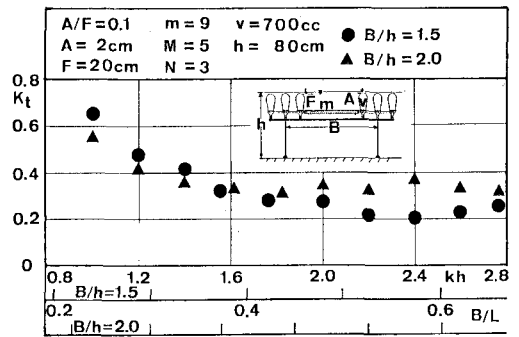


Fig. 7 Effect of the Distance between Connected Pair of Grouped Balloons on the Transmission Coefficients

倍が最適である。このことは B が波長の $1/2$ 付近では波の位相差による遮断効果が現われ、またその前後の L の場合、連通管の空気抵抗によるエネルギー損失により、同様な効果を示している。 $kh < 1.6$ の波長の長い波に対しては、間隔 B は水深の 2.0 倍以上にした方が良い事がわかる。

(5) 連通管の内径寸法の影響 (Case 5)

連通管の内径 D と管の本数は潜袋群間の空気流通の際の空気抵抗に関係すると考えられる。いま、管の本数を一定とし、連通管内径の和 ΣD と潜袋群の幅 R との比を $m = R/\Sigma D$ とする。 $m=6, 9, 13$ と変化させた時の K_t を示したのが Fig. 8 である。この潜袋構造に対しては、 $m=9$ の連通管を使用した時、空気流の抵抗により最も波の遮断効果が良いことがわかる。連通管内径の最適寸法は B/h の変化とともに変わり、連通管の長さが大きくなると内径も大きくなる傾向がある⁴⁾。

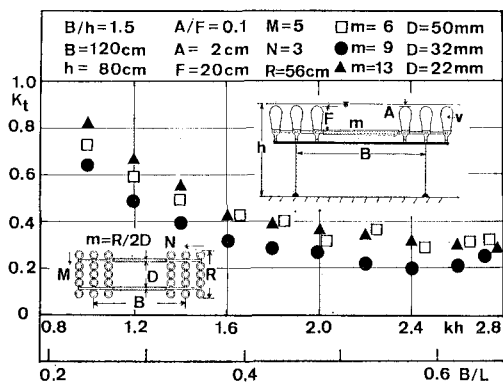


Fig. 8 Effect of the Size of Connecting Pipes on the Transmission Coefficients

(6) 潜袋構造の傾斜の影響 (Case 6)

Fig. 4 に示したように、潜袋群のそれぞれの潜袋の空気量が適量より少なくなると、潜袋相互の空気の流通が阻害されて、波の遮断効果が低下する。一方、過大の空気量を与えると、潜袋下部の縦方向の“しわ”がなくなり潜袋の変形は弾性のみで行われることになる。このような空気量の過不足は潜袋構造が傾斜した際に生じる。Fig. 9 には構造の傾斜が $S=1/50$, $1/40$ の時の

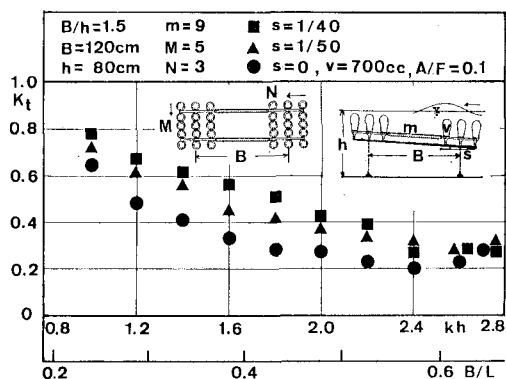


Fig. 9 Effect of Slope on the System of Submarine Balloons on the Transmission Coefficients

K_t を示している。この結果によると、 $S=1/40$ でも水平な場合に較べて、 $kh < 2.4$ でかなり通過率が大きくなり、2群の潜袋形状も著しく異っており、安定な形状を維持することが出来ない。このことから、潜袋群は水平に保つ必要がある。

(7) 潜袋の天端水深の影響 (Case 7)

Fig. 3 に示すように、潜袋構造を水底に固定しても波の通過率は最小値 0.4 を示すが、水深が大きくなると同程度の通過率を得るためには水底に潜袋を固定した場合、潜袋形状を大きくする必要がある。そこで、潜袋の浮力を利用して、潜袋天端を水面に近づけた結果を Fig. 10 に示す。図は天端水深 A と潜袋高 F との比 $A/F=0.1, 0.5, 1.0$ の場合について K_t と反射率 K_r を示

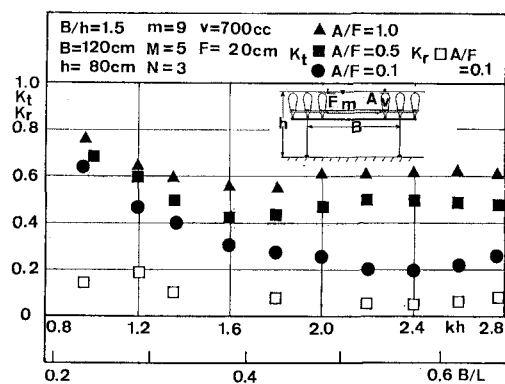


Fig. 10 Effect of Crown Depth on the System of Floating Balloons on the Reflection and Transmission Coefficients

している。これによると、潜袋が水面に最も近づいた $A/F=0.1$ の場合、 $kh > 1.6$ で K_t が 0.3 以下となり、最小値も 0.2 を示しており、潜袋群を水中に保留する方法によって、実用上十分な波の遮断を行うことが出来る。

また、 $A/F=0.1$ の時の波の反射率 K_r は 0.2 を超えることはなく、入射波のエネルギーに対する消滅エネルギーの比は $kh \geq 1.6$ で 0.9 以上で、入射波のエネルギーの大部分がこの装置によって吸収されることがわかる。

4. 結 論

以上の実験結果をまとめると次のことが明らかになった。

- (i) 潜袋の材質は柔軟であればよく、ゴムのような弾性は不要である。
- (ii) 潜袋の天端はすべて水面からほぼ同一の深さに在ることが必要で、そうでない場合には潜袋は安定な形状を維持することが出来ない。
- (iii) 潜袋群の間隔 B は入射波長 L の 0.4~0.6 倍が最適で、0.6 倍以上では K_t は再び漸増する。
- (iv) 潜袋群は水底に固定してもよいが、浮力を利用して潜袋天端を水面に近づけると効果的である。
- (v) このような潜袋群構造によって実用上十分な波の遮断を行うことが出来る。

今回は潜袋群の基本構造についてその有効性を確めたが、空気抵抗の問題、傾斜時の対策等解決すべきことも多いので、今後も実用上の問題を含めて研究する予定である。また、理論計算についても検討中である。

終りに本実験を遂行するに当り、財前光良君（現竹中土木（株））の協力を得た。ここに深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・佐々木富雄: 潜堤の効果に関する理論的研究 (I) 不透過潜堤, 第18回海岸工学講演会論文集, pp. 141~147, 1971.
 - 2) 井島武士・田淵幹修・湯村やす: 潜堤の効果に関する理論的研究 (II) 透過潜堤, 第19回海岸工学講演会論文集, pp. 177~183, 1972.
 - 3) 上床隆彦・井島武士・牛房幸光: 空気袋潜堤による波の制御 (1), 大分高専研究所報告, 第19号, pp. 109~117, 1983.
 - 4) 上床隆彦・井島武士・牛房幸光: 連通した空気潜袋群による波の遮断効果に関する実験的研究, 九大工学集報, 第56巻, 第1号, pp. 39~44, 1983.
-