

空気潜袋消波堤の消波効果に関する実験的研究

下村 嘉平衛*・沖 政 和**

1. ま え が き

浮消波堤は、着底式の防波堤に比べ、海水交流を阻害しないこと、設置水深が深くなっても工事費がそれほど増大しないこと、消波堤そのものの移動反復使用が比較的容易なことなどの利点を持っている。しかし一方、入射波を完全に消波することができないこと、入射波長が浮消波堤の幅に対して長くなるに従い、消波効果が低下していくことなどの欠点を持っている。

そのため浮消波堤の現在の用途は、長波長の波の来襲の可能性が少ない内湾において、特に養殖漁業などに使用されている例が多いが、今後、浮消波堤の利用用途の拡大を図るためには、長波長の波に対しても十分な消波機能を持つ浮消波堤の開発が不可欠である。

そこで、長波長の波に対して、十分な消波機能を持つ可能性がある浮消波堤の一つとして、井島ら^{1)~2)}が考案した空気を内蔵した多数の袋を持つ浮消波堤（以下、空気潜袋消波堤と言う）に着目した。

井島ら^{1)~2)}の水槽実験結果から空気潜袋消波堤の実海域での適用範囲を推定してみると、潜袋寸法と水深との比、潜袋寸法の実現可能な大きさなどから考えて、水深 10m 以浅の浅海域であれば適用可能と判断できると思われる。

従って筆者らは、水深 10m 以深での適用性（主に消波効果）を水槽実験により検討することにした。

2. 空気潜袋消波堤の消波原理

空気潜袋消波堤の消波原理を簡単に以下に示す。

水中に空気の入った2つの潜袋を設置し、両者の潜袋の中の空気が移動可能のように通気管で連通させておくと、静水面下においては、図-1 (A) のような形で潜袋は安定する。

ここに波が作用すると、水面の上下動による圧力の変化で、潜袋は周期的な変形運動を生じることになる。（図-1 (B) 参照）

ここで空気潜袋消波堤の消波機能は、以下に示す3つ

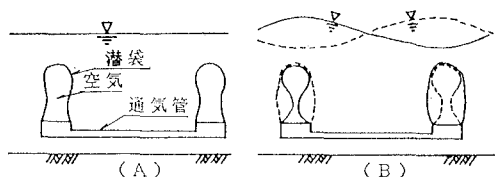


図-1 空気潜袋消波堤の原理

の要因より構成されていると考えられる。

- ① 空気潜袋及び付帯物が障害となり、入射波の進行を阻止する。（ただし、波長の長い波では効果は小さい。）
- ② 入射波による空気潜袋の変形運動により、通過波と逆位相の Radiation wave を発生させ、これと通過波を相殺する。
- ③ 空気潜袋の体積変化によって通気管内に発生した空気流のエネルギーを管内の摩擦などにより損失させ、入射波の持つエネルギーを減少させる。

これらのうち、前述した潜袋の変形運動は、②、③に関係しており、消波効果を良くする主要因は②であると思われる。

以上より、一方の潜袋の直上が波の山、他方の潜袋の直上が波の谷である場合に潜袋に働く水圧差は最も大きく、潜袋の変形運動が大きくなり、Radiation wave も大きくなるため潜袋の間隔は、入射波長の 1/2 とするのが効果的であることがわかる。

しかし、実海域の波長は不規則であり、潜袋の間隔を特定の入射波長の 1/2 としたのでは、それ以外の入射波長の時、良好な消波効果を得ることはできない。従って実際上は、3 以上の潜袋群を連結し、幅広い波長帯に対応できるようにする必要があると考えられている²⁾。

3. 実験方法

3.1 実験模型

水深 35m、対象最大波長 100m の海域を想定し、フルード相似則に基づき、模型縮尺を 1/10 とした。消波堤の幅 B （前後の潜袋群の中心間隔）は、対象最大波長の 1/2 とし、模型寸法で 5m とした。潜袋群は 3 とし、それぞれの中心間隔を 2.5m (B_1, B_2) とした。図-2 に実験に使用した模型を示す。模型は塩ビ管製とし、潜

* 正会員 工修 (株)間組 エンジニアリング本部

** 正会員 (株)間組 技術研究所

袋は厚さ 0.1mm のナイロン製とした。潜袋寸法は、現地寸法になおした場合でも実現可能となることを考慮し、直径 11.4cm×高さ 25cm (または 35cm) とした。係留索にはチェーンとワイヤロープ (φ4mm) を使用した。潜袋群と潜袋群の間の通気管に空気流を遮断できるようなバルブを付けた。また、潜袋の取付部の付近に取付けが可能な水平板 (900mm×950mm 2枚, 650mm×950mm 1枚) を用意した。

3.2 実験装置

実験は 2 次元規則波造波水路で行なった。実験水路および造波装置の諸元は以下に示すとおりである。

実験水路： 長さ： 120m
幅： 6m
深さ： 4m (水深 3.5m)

造波装置： 型式： 電動ブランチャー式 (規則波)
波長： 0.5m~10m
最大波高： 0.4m

なお今回の実験では、模型の寸法の関係から幅 6m の水路の 1 部を溝型鋼とコンクリート板を用いて、仕切って使用した。(図-3 参照)

3.3 実験ケース

潜袋の高さ (F)、潜袋の列数 (n)、水平板の有無、空気の移動の有無をパラメータとし、表-1 に示すようなケースを実験した。

模型をワイヤロープにより所定の水深に係留した後、潜袋内に所定の空気量を送った。潜袋 1 個当りの空気量

表-1 実験ケース一覧

実験 ケース No.	潜袋の高さ F (cm)	潜袋の列数 n	水平板の有無		空気の移動の有無	
			有	無	有	無
1	25	8		○	○	
2			○			○
3			○		○	
4		7	○		○	
5		6	○		○	
6	35	8		○		○
7				○	○	
8			○			○
9			○		○	
10		5		○	○	
11			○		○	

は、 $F=25$ cm の場合で 1800cc (潜袋の全容積の 70%)、 $F=35$ cm の場合で 2500cc (潜袋の全容積の 70%) とした。

実験した波の諸元は、入射波高 $H_0=10$ cm、入射波長 $L=2, 4, 5, 6, 7, 8, 10$ m である。

3.4 計測方法

計測項目は、波高と係留索に働く変動張力とした。計測機器の配置を図-3 に示す。波高の計測には、サーボ式波高計を用いた。変動張力は、最も造波装置に近い潜袋群に取付けた 2 本の係留索に、それぞれリングゲージ (容量: 30kgf) を取付けて測定した。

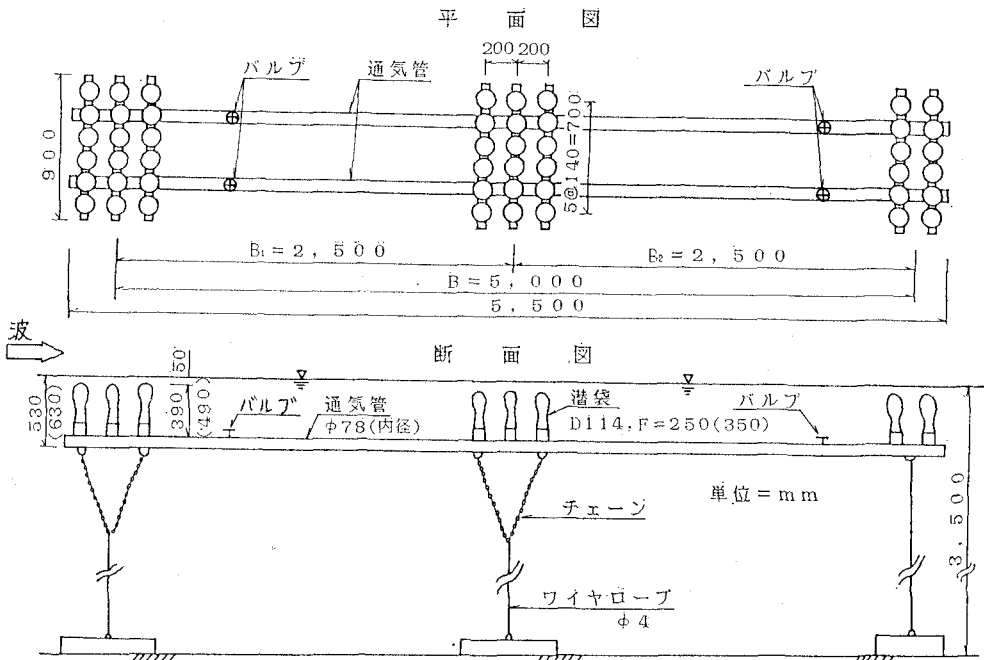


図-2 実験模型

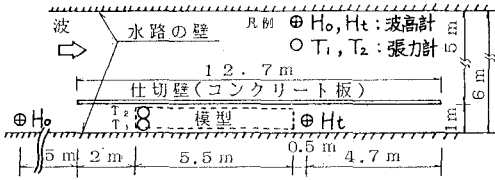


図-3 計測機器の配置図

4. 実験結果と考察

4.1 消波効果

(1) 共通的な傾向

一般に消波効果は、波高通過率 (K_t =通過波高/入射波高) という指標で表わされる。 K_t は通常 0 から 1 までの値となるが、一応 $K_t=0.5$ が消波効果を評価する目安となっている。図-4~図-6 に K_t と B/L (または h/L) の関係を示す。これらの結果の共通的な傾向は、 B/L (または h/L) が小さくなる (ここでは、 B または h を一定としているので、 L が大きくなる) に従い、 K_t が上昇し、 $B/L=0.7\sim 0.8$ 付近で K_t が極大になった後、一旦降下し、その後また上昇することである。

$F=25\text{cm}$, $n=8$, 水平板有, 空気移動有の場合 (図-4 参照) を例にとると、第1の潜袋群と第2の潜袋群の間隔 B_1 ($=2.5\text{m}$) の2倍の波長である $L=5\text{m}$ ($B/L=1$) の時、第1の潜袋群と第3の潜袋群の間隔 B ($=B_1+B_2=5\text{m}$) の2倍の波長である $L=10\text{m}$ ($B/L=0.5$) の時に $K_t\leq 0.5$ となり、消波効果が良いと判断できるため、2章で述べた空気潜袋消波堤の消波原理を良く証明しているものと思われる。

従って B_1 の2倍の $L=5\text{m}$ と B の2倍の $L=10\text{m}$ の中間の波長である $L=7\text{m}$ 付近で $K_t>0.5$ となっているのは、潜袋群間の水圧差が $L=5\text{m}$, $L=10\text{m}$ の時ほど大きくなり、従って潜袋の変形運動が小さいためと考えられる。よって B_1 , B_2 の割合を変え、例えば $B_1=3\text{m}$, $B_2=2\text{m}$ とすることで、極大値をある程度解消

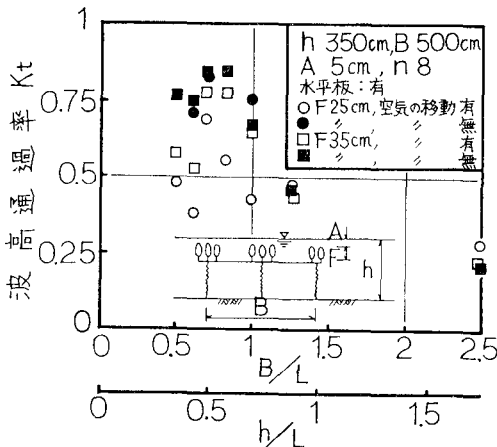


図-4 空気移動の影響

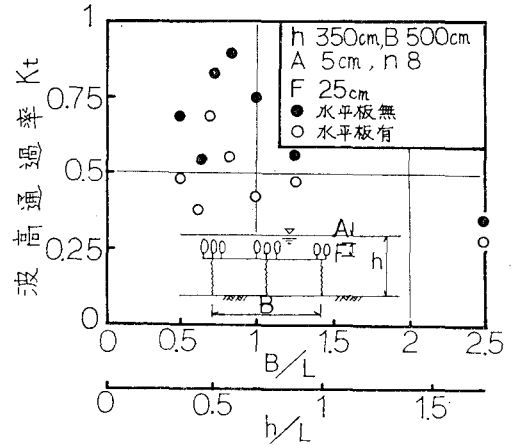


図-5 水平板の効果

することができるのではないと思われる。

(2) 空気の移動の影響

潜袋群間の通気管に取付けたバルブを閉じることにより、潜袋群間の空気の移動を無とした場合と、バルブを開けて空気の移動を有とした場合の K_t を図-4 に示す。

$F=25\text{cm}$ の場合、空気の移動有の時は、空気の移動無の時よりも、 K_t は平均で 0.27 低減する。同様に $F=35\text{cm}$ の場合では、 $B/L\leq 1$ の時、平均で 0.11 低減し、特に $B/L\leq 1$ ($L\geq 5\text{m}$) の時に K_t の低減の程度が大きい。よって $L\geq 5\text{m}$ の時は、空気の移動が消波効果を向上させる効果は大きいと思われる。

(3) 水平板の効果

$F=25\text{cm}$, $n=8$ の場合で、水平板有、水平板無とした時の K_t を図-5 に示す。

水平板有の場合は、水平板無の場合に比べ、 K_t が平均で 0.18 低くなり、特に $L\geq 5\text{m}$ の時に低減の程度が大きい。

従って、水平板を付けることは、 K_t を低減させる効

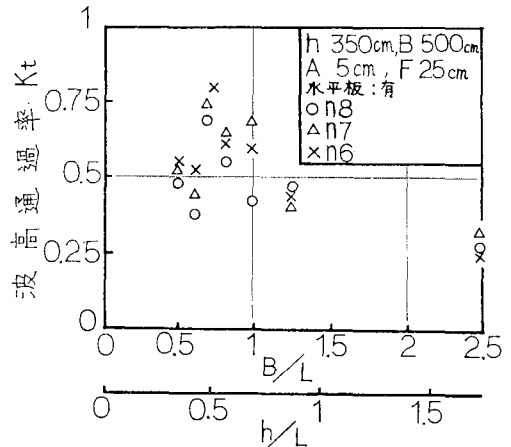


図-6 潜袋の列数 (n) の影響

果が十分にあると認められる。

(4) 潜袋の列数 (n) の影響

$F=25\text{ cm}$, 水平板有の場合で, n を 6, 7, 8 とした時の K_t を図-6 に示す。

これを見ると n が増加するに従い, K_t は低減することがわかり, $n=7$ と $n=8$ を較べると, $n=8$ の方が平均で 0.1 程度 K_t は低減する。

4.2 係留索に働く変動張力

空気潜袋消波堤の係留索には, 初期 (波が作用しない) 段階では, 潜袋や通気管の浮力が張力として作用している。そして波が作用した時には, 以下の 2 つの変動張力が働く。

① 空気の移動による浮力の変動張力: T_f

② 潜袋や水平板などに働く波力による

変動張力: T_w

係留索に働く初期張力や変動張力の関係を模式的に図-7 に示す。

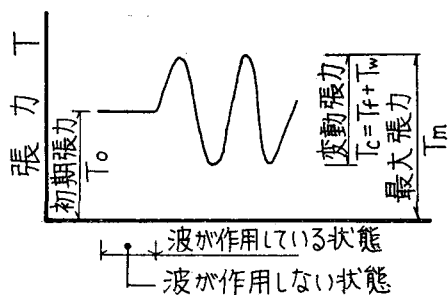


図-7 係留索に働く初期張力と変動張力

第 1 の潜袋群 (造波装置寄りの潜袋群) の 2 本の係留索に働く変動張力の最大値をそれぞれ T_{01} , T_{02} とし, その平均値を T_{0a} とした。図-8~図-9 に T_{0a}/H_0 と B/L の関係を示す。ここで T_{0a}/H_0 は, T_{0a} を入射波高 (H_0) で除したもので, 以下これを係留索に働く変動張力と言うことにする。

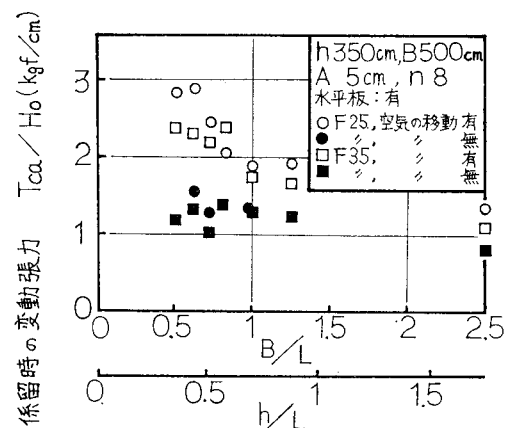


図-8 空気の移動の影響

(1) 空気の移動の影響

空気の移動が T_{0a}/H_0 に及ぼす影響を図-8 に示す。これによれば, 空気の移動有の場合では, B/L が小さくなる (L が大きくなる) に従い, T_{0a}/H_0 が大きくなるということがわかる。一方, 空気の移動無の場合には, この傾向はあまり顕著ではない。

(2) 水平板の影響

$F=25\text{ cm}$, $n=8$ の場合で, 水平板有, 水平板無の時について行った実験結果を図-9 に示す。

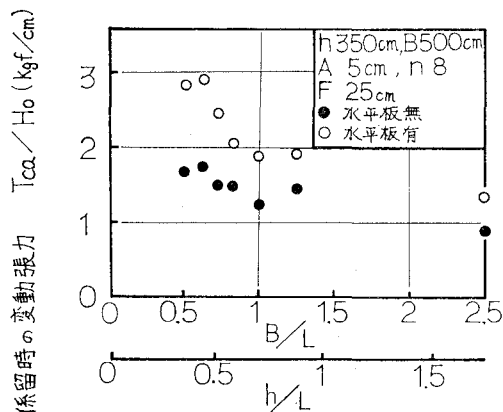


図-9 水平板の影響

水平板有, 水平板無ともに波長が長くなるに従って, T_{0a}/H_0 は増加する傾向にあり, 特に水平板有の場合に顕著である。

水平板有の場合は, 水平板無に較べ, T_{0a}/H_0 は平均で 0.8 kgf/cm 大きくなり, この増加分は水平板に働く揚圧力と考えられる。

(3) 消波効果と係留索に働く変動張力の関係

各波長ごとの K_t と T_{0a}/H_0 の相関係数を表-2 に示す。 K_t と T_{0a}/H_0 との間には, 負の相関関係が認められ, 特に, $L=8, 10\text{ cm}$ といった波長の長い場合に負の強い相関関係が認められる。

つまり, K_t が小さくなるほど T_{0a}/H_0 は大きくなるということである。 (T_{0a}/H_0 が大きい) = (空気の移動量が多い) = (K_t が低下する) ことを表わしていると思われる。

表-2 波高通過率 (K_t) と係留索に働く変動張力 (T_{0a}/H_0) の相関関係

波 長 L (m)	相 関 係 数 (r)
10	-0.925
8	-0.932
7	-0.795
6	-0.017
5	-0.752

5. ま と め

本実験の結果より、以下のことがわかった。

- ① 潜袋寸法を実現可能な範囲（ここでは現地の実寸法で直径 1.14m, 高さ 2.5m）とし、設置水深を 10m 以深とした場合でも、長波長の波に対して空気潜袋消波堤の K_t (波高通過率) は、ほぼ 0.5 程度となり、十分な消波機能を持つと予想される。

今回の実験結果からは、水深 35m, 波長 20~100m の海域において、直径 1.14m, 高さ 2.5m の潜袋寸法で、潜袋の列数 (n) が 8 列 (図-2 参照)、水平板を持つ空気潜袋消波堤の K_t は、ほぼ 0.5 程度となる。

- ② 空気潜袋消波堤の最も大きな特徴である、潜袋の変形運動 (空氣の移動) が消波効果の向上に寄与する程度は大きく、特に B/L が 0.5 と 1 付近の時に顕著である。つまり B/L が 0.5 または 1 の時に水圧差による変形運動が最も大きくなるため、変形運動によって発生した Radiation wave も大きく、有効に通過波と相殺するためと思われる。
- ③ K_t と T_{ca}/H_0 の間には、負の相関関係があり特に波長が長い時に負の相関関係は強い。

すなわち、(K_t が小) = (空氣の移動量大) = (T_{ca}/H_0 が大) となる。

従って K_t が小となる時、図-7 に示した係留索に働く最大張力 (T_m) も大となると思われる。

6. あとがき

今回の実験により、水深が深く、長波長の波に対する空気潜袋消波堤の消波効果や係留索に働く変動張力についてある程度明らかにできたと考える。

しかし、浮消波堤を設計する上で重要なファクターの 1 つである係留力の最大値については、実験した波高が浮消波堤の構造計算を行う際の設計波に相当するものではないため、十分把握できたとは言えない。

また、消波効果についても、すべての波長帯で $K_t \leq 0.5$ となるような消波堤の諸元について、今後とも水槽実験を含めた検討を行う必要があると考える。

上記以外の今後の課題として、次のような項目があげられる。

- ① 潮位変動に対する対応策の検討
- ② 空気潜袋の耐久性の検討
- ③ 実海域での施工性・消波効果の確認
- ④ 経済性の検討

最後に、この水槽実験を実施するにあたり、終始御指導をいただいた九州大学の井島武士教授、実験中に貴重な御助言や御協力をいただいた住友重機械工業㈱平塚研究所の永松課長、小保方主任、佐々木氏、高橋氏に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 上床隆彦・井島武士・牛房幸光: 空気潜袋群による波の遮断——実験による考察——, 第30回海岸工学講演会論文集, 土木学会, pp. 385~389, 1983.
- 2) 上床隆彦・井島武士: 潜袋堤の波遮断効果に対する潜袋系寸法の影響, 九大工学集報, 第58巻第2号, 1985.