

吸収型浮き消波工—マットレス—の消波効果

加 藤 重 一*・乃 万 俊 文**

1. 緒 言

おもに、摩擦作用によって入射波のエネルギー減衰をはかる浮き消波工としては、まずシート状の浮体を用いることが考えられる。しかしこれで、十分な消波効果を期待するには長大なシート長さを必要とするか、あるいはシートを短くして入射波とシート運動との位相をずらせるような機構、たとえば重錘を吊下げるなど³⁾の方法をとる必要がある。そこで著者らは同じく摩擦作用によってのみ入射波エネルギーを減衰せしめる浮き消波工として、波浪エネルギーの吸収を目的とする浮体について、ここではマットレス状またはその作用を期待しうる類似の浮体の消波機能および機構を検討した。この消波工は筆者らによる既報のポンツーン³⁾、バリヤー⁴⁾およびたわみ性浮き防波堤⁵⁾とは異なり（位相差応用による消波機構ではない）、浮体自身の固有運動周期をもたないので、ほぼ入射波運動に追従した運動を行なう。この場合繫留索によってけん引されると、入射波エネルギーの一部分はこの消波工内を通過することになり、したがって、power transmission theory を適用しうるように思われる。

その結果、相似関係を規定する吸収体の構成（たとえば填充密度）のいかにこの実験によって知ることを得、実用上、合理的に設計しうることを示そうとするものである。

2. 実験の方法

(1) 造波水槽

実験に使用した造波水槽は、長さ 21.6 m、幅 1.8 m、深さ 2.0 m のコンクリート製で、一方の側面に幅 10.0 m、高さ 2.0 m のガラス張り観測部分がある。この水槽の一端にフラップ形式の造波機（5Ps）を取り付けている。また水槽の両端には波の反射を防ぐためそれぞれ消波装置を取りつけてある。

(2) 模 型 波

実験に用いた模型波の諸元は、入射波高 $H_0=4\sim 38$ cm、波長 $L=1.50\sim 4.20$ m で、波形勾配 $H_0/L=0.020\sim 0.110$ の範囲のものである。波浪の測定には、抵抗線

式波高計と容量型波高計を併用した。

(3) 模 型

この実験では、マットレス状の浮体を用いた。

成型のための枠として、目合い 30 mm および 26 mm 線条の太さ 4 mm および 3 mm、比重 0.95 のポリエチレン亀甲網（商品名ネトロン）をフトン簾のように組み立て、この中の填充物として包装用緩衝材またはプラスチック球を用いた。このマットレスの1個の大きさは、長さ 1.0 m、幅 42 cm、高さ 20 cm のものおよび長さ 1.0 m、幅 175 cm、高さ 40 cm のものとし、これらを組み合わせて所要の模型寸法とした。

填充物として用いた緩衝材は、酢酸繊維素毛（商品名サンフレックス）で、その主な規格は次のようである。

長さ 15~40 cm（平均 32 cm）、幅 1~2 mm（平均 1.5 mm）、厚さ 0.2 mm、1本当たり平均体積 0.096 cc、1本当たり平均表面積 10.886 cm²、比重 1.44、引張強さ（縦横とも）9 kg/cm² 以上

またプラスチック球は、未重合ポリプロピレンの中実球で、平均半径 6.08 cm、1個当たり平均体積 940 cc、比重 0.862 のものである。

(4) 実験方法

マットレスの大きさは全高 $t=0.20\sim 0.60$ m、全長 $l=1.0\sim 3.0$ m に変化させ、また網枠への材料の填充等は表-1のように行なった。

表-1

材 料	填充密度	間げき率	充 填 物 表 面 積	備 考
サンフレックス	52.8kg/m ³	96.33%	415.6m ² /m ³	
	26.4kg/m ³	98.17	207.9	
ボ ー ル	584.3 個/m ³	59.06	27.1	0.72m ³ に 420 個

また緩衝材を填充したマットレスの水中深さの調整は発泡スチロールの薄片を網枠に取りつけて行ない、水面上部高 t_1 の全高 t に占める割合を $t_1/t=0\sim 0.40$ に変化させた。

マットレスは入射方向の端部を $\phi 9$ mm、長さ 2.5 m の化繊ロープにて水槽底から繫留した。

水深 h は実験を通じて常に 1.5 m とした。

* 正会員 農博 農業土木試験場水産土木部研究室長

**正会員 農業土木試験場水産土木部

3. 実験結果とその考察

(1) 浮きマットレスの消波機構について

このマットレス消波工の消波機構としては、マットレスの間接きを満す水分子の摩擦による入射波エネルギーの吸収を期待するものである。

摩擦による入射波エネルギーの吸収を期待する消波工の効果を論ずるにあたっては、入射波による浮体の運動において、位相差を生じたり、そのために生起する反射率に変化を生ぜしめないことが大切である。換言すれば、そのマットレスのもっている摩擦面積が入射波の条件によって、あまり変化しないことが要求される。このことは、マットレスにポンツーンやバリアーのような固有運動周期がなく、入射波に追従することが特徴で、しいていえば浮き繋留、固定繋留のいかなを問わず、消波機構は同様であるともいえる。しかしながら、厳密には多少の位相差が生ずる。このことがらを知るために、消波効果、 H_T/H_0 と波形勾配 H_0/L との関係をグラフに書けば図-1 のようである。

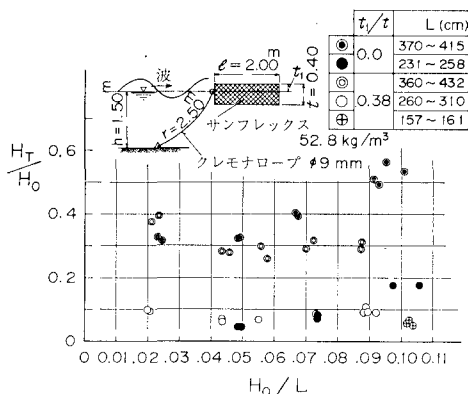


図-1 透過率と波形勾配の関係

図-1 によれば、水面上部の高さ $t_1=0$, すなわち、 $t_1/t=0$ の場合 (●印) と $t_1/t=0.38$ の場合 (○印) との比較において明らかなように、●印は波形勾配の大きくなるほど大きくなり、○印は波形勾配にあまり関係がないようである。その理由は、前者、 $t_1/t=0$ の場合は越波が多く、後者は少ないためと思われる。この傾向はマットレスの長さがさらに大となっても、プロットの勾配が変化するのみである。またここでは、横軸に波形勾配 H_0/L をとったが、これは越波量に相関するものと思われるからである。

この場合の運動状態を観察すると、入射の度ごとに t_1 が小さくなる。すなわち、沈んでいく傾向がある。

(2) 消波効果に關係する諸要因について

消波効果に影響をおよぼす要因としては、マットレスの長さ、厚さ (水中部の高さ)、填充密度、填充材料の物理的性質などがあげられる。

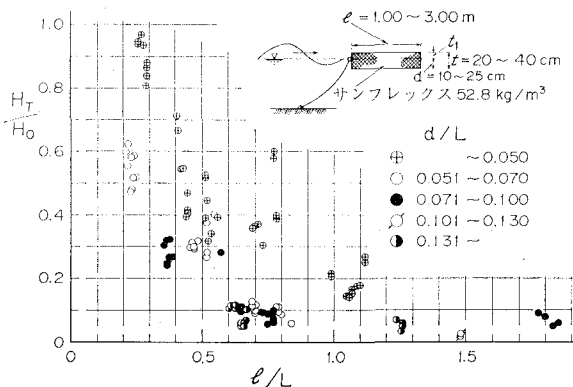


図-2 透過率と l/L の関係

消波工の長さ l が消波効果におよぼす影響をみるため縦軸に同様、消波効果としての H_T/H_0 , 横軸に l/L をとり、 d/L をパラメーターにとって表わすと図-2 のようになる。これは、サンフレックス填充密度 52.8 kg/m^3 の場合であるが、図において消波効果の現われ方はパラメーター d/L に大きく影響されるが、いまこれを一定とした場合は、 l/L が大きくなるにつれて消波効果は大きくなる。そのあらわれ方は、この図だけからははっきりしないが、直線的でなく指数関数的に変化するようである (図-2, ⊕ および ○ 印)。

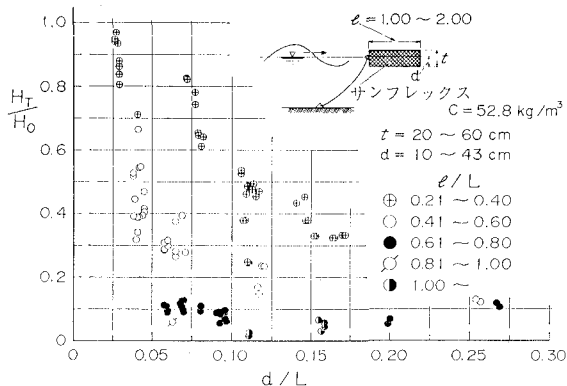


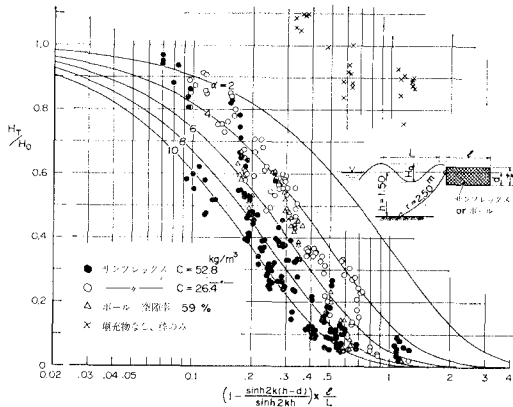
図-3 透過率と d/L の関係

次に、水中深さ d が消波効果におよぼす影響をみるため縦軸に同様 H_T/H_0 , 横軸に d/L をとり、 l/L をパラメーターにとって表わすと、図-3 のようになる。これもサンフレックス填充密度 52.8 kg/m^3 の場合であるが、この場合もパラメーター l/L によって消波効果は大きく影響されるが、これを一定とした場合は d/L が大きくなるにつれて消波効果は大きくなる。この傾向、も指数関数的であることがわかる (図-3, ⊕ および ○ 印)。

(3) 消波効果について

すでに述べたように、この種、摩擦作用によってのみ消波効果を期待する波浪エネルギー吸収型の消波工の消

波効果は、一般に指数関数的に表わされる。一方、消波機構の面より、power transmission theory の適用が可能であると思われる。そこで簡単な計算* の結果、縦軸に、 H_T/H_0 、横軸に $\left\{1 - \frac{\sinh 2k(h-d)}{\sinh 2kh}\right\} \cdot \frac{l}{L}$ をとり、パラメーターとして材料の物理的性質および填充密度を示す量、 α をとって示すと図—4 のようになる。図中の細実線は、材料および填充密度によって異なる抵抗係数、 α にそれぞれの値を入れた計算値である。



図—4 透過率と $\left(1 - \frac{\sinh 2k(h-d)}{\sinh 2kh}\right) \times \frac{l}{L}$ の関係

図—4 をみれば多少のばらつきはあるが、大体において power transmission theory で説明できるようである。これらのばらつきは、越波の影響であろう。越波現象は、入射波が大きくなるにつれて大きくなり

$\left\{1 - \frac{\sinh 2k(h-d)}{\sinh 2kh}\right\} \cdot \frac{l}{L}$ の値の小さい範囲において影響をおよぼしていた。

充填物が緩衝材の場合、填充密度の差による消波効果

*水面から鉛直距離 d だけ水中に没した物体の間隔を水平距離 x だけ通過すると、波は d および x に応じてその運動エネルギーを失うであろう。いまこれを一波長 λ がもっているエネルギーについて考えると、

$$\frac{d\tilde{E}}{dx} = -\alpha \tilde{E}_d \dots\dots\dots (1)$$

$$\tilde{E} = \frac{wkH^2}{8 \sinh 2kh} \int_{-h}^0 \cosh 2k(z+h) dz \dots\dots\dots (2)$$

$$\tilde{E}_d = \frac{wkH^2}{8 \sinh 2kh} \int_{-d}^0 \cosh 2k(z+h) dz \dots\dots\dots (3)$$

ここに α は摩擦係数、 $\tilde{E}$ は水面から水底までの水柱に含まれる運動エネルギーを 1 波長当り平均したもの、 $\tilde{E}_d$ は同じく水面から d までのものである。

(2) 式より

$$\frac{d\tilde{E}}{dx} = \frac{wk}{8 \sinh 2kh} \int_{-h}^0 \cosh 2k(z+h) dz \cdot 2HL \frac{dH}{dx} \dots\dots\dots (4)$$

(3) 式および (4) 式を (1) 式に代入して、マッレスの長さ l の区間で積分すると次式を得る。

$$\frac{H}{H_0} = e^{-\alpha/2 \left\{1 - \frac{\sinh 2k(h-d)}{\sinh 2kh}\right\} \cdot \frac{l}{L}} \dots\dots\dots (5)$$

の変化は、この実験の範囲では、填充密度に応じて効果はよくなっている。つまり 図—4 において○印は 26.4 kg/m³、●印は 52.8 kg/m³ と、それぞれの填充密度を表わしているが、それぞれの抵抗係数、 α をグラフより値を読みとると、前者で 4.5、後者で 9.0 と填充密度の比になっている。

ボールの場合は power transmission theory の適用がやや困難であろう (図—4、△印)。その理由として、入射波長に比しボールの径が大きい場合は、ボールによる反射が大きく、また、波長の大きい波に対してはボールが水分子軌道に応じた運動を行ない、いずれもマッレスが入射波に対して摩擦作用を生じないからである。

以上のように、マッレスの消波機構を摩擦による入射波のエネルギー吸収にのみ期待しうる場合は、図—4 に示したごとく、 α を適当にきめることによって、消波効果の表示を一般化することができるものと思われる。このことは、既報^{2), 5), 6)} シート型消波工や位相差応用によるたわみ性のものにおいて、大きな問題として残った現地対応時の相似関係がこの場合は比較的容易に見出すことができるわけである。

4. 結 論

1. 摩擦作用を主とした波浪エネルギー吸収体による消波効果は、填充密度および填充物の物理的性質等を示す抵抗係数、 α をパラメーターにとることによって、その表示を一般化しうる。

2. すなわち、波浪エネルギー吸収体消波工は power transmission theory を適用して解析される。つまり、固定バリアー壁の構成を大きな間げき率と長さの積に分解したものと同みなしうる。

3. 現地実用化にあたっては、

- 1) このことがらをできるだけ適用しうるよう、填充または構成材料の選択、造構が必要である。
- 2) 水面に設置する位置は、 t_1/t の値を適当にとること。

3) 填充材料についてはその物理的性質を十分に検討すれば、図—4 により合理的に設計しうる。

付記：現在、この種浮き消波工の実地実験として滋賀県山下湾および、宮城県志津川湾において、実施中であり、前者では漁網を縦に数十枚並列し、波浪エネルギー吸収体として作用せしめうる構造の多重網について消波効果の照査と強度試験を行なっている。

参 考 文 献

- 1) Wiegel, R.L.: Oceanographical Engineering, Chapter VI, Effect of Structure on Waves, pp. 137~141, 1962.
- 2) 加藤・乃万・萩野：シート型浮き防波堤の消波効果について (II), 第 17 回海岸工学講演会論文集, pp. 141~144, 1970.
- 3) Kato, J. et al.: Damping effect of floating breakwater, Proc. A.S.C.E., Vol. 95, No. WW 3, pp. 337~344,

1969.

- 4) 加藤・上北 : Double spaced barrier type 浮き防波堤の消波効果について, 農業土木試験場報告第8号, pp. 259~266, 1970.
- 5) 加藤重一・乃万俊文 : 球形浮き消波工の消波効果に関する実験的研究, 昭和45年度農業土木学会大会講演会講演要旨, pp. 143~144, 1970.
- 6) 加藤・乃万・萩野 : シート型浮き防波堤の消波効果について, 第16回海岸工学講演会講演集, pp. 297~299, 1969.
-