

多翼式透過性防波堤の水理特性に関する実験

佐藤 秀輝*・笹嶋 博**・辻 安治***・永末 英之****

1. ま え が き

近年、船舶の大型化に伴い、港湾が水深の深い沖合いに展開されるようになってきた。そのため、防波堤のような外郭施設の設置水深はますます深くなり、建設コストの増大を招いてきている。また一方、環境の保全や保護に対する議論が活発になり、それに伴い、港湾内の水質を良好に保つためや改善するための方策が強く要請されるようになってきている。これに対応するためには港内の海水交換を促進するように、防波堤の平面的な配置に対する工夫や新たな透過性防波堤を設置することが重要になっている。このような状況の下では、防波堤として波の遮蔽機能を十分に有し、建設コストが安く、海水交換性のよい構造物の開発が望まれている。そこで本研究では、このような防波堤構造として多翼式透過性防波堤を新たに開発し、これに関して水理模型実験を行い、波の反射や透過、消波特性を調べた。多翼式透過性防波堤とは、図-1に示すように鳥や航空機の翼とほぼ同じような形状のものを多段に配置し、波の透過部を次第に縮小することによって、波動運動を水平流れに変換し易くした防波堤である。

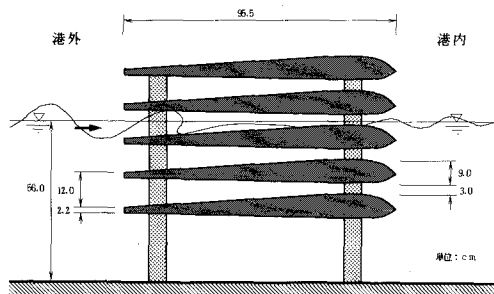


図-1 多翼式透過性防波堤構造図

2. 構造モデルの特徴

防波堤は、来襲する波を遮蔽して船舶が安全に荷役・係留できるように港内を静穏にするために建設される。しかし、波を完全に遮蔽すると、堤体にはそれだけ大きな波力が作用するとともに、背後の港内の海水交換を悪くする恐れがある。特に、奥深い港湾では海水交換に十分配慮しなければならない。

海水交換を起こさせるためには、波による水の楕円運動を水平運動に変換し、流れとして港内に流入させ、流入した海水が流出しにくい状態にするのが効果的だと考えられる。波の楕円運動を水平運動に変える方法として、多段の水平版構造のものが考案されているが、(小島ら, 1990; 青山ら, 1988; 田淵ら, 1987; 服部, 1975) この構造では水平流れとなって流入した水塊は波の谷が来襲したときにそのまま流出し易い欠点があるため流入した水塊が流出しにくい構造にする必要がある。

そこで、図-1のように翼型構造の版を多段に配置し版の間の隙間を漸次縮小することによって、水平流れを増大させるようにした。さらに、波の谷が来襲したときの戻り流れを抑えるために、港内側では急激に隙間を広げている。ただし、水平流れによる剝離が生じないように滑らかに広げている。

波力については、水平波力を小さくするように版構造とし、上下方向の揚圧力に耐えるように翼型構造として版を厚くしている。

3. 実験装置およびその方法

(1) 造波水路

実験に用いた造波水路は、図-2に示すような長さ41 m、幅0.8 m、高さ1.25 m~0.95 mの鋼製両面一部強化ガラス張り造波廻流長水路であり、造波機は、ピストン式不規則波造波装置を用いた。

(2) 計測器

波高の測定は容量式波高計を用い、堤体模型の前後に設置した。模型前面の波高計としては13.5~80 cm間隔に離れた2台を用いて波形を同時測定し、入・反射波分離計算によって模型堤体の反射率を求めた。模型背後の

- | | |
|------------|---|
| * 正会員 | 運輸省第四港湾建設局熊本港工事事務所次長(元運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所建設専門官) |
| ** 正会員 工修 | 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所長 |
| *** 正会員 工修 | 運輸省第三港湾建設局高知港工事事務所長(元運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所次長) |
| **** | 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所設計第5課長 |

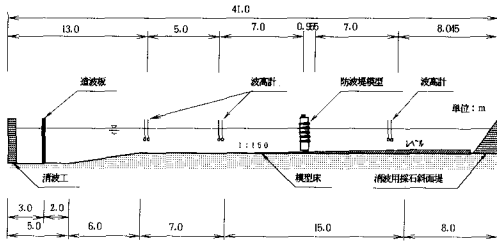


図-2 実験装置の全体配置

波高計では伝達波高を測定し、波高伝達率を求めた。

(3) 模 型

多翼式透過性防波堤の模型は、図-1に示すように水平翼の5段式で、9 mm 厚のパネル合板のフレームを2 mm 厚のベニヤ板で翼状に覆った木製の水平翼を支柱板4枚で固定したものである。水平翼の諸元は、翼幅0.955 m、長さ0.8 m、最大翼厚9 cm、翼先端厚2.2 cmである。水平翼取付は、間隔12 cm、先端間隙9.8 cm、最小間隙3 cmである。

(4) 波 の 諸 元

実験には、Bretschneider・光易型の不規則波を用いた。実験に用いた不規則波の有義波諸元を表-1に示している。表-1に示すように実験には、0.86 sの短周期から2.8 sの比較的周期の長い波まで用い、周期の変化による伝達率や反射率の変化を調べた。2.8 sと1.8 sの波では波高を変化させ、波高の影響を調べたが、他の周期では波高は大きく変化させなかった。

表-1 実験諸元

水 深 h (cm)	周 期 T (s)	波 高 H (cm)
56	0.86	4.60
		6.00
	1.80	6.00
		12.00
		15.00
		6.10
	2.80	12.00
		15.00

(5) 実験方法

図-2に示すように、模型堤体設置前に造波板から13 mの位置と造波板から25 mの模型堤体設置位置の2箇所に波高計を設置して波高検定を行うとともに模型堤体設置後に造波板から13 mの位置における波高計で入射波高を調べた。周期1.8 sと2.8 sの反射波高は、模型堤体の前面7 m、周期0.86 sと1.2 sは、堤体の前面2 mの

位置で測定した。模型堤体よりの反射波高は合田・鈴木による入、反射波分離計算によって算出した(合田, 1977)。周期1.8 sと2.8 sの透過波の波高は模型堤体の背後7 m、周期0.86 sと1.2 sは模型堤体の背後2 mの位置で測定した。

4. 実験結果と考察

図-3は、相対水平翼幅比(B/L)と波高伝達率 K_T の関係を示すものである。今回の実験では同一の周期で波高を変えて実験を行っているが、図-3でわかるように、波形勾配によってほとんど変化しておらず、伝達率には波高の影響が小さいことがわかった。これは、翼型版の間隔が狭く波高が小さくても波が碎波しているためだと考えられる。

波高伝達率 K_T は、相対水平翼幅比(B/L)が小さくなるほど、つまり周期が長いほど、増大する傾向を示している。相対水平翼幅比が0.83の時に0.13程度、0.46の時に0.25、0.26の時に0.40程度、0.15の時に0.65程度となっており、周期が長くなるほど伝達率は急激に大きくなっている。これは、短周期の波では、静水面付近の版にて空気を巻き込んだような碎波を起こしており、碎波状況が生じることによる影響だと考えられる。本模型では水底と最深翼版での隙間が広いため長周期はこの隙間を通して港内側に侵入しているものと考えられる。そのためこのような翼型防波堤は、短周期に対して効果が高いと考えられる。

図-4は、相対水平翼幅比(B/L)と反射率 K_R の関係を示すものである。反射率 K_R は、入射波波形勾配の違いによる影響は少なく、相対水平翼幅比(B/L)が0.26の時に0.46をピークにこれより大きくても小さくても反射率は小さくなっている。つまり、反射率は0.46以上にはならないことを示している。このように多翼式透過性防波堤では反射率が $B/L=0.26$ 付近でピーク値を示しているため、反射率を抑える構造物としても有効であることがわかる。

図-5は、相対水平翼幅比(B/L)とエネルギー損失率 $K_L^2(=1-(K_T^2+K_R^2))$ の関係を示しているものである。エネルギー損失率 K_L^2 は、相対水平翼幅比(B/L)が大きくなるほど増大する傾向を示しており、相対水平翼幅比(B/L)0.26以上で0.6以上と高い値を示している。これは、入射してきた波が多段の水平翼によりそれぞれの透過部に分断され、透過部の断面縮小により水粒子の運動が水平運動に変わり、最も間隙の狭い部分から水が噴流のように流出した際、エネルギーを損失するものと考えられる。

写真-1は、ビデオ撮影によるもので多翼式透過性防波堤内での波浪の変化状況を示すものである($T=1.8$

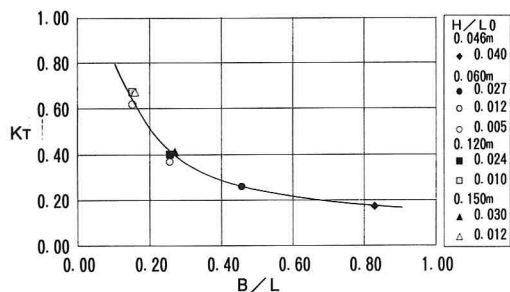
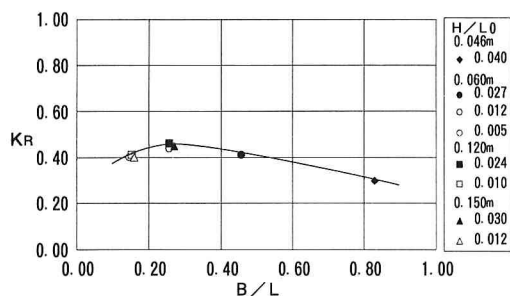
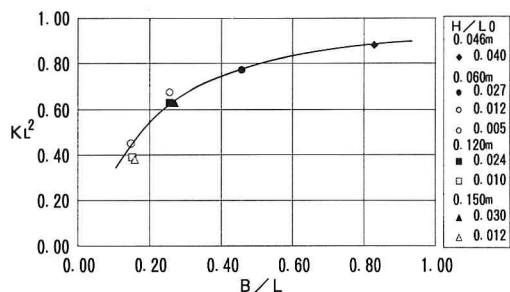
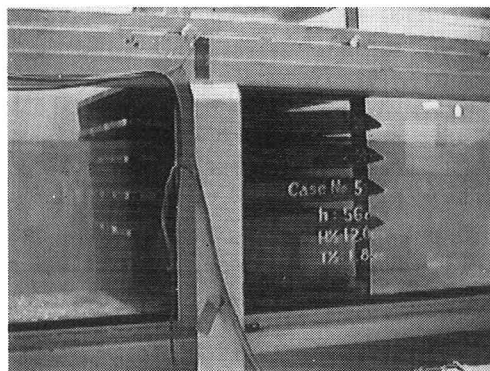
図-3 相対水平翼幅比 (B/L) と波高伝達率 K_t の関係図-4 相対水平翼幅比 (B/L) と反射率 K_r の関係図-5 相対水平翼幅比 (B/L) とエネルギー損失率 K_t^2 の関係

写真-1 多翼式透過性防波堤堤内での波浪の変化状況

5. 結 論

① 波高伝達率は、 B/L が大きくなるほど小さくなり、 $B/L > 0.4$ では 0.3 以下になる。

② 反射率は、 $B/L = 0.25$ 付近で 0.43 程度の極大値になり、 B/L がこの値より大きくても小さくても、この極大値より大きくなることはない。多段の水平版のように大きく反射率が変化する事がないという特性は、透過部の高さを暫時縮小したことによる水平翼形状の効果である。

③ 反射率及び透過率ともに周期が同じであれば、波高に関係なくほぼ同じ値になる。 $B/L > 0.4$ では透過率は 0.25 以下であり、反射率も 0.42 以下にすることができる。

④ 非常に周期の長い波については、透過率が大きく、波をそのまま通過させる効果があり、引き波時には短い距離で大きく縮流するため、内水の流出を妨げており、海水交換の面からは非常に有利な構造物である。

6. あとがき

多翼式透過性構造は、さらに実験を続けるものであるが、今後の研究課題の主要なものとしては、以下の通りである。

水平翼の最適な形状や取付間隔等について、今後の研究で解明する必要がある。また、今回の実験では行っていないが、多翼型防波堤に作用する波力、特に各段の翼版に働く揚圧力については、翼版の設計上重要であり、今後実験的に究明することが必要である。

多翼式透過性構造を構成する部材の挙動および部材に発生する応力について、今後の研究で解明する必要がある。

本論文の取りまとめにあたり、ご指導をいただいた運輸省港湾技術研究所高山司水工部長、また、実験やデータ整理に際してお手伝いをいただいた運輸省第四港湾

s, $H1=12$ cm, $h=56$ cm)。このときの波の変化状況は、上から 2 段目の水平翼上においては、水塊の波動運動が急激に崩れ、水塊が水平翼上を流れとなって遡上して一部が最小間隙部を越えて堤内側に越流するが、残りは堤外側に戻り流れとなる。また、3 段目の水平翼上においても、2 段目と同様の現象を示すが、引き波時に堤内側の水塊が最小間隙部を越えて堤外側に戻ることはなく次の波の来襲で堤内側に押し出される。なお、4 段目及び 5 段目の水平翼上においては、最小間隙部から堤内側への流れがたえず生じている。このことは、水平翼の堤内側の形状が、間隙を急激に狭小しているため、引き波時に短い距離で大きく縮流する事から、内水の流出を妨げるものと考えられる。

建設局下関調査設計事務所の佐野喜久雄，中山政勝両係長，宇山雪正，中島謙二郎両工事専門官，菅高德，大瀬信一，立石義博各技官に謝辞をあらわします。

参 考 文 献

合田良実 (1977): 港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，237 p.
小島治幸・井島武士 (1990): 没水平板の消波特性と波分裂によ

る波浪制御効果，海岸工学論文集，第37巻，pp. 594-598.
青山哲也・泉宮尊司他 (1988): 没水平版による波浪制御法に関する基礎的研究，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 507-511.
田淵幹修・木原力他 (1987): 水平版式防波堤の水理特性に関する研究，第34回海岸工学講演会論文集，pp. 482-486.
服部昌太郎 (1975): 水平版式透過性防波堤の波高伝達，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 513-517.
