

円柱杭型消波構造物の反射率及び 透過率について

浦 島 三 朗*

Reflection Coefficient and Transmission Coefficient by Vertical Circular Cylinders

Saburo URASHIMA*

要 旨

本消波構造物は、水路内に多数の円柱杭を波の進行方向にも千鳥配列したものである。実験により2点の同時波形記録から消波構造物の反射率及び透過率を推定している。実験結果から密に配置した構造では透水堤の特性に傾向が似ている。また粗に配置した構造では透水壁型堤の特性に傾向が似ている。

Abstract

The experimental wave energy dissipating structure comprise many vertical circular cylinders in a plane. These cylinders is arranged in a staggered shape with proper separations. The reflection coefficient and transmission coefficient are estimated from two simultaneous wave records. The experiment of these coefficients suggest that these cylinders characteristics with narrow space agree with upright structure characteristics of pervious layer, these cylinders characteristics with wide space agree with characteristics of pervious wall structure.

1. ま え が き

透水型の消波構造物は、反射波を抑えるとともに、越波および透過による港内透過波を許容最小限に抑え、港内外の海水交換をさせるという利点がある。このような点から海域の水質保全が重要な課題となっている近年、実際の港湾においても透水型消波構造物が採用され計画・施工されている。円柱などの多柱杭を並べた構造も、この種の透過性構造物の一つの形式である。多柱列を波の進行方向に複数列並べた複数列多柱杭構造物は、複数列の透過性鋼管防波堤や栈橋にその例が見られ、また消波と漁礁を兼ねた構造物の基本的な形としても考えられている。したがって複数列多柱

杭構造物の反射率や透過率および波力などを調べることは、この種の構造物を設計する際の基礎資料として重要であると考えられる。

この種の研究は、榎木・岩田¹⁾や萩原²⁾、角野³⁾らによって実験的にまた理論的に研究がされている。しかし、萩原²⁾、角野³⁾の研究はスリット壁などの透水壁を多柱列に置きかえる考え方であり、したがって多柱列と多柱列の間を遊水部として考え比較的大きな距離をとっている。また多柱列も2重、3重の列数で実験を行っている。榎木・岩田¹⁾の研究も基本的には前者と同じであるが、多柱列を波の進行方向に対して5列までの実験を行っており、さらに開口比も大きな開口比までの実験を行っている。しかし複数列多柱杭構造物の特性を十分に明らかにされているとはいえない。また理論的な考察においても3列の構造物ま

* 助教授 土木工学科

では比較的良好に実験値と適合するが、それ以上の列数の構造物では適合性が良くないと報告している。

そこで、本研究では、柱を円柱として、列数を比較的多くし、多柱列間の間隔を比較的小さくした密集した円柱群の複数列多柱杭構造物について実験を行い、その反射率・透過率の特性について調べたものである。

2. 実験装置および実験方法

実験は図-1に示すような長さ23m、幅0.6m、高さ1.0mのピストン型の吸収式不規則波造波装置が設置されている片面ガラス張りの水平底の二

次元造波水路を用いて行った。造波装置の制御は造波板による再反射を抑えた吸収式制御と造波板が一定の振幅で動く位置制御がある。本実験においては、すべて吸収式制御として行った。水路末端にはビーチ型消波工、また造波板背後にはヘチマロンの消波工を設けている。水深は $h=50\text{cm}$ と一定にし、波はすべて規則波で行った。また波高計には容量式波高計を用いている。入・反射波および透過波の波高は構造物前後にそれぞれ2本の波高計を取り付け、合田らによる分離推定法⁴⁾により決定した。構造物前後の波高計は、構造物より波長の $\frac{1}{2}$ 以上の距離をとり、また波高計間隔は波長の $\frac{1}{4}$ 程度とした。

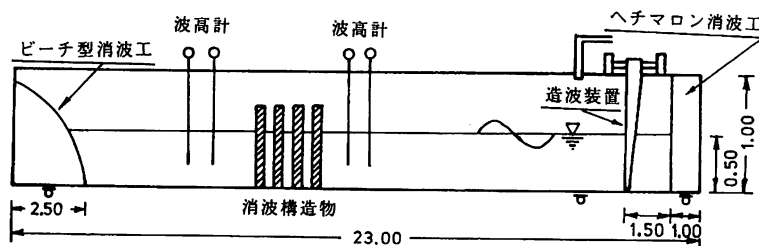


図1 実験装置概要図(単位: cm)

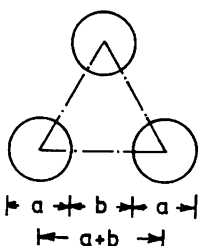
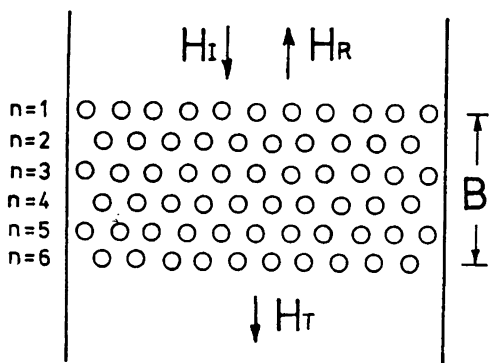


図2 円柱配置図

各円柱の配置概要図を図-2に示す。円柱は直径 $a=27.2\text{mm}$ の鋼管を使用し、堤体幅 B の中に均等に配置した。円柱中心間の1辺の長さが $a+b$ の正三角形になる千鳥配列の構造物とした。堤体模型は、3種類の開口比 $\epsilon=b/(a+b)$ と堤体幅 B を変化させた。ここで、 b は円柱間の空隙の距離である。

3. 実験結果および考察

3. 1 造波装置及び水路特性

分離推定法は、ある時間内の波形記録から入・反射波を決定する方法である。造波板で起こされた波は水路内を進行し、構造物で反射され反対方向に進んで造波板で再反射される。この再反射は最初の発生波とともに構造物に向かって進行し、上述の過程が繰り返される。それでも多重反射波は反射の度にエネルギーを失い、また水路内を進行する途中での側壁及び底面での摩擦抵抗によって減衰するので、何回かの反射の繰り返しの後では無視できるぐらい小さなものとなる。このような波形の時系列を表-1の条件で実験を行い、入

・反射波で整理したものが図-3, 4である。ここで, H_i は入射波高, H_r は反射波高, t は経過時間を示す。時間経過とともに入・反射波は一定値に近づき, ある時間が経過すると入・反射波は定常値になる。これはビーチ型消波工設置状態の図-3, 消波工を取り外し完全重複波状態の図-4

表1 実験条件1

消波工	周期 T (sec)	入力波高 H_0 (cm)
有	0.5~2.5	2.0~18.0
無	0.5~2.0	2.0~10.0

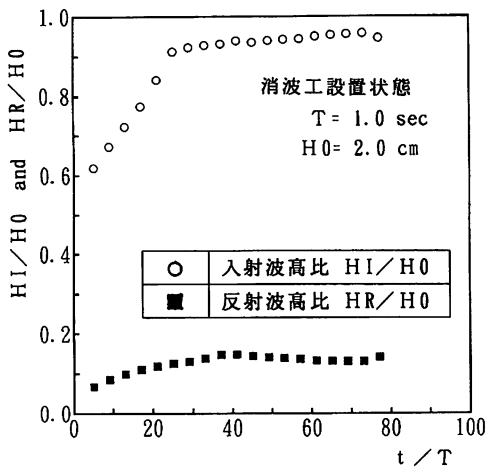


図3

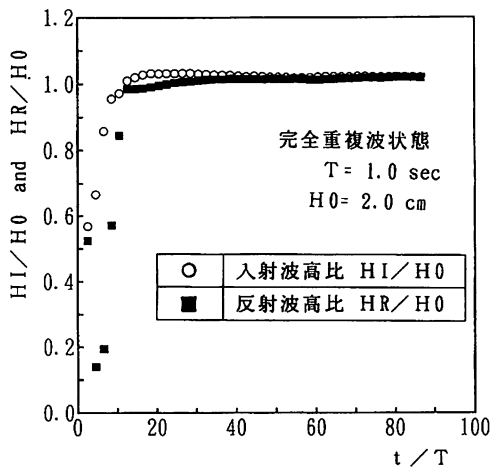


図4

でも同様の結果を得ている。

本造波装置は所定の入力波高 H_0 を入力することによって, それに相当する入射波高 H_i を発生させることができる。しかし実際は実験条件を常に完全に一定にすることは不可能であり, また機械による特性も異なる。入力波高 H_0 と実際に発生した波形記録から分離推定法で求めた入射波高 H_i を整理したものが図-5, 6である。それぞれある波高までは H_0 と H_i はほぼ一致し, 期待する波高を発生させることができる。

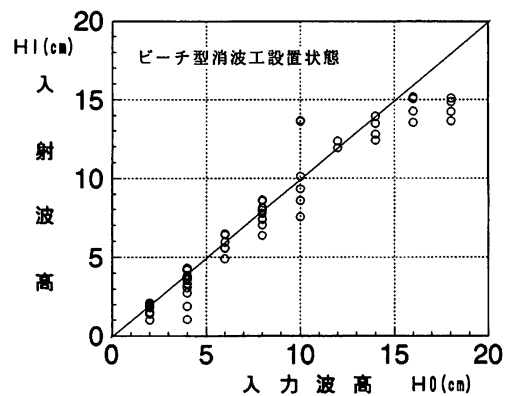


図5

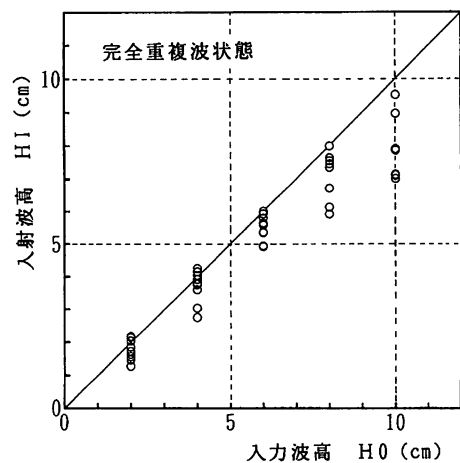


図6

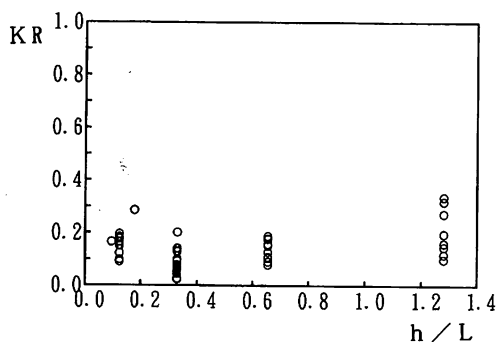


図7 ビーチ型消波工の反射率

水路末端のビーチ型消波工の消波効果を図-7に示す。全体的に消波効果は良いが、単周期では波によって比較的大きな反射率を示す。その他の波ではほぼ20%以内の反射率に抑えることができる。

3. 2 消波効果に及ぼす諸要因

入射波高の消波構造物に対する影響を調べるため、表-2の条件で実験を行った。図-8は、開口比 $\varepsilon = 0.67$ と一定にして、堤体幅を $B = 21.2\text{ cm}$ と 49.5 cm の2種類の構造物について反射率 K_R および透過率 K_T を波形勾配 H_1/L で整理したものである。各実験とも周期 $T = 1.0\text{ sec}$ と一定に行っている。各模型とも H_1/L の増加とともに K_R , K_T はともに減少する傾向が見られる。この傾向はスリット壁などの透水壁を使用した透水壁構造物や異形ブロックなど使用した透水堤体型構造物と同様の特性を示し、これは H_1 が大きくなると水粒子速度が増大し、それにともない構造物内および表面でのエネルギー損失が大きくなるためと考えられる。 K_T の変化は K_R ほど顕著には表れていない。

図-9は堤体幅 $B = 25.5\text{ cm}$ と一定にし、開口比

表2 実験条件2

ε	堤体幅 B	列	周期 T	入力波高 H0
0.4	23.6 cm	7	1.0 sec	2.0 cm ~ 14.0 cm
0.5		6		
0.67	21.2 cm	4		
	49.5 cm	8		

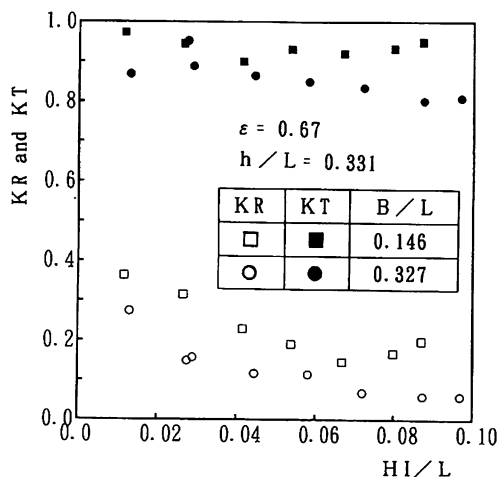


図8

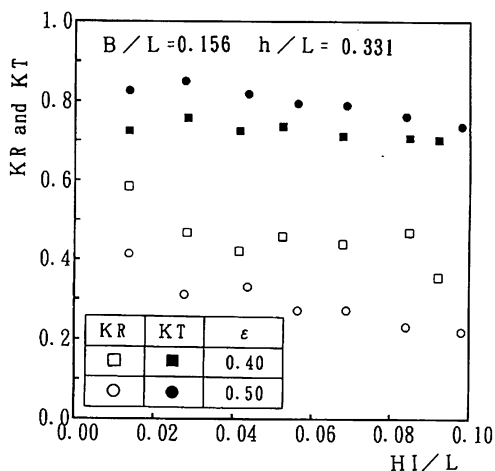


図9

を $\varepsilon = 0.50$ と 0.40 の2種類の構造物について反射率 K_R および透過率 K_T を波形勾配 H_1/L で整理したものである。各実験とも周期 $T = 1.0\text{ sec}$ と一定に行っている。図-8と同様に H_1/L が大きくなると同じ様な理由で K_R , K_T ともに減少する傾向が見られるが、その減少する割合は比較的小さい。開口比 ε が大きくなると K_R は小さく、 K_T は大きくなり、特に K_R の減少は K_T の増加に比べて大きく消波効果が大きくなっていることがわかる。

周期の消波構造物に対する影響を調べるため、表-3の条件で実験を行った。図-10は、図-8と同じく開口比 $\varepsilon=0.67$ と一定にして、堤体幅を $B=21.2\text{cm}$ と 49.5cm の2種類の構造物について反射率 K_R および透過率 K_T を堤体幅 B と波長 L の比 B/L で整理したものである。

K_R は $B/L=0.25$ および 0.75 付近で最小値をとり、また $B/L=0.5$ および 1.0 付近で最大値をとる傾向がみられる。 K_T は B/L の増大とともに減少する傾向を示している。これらの結果は榎木・岩田¹⁾、萩原²⁾の実験結果と同様の結果を示しており、波の進行方向に円柱列を多数配置しても同様のことがいえることが示された。しかし、このような開口比の大きな円柱群においては、堤体幅を大きくして円柱列を多数配置しても消波効果はほとんど変化しなく、堤体幅のみによって K_R 、 K_T が影響を受けるようである。また K_R の B/L による変動幅も小さく、 K_R の B/L による減少する割合も小さい。

表3 実験条件3

ε	堤体幅 B	列	周期 T	入力波高 H0
0.4	23.6 cm	7	0.5 sec ~ 2.0 sec	1.0 cm ~ 11.0 cm H1/L ≈ 一定
0.5		6		
0.67	21.2 cm	4		
	49.5 cm	8		

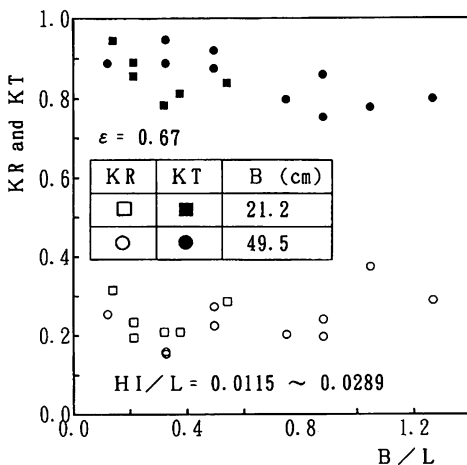


図10

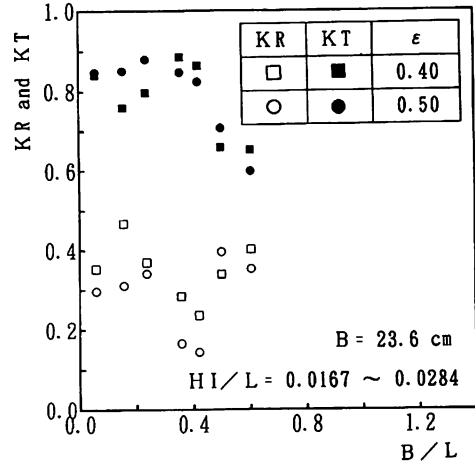


図11

図-11は図-9と同じ堤体幅 $B=25.5\text{cm}$ と一定にし、開口比を $\varepsilon=0.50$ と 0.40 の2種類の構造物について反射率 K_R および透過率 K_T を図-10と同様に堤体幅 B と波長 L の比 B/L で整理したものである。 K_R は開口比の大きな円柱群の図-10と同様にある B/L に対して極小と極大値をとる。 K_R が極小となる B/L の値は図-10と比べると少しずれ $B/L=0.4$ 付近となっている。これは波の進行方向に円柱列を複数列並べた構造物としてよりも透水層堤の構造物としての反射特性⁵⁾に近くなっている。逆に K_T は、 K_R が極大値をとる B/L で極小値をとり、 K_R が極小値をとる B/L で極大となる傾向を示し、透水層堤のように B/L の増加とともに K_T が減少する特性とは異なる結果を示している。円柱列を多重に並べ、遊水部が比較的大きな構造物も K_T が極大、極小をとる²⁾が、その傾向は本結果とは多少異なる。各 B/L に対する各実験値はばらつきがあるため、図-9のようにははっきりしないが、開口比 ε が大きくなると K_R は小さく、 K_T は大きくなる傾向を示している。

3. 3 堤体幅の影響

堤体幅 B が消波特性に大きな影響を及ぼすので B を変化させて $\varepsilon=0.4, 0.5$ の構造物で表-4の条件で実験を行った。その結果を $\varepsilon=0.4$ について図-12, 13, $\varepsilon=0.5$ については図-14, 15に示す。反射率は図-11と同様に堤体幅が広がると周期的な変動を示しながらある反射率に漸近していく傾向を示していると思われる。その実験値のバラツキは図-11に比べ小さくなっている。ま

表4 実験条件4

ε	堤体幅 B	列	周期 T	入力波高 H0
0.4	3.93 cm	2	0.8 sec	5.0 cm
	43.23 cm	12	1.0 sec	7.6 cm
0.5	4.71 cm	2	0.8 sec	5.0 cm
	65.94 cm	15	1.0 sec	7.6 cm

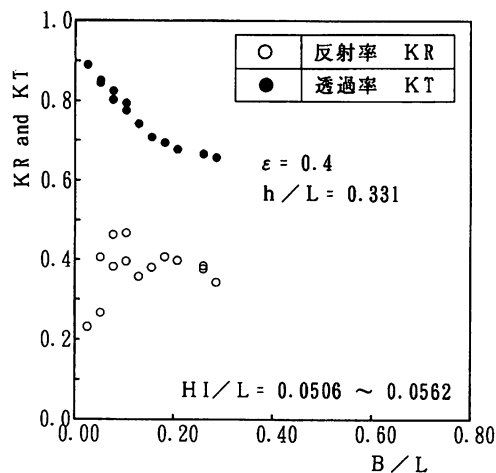


図12

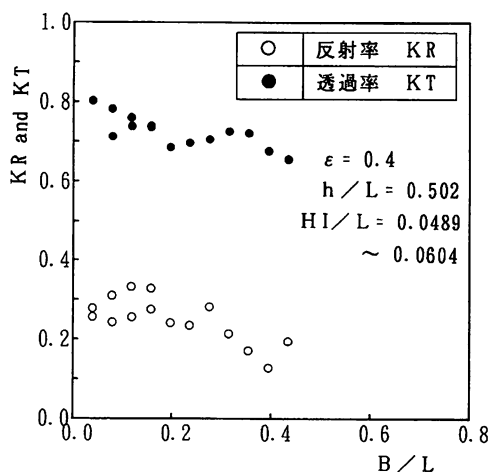


図13

た透過率については図-12, 14の比較的周期の長い波においては堤体幅が広くなるとともに減少している。しかし比較的周期の短い波の実験値であ

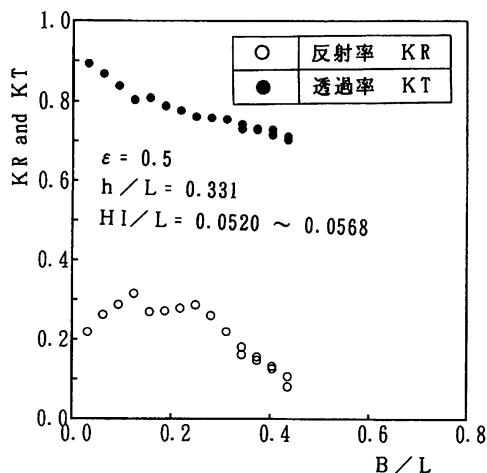


図14

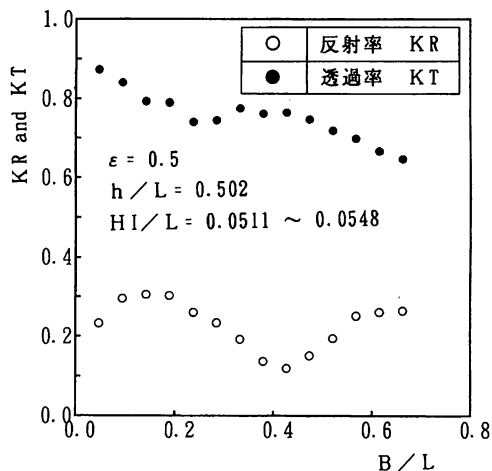


図15

る図-13, 15では、同様に堤体幅が広くなるとともに透過率は減少しているが、図-11に見られたような周期的な変動をもって減少している。このように透過率の周期的変動は構造条件ではなく、波浪条件の周期によるものであると思われる。

4. あ と が き

波の進行方向にも多数の杭を並べた円柱杭型消波構造物についての消波効果をまとめると次のようになる。開口比が大きい $\varepsilon = 0.67$ のときの消波効果は、透水壁型消波構造物と同じような傾向を示す。しかしその消波効果はあまり大きくはなく、単独の消波構造物として使用するには問題がある。よって二次的な消波構造物または他の消波構

造との組み合わせが必要と考えられる。開口比が比較的小さい $\varepsilon = 0.4$ 及び 0.5 のときの反射率は、透水堤の消波構造物と同じような傾向を示す。周期的な変動を示しながらある反射率に漸近していく傾向を示している。透過率は堤体幅が広くなると減少するが、その特性は周期によって異なる。

なお本研究は、(株)橋本興業からの奨学寄付金を使用して行ったものである。また、本研究を行うにあたり、室蘭工業大学近藤俊郎教授に御指導、御助言を頂いた。また本校土木工学科18期生の東正志、上田 保、川西健孔、藤倉 厚君らに実験に関して多大な御協力を得た。最後にこれらの方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 榎木 亨・岩田好一郎：透過性構造物による波の変形について，第19回海岸工学講演会論文集，1972，pp. 199～204
- 2) 萩原運弘：多重円筒列型防波堤の反射率・透過率の解析と諸要因の影響，土木学会論文集第363号／Ⅱ-4，1985，pp. 185～194
- 3) 角野昇八・小田一紀・阿部 功：任意列，任意断面柱体列周辺波動場の境界値問題解析，第32回海岸工学講演会論文集，1985，pp. 589～593
- 4) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊地 治：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料，No.248，1976.
- 5) 近藤俊郎・藤間 聡・浅野潤一：透過性防波構造物の水理特性（第3報），第19回海岸工学講演会論文集，1972，pp. 193～197

(平成3年11月30日受理)

