

多柱型構造の反射率および透過率について

Reflection Coefficient and Transmission Coefficient by Vertical Circular Cylinders

苫小牧高専環境都市工学科 正 員 浦島 三朗(Saburo Urashima)

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棧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る。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23 m、幅0.6 m、高さ1.0 mのピストン型の吸収式不規則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 $h=50$ 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1/2以上の距離をとり、

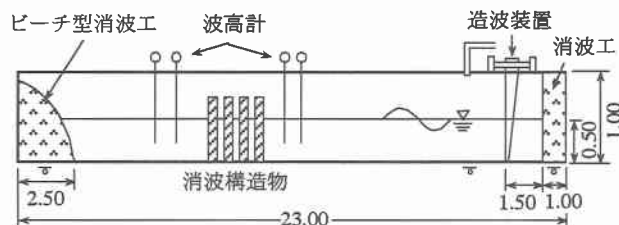


図-1 実験装置概要図 (単位: m)

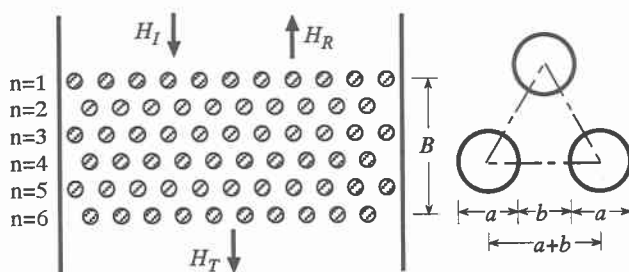


図-2 円柱配置図

また波高計間隔は波長の1/4程度とした。

各円柱の配置概要図を図-2に示す。円柱は直径 $a=27.2$ mmの鋼管を使用し、堤体幅 B の中に均等に配置し、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 $\varepsilon=b/(a+b)$ と堤体幅 B を変化させて行った。ここで、 b は円柱間の空隙の距離を示す。

3. 反射率および透過率の計算

反射率および透過率の計算は構造物を透水層と考え、近藤による長波理論⁵⁾を使用して計算した。入射振幅 a_I に対する反射振幅 a_R および透過振幅 a_T の関係は次式で表される。

$$\frac{a_R}{a_I} = (1 - \mu^2) \left(e^{i\bar{k}B} - e^{-i\bar{k}B} \right) / G \quad (1)$$

$$\frac{a_T}{a_I} = 4\mu / G \quad (2)$$

ただし、

$$G = (1 + \mu)^2 e^{i\bar{k}B} - (1 - \mu)^2 e^{-i\bar{k}B} \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\lambda}{\sqrt{\tau[1 - i(f/\tau)]}} \quad (4)$$

ここで、 λ は空隙率、 f は抵抗係数、 τ は慣性力係数を表し、 k は x の方向に進行する正弦波の波数で、次式で表される。

$$\bar{k} = \sqrt{\tau - if} \quad (5)$$

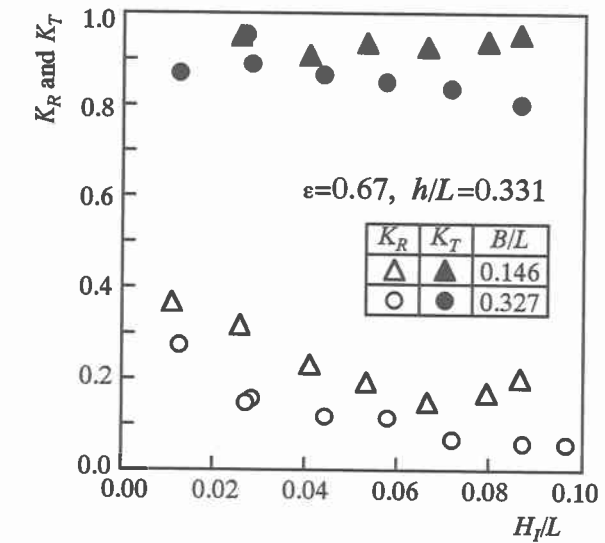
よって反射率および透過率は、 $K_R = |a_R|/a_I$ および $K_T = |a_T|/a_I$ で求まる。

4. 実験結果および考察

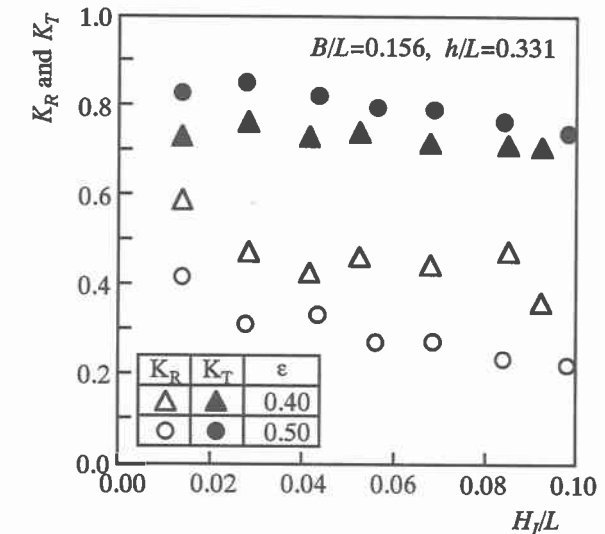
入射波高 H_I の消波構造物に対する影響を調べるため、表－1の条件で実験を行った。図－3は、閉口比 $\epsilon=0.67$ と一定にして、堤体幅を $B=21.2\text{ cm}$ と 49.5 cm の2種類の構造物について反射率 K_R および透過率 K_T を波形勾配 H_I/L で整理したものである。各実験とも周期 $T=1.0\text{ sec}$ と一定にして行っている。各模型とも H_I/L の増加とともに K_R , K_T はともに減少する傾向が見られる。この傾向はスリット壁などの透水壁を使用した透水壁構造

表－1 実験条件

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



図－3 H_I/L に対する K_R , K_T



図－4 H_I/L に対する K_R , K_T

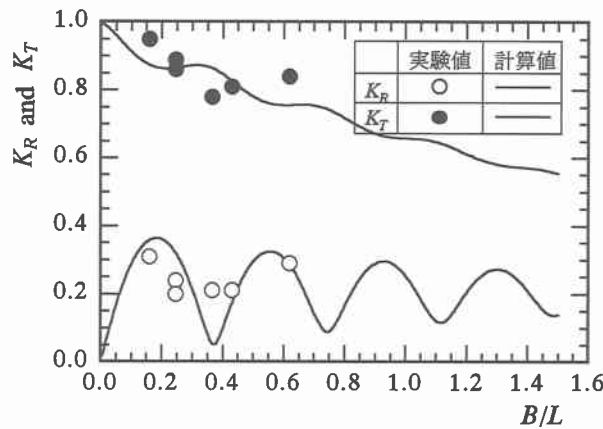
物や異形ブロックなど使用した透水堤体型構造物と同様の特性を示し、これは H_I が大きくなると水粒子速度が増大し、それにともない構造物内および表面でのエネルギー損失が大きくなるためと考えられる。 K_T の変化は K_R ほど顕著には表れていない。

図－4は堤体幅 $B=25.5\text{ cm}$ と一定にし、開口比を $\epsilon=0.50$ 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_I/L で整理したものである。各実験とも周期 $T=1.0\text{ sec}$ と一定にして行っている。図－3と同様に H_I/L が大きくなると、同様な理由で 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。

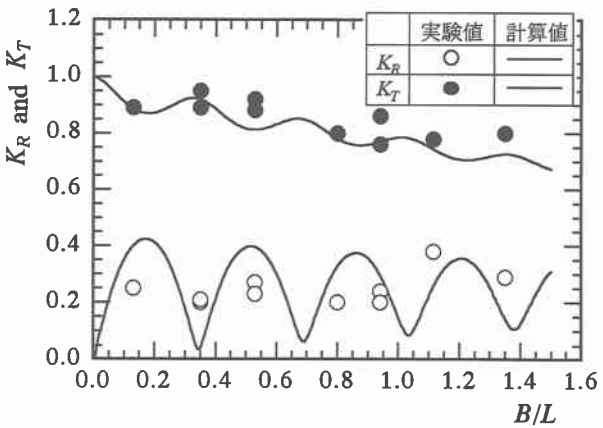
周期 T の消波構造物に対する影響を調べるため、表－2の条件で実験を行った。図－5, 6は、図－3と同じく開口比 $\epsilon=0.67$ と一定にして、堤体幅を $B=21.2\text{ cm}$

表－2 実験条件

ϵ	堤体幅 B	列	周期 T	入射波高 H_I
0.4	23.6 cm	7	0.5~2.0 sec	1.0~11.0 cm $H_I/L \div \text{一定}$
0.5		6		
0.67	21.2 cm	4		
	49.5 cm	8		



図－5 B/L に対する K_R , K_T
($B=21.2\text{ cm}$, $\epsilon=0.67$, $f=0.16$, $\tau=1.8$)



図－6 B/L に対する K_R , K_T
($B=49.5\text{ cm}$, $\epsilon=0.67$, $f=0.10$, $\tau=2.1$)

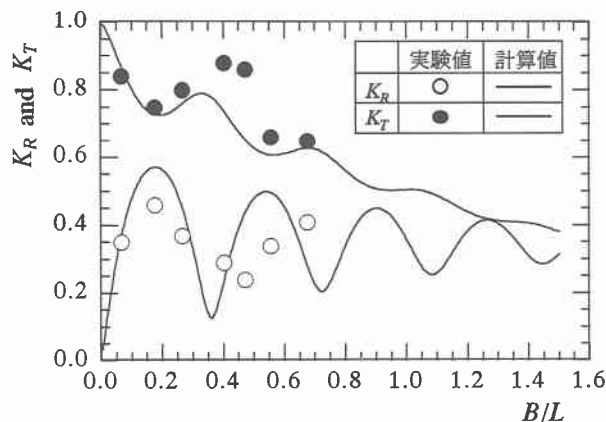


図-7 B/L に対する K_R, K_T
($B=23.6\text{cm}$, $\varepsilon=0.40$, $f=0.25$, $\tau=1.9$)

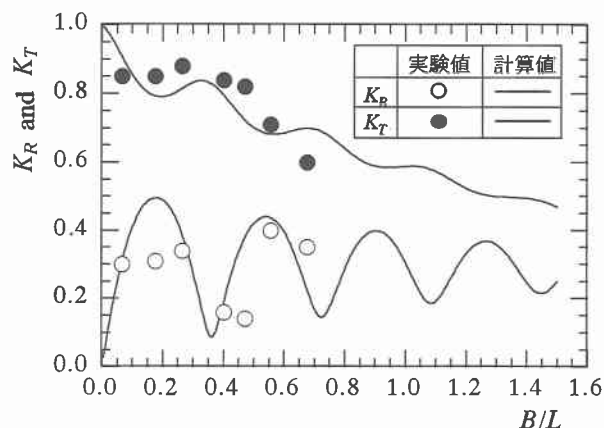


図-8 B/L に対する K_R, K_T
($B=23.6\text{cm}$, $\varepsilon=0.50$, $f=0.20$, $\tau=1.9$)

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 を堤体幅 B と波長 L の比 B/L で整理したものである。また、図中の実線は構造物を透水層堤と考え、近藤による長波理論⁹⁾を使用して計算したものであり、式中の抵抗係数 f と慣性力係数 τ は実験値と計算値が最もよく一致するように決定している。

K_R は計算では B/L に対して周期的な変動を示すが、実験においては B/L によってあまり変化していない。 K_T の実験値は、 B/L の増大とともに減少する傾向を示し、計算値と同様の傾向を示す。これらの結果は樫木・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言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 B 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。

図-7, 8 は図-4 と同じ堤体幅 $B=25.5\text{ cm}$ と一定にし、開口比を $\varepsilon=0.40$ と 0.50 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-5, 6 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-5, 6 に比べ、ある B/L に対して極小と極大値をとる周期的な変動特性を示す。 K_R の計算値および実験値はほぼ同様の変化を示しており、

表-3 実験条件

ε	堤体幅 B	列	周期 T	入射波高 H_I
0.4	3.93~ 43.23 cm	2~12	0.8 sec	5.0 cm
			1.0 sec	7.6 cm
0.5	4.71~ 65.94 cm	2~15	0.8 sec	5.0 cm
			1.0 sec	7.6 cm

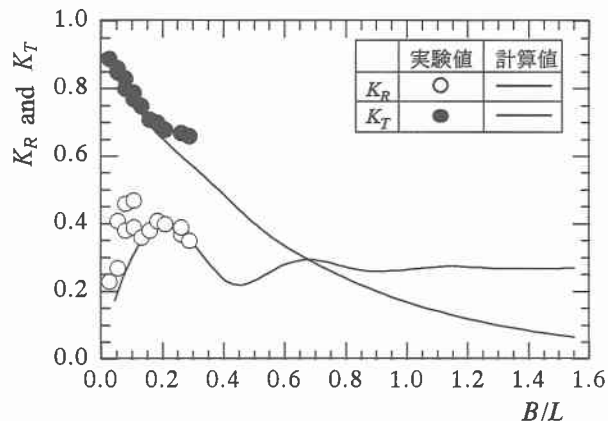


図-9 B/L に対する K_R, K_T
($T=1.0\text{sec}$, $\varepsilon=0.40$, $f=0.60$, $\tau=1.1$)

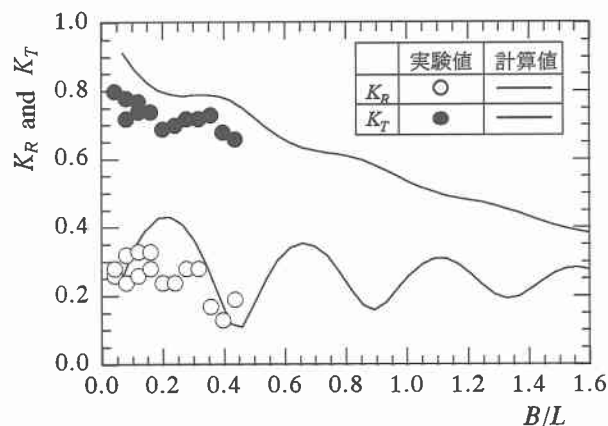


図-10 B/L に対する K_R, K_T
($T=0.8\text{sec}$, $\varepsilon=0.40$, $f=0.20$, $\tau=1.25$)

これは波の進行方向に円柱列を複数列並べた構造物は、透水壁型構造物の反射特性としてよりも、透水層堤の構造物としての反射特性⁹⁾に近くなっている。一方 K_T の実験値についても計算値と同様に、 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、透水層堤と同じ特性を示している。多重透水壁型構造物においても、遊水部を比較的大きくすると、 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-4 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。

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-3 の条件で実験を行った。その結果を $\varepsilon=0.4$ について図-9, 10, $\varepsilon=0.5$ については図-11, 12 に示す。各図とも実験値と計算値は比較的良好に一致しており、抵抗係数 f と慣性力係数

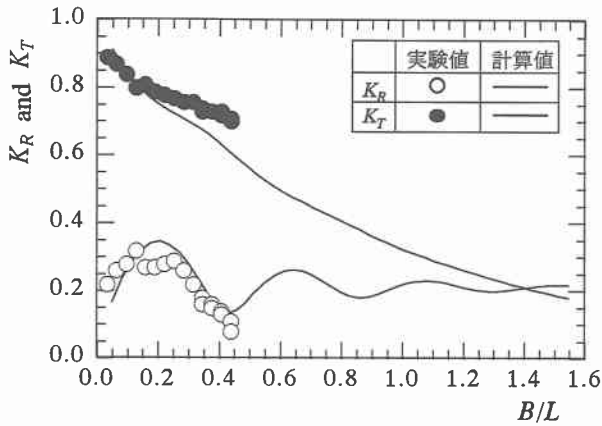


図-11 B/L に対する K_R , K_T
($T=1.0\text{sec}$, $\varepsilon=0.50$, $f=0.40$, $\tau=1.3$)

τ に適当な値を使用することによって、透水層堤の構造物と考えて計算することができる。反射率 K_R は堤体幅 B が広くなると、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、透過率 K_T は堤体幅 B とともに減少し、ある程度の堤体幅をとると、消波構造物としても有効であることを示す。

5. 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 $\varepsilon=0.67$ のときは、反射率はあまり変化が見られず、透過率は計算値と同様の特性を示す。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。また、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、実験値は周期的な変動を示しながらある反射率に漸近していく計算値と同様の傾向を示し、透水層堤の消波構造物と考えることができる。透過率の実験値も計算値と同様の特性を示す。このような円柱杭型消波構造物は、透水壁構造としてよりも透水層型構造物と

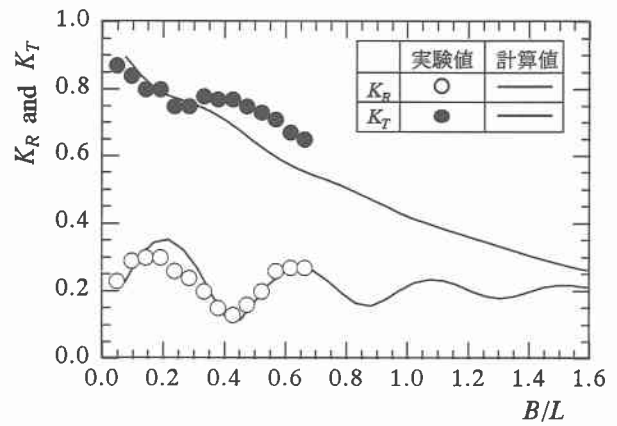


図-12 B/L に対する K_R , K_T
($T=0.8\text{sec}$, $\varepsilon=0.50$, $f=0.30$, $\tau=1.3$)

考えることができ、ある程度の堤体幅と開口比によって所要の消波効果を得ることができる。

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.
- 6) 近藤俊郎・竹田英章：消波構造物，森北出版，1983.