

# 透過性防波堤におけるコアの効果に関する研究

近藤 俣郎\*・藤間 聡\*\*・葛西 勝栄\*\*\*

## 1. まえがき

わが国の防波堤は伝統的に鉄筋コンクリート函塊を主体とした不透水性壁体構造が多かったが、近年では反射波高、打上げ高あるいは越波量などを小さくできる利点を有する異形ブロックや石積みなどの透過性防波堤の普及も目覚ましいものがある。特に海岸侵食対策工法として用いられている離岸堤はほとんどがこの種類の材料から構成される透過堤型式である。

そのような透過性防波堤の断面構造は、一般に、波の作用に対する安定条件から定まる大寸法の材料からなる表層と、その内側で岸側への伝達波高を小さくするための小寸法の材料からなる内層とで形成されている。それら表層と低透水性の内層（以後、本文ではコアと呼称する）の厚さや寸法の相互関係はある程度標準化されているが<sup>1)</sup>、その水理的影響については不明な点が多い。

本研究はこの透水性のコアが、伝達波や反射波などどのような効果や影響があるか実験的に調べて、消波効果の大きい透過性防波堤の断面構造を見出そうとするものである。

## 2. 実験方法

### (1) 模型防波堤

実験に使用した防波堤模型は図-1に示してあるような、コアが直立層である台形ならびに長方形断面のものである。表層はφ34mmの塩化ビニールパイプで作製した立体格子<sup>2)</sup>とし、コアはφ11mmの立体格子と平均粒径29mmの碎石の2種類を用いた。これら材料の空

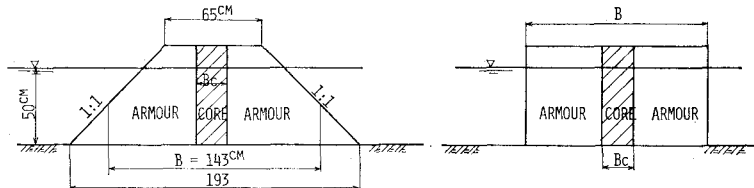


図-1 実験防波堤断面略図

表-1

		$\lambda$	$D$ (cm)	$C_3$	$\left(\frac{Dh}{l}\right)_t \cdot \frac{1}{v^2}$ (sec <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> )
表層	立体格子 (φ34)	0.607	3.4	0.11	2.0
コア	立体格子 (φ11)	0.607	1.1	0.11	6.0
	砕石	0.43	2.9	0.3	36

隙率  $\lambda$ 、代表径  $D$ 、定常流における乱流抵抗係数  $C_3$  および摩擦勾配  $(Dh/l)_t$  を表-1に掲げてある<sup>3)</sup>。

ただし  $(Dh/l)_t$  は、摩擦勾配を

$$\frac{Dh}{l} = \frac{V^2}{2g\lambda^2 D} \left[ \frac{C_2}{(DV/\nu)} + C_3 \right] \dots\dots\dots (1)$$

なる式で近似させた場合、

$$\frac{C_2}{(DV/\nu)} \ll C_3 \dots\dots\dots (2)$$

のときの値であり、次式で与えられる。

$$\left(\frac{Dh}{l}\right)_t = \frac{C_3 V^2}{2g\lambda^2 D} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $V$  は定常流の平均流速、 $\nu$  は水の動粘性係数、 $C_2$  は層流状態の抵抗係数である。

通常、傾斜式防波堤については表層の個体の空中重量  $W$  に対してコア材の個体重量は約  $W/200$  であるが<sup>2)</sup>、いま表層に  $\lambda=0.5$ 、 $C_3=0.67$  の異形ブロック、コアに  $\lambda=0.4$ 、 $C_3=0.4$  の石を用いる場合を想定すれば、両者の摩擦勾配の比は1:15となり、本実験においてコアに碎石を使用した場合の比1:18に近似する。

コアの厚さ  $B_c$  は 13, 20, 26 cm の3種類とし、またコアの位置は前方、中央、後方の3通りに変化させた。碎石コア層は前後面を金網で保ちその中に碎石を詰めて作製された。

### (2) 実験装置

実験は長さ 18.5 m、幅員 0.4 m、深さ 1.0 m の2次元規則波造波水槽で行われた。水底は水平床で、水深は  $h=50$  cm とした。波高の測定は並行抵抗線式波高計でなされ、入射波高  $H_I$ 、反射波高  $H_R$  は、1~2台の波高計を移動さ

\* 正会員 工博 室蘭工業大学教授 土木工学科  
 \*\* 正会員 工修 室蘭工業大学助教授 土木工学科  
 \*\*\* 正会員 室蘭工業大学助手 土木工学科

せて極大と極小波高を求め、それより Healy の方法で決定された。ただし、 $H_I$  については無堤時の値も求めておき、有堤時の推定値を照査するのに利用した。防波堤の岸側水域に出現する伝達波高  $H_T$  としては、水面が防波堤裏法面を切る点から  $L/4$  だけ岸側の点で測定された値を用いた。ここで  $L$  は水深  $h$  における波長である。防波堤の表層部の堤内波高は、小型波高計を用いて一部観測された。

(3) 実験波の諸元

実験に使用した入射波の諸元はおよそ次の範囲のものであった。

水深  $h=50$  cm, 入射波高  $H_I=1\sim 10$  cm

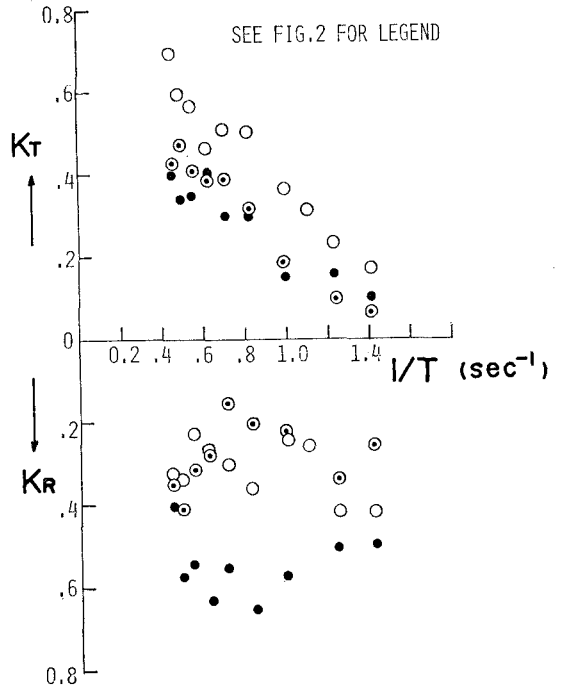
周期  $T=0.7\sim 2.2$  sec

3. 実験結果と考察

直立堤(長方形断面)に関しては一部発表済<sup>4)</sup>であるので、以下の(1)~(3)節においては傾斜堤(台形断面)を主対象に述べ、(4)節において直立堤と傾斜堤の比較を行うこととする。

(1) コアの有無による伝達率、反射率の差異

コアがない単層の傾斜堤と、コアを有する傾斜堤およびコア層だけの3種類のケースについて、入射波高  $H_I$  を一定にし、周期のみを変化させた場合の伝達率  $K_T (=H_T/H_I)$ 、反射率  $K_R (=H_R/H_I)$  を比較したものを図一2, 3に示した。図一2はコアが立体格子の場合で、図一3は碎石コアの場合である。両図では、いずれも横軸に周波数  $1/T$ 、縦軸に  $K_T, K_R$  をとっている。これら



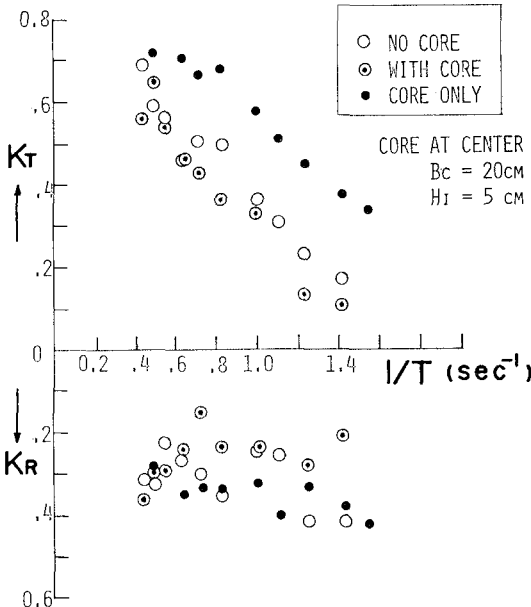
図一3 伝達率・反射率の周波数特性 (碎石コア)

の図より  $K_T$  は  $T$  の増加とともに増加するのに対して、 $K_R$  は振動性を示すことが知れる。抵抗の大きい碎石コアの場合、 $K_T$  の値はコア層のみの値に近似しており、 $K_T$  がコアによってほぼ支配されている。そして表層部の効果は  $T$  が小さい場合に限り表われている。

これに対して、 $K_R$  はコア無しの場合に近似しているが、平均的にはそれよりも小さく、やはりコアの効果があらわれている。そしてコア有りの場合の  $T$  による振動特性は、コア無しの場合と異なっている。これはコアをもつ透過性構造物では、同一材料の単層構造物とは違って、前後の表面だけではなく、表層・コアおよびコア・表層の境界も反射面となることに基因する。このことは立体格子コアの直立堤に関しては内部波高分布を測定して確かめられているが<sup>4)</sup>、傾斜堤についても後述するように認められる。

(2) コアの厚さの効果

一般に、コアの厚さ  $B_c$  を増せば、 $K_T$  の減少は期待できると考えられるが、 $K_R$  に対する影響は容易には推測し難い。図一4, 5はそれぞれ立体格子コアおよび碎石コアを防波堤の中央部においた場合の  $K_R, K_T$  を相対幅員  $B/L$  を横軸にとって表示したものである。ただし、傾斜堤の場合の幅員  $B$  としては、本文では図一1に示すように構造物の静水面下の平均幅員をとっている。単層構造物に関する  $K_T, K_R$  の  $B/L$  による変化は、かなり精しく調べられている<sup>2), 3), 5)</sup>。本実験の表層材料とし



図一2 伝達率・反射率の周波数特性 (立体格子コア)

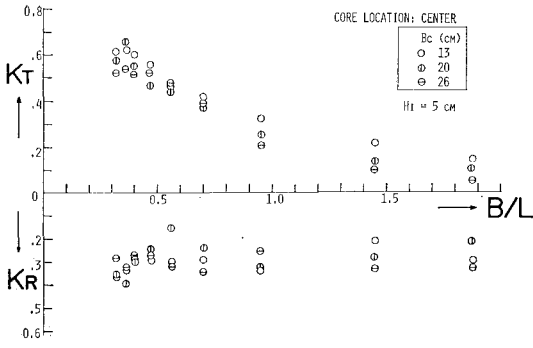


図-4 コア厚さの効果 (立体格子コア)

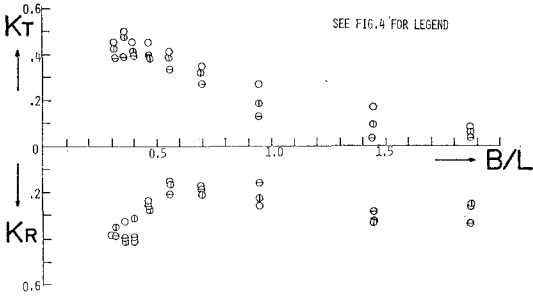


図-5 コア厚さの効果 (砕石コア)

て用いられている  $\phi 34\text{mm}$  立体格子構造物については、 $K_R$  は  $B/L \cong 0.2 \sim 0.25$  で最大値をとり、 $B/L = 0.4 \sim 0.5$  で極小値をとり、 $K_T$  は  $B/L$  の増加につれてほぼ指数関数的に減少することが知られている。

$K_T$  におよぼすコア厚の効果は、砕石コアの方が大であり (図-5)、立体格子コアでは小さい (図-4) ことが認められる。しかし、 $K_R$  に関してはいずれのコアの場合とも、コア厚による変化は小さく、特に砕石コアの  $K_R$  は厚さ  $B_c$  に無関係にほとんど同じ値を呈している。そして砕石コアの  $K_R$  は、立体格子コアのそれと比較すると、 $B/L$  の小さい領域で大きい傾向がある。この理由は (4) で述べられるが、コア面からの反射波エネルギーが大きいことに関連がある。

(3) コア位置の効果

図-6, 7 はコア位置を前方, 中央, 後方の3通りに変化した場合の, 2種類のコアについての結果の例である。 $K_T$  は多少の変動はあるがコア位置によってあまり影響を受けていないことが認められる。 $K_R$  は立体格子コアの場合にはほぼ同じ値を与えているが、砕石コアの場合は  $B/L < 0.6$  の領域ではコア位置が後方になるほど  $K_R$  が小さくなっている。

このことは砕石コアでは、コア位置が後方になるにつれて、表層前面, 表層・コアの両反射面からの2成分の反射波の位相差が大きくなるので前方水域に出現する合成反射波高が小さくなるからである。立体格子コアでは表層・コア面からの反射率が小さく、前後の水域に接す

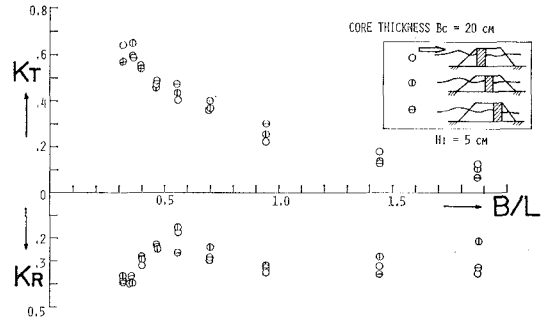


図-6 コア位置の効果 (立体格子コア)

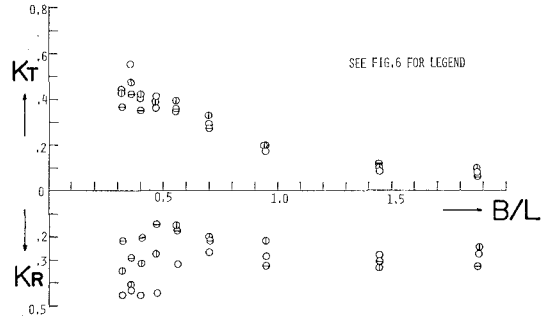


図-7 コア位置の効果 (砕石コア)

る表面からの反射波成分が支配的であるから、コア位置による  $K_R$  の変化が小さいものと考えられる。図-8 は砕石コアの場合の、防波堤前方, 後方水域および表層内の波高分布を調べた例である。コアを前方においた場合, 前方での波高が大きいのにに対して、コアが後方にある場合には、表層内のコアの前方にも波高の極大値があり、前方水域の極大値はコア前方およびコア無しの場合よりも小さいことが現われている。 $B/L > 0.6$  では前面からの反射波がコア面あるいは後面からの反射波成分に比べて卓越しているのでコア位置の影響が小さいと考えられる。

図-9, 10 は比波高  $H_I/h$  が  $K_T, K_R$  に与える影響を、立体格子コアと砕石コアについて、それぞれコア位置をパラメーターとして示した例である。 $K_T$  は  $H_I/h$  の増加とともに減少している。また、前述した  $K_T$  についてコア位置が影響しない傾向が、 $H_I/h$  の値によらず成り立っていることが認められる。 $K_R$  は、一般に  $H_I/h$

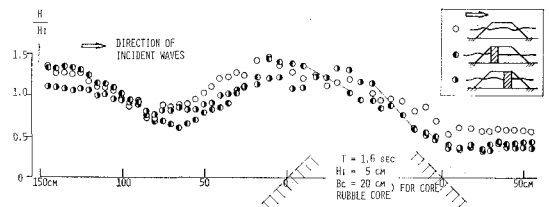


図-8 防波堤前後および内部の波高分布

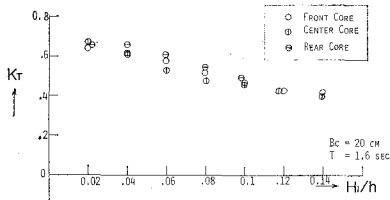


図-9 比波高の影響 (立体格子コア)

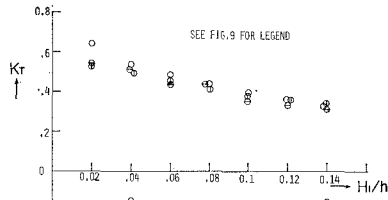


図-10 比波高の影響 (碎石コア)

の増加につれてやや減少の傾向をもつが、両図の場合は ( $T=1.6$  sec,  $B/L=0.47$ ) ほとんど一定である。

(4) 傾斜堤と直立堤の比較

傾斜堤と直立堤の伝達率  $K_T$  および反射率  $K_R$  の特性を比較するため、2種類の直立堤について実験した。それらは傾斜堤の水中平均幅 ( $B=143$  cm) に等しい幅員のもつ、傾斜堤の水面幅に等しい  $B=96$  cm のものである。

$K_T$  と  $K_R$  を周波数  $1/T$  で整理した結果の例を図-11 に示す。始めに  $K_T$  について調べると、コアを有する傾斜堤と直立堤の  $K_T$  の減少傾向は良く似ており、いずれも  $1/T=0.6$  付近ではほぼ一定な部分を有する。この平坦な部分に対応する  $K_R$  は極小、極大値付近の変動の小さな範囲にあり、伝達されるエネルギーがほぼ一定であることによると考えられる。コアが無い場合およびコアを有する傾斜堤の  $K_T$  の減少の割合は、直立堤に比較すると短周期においてわずかに大きい、これは斜面上での損失によるものと考えられる。 $K_T$  に関しては傾斜堤の値は、その水面により切られる幅員をもつ直立堤の値に近似している。

次に反射率  $K_R$  について述べると、いずれの構造物においても、 $K_R$  は一種の振動形状を呈しており、同図の範囲では2種の直立堤の場合の振動の中心軸はほぼ等しく、傾斜堤に比較してピーク部が鋭い立上りを示している。直立堤については、 $K_R$  の極小値、極大値の出現する  $1/T$  の値は、 $B=143$  cm の直立堤については、極小値は  $1/T=0.5$  であり、極大値は  $1/T=1.0$  である。い

	Trapezoidal	Rectangular
no core	○	
with core (rubble)	⊙	■ $B=143$ cm □ $B=96$ cm

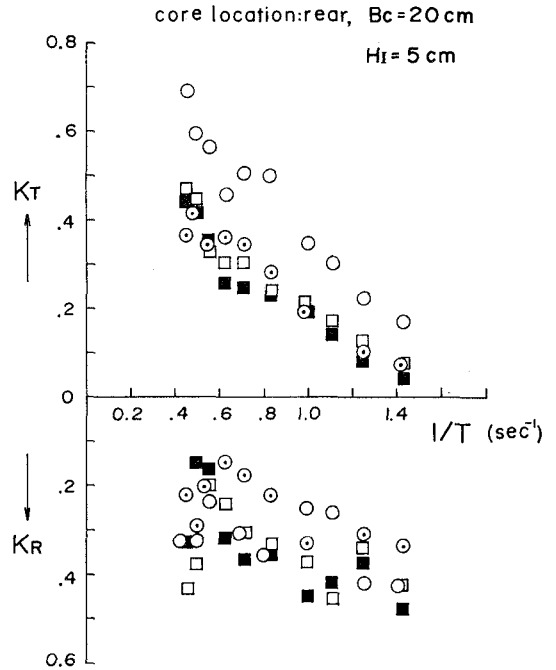


図-11 直立堤と傾斜堤の比較

ま防波堤の前法面とコア前面の距離を  $b$  とすると、上記の周波数での  $b/L$  の値はそれぞれ 0.21, 0.55 である。このため、コアを不透透性とみなせる場合、前者では前面からの反射波とコア面からの反射波の位相差が  $180^\circ$  に近い。前方水域に出現する反射波は、これら両波の合成されたものが主であるから、 $K_R$  は極小値をとる傾向がある。また後者では、両反射波の位相差が  $360^\circ$  となり、 $K_R$  は極大値を取ることになる (図-12 参照)。一方、傾斜堤では直立堤のような明確な相対幅員値が存在

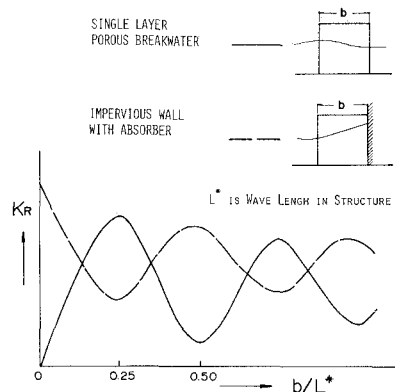


図-12 反射率の相対幅員による振動特性

せずに、ある範囲の相対幅員値について同様な特性をもつとみなすことができるから、 $K_R$  は比較的緩やかな変動をしていると考えられる。この範囲の反射率の減少が、同一幅員の直立堤に比べて伝達率を大きくしている原因と思われる。

#### 4. むすび

透過性防波堤を複層構造にし、内部に低透水性のコアを設けると伝達率はもちろんのこと反射率も小さくでき、特にコア位置を堤体内で後方（岸側）にすると長周期の波に対して低反射型の構造物となることが実験的に確かめられた。今後はこうしたコアを有する透過性防波堤についての伝達率、反射率などの推定法を研究し、実験結果の解析に役立てたいと思っている。

本研究は文部省科学研究費による自然災害特別研究(1)「海岸における波の制御に関する研究」(代表 京大工 岩垣雄一教授)の一部としてなされたものであることを付

記する。

また本研究に協力された昭和49年度室蘭工大卒業生、相馬英敏(現苫小牧高専土木教室)、山田悦郎(現北海道函館土木現業所)の両君に深く感謝する。

#### 参 考 文 献

- 1) たとえば U.S. Army Corps of Engineer: Shore Protection Planning and Design, 1961.
- 2) 近藤・藤間: 透過性構造物による碎波の変形, 第20回海岸工学講演会論文集, pp. 95~99, 1973.
- 3) Kondo and Toma: Reflection and transmission for a porous structure, Proc. of 13th Coastal Eng. Conf., Vol. III, pp. 1847~1866, 1972.
- 4) 近藤・藤間・葛西: 複層の透過性構造物による波の変形, 第29回土木学会年次学術講演会概要集(2), pp. 64~65, 1974.
- 5) 近藤・藤間・浅野: 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, pp. 193~197, 1972.