

# 消波ブロック堤の反射率に関する実験的研究

浦 島 三 朗\*

## Experimental Study on Reflection Coefficient of Wave Dissipation Concrete Armor Units

Saburo URASHIMA

### 要 旨

規則波造波水路において、消波ブロックの複層消波工及び単層傾斜堤について反射率を測定した。その結果、消波工の反射率は相対水深が大きくなるにしたがい反射率は小さくなり、波形勾配によって反射率はあまり変化しないという結果を得た。

### Abstract

Based on regular wave experiments, the reflection coefficients of two type mounds of precast concrete armor units are investigated in relation to wave steepness and relative depth. In this result, the reflection coefficient decreases as relative depth increase. It can be considered that wave steepness is less important than relative depth to reflection coefficient.

### 1. ま え が き

異形ブロックは一般に捨石マウンドの被覆材または根固工として多く用いられており、その種類は今日では100種類以上にも達している。これはそれ自体の空隙、粗度により波のエネルギーを大量に吸収し、波の反射、波力を減殺し洗掘を防止することで、海岸、港湾の消波構造物として効果を発揮してきた。消波ブロック被覆堤の反射率は微小振幅波なら、被覆層を直立層にすれば理論的に推定することも可能である<sup>1)</sup>。しかし、護岸・防波堤等の消波工からの波の反射は、ブロックが形成する斜面の勾配、ブロックの積み形式、ブロック重量等が同一であってもブロックの種類が異なると空隙率、表面の粗度等が異なるため微妙に異なるとされている<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、波の特性を変化させ、消波ブロックを使用した消波工型式及び傾斜堤型式の反射率について調べた。

### 2. 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なった。造波装置の制御は全ての実験において、造波板による再反射を抑えた吸収式制御として行なった。造波板から7 m岸側の地点からモルタルによって1/30の海底勾配の傾斜をつけ、その末端にはビーチ型消波装置を設けている。また造波板背後にはヘチマロンの消波工を用いた。堤体模型は造波板より約14 m岸側に設置した。水深は沖の一樣水深部で50 cmと一定にして行なった。波高計には、容量式波高計を用いている。

今回実験の模型に使用したブロックは、図-2に示すようなサプレスブロックA-3であり、模型ブロックの長さの縮尺を1/20とし、フルード相似律のひずみなし模型縮尺を用いた。なお、模型ブロックの比重を2.3に近づけるため、モルタルに鉄粉を混入してある。実際に製作した模型ブロックの所要重量は403.8 g、単位体積重量は2.394 g/cm<sup>3</sup>及び所要重量の標準偏差は5.2 gであ

\* 助教授 土木工学科

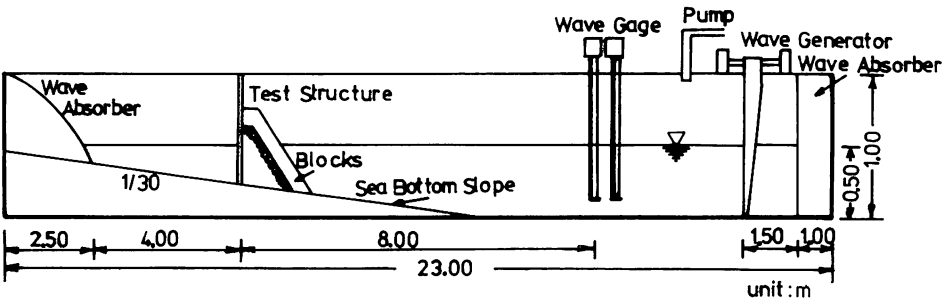


図-1 実験水槽配置図

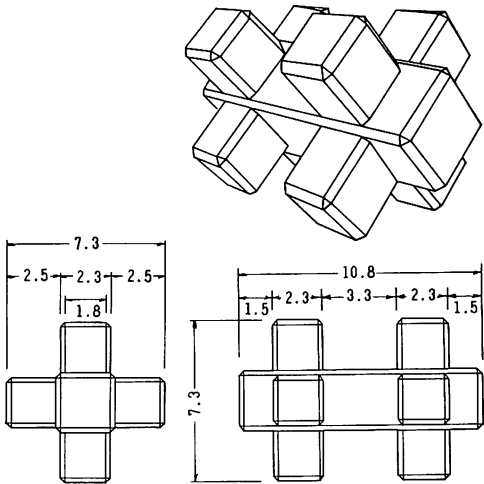


図-2 模型ブロック (単位: cm)

る。

今回実験した消波工堤体の断面構造は、図-3に示す(a)複層消波工型、(b)単層傾斜堤型の2種類である。ブロックの積み方は乱積で、法面勾配は1:1.5と1:1で一定に行った。

(a)の場合の内層には、平均重量15.13gの砂利を用いた。

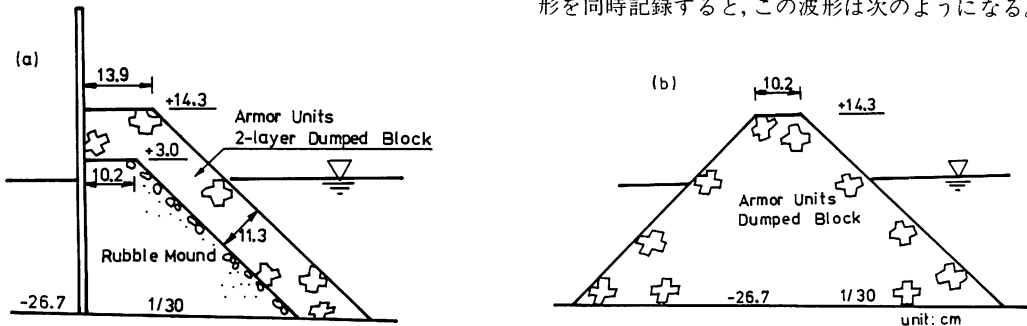


図-3 堤体断面図

実験はすべて規則波とし、実験波の周期は $T = 0.9, 1.5, 2.1, 2.7, 3.3$  secの5種類で、波高は約3 cmから砕波するまでの19 cmまでの8から9種類変化させて行った。

入・反射波の決定法には分離推定法<sup>3)</sup>を用いた。これは水路内に一定周期、一定波高の規則波を発生させる状態を考えると、造波板で起こされた波は水路内を進行し、模型構造物で反射されて反対方向に進んで造波板で再反射される。この再反射波は最初の発生波とともに模型に向かって進行し、上述の過程が繰り返されて水路内に多重反射系の合成波ができる。この合成波のうち、入射方向に進むものをまとめて一つの入射波、反射方向に進むものをまとめて一つの反射波とすると、これらの波形は次のように表示される。

$$\left. \begin{aligned} \eta_i &= a_i \cos(kx - \sigma t + \epsilon_i) \\ \eta_R &= a_R \cos(kx + \sigma t + \epsilon_R) \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

ここに、

- $\eta_i, \eta_R$  : 入・反射波による水面変動量
- $a_i, a_R$  : 入・反射波の振幅
- $\epsilon_i, \epsilon_R$  : 入・反射波の位相角
- $k$  : 波数 $=2\pi/L$  ( $L$ は波長)
- $\sigma$  : 角周波数 $=2\pi/T$  ( $T$ は周期)

今、図-4のように距離 $\Delta l$ だけ離れた2点で波形を同時記録すると、この波形は次のようになる。

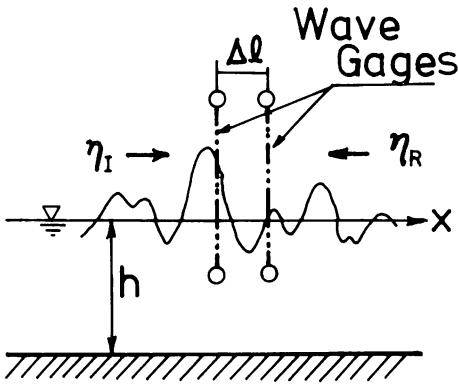


図-4 造波水路内の波

$$\left. \begin{aligned} \eta_1 &= (\eta_I + \eta_R)_{x=x_1} = A_1 \cos \sigma t + B_1 \sin \sigma t \\ \eta_2 &= (\eta_I + \eta_R)_{x=x_2} = A_2 \cos \sigma t + B_2 \sin \sigma t \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= a_1 \cos \phi_1 + a_R \cos \phi_R \\ B_1 &= a_1 \sin \phi_1 - a_R \sin \phi_R \\ A_2 &= a_1 \cos(k\Delta l + \phi_1) + a_R \cos(k\Delta l + \phi_R) \\ B_2 &= a_1 \sin(k\Delta l + \phi_1) - a_R \sin(k\Delta l + \phi_R) \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= kx_1 + \epsilon_1 \\ \phi_R &= kx_2 + \epsilon_R \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

これらの式のうち、式(3)は四つの未知数  $a_1$ ,  $a_R$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi_R$  に対する四つの方程式群である。これから  $a_1$ ,  $a_R$  を求めると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{2 |\sin k\Delta l|} \times \\ &\quad \times [(A_2 - A_1 \cos k\Delta l - B_1 \sin k\Delta l)^2 \\ &\quad + (B_2 + A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2]^{1/2} \\ a_R &= \frac{1}{2 |\sin k\Delta l|} \times \\ &\quad \times [(A_2 - A_1 \cos k\Delta l + B_1 \sin k\Delta l)^2 \\ &\quad + (B_2 - A_1 \sin k\Delta l - B_1 \cos k\Delta l)^2]^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

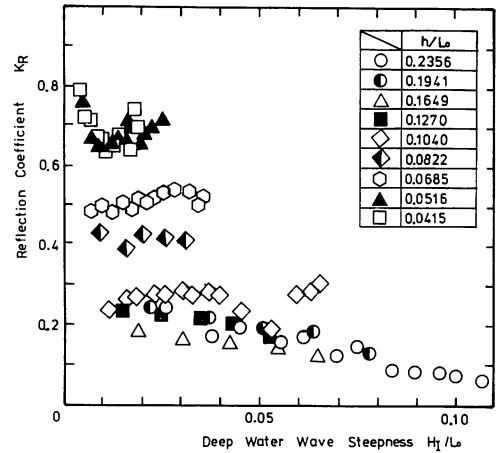
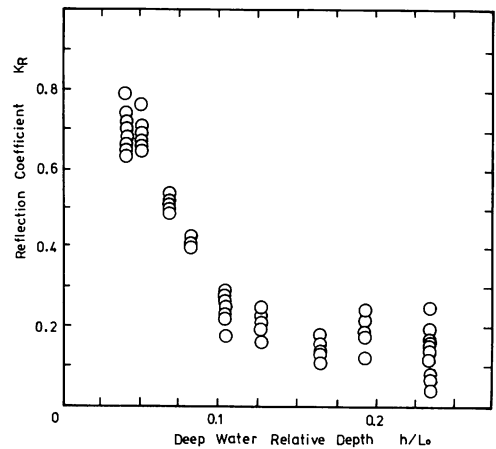
したがって、2 測点のそれぞれの波形についてフーリエ分析を行い、基本周期の余弦および正弦成分の振幅  $A_1$ ,  $B_1$  及び  $A_2$ ,  $B_2$  を求め、その上で式(5)によって  $a_1$ ,  $a_R$  を求めることができる。

模型側の波高計は模型より 8 m と一定にし、波高計間隔を波長の約 1/4 とした。データ数は、波高がほぼ一定となったと思われるところから 4096 個をとり、FFT によりフーリエ係数を求めた。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 複層消波工の反射率

複層消波工の反射率  $K_R$  と波形勾配  $H_1/L_0$  との関係を図-5に示す。短周期の波においては  $H_1/L_0$  が大きくなるにしたがい、 $K_R$  が小さくなる傾向を示す。しかし、逆に周期が長い波においては、 $H_1/L_0$  が小さい範囲では  $H_1/L_0$  の増加とともに  $K_R$  は減少するが、ある  $H_1/L_0$  からは逆に  $K_R$  は増加する傾向を示している。ここで分離推定法の誤差についての主な原因は波の非線形性あるいは非線形干渉であり、これらは相対水深が小さく波形勾配が大きい波ほど顕著になる。この部分の波

図-5 反射率  $K_R$  と波形勾配  $H_1/L_0$  の関係 (複層消波工)図-6 反射率  $K_R$  と相対水深  $h/L_0$  の関係 (複層消波工)

に対しては精度が低下したために生じた誤差と考えられる。また全体的に各相対水深における波形勾配による反射率の変化の割合は小さい。

反射率  $K_R$  を相対水深  $h/L_0$  で表したものを図-6に示す。 $h/L_0$  が大きくなるにしたがい、 $K_R$  は小さくなる傾向を示している。一般に波高の増加は水粒子速度の増加を、周期の減少は水粒子速度の鉛直成分の増大をもたらすから、いずれも損失エネルギーの割合を大きくし、 $K_R$  を小さくすると考えられる。ブロック堤の場合  $K_R$  は一般に0.2から0.4程度と言われているが、このような複層消波工の型式で、長周期の波については  $K_R$  は一般に言われている  $K_R$  よりも大きくなる。

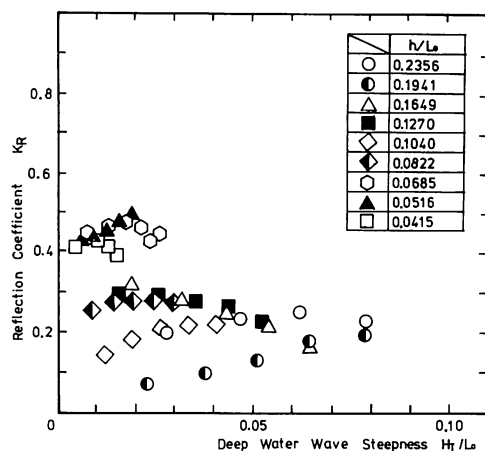


図-7 反射率  $K_R$  と波形勾配  $H_1/L_0$  の関係 (単層傾斜堤)

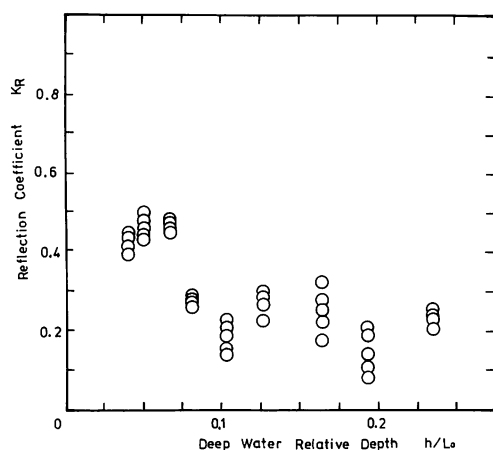


図-8 反射率  $K_R$  と相対水深  $h/L_0$  の関係 (単層消波工)

### 3.2 単層傾斜堤の反射率

単層傾斜堤の反射率  $K_R$  と波形勾配  $H_1/L_0$  との関係を図-7に示す。図より  $H_1/L_0$  による  $K_R$  は各相対水深  $h/L_0$  において一定の傾向がなく、 $H_1/L_0$  の増加とともに  $K_R$  は増加するものや逆に減少するものが見られる。しかし、複層消波工と同様に  $H_1/L_0$  による  $K_R$  の変化の割合は小さい。

反射率  $K_R$  を相対水深  $h/L_0$  で表したものを図-8に示す。複層消波工と同様に  $h/L_0$  が大きくなるにしたがい、 $K_R$  は小さくなる傾向を示し、各  $h/L_0$  における最大  $K_R$  は通常消波ブロックの反射率として用いられている0.2ら0.4程度にはばおさまっている。

## 4. あとがき

本実験より反射率は、短周期の波については小さく、最大の反射率でも一般言われている0.2から0.4の範囲にあるが、長周期の波においては大きな反射率を示す。また波形勾配による反射率の変化は相対水深ほど顕著ではない。複層消波工と単層傾斜堤では単層傾斜堤の方が反射率が小さくなり、特に長周期に対しても消波効果を示す。

なお本研究は、東興ブロック工業(株)からの奨学寄付金を使用して行ったものであり、またデータ解析処理等には特定研究により購入されたワークステーションを利用して行った。また、本研究を行なうにあたり、室蘭工業大学近藤俊郎教授に御指導、御助言を頂いた。また東興ブロック工業(株)及び(株)道建資材工業から資料等の御協力を得、本校土木工学科17期生の新宮照暁、高橋正樹、徳田勝浩、鳥井洋介、門間義之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) 井島武士, 江口泰彦, 小林 彰: 透過性防波堤と岸壁に関する研究, 海岸工学論文集, 18回, pp. 121~130, 1971.
- 2) 藤本稔美, 阿部宣行, 長谷川 寛: 消波ブロックの水理特性に関する実験的研究, 電力中央研究所報告, 1982.
- 3) 合田良美, 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, 運輸省港湾技研資料, No. 248, 1976.

(平成2年11月30日受理)