

# 万能異形ブロック GAMMA ELの特性実験

齋藤 隆\*・柴田 幸信\*

On the Properties of Gammer-el Block Cover-layer for Break-waters

Takashi SAITŌ\*and Yukinobu SIBATA\*

## Abstract

Laboratory tests has been done mainly to determine the stability of GAMMER-EL block cover-layer for break-waters. The expression of stability with wave hight in deep water has been derived and correlated with the test data.

In conjunction with the stability tests, data of wave run-up on GAMMER-EL block break-water and damping-action by GAMMER-EL block mounded break-water are obtained for tested break-water section and wave condition for stability.

## 1. 緒言

近年、海岸構造物の根固めや構造物本体として多くの種類の消波用ブロックが考案され、実際に使用されている。各種消波用ブロックの特性に関しては多くの研究がなされ有用な結果が得られているが、主として模型実験としておこなわれたものが多く、ブロックの使用条件とが作用する波の特性の違い等によるブロック特性の変化を推定することは困難なことが多い。

捨石および消波ブロックの安定性について Hudson は捨石および消波ブロックの移動限界に影響すると考えられる要素を割合合理的に含んだ捨石および消波ブロックの移動限界の表示法を提示されている。また、

佐藤清一氏はエネルギー的考察より捨石および消波ブロックの移動限界についての表示法を示されている。

本文は、新しく考案された万能異形ブロック GAMMA EL (ΓL) の安定性を Hudson の安定係数  $K_D$  および佐藤清一氏のエネルギー的表示法によって検討すると同時に、Hudson とほぼ同様な考察より沖波波高を用いた安定性の表示法で検討した結果、および、安定性の実験時に測定した壟上高および透過性についての結果を報告するものである。

## 2. 実験装置および実験方法

実験水槽はFig. 1に示すように、巾50cm、深さ45cm、長さ21mの鉄製水槽で、その一端にはフラッター

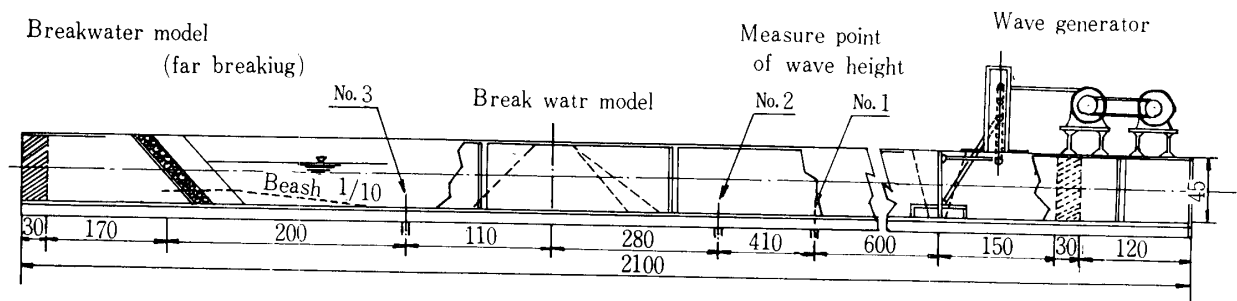


Fig. 1 Experimental apparatus

形式の造波機が設置されている。

波高の測定は容量 $0.02\text{kg}/\text{cm}^2$ の差圧計を Fig. 1の No. 1～No. 3の水路底に取りつけ、圧力変動をラピコーダーで記録して波高および周期を求めた。

使用した ΓLブロックの模型はFig. 2に示す寸法のモルタル製のもので、ブロック1個の重量は75gr～80gr、平均77.2gr、平均比重2.17のものである。なほ、乱積の場合のブロック空隙率は平均値として55.4%で

\* 土木工学教室

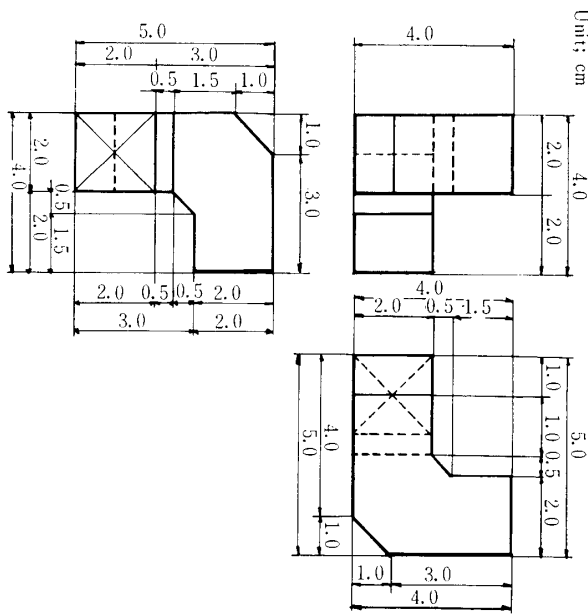


Fig. 2 Form and scale of  $\Gamma$ L block

あった。

安定性についての実験堤はFig. 3およびFig. 4に示す $\Gamma$ Lブロック模型堤を用い、造波機によって作られ

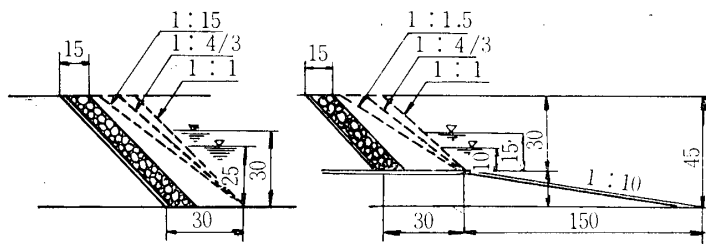


Fig. 3 Section of breakwater model (for breaking)

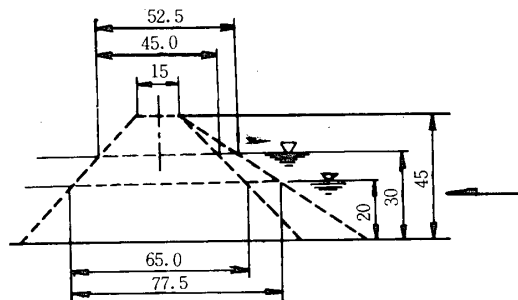


Fig. 4 Section of breakwater model

た最初の波が模型堤で反射され造波機に達する以前に造波機をとめ、水面が静まるのをまち、再び造波機を動かして同じ特性の波を30~50波模型堤にあてた。このようにして、波高を順次増加させていき、 $\Gamma$ Lブロックの移動限界を求めていった。

$\Gamma$ Lブロックの移動状態は模型堤の製作の違い等に

よって必ずしも判然とはしない場合もあるが、おおむね次の様な順序で変化していく。すなわち、

- (1). 余り動かない。
- (2). 不安定なものが動き、特に不安定なものが脱落することもある。
- (3). (2)の状態でしめ固められ安定状態となる。
- (4). 静水面付近ではげしく振動するブロックがある。
- (5). 1~2ケの脱落がある。
- (6). 順次脱落するブロックがでてくる。
- (7). 法面がずれるようになり、崩壊状態となる。

筆者等は $\Gamma$ Lブロック堤の移動限界としては原則的に(4)を基準とした。すなわち、不安定ブロックが一度安定した後、1~2ケの脱落を生じせしめた実験波の一つ前の実験波をもって移動限界を与える実験波であるとした。なお、整積の場合には、(2), (3)の状態はみられないが、この場合にも原則的には(4)を移動限界とした。

実験水深は堤前水深が碎波する場合には10~15cm、非碎波の場合には25~30cmとした。また、法勾配は

1 : 1, 1 : 4/3, 1 : 3/2 の3種類に変化させ、ブロックの積み方は乱積および1層および2層の整積とした。

透過性はFig. 4に示す $\Gamma$ Lブロック模型堤において、来襲波をNo. 1とNo. 2の差圧計で、透過波はNo. 3の差圧計で記録した圧力変動より求めた波高より検討した。

$\Gamma$ Lブロック堤の壟上高は安定性および透過性の実験の際に測定した。

### 3. 実験結果と考察

安定性；捨石および消波ブロックの移動限界にたいして、Hudsonは碎波、非碎波にかかわらずオーダー的に碎波波速 $V_b = \sqrt{gh_b}$ をもちいた Drag force と捨石およびブロックの法面上の Resistance force との釣合いから次式を与えている。

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (1)$$

ここに、 $W$ ；表面捨石および異型ブロックの重量、  
 $\gamma_r$ ；捨石および異型ブロックの空中単位重量、  
 $S_r$ ；捨石および異型ブロックの比重、  
 $\alpha$ ；斜面が水面となす角、  
 $H$ ；防波堤堤前の波高、  
 $K_D$ ；常数。

(1)式を無次元形に変形するとつぎのようになる。

$$K_D = \frac{\gamma_r H^3}{W (S_r - 1)^3 \cot \alpha} = f\left(\alpha, \frac{H}{L}, \frac{h}{L}, D\right) \quad (2)$$

ここに、 $h$  ; 設置水深

$D$  ; Damage parameter (percent %)

消波ブロックの安定性を検討するには、(2)式の最右辺のパラメーターについて  $K_D$  の値を検討してみれば

よい。 $K_D$  の値を沖波波形勾配  $H_0/L_0$  に対して図示したものが Fig. 5 である。一般に、 $K_D$  の値は非碎波、碎波によって若干値が異なるが、一ブロックについてはほぼ一定値とみられているが、Fig. 5 をみると  $K_D$  の値は波形勾配が大きくなると増大する傾向がテトラポットおよび  $\Gamma$ L ブロックの両者ともにみられる。比重および法勾配は本実験においてはほぼ一定値であるの

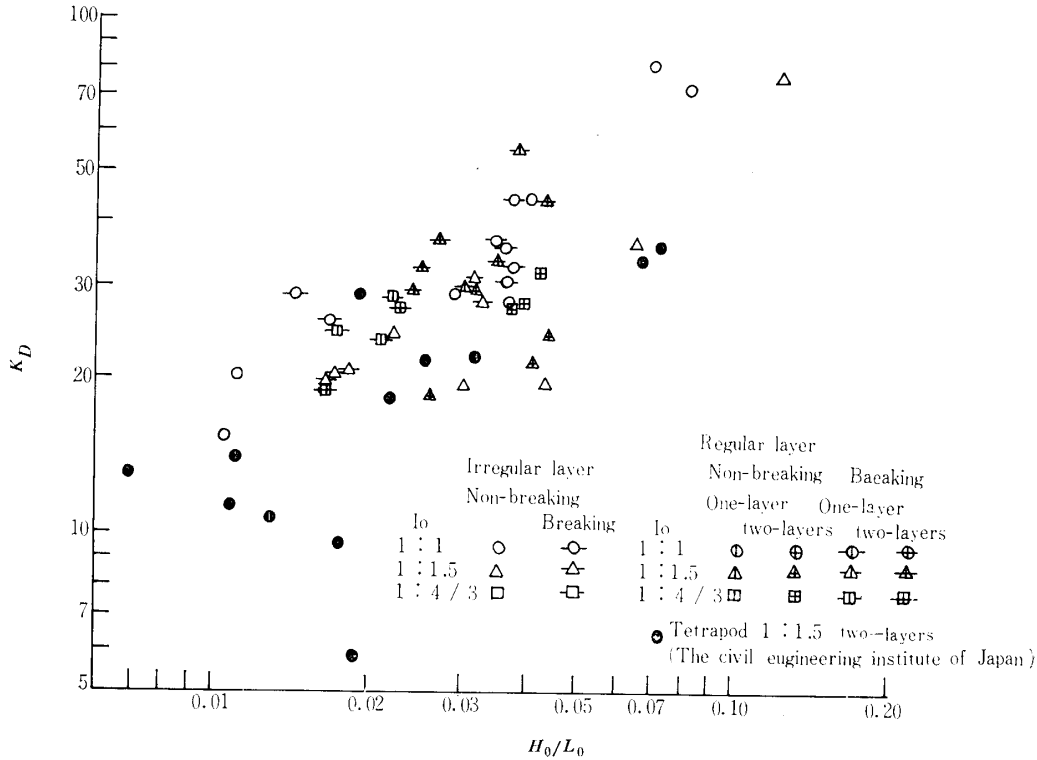


Fig. 5 Relation between  $K_D$  and  $H_0/L_0$

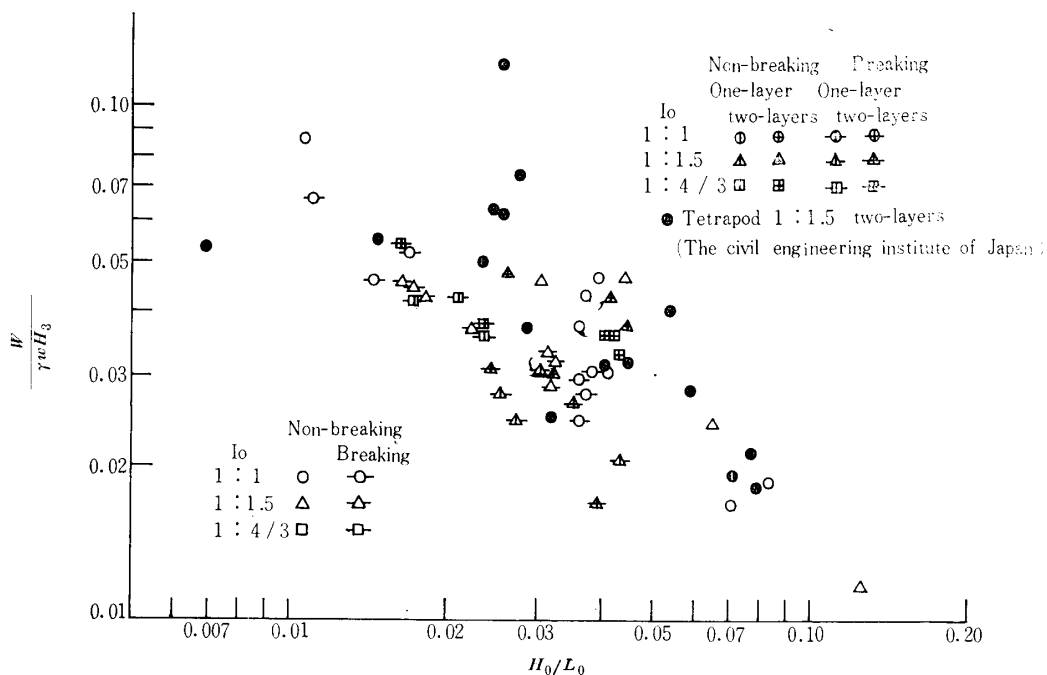


Fig. 6 Relation between  $W/\gamma w H^3$  and  $H_0/L_0$

で、 $K_D$ の逆数値に比例する $W/\gamma_w H^3$ の値を沖波波形勾配 $H_0/L_0$ および設置水深 $h/L_0$ に対して図示したものがFig. 6, Fig. 7である。両図でみると砕波、非砕

波の両場合とも波形勾配および設置水深が増大するにつれて $W/\gamma_w H^3$ の値が減少、すなわち、 $K_D$ の値が増大する傾向がみられる。なおFig. 5, Fig. 6, Fig. 7

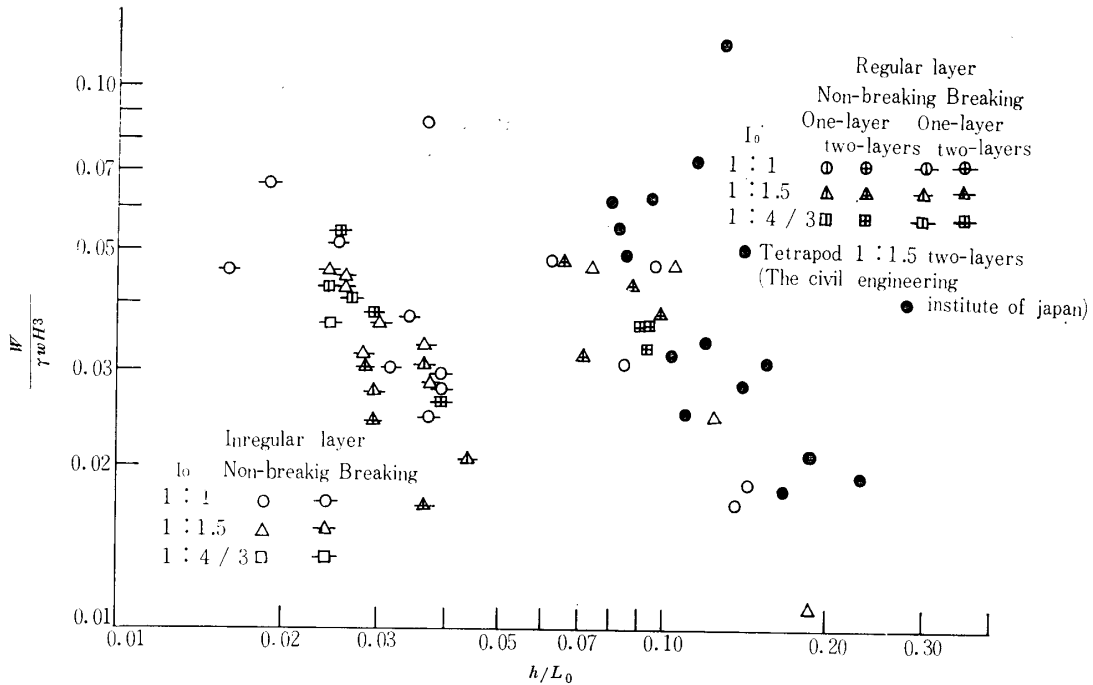


Fig. 7 Relation between  $\frac{W}{\gamma_w H^3}$  and  $h/L_0$

中に図示してある土木研究所のテトラポットの実験結果は **Breaker index** を用いて砕波、非砕波の判定を行なってみるとすべて非砕波の状態と考えられる。

土木研究所で提示された単位巾あたり1波長がもつエネルギーを、表層の捨石1個の重量との比  $W/\gamma_w H_0^2 L_0$ でもって移動限界を表示してみたのがFig. 8

Fig. 9である。両図でみると  $W/\gamma_w H_0^2 L_0$  の値の散らばりはFig. 5~Fig. 7の $K_D$ と同じく実験点の散乱が大きい、 $H_0/L_0$ および  $h/L_0$  に対しての傾向的なものはみられないようである。

Hudsonの考え方にしたがうと、捨石およびブロックの移動は砕波の衝撃的な寄せ波の波力によるものと

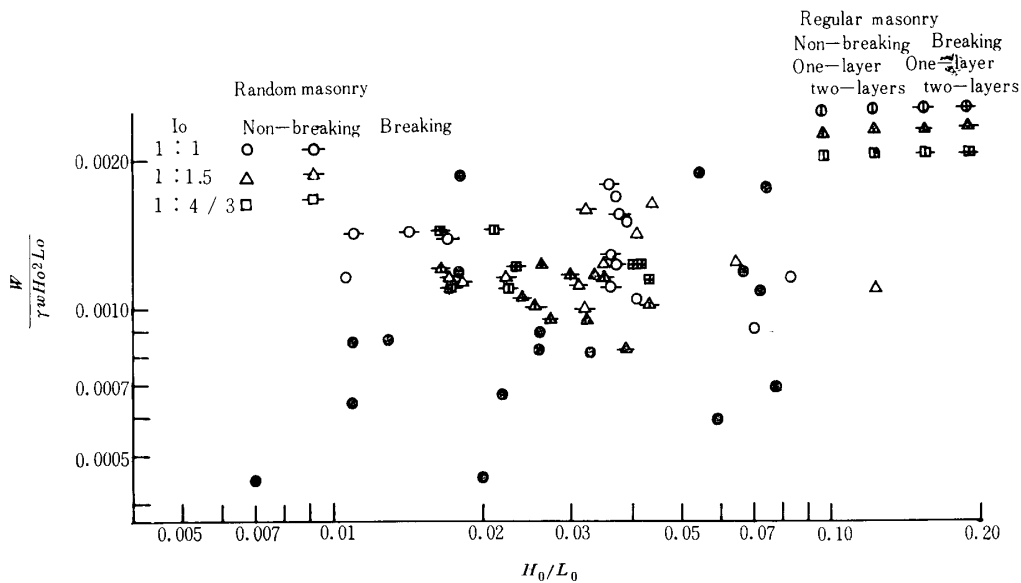


Fig. 8 Relation between  $\frac{W}{\gamma_w H_0^2 L_0}$  and  $H_0/L_0$

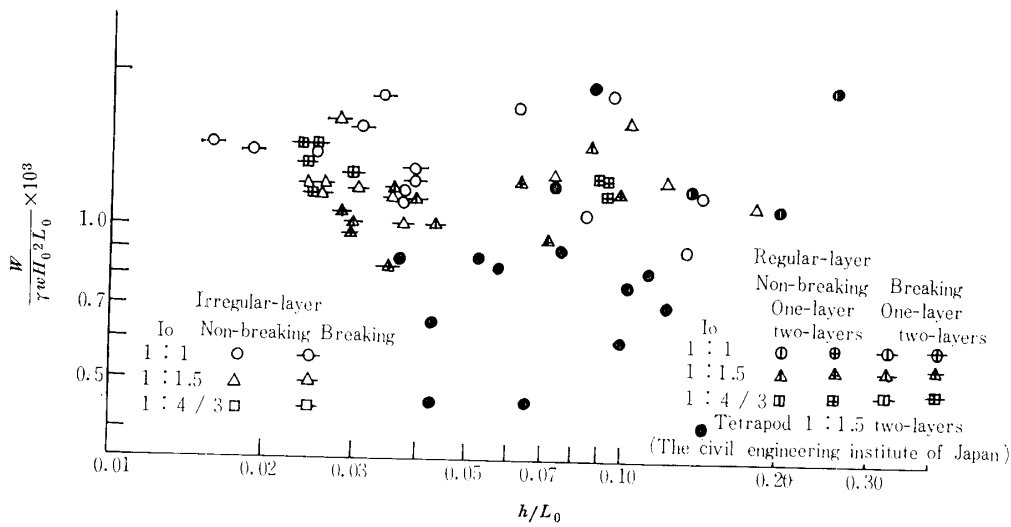


Fig. 9 Relation between  $\frac{W}{\gamma_w H_0^2 L_0}$  and  $h/L_0$

考えられるが、佐藤清一氏らが指摘されているように、実験を観察してみると非碎波の場合、とくに、波形勾配の小さい場合には引き波の掃流力的な波力による移動がみとめられた。

このような碎波する場合と碎波しない場合とでの捨石およびブロックの移動のしかたの違いを統一的に表示することは非常に困難なことであるが、波形勾配が大きいときまた碎波する場合の衝撃的にブロックに衝突する水分子の流速および波形勾配の小さい場合の引き波の水分子の流速を評価するに、両状態の波の性質が大胆ではあるがオーダー的に浅海波が適用出来るものと考え、以下に述べるように沖波波高を用いた移動限界の表示法が得られる。

水表面の水分子の水平方向の移動速度  $U_s$  は微小振巾波理論によると次式で与えられる。

$$U_s = \frac{\pi H \cosh \frac{2\pi h}{L}}{T \sinh \frac{2\pi h}{L}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$$

$L_0 = gT^2/2\pi$  なる関係を用いると、 $U_s$  の最大値  $U_{smax}$  はつぎのようになる。

$$U_{smax}^2 = \frac{g}{2\pi} \frac{H_0^2}{L_0} \left(\frac{H}{H_0}\right)^2 \frac{\cosh^2 \frac{2\pi h}{L}}{\sinh^2 \frac{2\pi h}{L}}$$

$$= \frac{g}{2\pi} \frac{H_0^2}{L_0} \left(\frac{\cosh \frac{2\pi h}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}}\right)^2 \left/ \left(1 + \frac{4\pi h}{L} \frac{1}{\sinh \frac{4\pi h}{L}}\right)^2\right. \quad (3)$$

$U_{smax}$  を用いた Drag force と法面上のブロックの抵抗力との釣合を考えると、捨石およびブロックの移動限界の表示として次式が得られる。

$$\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{(S_r - 1)}{H_0} \propto \frac{C_g}{2\pi} \frac{K_A}{K_V^{2/3}} \frac{H_0}{L_0}$$

$$\left(\frac{\cosh \frac{2\pi h}{L}}{\sinh \frac{2\pi h}{L}}\right)^2 \left/ \left(1 + \frac{4\pi h}{L} \frac{1}{\sinh \frac{4\pi h}{L}}\right)^2\right. \propto K_S F\left(\frac{H_0}{L_0}, \frac{h}{L_0}, \alpha\right) \quad (4)$$

ここに、 $K_V$  ; 容積係数  $K_V = W/\gamma_r l_V^3$ ,

$l_V$  ; 捨石およびブロックの容積を示す特性長、

$K_A$  ; 面積係数  $K_A = A/l_A^2$ ,

$A$  ; 捨石およびブロックの鉛直面への投影面積、

$l_A$  ; 捨石およびブロックの投影面積を示す特性長、

$K_S$  ; 安定限界係数、

$\alpha$  ; 法面の静水面との角、

係数  $K_S$  には  $K_V, K_A$  を含んでいるのでブロックの形状によって変るものである。

$(W/\gamma_r)^{1/3}(S_r - 1)/H_0$  を波形勾配  $H_0/L_0$  に対して図示したものが Fig.10 である。Fig.10 の表示は Hudson の表示において堤前波高を用いる代わりに沖波波高を用いたものになっている。Fig. 6 と Fig.10 を比較してみると、実験点の散乱は Fig. 6 に比べ Fig.10 の方が、すなわち、堤前波高を用いた場合よりも沖波波高を用いた場合が実験点の散乱は少ない。また、Fig. 6 においては碎波する場合と碎波しない場合とはかなり明瞭に分離されるが、Fig.10 においてはこの差は認

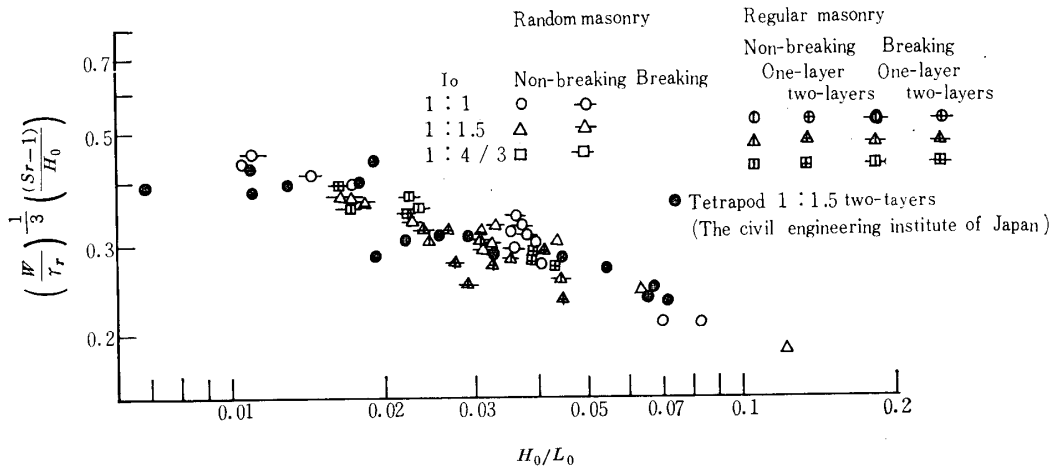


Fig. 10 Relation between  $\left(\frac{W}{\gamma r}\right)^{1/3} \frac{(Sr-1)}{H_0}$  and  $H_0/L_0$

められない。なお、法勾配の影響であるが、本実験の範囲内程度の法勾配の変化では認めにくい。

透過率：堤体背後への透過波高  $H'_h$  と来襲波の堤高

波高  $H_h$  との比  $H'_h/H_h$  を静水面における堤体巾  $B/H_h$  をパラメーターとして沖波波形勾配  $H_0/L_0$  に対して図示したものが Fig. 11 である。実験点の散乱がかなり大

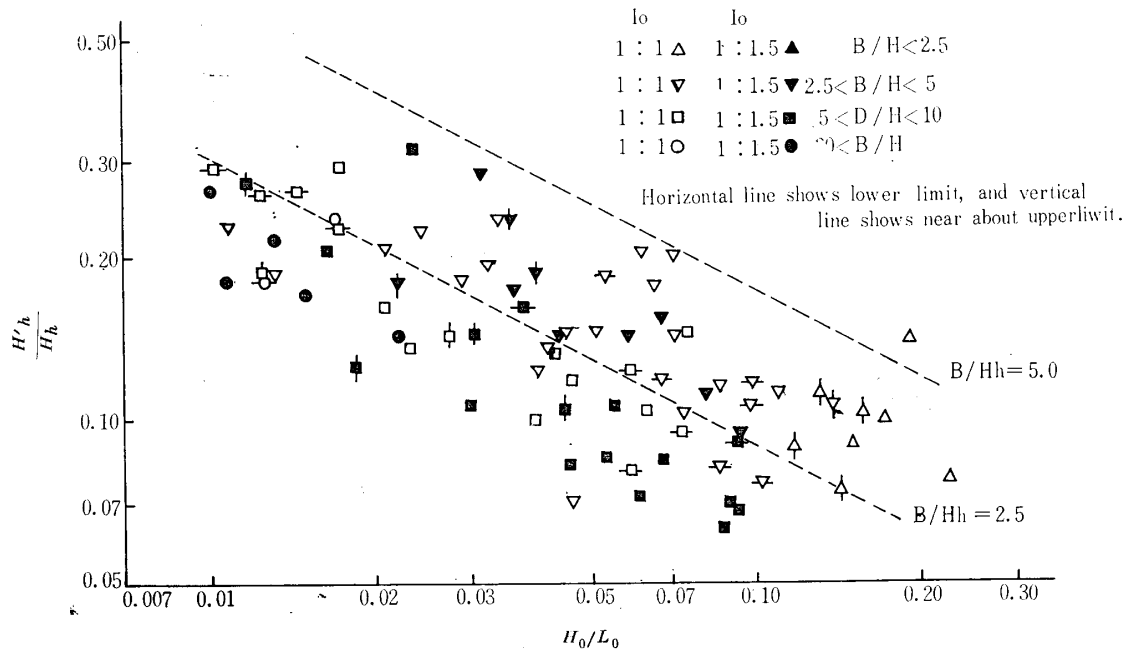


Fig. 11 Relation between  $H'_h/H_h$  and  $H_0/L_0$

きいのであるが、 $B/H_h=2.5$  と  $B/H_h=5.0$  の透過波高の限界値を图中に点線で示してみた。

当然の結果であるが、堤体巾  $B/H_h$  が大きいほど波の透過時の損失が大きいので、透過波高は小さくなっている。また、透過率にたいする波形勾配の影響であるが、波が堤体を透過していくのを非定常状態の浸透流の流れと類似するものとすれば、同じ来襲波高であっても波形勾配の大きいほど単位時間における水位上昇または圧力の上昇量は大きいので、堤体内を透過

する間のエネルギー損失が大きくなると考えられる。したがって、波形勾配の大きいほど透過波の波高は減少するものと考えられる。

壟上高  $R/H_0$ ；乱積と整積，碎波と非碎波および法勾配をパラメーターとして，壟上高を波形勾配に対して図示したものが Fig. 12 である。同図中に示してある実線および一点鎖線はテトラポットおよび Saville の平滑複合断面における壟上高の実験結果である。乱積の場合をみるとほぼテトラポットの実験結果と一致し

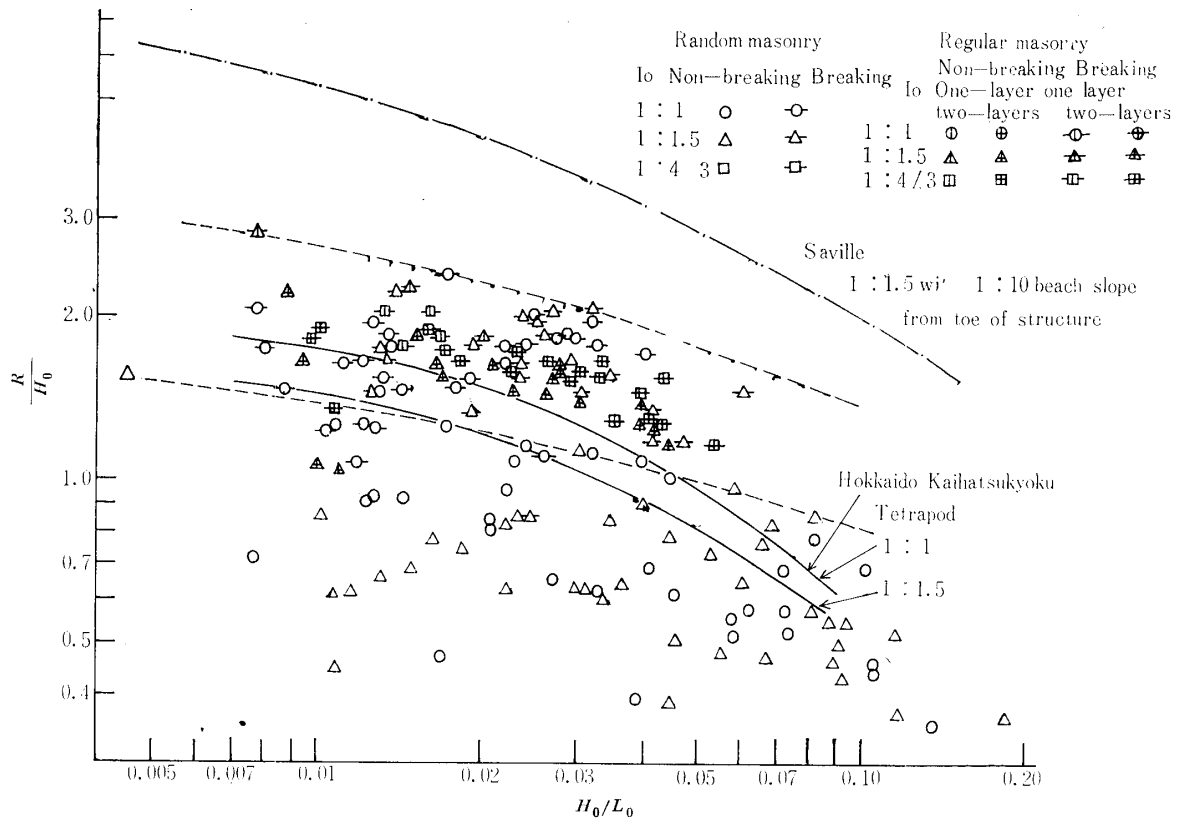


Fig. 12 Relation between  $R/H_0$  and  $H_0/L_0$

た結果であるが、整積および砕波する場合にはかなり大きな壟上高となっている。乱積の場合の壟上高は波が法面に当たってかなりの大塊で法面上に落下する高さまでとして決定したので、滑面における壟上高と若干異なった性質のものではないかと思われる。

整積の場合に壟上高が大きいのは、本実験で採用した整積の方式では平面に凹部が千鳥形に配置されているようなもので、平面の粗度が期待出来ないためであろう。なお、 $\Gamma L$ の整積の方式は多数考えられ、安定性等を考慮に入れなければ平面に凸部を千鳥形に配置することも出来るので、そのようにすれば壟上高は大巾に減少することが期待出来るのではないかと思われる。

#### 4. 結 語

以上、 $\Gamma L$ ブロックの安定性、透過性および壟上高についての実験結果を説明したが、 $\Gamma L$ ブロックの特徴を要約するとつぎのとおりである。

$\Gamma L$ ブロックの安定性はFig. 5よりFig. 10で検討したようにテトラポットとほとんど同じ程度のものであるが、他種の異形ブロックに比べその形状が単純であるため製作が簡単で同一重量のブロックであれば工費のかなりの節約になるのではないかと思われる。

透過性については比較する資料がないのであるが、

空隙率等よりみて他種の異形ブロックと大差ないのではないかと思われる。

壟上高の検討はまだ不充分であるが、乱積の場合はテトラポットと大差ない結果が得られたが、本実験で用いた整積方式であると法面粗度は期待しがたく乱積の場合の2倍程度の壟上高となる。

最後に本実験を行なった熊谷忠輝、佐伯友康、佐々木明、向上拡美の諸氏に謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) Saville, T. Jr.: Wane Run-up Shore Structure, Proc. A. S. C. E. 82 (1956)
- 2) Hudson, R. Y.: Laboratory Investigations of Rubble Mound Breakwaters, Proc. A. S. C. E. WW 85, 3 (1959)
- 3) 菅野一, 塚本武慶, 内田万作: 防波堤体用各種塊の耐波模範実験, 土木技術, 13, 6 (1958)
- 4) 佐藤清一, 細井正延, 木村俊晃, 三井 宏: 捨石およびテトラポットの移動限界について, 第5回海岸工学講演会講演集 (1958)
- 5) 永井莊七郎: 消波用中空ブロックに関する研究, 第6回海岸工学講演会講演集 (1959)
- 6) 本間仁, 堀川清司: 海岸護岸の実験的研究—根固工について—, 第7回海岸工学講演会講演集 (1960)
- 7) 永井莊七郎: 新しい消波用コンクリート・ブロックに関する研究, 第8回海岸工学講演会講演集 (1961)
- 8) 永井莊七郎: 防波堤および海岸堤防前面におかれた消波ブロックの効果について, 第8回海岸工学講演会講演集 (1961)

- 9) 細井正延, 富永正照: 土研式ブロックを用いた海岸堤防の根固め工について, 第8回海岸工学講演会講演集 (1961)
- 10) 古谷浩三: テトラポット防波堤に関する実験的研究, 第8回海岸工学講演会講演集 (1961)
- 11) 白石直文: 消波工に関する二, 三の問題, 第10回海岸工学講演会講演集 (1963)
- 12) 白石直文: 最近のテトラポット工法, 土木施工, 12 (1962)

(昭和44年12月15日受理)