

海岸堤防前面に設置したブロック堤の 消波および洗掘防止効果に関する研究

*玉井 佐一・**山田 泰生

(*農学部防災水工学研究室・**株式会社 ジャパンテクノロジー)

Experimental Study on the Wave Breaking Works and Scour Protection for Frontal Seawall

Saichi TAMAI* and Yoshifusa YAMADA**

* *Laboratory of Water Disaster Prevention Engineering Faculty of Agriculture*

** *Co., Japan Technology*

Abstract: In recent years, the shorelines have been changing the position and moving backward due to the beach erosion and scouring of frontal seawall. This become an imminent issue for which measures to prevent potential disasters are urgently required. The measures currently taken are; to lay blocks in front of seawall aimed to prevent and reduce the development of frontal scouring. However, if positioning of such blocks is not appropriate, it is in some cases only to lead a further progress of erosion. The positioning and placement of blocks are therefore critical.

This study is focussed on this issue and aimed to discuss the most effective positioning and placement of blocks to prevent erosion of frontal seawall as well as scouring of its foot.

ま え が き

海岸侵食の激しい地区では海岸堤防前面の砂浜は消失し、荒天時には波が直接海岸堤防へ激突して越波災害や堤脚洗掘に伴う堤防の倒壊などの被害が発生し、海岸保全上憂慮される問題となってきた。その防禦対策工法のうち護岸工として、従来からわが国では海岸堤防前面にブロック堤を設置してきたが、この場合、海岸堤防前法面を被覆するような設置法や幾分海岸堤防より離して設置するなど、越波防止または堤脚洗掘防止など各目的に対応した施工方法がとられてきている。しかし、それらが必ずしも十分な成果をあげていない場合もみられ、却って碎波を助長したり、前面域の砂移動を促進し、堤脚部の洗掘を拡大させるなどの報告¹⁾がなされている。これは入射波の特性、海岸堤防および海浜形状などの他、海岸堤防前面に設置するブロック堤の形状および位置が重要な要因となっていることが考えられる。したがって、海岸堤防前面に設置するブロック堤の消波および洗掘防止効果についてはより広範な検討が必要である。

本実験は以上のような立場から波および海浜特性さらに海岸堤防前面のブロック堤の設置位置を種々変え、ブロック堤のより効果的な消波および洗掘防止策について考察するものである。

実験設備および実験方法

1. 実験設備

実験には長さ20m, 幅10m, 深さ70cmの平面波浪水槽を用い, この水槽の中央に隔壁を設けて二分し, 幅5mとして使用した。水槽の一端には中央粒径 $d_{50}=0.36\text{mm}$ の自然砂によって勾配1/15および1/20の砂浜海岸模型を作製し, この砂面上に前法勾配1:0.5で, 砂面上の高さ20cm, 根入れ深さ15cmの海岸堤防模型を設置した。波はフラップ型造波機によって起し, この入射波を水槽の一端水深部において容量式波高計を用いて計測するようにした。海岸堤防前面に設置するブロック堤は模型重量平均62.2gr/個のテトラポッドを乱積(空隙率53.9%)と, この基礎には平均径1~2cmの碎石を網袋に入れて敷きつめ, (空隙率46.3%)基礎捨石工模型とした。このブロック堤および海岸堤防の設置条件は図1に示す7ケースとした。なおブロック堤敷幅は11~13cm天端幅5~7cm, 静水面上の高さは2.5~4cmである。

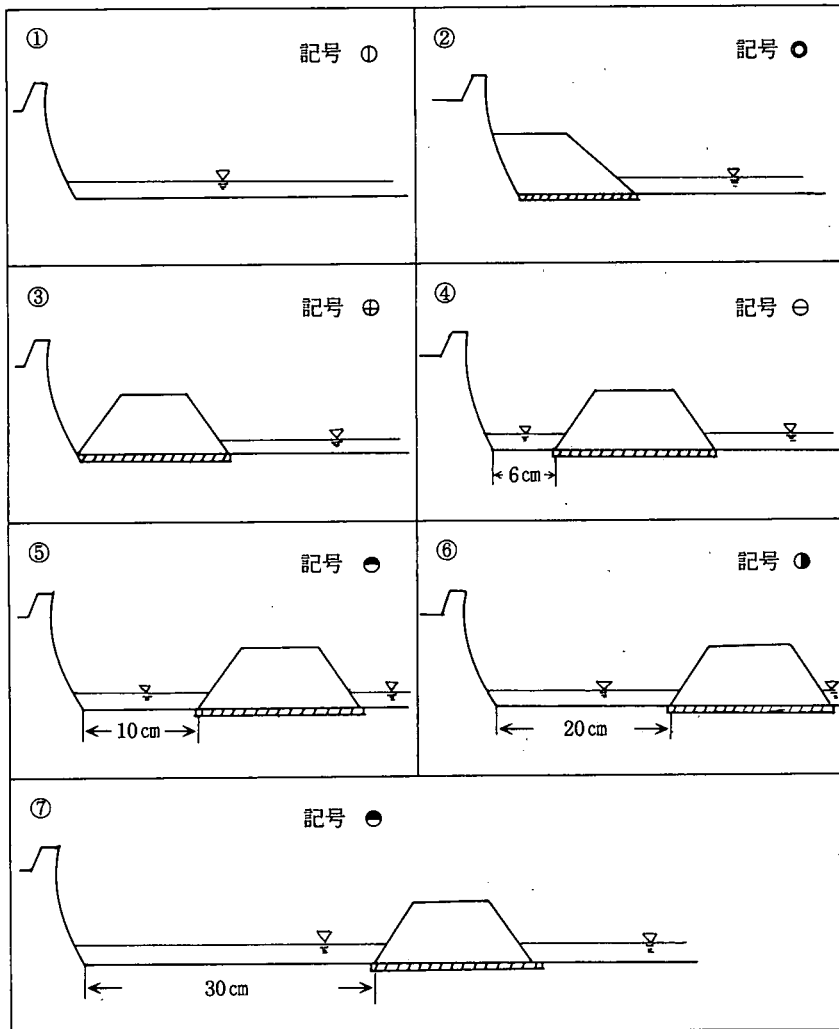


図1 海岸堤防およびブロック堤の設置条件

2. 実験方法

本実験における模型縮尺は波浪水槽の規模を考慮して1/50と決定し、フルードの相似則にしたがった。海岸堤防前面水深は $h_1=1.0\text{cm}$ 、 2.0cm 、および 3.0cm とした。波浪特性としては周期 $T_m=1.21\sim 1.41\text{sec}$ （現地 $T_p=8.55\sim 9.97\text{sec}$ ）。沖波波高 $H_{om}=3.0\sim 16.0\text{cm}$ （現地 $H_{op}=1.5\sim 8.0\text{m}$ ）沖波波形勾配 $H_{om}/L_{om}=0.0088\sim 0.051$ の範囲について検討した。造波時間は2時間とし、入射波は造波開始後、波が一様になってから容量式波高計によって測定した。この波群の中10波の平均波高を求め沖波波高に換算した。また、ブロック堤遮蔽域内の波高 H_b は造波開始後、入射波が一様になってから10波測定し、平均値を採用した。海岸堤防法面への遡上波および砕波波高は造波一時間後に計測した。海浜地形の変化、洗掘深は造波終了後20cmメッシュおよび50cmメッシュの交点で測定台に取りつけた砂面測定器を用いて測定した。

実験結果とその考察

1. 砕波波高について

図2は縦軸に砕波波高 H_b と沖波波高 H_o との比 H_b/H_o を、横軸に沖波波形勾配 H_o/L_o をとって示したものである。図中、実線は合田²⁾による自然海浜に対する考察結果である。本実験のように、海岸堤防およびブロック堤を設置した場合、当然乍ら反射波または流れの影響によって砕波波高が複雑に変化し、 H_b/H_o と H_o/L_o の明確な関係は見出せない。

図3はブロック堤の設置位置の相違による効果をみるため、縦軸は上記図2と同様、 H_b/H_o をと

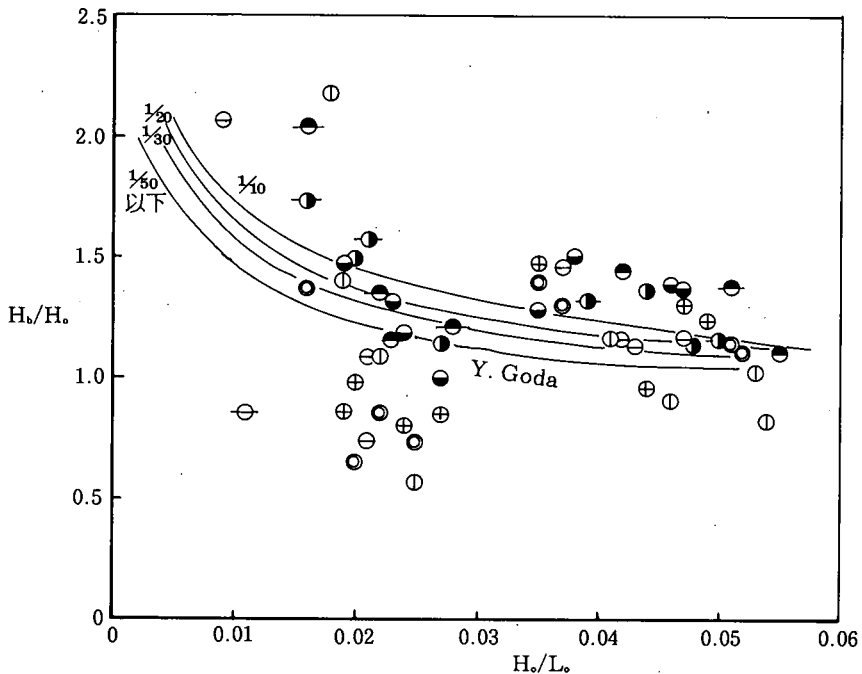


図2 砕波波高と沖波波形勾配の関係

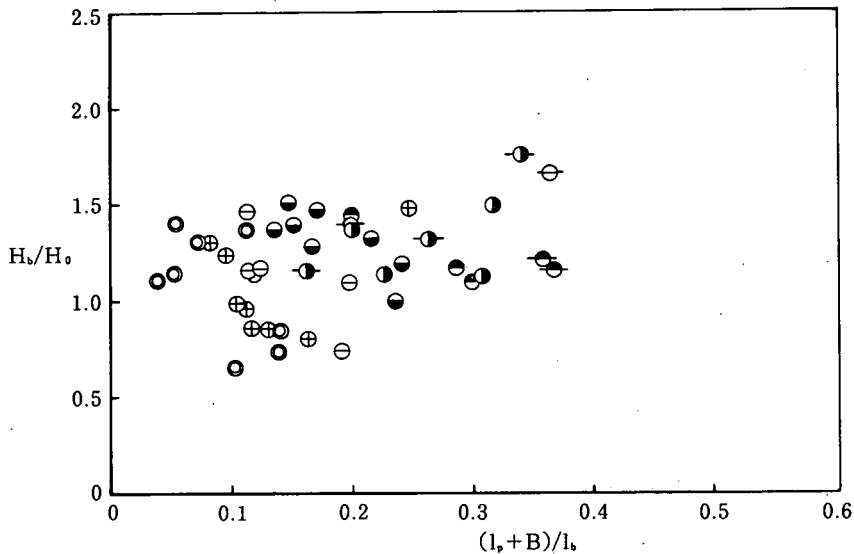


図3 ブロック堤設置位置による碎波波高の変化

り、横軸にブロック堤岸側法尻端までの距離 l_p とブロック堤敷幅 B との和、 l_p+B と碎波帯幅 l_b との比 $(l_p+B)/l_b$ をとって示したものである。これによると $(l_p+B)/l_b$ による H_s/H_0 の明確な変化はみられないが、離岸距離が大きくなると H_s/H_0 の値がやや大きくなっている。これはブロック堤が碎波帯内にある場合、ブロック堤の消波機能、反射波の相違が碎波波高に影響をあたえていると考えられる。したがって、波がブロック堤上を越波するような場合(翼記号のもの)には、消波機能の減少、反射波の増大によって H_s/H_0 の値が大きくなっているものがある。しかし、波がブロック堤上を越波し、ブロック堤遮蔽域内においてウオタークッションによって波が減殺されるときは却って沖方向への反射が小さく H_s/H_0 の値はあまり大きくならないことがわかる。

全般的にみてブロック堤を設置した場合は $H_s/H_0 \approx 1.1 \sim 1.5$ の値を示す。

2. 碎波水深について

図4は縦軸に碎波水深 h_s と沖波波高 H_0 との比 h_s/H_0 を、横軸にブロック堤沖側法尻端までの距離 l_p+B と碎波帯幅 l_b との比 $(l_p+B)/l_b$ をとって示したものである。図中の曲線はブロック堤を越波した場合(翼記号つき)を除き、最小自乗法によって求めたものである。実験値のばらつきがあるが、一般に $(l_p+B)/l_b$ が大きくなると、 h_s/H_0 の値が若干小さくなっていることがわかる。なお、 h_s/H_0 と H_0/L_0 との関係を検討したが、平均的には従来のような実験²⁾による $h_s/H_0 \sim H_0/L_0$ 。曲線付近に実験値はプロットされるが、そのばらつきが大きく明確な結果はえられなかった。すなわち、このようなブロック堤の設置は反射波の乱れによる影響が顕著になるようである。

3. ブロック堤遮蔽域内波高について

ブロック堤遮蔽域内波高 H_i と沖波波高 H_0 との比 H_i/H_0 を縦軸に、横軸には上記同様 $(l_p+B)/l_b$ をとり、図5に示した。

いま、静水面からブロック堤天端までの高さ h_t と沖波波高 H_0 との比をとって実験値を整理すると、 $h_t/H_0 > 0.2 \sim 0.5$ では $H_i/H_0 > 0.2$ 、 $h_t/H_0 > 0.8 \sim 1.2$ では $H_i/H_0 < 0.2$ を示し、図中の曲線でそ

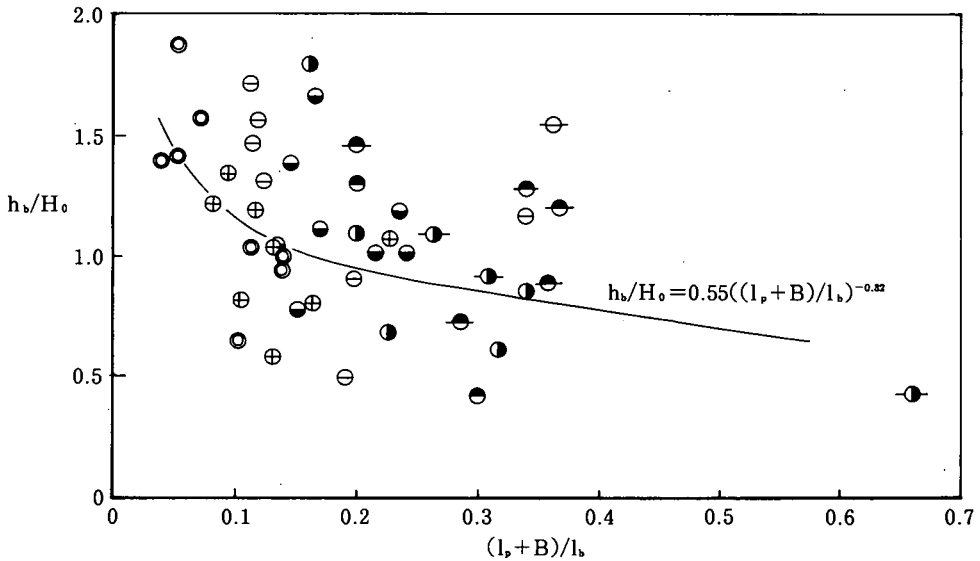


図4 ブロック堤設置位置による碎波水深の変化

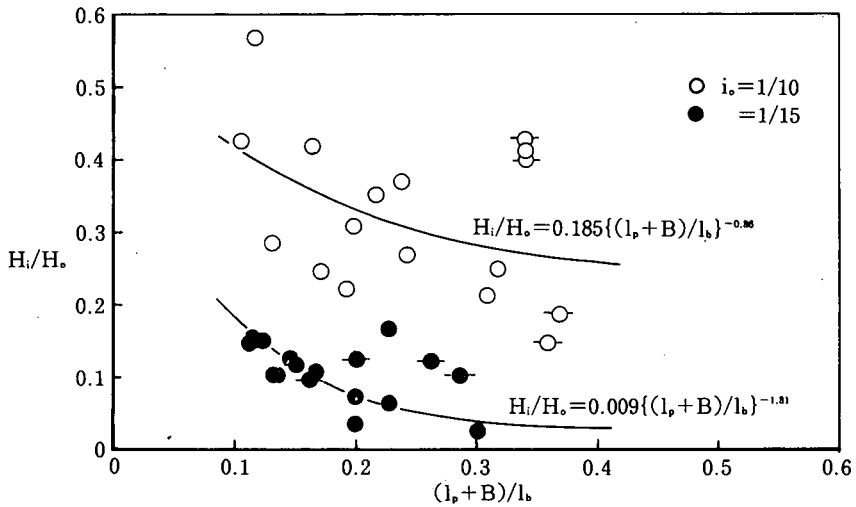


図5 ブロック堤設置位置による遮蔽域内波高の変化

それぞれ表わすことができる。すなわち、

$h_b/H_0 > 0.2 \sim 0.5$ では

$$H_i/H_0 = 0.185 \{(l_p+B)/l_b\}^{-0.36} \dots\dots(1)$$

$h_b/H_0 > 0.8 \sim 1.2$ では

$$H_i/H_0 = 0.009 \{(l_p+B)/l_b\}^{-1.31} \dots\dots(2)$$

である。これよりわかるように、ブロック堤の天端高が低い場合は当然のことながら、遮蔽域内の相対波高 H_i/H_0 は天端高の高い場合にくらべて大きいことがわかる。

図6は H_i/H_0 と h_b/H_0 と関係を見たものである。図によれば $h_b/H_0 > 1.0$ となると、 $H_i/H_0 = 0.1$ とな

り、ブロック堤の静水面上の高さ h_s を沖波波高程度にとると消波効果上望ましいことがわかる。

一方、砕波点からブロック堤までの距離が遮蔽域内波高にどのような効果をもたらすかを知るため、縦軸には上記同様 H_i/H_o をとり、横軸にはブロック堤沖側法尻端から砕波点までの距離 l_{or} と沖波波長 L_o との比 l_{or}/L_o をとって図7に示した。これによれば、 $l_{or}/L_o > 0.4 \sim 0.5$ で、 $H_i/H_o = 0.05 \sim 0.15$

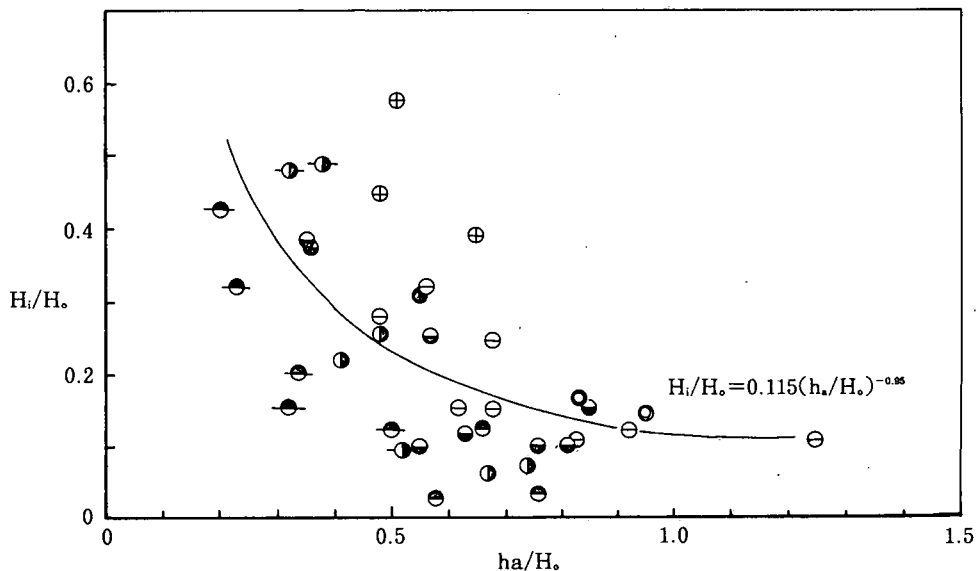


図6 ブロック堤天端高による遮蔽域内波高の変化

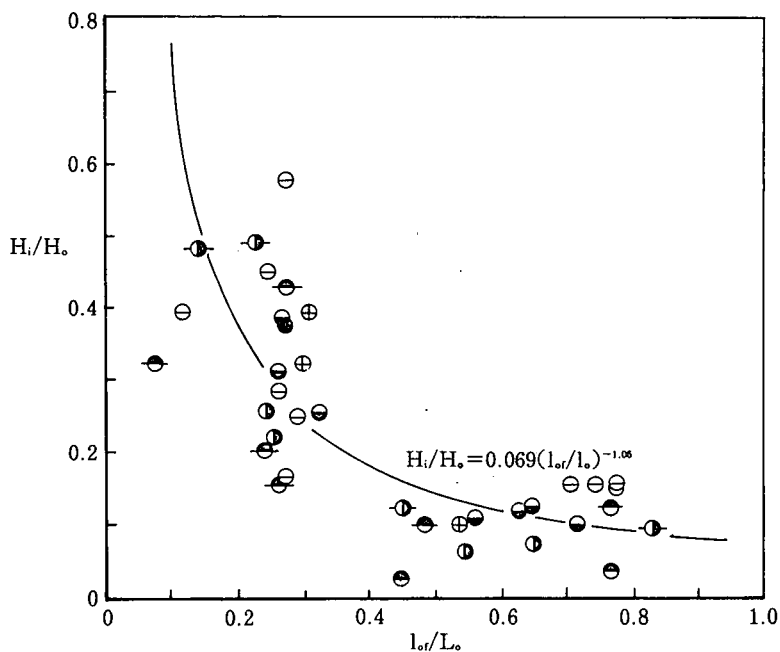


図7 ブロック堤より砕波点までの距離 l_{or}/L_o と遮蔽域内波高 H_i/H_o の関係

と小さくなっている。また、実験値は図中の曲線で表わされ、 $l_0/L_0 > 0.4$ となるような位置にブロック堤を設置することが適切と考えられる。

4. 海岸堤防への波の遡上について

ブロック堤の設置効果については上記のようなブロック堤遮蔽域内の波高の減少とともに、もう一つには海岸堤防法面への遡上波の減殺効果がある。

図8は縦軸に海岸堤防法面への波の鉛直遡上高 R と沖波波高との比 R/H_0 を、横軸に沖波波形勾配 H_0/L_0 をとって両対数紙上にプロットしたものである。図中の実線は豊島・首藤・橋本³⁾によるブロック堤を設置しない海岸堤防のみの場合の相対遡上波高を示したものである。この場合の海岸堤防の法面勾配 $1:0.5$ 、海浜勾配 $1/20$ 、相対水深 $h_1/L_0=0.01$ および 0 であり、本実験条件と類似している。本実験におけるブロック堤を設置しない場合(○印)の実験値は豊島らの曲線に近似した分布を示している。一方、ブロック堤を設置した場合はブロック堤を設置しない場合より R/H_0

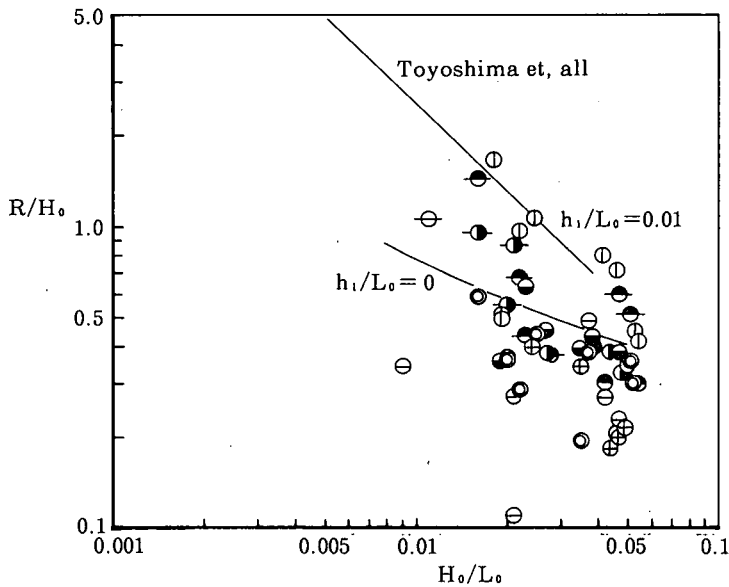


図8 法面遡上波高 R/H_0 沖波波形勾配との関係

の値は小さくなっていることがわかる。また、ブロック堤を越波しても越波が小さい場合または海岸堤防とブロック堤間の水域におけるウォータークッションの効果によって相対遡上高 R/H_0 が小さくなっているものがみられる。

次に、ブロック堤の設置条件による遡上波高への効果を検討するため、縦軸に上記同様 R/H_0 をとり、横軸にブロック堤沖側法尻端までの距離 l_p+B と碎波帯幅 l_b との比 $(l_p+B)/l_b$ をとって図9に示した。海浜勾配 $i_b=1/15$ および $1/20$ ともに実験値のばらつきが大きい、 $(l_p+B)/l_b < 0.4$ では $(l_p+B)/l_b$ が増すと、 R/H_0 は大きくなる傾向がある。すなわち、ブロック堤沖側法尻端が碎波帯幅の0.4以内では、ブロック堤は海岸堤に近い程、相対遡上波高 R/H_0 は小さくなることがわかる。なお、これにはブロック堤の敷幅 B など、その規模が関係しているので、さらに多くの実験が必要

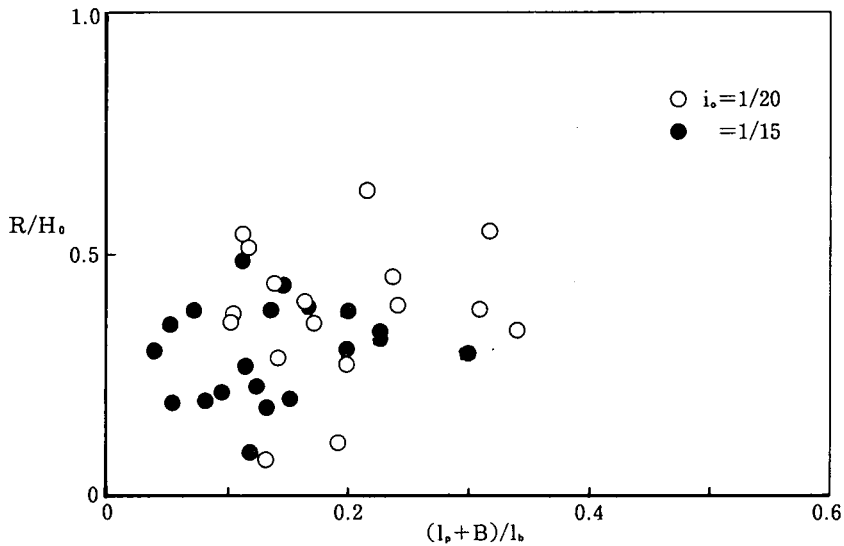


図9 ブロック堤設置位置による遡上波高の変化

であろう。

5. 海岸堤防前面脚部の地形変化について

海岸堤防脚部の洗掘など、その変化について従来から実験的考察が行われてきている。しかし、前述のように、入射波の特性、海岸堤防の構造形式および堤前面の海浜形状などの多くの要因が関連して複雑であり、特に堤脚洗掘については明確な結論がえられてないのが現状といえよう。例えば佐藤ら⁴⁾は二次元波浪水槽を用い、堤防前法勾配および海浜形状を種々に変えて実験を行い、正常海浜では洗掘深 S_k と沖波波高との比 $S_k/H_0=1.5\sim 2.3$ 、暴風海浜では $S_k/H_0=0.5\sim 1.5$ を示している。また、榎木⁵⁾の実験によれば、 $S_k/H_0 < 1.0$ を示すと述べている。

さて、図10は縦軸に従来のように、海岸堤防脚部の最大洗掘深 $S_{k,max}$ と沖波波高 H_0 との比 $S_{k,max}/H_0$ をとり、横軸にはブロック堤遮蔽域内波高 H_i と H_0 との比、 H_i/H_0 をとって示したものである。図中の曲線は静水面よりブロック堤天端までの高さ h_s と H_0 との比によって分類したものである。曲線①は $h_s/H_0=0.2\sim 0.5$ の場合であり、また曲線②は $h_s/H_0=0.8\sim 1.2$ の場合で、 h_s/H_0 をパラメーターとして堤脚洗掘を評価できる。すなわち、

$$\left. \begin{array}{l} h_s/H_0=0.2\sim 0.5, H_i/H_0 > 0.2 \text{では} \\ S_{k,max}/H_0 = -2.19(H_i/H_0)^2 + 0.005 \end{array} \right\} \dots\dots(3)$$

また、

$$\left. \begin{array}{l} h_s/H_0=0.8\sim 1.2, H_i/H_0 < 0.2 \text{では} \\ S_{k,max}/H_0 = -17.7(H_i/H_0)^2 + 0.005 \end{array} \right\} \dots\dots(4)$$

で表わされる。

一方、図11は縦軸に上記同様、 $S_{k,max}/H_0$ を、横軸には海浜変形後の砕波帯内の平均海浜勾配 i_B と沖波波形勾配 H_0/L_0 の平方根 $(H_0/L_0)^{1/2}$ との比、すなわち、イリバーレン数 $I_B=i_B/(H_0/L_0)^{1/2}$ をとって示したものである。図中の曲線群は著者⁶⁾によるブロック堤を設置しない場合の海岸堤防前面脚部の最大洗掘深 $S_{k,max}/H_0$ に関する実験結果である。各曲線は初期海浜勾配によって区分してゐる。本実験

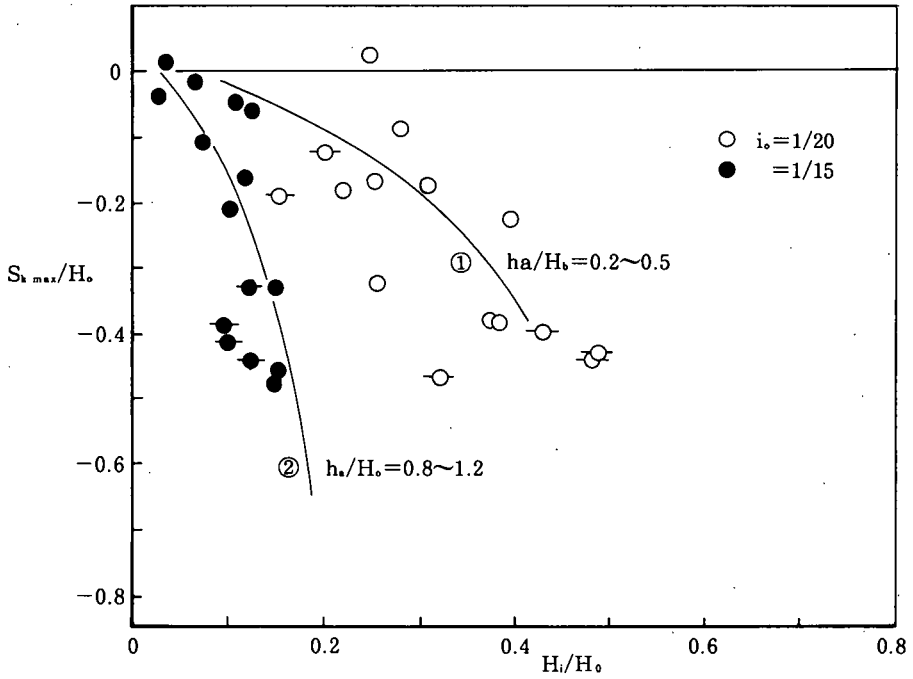


図10 堤脚最大洗掘深と遮蔽域内波高およびブロック堤天端高の関係

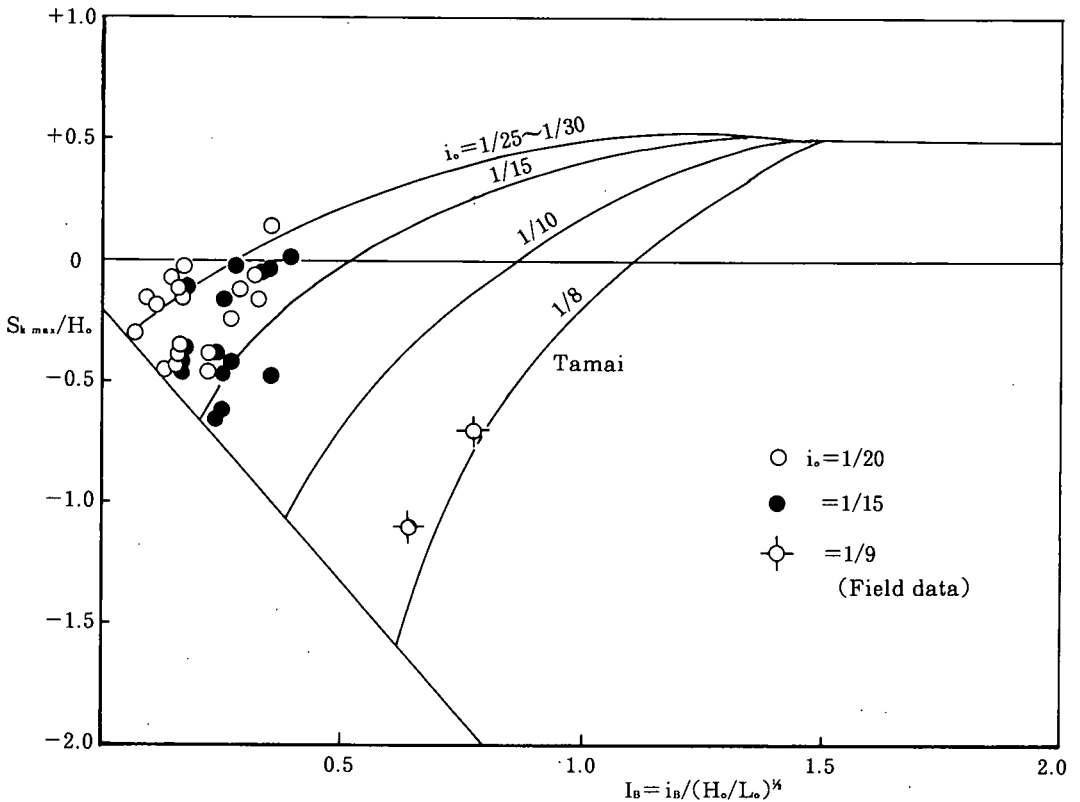


図11 堤脚最大洗掘深とイリバーレン数との関係

における $i_0 = 1/15$ および $1/20$ の実験結果をプロットすると、実験値はばらつきがあるが、ほぼ上記の曲線群に対応した分布を示している。特に、ブロック堤を設置した場合は実験値が若干小さくなる傾向があり、この場合も図中の曲線で推論することができよう。図中 \bigcirc 印は台風7617号による高知仁井田海岸および台風7920号による高知安芸西浜海岸の堤防脚部洗掘深をとって示したものである。前者の洗掘深は4.0m、後者は3.0mであり、それぞれ台風来襲時の有義波を用いて表わした。これらの結果は実験値と比較的よい対応がみられる。次に、ブロック堤設置による最大洗掘深

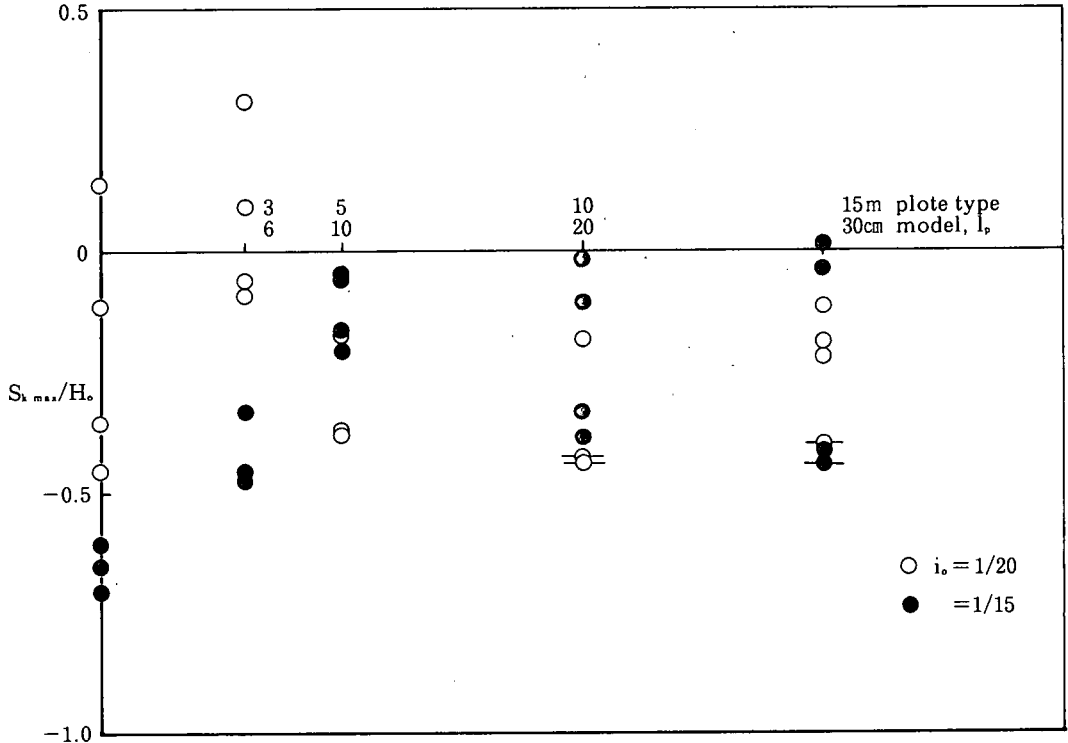


図12 ブロック堤設置位置と堤脚最大洗掘深

を示したものが図12である。これによれば、離岸距離 $l_p = 6 \sim 10$ cm (現地 $3 \sim 5$ m) の場合、最も洗掘深が小さいことがわかる。なお、ブロック堤を設置しない場合 (\bigcirc 印) は堤脚洗掘が大きく、また、ブロック堤を越波した場合は洗掘が大きくなっている。

6. ブロック堤前面法尻部の最大洗掘深について

ブロック堤前面法尻部の最大洗掘深 $S_{i,max}$ と沖波波高 H_0 との比 $S_{i,max}/H_0$ を縦軸に、横軸には上記同様、ブロック堤の離岸距離 l_p をとって図13に示した。これによると、 $i_0 = 1/20$ においては、 $l_p = 6$ cm (現地 3 m) の場合が相対洗掘深が最も小さいことがわかる。また、海岸堤防前面法面を被覆するように、ブロックを設置した場合、その前面の洗掘が比較的大きくなることがわかる。さらに離岸距離 l_p を大きくすると、($l_p = 30$ cm, 現地 15 m) ブロック堤と碎波点とが近くなり、洗掘深が大きくなることが考えられる。特に、ブロック堤上を波が越える場合、その傾向が顕著になる。しかし、 $i_0 = 1/15$ における最大洗掘深についてみると、 $i_0 = 1/20$ の場合とは逆の現象が生じ、むしろ $l_p = 6 \sim 10$ cm (現

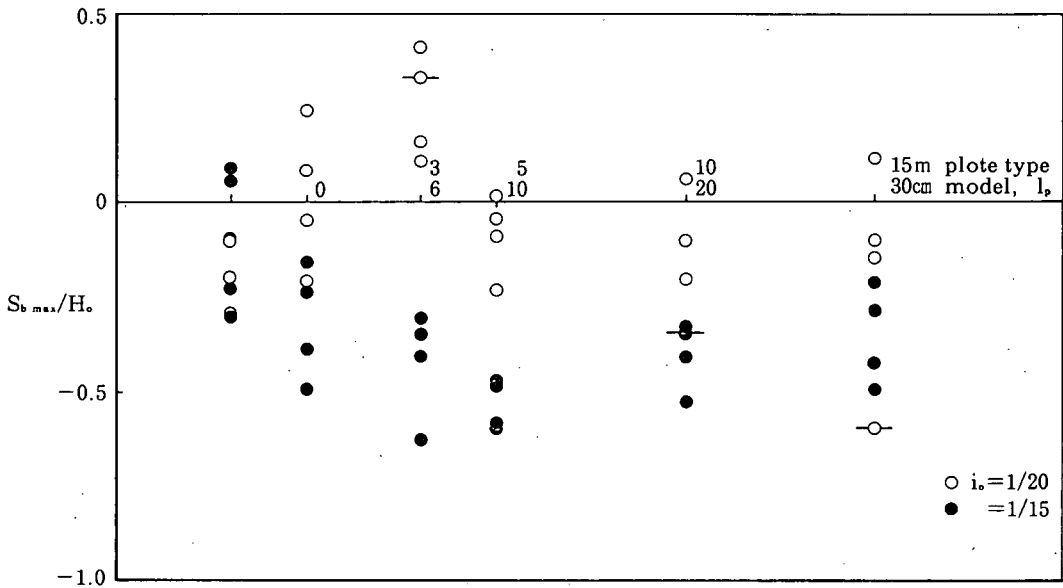


図13 ブロック堤設置位置とブロック堤法尻最大洗掘深

地3~5m)において $S_{b,max.}/H_o$ が最も大きくなり、堤防前法面被覆の場合は小さい洗掘深を示している。これらの相違についてはさらに実験等を通じ検討を進める考えである。

結 論

以上、海岸堤防前面域、特に、砕波帯内に設置したブロック堤の消波および洗掘防止効果について実験的考察を行い、以下のような結論をえた。

- 1) ブロック堤が砕波帯内にある場合、ブロック堤の消波機能と反射波の相違によって砕波波高に影響し、砕波点とブロック堤との距離が近い場合は相対砕波高 H_i/H_o が若干大きくなる。全般的にみてブロック堤を設置した場合 $H_i/H_o = 1.1 \sim 1.5$ の範囲にある。
- 2) ブロック堤の離岸距離が大きくなると、砕波水深 h_b/H_o は小さくなる傾向がある。
- 3) ブロック堤遮蔽域内波高とブロック堤の離岸距離との関係はブロック堤の静水面上の天端高 h_s と沖波波高 H_o との比 h_s/H_o によって区分され、 $h_s/H_o > 0.2 \sim 0.5$ で $H_i/H_o > 0.2$ を示し、 $h_s/H_o > 0.8 \sim 1.2$ では $H_i/H_o < 0.2$ となる。
- 4) $h_s/H_o > 1.0$ となると、 $H_i/H_o \approx 0.1$ となり、ブロック堤の静水面上の高さを沖波波高程度にとれば、波高減殺効果の上から望ましいことがわかる。
- 5) ブロック堤から砕波点までの距離 l_r による遮蔽域内波高の変化についてみると、 l_r と沖波波長 L_o との比 $l_r/L_o > 0.4 \sim 0.5$ になると、 $H_i/H_o = 0.05 \sim 0.15$ と小さくなる。したがって、消波効果の上からは $l_r/L_o > 0.4$ となるような位置にブロック堤を設置することが適切と考えられる。
- 6) 海岸堤防への波の相対遡上高 R/H_o はブロック堤を設置することによって、海岸堤防のみの場合より約半分程度まで減少する。
- 7) ブロック堤の設置位置の変化による R/H_o への効果については海浜勾配 $i_o = 1/15$ および $1/20$ ともに、実験値のばらつきが大きいだが、設置位置 $(l_r + B)/l_o$ が大きくなると、 R/H_o は増大する傾向がみられる。

- 8) 海岸堤防脚部の最大洗掘深 $S_{i, \max}/H_0$ とブロック堤遮蔽域内波高 H_i/H_0 との関係、ブロック堤静水面上の相対天端高 h_s/H_0 をパラメーターにして、 $h_s/H_0=0.2\sim 0.5$ および $h_s/H_0=0.8\sim 1.2$ とによって、図10のように、 $S_{i, \max}/H_0$ と H_i/H_0 との関係を区分できる。
- 9) 堤防脚部最大洗掘深 $S_{i, \max}$ とイリバーレン数、 $i_b/(H_0/L_0)^{1/2}$ との関係は従来のブロック堤を設置しない場合の結果と対応した分布形を示し、図11中の曲線群で $S_{i, \max}/H_0$ を推論することができる。
- 10) ブロック堤設置位置の相違による堤防脚部最大洗掘深は、ブロック堤離岸距離 $l_p=6\sim 10\text{cm}$ (現地 $3\sim 5\text{m}$) の場合が洗掘深が最も小さい。
- 11) ブロック堤前面洗尻の最大洗掘深は初期海浜勾配 $i_0=1/15$ および $1/20$ とではブロック堤の設置位置による効果が異なり、 $i_0=1/20$ では離岸距離 $l_p=6\text{cm}$ (現地 3m) の場合が、 $S_{i, \max}/H_0$ が正、すなわち堆積を生ずるのに対し、 $i_0=1/15$ では最も大きな洗掘が生じるようになる。全般的にみて、ブロック堤設置位置による $S_{i, \max}/H_0$ は $i_0=1/15$ と $1/20$ とでは逆の現象がみられる。

あ と が き

本実験を通じブロック堤設置による消波および洗掘防止効果を明らかにすることができた。今後さらに、初期海浜勾配の急な $i_0=1/8\sim 1/10$ の場合など、また堤脚水深の大、小について検討を進めるとともに、さらに現地海岸におけるブロック堤の効果についても調査して行く考えである。

参 考 文 献

- 1) 豊島 修：海岸構造物と海岸変形，地形，第3巻，第2号，127～134 (1982)。
- 2) 合田良実：砕波指標の整理について，土木学会論文報告集，第180号，39～49 (1970)。
- 3) 豊島 修・首藤伸夫・橋本 宏：海岸堤防への波のうちあげ高。—— 海底勾配 $1/20$ ——。第12回海岸工学講演会講演集，180～185 (1965)。
- 4) 佐藤昭二・田中則男・入江 功：海岸構造物の堤脚洗掘に関する研究 (I)。運輸省港湾技術研究所報告，Vol.5, No.11, 1～3 (1966)。
- 5) 榎木 亨：海岸堤防基部の洗掘機構に関する研究。第14回海岸工学講演会講演集，329～335 (1967)。
- 6) 玉井佐一：海岸堤防前面地形の変形特性，第31回海岸工学講演会論文集，326～329 (1984)。