

一種のパーフォレイト・ケーソンに関する実験的研究

嶋田長彦*・岡田哲一**

1. ま え が き

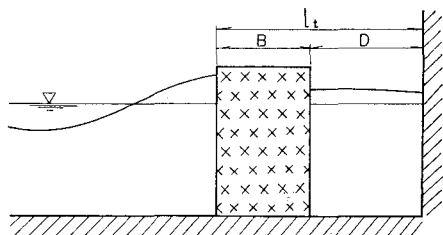
技術の進歩とは、従来の技術の積み重ねの上に、新しい要素がプラスされた結果、次元の異なる変革をもたらすものであって、土木技術の面でも、学術的な基礎研究部門に加え調査、計画、設計、施工の各部門での着実な努力の集積が、やがて大きい技術開発につながるものと思う。

すでに遊水部を有する直立消波堤¹⁾、この特性について九州大学井島研での論文で、理論的な報告がなされている。これらは堅い反射面である直立壁の前面に、ある干渉空間をもうけ、その前面に柔らかな反射体である透過堤を設置し、波の作用に対し、タービュレンス効果に加え、時間的な位相効果を利用しようとする消波構造物である。

著者らは、このような消波構造物の実施面での応用を純技術面から追求し、水理特性面と実施面との調和のとれた消波構造体の開発に取り組んでいるものである。

2. 原理から実施面への調和

図一1は透過堤の背後に適當幅の遊水部を設け、波長の長い波に対して、低反射、波圧の低減を目的としたモデル図である。井島研では透過堤にテトラポットを詰めたものを使用している。すなわち透過堤はタービュレンス領域で、背後の遊水部は一種のサージングスペースと考えられる。この特性は、透過堤体の幅 B が広いときは最適遊水幅 D は狭く、 B が小さいときは反対に D が大きく必要となる。ただし幅 B が余りに広いか、あまりに狭いときは、遊水部の効果は現れない。この B と D の幅を



図一1 略 図

うまく選んで、堤体全幅 l_t が最小のもので、最適の水理特性を得ることが本実験の目指すものである。

ここで透過堤体は、水理特性面で、

(i) 大きな空隙率を有し、波のくわえこみがよい。

(ii) 短い透過距離で、大きな流体抵抗を有する。

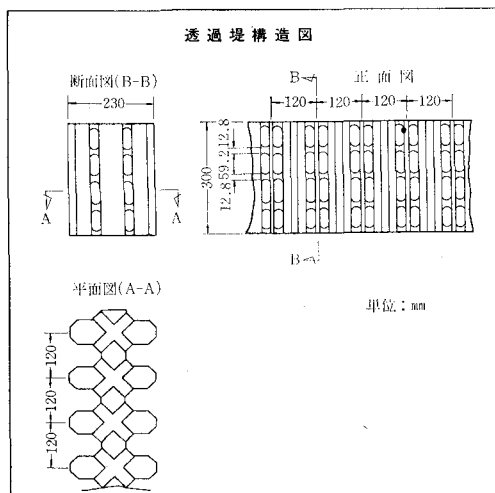
この二つの相反する条件が必要となってくる。その結果最小の l_t で最良の効果をあげる構造体が理想である。

さらに技術的には、不規則な自然条件の変化に対応させるため、この透過堤は重複波から碎波状の波まで効率よく作用するものであることが望まれる。このような幾つかの条件のほかに、施工性をも配慮し、調和のとれた構造体を造形することは、蓄積された経験に基づく人間の創造性を発揮すべき分野であって、その効果の確認は、シミュレーションによって追求する。これが結果的には最も早い解決の手法と考えられる。

3. 水理基本実験

(1) 透過性構造体の形状

図一1において透過堤は一種のタービュレンス領域であり、遊水部は貯留スペースとなっている。透過堤は図一2に示すごとく水平方向に穴があいたもので、この穴は中央でクロスした構造となっている。穴の断面は長円状で、長径59.2mm、短径30.4mmのものである。本



図一2 透過堤構造図

* 正会員 東亜土木(株)工事部消波工課長

** 正会員 東亜土木(株)工事部消波工課

実験では入射波高を 12 cm にとっているの、穴の長径は入射波高の約 1/2 の大きさとなっている。透過堤は最小限のタービュレンスが行えるよう水平断面で穴を交差させている。すなわち分合流によるエネルギー損失を期待した構造体で空隙率は 50% となっている。

(2) 実験装置と実験方法

a) 実験装置と実験諸元

実験に用いた二次元造波水路を 図-3 に示す。

水路の長さは 35 m, 幅 1.0 m, 高さ 1.0 m である。

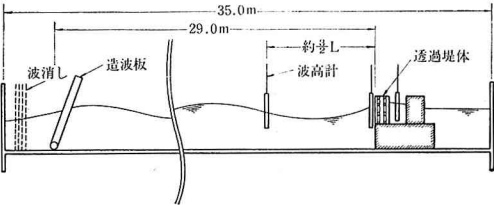


図-3 造波水槽断面略図

(イ) 本水槽の特性

造波形式 FLAP 型

最大発生波高 25 cm

発生周期 0.5~3.0 秒

起動特性 パワーコンスタントモーター直入起動

(ロ) 測定装置

波高計 電気抵抗線式波高計

水位計増幅器 6 チャンネル

ペン書きオシログラフ, 6 チャンネル

b) 実験の諸元

(イ) 固定した諸元

透過堤の幅 $B=23$ cm

水深 $h=50$ cm

入射波高 $H_i=12$ cm

(ロ) 変化した諸元

サージングスペース

の幅 D

波長 L

周期 T

静水面から空隙部下端までの高さ h_u

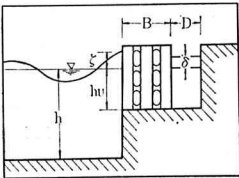


図-4 実験断面

(ハ) 実験に使用した波

諸測定値のばらつきを小さくするため、入射波高は全て 12 cm にストロークで調整した。以下の実験では 表-1 に示す 3 種の波を使用した。

表-1 実験に使用した波

入射波高	周期	波長	H_i/L	h/L	$2\pi h/L$
12 cm	1.40 秒	257 cm	0.047	0.20	1.23
12	1.63	315	0.038	0.16	1.00
12	2.00	405	0.030	0.12	0.77

(ニ) 測定項目

H_s : 入射波と反射波との合成された波高

ζ : 透過堤への波のそ上高

δ : サージングスペースの水位変動量

(3) 透過堤の特性

(1) に示す透過堤体を使用して、水深 $h=50$ cm にとり、表-1 に示す波に対し、透過率、重複波高、波のそ上高とを測定した。その結果を 表-2 に示す。

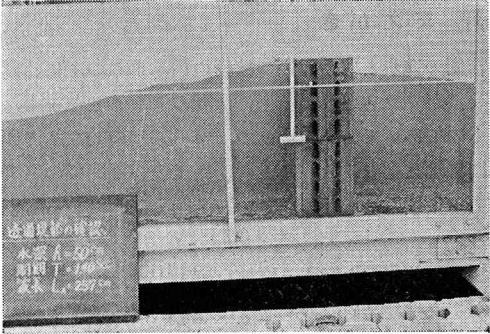


写真-1 透過堤の実験

表-2 透過堤の実験値

透過率 H_t/H_i	0.6 ~ 0.7
H_s/H_i	1.3 ~ 1.4
ζ/H_i	0.75 ~ 0.85

ただし H_t は透過波高とする。

これらの値は波形勾配によって変動するが、実験に使用した波は H/L が 0.03~0.047 の程度の小範囲では定性的な傾向はつかめない。

(4) 透過堤とサージングスペースとの結合体の水理特性

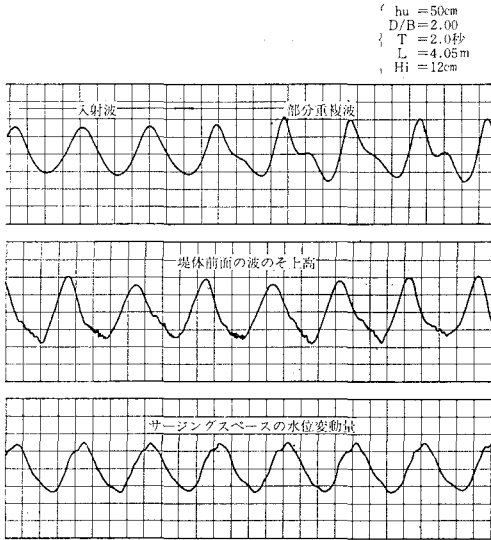
本消波構造体においては、反射率は構造物前面の静穏度を表現するパラメーターではなく純技術的な立場からは、前面の重複波高が知りたいのである。反射波に時間的な位相差を生じる本構造体では、従来のヒーラーの方法で反射率を測定することは不適當と思われる。その根拠の一つとして、測定波形の一例を 写真-2 に示す。

ここで使用している H_s は、入射波高と反射波高が合成された部分重複波高を意味したもので、従来使用されている反射率とは、直接の関係はない。

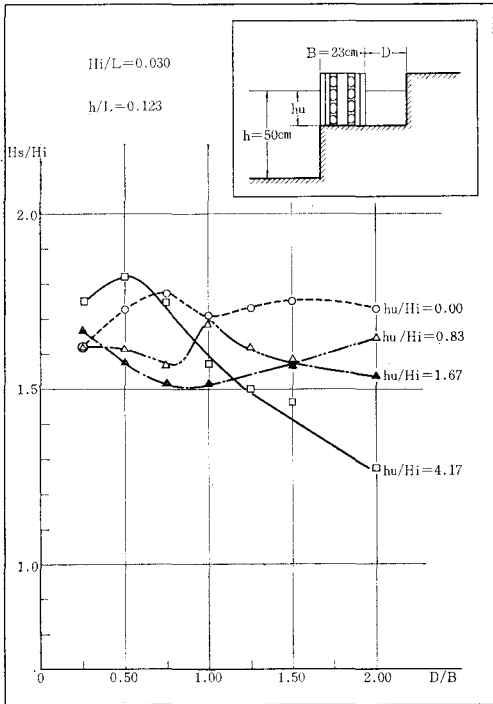
著者らはこの部分重複波高 H_s に注目し、これと入射波高 H_i との比 H_s/H_i を一つのパラメーターとして、以下の実験において使用した。本実験においては、種々な条件によって、 H_s , ζ , δ がどのように変化するか確かめたものである。

a) 部分重複波高 H_s について

図-5 は、表-1 の周期、2.0 秒、波長 405 cm, $H_i/L=0.030$ の波について、 D と h_u を変化した場合の



写真—2 測定記録の一例

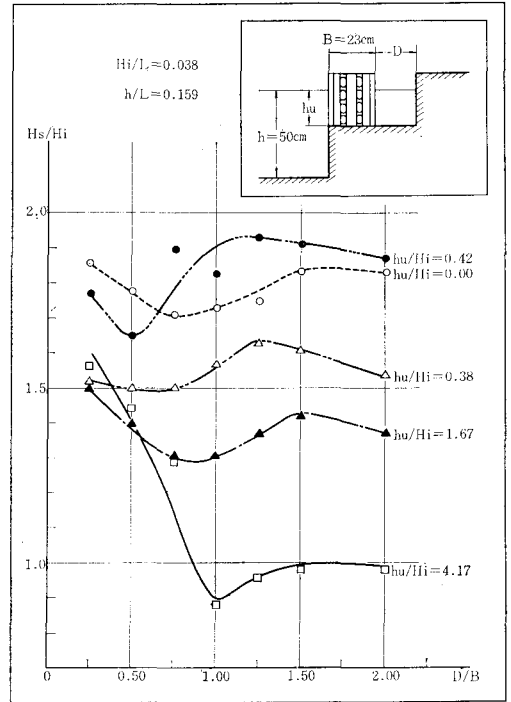


図—5 $H_s/H_i - D/B - h_u/H_i$ の関係表 (その1)

H_s の変化を示したものである。

海底面まで消波空隙部をもうけた $h_u/H_i = 4.15$ ($h_u = 50\text{cm}$) に対しては、 D による変化が顕著にており、 $D/B = 3.5$ では $H_s/H_i = 1.08$ まで低減している。 $h_u/H_i = 0, 0.83, 1.67$ に関しては、 D による H_s の変化はさほど大きく出ておらず、 $H_s/H_i = 1.5 \sim 1.8$ の範囲を移動している。

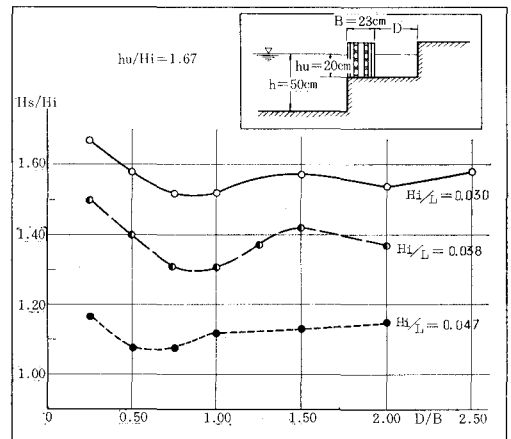
図—6 は、表—1 の周期 1.63 秒、波長 315 cm、 H_i/L



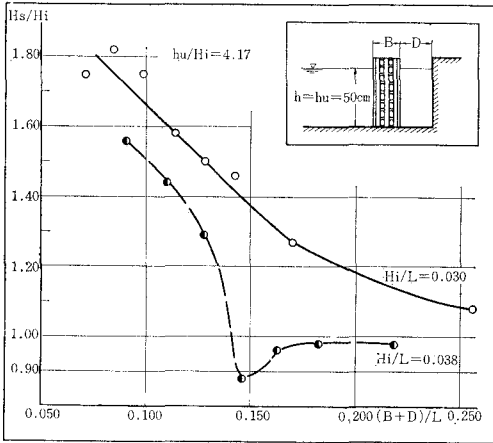
図—6 $H_s/H_i - D/B - h_u/H_i$ の関係表 (その2)

$= 0.038$ の波について、同様の実験を行ったものである。 h_u/H_i が $0.00 \sim 0.42$ では $D/B = 0.50 \sim 0.75$ 付近で H_s/H_i は最小値を示す傾向がある。 h_u/H_i が小さい場合には、タービュレンスによる効果が主体となることを示している。これに対して、 h_u/H_i が大きくなると、 D の効果が大きく現われ、 $D/B = 1.0$ 付近で最小の H_s/H_i を示す結果となっている。

図—7 は、 $h_u/H_i = 1.67$ ($h_u = 20\text{cm}$) に固定し、波長の異なる波を同一の表に表現したものである。ここでは H_i は一定にしているため、 H_i/L が大きくなるほど、



図—7 $H_s/H_i - D/B - H_i/L$ の関係表

図-8 $H_s/H_i - (D+B)/L - H_i/L$ の関係表 (その1)

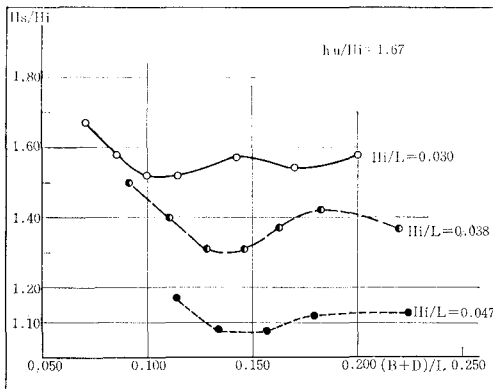
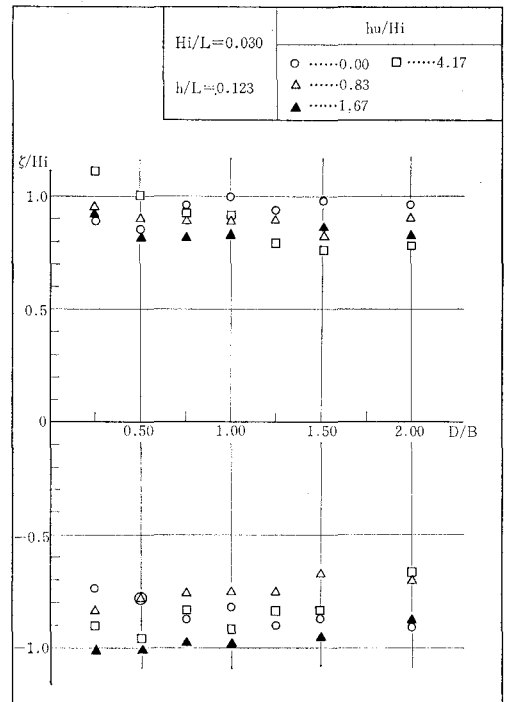
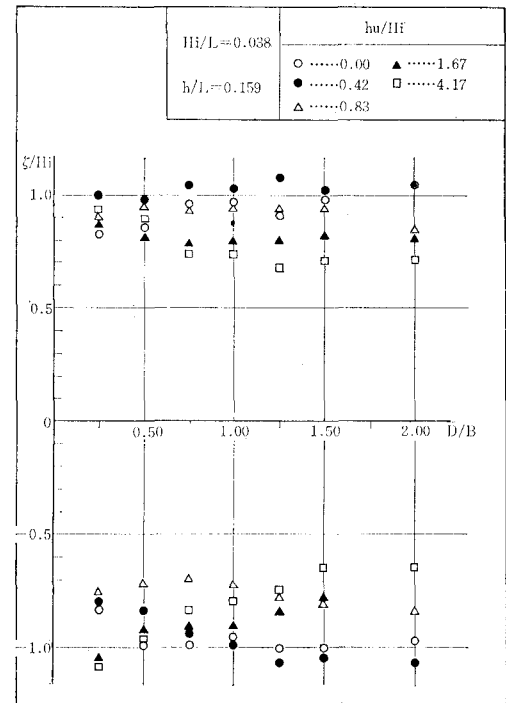
すなわち波長が短くなるほど H_s/H_i は小さくなる傾向を示しており、 $D/B=0.5 \sim 1.0$ の範囲で重複率は最小となっている。

図-8 は消波空隙部を海底面までもうけた場合の重複率を堤体全幅 $(B+D)$ と波長 L の相対比で表わしたものである。 $H_i/L=0.03$ の波については、かなり大きな堤幅が必要となるが、 $H_i/L=0.038$ の波では $(B+D)/L=0.15$ 即ち、対象とする波長の 15% の堤幅をとれば、重複率は 1.0 以下となり、最小の状態となっている。

図-9 は、 $h_u/H_i=1.67$ ($h_u=20$ cm) にとった場合の重複率を表わしたもので、 h_u が小さいため、 D の効果が顕著に現われず、(タービュレンス)+(位相差)の効果が最も高い堤幅は、波長の 10~15% の範囲にある。

b) 透過堤前面の波のそ上高きについて

図-10 は、図-5 と同じ条件下で波のそ上高きがどのように変化するか示したものである。 h_u が大きい場合は D が大きくなるほど、波のそ上高きは小さくなるが、 h_u が小さい場合は、 D によって ζ が変動する一つの定性的な傾向はつかめず $\zeta/H_i=0.7 \sim 1.0$ の範囲を示している。

図-9 $H_s/H_i - (D+B)/L - H_i/L$ の関係表(その2)図-10 $\zeta/H_i - D/B - h_u/H_i$ の関係表 (その1)図-11 $\zeta/H_i - D/B - h_u/H_i$ の関係表 (その2)

また図-11 は図-6 と同じ条件下で同様な実験を行ったものである。図-10 と図-11 の $h_u/H_i=1.67$ ($h_u=20$ cm) の場合のみをとりだして、各波形勾配を比較し

たものが図-12であり、波長が短い波ほど小さくなる傾向を示し、 $D/B=0.5\sim 1.0$ の範囲で最小の ζ 値を示している。

c) サージングスペース内の水位変動量 δ について

図-13 は図-5 と同じ条件下でサージングスペース内の水位の動きを示したもので、全体的に D/B が大きくなるほど δ は小さくなる。

さらに、ここで特に注目すべきことは h_u の変化に伴う δ の動きである。 δ は上昇率、下降率ともに h_u の減少とともに小さくなっている。たとえば δ の上昇高を $0.5 H_i$ 程度に押えたい場合、 $D/B=1.0$ として $h_u/H_i=0.00$ すなわち静水面から上の部分にだけ消波空隙部を使用すればよいことになる。

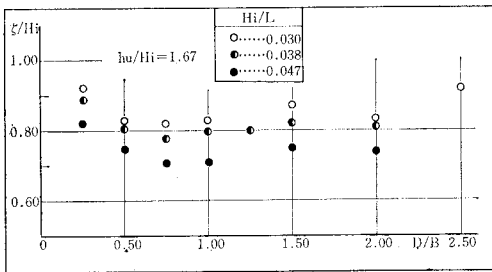


図-12 $\zeta/H_i-D/B-H_i/L$ の関係表

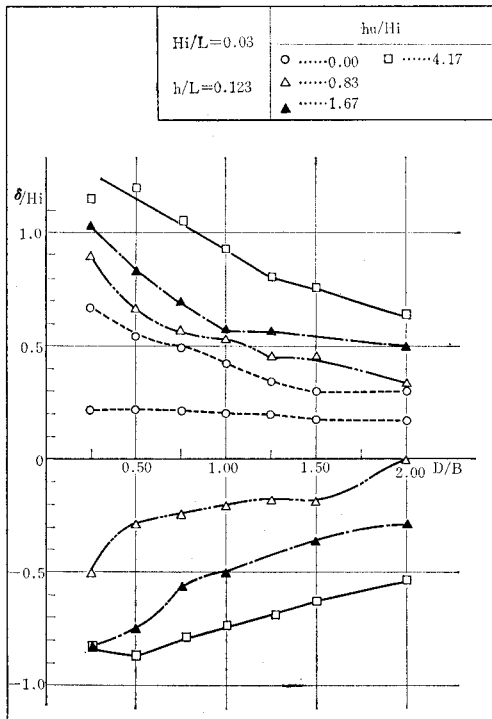


図-13 $\delta/H_i-D/B-h_u/H_i$ の関係表 (その1)

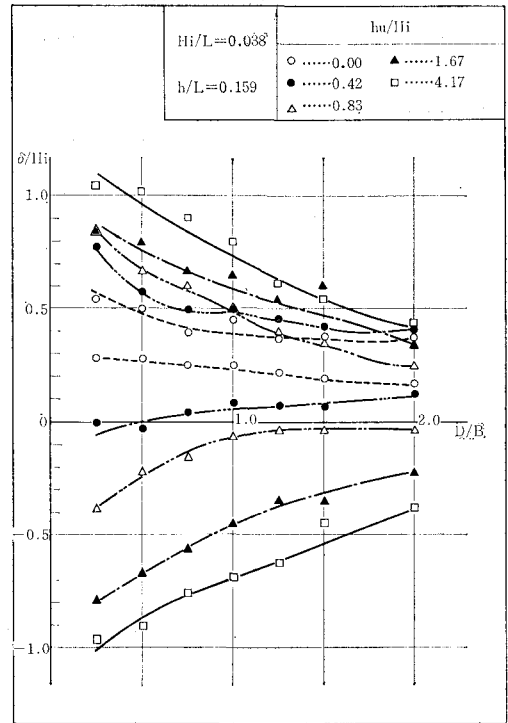


図-14 $\delta/H_i-D/B-h_u/H_i$ の関係表 (その2)

図-14 は図-6 と同じ条件で行ったものである。ここで δ の上昇高を $0.5 H_i$ に押えたい場合は $D/B=0.50$, $h_u/H_i=0.00$ となるわけである。

図-15 は $h_u/H_i=1.67$ に固定した場合、波形勾配別に δ を表現したもので、波高が一定であるため、波長が短くなるほど、 δ は小さくなっている。

以上、まとめとして、

本消波構造物では、波長の長い波については、サージ

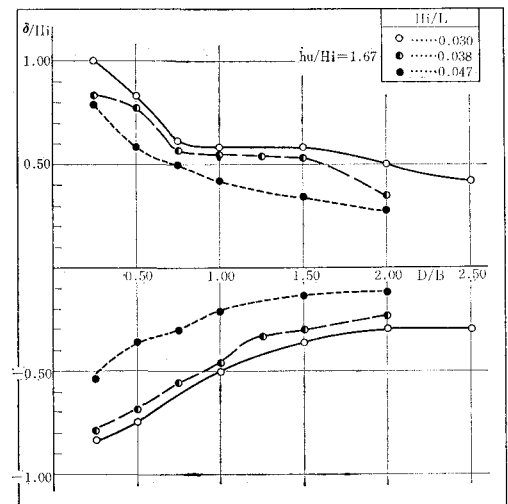


図-15 $\delta/H_i-D/B-H_i/L$ の関係表

ングスペースの位相差による効果が大きく出、波長の短い波については透過堤内のタービュレンスによる効果が主となる。

また、長波長の波には海底面まで消波空隙部を確保し、 D の幅をかなり大きくとることが望まれるが、短波長の波については、 h_u 、 D を比較的小さくともかなりの重複率の低減を期待できるものといえよう。

これらの実験結果は透過堤部のタービュレンス効果と貯留スペースによる位相差の要素が複雑に作用し、定性的な傾向を求めるのに非常に煩雑さが生じている。

d) 砕波についての特性

図-16 は混成堤面で砕波状の波について、透過堤前面の波のそ上高 ζ と D/B の関係を示したものである。砕波についてはサージングスペースの効果は顕著にあらわれず、 $D/B=0.25$ 程度の小さな堤体幅で ζ は $0.9 H_0$ 以下となっている。

図-17 は同じ砕波についてサージングスペースの水位変動を示したもので、波長が長い波ほど δ は大きくなり、たとえば δ を $0.5 H_0$ に押えたい場合、 D/B を 0.75 にとればよいことを示している。

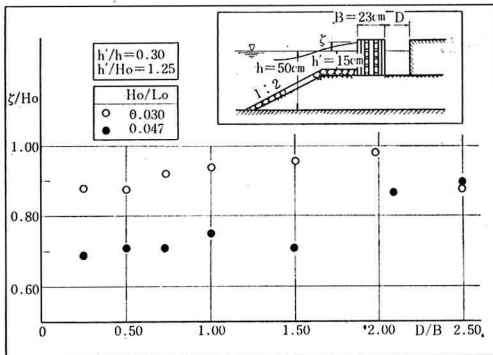


図-16 $\zeta/H_0-D/B-H_0/L_0$ の関係表 (砕波について)

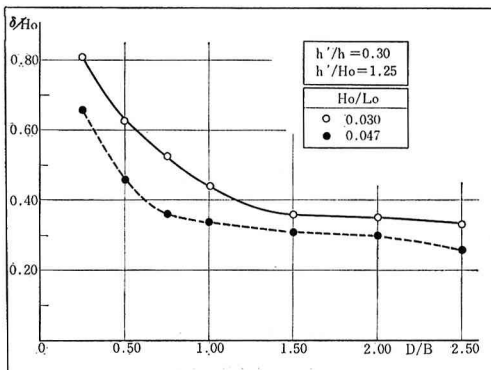


図-17 $\delta/H_0-B/D-H_0/L_0$ の関係表 (砕波について)

4. 実施応用面への考察

(1) 構造物に要求される条件

3. で述べた水理特性より、構造物に要求される条件によって、 D の幅、 h_u などの諸条件に大きな相違点を見出し得た。

その一つは構造物前面の静穏度を要求される場合、もう一つは透過堤背後の護岸法線における波のそ上高を防止するための場合に分けて考える必要がある。

(a) 前者の重複率 H_s/H_t をできるだけ小さくしたい場合、技術的に調和のとれた D/B は $1.0 \sim 2.0$ の範囲のもので、長い波長の波にも対応させるため、消波空隙部はできるだけ海底面付近までもうけることが望まれる。

(b) 後者の護岸法線における波のそ上を押えたい場合は、消波空隙部は静水面よりも上にもうけ、 D/B も $0.5 \sim 0.75$ のもので十分その効果を発揮できる。このことは、静水面下の消波空隙部は波のそ上防止には全く逆効果的なものであることを示している。

(c) また、砕波については D/B は $0.25 \sim 0.75$ 程度の範囲で護岸法線における波のそ上高を沖波波高の半分にまで低減できることを意味している。

(2) 実施構造物への手法

本消波構造物はタービュレンス区間にクロスした穴を有していることにより、著者は本工法をクロスホロー工法と称した。透過堤体にクロスした穴をもうけることは現在の施工技術で十分に処理でき、その実績もある。

本構造物の実施上の構造は写真-3 に示すものとなり、透過堤体の背後の土留壁を一体に結合する部材として隔壁をもうけ、さらに底版コンクリートは一体のものとして製作される。

このような大型の消波構造を運搬する海上の作業船

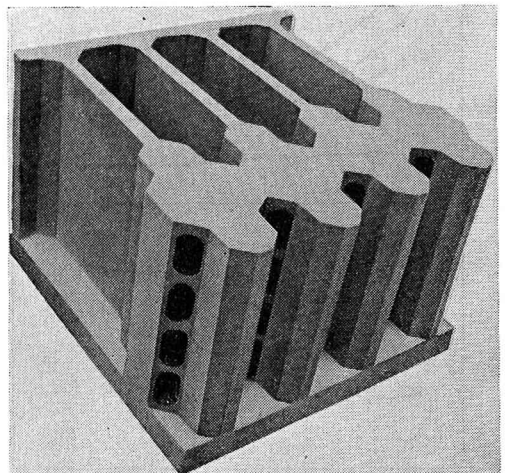


写真-3 クロスホローケーソンの構造

は、近年大型のものが開発され、最大 3 000 t 吊の起重機船もあるが、大水深の消波構造体を海底付近までこのようなポーラスな構造体にするると自重が膨大なものとなり、3 000 t をはるかに越すものとなるので下部構造は従来の直立壁ケーソンとし、その上の静水面付近のみに消波空隙部をもうける複合断面として提案するものである。

これは水理特性面からも十分理解できる手法であり、経済的にも有利なものとなっている。

本消波構造体を消波護岸として利用する場合、堤上面に上部コンクリートを施工することによって、堤上面は臨海部の貴重なスペースとして活用することが可能である。

5. む す び

本構造体は前面の透過堤内の十字状の穴で、まず分合

流によるタービュレンスでエネルギー損失を与え、さらに残ったエネルギーは背後のサージングスペースで一時的に貯留し、次の波が来襲するまでに、時間的な位相をもって堤体外に排出しようとするものである。

従来の消波機構はタービュレンスを基調としてその構造を考えてきていたが、これはある意味で不経済的な手段といえよう。この意味で本構造体は、わずかなタービュレンスを最大限に利用するために、背後の遊水部を大きく確保し、この空間を有効に活用することによって、作用波圧や反射波に時間的な位相差を与えるもので、今後の消波工法に一つの変革をもたらすものといえよう。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・奥薗英明・湯村やす・坂井久雄(1972): 遊水部をもつ直立消波防波堤と護岸, 第19回海岸工学講演会論文集, 昭和47年11月.