

## 遊水部を有する消波工付護岸の越波に関する研究

誌名	水産工学研究所報告
ISSN	03889718
巻/号	3
掲載ページ	p. 127-142
発行年月	1982年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 遊水部を有する消波工付護岸の 越波に関する研究

西 裕司\*・山本正昭\*

### 目 次

1. 緒 言	127	6. 解析および考察	133
2. 現在迄の研究について	127	7. 結 言	136
3. 実験施設および実験器具	128	参考文献	136
4. 実験方法	128	Summary	138
5. 実験結果	132	付 表	139

### 1. 緒 言

本論文は水産工学研究所漁港水理研究室において前年度に引き続き55年度に行なった水産庁防災海岸課からの依頼研究について両年度の成果をとりまとめ報告する。

海岸護岸の基本的役割は来襲する高潮や波浪からその内側の人命や財産を守ることである。この役割の為には海水が海岸護岸の内側にできる限り侵入しないよう工夫しなければならない。また、特に漁港区域内においてはその内側に住む住民の生活が海と密接に係わっているため、漁港施設ではないにしても、護岸の天端高をできる限り低くおさえ、生活の利便を妨げないようにする工夫も必要である。従って、この2つの異なる目的を満すには天端高が低く越波量の少ない工法が必要とされている。

このような工法はいくつか考えられるが、本論文では護岸前面から消波工を離して設置する工法、そのなかでも実際の海岸護岸が設置されることの多い、砕波領域におけるものを対象とする。前年度の研究によると海底勾配が1/20という一種の実験であったが、この工法は消波工を護岸に接して設置する従来の消波護岸に較べて越波量減少に効果があることがわかった。そこで、本研究においては、海底勾配がそれより急な場合、緩い場合として1/10と1/50の場合の実験を行ない、1/20の場合と同様の効果があるかを調べる。さらに、この工法の不規則波に対する効果も考察する。

### 2. 現在迄の研究について

遊水部を有する消波工付護岸に関連する現在までの研究には、井島・奥蘭・湯村・坂井による「遊水部をもつ直立消波防波堤と護岸<sup>4)</sup>」、菅原・長野による「直立透過堤による波の反射・透過に関する研究<sup>5)</sup>」、合田・岸良による「不規則波による低天端型護岸の越波特性実験<sup>6)</sup>」、佐伯、菊地、京谷、松井、尾崎による「分離型防波堤の水理機能と設計波圧について<sup>7)</sup>」、西、山本による「遊水部を有する消波工付護岸の越波に関する実験的研究<sup>8)</sup>」、影山、山本による「離岸タイプ消波工の効果について<sup>9)</sup>」等がある。井島等、菅原等の研究を要約すると、非砕波領域においては、透過波の減少に効果的な遊水部長さは波長により決定され、遊水部長さ( $l$ )とその水深における入射波の波長( $L$ )との比をとると $l/L=0.25$ 付近で透過率は極小となり、 $l/L=0.5$ 付近で極大となる。また合田等の研究によると、非砕波領域で入射波に不規則波を用いた場合、越波量減少に効果的な遊水部長さは波長の0.5~0.8倍の長さであるが、消波工を護岸に接した場合との比較では必ずしも優れてはいないとされている。佐伯等の研究によると、遊水部の長さを大きくしてゆくと波圧が減少する傾向がある事が認められるが、消波工の高さを波高の0.4倍以下にした場合の遊水部をもつ消波工付防波堤は消波工を防波堤に接した場合と較べて越波量が增大するとしている。

西・山本による研究を要約すると、砕波領域において規則波を用いた実験による最も有効な遊水部の長さは井島等の結果に反して $l'=0.1L'$ であるとされている。ただし、 $l'$ は砕波により起こされた水位上昇後の遊水部の

\* 水産土木工学部

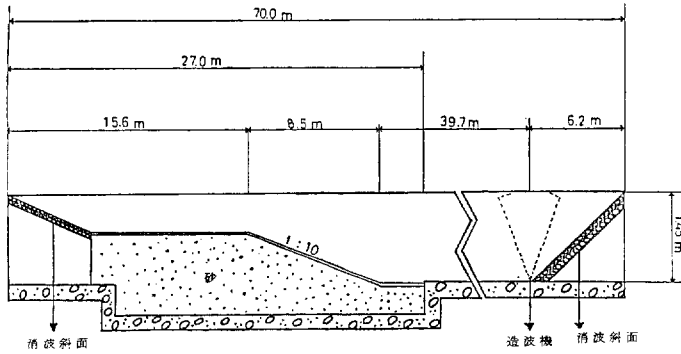


図1 実験に用いた2次元水路  
The water tank used by experiment

長さであり、 $L$ は水位上昇後の遊水部中央の水深における入射波の波長である。また、効果についても、合田等の結果の必ずしも優れていないというのに反し、この長さの遊水部を有する場合は消波工を護岸に接した場合より0.1倍~0.5倍に越波量が減少できるとされている。

影山等の研究によると、西等の研究と同様に遊水部を有するタイプのほうが、従来のタイプの消波工を接して設置するタイプに較べて、消波工の天端高を低くした場合で3割以下、十分な天端高がある場合では1~2%まで越波量が減少することが報告されている。

3. 実験施設及び実験器具

実験に用いた水路は、長さ70m、幅0.7m、高さ1.45mのコンクリート製の2次元造波水路である。護岸の設置点前後は片面ガラス張りになっており、側方からの観察が可能である。水路の一端には複式フラップ型の造波機が備え付けてあり、周期0.5秒~5.0秒、波高0m~0.35mの規則波を発生させることができ、スティーブネスの最大値は1/10である。又、水路の両端には直径10cm程度の玉石をL型鋼の棧の上に敷き並べ、消波斜面としている。

海底模型床は水締めした砂で基盤を製作し、その上部に厚さ3cmのモルタルを打設した一様勾配固定床である。また、造波板前面から39.7mの間は水平床で、そこから8.50m、9.33m、10.00mと一様勾配斜面を作り、護岸設置水深を変化させることにした。この、模型床の中にホースを設置し、越波した水を護岸の背後から護岸前面にもどし、護岸前面の水深を一定に保つことにした。

護岸の模型は厚さ1.6cmの合板で作られ、模型床の中に埋め込まれた形になっており、実際の製作手順としては護岸模型を設置したあと模型床表面を製作している。な

お、護岸と水路側壁とのすき間にはスポンジを詰め、水漏れ及び砂の吸い出しを防いだ。

消波ブロックには、大きさの異なる3種類の異形ブロック、2000g、1000g、800gのものを用いた。

越波量の測定は縦31cm、横50cmの枠を太い針金で作られ、その枠にビニール袋を取り付け、越波する水をそれに受け取り、越波した水の入った状態と、空の状態との重量の差から越波量を求めることに

した。この重量測定に用いた秤の最小目盛りは100gで、その下の位まで目測で求める。

波高は容量式波高計で測定し、それをマルチコーダに記録した。

水位の設定にはポイントゲージを用い、設定水位から±1mm以内の水位で実験を行った。

解析には水産工学研究所の電子計算機を用い、ペン書きの記録は波形読取り装置で、紙テープに変換し用いた。実験データおよび解析結果はラインプリンタにより作表し、一部のグラフはXYプロッタを用いて図化した。

4. 実験方法

実験は予備実験と本実験に分けて行なった。予備実験は、波高記録をとる場合と越波量を測定する場合の有効測定時間を調べ、造波機の設定ストロークと模型での沖波の関係を調べることを目的としている。本実験は消波工を護岸に接して設置する場合と  $l'/L'=0.1$  となるよう

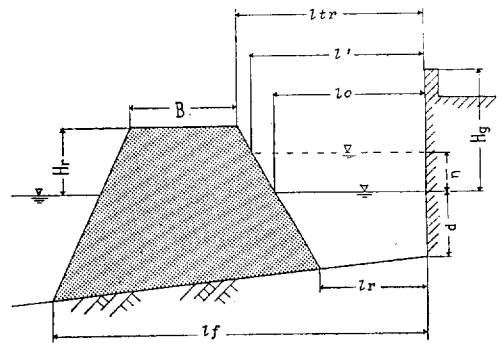


図2 護岸、消波工付近の使用記号  
The used symbols nearby the seawall and the absorber

表 1 使用記号  
The used symbols

記号	内容
<i>B</i>	消波工天端幅
<i>BLK</i>	使用ブロックの種類
<i>c</i>	波速
<i>c<sub>0</sub></i>	沖波波速
<i>c<sub>R</sub></i>	群波波速
EX. NO	実験番号
<i>f</i>	波の周波数
<i>g</i>	重力加速度
<i>h</i>	水深
<i>H</i>	波高
$\bar{H}$	平均波高
<i>H<sub>0</sub></i>	沖波波高
$(H_{1/2})_0$	沖波有義波高
<i>H<sub>g</sub></i>	護岸天端高
<i>H<sub>r</sub></i>	消波工天端高
<i>i</i>	海底勾配
<i>k</i>	波数
<i>K<sub>D</sub></i>	ブロックの種類による所要ブロックの係数
<i>K<sub>s</sub></i>	浅水係数
<i>L<sub>0</sub></i>	沖波波長
<i>l<sub>0</sub></i>	離岸距離
<i>L</i>	波長
<i>l'</i>	水位上昇を考慮した遊水部の平均水面長さ
<i>L'</i>	水位上昇を考慮した遊水部中央の水深での入射波長
<i>l<sub>tr</sub></i>	消波工天端背面と護岸までの距離
<i>l<sub>r</sub></i>	消波工の背面堤脚位置(護岸より)
<i>l<sub>f</sub></i>	消波工の前面堤脚位置(護岸より)
<i>Q</i>	10波の測定越波量
<i>q<sub>exp</sub></i>	推定越波量
<i>S<sub>xx</sub></i>	ラジエーションストレス
<i>T</i>	波の周期
<i>W</i>	消波ブロックの重量
<i>W<sub>D</sub></i>	水路幅
<i>η</i>	遊水部の平均水位上昇量
<i>θ</i>	消波工の法面の水平となす角度
<i>ρ</i>	水の密度
<i>ρ<sub>d</sub></i>	ブロックの密度

に消波工を護岸から離して設置した場合の越波量の比較実験である。

今回用いた使用記号を表1に示す。

#### 4.1 予備実験

##### (1) 模型縮尺

模型と現地想定との相似を考える場合、重力と粘性の

両方に考える現象が影響される場合にはその模型の縮尺は1/1、つまり模型と現地想定と同等な大きさのものになる。ところで水の粘性の影響としては固定床の場合、底面摩擦による波高減衰を考えると、水深と沖波波長比  $h/L_0$  が0.02の地点で10%以上の波高減衰を許さないとすれば、海底勾配1/10の場合  $T \geq 0.3$  秒の実験波を用いれば良い。今回の実験波には  $T = 2.0$  秒を考えたので粘性を無視して重力に関する力の相似であるフルードの相似律を用いる。

また、今回の実験は越波実験であるが、一般に波力に関する実験に用いられる縮尺1/10~1/30のうち、昨年度の実験と同じ縮尺1/30を用いることにした。

次に、フルード相似律を用いて模型周期の2秒を現地想定での周期に直すと

$$\frac{t_p}{t_m} = \left(\frac{l_p}{l_m}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

$t_p$ : 現地想定での時間

$t_m$ : 模型の時間

$l_p$ : 現地想定での長さ

$l_m$ : 模型の長さ

$$t_p = \sqrt{30 \times 2} = 10.95 \approx 11.0 \text{ 秒} \dots (2)$$

となる

護岸の設置水深を現地想定で±0 mおよび-2 mにした。これが模型では±0 cmおよび-6.7 cmとなる。

##### (2) 有効測定時間

この水路の場合、反射波により測定が影響されない時間を計算すると、波高測定は造波機を動かし始めた後、8秒から34秒の間の13波が測定可能であり、越波量測定は32秒から59秒の間の13波が測定可能である。

##### (3) 沖波波高

造波機から13.20 m離れた水深1.000 mの地点での波高から沖波波高を求める。換算沖波波高は次式で求める。

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{1}{2n} \cdot \frac{c_0}{c}} \dots\dots\dots (3)$$

$$c/c_0 = \tanh(2\pi h/L) \dots\dots\dots (4)$$

$$n = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

*H*: 波高計を置いた地点の波高

*L*: 波高計を置いた地点の波長

*h*: 波高計を置いた地点の水深

*c*: 波高計を置いた地点の波速

$c_0$ : 沖波波速  
 $H_0$ : 換算沖波波高  
 $K_S$ : 浅水係数

造波機のストロークを10mm~90mm まで10mm ずつ変えて波高 $H$ を測定し、その値から(3)式を用いて換算沖波波高 $H_0$ を求めた。その際に波高測定は、記録された波高をキャリブレーションの値から実際の波高に直し、有効測定時間内の10波程度の波高を平均して、そのストロークでの波高とした。その際に各ストロークと換算沖波波高との関係から、最小2乗法を用いて3次曲線で近似しグラフに示した。(図3)

沖波波高を6.7cm, 10.0cm, 13.3cm, 16.7cm, 20.0cm, 23.3cmとして、このグラフからストロークを求めるとそれぞれ23.6mm, 34.2mm, 44.4mm, 54.4mm, 64.6mm, 75.0mmとなった。

4.2 本実験

(1) 護岸天端高

海岸保全施設築造基準解説によると海岸護岸の所要天端高の基準が示されている。それによると今回実験する護岸設置水深-2mの場合、消波工がなく海底勾配 $\frac{1}{10}$ の時は基準に示す天端高は $2.1H_0 \sim 0.58H_0$  ( $H_0$ は沖波波高)標準の値である目安の値では $1.38H_0$ である。消波工を設置する場合の(ブロック2個並び)護岸の天端高は消波工のない場合の高さに0.7を掛けるので $1.47H_0 \sim 0.406H_0$ となり、目安の高さは $0.966H_0$ となる。今回の実験は、消波工が2個並びのブロックでつくられ、沖波波高を5mに設定したので、護岸の目安の高さは4.8mである。又、消波工のない護岸天端高(目安高さ)に0.6

を掛けた4.1mの場合も実験した。これらの値を模型に直すと16.0cmと13.7cmである。

(2) 消波工天端高

海岸保全施設築造基準によると消波工の所要天端高の基準が示されている。それによると消波工の天端幅がブロック2個並びの場合、消波工の所要天端高は、先に述べた消波工付護岸の天端高に0.8を掛けたものである。

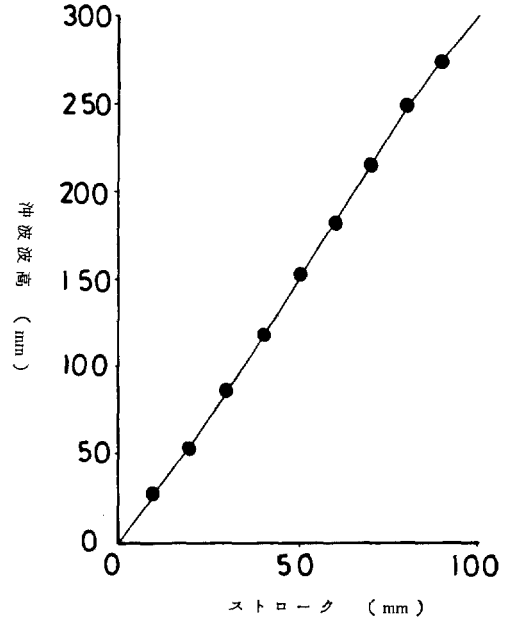


図3 造波機のストロークと沖波波高の関係 (勾配1/10)

The relationship of the stroke of wave generator and the offshore wave height

表2 実験諸元

The assortment of experiments

諸元	記号	模 型						現 地 想 定						
想定縮尺		1/30												
海底勾配	$i$	1/10		1/50		1/10		1/50						
護岸	設置水深	$d$	-6.7	±0.0	-6.7	-2.0	±0.0	-2.0						
	天端高	$H_g$	+13.7	+16.0	±15.2	+11.2	+4.1	+4.8	+4.6	+3.4				
消波工	天端高	$H_r$	+11.3	+12.8	+12.1	+5.3	+0.1	+3.4	+3.8	+3.6	+1.6	±0.0		
遊水部長さ	$l'$		22.3	15.8	19.3	6.7	4.7	5.8						
沖波	波高	$H_0$	6.7	10.0	13.3	16.7	20.0	23.3	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
	周期	$T$	2.0						11.0					

単位: 模型はcm及びsec, 現地想定はm及びsec

護岸設置水深が-2mで、護岸の高さが4.1m、および4.8mのときの消波工天端高は、3.4m(模型11.3cm)および3.84m(模型12.8cm)とした。

(3) 消波ブロックの重量

消波ブロックの重量は、ハドソン公式から求める方法がある。次にハドソン公式を示す。

$$W \geq \frac{\rho_d H^3}{K_D (\rho_d/\rho - 1)^2 \cot \theta} \dots\dots\dots (6)$$

異形ブロックで  $h < 1.5H$  の場合で  $K_D = 6.6$ ,  $\rho_d = 2.30$ ,  $\rho = 1.03$ ,  $\cot \theta = \frac{4}{3}$  として考えると

$$W \geq \frac{1.03 \times H^3}{6.6 \times \frac{4}{3} \times (1.23)^2} = 0.063H^3 \dots\dots\dots (7)$$

となる。

Hに沖波波高を6m、海底勾配  $\frac{1}{10}$ 、水深が-2mの条件を用いると

$$W = 16.25 \text{ t}$$

となる。これを模型に換算すると

$$W' = 601.7 \text{ g}$$

となる。従って700g以上の異形ブロックの模型を用いる必要がある。しかし護岸設置水深が-2mの場合、実験では1kgのブロックを使っても不安定であった。そこで、それより1つ上のランクの2kgのものを必要に応じて使った。

(4) 水位上昇量

水位上昇量を決定するのに菅原等<sup>3)</sup>の規則波の浅水変形計算モデルの水位上昇の資料を引用した。

wave-set-upはradiation stressによって引き起こされる。radiation stress  $S_{xx}$ は

$$S_{xx} = E \left( \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots (8)$$

E: 平均エネルギー  $\frac{1}{8} \rho g H^2$

h: 水深

k: 波数  $(2\pi/L)$

である。運動量の釣り合いから平均水位の変化量  $\eta$  に関する方程式(9)が得られる。

$$\frac{dS_{xx}}{dx} + \rho g (h + \eta) \frac{d\eta}{dx} = 0 \dots\dots\dots (9)$$

または

$$\frac{d\eta}{dx} = -\frac{1}{(h+\eta)} \cdot \frac{d}{dx} \left[ \frac{1}{8} H^2 \left( \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (10)$$

(10)式から波高の2乗の変化が求められれば平均水位の変化が計算される。

「規則波の浅水変形計算モデル」では(10)式を(11)式

に書き換えたものを用いている。

$$\eta_{i+1} = \eta_i - \left( \frac{K_E}{n+h} \right)_{i+\frac{1}{2}} (H_{i+1}^2 - H_i^2) \dots\dots\dots (11)$$

$$K_E = \frac{1}{8} \left( \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots (12)$$

このサフィックスの  $i + \frac{1}{2}$  は  $h_i$  と  $h_{i+1}$  の中央点における値を意味している。この資料と昨年の研究の資料とを横軸を  $h/H_0$ 、縦軸を  $\eta/H_0$  にしたグラフに示した。

(図4~図7)

このグラフから  $h/H_0$  が0~1.0の間は  $\eta/H_0$  の値がグラフの  $h/H_0 = 0$  における値とほぼ同じである。従って、遊水部中央における wave-set-up は  $h/H_0$  が0の点と同じ量に見積ることとした。 $H_0 = 5\text{m}$  で  $h/H_0$  が0の wave-set-up は1.69m(模型5.6cm)である。

(5) 遊水部の長さ

昨年度の研究から、遊水部の長さが  $l' = 0.1L'$  と護岸に接して消波工を設置した場合と較べて0.1倍~0.5倍に越波量の減少が期待できるという結果があるがこれから  $l' = 0.1L'$  を遊水部の長さとした。遊水部の長さの求め方は、ある値を  $l'$  におき、その中間での水位と wave-set-up を加えた水深での波長  $L'$  を求める。その  $L'$  からさらに  $l'$  を求める。この方法で  $l' = 0.1L'$  になるまで繰

表3 使用ブロックの諸元  
The assortment of used blocks

記号	種別 (cm)	重量 (g)	体積 (cm <sup>3</sup> )	単位体積重量 (g/cm <sup>3</sup> )
ELK1	2000.0	1922.0	778.0	2.47
ELK2	1000.0	1018.0	398.0	2.56
ELK3	800.0	824.0	400.0	2.06
ELK4	800.0	876.3	394.0	2.33
ELK5	700.0	758.6	322.4	2.34
ELK6	120.0	128.3	54.9	2.35
ELK7	60.0	63.7	27.4	2.22

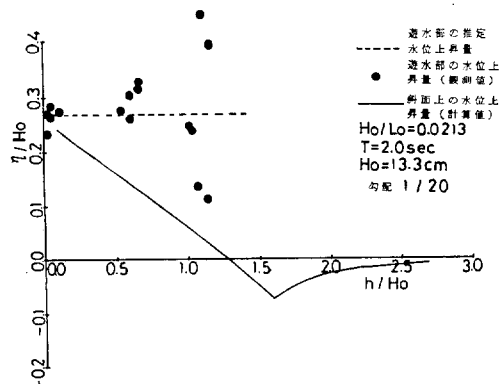


図4 観測値と計算値の水位上昇量の比較(1)

The comparison the observed values with the calculated values of wave-set-up(1)

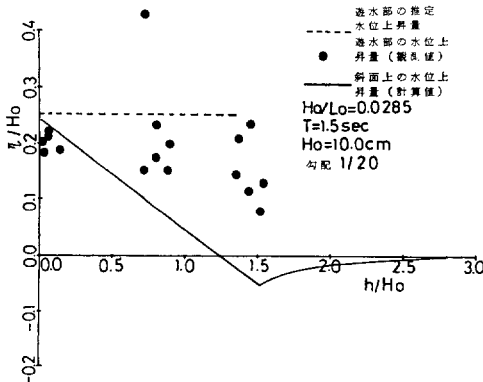


図5 観測値と計算値の水位上昇量の比較(2)  
The comparison the observed values with the calculated values of wave-set-up(2)

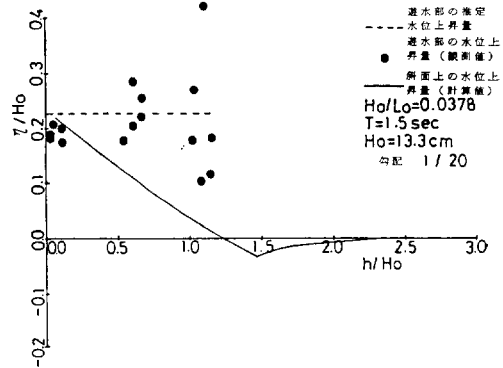


図7 観測値と計算値の水位上昇量の比較(4)  
The comparison the observed values with the calculated values of wave-set-up(4)

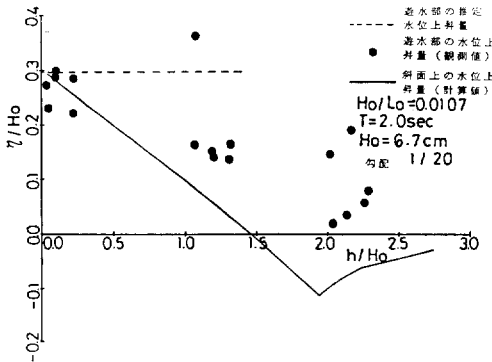


図6 観測値と計算値の水位上昇量の比較(3)  
The comparison the observed values with the calculated values of wave-set-up(3)

り返し計算を行なう。計算の結果、護岸水深が-2mの場合、遊水部の長さは6.7m(模型22.3cm)となった。ただし消波工の背面の傾斜を3/4とした。これは一般に消波工の法勾配として使われているものである。 $l'=6.7$ mの場合消波工背後法面と静水面との交点は、護岸より4.43m(模型14.8cm)の位置となる。

(6) 越波量の測定方法

越波量の測定には、重さがわかっている越波測定袋で第6波目から第15波目までの越波量を取り、それを重さがわかっているプラスチックケースに入れて台秤で測定した。これから越波量の重さを求めた。尚、越波量の測定は、同じケースを2回繰り返した。

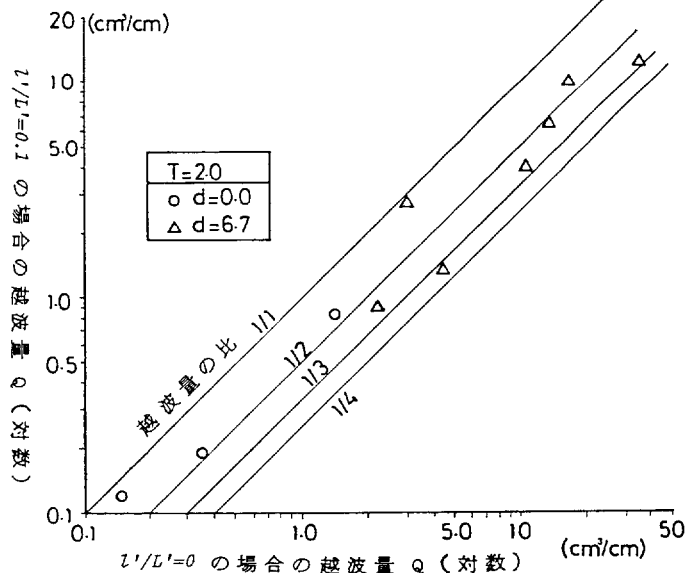


図8  $l'/L'=0$  と  $l'/L'=0.1$  の場合の越波量の比較 ( $i=1/10$ )  
The comparison the overtopping values of the case  $l'/L'=0$  with that of case  $l'/L'=0.1$  ( $i=1/10$ )

5. 実験結果

実験結果を付表に示すが、これを見ると勾配が1/10の場合も1/50の場合も、 $l'/L'=0.1$ の実験は $l'/L'=0$ の実験に較べて越波量が少ないことが分る。なお、付表1には今回の測定結果を加えて昨年度の研究のデータを同時に電算処理する為のにせてある。

図8、図9に1/10勾配及び1/50勾配の $l'/L'=0$ と $l'/L'=0.1$ の場合の越波量の比較を示す。また前回に示した1/20勾配の越波量の比較を参考の為図10に再び示す。これらの図には越波量の比の値を補助線として記入した。これらの図によると、1/20勾配の場合に較べて越波量は1/10勾配の場合多く、1/50勾配の場合少ない。

1/10勾配の場合、護岸設置水深が深くなると越波量は極めて多くなる。ま

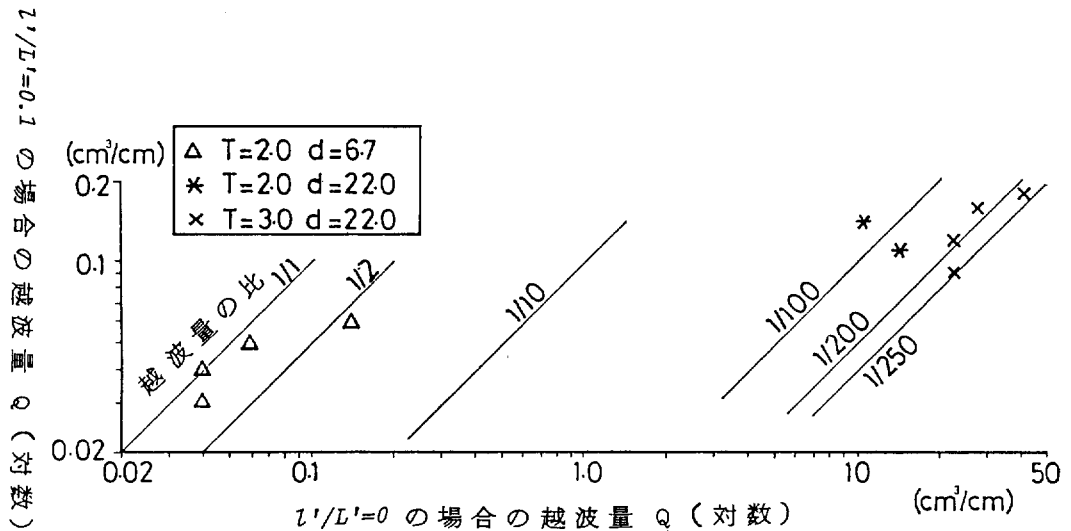


図 9  $l'/L'=0$  と  $l'/L'=0.1$  の場合の越波量の比較 ( $i=1/50$ )

The comparison the overtopping values of the case  $l'/L'=0$  with that of case  $l'/L'=0.1$  ( $i=1/50$ )

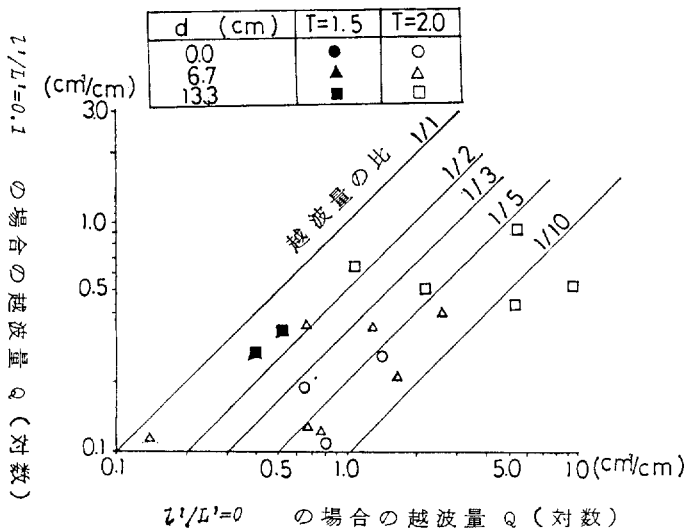


図 10  $l'/L'=0$  と  $l'/L'=0.1$  の場合の越波量の比較 ( $i=1/20$ )

The comparison the overtopping values of the case  $l'/L'=0$  with that of case  $l'/L'=0.1$  ( $i=1/20$ )

た、1/20勾配の場合に見られた、越波量が多くなるほどこの工法の効果が大きくなるという現象は1/10勾配においては見られなかった。

一方、1/50勾配の場合、他の2種の勾配と同様に越波量が毎秒  $0.1\text{cm}^3/\text{cm}$  以下のデータを省くとすると描くべき点なくなるので、この場合は毎秒  $0.02\text{cm}^3/\text{cm}$  以上のデータを採用した。それに加え、影山等の「離岸タ

イブ消波工の効果について<sup>9)</sup>」で述べられたデータを\*及び×印でマークすると、越波量が多くなると、1/20勾配の場合よりこの工法の効果が大きくなること分る。

この2枚の図より、消波堤付護岸の越波量は消波工付護岸に較べて1/10勾配の場合越波量は1/2から1/3に減少し、1/50勾配の場合、越波量が少ない場合約8割から5割に減少するだけで効果は少ないが、越波量の多い場合、最大1/250まで減少する。

### 6. 解析および考察

今回の実験結果と参考にした資料は、規則波を用いた越波実験結果である。これを不規則波に関するものに変換する方法を考えてみる。

実際の海の波は波高、周期とも時間とともに変化する不規則波である。こ

のような不規則な波を表現する方法に統計的な代表値によって表わす方法と波高、周期、エネルギー等の分布によって表現する方法がある。一般に漁港海岸の設計波として用いられているのは前者の方法で、そのなかでも有義波とよばれる代表波である。これは波高の大きな方から数えて全体の波数の1/3の波の波高と周期を平均した代表波である。



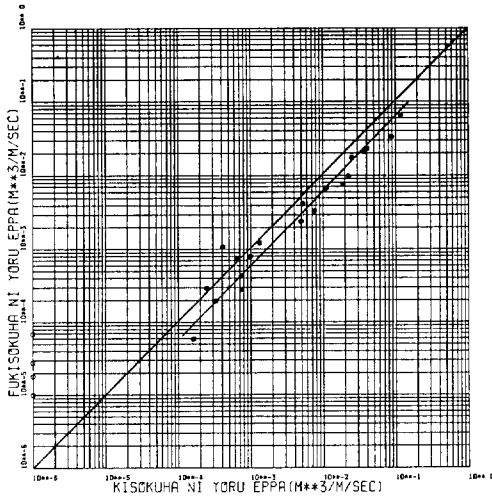


図 11 有義波と規則波の越波量の比較 ( $i=1/10$ )  
The comparison the overtopping values by significant wave height with that by regular wave height ( $i=1/10$ )

もう一つの方法のうち、周期の変動の少ない波の場合その波高の分布は次のようなレーリー分布となる。

$$P_r\left(\frac{H}{\bar{H}}\right) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{H}{\bar{H}}\right) \exp\left\{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2\right\} \dots (13)$$

また平均波高 $\bar{H}$ と有義波高 $H_{3/4}$ の関係は次のように表わすことができる。

$$\bar{H} = 0.625 H_{3/4} \dots (14)$$

この2つの方法から所要の有義波高に対する越波量を次のようにして求めた。

まず(14)式で所要の有義波高から平均波高を求め、その平均波高の3倍以下の範囲を現地想定の高波で0.0m, 0.5m, 1.5m, 2.5m, ……と1mおきの波高で区切り、その各区間の代表波高を、その区間の中央の値、0.25m, 1.0m, 2.0m, 3.0m, ……とし、その代表波高の出現する確率を(13)式を変形した次式で計算した。

$$P(H) = \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2\right] \dots (15)$$

ただし、 $P(H)$ は $H$ よりも大きな波高が出現する確率  
平均波高の3倍以下の範囲とした理由は、 $H/\bar{H}=3$ で(15)式の値は0.085%となり、ほとんど0とみなせると考えた為である。こうして求めた確率を規則波による実験の越波量に掛け、それらをすべて合計し、その有義波高に対する越波量とした。ただし、付表波高に対応する実験を行っていない場合は、それに最も近い波高の実験結果2つを両対数グラフ上でむすびそれを延長して推定した。

こうして求めた有義波高に対する越波量と同じ値の規

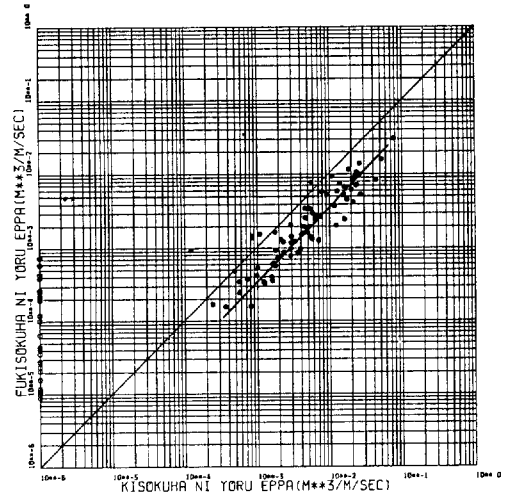


図 12 有義波と規則波の越波量の比較 ( $i=1/20$ )  
The comparison the overtopping values by significant wave height with that by regular wave height ( $i=1/20$ )

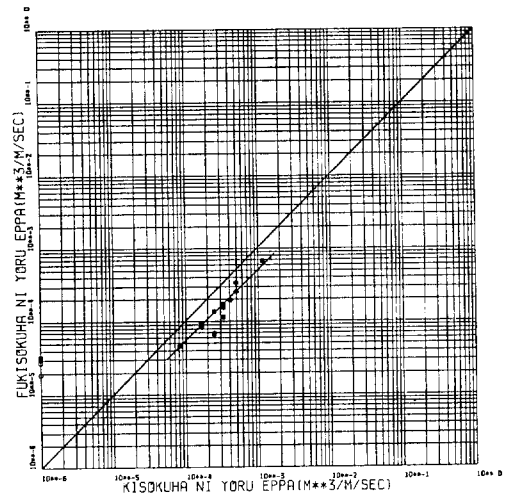


図 13 有義波と規則波の越波量の比較 ( $i=1/50$ )  
The comparison the overtopping values by significant wave height with that by regular wave height ( $i=1/50$ )

則波で実験した越波量との比較を図11～図13に示す。その時実測率が約5割に満たない点は図化する段階ではぶいた。実測率とは有義波高に対する越波量のなかで推定した越波量によらず実験越波量から直接求めた部分の割合のことである。

なお、この方法による解析の例として現地想定の有義波高4mの解析結果の一部を表4に示す。

表4 有義波高4mの場合の解析例(一部分)  
Partial example of analysis that significant wave height is 4 m

EX No.	<i>i</i>	<i>d</i>	H <sub>g</sub>	H <sub>r</sub>	<i>l'</i>	H <sub>0</sub>	T	<i>q</i> (cc/波/cm)	$q\sqrt{2gH_0^3}$ (m <sup>3</sup> /波/m)	<i>q'</i> (m <sup>3</sup> /波/m)	<i>q''</i> (m <sup>3</sup> /sec/m)	レイリー係(R)	R <sub>xq</sub>	R <sub>xq''</sub>	実測率
10.011	1/10	6.7	16.0	12.8	0.0	6.7	2.0	0.09	0.000021	0.0081	0.000739	0.297775	0.026800	0.000220	0.029470
10.012	1/10	6.7	16.0	12.8	0.0	10.0	2.0	0.60	0.000139	0.0540	0.004929	0.241424	0.144855	0.001190	0.159288
10.013	1/10	6.7	16.0	12.8	0.0	13.3	2.0	2.29	0.000531	0.2061	0.018814	0.136017	0.311479	0.002559	0.342515
10.014	1/10	6.7	16.0	12.8	0.0	16.7	2.0	3.05	0.000707	0.2745	0.025058	0.056157	0.171277	0.001407	0.188344
10.015	1/10	6.7	16.0	12.8	0.0	20.0	2.0	10.70	0.002481	0.9630	0.087909	0.017395	0.186135	0.001529	0.204682
10.016	1/10	6.7	16.0	12.8	0.0	23.3	2.0	16.63	0.003856	1.4967	0.136629	0.004094	0.068084	0.000559	0.074866
													0.909386	0.007471	0.999168
20.151	1/20	0.0	7.0	6.7	60.5	6.7	2.0	0.22	0.000051	0.0199	0.001812	0.297775	0.065686	0.000540	0.116692
20.152	1/20	0.0	7.0	6.7	60.5	10.0	2.0	0.56	0.000130	0.0503	0.004591	0.241424	0.134914	0.001108	0.239676
20.153	1/20	0.0	7.0	6.7	60.5	13.3	2.0	2.13	0.000493	0.1912	0.017459	0.136017	0.289036	0.002375	0.513477
20.154	1/20	0.0	7.0	6.7	60.5	16.7	2.0	0.96	0.000222	0.0860	0.007853	0.056157	0.056289	0.004625	0.965207
50.016	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	6.7	2.0	0.01	0.000002	0.0009	0.000002	0.297775	0.002978	0.000024	0.178391
50.017	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	10.0	2.0	0.02	0.000005	0.0018	0.000164	0.241424	0.004828	0.000040	0.289266
50.018	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	13.3	2.0	0.03	0.000007	0.0027	0.000246	0.136017	0.004081	0.000034	0.244456
50.019	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	16.7	2.0	0.05	0.000012	0.0045	0.000441	0.056157	0.002808	0.000023	0.186212
50.020	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	20.0	2.0	0.06	0.000014	0.0054	0.000493	0.017395	0.001044	0.000009	0.062529
													0.016692	0.000137	0.942853

これによると有義波高に対する越波量は規則波の同じ波高に対する越波量より少なめで、勾配が1/10の場合約60%、1/20の場合約30%、1/50の場合約50%を中心に分布していることがわかる。

今回の研究においては不規則波を用いた実験による検証は行っていないが、合田の研究<sup>1,2)</sup>によると、この変換方法により求めた不規則波による砕波領域における直立護岸の推定越波量と実際に不規則波を用いた越波量がよく一致することが報告されており、今回の場合も現実とあまり違いがないと考えられる。

次に越波量に影響を与えると考えられる要素を上げると海底勾配、沖波波高、周期、護岸の設置水深、護岸の天端高、消波工の天端高、護岸と消波工の法面勾配、消波工の幅、そして遊水部の長さなどがある。このうち今回の実験では護岸は直立壁、消波工の法面勾配は3/4、消波工の天端幅は2個並びと設定したので、比較はできない。また、消波工の高さH<sub>r</sub>は護岸の高さH<sub>g</sub>にほぼ一定の率を掛けて設定したため、単独には比較できない。従って、縦軸に無次元越波量  $q_{exp}/\sqrt{2g(H_{1/2})^3}$ 、横軸に沖波有義波高(H<sub>1/2</sub>)<sub>0</sub>と護岸設置水深*d*との比をとり、それぞれ海底勾配、沖波周期別に別業に、遊水部長さが*l'*=0と*l'*=0.1*l'*の場合の比較を行なった。このグラフ中の数字はH<sub>g</sub>/(H<sub>1/2</sub>)<sub>0</sub>の値でこれが約1から1.5の範囲の点で実測率が50%以上の点のみプロットしてある。

なお海底勾配が1/50の場合は、測定越波量が極めて少なく、*l'*=0と*l'*=0.1*l'*の場合の比較資料として不適当と考え、作図はとりやめた。

図14は*i*=1/20、T=2.0sec、H<sub>r</sub>/H<sub>g</sub>が0.5から0.6の

範囲の比較であるが、*l'*=0の場合に較べて*l'*=0.1*l'*の場合H<sub>g</sub>/(H<sub>1/2</sub>)<sub>0</sub>=1のときで無次元越波量は0.1~0.5倍になり、H<sub>g</sub>/(H<sub>1/2</sub>)<sub>0</sub>=1.5のとき0.1~0.3倍に減少している。参考のために合田による推定線をのせてあるが、条件は同じ*l'*=0、H<sub>g</sub>/(H<sub>1/2</sub>)<sub>0</sub>=1の本論の推定線に較べ、無次元越波量が少なく、波高が増大すると、その差が大きくなり、越波量を過小に見積ることになり、危険である。この違いは、本論の推定線は砕波領域における実験結果により推定したものであり、合田のは重複波領域における実験結果を用いて砕波領域の推定まで行なったためと思われる。

図15は、*i*=1/10、T=2sec、H<sub>r</sub>/H<sub>g</sub>が0.78から0.83の範囲の比較であるが、無次元越波量は*l'*=0の場合に較べて*l'*=0.1*l'*の場合の方がH<sub>g</sub>/(H<sub>1/2</sub>)<sub>0</sub>=1のとき0.3~0.6倍、H<sub>g</sub>/(H<sub>1/2</sub>)<sub>0</sub>=1.5のとき0.3倍になる。

1/50勾配の実験の場合、海岸保全施設築造基準により設定した消波工高さではまったく越波がおこらず、それを極端に低くした場合に0.0001m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・sec程度の越波量しかなく、想定した越波量にオーダーとしても満たなかった。これは砕波の進行により、護岸に波が到達するまでに波のエネルギーが減殺され、それに伴い、越波量の低減効果があったため、この工法による越波量減少を期待する必要がなくなったものと考えた。

想定した越波量とは、合田により示された背後が舗装された護岸の被災限界値約0.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・secを考えた。たとえば1/10勾配の現地想定越波量は沖波波高5mの場合0.12m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・sec以下であり、絶対量はやや少ないが、オーダーとして一致している。

7. 結 言

砕波領域において規則波による越波実験ならびに不規則波に対する期待越波量の算定を行い、次のような結果を得た。

(1) 前年度の1/20勾配の実験と同じく、1/10勾配及び1/50勾配の実験においても、 $l'=0$ の場合に較べて $l'=0.1L'$ の位置に消波工を設置した場合越波量が減少することが確かめられた。この減少率は勾配*i*, 沖波周期*T*, 護岸高さ $H_g$ と沖波波高の比 $H_g/(H_{1/3})_0$ により変化し、 $i=1/10$ ,  $T=11.0$ secでは $H_g/(H_{1/3})_0=1$ のとき0.3~0.6倍,  $H_g/(H_{1/3})_0=1.5$ のとき0.3倍,  $i=1/20$ ,  $T=11.0$ secでは $H_g/(H_{1/3})_0=1$ のとき0.1~0.5倍,  $H_g/(H_{1/3})_0=1.5$ のとき0.1~0.3倍,  $i=1/20$ ,  $T=8.3$ secでは $H_g/(H_{1/3})_0=1$ のとき0.7倍,  $H_g/(H_{1/3})_0=1.5$ のとき0.8倍となった。ただし、1/50勾配の水深が浅い場合は、 $l'=0$ の場合ですでに越波量が極めて少なくなり、 $l'=0.1L'$ の場合、数字上では約半分というデータとなったが、この工法により越波量を減少させる必要性が少ないことがわかった。

(2) 前年度の研究では規則波の越波量のデータとしてそのまま用いたが、これを変換し、不規則波に対する越波量を算定すると、規則波のものに較べて1/10勾配で約60%, 1/20勾配で約30%, 1/50勾配で約50%と少ない期待越波量が得られた。

(3)  $l'=0.1L'$ とする工法では、 $l'$ および $L'$ は遊水部の水位上昇後の遊水部長さおよび水位上昇後の入射波長であり、汀線に近い領域においてはその水位上昇量が無視できないが、その水位上昇量を算定する方法としては菅原の「規則波の浅水変形」により示された wave-set-up の算定方法により、水深0の点における水位上昇量として算定してよい。

(4) この工法で残された問題点としては、消波工の基礎洗掘が考えられる。

豊島<sup>10)</sup>によると、この工法の遊水部にあたる部分にもブロックを投入し、なるべく空けない方がよいとされている。その理由は、ここを空けておくと、表面に沿って帰るべき反射波の一部がこのくぼみにたまり、表法被覆工にそって強い戻り流れとなって根固工基礎の洗掘を助長する傾向を示すからである。

従って、基礎洗掘を考える必要のない基礎条件の場合はこの工法をそのまま用いても良いが、砂地盤等、洗掘の生じやすい基礎条件にこの工法を適用する場合はさらに洗掘防止対策工を考える必要がある。

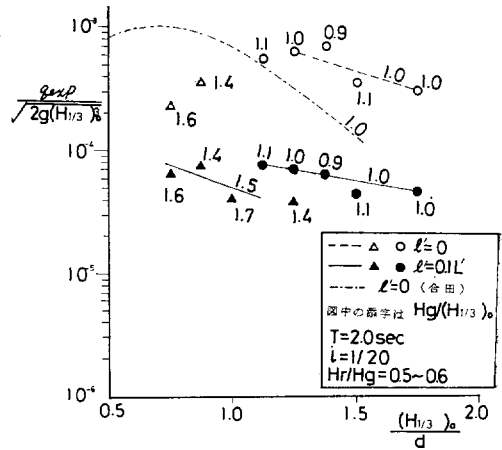


図14  $l'/L'=0$ の無次元越波量と $l'/L'=0.1$ の無次元越波量の比較 ( $i=1/20$ )

The comparison the nondimensional overtopping values of case  $l'/L'=0$  with that of case  $l'/L'=0.1$  ( $i=1/20$ )

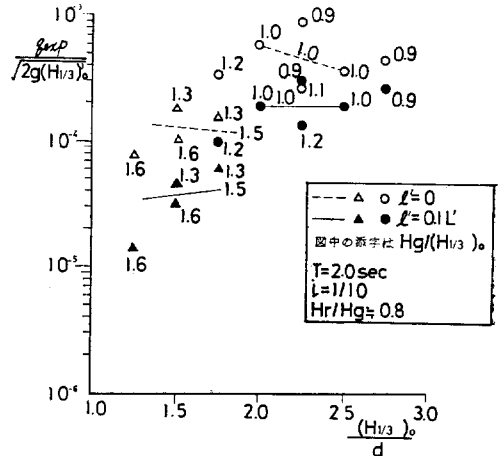


図15  $l'/L'=0$ の無次元越波量と $l'/L'=0.1$ の無次元越波量の比較 ( $i=1/10$ )

The comparison the nondimensional overtopping values of case  $l'/L'=0$  with that of case  $l'/L'=0.1$  ( $i=1/10$ )

参 考 文 献

- 1) 合田良実・竹田英章：不規則波に対する護岸の期待越波流量について、第15回海講講演集, pp.259~266, 1968
- 2) 合田良実：不規則波に対する護岸の期待越波流量について第2報、第17回海講講演集, pp.125~132 1970
- 3) 菅原輝男・山本正昭：規則波の浅水変形計算モデ

- ル, 農業土木試験場技報D第20号, pp.1~22, 1978
- 4) 井島武士・奥園英明・湯村やす・坂井久雄: 遊水部をもつ直立消波防波堤と護岸, 第19回海講演集 pp.185~192, 1972
  - 5) 菅原輝男・長野章: 直立透過堤による波の反射・透過に関する研究, 農業土木試験場報告第14号, pp.137~144, 1976
  - 6) 合田良実・岸良安治: 不規則波による低天端型護岸の越波特性実験, 港湾技研資料No.242, 1976
  - 7) 佐伯浩・菊地秀明・京谷修・松井弘夫・尾崎晃: 分離式防波堤の水理機能と設計波圧について, 第27回海講演集, pp.335~338, 1980
  - 8) 西裕司・山本正昭: 遊水部を有する消波工付護岸の越波に関する実験的研究, 水工研技報水産土木第2号, pp.33~49, 1981
  - 9) 影山智将・山本正昭: 離岸タイプ消波工の効果について, 水工研技報水産土木第2号, pp.51~66, 1981
  - 10) 豊島修: 現場のための海岸工学高潮編, 森北出版 pp.272~273, 1977

## Experimental Study on Overtopping over Seawall Having Remote Absorber

By

Yuji NISHI and Masaaki YAMAMOTO

### Summary

Fundamental role of seawall is to protect inside inhabitants and their estates from the high-tide and the wave.

This study is about the reducing effect of overtopping by the method to construct the absorber remote from the seawall at the distance of  $l'=0.1L'$ . ( $l'$  is the water surface distance between the absorber and the seawall and  $L'$  is the wave length at the middle depth between the absorber and the seawall. They are both the values after wave-set-up.)

The reducing rate of overtopping by the case of  $l'=0.1 L'$  as compared with the case of  $l'=0$  is changed by the grade, the wave period and the height of the seawall and the absorber.

But the rate is always below 1. The rate decreases, when the grade becomes to be gentle, when the height of seawall and absorber become to be high and when the wave period becomes to be long.









EX No.	Ho (cm)	T (sec)	Q(2 times) (cc)	Wd (cm)	$\bar{z}$	d (cm)	Hg (cm)	Hr (cm)	Z'	BLK1 (	BLK2	BLK3	BLK4 unit	BLK5	BLK6	BLK7 )	
20.441	6.7	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	12.7	0.0	0.0	0.0	55.0	100.0	0.0	0.0
20.442	10.0	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	12.7	0.0	0.0	0.0	55.0	100.0	0.0	0.0
20.443	13.3	1.5	80	20	70	1/20	13.3	16.3	13.3	12.7	0.0	0.0	0.0	55.0	100.0	0.0	0.0
20.444	16.7	1.5	30	40	70	1/20	13.3	16.3	13.3	12.7	0.0	0.0	0.0	55.0	100.0	0.0	0.0
20.451	6.7	2.0	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	43.7	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.452	10.0	2.0	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	43.7	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.453	13.3	2.0	110	90	70	1/20	13.3	16.3	13.3	43.7	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.454	16.7	2.0	160	160	70	1/20	13.3	16.3	13.3	43.7	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.461	6.7	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	42.3	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.462	10.0	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	42.3	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.463	13.3	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	42.3	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.464	16.7	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	42.3	0.0	0.0	0.0	84.0	100.0	0.0	0.0
20.471	6.7	2.0	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.2	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
20.472	10.0	2.0	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.2	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
20.473	13.3	2.0	280	200	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.2	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
20.474	16.7	2.0	370	350	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.2	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
20.481	6.7	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.4	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
20.482	10.0	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.4	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
20.483	13.3	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.4	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
20.484	16.7	1.5	0	0	70	1/20	13.3	16.3	13.3	76.4	0.0	0.0	0.0	105.0	100.0	0.0	0.0
50.001	6.7	2.0	0	0	100	1/50	6.7	11.2	5.3	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
50.002	10.0	2.0	0	0	100	1/50	6.7	11.2	5.3	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
50.003	13.3	2.0	10	20	100	1/50	6.7	11.2	5.3	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
50.004	16.7	2.0	20	20	100	1/50	6.7	11.2	5.3	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
50.005	20.0	2.0	20	20	100	1/50	6.7	11.2	5.3	0.0	0.0	22.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
50.006	6.7	2.0	0	0	100	1/50	6.7	11.2	5.3	19.3	0.0	22.0	0.0	0.0	33.0	0.0	0.0
50.007	10.0	2.0	0	0	100	1/50	6.7	11.2	5.3	19.3	0.0	22.0	0.0	0.0	33.0	0.0	0.0
50.008	13.3	2.0	0	0	100	1/50	6.7	11.2	5.3	19.3	0.0	22.0	0.0	0.0	33.0	0.0	0.0
50.009	16.7	2.0	10	20	100	1/50	6.7	11.2	5.3	19.3	0.0	22.0	0.0	0.0	33.0	0.0	0.0
50.010	20.0	2.0	20	20	100	1/50	6.7	11.2	5.3	19.3	0.0	22.0	0.0	0.0	33.0	0.0	0.0
50.011	6.7	2.0	0	10	100	1/50	6.7	11.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	0.0	0.0
50.012	10.0	2.0	10	10	100	1/50	6.7	11.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	0.0	0.0
50.013	13.3	2.0	20	20	100	1/50	6.7	11.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	0.0	0.0
50.014	16.7	2.0	40	20	100	1/50	6.7	11.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	0.0	0.0
50.015	20.0	2.0	80	60	100	1/50	6.7	11.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	0.0	0.0
50.016	6.7	2.0	10	0	100	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	117.0	0.0	0.0
50.017	10.0	2.0	10	10	100	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	117.0	0.0	0.0
50.018	13.3	2.0	10	20	100	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	117.0	0.0	0.0
50.019	16.7	2.0	20	30	100	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	117.0	0.0	0.0
50.020	20.0	2.0	30	30	100	1/50	6.7	11.2	0.1	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	117.0	0.0	0.0