

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 21

NO. 2

JUNE 1982

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第 21 卷 第 2 号 (Vol. 21, No. 2), 1982 年 6 月 (June 1982)

目 次 (CONTENTS)

1. Theoretical Properties of Oblique Waves Generated by Serpent-type Wave-makersTomotsuka TAKAYAMA..... 3
(造波機によって発生する斜め波の特性について高山知司)
2. レーザー・ドップラー流速計による碎波帯内の流速場の構造の解明
.....灘岡和夫・近藤隆道・田中則男..... 49
(The Structure of Velocity Field within the Surf Zone Revealed by Means of Laser-Doppler Anemometry
.....Kazuo NADAOKA, Takamichi KONDOH and Norio TANAKA)
3. プイ係留船舶の荒天時の振れ回り運動.....鈴木康正・諸石一幸..... 107
(On the Slow Motions of Ships Moored to Single-point Mooring Systems
..... Yasumasa SUZUKI and Kazuyuki MOROISHI)
4. 各種消波工による越波流量の減少効果
.....高山知司・永井紀彦・西田一彦..... 151
(Decrease of Wave Overtopping Amount due to Seawalls of Low Crest Types
..... Tomotsuka TAKAYAMA, Toshihiko NAGAI and Kazuhiko NISHIDA)
5. コンクリート舗装の目地部における荷重伝達機能
.....福手 勤・八谷好高・山崎英男..... 207
(Efficiency of Load Transfer at Joints in Concrete Pavements
..... Tsutomu FUKUTE, Yoshitaka HACHIYA and Hideo YAMAZAKI)
6. 7年間海洋環境下に暴露したプレストレストコンクリートはりの耐海水性につ
いて.....大即信明・下沢 治..... 237
(The Study on the Durability of PC beams after 7 Years' Exposure in Marine En-
vironment.....Nobuaki OHTSUKI and Osamu SHIMOZAWA)
7. 港湾経済効果の計測手法.....中野 勉・稲村 肇..... 261
(Development and Application of Synthetic Economic Evaluation Model for Port
PlanningTsutomu NAKANO and Hajime INAMURA)
8. 付着油除去システムの開発実験.....奥出 律・松本 茂..... 315
(Development of Removal System for Spilt Oil Sticking to Beaches and Coastal
StructuresTadasu OKUDE and Shigeru MATSUMOTO)

4. 各種消波工による越波流量の減少効果

高山 知 司*・永 井 紀 彦**・西 田 一 彦**

要 旨

海岸護岸の天端高の設定にあたっては、越波流量を許容値以下に抑えることが重要であるが、一方、環境や景観面および海浜の利用上の配慮から、天端高をなるべく低く抑える要請が近年強まってきている。このため、異形ブロック積み消波護岸、縦スリット状の直立消波護岸、あるいは護岸前面に透過式離岸堤を設置する工法などで護岸の天端高を低く抑えようとする試みがなされている。このためには、これらの護岸の越波特性を十分に検討しておく必要がある。そこで、不規則波を用いた水理模型実験を実施し、各種護岸および前面に離岸堤を設置した護岸の越波流量特性を検討した。越波流量特性の検討にあたっては、すでに発表されているほかの文献に示された実験値も参照した。

直立護岸の越波流量を求める算定図を合田は提案しているが、ここでは、この算定図を近似する式を、波の変形における領域を考慮して作成した。この式によって、越波流量と直立護岸の天端高の関係が明確になるため、越波流量の減少効果から所要天端高の低減量を求めることができるようになった。

同一天端高、同一波浪条件の、直立護岸と各種消波護岸の越波流量を比較し、越波流量の減少値を上述の式から所要天端高の低減量に換算することによって、各種消波護岸の所要天端高低減効果を考察した。この結果、

- (1) ブロック積み消波護岸は、護岸が Breaking 領域にあるときは所要天端高低減効果が大きい、Post Breaking 領域にあるときにはその効果が小さくなること
 - (2) 直立消波護岸は、護岸が Breaking 領域にあるときにはブロック積み消波護岸と同程度の効果を持つこと
 - (3) 斜・階段護岸は、直立護岸より 10~20% 程度所要天端高を増加させる必要があること
 - (4) 離岸堤を護岸前面に設置するときは、離岸堤の天端が高いほど効果が大きく、護岸が Breaking 領域にあるときの方が Post Breaking 領域にあるときより効果が大きいこと
- などが明らかになった。

* 海洋水理部 波浪研究室長
** 海洋水理部 波浪研究室

4. Decrease of Wave Overtopping Amount Due to Seawalls of Low Crest Types

Tomotsuka TAKAYAMA*

Toshihiko NAGAI**

Kazuhiko NISHIDA**

Synopsis

Model experiments on overtopping amount of irregular waves have been performed in order to study the efficiency of various low crest types of seawalls. The following models are used in the experiments: Block mounted seawall, vertical seawall of slit caisson, seawall of a stepped or smooth slope, and seawall with permeable detached breakwater.

By formulating Goda's figures for the estimation of wave overtopping rate over vertical type seawall, it has become possible to calculate the overtopping rate and the crest height of the seawall under the conditions given. The relationship between the overtopping rate and the crest height of seawall is clarified by the formula and the experiments, and the degree of reduction of the crest height has been estimated for the above various types of seawalls, by comparing the overtopping rates between the vertical type and the above types of seawall.

* Chief of Wave Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

** Member of Wave Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

目 次

要 旨	151
1. ま え が き	155
2. 実 験	155
2.1 実 験 水 路	155
2.2 実 験 波	155
2.3 斜面と護岸堤の模型	156
2.4 波と越波量の測定・解析法	157
2.5 実験ケース	159
2.6 解析に用いたほかの実験	159
3. 直立護岸の越波流量算定式	159
3.1 算定式の必要性	159
3.2 波の変形における領域区分	161
3.3 Post Breaking 領域における越波流量算定式	162
3.4 Breaking 領域における越波流量算定式	164
3.5 Shoaling 領域における越波流量算定式	166
3.6 算定プログラムのフロー	166
3.7 算定式の精度	166
4. 消波護岸の越波流量算定法	169
4.1 ブロック積み消波護岸	169
4.2 一部ブロック積み消波護岸	174
4.3 直立消波護岸	176
4.4 斜・階段護岸	178
5. 離岸堤を前面に設置した護岸の越波流量特性	179
5.1 離岸堤透過波の性質	179
5.2 離岸堤背後の直立護岸の越波流量特性	182
5.3 離岸堤・消波工併設護岸の越波流量特性	185
6. ま と め	186
7. あ と が き	188
参 考 文 献	188
主 要 記 号 表	189
付 表 1 離岸堤通過波の測定実験	190
付 表 2 越波流量実験結果	193
付 表 3 越波流量実験結果 (合田による実験)	198
付 表 4 越波実験結果 (一建による実験)	202
付 表 5 離岸堤透過波の性質に関する既往の研究	205

1. まえがき

海岸護岸の天端高の設定にあたっては、越波流量を許容値以下に抑えることが重要である。しかし、環境や景観面および海浜の利用上の配慮から、天端高をなるべく低く抑える要請が近年強まってきている。このため、護岸前面に異形ブロックを設置した消波護岸、縦スリット状の直立消波護岸、あるいは護岸前面に透過式離岸堤を設置する方法などで、護岸の天端高を低く抑えようとする試みがなされている。この試みを実行に移すためには、これら護岸に対する越波特性を十分に検討しておくことが重要となる。

越波流量を検討する手法としては、不規則波を用いた水理模型実験による手法、規則波を用いた水理模型実験による手法、数値計算による手法などが考えられる。

規則波を用いた水理模型実験においては、多くの種類の規則波を作用させて、不規則波に対する期待越波流量を求めなければならない¹⁾ので、膨大な実験ケース数を要する。また、このように多くの種類の規則波を作用させても、不規則波に特有なサーフビート等の現象を十分に再現させることはできない。数値計算による手法は、近年、さまざまな分野に広く活用されている手法ではあるが、越波現象の機構とそのモデル化の手法が十分に解明されていない現在の段階においては、その適用は非常に困難である。

これらに対して、不規則波を用いた水理模型実験では、実際の海の波に近い波を用いることができるため、実際の越波流量とほぼ等しい値を求めることができる。そこで、本研究では、不規則波を用いた水理模型実験によって越波流量特性を検討することにした。

不規則波を用いた水理模型実験による護岸の越波流量に関する研究は、合田らによって始められた。合田ら^{2,3)}は、直立護岸、および直立護岸の前面に異形ブロックを積み消波構造とした護岸に関して、多くのケースの不規則波模型実験を実施し、横軸に護岸の設置水深をとり、パラメータとして護岸の天端高を用いることによって、縦軸上の越波流量の値を読み取ることができる算定図を、海底勾配および波形勾配ごとに作成している。また、離岸堤を前面に設置した直立護岸、縦スリット型直立消波護岸、階段護岸などについても、その後、若干のケースに関して検討をおこなっている。

しかし、現在までの研究においては、任意の海底勾配、

沖波波形勾配に対する護岸の越波流量の算定にあたっては、算定図面を内挿または外挿しなければならないこと、また、直立消波護岸や階段護岸あるいは前面に離岸堤を設置した各種護岸の越波流量の算定法はまだ確立されていないこと、などの問題点が残されている。

本研究は、以上の問題点を解決し越波流量の算定法を確立するため、直立護岸、各種消波護岸、およびこれらの護岸の前面に離岸堤を設置した場合の、不規則波を用いた越波流量測定模型実験をおこなったものである。越波流量特性の検討にあたっては、本実験によって得られたデータに加えて、合田ら⁴⁾による実験結果、最近、運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所^{5),6),7)}でおこなわれた越波実験結果も参照した。

2. 実 験

2.1 実験水路

図-1 は、実験に用いられた水路を示したものである。この水路は、港湾技術研究所大型水工実験場内にある30m×5m×1mの水路であり、途中、仕切り壁によって幅60cmの一樣水深水路と、幅4.3mの勾配1/50の水路にわかれている。本実験においては幅60cmの部分を使用した。造波機は幅5mのピストンタイプで、適切な信号を入力することによって、任意のスペクトル形を持つ不規則波を発生させることが可能になっている。水路の両端には、消波用の砕石が敷かれている。

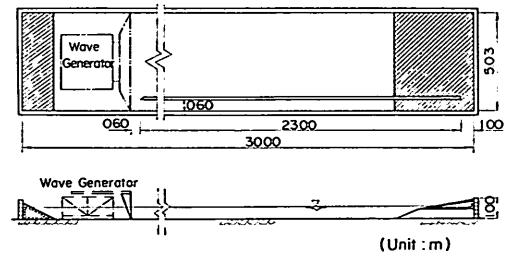


図-1 実験水路

2.2 実験波

実験波としては、すべて不規則波を用いた。スペクトル型としては、プレットシュナイダー・光易型⁸⁾を目標とした。表-1 は、目標とした実験波の諸元を示したものである。実験にあたっては、表-1 の諸元を持つ各不規則波に関して、それぞれ波連の異なる2種類の波を用

表-1 目標とした実験波

Wave	H_0 (cm)	T_0 (s)	H_0/L_0
1	10	2.31	0.012
2	10	1.33	0.036
3	15	2.83	0.012
4	15	1.63	0.036

考えると、この中に発生する定常振動は造波板と護岸とを腹とする振動である。波の伝播速度が各地点の水深に対応する長波の速度に等しいものとする、定常運動の固有周期は次式で与えられる。

$$f_m = \frac{m \sqrt{gh_0}}{2(l_0 + l')} \quad (m=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

ここに

$$l' = 2l_1 \left[1 - \sqrt{\frac{h_2}{h_0}} \right] \quad (2)$$

図-2 は、 $l_0=3\text{ m}$ 、 $l_1=12\text{ m}$ 、 $h_0=60\text{ cm}$ 、 $h_2=0\text{ cm}$ の状態で測定されたものなので、固有周期は

$$f_m = 0.045, 0.090, 0.135, \dots \text{ (Hz)}$$

となる。図-2 の長周期波のピークは、この $m=2$ と 3 付近の固有周期に対応している。

2.3 斜面と離岸堤の模型

斜面模型としては、勾配が 1/30 と 1/10 の木製の模型を用いた。ただし、勾配が 1/30 の模型は、全長が長くなりすぎるため、水路底面から高さ 30 cm になるまでは 1/10 勾配となっている。

離岸堤の模型は、すべて 図-4 および 写真-1 に示すようなブロック積みのある一定の構造とした。そして、480 g のテラポット模型 (1/33 縮尺とすると現地換算 17.8 t) のブロック 3 段積み (下層 4 列) で、天端部はブロック 2 列並びとした。水面からの天端高は水位によって調整することとし、比較的水深の大きいところに離岸堤を設置する場合は、離岸堤の下に碎石によるマウンドを敷いて、離岸堤の幅を一定に保った。

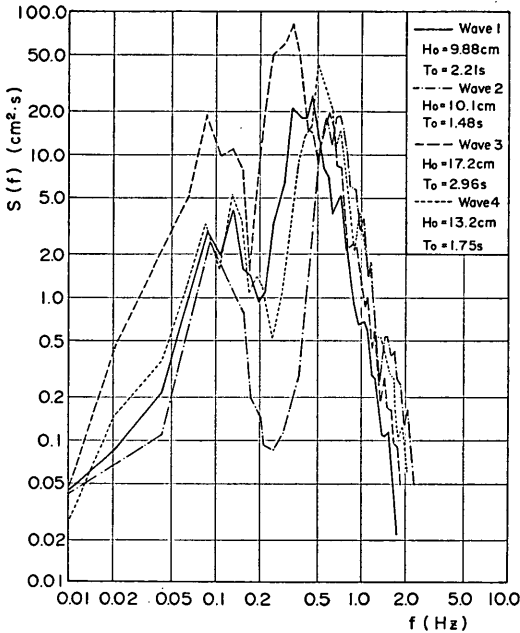


図-2 実験波のスペクトル

いた。

図-2 は、実験波の実測スペクトルを示したものである。各実験波とも、有義波周期付近がスペクトルのピークとなっているが、他に $f=0.1\text{ Hz}$ 付近にもスペクトルのピークがあらわれている。これは、実験水路の特性によるものと推定される。

実験水路の定常振動の固有周波数は、合田⁹⁾により以下のように算定される。ここで、図-3 のような水路を

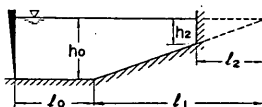


図-3 実験水路のスケッチ

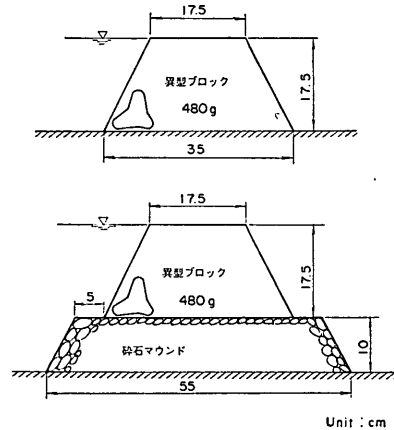


図-4 離岸堤の形状

各種消波工による越波流量の減少効果



写真-1 実験状況 (離岸堤模型)

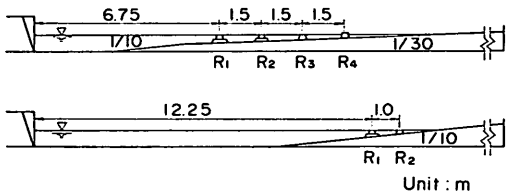


図-5 離岸堤の設置位置

図-5 は斜面上における離岸堤の位置を示したものである。R1~R4 は離岸堤の設置位置を示す記号であり、実験水深を 57.5cm, 60cm, 65cm と変化させて離岸堤の天端高を調整した。

越波流量測定実験は、昭和 55 年度から 56 年度にかけて 2 かにわたって実施された。以上述べた離岸堤の構造と位置は 55 年度の実験のときのものであるが、56 年度の実験においてもほぼ同じである。相異点としては、56 年度の実験では波による異型ブロックの崩壊を防ぐためステンレス金網で離岸堤を覆ったこと、護岸の位置を一定として水深を 50~80cm の間で変化させ、それに伴って天端高が 0 となるように離岸堤の位置を変えたことが挙げられる。なお、金網自体の波の透過率は非常に大きく、同種の金網を 50 枚重ねても、周期 2s の波の透過率が 70% もあることがほかの実験から得られている¹⁰⁾。このことから金網による離岸堤透過波への影響は無視できると考えた。

2.4 波と越波量の測定・解析法

波高の測定は、容量式波高計を用いておこなった。波形のデータは、一旦、アナログデータレコーダに収録し、その後、A/D 変換をおこない、MT に収録して、大型電子計算機 (Acos 800 II 型) を用いて統計解析した¹¹⁾。これによって、有義波高、有義波周期などのゼロアップクロス法で定義される波の諸元に加えて、FFT 解析による波の周波数スペクトルも求めた¹²⁾。実験においては、造波板と直立護岸との間で多重反射がおり、入射波高が増大する。そこで、2 台の波高計を 20cm 又

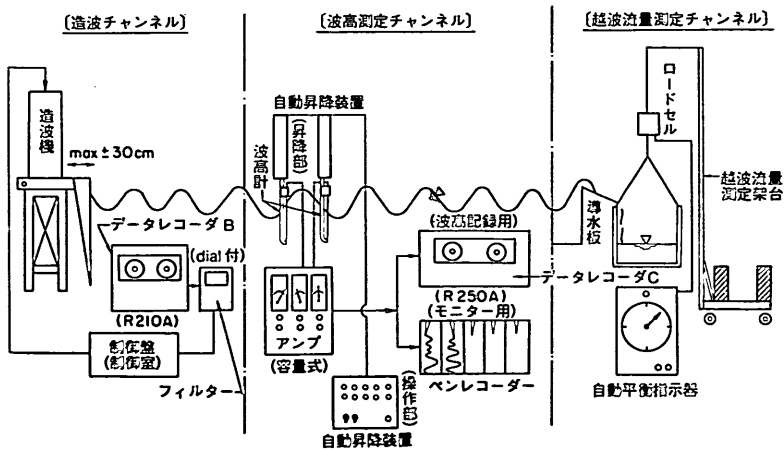


図-6 越波実験のフロー

は 40 cm 間隔に設置し、これらの波高計の同時記録を用いて、入・反射波の分離計算¹³⁾をおこない、入射波高を定めた。換算沖波波高はここで求めた入射波高を浅水係数¹⁴⁾で除して求めた。また、離岸堤背後にも波高計を設置し、波の測定をおこなった。

A/D 変換では、波形のサンプリング周期は 1/15s とし、3072 又は 2048 個のデータを用いた。データ整理にあたっては、波高変化や平均水位上昇量は、すべて換算沖波波高 H_0 で除し無次元化した。

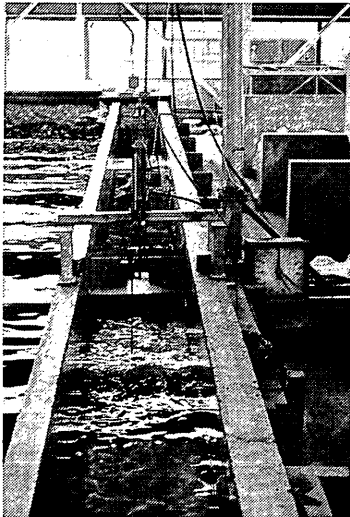


写真-2 実験状況（採水時）

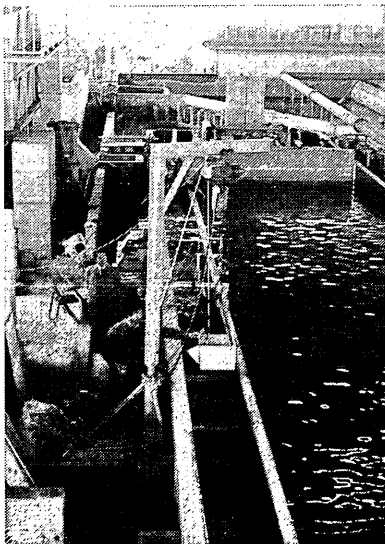


写真-3 実験状況（越波流量測定）

越波量は、図-6 に示すように護岸を越波した水を内箱の中に集水し、ロードセルを用いて内箱の重量を求めることによって定めた。ロードセルは、実験ケースに応じて 50 kg 用および 200 kg 用のものを用いた。写真-2 と写真-3 および写真-4 に実験の状況を示す。



写真-4 実験状況（直立消波護岸と離岸堤）

実験で得られた越波量を、ストップウォッチで測定した測定時間と水路幅で除し、単位時間および単位幅当りの越波量 q に変換した。測定は、波の測定時間中継続して集水するように努めたが、越波量が非常に多いケースでは内箱があふれる前に集水をうち切った。

単位幅、単位時間当りの越波量 q の無次元化は、重力加速度と沖波波高の 3 乗の積の平方根で除しておこなった。この無次元量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は、合田¹⁵⁾がせきの越流理論を用いて導いたものである。

表-2 は、越波実験の解析にあたって、水路内に発生するサーフビートを考慮して、護岸設置水深と護岸天端高を修正する値を示したものである。表-2 の値は、合田¹⁶⁾によって報告されている補正量を、沖波波高で無次元化したものである。補正は表-2 に示した値だけ水位が上昇するとして、設置水深を大きく見積り、それだけ天端高を小さく見積ることによっておこなっている。水路のサーフビートによる平均水位の上昇量に関しては、まだ明確な算定法が確立されていないので、ここでは合田によって提案された修正値をそのまま用いることにし

各種消波工による越波流量の減少効果

表-2 サーフピートによる h/H_0 と h_c/H_0 の補正

h (cm)	i=1/30	i=1/10	
		$H_0/L_0 > 0.02$	$H_0/L_0 \leq 0.02$
~7.5	0.1	0.1	0.1
7.5~2.5	0.1	0.1	0.13
2.5~	0.1	0.13	0.17

たが、この補正量に関しては、今後検討する必要がある。

2.5 実験ケース

(1) 離岸堤背後の波の測定実験

表-3 は、離岸堤背後の波の測定実験のケースを示したものである。ここで示したように、海底勾配は 図-5 で示した 1/30 と 1/10 の 2 通りに関して実験をおこなった。R1~R4 の護岸堤の位置も 図-5 に対応している。離岸堤の天端高は水位を変えることによって変化させた。表中の各ケース毎に、表-1 で示した各波の 2 通り

表-3 離岸堤背後の波の測定実験ケース

i	Detached Breakwater		
	Site (Fig. 5)	h_B (cm)	h_{BT} (cm)
1/30	R ₁	25	2.5
		27.5	0
		32.5	-5
	R ₂	20	2.5
		22.5	0
		27.5	-5
	R ₃	15	2.5
		17.5	0
	R ₄	22.5	-5
		10	7.5
		12.5	5
	1/10	R ₁	17.5
25			2.5
32.5			-5
R ₂		15	2.5
		17.5	0
		22.5	-5

の波連を作用させ実験をおこなった。実験結果は 付表-1 にとりまとめている。

(2) 越波実験

表-4 は、越波実験のケースを示したものである。海底勾配、離岸堤の設置位置、離岸堤の天端高の水位による調整などは 表-3 と同様である。各ケース毎に 表-1 で示した各波の 2 通りの波連を作用させ、直立護岸の他に、捨石や異型ブロックを前面に設置した消波護岸、縦スリット型直立消波護岸についても実験をおこなった。

なお、付表-2 に、実験結果を示す。

2.6 解析に用いたほかの実験

越波流量算定法を検討するために、著者らの実験データに加えて、合田らや第一港湾建設局による実験結果も参照した。表-5 は参照した実験の実験条件を示したものである。これらの実験は、すべて不規則波を用いたものであり、波の周波数スペクトル型も、著者らの実験と同様にブレットシュナイダー・光易型を目標スペクトルとしている。

1975 年における合田らの研究では、直立護岸とブロック積み消波護岸に関してそれぞれ、2 通りの海底勾配、3 通りの波形勾配について、護岸の設置水深と天端高を変化させて、数多くのケースの実験をおこない、越波流量算定図を作成している。

1976 年の合田らによる実験は、直立護岸の前面に離岸堤を設置した場合や、各種消波工を設置した護岸の越波流量を測定したものである。この実験はケース数が少ないため各種護岸の越波流量算定法を確立するには至らなかったが、各種護岸の越波流量特性を検討する上で、有益な資料となっている。

運輸省第一港湾建設局では、昭和 54 年度より汀線近傍上の各種護岸の越波実験をおこなっており、54 年度、55 年度および 56 年度の実験報告書がすでに作成されている。この一連の実験では、海底勾配を 1/30、沖波波形勾配を 0.036、護岸設置位置を汀線付近に限定し、前面に離岸堤を設置した場合や、各種消波護岸の越波流量を、多くのケースに関して検討している。

なお、付表-3 には合田らの実験結果、付表-4 には第一港湾建設局による実験結果を示す。

3. 直立護岸の越波流量算定式

3.1 算定式の必要性

直立護岸の越波流量に関しては、合田は、海底勾配が 1/10 と 1/30、沖波波形勾配が 0.012, 0.017, 0.036 の

表-4 越波実験ケース

<i>i</i>	Sea Wall			Detached Breakwater		<i>i</i>	Sea Wall			Detached Breakwater				
	<i>h</i> (cm)	<i>h₀</i> (cm)	Type	<i>h_R</i> (cm)	<i>h_{RT}</i> (cm)		<i>h</i> (cm)	<i>h₀</i> (cm)	Type	<i>h_R</i> (cm)	<i>h_{RT}</i> (cm)			
1/30	12.5	9.75	V.	—	—	1/10	-15.0	15.0	N.S.	—	—			
				25	2.5					-10.0	10.0	N.S.	17.5	0
				20	2.5								-10.0	16.9
	15	2.5	-5.0	11.9	V. V. B.		17.5	0						
	—	—					0	6.9	B. B. V. V.	—	—			
	27.5	0								2.5	9.75	V.	17.5	0
	22.5	0	5.0	9.0	V. H.B. B.		—	—						
17.5	0	15.0				10.7	B. B. V. V.A. V. V.A.	—	—					
—	—		-10.0	10.0	N.S.			27.5	0					
20.0	2.5	-5.0				5.0	N.S. N.S.	27.5	0					
10.0	7.5		-5.0	11.9	V. B.			—	—					
—	—	0				6.9	B. B. V. V.	17.5	0					
22.5	0		5.0	9.5	V. H.B. B.			17.5	0					
17.5	0	15.0				10.7	B. B. V. V.A. V. V.A.	—	—					
—	—		-5.0	10.0	N.S.			27.5	0					
25.0	2.5	-5.0				5.0	N.S. N.S.	—	—					
—	—		-5.0	11.9	V. B.			—	—					
25.0	2.5	0				6.9	B. B. V. V.	17.5	0					
15.0	7.25		0	6.9	B. B. V. V.			17.5	0					
—	—	5.0				9.5	V. H.B. B.	—	—					
27.5	0		15.0	10.7	B. B. V. V.A. V. V.A.			27.5	0					
—	—	-5.0				5.0	N.S. N.S.	—	—					
25.0	2.5		-5.0	11.9	V. B.			—	—					
—	—	0				6.9	B. B. V. V.	17.5	0					
25.0	2.5		5.0	9.5	V. H.B. B.			—	—					
15.0	7.25	-5.0				10.0	N.S. N.S.	27.5	0					
—	—		-5.0	5.0	N.S. N.S.			—	—					
27.5	0	-5.0				11.9	V. B.	—	—					
—	—		0	6.9	B. B. V. V.			17.5	0					
25.0	2.5	5.0				9.5	V. H.B. B.	—	—					
—	—		15.0	10.7	B. B. V. V.A. V. V.A.			27.5	0					
25.0	2.5	-5.0				10.0	N.S. N.S.	—	—					
15.0	7.25		-5.0	11.9	V. B.			—	—					
—	—	0				6.9	B. B. V. V.	17.5	0					
27.5	0		5.0	9.5	V. H.B. B.			—	—					
—	—	15.0				10.7	B. B. V. V.A. V. V.A.	27.5	0					
25.0	2.5		-5.0	10.0	N.S. N.S.			—	—					
15.0	7.25	-5.0				11.9	V. B.	—	—					
—	—		0	6.9	B. B. V. V.			17.5	0					
27.5	0	5.0				9.5	V. H.B. B.	—	—					
—	—		15.0	10.7	B. B. V. V.A. V. V.A.			27.5	0					
25.0	2.5	-5.0				10.0	N.S. N.S.	—	—					
15.0	7.25		-5.0	11.9	V. B.			—	—					
—	—	0				6.9	B. B. V. V.	17.5	0					
27.5	0		5.0	9.5	V. H.B. B.			—	—					
—	—	15.0				10.7	B. B. V. V.A. V. V.A.	27.5	0					

Type of Sea Wall: V. Vertical
 N. S. Natural Slope
 B. Block Mounted
 H. B. Half Block Mounted
 V. A. Vertical Absorbing

各種消波工による越波流量の減少効果

表-5 本論文で用いた他の実験結果

発表文献	実験の内容
合田・岸良・神山 不規則波による防 波護岸の越波流量 に関する実験的研 究 港湾技術研究所報 告 14 巻 4 号 1975 年 12 月	護岸：直立とブロック積み消波 海底勾配：1/10, 1/30 波形勾配：0.012, 0.017, 0.036 護岸設置位置，護岸天端高を変化 させ越波流量算定図を作成 ケース：直立護岸 205 消波護岸 123
合田・岸良 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 年 9 月	海底勾配：1/10, 1/30 波形勾配：0.036 ケース：直立護岸 17 斜・階段護岸 9 離岸堤+直立護岸 15 直立消波護岸 30
第一港湾建設局 越波量模型実験報 告書 昭和 54 年 12 月	海底勾配：1/30 波形勾配：0.036 汀線近傍の護岸の越波流量測定 ケース：自然斜面 7 直立護岸 6 階段護岸 6 離岸堤+自然斜面 24 離岸堤+直立護岸 56
第一港湾建設局 越波量模型実験報 告書 昭和 56 年 3 月	海底勾配：1/30 波形勾配：0.036 汀線近傍の護岸の越波流量測定 ケース：階段護岸 108 斜護岸 27 直立護岸 8 ブロック積み消波護岸 20
第一港湾建設局 越波量模型実験報 告書 昭和 57 年 3 月	海底勾配：1/30 波形勾配：0.036 汀線近傍の階段護岸と離岸堤の組 みあわせ ケース： 45

条件においてそれぞれ 6 枚の算定図を提示している。各算定図では、パラメータとして無次元護岸天端高 h_0/H_0 を用いて、無次元護岸設置水深 h/H_0 を横軸に、無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を縦軸にとり、 h_0/H_0 および h/H_0 が与えられると $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が求まるようになっている。この算定図は表-6 に示されているような精度が確認されており、便利な図面ではあるが、越波流量を算定し護岸の所要天端高を決定する上で、以下に述べる問題点が残されている。

表-6 合田による越波流量算定精度

$q/\sqrt{2gH_0^3}$	Type of Seawall	
	Vertical	Block Mounted
10^{-2}	$\times 0.7 \sim 1.5$	$\times 0.5 \sim 2$
10^{-3}	0.4~2	0.2 ~ 3
10^{-4}	0.2~3	0.1 ~ 5
10^{-5}	0.1~5	0.05~10

第一の問題点としては、上述の海底勾配および波形勾配別に図面が作成されているため、図にない海底勾配および波形勾配の場合には、内挿または外挿しなければ所要の越波流量が求まらないことである。越波流量は、海底勾配の変化や波形勾配の変化によってオーダー的にも異なる場合があるので、内挿または外挿によると、算定値がなかなか決めにくい場合がある。

第二の問題点としては、許容越波流量を設定して所要天端高を算定することが容易でないことである。この図では、護岸の無次元天端高 h_0/H_0 をパラメータとして、0.5 から 2.0 まで 0.25 きざみに与えている。したがって、内挿または外挿によって h_0/H_0 を縦軸の無次元越波流量と横軸の無次元護岸設置水深から求めなければならない。この場合の内挿や外挿も、算定値を決めにくくなる。

以上の問題を解決するためには、護岸設置位置における波浪条件と無次元天端高 h_0/H_0 が定まれば、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が定まるようになっている必要がある。そこで、本章では、護岸設置位置における波浪の領域別特性を考慮した上で、合田の算定図を近似する式を求め、上記の問題を解決するようにする。

3.2 波の変形における領域区分

越波流量の特性を検討するにあたっては、護岸に來襲する波の性質を考慮する必要がある。図-7 は、波の浅水変形における定性的な領域区分を示したものである。水深が十分深い区間は波高は一定であるが、しだいに水深が浅くなるにつれて波高は増大する。これは、波により輸送されるエネルギーの輸送速度（群速度）が徐々に遅くなるためにおこる現象で、Shoaling と呼ばれている。

ある程度以下の水深になると波は碎波する。この碎波点よりも水深が深い領域を Shoaling 領域、碎波帯内の領域を Breaking 領域と呼ぶことにする。この 2 つの領域に関しては、合田¹⁰⁾が不規則波の波高変化と平均水位

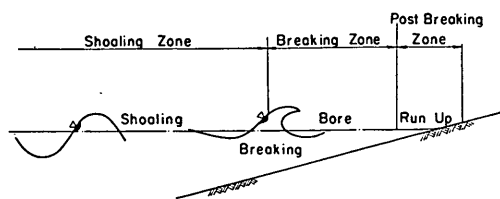


図-7 波の変形における領域

上昇量を算定する手法を提示している。

波が汀線付近まで到達すると、波というよりは流れに近い状態になる。この領域をここでは、Post Breaking 領域と呼ぶことにするが、Post Breaking 領域においては、有義波高、平均水位の上昇量といった波に関する諸元を求めることは困難になる。Breaking 領域と Post Breaking 領域の境界に関しては、明確な基準はまだ確立されていないが、ここでは、波のはいり高さに等しい水深と仮定し、以下のように考察した。

Hunt¹⁷⁾ によると、斜面上の波のはいり高さは

$$R/H_0 \approx i \sqrt{H_0/L_0} \quad (3)$$

として示される。ここで、 R は波のはいり高さ、 H_0 は換算沖波波高、 L_0 は沖波波長、 i は海底勾配である。Hunt の原論文では、feet·s 単位として H_0/L_0 のかわりに H_0/T_0^2 というパラメータを用いているので、右辺には 2.3 という係数があるが、これを H_0/L_0 として無次元化すると右辺の係数は約 1.0 となる。

式 (3) の制約条件として

$$i < 2.3 \sqrt{H_0/L_0} \quad (4)$$

を Hunt は示しているが、式 (4) によると $H_0/L_0 = 0.01$ のとき $i < 1/4$ ならば制約条件を満たすことになるので、通常自然斜面上の波に関しては、式 (1) は適用可能である。

表-7 は、細井ら¹⁸⁾ によって発表されている規則波の

斜面上の波のはいり高さに関する実験値と、式 (3) を比較したものである。表中の i_1 は水面下の海底勾配、 i_2 は水面上の海底勾配を意味している。Hunt によると、汀線付近で勾配が変化する場合、 i としては勾配の平均値を用いればよいとされているので、実験値もそのように整理した。表-7 では実験値と計算値はよく一致しており、式 (3) の妥当性を示している。

Post Breaking 領域とは、汀線付近で波というよりは流れに近い状況になる領域である。Post Breaking 領域とみなされる範囲は、波の遡上高さに関係があると思われる。Breaking 領域と Post Breaking 領域との境界としては、まだ明確な定義がないため、ここでは、波の遡上高さに等しい水深を、Breaking 領域と Post Breaking 領域の境界と考え、直立護岸の越波流量算定式を求めたことにした。

3.3 Post Breaking 領域における越波流量算定式

(1) 汀線に護岸がある場合の越波流量

図-8 は、合田による越波流量算定図の、 $h/H_0 = 0$ となる汀線に護岸があるときの、越波流量算定値を再整理したものである。汀線に護岸があるときの無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は、波の条件を決定する海底勾配 i と

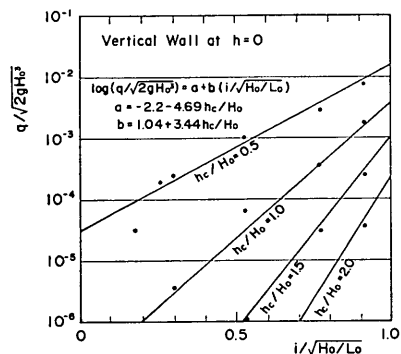


図-8 汀線上の直立護岸の越波流量

表-7 波のはいり実験結果 (細井らの実験)

$i_1 = 1/10$		i_2	1/30	1/10	1/5	1/2.5
H_0/L_0		$(i_1 + i_2)/2$	1/15	1/10	1/6.67	1/4
0.02	R	Calculation	4.7	7.1	10.6	17.7
	(cm)	Experiment	3.9	6.9	10.3	14.0
0.06	R	Calculation	2.7	4.1	6.1	10.2
	(cm)	Experiment	2.5	3.8	5.6	8.1

各種消波工による越波流量の減少効果

沖波波形勾配 H_0/L_0 , および 護岸天端高 h_0/H_0 によって決まることになる。図-8 においては、汀線上における波の条件は、波のはいり高さを決定するパラメータである $i/\sqrt{H_0/L_0}$ によって決まると仮定し、海底勾配と沖波波形勾配を1つの無次元量 $i/\sqrt{H_0/L_0}$ によって代表させて整理をおこなった。

横軸には、 $i/\sqrt{H_0/L_0}$ を示しているが、この図において $i/\sqrt{H_0/L_0}=0.91, 0.77, 0.53$ は、合田の図における海底勾配が 1/10 で沖波波形勾配が 0.012, 0.017, 0.036 にそれぞれ対応し、 $i/\sqrt{H_0/L_0}=0.3, 0.26, 0.18$ は、海底勾配が 1/30 で沖波波形勾配が 0.012, 0.017, 0.036 にそれぞれ対応している。縦軸には無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ をとり、 $h_0/H_0=0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ のそれぞれの場合に関して、合田の算定図を読み取り図中にプロットしている。

図-8 から、各 h_0/H_0 に関して、 $i/\sqrt{H_0/L_0}$ と無次元越波流量の対数値である $\log(q/\sqrt{2gH_0^3})$ は、ほぼ直線的な関係にあることがわかる。すなわち、次式 (5) のようにあらわすことができる。

$$\log(q/\sqrt{2gH_0^3}) = a + bi/\sqrt{H_0/L_0} \quad (5)$$

ここに、 a, b は h_0/H_0 によって変化する値である。ここでさらに、 a, b を h_0/H_0 の一次式であらわされる関数として仮定し、最小自乗法で関数式を求めると、

$$\left. \begin{aligned} a &= -2.2 - 4.69 h_0/H_0 \\ b &= 1.04 + 3.44 h_0/H_0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

となった。式 (5) と式 (6) から汀線上の越波流量を算定することができる。図-8 中に示した直線は、式 (3) と式 (4) から求めた $h_0/H_0=0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ それぞれに関する算定値であるが、合田による算定図とよく一致していることがわかる。

(2) 汀線より陸側に護岸があるとき

図-9 は、合田による算定図から等越波流量線を求めた一例であり、 $i=1/10, H_0/L_0=0.012$ の場合に、直立護岸の無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が 1.0×10^{-3} および 5.0×10^{-3} となる場合の天端高を示している。これからわかるように、等越波流量線は陸に近づくほど低くなり、汀線付近を境界として、その傾きが大きく変化している。このことを考慮した上で、汀線より陸側に護岸がある場合の直立護岸の越波流量を以下のように算定する。

図-10 は、汀線よりも陸側に護岸がある場合の直立護岸の越波流量算定法の概念図を示したものである。図-9

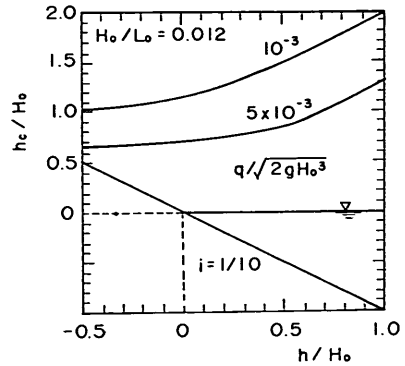


図-9 等越波流量線

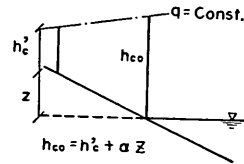


図-10 斜面換算係数 α の定義

からわかるように、等越波流量線は、汀線より陸側では直線として近似することができる。そこで、等越波流量線に沿って、汀線より陸側にある護岸の天端高を、汀線上の護岸の天端高に換算すれば、式 (5), (6) を用いて越波流量を求めることができる。前浜による護岸直立部の高さの低減量 ($h_{c0} - h_c'$) と前浜の高さが z 比例すると仮定し、その比例係数を α とすると、

$$h_{c0} = h_c' + \alpha z \quad (7)$$

となる。

図-11 は、合田の算定図から α を求めたものであり、 $i=1/10, 1/30, H_0/L_0=0.012, 0.017, 0.036$ の各図より、 $h/H_0=-0.5$ と 0.0 のところで越波流量が等しくなる天端高を読み取ることによって得られたものである。この図から、 α の値は、1.0 より多少大きめであ

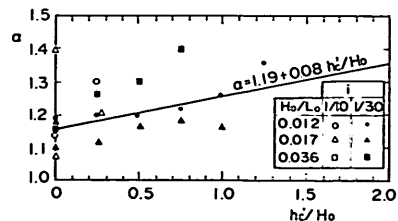


図-11 α と h_0'/H_0

り、護岸天端高の中の直立部分である h_0'/H_0 に弱い相関があることがわかる。 α が 1.0 より大きいということは、斜面の影響によって、汀線より陸側にある護岸の所要天端高は、汀線上の護岸の所要天端高より低く見積ることができることを意味している。最少自乗法によって回帰直線を求めると、図中に示すように

$$\alpha = 1.19 + 0.08 h_0'/H_0 \quad (8)$$

となった。

(3) 汀線より沖側に護岸があるとき

汀線より沖側に護岸があるときは、式 (5), (6) によって求める越波流量と、3.4 で述べる手法で求める $h/H_0 = i/\sqrt{H_0/L_0}$ における越波流量とを、 h/H_0 の値に応じて対数的に比例配分して求めることとした。すなわち、

$$\log(q/\sqrt{2gH_0^3}) = q_0 + (q_B - q_0)(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) \quad (9)$$

ここに、 q_0 は、式 (5), (6) から求まる汀線上の無次元越波流量の常用対数値であり、 q_B は 3.4 で示す方法によって求まる、Post Breaking 領域と Breaking 領域の境界水深である $h/H_0 = i/\sqrt{H_0/L_0}$ における越波流量の常用対数値である。

3.4 Breaking 領域における越波流量算定式

(1) パラメータの整理

Breaking 領域においては、Post Breaking 領域とは異なり護岸に襲撃する波の波高、平均水位上昇量、周期などといった諸元を求めることが可能である。Breaking 領域における有義波高、平均水位上昇量の算定法は、合田¹⁰⁾によってすでに求められている。図-12 は、襲撃する波の諸元をもとに、合田による直立護岸の越波流量算定図を整理しなおしたものである。

横軸には、護岸の天端高 h_0 から護岸に襲撃する波による平均水位上昇量 η を減じた実質天端高 $(h_0 - \eta)$ を換算沖波有義波高 H_0 で除した値を示した。パラメータとしては、護岸設置位置における通過波の有義波高 H_s を H_0 で除した値をとり、縦軸に示される無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ との関係求めた。合田による越波流量算定図は、海底勾配と波形勾配別に作成されているが、図-12 においては、波形勾配の異なるもののみ別の記号でプロットし、海底勾配によっては記号を変えなかった。

図-12 から、 H_s/H_0 が一定であれば $(h_0 - \eta)/H_0$ の増加によって $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が減少すること、および、 $(h_0 - \eta)/H_0$ が一定であれば H_s/H_0 が大きいほど $q/\sqrt{2gH_0^3}$

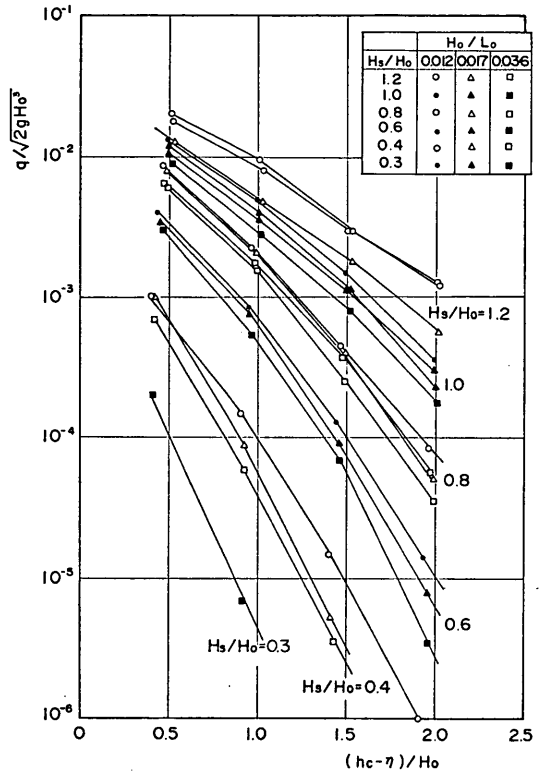


図-12 Breaking 領域における越波流量特性

が大きくなっていることがわかる。そして、 H_s/H_0 と $(h_0 - \eta)/H_0$ が決まれば、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ はほぼ一定の値になっている。すなわち、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は、 H_s/H_0 と $(h_0 - \eta)/H_0$ によってほぼ決定される。しかし、若干、波形勾配の修正を要するようである。これは、同一の実質天端高の護岸に同一の有義波高を持つ波が襲撃しても、周期の長い波の方が若干越波流量が大きくなることを意味している。

(2) 算定式の作成

図-12 から以下のようにして算定式を導いた。

a) 図-12 において同じ値をとる H_s/H_0 ごとに直線で結び、横軸の $(h_0 - \eta)/H_0$ が 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 と交わる点の縦軸の値を求めた。

b) $(h_0 - \eta)/H_0$ が 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 となるとそれぞれの値に関して、次式 (10) の形を仮定して、最少自乗法によって a, b を定めた。

$$\log(q/\sqrt{2gH_0^3}) = a(H_s/H_0)^b \quad (10)$$

この結果、表-8 のように定数 a, b が定まった。

各種消波工による越波流量の減少効果

表-8 Breaking 領域における a, b の値

$\log(q/\sqrt{2gH_0^3})=a(H_s/H_0)^b$				
$(h_c-\eta)/H_0$	0.5	1.0	1.5	2.0
a	-1.96	-2.45	-3.0	-3.62
b	-0.55	-0.65	-0.65	-0.75

c) 表-8 で求めた a, b は $(h_c-\eta)/H_0$ に対してほぼ直線関係にあるため、 $(h_c-\eta)/H_0$ の一次式と仮定し、最小自乗法で近似した。この結果

$$a = -1.38 - 1.11(h_c-\eta)/H_0 \quad (11)$$

$$b = -0.48 - 0.13(h_c-\eta)/H_0 \quad (12)$$

となった。

式 (10), (11), (12) を用いて Breaking 領域における直立護岸の越波流量が算定できるけれども、3.4 (1) で述べたように越波流量は波形勾配によって少し変化するので、波形勾配による補正をおこなう。波形勾配の補正は、 H_s/H_0 に関しておこなった。すなわち、図-12 でプロットされた各点の縦軸と横軸の値に関して、式 (10), (11), (12) を用いて収束計算をおこない計算によって求まる H_s/H_0 を求め、この値と各点の H_s/H_0 の値の比を γ と定義する。図-13 は、横軸に H_0/L_0 をとり、図-12 中の各点に関して求めた γ の値をプロットしたものである。図-13 から、 H_0/L_0 が小さいほど、 H_s/H_0 に大きい割り増し係数 γ を乗ずる必要があることがわかる。 γ を H_0/L_0 の指数関数と仮定し、その係数を最小自乗法によって求めると、

$$\gamma = 0.71(H_0/L_0)^{-0.09} \quad (13)$$

となった。すなわち、式 (10), (11), (12) を用いて Breaking 領域における越波流量を求める場合には、 $H_s/$

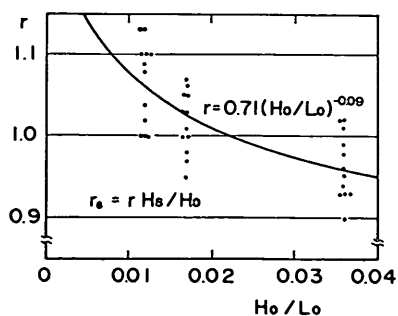


図-13 H_s/H_0 の H_0/L_0 による補正

H_0 のかわりに次式 (14) で与えられる γ_s を用いればよい。

$$\gamma_s = \gamma H_s/H_0 = 0.71(H_s/H_0)(H_0/L_0)^{-0.09} \quad (14)$$

(3) 極限値の考慮

合田²⁰⁾によると、天端高が 0 の場合の規則波の極限越波流量は

$$q = 0.09 \sqrt{2g} H^{\bar{5}} \quad (15)$$

となる。これを用いて、不規則波の極限越波流量、すなわち、 $(h_c-\eta)/H_0=0$ となる場合の極限越波流量は、以下のように計算できる。

$$\begin{aligned} q &= 0.09 \sqrt{2g} \int_0^{\infty} H^{1.5} P(H) dH \\ &= 0.09 \sqrt{2g} H_0^{\bar{3}} (H_s/H_0)^{1.5} (\bar{H}/H_s)^{1.5} \\ &\quad \cdot \int_0^{\infty} (H/\bar{H})^{1.5} P(H) dH \end{aligned} \quad (16)$$

ここに、 H_s は護岸設置位置における有義波高、 \bar{H} は平均波高、 $P(H)$ は波高 H の波が出現する確率関数であり、

$$\int_0^{\infty} P(H) dH = 1.0 \quad (17)$$

となる。ここで、 $x = H/\bar{H}$ として無次元化すると、無次元化された確率関数 $p(x)$ は

$$p(x) = P(H/\bar{H})/\bar{H}, \quad \int_0^{\infty} x p(x) dx = 1.0 \quad (18)$$

となる。式 (18) を式 (16) に代入すると

$$\begin{aligned} q &= 0.09 \sqrt{2g} H_0^{\bar{3}} (H_s/H_0)^{1.5} (\bar{H}/H_s)^{1.5} \\ &\quad \cdot \int_0^{\infty} x^{1.5} p(x) dx = 1.1 \end{aligned} \quad (19)$$

となる。波高分布にレーリー分布を仮定すると、

$$\bar{H}/H_s = 0.625, \quad \int_0^{\infty} x^{1.5} p(x) dx = 1.1 \quad (20)$$

となるので、

$$q = 0.049 \sqrt{2g} H_0^{\bar{3}} (H_s/H_0)^{1.5} \quad (21)$$

となる。砕波後の波の波高分布は、合田²¹⁾による砕波変形の理論によって求めることができる。この波高分布を用いて、Breaking 領域の極限値を求めると

$$q = (0.049 \sim 0.057) \sqrt{2g} H_0^{\bar{3}} (H_s/H_0)^{1.5} \quad (22)$$

となり、係数はあまり大きくは変化しない。そこで、ここでは、ほぼ中間的な値をとり、 $(h_c-\eta)/H_0=0$ における越波流量は

$$q/\sqrt{2g} H_0^{\bar{3}} = 0.053 (H_s/H_0)^{1.5} \quad (23)$$

と定めた。 $(h_c-\eta)/H_0=0 \sim 0.5$ の間は、式 (10), (11), (12) によって求まる $(h_c-\eta)/H_0=0.5$ における $q/\sqrt{2g} H_0^{\bar{3}}$ と、式 (23) によって求まる $q/\sqrt{2g} H_0^{\bar{3}}$ の値

を, $(h_0 - \eta)/H_0$ に関して対数的に比例配分した $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の間を算定値とした。

すなわち

$$\begin{aligned} \log(q/\sqrt{2gH_0^3}) &= \log(0.053\gamma_s^{1.5}) \\ &\quad - 2(h_0 - \eta)/H_0(1.953\gamma_s^{-0.545}) \\ &\quad + \log(0.053\gamma_s^{1.5}) \end{aligned} \quad (24)$$

となる。

3.5 Shoaling 領域における越波流量算定式

砕波前の Shoaling 領域に関しては, 3.4 でおこなったような越波流量と実質天端高あるいは H_s/H_0 との関係の導くことができなかつた。しかし, Soaling 領域は砕波前なので, 護岸に来襲する波の諸元は海底勾配には関係せず水深のみによって定まる。そこで, 無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は, 沖波波形勾配 H_0/L_0 , 護岸設置水深 h/H_0 , 護岸天端高 hc/H_0 によって決定される。

図-14 は, Shoaling 領域における合田の算定図を一枚の図にプロットしたものである。横軸に h/H_0 をとり, パラメータとして, H_0/L_0 と hc/H_0 を用いている。図-14 から, これらのプロットされた点は 2本の直線で近似することができることがわかる。十分に水深が深いところでは, 波形勾配, 護岸設置水深にかかわらず, 護岸に来襲する波高は一定である。ある水深より浅くなると, 水深の減少とともに波形勾配別に波高は増大する。図-14 から読みとれる傾向は, このような現象によく対応している。

図-14 中に示した直線は, プロットされた点を最小自乗法で直線近似した次式 (25) である。

$$\log(q/\sqrt{2gH_0^3}) = \text{Max}(q_2, q_3) \quad (25)$$

ここに,

$$\begin{aligned} q_2 &= a \log(h/H_0) + b \\ a &= -0.94 - 2.2hc/H_0 + 32H_0/L_0 \\ b &= -0.65 - 0.2hc/H_0 - 34H_0/L_0 \\ q_3 &= -1.17 - 2.43hc/H_0 \end{aligned}$$

3.6 算定プログラムのフロー

図-15 は, ここで提案した直立護岸の越波流量算定法をまとめたものであり, hc/H_0 が一定となる場合の, 水深と越波流量の関係を示したものである。

汀線上の越波流量は式 (5) および (6) で求めることができ, 汀線より陸側に護岸があるときは, 式 (7) および (8) によって換算天端高係数を求めることができる。さらに Breaking 領域における越波流量 q_1 は式 (10), (11), (12) および (14) から求めることができる。護岸

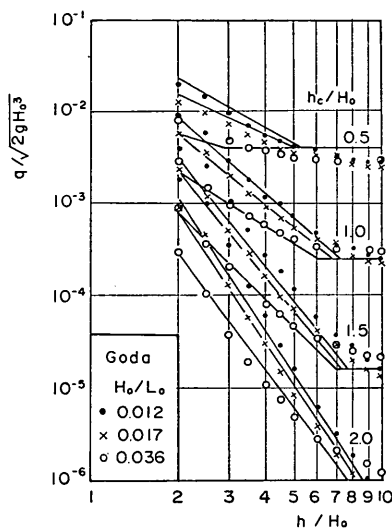


図-14 Shoaling 領域における近似式

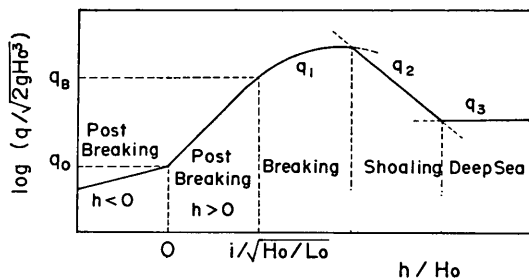


図-15 越波流量算定近似式のモデル

設置水深が $0 < h/H_0 < i/\sqrt{H_0/L_0}$ となる Post Breaking 領域に護岸がある場合, $h=0$ における越波流量 q_0 と, $h=i/\sqrt{H_0/L_0}$ における越波流量 q_B を, h/H_0 に応じて比例配分して求める。Shoaling 領域における越波流量 q_2, q_3 は, 式 (25) で求まる。Breaking 領域と Shoaling 領域の境界は, 算定式の連続性を考えて決めた。すなわち, $h/H_0 > i/\sqrt{H_0/L_0}$ では

$$q = \text{Min}(q_1, \text{Max}(q_2, q_3)) \quad (26)$$

とする。図-16 は, 越波流量算定法をまとめたものである。方法は多少複雑ではあるが, 電子計算機を用いて容易に解くことができる。所要天端高を求める場合には, 越波流量を与えて, 収束計算をおこなえばよい。

3.7 算定式の精度

(1) 合田の算定図による検討

図-17 は, 図-16 のフローで示された算定式によって

各種消波工による越波流量の減少効果

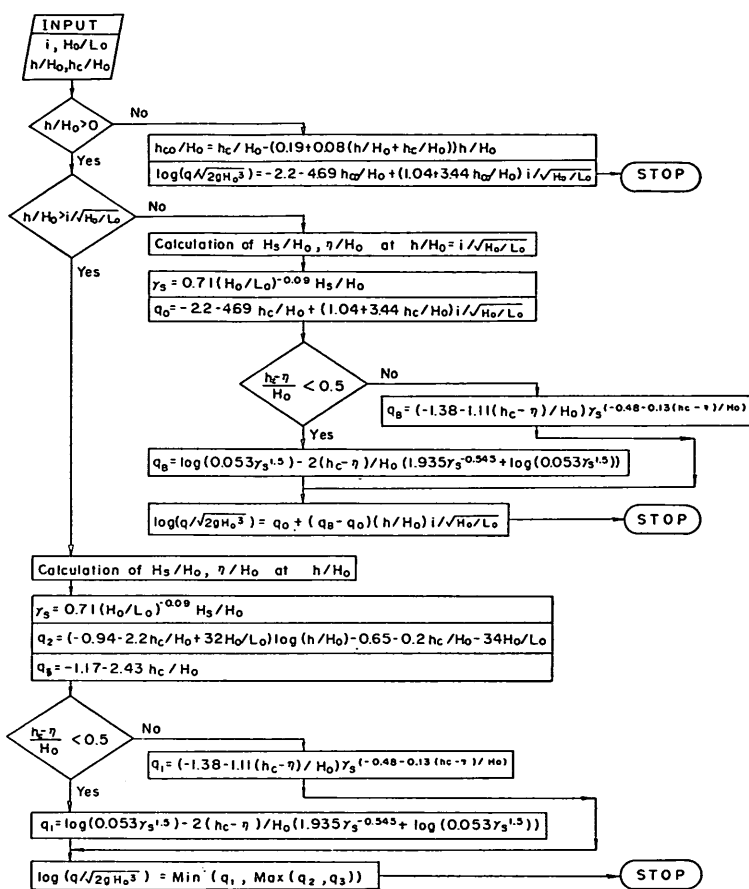


図-16 直立護岸の越波流量算定フロー

求められた越波流量を、合田による算定図と比較したものであり、合田による算定図の上に、算定式によって求められた越波流量を点線で重ねたものである。図面は、

海底勾配 $i=1/10$ と $1/30$ 、沖波波形勾配 $H_0/L_0=0.012$ 、 0.017 および 0.036 のそれぞれ6種類を作成した。各図面とも、両者は比較的良好に一致している。合田に

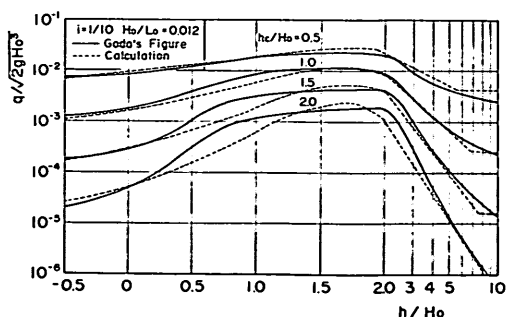


図-17 (1) 合田の算定図と計算値の比較
 $i=1/10$, $H_0/L_0=0.012$

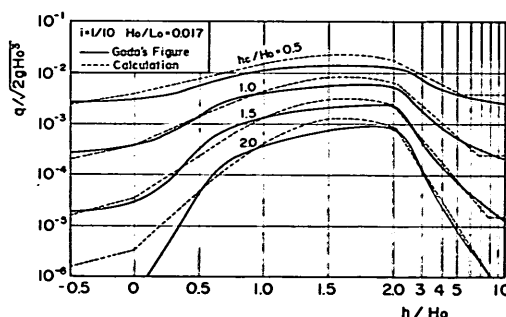


図-17 (2) 合田の算定図と計算値の比較
 $i=1/10$, $H_0/L_0=0.017$

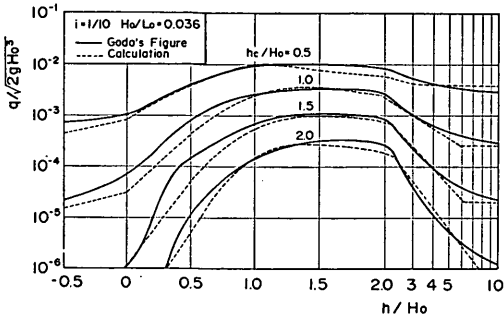


図-17 (3) 合田の算定図と計算値の比較
 $i=1/10, H_0/L_0=0.036$

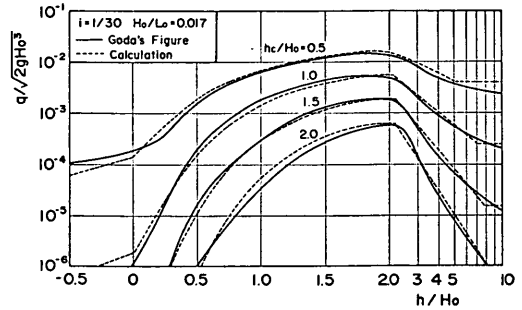


図-17 (5) 合田の算定図と計算値の比較
 $i=1/30, H_0/L_0=0.017$

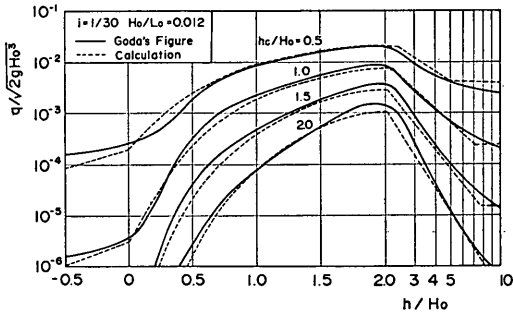


図-17 (4) 合田の算定図と計算値の比較
 $i=1/30, H_0/L_0=0.012$

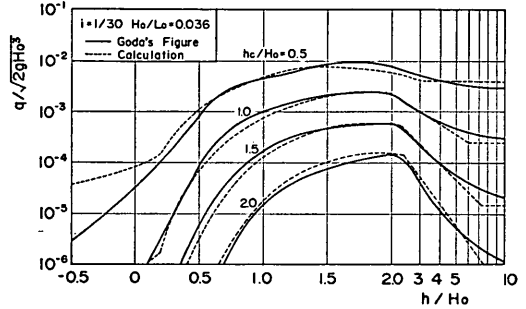


図-17 (6) 合田の算定図と計算値の比較
 $i=1/30, H_0/L_0=0.036$

よる算定図自体の精度は前述した表-6 のように得られているので、これを考えあわせると、本算定法は測定誤差の範囲内におさまっている。

(2) 実験値との比較による検討

図-18 は、算定式によって求められた越波流量と実験値を比較したものであり、図-18 (1) は合田による実験値、図-18 (2) は第一港湾建設局による実験値、図-18 (3) は著者らによる実験値を示したものである。横軸には、実験条件より算定される無次元越波流量を示し、縦軸には実験によって求められた無次元越波流量を示している。図中の中央の直線は、両者の値が等しくなる直線であり、その両側に示される直線は、表-6 で前述した合田による算定精度の範囲を示している。

図-18 (1) では、両者は算定精度の範囲内でよく一致していることがわかる。これは、合田による算定図は合田の実験値から導かれたことから考えあわせると、当然予想されることである。ただ、沖波波高が 10cm, 5cm と比較的小さい場合には、若干ばらつきが大きくなるよ

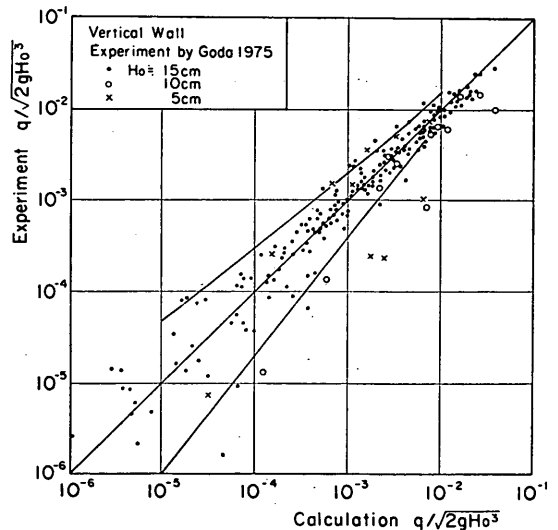


図-18 (1) 直立護岸越波流量の実験値と計算値の比較 (合田の実験)

各種消波工による越波流量の減少効果

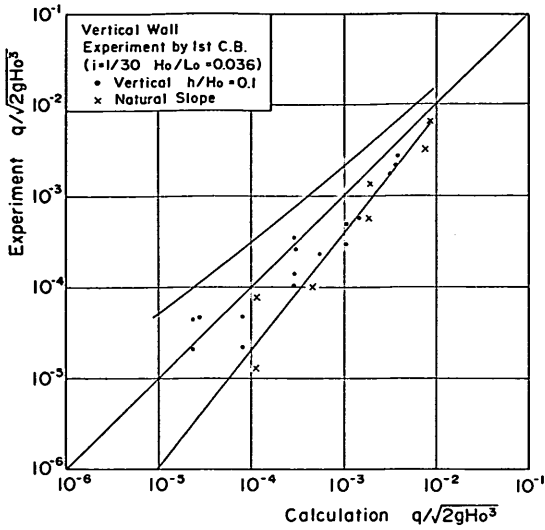


図-18 (2) 直立護岸越波流量の実験値と計算値の比較 (一建の実験)

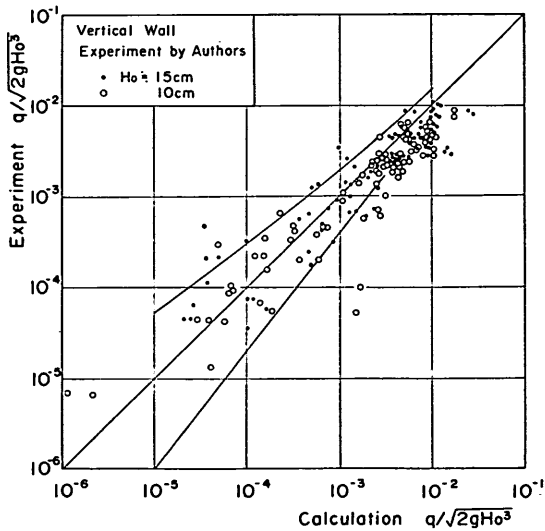


図-18 (3) 直立護岸越波流量の実験値と計算値の比較 (著者らの実験)

うである。これは、沖波波高が小さくなると採水される水の量が少なくなるため、実験精度が低下することも一因であると考えられる。

図-18 (2) においても、若干実験値の方が小さめの値を示してはいるが、両者は、表-6 に示された算定精度の範囲で一致している。図中の黒丸は、汀線上 ($h=0$)

に直立護岸がある場合である。表-2 で前述したサーフピートの影響を考慮して、汀線上に直立護岸がある場合の実験値は、 $h/H_0=0.1$ として解析した。図中の ×印は、自然斜面上の越波実験値、すなわち護岸の直立部分がなく、 $h=-h_0$ となる場合の実験値を意味している。

図-18 (3) においても、両者はほぼ表-6 の範囲で一致していると考えられる。ここでも、図-18 (1) と同様に、 $H_0=10\text{ cm}$ と比較的沖波波高が小さい場合にはバラツキが大きくなっているようである。越波流量の比較の大きいところで、算定値にくらべて実験値が若干小さめの値を示したが、この原因は解明できなかった。

図-19 は、算定値の幅を所要天端高に換算したものである。すなわち、図-16 の算定式で収束計算することによって、海底勾配 i 、沖波波形勾配 H_0/L_0 、護岸設置水深 h/H_0 と、実験より得られた無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から得られた所要天端高を横軸にとり、縦軸には実験時の天端高をとって両者を比較したものである。表-6 の越波流量算定幅は、所要天端高にすると $\pm 20\%$ 程度であるとされている²²⁾が、図-19 でこのことが確認された。

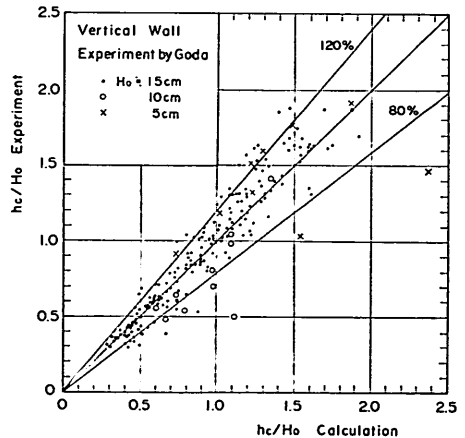


図-19 直立護岸所要天端高の実験値と計算値の比較

4. 消波護岸の越波流量算定法

4.1 ブロック積み消波護岸

(1) 合田による算定図から求めた換算天端高係数

図-20 は、合田による越波流量算定図を、直立護岸とブロック積み消波護岸について重ねあわせ両者を比較したものである。比較は、 $i=1/10$ と $1/30$ 、 $H_0/L_0=0.012$ 、 0.017 、 0.036 の各図面それぞれについて、 $h_0/H_0=0.5$ 、

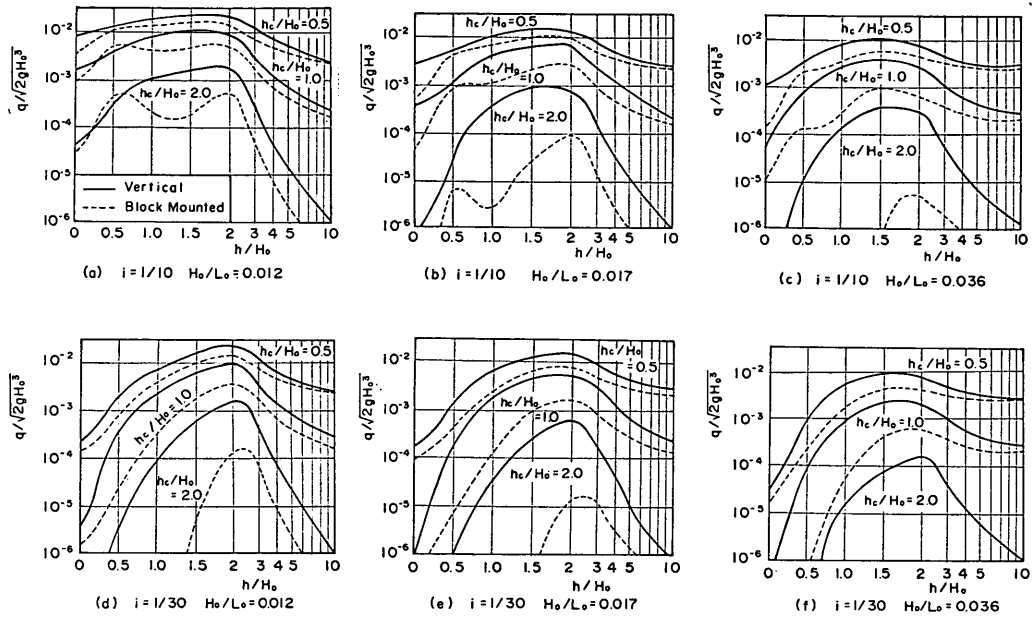


図-20 合田による直立護岸とブロック積み護岸の算定図比較

1.0, 2.0 の各曲線に関しておこなっている。

護岸を直立からブロック積み消波にすることによって、多くの場合越波流量は減少するが、その減少の程度は、各算定図によってあるいは h/H_0 によって異なっている。特に、 $i=1/10$, $H_0/L_0=0.012$ の図では $h/H_0=0.2\sim 0.7$ 付近でブロック積み消波にすることによって、越波流量がむしろ増大していることに注意を要する。この図は、波のはい上り高さを示すパラメータである $i\sqrt{H_0/L_0}$ が 0.91 ともっとも大きい場合であり、波というよりは流れに近い状態となる Post Breaking 領域が最も深くまで及んでいるケースに対応する。 $i\sqrt{H_0/L_0}$ が大きいことは、波の遡上高が高いことであり、流れとしての流速が速く、それだけブロックによって形成された斜面を遡上する流量が大きくなって、越波量が増大するものと考えられる。

$i\sqrt{H_0/L_0}$ の値がこれより小さいほかの図には、ブロック積み消波護岸の越波流量が直立護岸より大きくなっている場合はないが、やはり汀線近くの Post Breaking 領域では、両者の差は、それより深い Breaking 領域に比べて小さくなっている。一方、Breaking 領域よりさらに水深の大きい碎波前の Shoaling 領域では、Breaking 領域より両者の越波流量の差は小さくなっており、 $h/H_0=10$ では、各図とも両者の値はほぼ一致し、ブロック

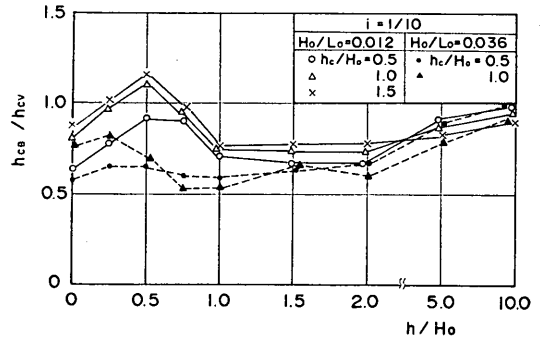


図-21 (1) ブロック積みの護岸の低末端効果 ($i=1/10$)

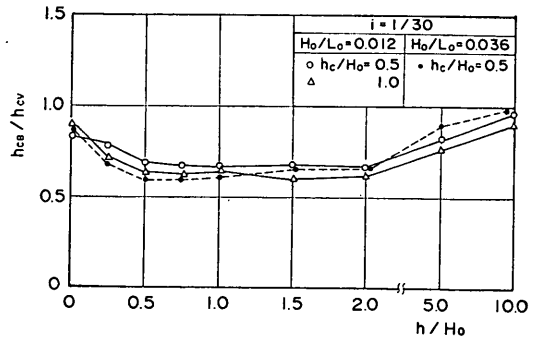


図-21 (2) ブロック積みの護岸の低末端効果 ($i=1/30$)

各種消波工による越波流量の減少効果

積み消波の効果があられなくなる。

すなわち、越波流量の減少という観点からブロック積み消波護岸の効果を見ると、Breaking 領域でもっとも効果が大きく、Post Breaking および Shoaling 領域では効果が小さく、特に Post Breaking 領域では斜面上の波の遡上によって逆効果になることもあることがわかる。

図-21 は、図-20 をもとに、直立護岸とブロック積み消波護岸の越波流量の差を天端高に換算したものである。横軸には護岸の設置水深を示し、縦軸には越波流量が等しくなる時の両護岸の所要天端高の比を示した。図-21 (1) は海底勾配が 1/10、図-21 (2) は 1/30 の場合であり、それぞれ沖波波形勾配が 0.012 と 0.036 の場合に関して検討している。図中の縦軸の値は、消波護岸の天端高 $h_c/H_0=0.5, 1.0, 1.5$ と、これと等しい越波流量を持つ直立護岸の h_c/H_0 を図-20 を用いて求め、両者の比を各 h/H_0 ごとにプロットしたものである。

図-21 から、図-20 で得られた傾向をより明確に理解することができる。すなわち $h/H_0=10$ では各ケースとも直立・消波護岸の所要天端高は変わらない。Breaking 領域では、各ケースともほぼ 0.6~0.7 程度の値となり、Post Breaking 領域では再び値が大きくなる。 $h/H_0=0$ では、 $i=1/10, h_c/H_0=0.5$ の 2 点を除き、0.8~0.9 程度の値になっている。以後、ここで示された縦軸の値をブロック積み護岸の換算天端高係数 β_B として定義する。 β_B の値が小さいほど、ブロック積み消波による天端高低減効果が大きいことを意味する。

図-22 は、合田の算定図をもとに、無次元越波流量が一定となる場合の直立護岸とブロック積み消波護岸の所要天端高を比較したものである。図-22 (1) は、 $h/H_0=0$ の場合であり、直立、ブロック積み消波に関する合田の算定図において h_c/H_0 が読み取れる範囲内で $q/\sqrt{2gH_0^3} = 1.0, 2.0, 5.0 \times 10^{-n}$ (n は整数) となる越波量に関してプロットしたものである。図-22 (2) は、図-22 (1) と同様に $h/H_0 > i\sqrt{H_0/L_0}$ にかつ、 $h/H_0=0.5, 1.0, 1.5$ となるところに関してプロットしたものである。横軸には直立護岸の越波流量から図-16 を用いて計算された h_c/H_0 の値を、縦軸にはブロック積み消波護岸の越波流量から、やはり図-16 を用いて計算された h_c/H_0 の値を示している。

護岸汀線上にある場合の図-22 (1) では、同一越波流量を与えるブロック積み消波護岸と直立護岸の所要天端高の比は、平均 0.85 となっている。この比の値は、

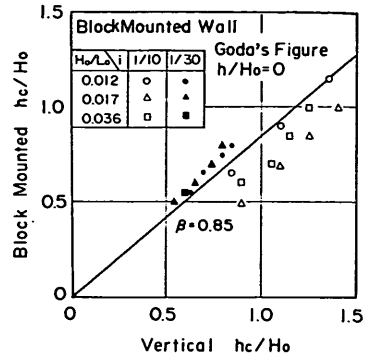


図-22 (1) ブロック積み護岸の換算天端高係数 ($h/H_0=0$)

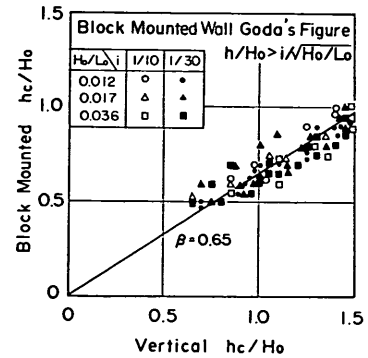


図-22 (2) ブロック積み護岸の換算天端高係数 ($h/H_0 > i\sqrt{H_0/L_0}$)

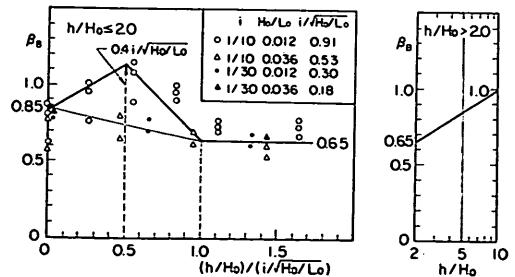


図-23 ブロック積み護岸の換算天端高係数算定法

0.56 から 1.0 の間に分布し、標準偏差が 0.12 となり平均値 0.85 のまわりにばらついている。一方、護岸が Breaking 領域に位置する図-22 (2) では、所要天端高の比は 0.56 から 0.81 の間に、平均値 0.65 を中心とし

標準偏差 0.064 でばらついている。これらのばらつきは比較的小さいので、汀線上および Breaking 領域における所要天端高の比は、それぞれ 0.85 および 0.65 とした。

図-23 左は、図-21 の横軸 h/H_0 を $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0})$ に変えて図-21 をプロットしなおしたものである。横軸の値が 1.0 より小さい領域が Post Breaking 領域になる。この図から以下のようにブロック積み消波護岸の換算天端高係数 β_B を定めた。

a) $h/H_0=0$ となる汀線上では、図-22 (1) から定めたとように $\beta_B=0.85$ とする。

b) $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) > 1.0$ となる Breaking 領域では図-22 (2) から定めたとように $\beta_B=0.65$ とする。

c) $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) = 0.5$ となる水深においては、 $i=1/10$, $H_0/L_0=0.012$, $i/\sqrt{H_0/L_0}=0.91$ の場合には $\beta_B \approx 1.1$ になっており、横軸が 0 と 1 の間を直線で結んだときの値 $\beta_B=0.75$ より 0.35 程度大きい値になっている。一方、これより $i/\sqrt{H_0/L_0}$ が小さい場合には、 β_B 値は 1.1 より小さく、0.75 に近づいている。 $i/\sqrt{H_0/L_0}$ の値が大きくなるほど前述したように波のはいり高さは高くなる。波のはいり高さが高いことは波による斜面上の遡上流量が大きいことを意味する。そのため、 $i/\sqrt{H_0/L_0}$ の値が大きい波では、消波ブロック上を大流量の波が遡上することによって越波量が増大すると考えられる。そこで、 $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) = 0.5$ における β_B は、0.75 より $i/\sqrt{H_0/L_0}$ に比例した値だけ大きくなると仮定した。そして、この比例係数を $i/\sqrt{H_0/L_0}=0.91$ の場合の $\beta_B \approx 1.1$ から、 $(1.1-0.75)/0.91 \approx 0.4$ と定めた。すなわち、 $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) = 0.5$ では $\beta_B = 0.75 + 0.4i/\sqrt{H_0/L_0}$ とした。

d) $0 < (h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) < 0.5$ および $0.5 < (h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) < 1.0$ の間の β_B は、図-23 (1) からわかるようにほぼ直線的に変化している。そこで横軸が 0 となるときの $\beta_B=0.85$, 0.5 となるときの $0.75 + 0.4i/\sqrt{H_0/L_0}$ および横軸が 1.0 となるときの 0.65 の間を、それぞれ直線として仮定した。

Shoaling 領域では、図-21 で示したように β_B は再び大きくなり、 $h/H_0=10$ ではほぼ 1.0 になる。そこで、図-23 右に示すように $h/H_0=2.0$ では $\beta_B=0.65$, $h/H_0=10$ では $\beta_B=1.0$ とし、その間の h/H_0 の対数を直線で結んだ。

図-24 は、合田によって提案されている換算天端高係数と、図-23 で求められる換算天端高係数を比較したも

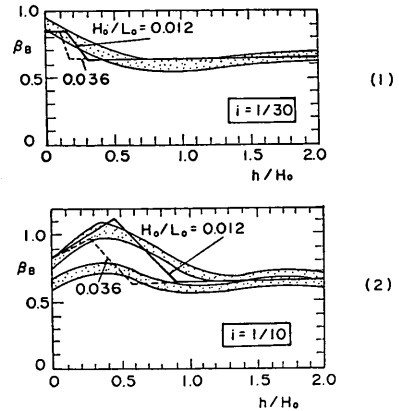


図-24 合田による換算天端高算定図との比較

のである。斑点で示される領域が合田による換算天端高係数であり、実線あるいは点線は図-23 による算定値である。 $i=1/10$, $H_0/L_0=0.036$ における汀線付近を除いて、両者はよい一致を示している。 $i=1/10$, $H_0/L_0=0.036$ の場合の合田による換算天端高係数は他の条件にくらべてかなり小さい値になっているが、この原因は明らかではない。ここでは他の条件との整合性を考え、安全側に換算天端高係数を与えることにした。

(2) 実験値による換算天端高係数の検討

ブロック積み消波護岸の換算天端高係数 β_B は、合田による算定図から図-23 のように求めたので、この β_B を実際の天端高 h/H_0 に乗ずれば、図-16 で示される算定式からブロック積み消波護岸の越波流量を求めることができる。図-25 は、第一港湾建設局および著者らによっておこなわれたブロック積み消波護岸の模型を示したものである。図-25 (1) は、著者らによる実験で用いたブロック積み消波護岸であり、護岸の設置水深に応じて、天端高やブロック積み高さを (a), (b), (c) で示すように変化させている。 $h=5\text{ cm}$ となる (b) の条件においては、碎石とテトラとをあわせて積んだ場合に加えて、碎石のみを積み一部ブロック積み消波にした場合に関する実験もおこなった。図-25 (2) は、第一港湾建設局による実験で用いたブロック積み消波護岸であり、1/50 縮尺として現地換算値でその諸元を示している。 h_0 が 1m から 6m まで変化させたケースについて、表-9 で後述するように、碎石やテトラを積み高さ h_S を変化させて越波実験をおこなっている。ここで示すような模型を用いて、図-23 と図-16 によって求まるプロ

各種消波工による越波流量の減少効果

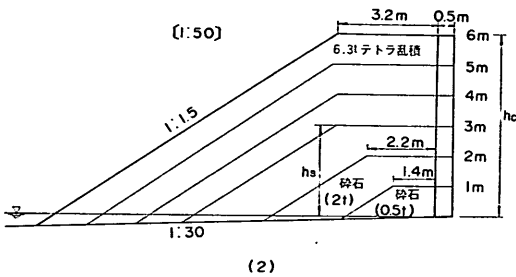
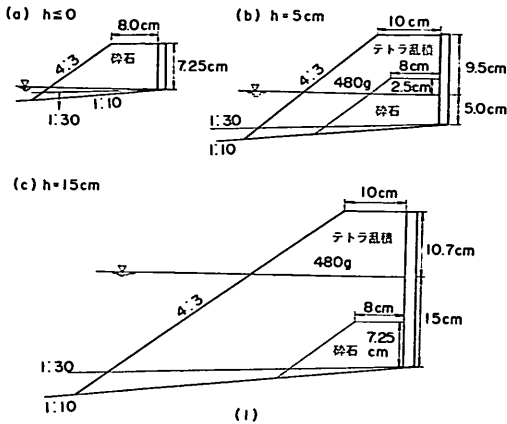


図-25 ブロック積み消波護岸の形状

ク積み消波護岸の算定精度を検討した。

図-26 は、ブロック積み消波護岸の越波流量の実験値と計算値の比較をおこなったものであり、図の表示方法は図-18 とほぼ同様である。図中の内側の線は、表-6 による直立護岸の越波流量算定精度を示し、外側の線はブロック積み消波護岸の算定精度を示している。図-26 では、合田による実験、第一港湾建設局による実験、および著者らによる実験をプロットしている。黒印が $H_0 \approx 15\text{cm}$ と比較的波高が大きいケース、白印が $H_0 \approx 10\text{cm}$ と比較的波高が小さいケースを意味している。

図-26 から、図-23 と図-16 による算定法の精度は、表-6 に示される合田によるブロック積み消波護岸の算定精度内にほぼおさまっていることがわかる。ただし、波高が比較的小さいケースの実験においては、若干、バラツキが大きくなっている。これは、図-18 でもあらわれた傾向ではあるが、沖波波高が小さい場合には採水される水の量が少なくなるため実験精度が低下することも一因となっているものと思われる。

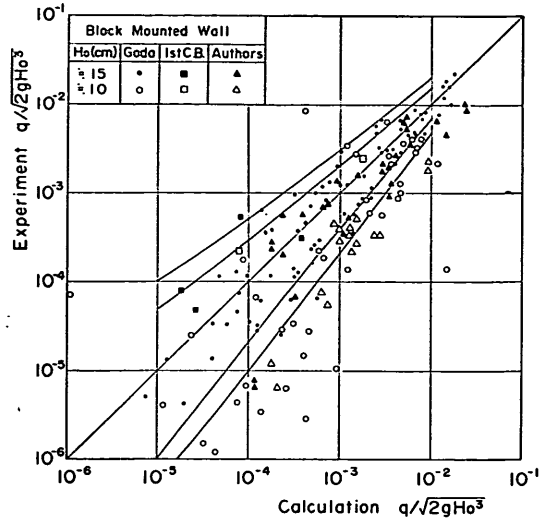


図-26 ブロック積み護岸越波流量の実験値と計算値の比較

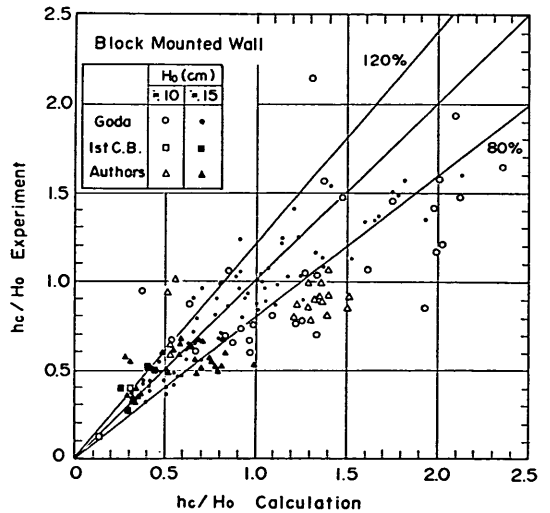


図-27 ブロック積み護岸所要天端高の実験値と計算値の比較

図-27 は、図-26 によって示される越波流量の算定精度を、所要天端高に換算したものである。図の表示方法は、図-19 とほぼ同じである。横軸の値には、実験で得られた無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を与える直立護岸の所要天端高 hc/H_0 を図-16 で示される算定式を収束計算することによって求め、その hc/H_0 に図-23 で求まる β_B で乗じた値を示している。

図-27 から、図-16 と図-23 から求まるブロック積み消波護岸の所要天端高算定誤差は、大部分の点でほぼ ±20% 程度の範囲におさまっていることがわかる。しかし、沖波波高の比較的小さい実験値に関しては、図-26 でも示されたように、ばらつきが大きくなっている。この原因の一つとしては、図-18 と同様に波高が小さいために越波流量が少なくなり実験誤差が大きくなっていることが考えられる。また、ブロックの空げきに対して波のスケールが小さくなったことによる影響があらわれていることも考えられるが、こういったスケール効果に関しては今後の検討が必要である。

図-28 は、実験的に求められた β_B と無次元越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の関係を示したものである。縦軸の β_B は、ブロック積み消波護岸の越波流量実験値から図-16 を収束計算して求まる hc/H_0 と、同条件下でおこなわれた同一天端高の直立護岸の越波流量実験値から図-16 を収束計算して求まる hc/H_0 の比として定義した。すなわち、実験的に求められた、ブロック積み消波にすることによる越波流量減少量を、図-16 を用いて所要天端高の低減率に換算したものである。第一港湾建設局による実験値と著者らによる実験値に関して β_B を求め、図-23 で示される $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0})$ の領域別にプロットをおこなった。横軸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ には、ブロックを積んだときの実験値を用いた。

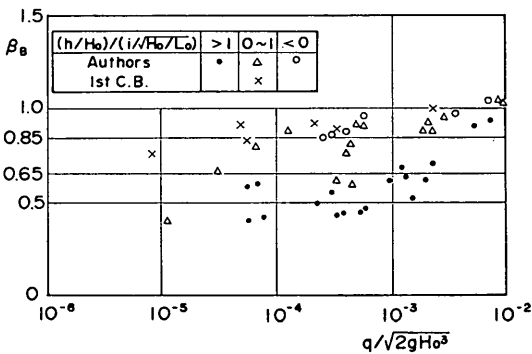


図-28 ブロック積み護岸の β_B と $q/\sqrt{2gH_0^3}$

図-23 による β_B の算定にあたっては、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の影響がないことを仮定している。すなわち、越波流量の大きい場合も小さい場合も、同一越波流量を与えるブロック積み消波護岸の所要天端高と直立護岸の所要天端高の比は一定であるとしている。図-28 はこの仮定を検討

したものである。

$(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) > 1.0$ となる Breaking 領域においても、 $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L_0}) < 1.0$ となる Post Breaking 領域においても、 β_B は、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ と若干の相関があるようである。すなわち $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が大きいほど β_B は大きくなる傾向を示し、ブロック積み消波による越波流量減少効果が小さくなるようである。図-23 によって β_B を算定する場合、この傾向によく注意する必要がある。特に無次元越波流量を大きく許容するような場合には、図-23 による算定では β_B を過小に評価し、所要天端高を低くみつめてしまう可能性がある。

4.2 一部ブロック積み消波護岸

汀線付近の護岸前面にブロック積み消波をおこなう場合に、護岸の天端高までブロックを積まずに、ブロック積み高さを天端高より低くする場合がある。このような場合をここでは一部ブロック積み消波護岸と呼ぶことにする。図-25 で示したように、第一港湾建設局および著者らは、一部ブロック積み消波護岸の越波流量実験をおこなった。

表-9 は第一港湾建設局による実験結果を示したものであり、(a) は換算沖波波高 H_0 が 4m、(b) は 8m、(c) は 10m の場合である。なお、この実験は 1/50 縮尺でおこなわれているが、ここでは、第一港湾建設局の報告書に従い現地換算値で示した。表中の hc は護岸の天端高、 h_s はブロック積み高さを示しており、 $(hc/H_0)\sigma$ とは、実験で得られた $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から図-16 を収束計算して求めた hc/H_0 を意味している。また、表中の β_{BH} は、一部消波のときの $(hc/H_0)\sigma$ と、直立護岸すなわち $h_s=0$ のときの $(hc/H_0)\sigma$ の比を意味しており越波流量の減少効果を換算天端高低減比に換算したものである。空欄の部分は、実験をおこなわなかったケースであり、横線は、越波量が非常に少なかったため、図-16 による計算ができなかったことを意味する。

表-10 は、著者らによる実験結果を示したものである。表中の数値は、上段が $q/\sqrt{2gH_0^3}$ 、下段が表-8 と同様にして求めた β_{BH} を示している。波の番号は、表-1 に対応している。左側は直立護岸、中央が一部ブロック積み護岸、右側がブロック積み護岸の実験結果を示している。

図-29 は、表-9 および表-10 によって求められた β_{BH} の値をプロットしたものである。図-29 左は、一建による実験結果を示している。ここでは、護岸が汀線上にあるためブロック積み消波自体の効果も小さく、全消波

各種消波工による越波流量の減少効果

表-9 一建によるブロック積み護岸の越波実験結果

(a) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.036$, $h=0$ m, $H_0=4$ m

h_c (m) \ h_s (m)		h_s (m)			
		0	1	2	3
3	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	4.1×10^{-5}	4.6×10^{-5}	2.4×10^{-5}	1.0×10^{-6}
	$(h_c/H_0)_c$	0.57	0.56	0.63	0.98
	β_{BH}	1	1.02	0.90	0.58
2	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	3.2×10^{-4}	3.3×10^{-4}	2.3×10^{-4}	
	$(h_c/H_0)_c$	0.38	0.37	0.41	
	β_{BH}	1	1.03	0.93	
1	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	2.3×10^{-3}	2.4×10^{-3}		
	$(h_c/H_0)_c$	0.19	0.19		
	β_{BH}	1	1.0		

(b) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.036$, $h=0$ m, $H_0=8$ m

h_c (m) \ h_s (m)		h_s (m)						
		0	1	2	3	4	5	6
6	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	2.0×10^{-5}				2.8×10^{-6}	0	0
	$(h_c/H_0)_c$	0.65				0.87	—	—
	β_{BH}	1				0.75	—	—
5	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	4.4×10^{-5}			1.9×10^{-5}	1.6×10^{-5}	8.0×10^{-6}	
	$(h_c/H_0)_c$	0.57			0.65	0.67	0.75	
	β_{BH}	1			0.88	0.85	0.76	
4	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	1.4×10^{-4}			8.4×10^{-5}	5.5×10^{-5}		
	$(h_c/H_0)_c$	0.45			0.50	0.54		
	β_{BH}	1			0.90	0.83		
3	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	4.8×10^{-4}	4.7×10^{-4}	5.0×10^{-4}	3.1×10^{-4}			
	$(h_c/H_0)_c$	0.45	0.34	0.33	0.38			
	β_{BH}	1	1.0	1.03	0.89			

(c) $i=1/30$, $H_0/L_0=0.036$, $h=0$ m, $H_0=10$ m

h_c (m) \ h_s (m)		h_s (m)			
		0	4	5	6
6	$g/\sqrt{2gH_0^3}$	8.8×10^{-5}	7.1×10^{-5}	6.1×10^{-5}	4.9×10^{-5}
	$(h_c/H_0)_c$	0.50	0.52	0.54	0.55
	β_{BH}	1	0.96	0.93	0.91

の場合でも $\beta_B=0.85$ 程度になっているが、一部消波の場合、ほぼ、全消波と直立の中間程度の β_{BH} の値となっている。したがって、図-29 左の場合は、図中に示した直線のように $h_s=0$ では $\beta_{BH}=1.0$ 、 $h_s=h_0$ では $\beta_{BH}=0.85$ とし、その間を h_s/h_0 に関して直線で結

んでも問題ないようである。

一方、図-29 右は、著者らの実験値をプロットしたものであるが、ここでは $i=1/30$ の場合と $i=1/10$ の場合とで大きく異なった傾向を示しているのがわかる。これは、護岸設置水深をどちらも 5 cm としたためである。

表-10 ブロック積み高さによる越波流量の変化

$i=1/10, h=5\text{ cm}, h_c=9.5\text{ cm}$				$i=1/30, h=5\text{ cm}, h_c=9.5\text{ cm}$			
h_s (cm)	(Vertical)	2.5	9.5	h_s (cm)	(Vertical)	2.5	9.5
Wave				Wave			
1-1	2.0×10^{-3}	3.0×10^{-3} 1.16	3.3×10^{-4} 0.64	1-1	4.5×10^{-4} 1.0	1.5×10^{-4} 0.79	—
1-2	2.8×10^{-3}	3.7×10^{-3} 1.10	3.3×10^{-4} 0.57	2-2	4.5×10^{-4} 1.0	1.8×10^{-4} 0.83	—
2-1	1.3×10^{-3}	1.1×10^{-3} 0.95	1.3×10^{-5} 0.41	2-1	4.1×10^{-4} 1.0	1.2×10^{-4} 0.76	—
2-2	9.6×10^{-3}	8.3×10^{-4} 0.96	6.5×10^{-5} 0.41	2-2	4.4×10^{-4} 1.0	1.5×10^{-4} 0.78	—
3-1	9.9×10^{-3}	1.2×10^{-2} 1.06	6.2×10^{-3} 0.79	3-1	6.4×10^{-4} 1.0	3.4×10^{-4} 0.84	5.5×10^{-5} 0.58
3-2	9.2×10^{-3}	1.5×10^{-2} 1.29	4.1×10^{-3} 0.70	3-2	6.6×10^{-4} 1.0	4.2×10^{-4} 0.88	6.8×10^{-5} 0.60
4-1	2.1×10^{-3}	2.4×10^{-3} 1.06	4.7×10^{-4} 0.62	4-1	4.2×10^{-4} 1.0	1.9×10^{-4} 0.82	7.5×10^{-6} 0.45
4-2	3.1×10^{-3}	3.5×10^{-3} 1.04	1.3×10^{-3} 0.73	4-2	4.7×10^{-4} 1.0	1.7×10^{-4} 0.77	6.9×10^{-6} 0.45

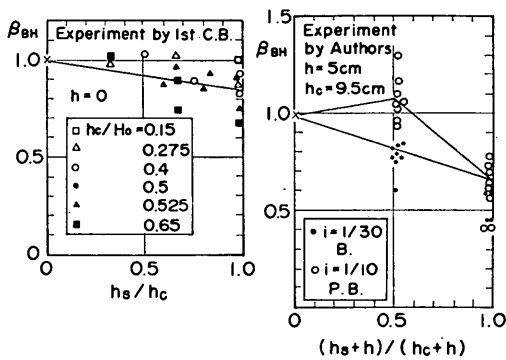


図-29 一部ブロック積み護岸の換算天端高係数

$i=1/30$ では $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L}) > 1.0$ となり護岸は Breaking 領域にあるが, $i=1/10$ では $(h/H_0)/(i/\sqrt{H_0/L}) < 1.0$ となり Post Breaking 領域に護岸がある。 $i=1/30$ では, 図-29 左と同様に, β_{BH} の値は, $(h_s+h)/(h_c+h)$ に比例して決めてもよさそうであるが, $i=1/10$ では, 一部消波にするとかえって直立よりも β_{BH} が大きくなっている。

以上, まとめると, 以下のように一部ブロック積み消波護岸の換算天端高係数を考えることができる。護岸が

汀線上あるいは Breaking 領域にあるときには, h_s/h_c に比例してブロック積み消波護岸の β_B と 1.0 の間の値を用いればよい。しかし, 護岸が $0 < h/H_0 < i/\sqrt{H_0/L_0}$ となる Post Breaking 領域にあるときは一部消波は注意を要する。ブロックを積み場合には, 十分な量が必要になると考えられる。

護岸の前面にブロックを積むと, ブロックは 2 通りの役割を示すと考えられる。一つは消波により波の勢いを抑制する役割であり, 他の一つはブロックを遡上する流れを発生させ越波流量を増加させる役割である。護岸の設置水深が $0 < h/H_0 < i/\sqrt{H_0/L_0}$ となる場合には, 十分な量の異型ブロックを設置しなければ, 後者の効果が卓越し, 逆に越波流量が増加するおそれがある。

4.3 直立消波護岸

護岸の設置水深がある程度以上深くなると, ブロック積み消波をおこなうには多くの異型ブロックが必要になるため, むしろ縦スリット型の直立消波護岸の方が建設費が安くなる場合がある。そこで, 本節では直立消波護岸に関する検討結果を述べる。直立消波護岸の越波流量に関する模型実験は, 合田らによってもおこなわれているので, その結果もあわせてここでは検討した。

図-30 は, 直立消波護岸の模型を示したものである。

各種消波工による越波流量の減少効果

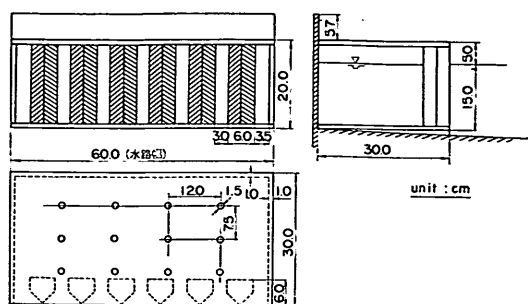


図-30 直立消波護岸の模型

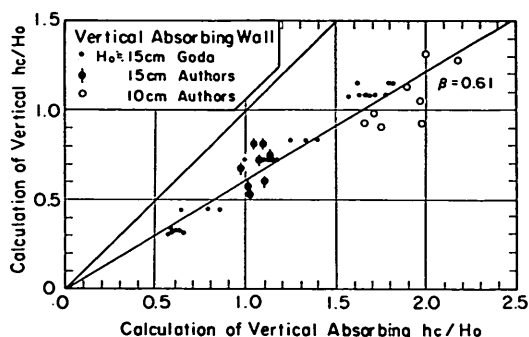


図-32 直立消波による所要天端高の減少

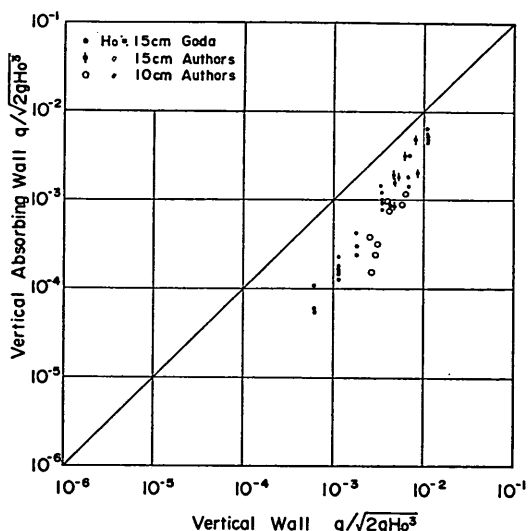


図-31 直立消波による越波流量の減少

天端面に 12 個の穴をあけたのはケーソンの上板に働く揚圧力を防ぐためである。天端面の空ゲキ率は約 1% 程度が望ましいと谷本ら²³⁾によって報告されているので、本実験での空ゲキ率は約 1% とした。

図-31 は直立消波による越波流量の減少を示したものであり、横軸には直立護岸の越波流量、縦軸には同じ条件で同一天端の直立消波護岸の越波流量を示している。この図から、直立消波構造にすることによって越波流量が減少することがわかる。合田らによる実験と著者らによる実験、あるいは実験における沖波波高を比較しても越波流量減少の割合はあまり変化しない。なお、合田らによる実験においては、付図 3 (2) d) に示したようにスリット幅を変えて実験がおこなわれているが、スリット幅の変化は越波流量減少量にはあまり大きな影響は与

えていない。

図-32 は、図-31 によって得られた越波流量の減少量を所要天端高に換算したものである。横軸には、直立消波護岸に関して実験で得られた $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から、図-16 を収束計算して得られた hc/H_0 を示し、縦軸には直立消波護岸に関して実験で得られた $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から 図-16 を収束計算して得られた hc/H_0 を示し、図-31 の各点をプロットしなおしたものである。この図から、直立消波護岸の天端高低減係数 β_r は、0.47 から 0.79 の間で 0.61 を平均値として分布していることがわかる。この場合のばらつきの標準偏差は 0.072 と比較的小さく、 β_r は次式の値となる。

$$\beta_r = 0.61 \quad (27)$$

図-33 は、図-28 と同様に、横軸に $q/\sqrt{2gH_0^3}$ をとり、越波流量による β_r の変化を調べたものである。この図から、直立消波護岸の場合はブロック積み消波護岸の 図-28 とは異なり、 β_r の値は越波流量によってはあまり変化しないこと、値のパラッキも比較的小さく、大部分の点が、 $\beta_r = 0.5 \sim 0.7$ の間に分布していることがわかる。

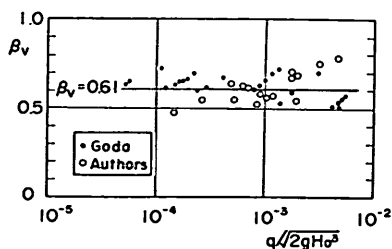


図-33 直立消波護岸の β_r と $q/\sqrt{2gH_0^3}$

以上まとめると、Breaking 領域に直立消波護岸を設置する場合の換算天端高係数 β_r は 0.61 程度に見つめることができる。

4.4 斜・階段護岸

汀線付近に設置される護岸形状の一つとして階段護岸がある。これは、越波流量の減少効果というよりは、護岸を超えて容易に人々が海浜に降りて行けるようにするために考えられたものである。ここでは、合田らと第一港湾建設局によって実施された実験結果を参照して、斜めあるいは階段状の護岸の越波流量に関して検討をおこなった。

図-34 は斜・階段護岸の形状を示したものである。 a はステップ幅、 b はステップ高さを示し $i_0 = b/a$ はステップの傾斜を意味している。斜護岸とは $a=b=0$ の場合として定義することにする。

護岸に傾斜がある場合は、直立護岸より越波流量が増大することが知られている。図-35 は高田^{(24), (25)} による実験結果を示したものである。この実験は、一様水深の水路端部に斜護岸を設置し、天端高を一定として斜面勾配と越波流量との関係を示したものであり、実験波としては規則波を用いている。したがって、ここで検討する汀線付近の護岸とはかなり性格が異なるものであるが、斜め状の護岸の越波流量特性を検討する上では有益な資料となる。

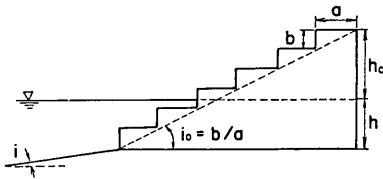


図-34 斜・階段護岸

図-35 によると、 $\cot \theta_1 = 2$ すなわち $i_0 = 1/2$ 程度で越波流量は極大値を示す。通常の斜・階段護岸は $i_0 = 1/2 \sim 1/4$ 程度なので、斜・階段護岸の越波流量は直立護岸より大きくなることを示唆している。

図-36 は、斜・階段護岸と直立護岸の越波流量の比較を示したものであり、図-31 と同様な手法で実験値をプロットしたものである。ここでは、護岸が汀線上にある実験データのみに関してプロットした。第一港湾建設局では、付図-4 (2) (a) に示したように底脚水深のあるケースについても実験をおこなっているが、そのケースに

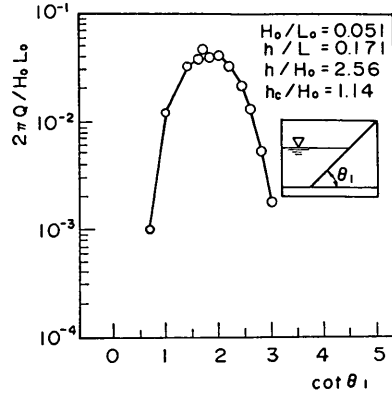


図-35 高田による越波実験結果

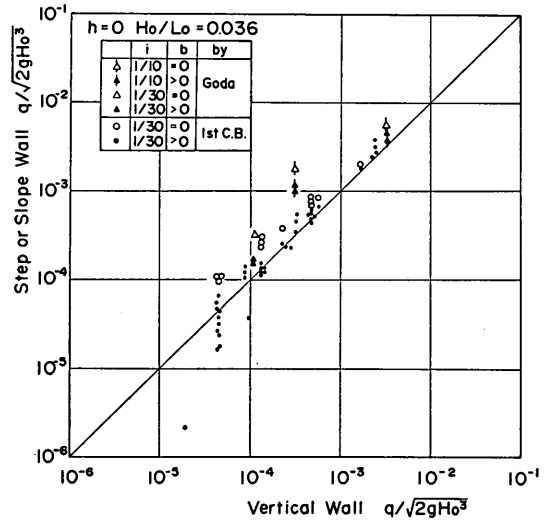


図-36 斜・階段護岸と直立護岸の越波流量比較

対応する直立護岸の越波流量実験値がないため、図-36 にはプロットできなかった。これからわかるように、斜・階段護岸は、越波流量の絶対量が非常に小さい場合を除いて、直立護岸よりも若干越波流量が多くなる。斜護岸は、階段護岸よりもさらに越波流量が多くなっているようである。

図-37 は、階段護岸の形状と天端高低減係数 β_s との関係を示したものである。ここで、 β_s とは、図-36 の斜・階段護岸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から図-16 を収束計算して求まる hc/H_0 と、図-36 の直立護岸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から同様にして求まる hc/H_0 の比として、算定された値で

各種消波工による越波流量の減少効果

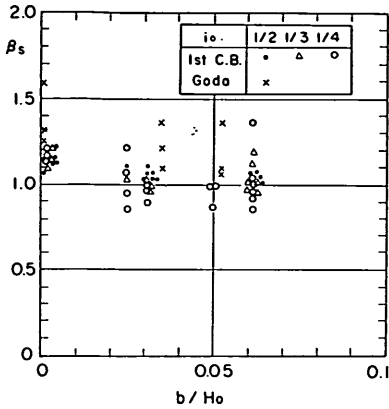


図-37 階段の護岸の形状と β_s

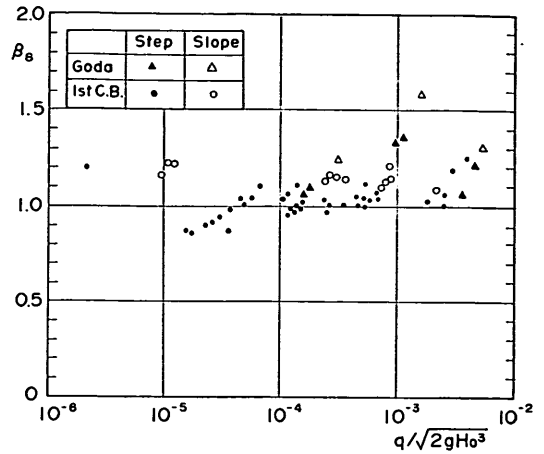


図-38 斜・階段護岸の β_s と $q/\sqrt{2gH_0^3}$

あり越波流量の減少量を所要天端高の低減率に換算したものである。図中の横軸には、ステップの高さを沖波波高で除して無次元化した値をとり、パラメータとして階段護岸の傾斜を示している。

図-37 を見ると、 β_s の値にはかなりのばらつきが見られるものの、以下のような傾向があらわれている。第一に、斜護岸 ($b/H_0=0$) の方が階段護岸 ($b/H_0>0$) より β_s が大きくなり、直立護岸に比較してより高い天端高を要する必要があることがわかる。斜護岸の β_s は、1.2 程度に見積る必要があると思われる。第二に、階段護岸においては、この実験の範囲に関して考察すれば、階段の段差や傾斜は β_s に大きい影響を与えていないことがわかる。階段護岸の β_s は、1.1 程度に見積ることができると思われる。

すなわち、以上の考察をとりまとめると β_s は次式(28)の値となる。

$$\begin{aligned} \beta_s &= 1.2 && \text{(斜護岸)} \\ \beta_s &= 1.1 && \text{(階段護岸)} \end{aligned} \quad (28)$$

この場合の β_s のばらつきの標準偏差は、斜護岸で 0.13、階段護岸で 0.12 となっている。

図-38 は、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ と β_s の関係を求めたものであり、図-28 や 図-33 と同様に整理したものである。図-38 から、斜・階段護岸の β_s は $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が大きくなると増大する傾向にあることがわかる。 $q/\sqrt{2gH_0^3} > 10^{-3}$ となる場合には、前述した β_s の値をもっと大きく与える必要があることになる。斜・階段護岸を建設するときには、ある程度天端高を高めにし、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を小さく抑える必要があるものと思われる。

5. 離岸堤を前面に設置した護岸の越波流量特性

5.1 離岸堤透過波の性質

(1) 波高の変化

a) 波高の透過率に影響するパラメータ

透過式離岸堤の効果の中で最も重要なものは、波高を減少させる効果である。ここに、離岸堤の透過直後の有義波高 H_{S2} と離岸堤に來襲する有義波高 H_S との比を、透過率 K_T として次式(29)のように定義する。

$$K_T = H_{S2}/H_S \quad (29)$$

透過率 K_T に影響するパラメータとしては、以下のようなのが考えられる。

來襲波の沖波有義波高	H_0
來襲波の沖波有義波の波長	L_0
海底勾配	i
離岸堤の設置水深	h_R
離岸堤の天端高	h_{RT}
離岸堤の幅	B

ここでは、離岸堤を矩形と考えたときの等断面積となる場合の幅として定義した。

離岸堤の構造又は空隙率 D

ただし、ここでは、図-4 に示した構造の離岸堤のみを検討の対象としたので、 D の影響は考慮されていない。

これらのパラメータは、 i と D を除きすべて長さの次元を持つので、 H_0 又は L_0 で無次元化することが可能である。また、 H_0 、 L_0 、 i 、 h_R は、離岸堤に來襲する波高 H_S を決定するパラメータであるので、これらの影

響はすべて H_s の値にあらわれている。 H_s の値は、 H_0 , L_0 , i , h_R が与えられることによって算定できる。残るパラメータに関しては、 h_{RT} は H_s で除し、 B は L で除し無次元化することにする。ここに、 L は離岸堤設置位置における波長であり L_0 と h_R から求めることができる。

以上まとめると、 K_T を決定するパラメータとしては h_{RT}/H_s と B/L が考えられることになる。

b) 透過波の波高変化

図-39 は、縦軸に B/L 、横軸に K_T を取り離岸堤透過波の測定実験結果をまとめたものである。図中の黒丸は $h_{RT} < 0$ となる潜堤の場合、白丸は $h_{RT} > 0$ の場合、×印は天端が水面上にある場合の実験結果である。 K_T の値としては、離岸堤透過直後の有義波高を、沖波の諸元と離岸堤設置水深から計算される、離岸堤のない場合の通過有義波高で除した値を用いた。図-39 から、 K_T は B/L によってはほとんど変化しないこと、 h_{RT} の符号によって影響を受けることがわかる。ただし本実験では、図-4 に示したように B の値は一定としたので、

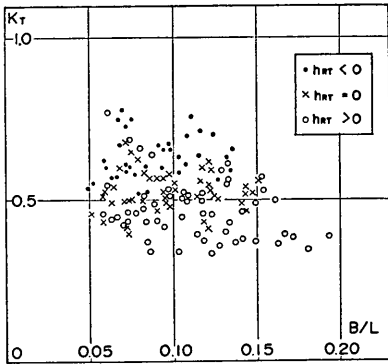


図-39 B/L と透過率

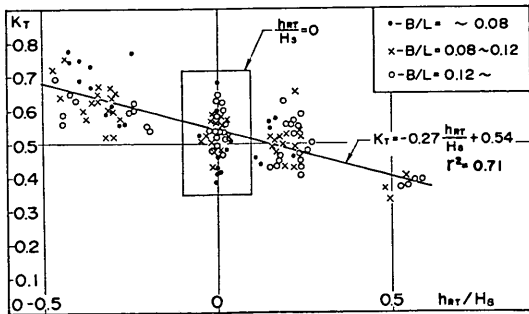


図-40 h_{RT}/H_s と透過率

B/L の値は、波の周期と、離岸堤設置水深を変えることによって変化させた。

図-40 は、図-39 を、横軸に h_{RT}/H_s を取りプロットし直したものである。これから、 h_{RT}/H_s の増加に従い K_T が減少する傾向にあることがわかる。最小自乗法によって回帰式を求めたのが図中の直線で

$$K_T = -0.27h_{RT}/H_s + 0.54 \quad (30)$$

ただし $-0.5 < h_{RT}/H_s < 0.5$

となった。このときの決定係数は $r^2 = 0.71$ であった。この場合、一次式を回帰式としているので決定係数は相関係数の自乗に等しくなる。図-40 でも、 B/L の変化による K_T への影響はあらわれていない。

以上まとめると、透過率 K_T は、本実験の範囲である $B/L < 0.02$ では B/L による影響は少なく、 h_{RT}/H_s のみによって決まり、その関係式は、式 (25) のようになることがわかった。このことは、付表-5 に示す既往の透過離岸堤の透過率に関する実験結果とも大きな差はない^{(26), (27), (28), (29), (80), (81)}。

c) 透過波の波高分布

図-41 は、離岸堤透過直後の波の波高分布を Rayleigh

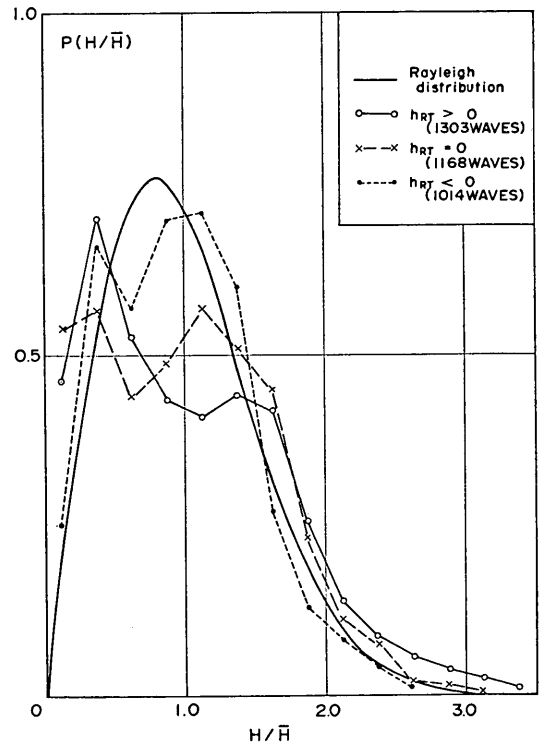


図-41 離岸堤透過波の波高分布

各種消波工による越波流量の減少効果

分布と比較したものである。図-41を見ると、 $H/\bar{H} < 0.5$ の小さい波高の出現頻度が、極端に Rayleigh 分布より多くなっていることがわかる。このことは、離岸堤の天端高が高いほど著しく、合田²⁹⁾による実験結果とよく一致している。これは、離岸堤を波が越波することによって、非線型な短周期の波が発生され易くなるためである。

(2) 平均水位の上昇

離岸堤の効果のもう一つの重要な点として、平均水位の上昇が挙げられる。図-42と図-43は、それぞれ図-39と図-40に対応して、横軸に B/L または h_{RT}/H_S

をとり、縦軸に平均水位の上昇量 $\Delta\eta$ を示したものである。離岸堤による平均水位の上昇量 $\Delta\eta$ は、実測された平均水位の上昇量から、計算によって求まる離岸堤のないときの通過波の平均水位の上昇量を差し引いて得られた値である。 $\Delta\eta$ の値は、通過波高 H_S で無次元化した。

これらの図から、 $\Delta\eta$ に関しても K_T と同様に B/L の影響は少なく、 h_{RT} のみによって決まるようである。最小自乗法によって回帰式を求めると、

$$\Delta\eta/H_S = 0.08h_{RT}/H_S + 0.09 \quad (31)$$

但し $-0.5 < h_{RT}/H_S < 0.5$

表-11 離岸堤通過波の周期変化

i	h_R (cm)	h_{RT} (cm)	Wave	T/T_0	T_P/T_0	i	h_R (cm)	h_{RT} (cm)	Wave	T/T_0	T_P/T_0
1/30	25	2.5	1	0.66	1.16	1/30	10	7.5	1	0.57	1.15
			2	0.80	1.08				2	0.73	1.18
			3	0.62	1.11				3	0.60	1.14
			4	0.78	1.07				4	0.64	1.16
	27.5	0	1	0.72	1.14		12.5	5	1	0.51	1.29
			2	0.81	1.08				2	0.68	1.18
			3	0.69	1.00				3	0.45	1.29
			4	0.85	1.16				4	0.63	1.16
	32.5	-5	1	0.81	1.26		17.5	0	1	0.65	1.25
			2	0.89	1.09				2	0.83	1.19
			3	0.76	1.12				3	0.61	0.87
			4	0.84	1.14				4	0.74	1.14
20	2.5	1	0.55	1.30	1/10	25	2.5	1	0.89	0.98	
		2	0.71	1.07				2	1.10	1.13	
		3	0.45	1.11				3	1.04	1.14	
		4	0.70	1.16				4	0.85	1.08	
22.5	0	1	0.67	1.29		27.5	0	1	0.96	1.23	
		2	0.83	1.08				2	1.05	1.10	
		3	0.55	1.09				3	1.08	1.09	
		4	0.75	1.07				4	0.87	1.01	
27.5	-5	1	0.79	1.26		32.5	-5	1	1.01	1.12	
		2	0.87	1.09				2	1.03	1.08	
		3	0.68	1.21				3	1.11	1.22	
		4	0.87	1.06				4	0.99	1.03	
15	2.5	1	0.58	1.30	15	2.5	1	0.81	1.38		
		2	0.75	1.00			2	0.79	1.06		
		3	0.52	1.11			3	0.92	1.11		
		4	0.63	1.07			4	0.77	1.11		
17.5	0	1	0.63	1.14	17.5	0	1	0.90	1.31		
		2	0.80	1.08			2	1.01	1.08		
		3	0.48	1.20			3	0.95	1.10		
		4	0.69	1.16			4	0.86	1.17		
22.5	-5	1	0.66	1.26	22.5	-5	1	1.49	1.12		
		2	0.75	1.19			2	1.04	1.10		
		3	0.69	1.44			3	1.05	1.18		
		4	0.81	1.06			4	1.01	1.16		

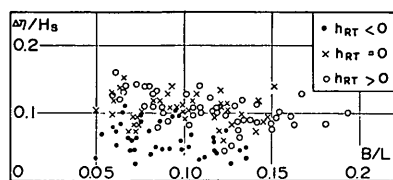


図-42 B/L と平均水位上昇量

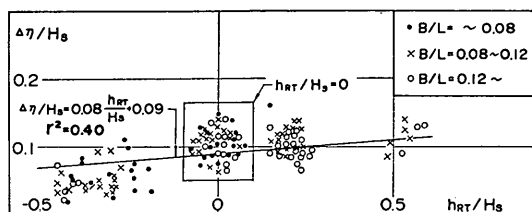


図-43 h_{RT}/H_S と平均水位上昇量

となる。このときの決定係数は $r^2=0.40$ となり、ばらつきは大きかった。

(3) 周期分布

表-11 は、離岸堤透過波の周期変化を示したものである。表中の周期変化率は、2つの異なる波連の平均値を示している。1~4の波は、表-1 および 図-2 の1~4の波に対しては、表中の T_0 は沖波の有義波周期、 T は離岸堤透過波の有義波周期、 T_P はスペクトル密度が最大となる周波数に対応する周期である。

表中の T/T_0 の値を見ると、海底勾配が 1/30 のケースではすべて 1.0 より小さく、0.6~0.9 程度になっており、周期の非常に短い波が多くあらわれている。これは、図-41 の波高分布と対応しており、離岸堤透過後は、波高、周期とも非常に小さい非線型な波が多く発生するためである。このことは、合田ら³⁹⁾による離岸堤背後の波の測定実験結果ともよく一致している。しかし、このような有義波周期の減少は、1/10 勾配の実験では顕著にはあらわれなかった。一方、スペクトル密度のピーク周期はほとんどのケースで 1.0 よりわずかに大きい値となり、エネルギーのピーク周期は、あまり変化せずわずかに長周期側にずれるようである。

図-44 は、離岸堤透過波のスペクトル形の一例を示したものである。実線は造波板から 3m 離れた水深 60cm で測定したスペクトル、点線は離岸堤透過直後の水深 17.5cm の測点で測定したスペクトルである。両者を比較すると、表-11 であらわれた特徴とよく対応している

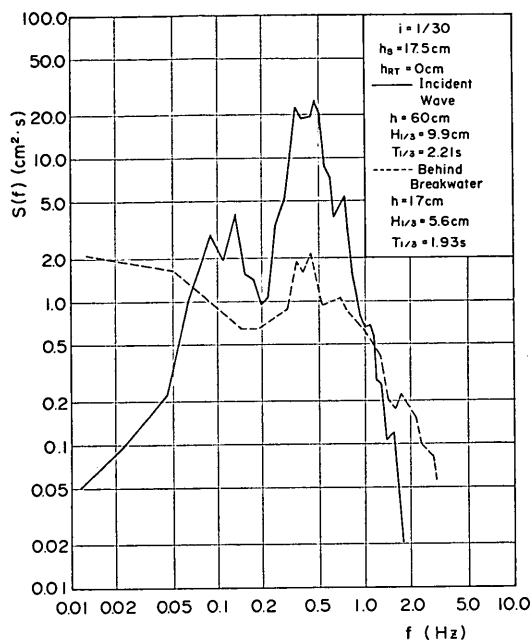


図-44 離岸堤透過波のスペクトルの一例

ことがわかる。スペクトルのピーク周期は両者がほぼ一致していること、ピーク周期より高周期側では、離岸堤透過波のスペクトル密度の減少は比較的ゆるやかであり、高周波成分は沖波よりむしろ増大していることがあらわれている。

5.2 離岸堤背後の直立護岸の越波流量特性

以上、離岸堤透過波の性質を検討したが、この検討結果をふまえて、離岸堤背後の直立護岸の越波流量特性を検討する。

(1) 合田および第一港湾建設局による実験のまとめ
付表-3 (2) (c) および 付表-4 (1) (d) (e) に示すように、離岸堤背後の直立護岸の越波流量に関する実験結果が報告されているので、ここでは、まずこれらの実験結果をまとめることにする。

図-45 は合田による実験結果をプロットしたものであり、横軸に離岸堤設置水深 h_R を沖波波高 H_0 で除し無次元化した値を示し、縦軸に $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を示している。この実験においては、離岸設置水深 h/H_0 は 0.8 の一定であり、離岸堤の天端高も $h_{RT}/H_0 = 0.4$ と一定にそろえて、3通りの h_0/H_0 に関して離岸堤の設置を変化させたものである。この図から、離岸堤の設置水深 h_R/H_0 は、越波流量にあまり大きい影響を与えていないことが

各種消波工による越波流量の減少効果

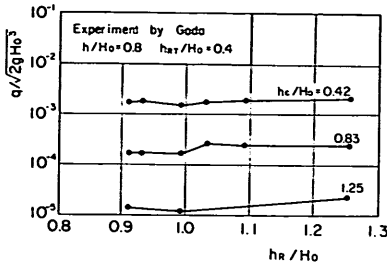


図-45 合田による離岸堤背後の直立護岸の越波流量

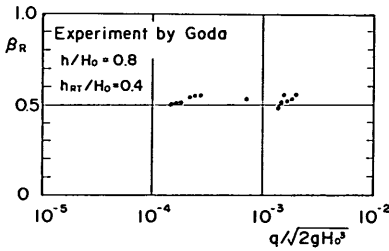


図-46 合田による β_R と $q/\sqrt{2gH_0^3}$

わかる。

図-46 は、離岸堤設置による換算天端高係数 β_R と $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の関係を求めたものである。ここに、 β_R は図-28、図-33、図-38 などと同様にして求めた値であり、離岸堤を前面に設置した場合の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ と、離岸堤を設置しなかった場合の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の差を、図-16 を用いて所要天端高の比に換算したものである。この図から、合田によっておこなわれた実験では、 β_R はほぼ一定の値を示し、0.5~0.55 程度の値になっていることがわかる。すなわち、この条件のもとでは、離岸堤設置によって護岸の天端高を 50~55% 程度に低減できるということになる。

図-47 は、第一港湾建設局によっておこなわれた実験結果をプロットしたものである。横軸には直立護岸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ 、縦軸には同じ条件で離岸堤を前面に設置したときの $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を示し、両者を比較したものである。図中の黒丸は、汀線上に直立護岸を設置した場合の実験値を意味している。汀線上では $h=0$ であるが、表-2 に従ってサーフピートの補正をすると $h/H_0=0.1$ となる。図中の ×印は自然斜面上の越波実験結果を示したものであり、 $h=-h_0$ となる場合の実験値である。図-47 によると、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が 10^{-4} より小さい場合を

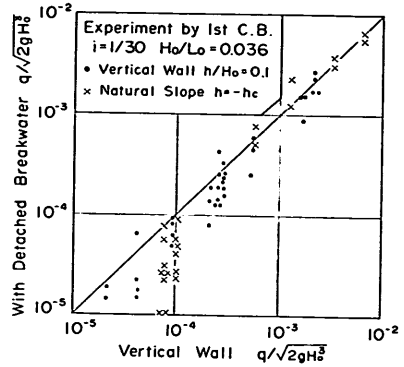


図-47 離岸堤設置による越波流量の減少

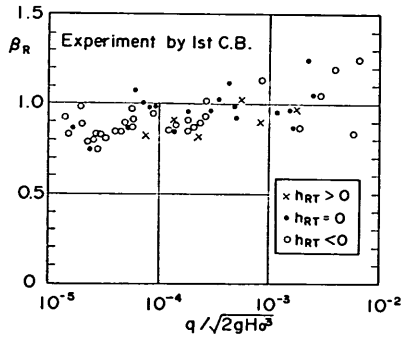


図-48 一建による β_R と $q/\sqrt{2gH_0^3}$

除いて、離岸堤設置によってあまり越波流量が減少していないのがわかる。

図-48 は、図-46 などと同様に β_R と $q/\sqrt{2gH_0^3}$ との関係を求めたものである。離岸堤の天端高の符号に応じて 3 種類の記号で実験値をプロットしている。図-48 から、 β_R は、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ が大きくなると若干大きい値を示すような傾向があることがわかる。 β_R の値としては、図-46 よりはかなり大きく、 $\beta_R=0.8\sim 1.1$ 程度になっている。また、離岸堤の天端高の影響も顕著にあらわれてはいないように見えるが、これは条件の異なるものをまとめてプロットしたものであるため、同一条件における離岸堤天端高の影響については後述する。

(2) 著者らの実験による越波流量特性

表-12 は、著者らによる離岸堤背後の直立護岸の越波流量実験の結果をまとめたものである。表中に示された β_R の値は、今までのほかの図で求めた場合と同様に、直立護岸との $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の比較を、図-16 から h_0/H_0 に

表-12 離岸堤背後の直立護岸の換算天端高係数 β_R

i	1/30								1/10							1/10				1/30			
	Case	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
h (cm)	12.5	15	2.5	2.5	10	10	10	10	15	15	12.5	12.5	2.5	10	10	-10	-5	0	15	-5	0	15	
h_o (cm)	9.75	11	9.75	9.75	9.75	9.75	6	6	7.25	11	9.75	13.5	9.75	13.5	9.75	10	11.9	6.9	10.7	5	6.9	10.7	
h_{RT} (cm)	2.5	0	2.5	7.5	-5	0	-5	0	0	0	2.5	2.5	2.5	-5	-5	0	0	0	0	0	0	0	
h_R (cm)	25	27.5																					
	20	22.5	20	10	22.5	17.5	22.5	17.5	27.5	27.5	25	25	25	32.5	32.5	17.5	17.5	17.5	27.5	17.5	17.5	27.5	
β_R	Wave 1	0.70	0.73	0.96	0.88	0.93	0.78	1.02	0.92	0.64	0.66	0.64	0.69	0.73	1.16	1.06	0.83	0.80	0.88	0.59	0.88	0.89	0.62
	Wave 2	0.58	0.64	0.91	0.92	0.80	0.66	0.83	0.77	0.78	0.69	0.63	0.70	0.86	1.40	0.96	0.78	—	0.84	0.63	0.84	0.94	0.49
	Wave 3	0.83	0.92	0.91	0.73	1.02	0.92	1.08	1.0	—	0.84	0.82	0.66	0.95	1.03	—	0.89	0.80	0.92	0.81	0.82	0.92	0.87
	Wave 4	0.68	0.71	1.06	0.90	0.94	0.79	1.05	0.88	—	0.73	0.81	0.78	0.82	1.26	—	0.80	0.80	0.89	0.73	0.91	0.92	0.65

換算し、その比を求めたものである。WAVE 1~4 は、表-1 に示した波を意味し、各波に関して 2 通りの波速に関する平均値を表中に示している。同一条件で離岸堤の設置水深のみを変化させた場合は、図-45 でも示されたように β_R はあまり変化しなかったため、ここでは h_R のみを変化させた場合は、各ケースの平均値のみを示した。

図-49 は、表-12 に示すケース 2 に関して、離岸堤の設置水深 h_R/H_0 と $q/\sqrt{2gH_0^3}$ の関係を求めたものであり、図-45 と同様に整理したものである。図中の記号は表-1 の各波に対応している。表-1 の WAVE 2 と WAVE 4 に関しては、目標とした波の周期より実際の波の周期が若干長くあらわれたので、 H_0/L_0 は約 0.03 となった。この図からも、 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ は h_R/H_0 によっては、あまり変化しないことがわかる。

図-50 は、離岸堤の天端高 h_{RT}/H_0 と β_R の関係を求めたものである。表-12 における、 h_{RT} のみが異なりほかの条件は比較的近い場合、すなわち、ケース 1 と 2、ケース 3 と 4、ケース 5 と 6、ケース 7 と 8、ケース 10 と 12 と 14、ケース 9 と 11 と 15 に関して、横軸に h_{RT}/H_0 を示し β_R の値を直線で結んだものである。この図から、全体的に右下りとなる傾向を読みとることができ、離岸堤の天端高が、越波流量減少効果および天端高低減効果に大きく影響していることがわかる。

図-51 は、護岸の設置水深と β_R との関係を示したものである。横軸には、図-23 (1) と同様に、護岸の設置位置における波の領域区分を示すパラメータを示した。図-50 で明らかになったように、離岸堤の天端高は β_R

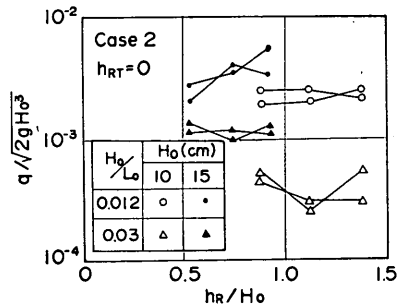


図-49 離岸堤設置水深と越波量

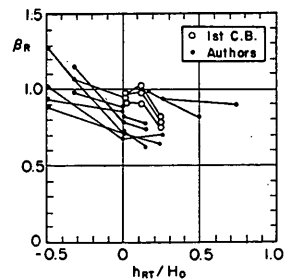


図-50 離岸堤天端高と β_R

に大きい影響を与えるため、ここでは $h_{RT}=0$ の場合の実験値のみをプロットした。図の両端付近にプロットしてある点は、 $(h/H_0)/(l/\sqrt{H_0L_0})$ が -0.5 より小さい点又は 1.5 より大きい点を意味しており、必ずしも横軸の値が一定の場合を意味しているわけではない。

各種消波工による越波流量の減少効果

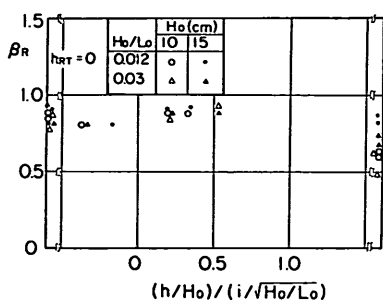


図-51 離岸堤設置水深と β_R

図-51 から以下のようなことがわかる。横軸が 1.0 より大きい Breaking 領域では、 β_R は、ほぼ 0.6~0.8 程度の値となる。一方、汀線より陸側の $h < 0$ となる場合には β_R は 0.8~0.9 程度の値となる。横軸が 0 と 1.0 の間では、 β_R の値はもっとも大きく 0.9 程度になっている。こうした傾向は、図-23 で見られたブロック積み消波護岸の β_R の特性とよく似ている。

(3) 離岸堤背後の直立護岸の越波流量特性

以上の実験結果から、直立護岸の越波流量特性に関して明らかになったことをまとめると以下ようになる。

第一に、離岸堤の構造および天端高が一様である場合には、離岸堤設置水深は越波流量に大きな影響を与えない。このことは、離岸堤による波の透過率 K_T が h_R/H_0 によってあまり変化しないことに対応すると思われる。もっとも、離岸堤と護岸が極端に接近した場合にも同様な結果を示すかどうかは、明らかではない。

第二に、離岸堤の天端高が越波流量に大きい影響を与えることである。図-51 で Breaking 領域の β_R が 0.6~0.8 であったのに対して、図-46 では 0.5 程度であったのは、 h_{RT}/H_0 のちがいでによるものと思われる。このことも、離岸堤による波の透過率 K_T が離岸堤天端高に影響を受けることに対応すると思われる。もっとも、図-48 では h_{RT}/H_0 による相異は顕著にはあらわれていないので、離岸堤の天端高による影響も、Breaking 領域と Post Breaking 領域で異なるのであろう。

第三に、護岸の設置水深によって β_R が変化することである。図-51 で示される傾向は、図-23 によって示されるブロック積み消波護岸の β_B の傾向に近いものだった。

5.3 離岸堤・消波工併設護岸の越波流量特性

図-52 は、離岸堤を前面に設置したブロック積み消波護岸と直立消波護岸の越波流量を、直立護岸の越波流量

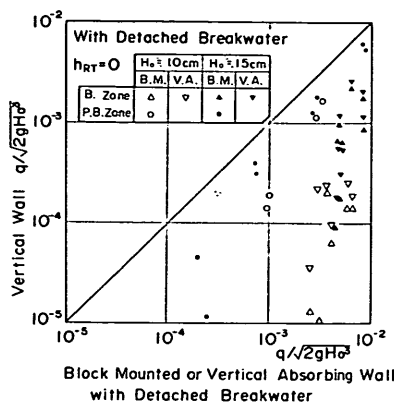


図-52 離岸堤消波工併設による越波流量の減少

と比較したものである。ここでおこなわれた実験は、離岸堤の天端高が $h_{RT} = 0$ の場合である。図中の B.M. とはブロック積み消波護岸を意味し、V.A. は直立消波護岸を意味している。また、B. Zone とは Breaking 領域を意味し、ここでは護岸の設置水深が $h = 15$ cm となる場合である。P.B. Zone とは Post Breaking 領域を意味し、ここでは $h = 0$ の場合と、海底勾配が $i = 1/10$ の場合の $h = 5$ cm の場合である。横軸には、離岸堤と消波護岸を併設した場合の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を、縦軸には、同じ条件で同一天端高の直立護岸の $q/\sqrt{2gH_0^3}$ を示している。図-52 からわかるように、護岸堤と消波護岸の併設によって、かなり越波流量は減少し、特に Breaking 領域に護岸があるときにその効果が大きくなっている。

図-53 は、図-52 における $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から図-16 を収束計算して求めた h_q/H_0 をプロットしたものであり、図-32 と同様の手法で越波流量の減少量を所要天端高の低減量に換算したものである。この図から、離岸堤背後

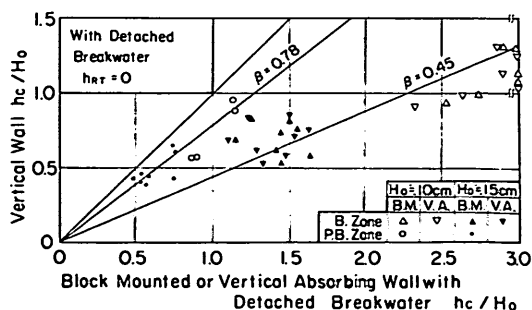


図-53 離岸堤消波工併設による所要天端高の減少

表-13 離岸堤を前面に設置した斜階段護岸の越波流量

Sea Wall		$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $x * 10^{-v}$		β	With Detached Breakwater $h_R/H_0=0.625$								
Type	h_c/H_0				$h_{RT}/H_0=0$		$h_{RT}/H_0=0.125$		$h_{RT}/H_0=0.25$				
					$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $x * 10^{-v}$	β	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $x * 10^{-v}$	β	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $x * 10^{-v}$	β			
Vertical	0.15	1.7	3	1.0	1.6	3	0.98	1.6	3	0.98	8.6	4	0.78
	0.275	5.6	4	1.0	4.9	4	0.98	5.8	4	1.01	2.3	4	0.80
	0.4	2.2	4	1.0	1.9	4	0.96	1.4	4	0.91	7.8	5	0.81
Step $b/H_0=0.031$	0.15	1.8	3	1.03	1.6	3	0.98	1.8	3	1.03	1.0	3	0.82
	0.275	6.4	4	1.04	5.3	4	1.00	6.7	4	1.05	3.2	4	0.87
	0.4	2.5	4	1.03	1.5	4	0.91	1.9	4	0.96	7.7	5	0.81
Slop	0.15	2.0	3	1.08	1.7	3	1.00	1.9	3	1.05	1.2	3	0.87
	0.275	8.1	4	1.14	6.4	4	1.04	7.5	4	1.10	4.5	4	0.95
	0.4	3.7	4	1.14	2.3	4	1.00	2.8	4	1.05	1.6	4	0.92

にブロック積み消波護岸あるいは直立消波護岸を設置した場合の換算天端高係数 β は以下のようになっている。

護岸が Breaking 領域に位置するときの β は、離岸堤背後の護岸がブロック積み消波であっても直立消波であっても同じような値を示しており、 $\beta=0.3\sim 0.69$ の間を、平均値 0.45、標準偏差 0.10 で分布している。一方、護岸が Post Breaking 領域に位置するときの離岸堤背後のブロック積み消波護岸の β は、 $\beta=0.62\sim 0.96$ の間を、平均値 0.76、標準偏差 0.093 で分布している。

消波護岸が Breaking 領域に位置するときの換算天端高係数 β は、図-23 および 図-31 から、ブロック積み消波の場合は 0.65、直立消波の場合は 0.61 とそれぞれ求められている。一方、天端高 h_{RT} がゼロとなる離岸堤を直立護岸の前面に設置した場合の換算天端高係数 β_R は、護岸が Breaking 領域に位置する場合、図-51 でわかるように $\beta_R=0.5\sim 0.9$ の範囲で分布している。この β_R に、ブロック積み消波護岸あるいは直立消波護岸の換算天端高係数を乗ずると、その値の範囲は 0.3~0.6 となる。図-53 で得られた $\beta=0.45$ は、ちょうどこの範囲の中央の値になっていることは注目に値する。同様に、Post Breaking 護岸が領域に位置するときのブロック積み消波護岸の換算天端高係数は、図-23 から $\beta_B=0.65\sim 1.1$ となっており、護岸堤を前面に置く直立護岸の換算天端高係数は 図-51 から $\beta_R=0.8\sim 0.95$ に分布していることがわかる。この場合の β_B と β_R の積は、0.52~1.05 の間になるが、図-53 で得られた $\beta=0.78$ は、やはりこの範囲のほぼ中央の値となっている。

表-13 は、第一港湾建設局によっておこなわれた、離岸堤と斜・階段護岸を併設したときの、越波実験結果を整理したものである。表中の β の値は、各ケースの実験で得られた $q/\sqrt{2gH_0^3}$ と、同じ天端高の直立護岸のみを設置した実験で得られた $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から、図-16 を用いて所要天端高の比に換算したものである。

たとえば、 $h_c/H_0=0.4$ の場合、斜護岸のみの場合の換算天端高係数は 1.14、 $h_{RT}/H_0=0.25$ となる天端高をもつ離岸堤を前面に設置した直立護岸の換算天端高係数が 0.81 となることから、表-13 から読み取ることができる。この積の値は、 $1.4 \times 0.81 = 0.92$ となる。一方、離岸堤を前面に設置した斜護岸の換算天端高係数も、表-13 から 0.92 と読み取ることができ、両者の値は一致している。他の条件に関しても、表-13 では、離岸堤と斜・階段護岸それぞれの換算天端高係数の積は、併設時の換算天端高係数とほぼ一致していることは注目される。

以上、まとめると、離岸堤と消波工を併設した場合の換算天端高係数は、離岸堤による換算天端高係数と各消波護岸による換算天端高係数の積とほぼ一致することが、本実験の範囲内で明らかになった。しかし、このことがすべての条件についても成立するかどうかは、今後理論的検討および条件の異なる数多くの実験をする必要がある。

6. ま と め

不規則波を用いた越波流量模型実験を実施し、この結

各種消波工による越波流量の減少効果

果に加えて合田らや第一港湾建設局による同様な実験結果も考慮して、各種消波工による越波流量の減少効果を検討した。本研究の成果をまとめると以下の通りである。

(1) 直立護岸の越波流量算定式について

a) 直立護岸の越波流量に関しては、合田が海底勾配と波形勾配別に越波流量算定式をすでに提示している。しかし、図にない海底勾配および波形勾配の場合には内挿や外挿が必要になること、許容越波流量から所要天端高を算定することが容易でないこと、などの問題点が残されている。そこで、合田の算定図を近似する式を作成し、この問題を解決した。

b) 近似式を求めるにたつては、Shoaling 領域、Breaking 領域、Post Breaking 領域の3領域に区分して検討をおこない、図-16 に示す越波流量算定フローを求めた。

b) この越波流量算定フローによって求まる越波流量の値は、図-17 に示すように合田の算定図とよく一致した。また、実験値との比較においても図-18 に示すように合田の算定図と同程度の精度で一致することが確認された。

d) 図-16 のフローに従って収束計算することによって、越波流量 $q/\sqrt{2gH_0^3}$ から逆に所要天端高 h_0/H_0 を求めることができる。この場合の所要天端高の算定精度は、図-19 に示したように、 $\pm 20\%$ の範囲内におさまる。ここに、 H_0 は沖波有義波高を示す。

(2) 消波護岸の越波流量について

a) 各種消波護岸の越波特性をあらわす指標として、換算天端高係数 β を提案した。これは、同一越波流量を与えよときの消波護岸の所要天端高と直立護岸の所要天端高の比として定義される値である。 β の値が小さいほど消波工の効果が大きく、天端高を低く設定できることを意味している。

b) 合田による直立護岸とブロック積み消波護岸の越波流量算定図を比較検討することによって、図-23 に示すブロック積み消波護岸の換算天端高係数 β_B を算定する式を提案した。ここで定まる β_B と図-16 のフローを用いてブロック積み消波護岸の越波流量を算定することができる。この場合の算定精度は、図-26 に示すように合田のブロック積み消波護岸の算定図の精度と同程度である。この越波流量の算定精度を所要天端高の算定精度に換算すると、図-27 に示すように $\pm 20\%$ 内にほぼおさまっている。

c) 護岸が汀線上、あるいは Breaking 領域にある場合の一部ブロック積み消波護岸の換算天端高係数 β_{BR} は、ブロック積み高さに比例して、ブロック積み消波護岸の β_B と 1.0 の間の値を用いればよい。しかし、護岸の設置水深が $0 < h/H_0 < i/\sqrt{H_0/L_0}$ となる場合は、一部消波によって直立護岸より越波流量が増大する場合があるので、一部消波する場合には注意を要する。

d) 護岸が Breaking 領域に位置する場合の直立消波護岸の換算天端高係数 β_V は、ここで検討した範囲ではほぼ一定の値を示し、平均値 0.61、ばらつきの標準偏差は 0.072 となった。

e) 斜・階段護岸の換算天端高係数 β_S は 1.0 より大きくなり、斜護岸では $\beta_S=1.2$ 、階段護岸では $\beta_S=1.1$ となった。この場合の β_S のばらつきの標準偏差は斜護岸で 0.13、階段護岸では 0.12 であった。護岸の傾斜角 i_0 は、 $1/2$ から $1/4$ の範囲では β_S にあまり影響しなかった。また、斜護岸の β_S は階段護岸の β_S より大きかったが、階段のステップ幅は β_S にあまり影響しなかった。

(3) 離岸堤背後の護岸の越波流量について

a) 離岸堤設置による越波流量の減少効果を検討するにあたって、まず、離岸堤透過波の性質を明らかにし、以下の結論を得た。なお、ここで検討した離岸堤は、図-4 に示す、480g のテトラポット模型をブロック3段積み(下層4列)で天端部はブロック2列並びとした透過式構造のものである。

(i) 波高透過率 K_T は離岸堤天端高 h_{RT}/H_0 によってほぼ決定され、離岸堤幅と波長の比 B/L の影響は小さい。 K_T は次式(30)のようになった。

$$K_T = -0.27h_{RT}/H_0 + 0.54 \quad (30)$$

ただし $-0.5 < h_{RT}/H_0 < 0.5$

ここに H_S は通過波の有義波高を示す。このときの決定係数 $r^2=0.71$ はであった。この場合、一次式を回帰式としているので決定係数は相関係数の自乗に等しくなる。

(ii) 離岸堤透過による平均水位上昇量 $\Delta\eta$ は、 K_T と同様、 h_{RT}/H_0 によって定まり、次式(31)のようになった。

$$\Delta\eta/H_S = 0.08h_{RT}/H_0 + 0.09 \quad (31)$$

このときの決定係数は $r^2=0.40$ となり、ばらつきは大きかった。

(iii) 離岸堤透過波の有義波周期は、沖波の有義波周期より短くなる。しかし、これは、非線型な短周期

期の波の発生によるもので、スペクトルのピーク周期はあまり変化せず、むしろわずかに長周期側にずれる。

b) 離岸堤背後の直立護岸の換算天端高係数 β_R に関して以下のことが明らかになった。

(i) 離岸堤の設置水深 h_R/H_0 によっては β_R はあまり変化しない。しかし、離岸堤と護岸が極端に接近した場合にも同様な結果を示すかどうかは、本実験の範囲からは明らかにできなかった。

(ii) β_R は離岸堤の天端高 h_{RT}/H_0 が大きいほど小さい値となる。また、 β_R は護岸の設置水深の影響を受け、護岸が Breaking 領域にある場合の方が、Post Breaking 領域にある場合より小さくなる。このことは、護岸が Post Breaking 領域にある場合には離岸堤の効果が小さいことを示している。

c) 離岸堤背後に、ブロック積み消波護岸、直立消波護岸、斜・階段護岸が設置された場合の換算天端高係数は、本実験の範囲内で、離岸堤による換算天端高係数と各種護岸による換算天端高係数の積にほぼ一致した。しかし、このことがすべての条件についても成立するかどうかは、理論的検討および条件の異なる数多くの実験を行なう必要がある。

7. あとがき

不規則波を用いた越波流量模型実験を実施し、この結果に加えて、すでに発表されている同種の実験結果を用いて、各種消波護岸の天端高低減効果特性を検討した。これによって、各種消波構造の低天端化効果について把握することができた。離岸堤を前面に設置した場合の換算天端高係数 β_R に関しては、算定法を検討するまでに至らず、それに影響する要因のみについて考察をおこなった。離岸堤を設置した場合の越波流量の算定法の確立は、今後の課題として残っている。

本研究を実施するにあたって、運輸省港湾局防災課に御協力をいただき、第一港湾建設局新潟調査設計事務所から越波実験に関するデータをいただいた。また、港湾技術研究所の合田良実水工部長からは有益な御教示をいただいた。実験およびデータ整理にあたっては、第二港湾建設局宮古港工事事務所（前港湾技術研究所海洋水理部波浪研究室）の菊地治技官および波浪研究室の関口忠志技官の御協力をいただいた。ここに深く感謝いたします。

本報告は、高山の指導のもとに永井がとりまとめたものである。実験およびデータ整理は、永井と西田がおこなった。
(1982年3月31日受付)

参考文献

- 1) 合田良実: 防波護岸の越波流量に関する研究, 港湾技術研究所報告第9巻第4号, 1970年, pp.1~41.
- 2) 合田良実・岸良安治・神山 豊: 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告第14巻第4号, 1975年12月, pp.3~44.
- 3) 合田良実・岸良安治: 不規則波による低天端護岸の越波特性実験, 港湾技研資料 No. 242, 1976年, 28 p.
- 4) 前出の 2), 3)
- 5) 運輸省第一港湾建設局: 昭和54年度越波量模型実験報告書(部内資料), 1979年12月, 134 p.
- 6) 運輸省第一港湾建設局: 昭和55年度越波量模型実験報告書(部内資料), 1981年3月, 159 p.
- 7) 運輸省第一港湾建設局: 昭和56年度越波量模型実験報告書(部内資料), 1982年3月, 199 p.
- 8) 合田良実: 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 1977年, 237 p.
- 9) 合田良実: 浅海域における波浪の碎波変形, 港湾技術研究所報告第14巻3号, 1975年, pp.59~106
- 10) 高山知司・永井紀彦・菊地 治・諸石一幸: 大型矩形浮体の波浪中の動揺と係留力に関する研究(第1報), 港湾技術研究所報告第19巻第3号, 1980年9月, p.79
- 11) 菊地 治: 不規則波による水理模型実験, 波浪研究室資料 No. 19 (部内資料), 1981年, 122 p.
- 12) 桑島 進・永井康平: 任意個数資料のFFT算法とそのスペクトル解析への応用, 港湾技研資料 No. 155, 1973年, 33 p.
- 13) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊地 治: 不規則波における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料 No. 248, 1976年, 24 p.
- 14) 前出の 2)
- 15) 前出の 1)
- 16) 前出の 2)
- 17) Hunt I.A.: Design of Seawalls and Breakwaters, Proceedings, ASCE, Vol. 85, No. WW3, 1959, pp.123~152
- 18) 細井正延・石田 昭: 汀線より陸側にある堤防への波のうちあげ, 第12回海岸工学講演会講演集, 土木学会, 1965年, pp.168~175
- 19) 前出の 9)
- 20) 前出の 1)
- 21) 前出の 9)
- 22) 前出の 9)
- 23) 谷本勝利・高橋重雄・村永 努: 直立消波ケーソン

各種消波工による越波流量の減少効果

- ンの上床板に働く揚圧力, 港湾技術研究所報告第19巻第1号, 1980年3月, pp. 3~31
- 24) 高田 彰: 波の翹上, 越波および反射の関連性について, 土木学会論文報告集, Vol. 182, 1970年, pp. 19~30
- 25) 高田 彰・吉田吉治・藤川浩生: 海岸堤防・護岸の断面形状と越波量との関係, 第26回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1979年, pp. 285~289
- 26) 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回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1980年, pp. 335~338
- 27) 永井莊七郎・倉田克彦・長谷川恵一: 潜堤の消波効果におよぼす天端幅の影響, 第24回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1977年, pp. 303~307
- 28) 永井莊七郎・小田一紀・倉田克彦: 大水深緩斜面捨石潜堤に関する研究, 第22回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1975年, pp. 409~414
- 29) 久保弘一・井田康夫: 捨石堤背後の伝達波高について, 第20回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1973年, pp. 49~54
- 30) 服部昌太郎・堺 和彦: ブロック積み防波堤の波高伝達率に関する実験的研究: 第20回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1973年, pp. 55~62
- 31) 沼田 淳: ブロック堤の消波効果に関する実験的研究, 第22回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1975年, pp. 501~506
- 32) 合田良実・鈴木康正・岸良安治: 不規則波浪実験とその特性について, 第21回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 1974年, pp. 237~242
- 33) 前出の 3)

主要記号表

- a : 階段護岸のステップ幅 (cm)
又は, 最小自乘法による係数
- B : 離岸堤の幅 (cm)
- b : 階段護岸のステップ高さ (cm)
又は, 最小自乘法による係数
- f : 周波数 (Hz)
- f_m : 水路の固有周波数 (Hz)
- g : 重力加速度 (cm/s²)
- H_0 : 沖波有義波高 (cm)

- \bar{H} : 平均波高 (cm)
- H_S 又は $H_{1/3}$: 有義波高 (cm)
- h : 護岸設置水深 (cm)
- h_0 : 護岸天端高 (cm)
- h_{c0} : 汀線上の護岸に換算した天端高 (cm)
- h_S : ブロック積み高さ (cm)
- h_R : 離岸堤の設置水深 (cm)
- h_{RT} : 離岸堤の天端高 (cm)
- i : 海底勾配
- i_0 : 階段護岸の傾斜
- K_T : 離岸堤の波高透過率
- L : 有義波の波長 (cm)
- L_0 : 沖波有義波の波長 (cm)
- m 又は n : 整数
- $P(H)$: 確率密度関数
- Q : 一周期当りの単位幅越波流量 (cm²)
- q : 一秒当りの単位幅越波流量 (cm²/s)
- R : 波のはいり高さ (cm)
- $R_1 \sim R_4$: 離岸堤の設置位置 (図-5)
- $S(f)$: 波のスペクトル密度 (cm²·s)
- S_1 : 直立消波護岸前面のスリット幅 (cm)
- S_2 : 直立消波護岸天端面のスリット幅 (cm)
- T : 波の周期又は有義波周期 (s)
- T_0 : 沖波の有義波周期 (s)
- T_P : スペクトルのピーク周期 (s)
- α : 自然斜面の換算天端高係数
- β : 換算天端高係数
- β_B : ブロック積み消波護岸の換算天端高係数
- β_{BH} : 一部ブロック積み消波護岸の換算天端高係数
- β_B : 離岸堤設置による換算天端高係数
- β_S : 斜・階段護岸の換算天端高係数
- β_V : 直立消波護岸の換算天端高係数
- γ : H_S/H_0 の補正係数 (図-13)
- γ_S : $r_S = r * H_S/H_0$
- η : 平均水位上昇量 (cm)
- $\Delta\eta$: 離岸堤による平均水位上昇量 (cm)

付表-1 離岸堤通過波の測定実験 (その 1 $i=1/30$)

離岸 の位置	造波板 の水深 h_0 (cm)	離岸堤		入射波			測点 1			測点 2			測点 3		
		h_R (cm)	h_{RT} (cm)	H_0 (cm)	T_0 (s)	H_0/L_0	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)
R 1	57.5	25	2.5	10.35	2.21	0.012	0	2.69	1.86	12.5	4.76	1.48	24.5	6.70	1.41
				9.00	2.28	0.011	"	4.07	1.95	"	4.77	1.53	"	7.24	1.48
				10.54	1.48	0.031	"	2.07	1.57	"	4.65	1.25	"	6.09	1.19
				10.60	1.58	0.028	"	2.13	1.37	"	4.46	1.01	"	5.52	1.05
				15.03	2.96	0.014	"	4.07	3.07	"	6.05	2.55	"	9.11	2.52
				15.00	2.73	0.014	"	4.53	2.86	"	5.97	2.49	"	9.51	2.11
				13.91	1.75	0.028	"	3.42	2.12	"	5.20	1.86	"	7.18	1.58
	15.08	1.89	0.027	"	2.87	2.28	"	5.84	1.98	"	7.69	1.73			
	60	27.5	0	10.33	2.21	0.014	0	2.93	1.72	15.0	4.93	1.21	27.0	7.45	1.13
				9.92	2.33	0.012	"	2.94	1.76	"	5.01	1.14	"	7.68	1.13
				11.03	1.51	0.032	"	2.65	1.57	"	4.90	1.19	"	6.53	1.17
				11.26	1.55	0.029	"	2.45	1.47	"	4.88	1.04	"	6.18	1.06
				16.42	2.94	0.012	"	4.34	3.37	"	7.77	3.07	"	9.60	2.28
				15.02	2.90	0.013	"	3.77	3.17	"	6.85	2.68	"	9.30	1.93
				14.36	1.81	0.030	"	3.46	2.40	"	6.66	2.13	"	8.30	1.50
	16.67	1.85	0.030	"	2.92	2.58	"	6.50	2.22	"	8.29	1.63			
	65	32.5	- 5	11.16	2.35	0.015	0	2.51	1.74	20.0	6.92	0.86	32.0	8.99	0.71
				10.69	2.30	0.013	"	2.59	1.75	"	7.59	0.73	"	9.23	0.61
				11.24	1.47	0.032	"	2.27	1.34	"	6.53	0.54	"	7.65	0.43
				11.34	1.56	0.030	"	2.08	1.19	"	6.67	0.43	"	7.52	0.35
				17.38	2.64	0.013	"	3.77	2.73	—	—	—	"	13.03	1.41
15.84				2.60	0.012	"	3.69	2.35	—	—	—	"	11.95	1.11	
14.91				1.80	0.029	"	2.76	1.71	—	—	—	"	9.93	0.61	
16.54	1.89	0.031	"	2.79	1.93	—	—	—	"	10.57	0.78				
R 2	57.5	20	2.5	10.35	2.21	0.012	0	2.39	1.47	12.5	3.92	1.08	19.5	5.46	0.91
				9.00	2.28	0.011	"	2.85	1.49	"	3.93	1.05	"	5.70	0.98
				10.54	1.48	0.031	"	1.97	1.18	"	3.78	0.85	"	4.97	0.81
				10.60	1.58	0.028	"	2.47	0.99	"	2.03	0.64	"	4.39	0.65
				15.03	2.96	0.014	"	3.82	2.38	"	4.43	2.07	"	6.47	2.03
				15.00	2.73	0.014	"	3.24	2.43	"	4.80	2.02	"	6.60	2.04
				13.91	1.75	0.028	"	2.20	1.77	"	4.23	1.39	"	6.34	1.39
	15.08	1.89	0.027	"	2.75	1.86	"	4.77	1.56	"	6.20	1.57			
	60	22.5	0	10.33	2.21	0.014	0	2.47	1.71	15.0	5.06	1.41	22.0	7.09	1.23
				9.92	2.33	0.012	"	2.70	1.72	"	4.81	1.40	"	7.28	1.24
				11.03	1.51	0.032	"	2.12	1.44	"	5.13	1.29	"	6.52	1.10
				11.26	1.55	0.029	"	1.69	1.18	"	4.12	1.02	"	5.59	0.88
				16.42	2.94	0.012	"	3.58	1.32	"	5.54	2.60	"	8.10	2.40
				15.02	2.90	0.013	"	3.36	2.77	"	6.16	2.42	"	8.51	2.30
				14.36	1.81	0.030	"	2.75	2.06	"	5.44	1.79	"	7.22	1.71
	16.67	1.85	0.030	"	2.76	2.14	"	6.02	1.93	"	7.66	1.86			
	65	27.5	- 5	11.16	2.35	0.015	0	2.51	1.75	20.0	6.81	1.22	27.0	8.84	0.96
				10.69	2.30	0.013	"	2.80	1.80	"	6.93	1.21	"	9.54	0.96
				11.24	1.47	0.032	"	2.34	1.46	"	6.27	1.10	"	7.49	0.83
				11.34	1.56	0.030	"	1.80	1.21	"	5.91	0.95	"	7.10	0.69
				17.39	2.64	0.013	"	4.32	2.88	"	8.24	2.24	"	10.71	1.99
15.84				2.60	0.012	"	3.68	2.92	"	9.20	2.13	"	10.40	1.90	
14.91				1.80	0.029	"	3.12	2.25	"	7.60	1.55	"	9.66	1.33	
16.54	1.89	0.031	"	3.24	2.31	"	8.62	1.64	"	9.61	1.42				

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-1 離岸堤通過波の測定実験 (その2 $i=1/30$)

離岸堤 の位置	造波板 の水深 h_o (cm)	離岸堤		入射波			測点 1			測点 2			測点 3		
		h_R (cm)	h_{RT} (cm)	H_o (cm)	T_o (s)	H_o/L_o	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)
R 3	57.5	15	2.5	10.35	2.21	0.012	0	2.10	1.72	7.5	3.57	1.38	14.5	4.91	1.19
				9.00	2.28	0.011	"	2.22	1.84	"	3.60	1.42	"	5.47	1.28
				10.54	1.48	0.031	"	1.82	1.53	"	3.68	1.19	"	4.75	0.98
				10.60	1.58	0.028	"	1.69	1.30	"	2.60	0.96	"	4.70	0.80
				15.03	2.96	0.014	"	3.23	2.61	"	3.67	2.40	"	5.27	2.26
				15.00	2.73	0.014	"	3.17	2.43	"	3.53	2.24	"	4.96	2.08
				13.91	1.75	0.028	"	2.25	1.64	"	3.41	1.43	"	4.63	1.31
	15.08	1.89	0.027	"	2.54	1.85	"	3.71	1.66	"	5.01	1.51			
	10.33	2.21	0.014	0	2.69	1.73	10	4.13	1.43	17	5.59	1.23			
	9.92	2.33	0.012	"	2.46	1.67	"	4.26	1.38	"	5.50	1.20			
	11.03	1.51	0.032	"	2.13	1.43	"	4.02	1.15	"	5.42	1.01			
	11.26	1.55	0.029	"	2.17	1.26	"	3.94	0.93	"	5.11	0.82			
	16.42	2.94	0.012	"	3.40	2.25	"	4.56	2.05	"	5.63	1.88			
	15.02	2.90	0.013	"	2.97	1.86	"	3.91	1.58	"	5.08	1.46			
	14.36	1.81	0.032	"	2.49	1.45	"	3.73	1.17	"	4.92	1.06			
	16.67	1.85	0.030	"	2.60	1.52	"	3.92	1.32	"	5.27	1.20			
	11.16	2.35	0.015	0	2.25	1.19	15	5.73	0.59	22	7.70	0.36			
	10.69	2.30	0.013	"	2.39	1.28	"	5.70	0.54	"	7.89	0.35			
	11.24	1.47	0.032	"	2.02	1.04	"	4.81	0.49	"	6.49	0.30			
	11.34	1.56	0.030	"	1.84	0.93	"	5.15	0.44	"	6.30	0.27			
	17.38	2.64	0.013	"	3.97	2.31	—	—	—	"	10.03	1.16			
	15.84	2.60	0.012	"	3.13	2.09	—	—	—	"	9.59	1.12			
	14.91	1.80	0.029	"	2.49	1.55	—	—	—	"	8.78	0.59			
	16.54	1.89	0.031	"	2.47	1.72	—	—	—	"	9.23	0.77			
R 4	57.5	10	7.5	10.35	2.21	0.012	0	1.19	0.97	2.5	0.92*	0.67	9.5	2.75	0.88
				9.00	2.28	0.011	"	1.31	1.17	"	0.94*	0.81	"	2.89	1.11
				10.54	1.48	0.031	"	1.32	1.02	"	1.00*	0.65	"	2.70	1.04
				10.60	1.58	0.028	"	1.14	0.95	"	0.92*	0.57	"	2.59	0.93
				15.03	2.96	0.014	"	2.51	1.71	"	1.46*	1.55	"	3.44	1.96
				15.00	2.73	0.014	"	1.91	1.65	"	1.16*	1.45	"	2.92	1.86
				13.91	1.75	0.028	"	1.54	1.22	"	1.05*	1.04	"	2.80	1.33
	15.08	1.89	0.027	"	1.60	1.33	"	1.07*	0.88	"	2.91	1.48			
	10.33	2.21	0.014	0	1.57	1.17	5	1.69	0.88	12	3.63	1.39			
	9.92	2.33	0.012	"	1.37	1.26	"	1.64	0.94	"	3.44	1.48			
	11.03	1.51	0.032	"	1.60	1.11	"	1.65	0.79	"	3.33	1.37			
	11.26	1.55	0.029	"	1.35	1.12	"	1.42	0.81	"	3.41	1.40			
	16.42	2.94	0.012	"	2.69	1.87	"	2.82	1.78	"	3.79	2.05			
	15.02	2.90	0.013	"	2.05	1.80	"	1.77	1.65	"	3.39	1.94			
	14.36	1.81	0.030	"	2.04	1.48	"	2.43	1.23	"	3.42	1.51			
	16.67	1.85	0.030	"	1.97	1.56	"	1.93	1.32	"	3.47	1.62			
	11.16	2.35	0.015	0	2.68	1.90	10	4.71	1.50	17	6.72	1.54			
	10.69	2.30	0.013	"	2.57	1.97	"	4.60	1.57	"	6.84	1.63			
	11.24	1.47	0.032	"	2.58	1.70	"	4.64	1.41	"	5.92	1.51			
	11.34	1.56	0.030	"	2.03	1.44	"	4.13	1.16	"	5.26	1.25			
	17.38	2.64	0.013	"	3.91	2.80	"	5.15	2.49	"	6.96	2.38			
	15.84	2.60	0.012	"	3.31	2.64	"	5.14	2.36	"	6.72	2.22			
	14.91	1.80	0.029	"	2.98	2.29	"	5.33	1.92	"	6.55	1.83			
	16.54	1.89	0.031	"	2.75	2.28	"	5.16	1.97	"	6.27	1.87			

*波高計にノイズが多く入ったため $H_{1/3}$ が過小の値となっている。

付表-1 離岸堤通過波の測定実験 (その3 $i=1/10$)

離岸堤 の位置	造波板 の水深 h_0 (cm)	離岸堤		入射波			測点 1			測点 2			測点 3			
		h_R (cm)	h_{RT} (cm)	H_0 (cm)	T_0 (s)	H_0/L_0	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)	h (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	η (cm)	
R 1	57.5	25	2.5	12.1	2.47	0.013	2.5	7.63	0.96	12.5	8.16	1.20	22.5	7.38	1.10	
				12.0	2.50	0.012	"	7.89	0.97	"	7.96	1.28	"	7.48	1.16	
				11.7	1.46	0.035	"	6.75	0.76	"	6.46	1.06	"	6.53	0.92	
				10.7	1.45	0.033	"	6.57	0.57	"	5.40	0.91	"	5.92	0.73	
				15.0	1.72	0.033	"	7.76	1.36	"	8.24	1.60	"	8.10	1.39	
				15.3	1.71	0.033	"	8.72	1.56	"	8.73	1.81	"	8.67	1.58	
				15.5	3.04	0.011	"	10.33	2.02	"	11.67	2.36	"	10.16	2.12	
					16.1	2.83	0.013	"	10.24	1.83	"	11.19	0.94	"	9.68	2.02
		60	27.5	0	11.8	2.38	0.013	5	9.56	1.04	15	8.29	1.31	25	7.76	1.10
	12.0				2.40	0.013	"	9.44	0.99	"	8.65	1.25	"	8.01	1.03	
	11.8				1.50	0.034	"	7.94	0.87	"	7.17	1.10	"	6.93	0.86	
	11.0				1.49	0.032	"	7.79	0.65	"	6.77	0.98	"	6.39	0.71	
	15.0				1.80	0.030	"	9.30	1.29	"	8.92	1.47	"	8.37	1.29	
	15.4				1.77	0.032	"	9.84	1.53	"	9.80	1.70	"	9.04	1.49	
	16.9				3.34	0.010	"	11.59	1.90	"	13.16	2.21	"	10.99	1.94	
					16.0	2.91	0.012	"	11.62	1.57	"	11.32	1.89	"	9.99	1.64
		65	32.5	-5	12.2	2.23	0.016	10	11.45	0.58	20	9.90	0.68	30	10.03	0.58
	12.0				2.36	0.014	"	11.24	0.52	"	9.68	0.69	"	9.36	0.58	
	12.2				1.52	0.034	"	9.78	0.38	"	8.89	0.52	"	8.75	0.37	
	11.9				1.51	0.033	"	9.19	0.30	"	8.24	0.49	"	8.41	0.33	
	16.1				1.71	0.035	"	11.15	0.54	"	10.66	0.76	"	10.98	0.63	
16.9	1.74				0.036	"	12.40	0.75	"	12.02	0.93	"	11.28	0.82		
17.7	3.18				0.011	"	16.16	0.95	"	15.92	1.18	"	14.26	1.12		
				17.0	2.98	0.012	"	15.48	0.81	"	14.71	1.09	"	13.84	1.01	
R 2	57.5	15	2.5	10.75	2.20	0.014	0	5.18	1.77	2.5	7.14	1.16	12.5	6.70	1.32	
				10.67	2.39	0.012	"	5.43	1.93	"	7.05	1.18	"	7.00	1.18	
				11.01	1.55	0.029	"	4.36	1.67	"	6.57	0.97	"	6.63	0.98	
				10.33	1.54	0.028	"	3.46	1.32	"	6.04	0.80	"	6.00	0.88	
				14.16	1.76	0.029	"	5.77	2.19	"	7.13	1.80	"	7.18	1.63	
				14.38	1.76	0.030	"	5.68	2.35	"	7.48	2.07	"	7.99	1.89	
				14.24	2.90	0.011	"	8.25	2.94	"	8.03	2.32	"	8.41	2.10	
					14.08	2.82	0.011	"	7.56	2.89	"	8.38	2.54	"	6.91	2.28
		60	17.5	0	11.84	2.25	0.015	0	4.79	1.64	5	8.56	1.39	15	7.58	1.27
	11.72				2.22	0.015	"	4.53	1.61	"	7.49	1.25	"	7.32	1.16	
	12.07				1.53	0.033	"	3.84	1.39	"	6.53	1.03	"	7.05	0.93	
	11.22				1.52	0.031	"	3.75	1.35	"	6.64	0.94	"	6.75	0.87	
	14.71				1.75	0.031	"	4.71	2.06	"	7.91	1.67	"	7.39	1.43	
	15.64				1.79	0.031	"	5.14	2.45	"	8.33	2.04	"	7.95	1.66	
	16.14				2.94	0.012	"	8.27	2.97	"	10.53	1.92	"	11.50	1.79	
					15.00	2.86	0.012	"	6.38	2.61	"	9.45	2.28	"	8.31	1.93
		65	22.5	-5	12.2	2.25	0.016	0	4.95	2.12	10	10.48	1.08	20	8.54	0.88
	12.0				2.37	0.014	"	4.72	2.04	"	10.20	0.92	"	8.75	0.76	
	12.0				1.50	0.034	"	3.75	1.71	"	8.75	0.69	"	8.02	0.52	
	11.3				1.48	0.033	"	3.70	1.60	"	8.30	0.63	"	7.71	0.46	
	15.5				1.67	0.036	"	4.91	2.27	"	9.78	1.04	"	9.79	0.81	
17.1	1.86				0.032	"	5.66	2.63	"	10.98	1.30	"	10.27	1.11		
17.4	3.02				0.012	"	8.87	3.23	"	14.39	1.14	"	16.18	1.04		
				16.2	2.90	0.012	"	7.45	3.14	"	12.69	1.67	"	12.37	1.21	

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-2(1) 越波流量実験結果 (55年度)

その1 $i=1/30$

その2 $i=1/30$

その3 $i=1/30$

護岸		離岸堤		入射波				越波量				護岸		離岸堤		入射波				越波量				護岸		離岸堤		入射波				越波量							
h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	(cm ³ /s) X 10 ⁻⁷	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	(cm ³ /s) X 10 ⁻⁷	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	(cm ³ /s) X 10 ⁻⁷	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	(cm ³ /s) X 10 ⁻⁷	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	(cm ³ /s) X 10 ⁻⁷
12.5	9.75	—	—	10.56	2.45	6.47	4.3	3	15	11	22.5	0	11.70	2.34	3.62	2.0	3	2.5	9.75	20	2.5	10.43	2.23	0.0946	6.3	5	2.5	9.75	20	2.5	10.43	2.23	0.0946	6.3	5				
				11.11	2.26	7.24	4.4	3					10.92	2.44	3.97	2.5	3					10.72	2.39	0.0807	5.2	5					10.72	2.39	0.0807	5.2	5				
				12.30	1.50	4.04	2.1	3					11.16	1.45	0.489	3.0	4					11.65	1.51	0.0501	2.8	5					11.65	1.51	0.0501	2.8	5				
				10.05	1.41	3.76	2.7	3					9.77	1.49	0.348	2.6	4					10.13	1.47	0.0278	1.9	5					10.13	1.47	0.0278	1.9	5				
				14.75	2.87	10.60	4.2	3					15.74	2.98	9.65	3.5	3					15.24	2.72	0.529	2.0	4					15.24	2.72	0.529	2.0	4				
				13.71	2.88	9.93	4.4	3					14.18	2.88	9.65	3.8	3					14.81	2.90	0.279	1.1	4					14.81	2.90	0.279	1.1	4				
				13.62	1.69	6.53	2.9	3					13.87	1.72	2.51	1.1	3					14.43	1.67	0.12	4.9	5					14.43	1.67	0.12	4.9	5				
				16.25	1.74	7.72	2.7	3					15.57	1.72	2.71	1.0	3					15.10	1.71	0.195	7.5	5					15.10	1.71	0.195	7.5	5				
12.5	9.75	25	2.5	10.05	2.17	2.92	2.1	3	15	11	17.5	0	11.03	2.34	3.13	1.9	3	2.5	9.75	10	7.5	10.52	2.36	0.668	4.4	5	2.5	9.75	10	7.5	10.52	2.36	0.668	4.4	5				
				10.91	2.38	3.06	1.9	3					10.74	2.48	3.69	2.4	3					10.33	2.36	0.0418	2.8	5					10.33	2.36	0.0418	2.8	5				
				11.70	1.51	0.69	4.0	4					11.63	1.49	0.905	5.2	4					10.99	1.48	0.0362	2.2	5					10.99	1.48	0.0362	2.2	5				
				9.78	1.49	0.42	3.0	4					9.71	1.44	0.696	5.2	4					9.84	1.43	0.0362	2.6	5					9.84	1.43	0.0362	2.6	5				
				15.42	3.17	12.80	4.8	3					16.09	3.11	8.14	2.8	3					15.60	3.02	0.139	5.1	5					15.60	3.02	0.139	5.1	5				
				12.66	2.94	8.91	4.5	3					14.50	2.75	5.01	2.0	3					14.09	2.94	0.0974	4.2	5					14.09	2.94	0.0974	4.2	5				
				13.41	1.74	2.64	1.2	3					13.86	1.71	2.85	1.2	3					14.96	1.74	0.0557	2.2	5					14.96	1.74	0.0557	2.2	5				
				14.69	1.77	4.24	1.7	3					15.81	1.75	3.69	1.2	3					15.19	1.74	0.0779	3.0	5					15.19	1.74	0.0779	3.0	5				
12.5	9.75	20	2.5	10.92	2.33	2.44	1.5	3	15	7.25	27.5	0	10.56	2.23	6.47	4.3	3	10	9.75	—	—	11.00	2.21	4.44	2.7	3	10	9.75	—	—	11.00	2.21	4.44	2.7	3				
				10.70	2.34	3.27	2.1	3					10.87	2.33	6.61	4.2	3					10.99	2.14	4.21	2.6	3					10.99	2.14	4.21	2.6	3				
				11.31	1.48	0.905	5.0	4					11.64	1.50	2.44	1.4	3					12.36	1.45	2.97	1.5	3					12.36	1.45	2.97	1.5	3				
				9.83	1.49	0.348	3.0	4					9.61	1.46	1.11	8.4	4					10.81	1.46	2.78	1.8	3					10.81	1.46	2.78	1.8	3				
				14.56	2.92	9.35	3.8	3					13.63	3.00	20.0	9.0	3					15.33	2.99	7.06	2.7	3					15.33	2.99	7.06	2.7	3				
				13.91	2.96	7.79	3.4	3					13.50	2.81	13.36	6.1	3					15.10	2.93	4.82	1.9	3					15.10	2.93	4.82	1.9	3				
				13.44	1.72	2.09	1.0	3					14.31	1.70	6.68	2.8	3					14.88	1.73	4.33	1.7	3					14.88	1.73	4.33	1.7	3				
				15.04	1.76	2.78	1.1	3					14.93	1.70	7.36	2.9	3					16.28	1.73	5.58	1.9	3					16.28	1.73	5.58	1.9	3				
12.5	9.75	15	2.5	11.43	2.28	1.53	9.0	4	15	7.25	22.5	0	11.39	2.26	6.05	3.6	3	10	9.75	22.5	-5	11.68	2.13	3.67	2.1	3	10	9.75	22.5	-5	11.68	2.13	3.67	2.1	3				
				10.24	2.31	2.3	1.6	3					11.01	2.35	7.38	4.6	3					10.92	2.28	3.57	2.2	3					10.92	2.28	3.57	2.2	3				
				11.81	1.51	0.63	3.5	4					11.28	1.47	1.81	1.1	3					12.30	1.50	1.34	7.0	4					12.30	1.50	1.34	7.0	4				
				9.99	1.53	0.53	2.5	4					9.71	1.48	0.97	7.2	4					10.91	1.46	1.43	9.0	4					10.91	1.46	1.43	9.0	4				
				15.11	3.18	5.29	2.0	3					15.80	3.02	17.26	6.2	3					17.76	3.19	8.19	2.5	3					17.76	3.19	8.19	2.5	3				
				14.02	2.85	3.27	1.4	3					14.22	2.94	16.14	6.8	3					15.45	2.83	6.02	2.2	3					15.45	2.83	6.02	2.2	3				
				13.44	1.71	1.67	7.7	4					14.06	1.75	5.29	2.3	3					15.90	1.75	4.03	1.4	3					15.90	1.75	4.03	1.4	3				
				15.29	1.72	2.51	9.5	4					15.78	1.69	9.46	3.4	3					15.99	1.79	4.60	1.6	3					15.99	1.79	4.60	1.6	3				
15	11	—	—	11.55	2.28	7.79	4.5	3	15	7.25	17.5	0	11.07	2.34	6.82	4.2	3	10	9.75	17.5	0	11.11	2.22	2.00	1.2	3	10	9.75	17.5	0	11.11	2.22	2.00	1.2	3				
				10.04	2.20	8.44	6.0	3					10.65	2.38	7.93	5.2	3					11.59	2.28	2.52	1.4	3					11.59	2.28	2.52	1.4	3				
				11.37	1.46	3.27	1.9	3					11.94	1.48	3.34	1.8	3					12.89	1.52	0.757	3.7	4					12.89	1.52	0.757	3.7	4				
				10.00	1.40	3.20	2.3	3					9.80	1.41	2.30	1.7	3					9.92	1.49	0.568	4.1	4					9.92	1.49	0.568	4.1	4				
				15.60	2.84	11.83	4.3	3					14.32	2.94	12.80	5.3	3					17.03	2.96	6.27	2.0	3					17.03	2.96	6.27	2.0	3				
				14.40	2.70	9.35	3.9	3					14.96	2.70	10.16	4.0	3					15.13	2.91	4.52	1.7	3					15.13	2.91	4.52	1.7	3				
				15.07	1.70	7.58	2.9	3					13.75	1.72	7.38	3.3	3					15.32	1.69	2.56	9.6	4					15.32	1.69	2.56	9.6	4				
				15.87	1.72	7.86	2.8	3					15.57	1.77	8.56	3.1	3					15.92	1.81	2.44	8.7	4					15.92	1.81	2.44	8.7	4				
15	11	27.5	0	10.51	2.25	3.55	2.4	3	2.5	9.75	—	—	10.47	2.32	0.153	1.0	4	10	6.0	—	—	10.70	2.06	6.72	4.3	3	10	6.0	—	—	10.70	2.06	6.72	4.3	3				
				11.02	2.30	3.48	2.2	3					10.71	2.44	0.0507	5.2	5					11.33	2.33	6.88	4.1	3					11.33	2.33	6.88	4.1	3				
				11.31	1.49	0.905	5.4	4					11.37	1.50	0.067	4.0	5					12.20	1.51	6.63	3.5	3					12.20	1.51	6.63	3.5	3				
				9.82	1.43	0.412	3.0	4					9.61	1.48	0.056	4.2	5					11.35	1.51	6.14	3.6	3					11.35	1.51	6.14	3.6	3				
				15.72	3.00	14.47	5.2	3					15.65	3.21	0.854	3.1	4					17.35	3.14	9.67	3.0	3					17.35	3.14	9.67	3.0	3				
				13.69	2.78	7.89	3.5	3					13.76	2.91	0.404	1.8	4					15.85	2.87	9.24	3.3	3					15.85	2.87	9.24	3.3	3				
				14.66	1.70	2.64	1.1	3					13.79	1.66	0.0333	3.7	5					16.19	1.79	8.34	2.9	3					16.19	1.79	8.34	2.9	3				
				15.39	1.71	3.27	1.2	3					15.13	1.71	0.153	5.9	5					15.38	1.79	9.01	3.4	3					15.38	1.79	9.01	3.4	3				

付表-2(1) 越波流量実験結果
(55年度) その4 $i=1/30$

付表-2(1) 越波流量実験結果 (55年度)
その5 $i=1/10$

その6 $i=1/10$

護岸				入射波				越波量				護岸				入射波				越波量				護岸				入射波				越波量																																																											
h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}	h	h _c	h _R	h _{RR}	H ₀	T ₀	q	q/√2gH ₀ ^{3/2}																																																				
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	X*10 ⁻³	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	X*10 ⁻³	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	X*10 ⁻³	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	X*10 ⁻³	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm ³ /s)	X*10 ⁻³																																																				
10	6.0	22.5	-5	12.01	2.23	7.74	4.2	3	15	7.25	—	—	10.32	1.97	13.13	8.9	3	2.5	9.75	15	2.5	9.69	2.43	0.782	5.86	4	10.20	2.36	0.835	5.79	4	10.80	1.46	0.223	1.42	4	9.80	1.54	0.111	8.17	5	14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3																														
				11.30	2.35	7.47	4.4	3					11.52	1.94	12.93	7.5	3					10.20	2.36	0.835	5.79	4																																				10.80	1.46	0.223	1.42	4	14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3					
				12.40	1.48	4.37	2.3	3					11.27	1.46	8.17	4.9	3					10.80	1.46	0.223	1.42	4																																				14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
				10.95	1.51	4.25	2.6	3					10.18	1.47	5.44	3.8	3					9.80	1.54	0.111	8.17	5																																				14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
				18.35	3.25	12.57	3.6	3																																																						14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
				16.09	2.80	12.06	4.2	3																																																						14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
				16.58	1.73	9.05	3.0	3																																																						14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
				16.01	1.77	11.41	4.0	3																																																						14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
				11.61	2.18	5.74	3.5	3																																																						14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
				11.29	2.29	5.83	3.5	3																																																						14.58	1.74	0.946	3.84	4	14.43	1.80	1.98	8.16	4	15.21	3.06	8.60	3.27	3	14.00	2.70	7.92	3.42	3										
10	6.0	17.5	0	12.57	1.53	3.31	1.7	3	15	7.25	27.5	0	10.56	2.22	4.78	3.1	3	10	13.5	—	—	12.43	2.14	1.95	1.01	3	12.14	2.09	1.14	6.09	4	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																														
				10.21	1.49	3.01	2.1	3					11.10	2.46	4.39	2.7	3					12.14	2.09	1.14	6.09	4																																				12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3
				17.16	2.92	9.24	2.9	3					10.93	1.47	4.02	2.5	3					12.14	2.09	1.14	6.09	4																																				12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3
				15.80	2.79	9.12	3.3	3					9.93	1.46	2.85	2.1	3					12.85	1.50	0.212	1.04	4																																				11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3					
				15.58	1.75	6.22	2.3	3					15.73	1.74	11.04	4.0	3					12.85	1.50	0.212	1.04	4																																				11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3					
				16.01	1.74	5.20	1.8	3					14.19	1.70	11.25	4.8	3					12.85	1.50	0.212	1.04	4																																				11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3					
													15.68	3.04	22.91	8.3	3					12.85	1.50	0.212	1.04	4																																				11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3					
													14.80	2.61	14.58	5.8	3					14.93	2.57	7.24	2.83	3																																				12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3
													10.19	1.96	8.00	5.6	3					14.93	2.57	7.24	2.83	3																																				12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3
													11.48	2.03	7.68	4.5	3					14.93	2.57	7.24	2.83	3																																				12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3
					11.22	1.42	4.87	2.9	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					10.83	1.48	3.96	2.5	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					15.19	1.72	14.05	5.4	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					14.34	1.77	12.15	5.1	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					15.45	2.26	22.08	8.2	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					13.80	2.19	22.86	1.0	2	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					10.55	2.22	2.19	1.4	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					10.63	2.25	2.56	1.7	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					10.76	1.48	1.41	9.0	4	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.59	1.77	2.33	7.13	4	14.36	2.60	10.76	4.47	3	14.93	2.57	7.24	2.83	3																																															
					9.88	1.48	0.98	7.1	4	14.93	2.57	7.24	2.83	3	12.85	1.50	0.212	1.04	4	11.20	1.41	0.0862	5.19	5	14.24	1.65	1.47	6.18	4	17.																																																													

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-2(1) 越波流量実験結果
(55年度) その7 $i=1/10$

付表-2(2) 越波流量実験結果 (56年度)

その1 $i=1/10$

その2 $i=1/10$

護岸				入射波				越波量				護岸				入射波				越波量				護岸				入射波				越波量							
h	h_c	h_R	h_{RR}	H_0	T_0	q	$q/\sqrt{2gH_0^3}$	h	h_c	h_R	h_{RR}	H_0	T_0	q	$q/\sqrt{2gH_0^3}$	h	h_c	h_R	h_{RR}	H_0	T_0	q	$q/\sqrt{2gH_0^3}$	h	h_c	h_R	h_{RR}	H_0	T_0	q	$q/\sqrt{2gH_0^3}$								
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm^2/s)	$\times 10^{-3}$	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm^2/s)	$\times 10^{-3}$	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm^2/s)	$\times 10^{-3}$	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(s)	(cm^2/s)	$\times 10^{-3}$								
10	9.75	22.5	-5	12.61	2.19	6.03	3.04	3	-15	15	—	—	9.42	2.37	0.56	4.38	4	-5	11.9	—	—	10.10	2.43	0.43	3.03	4	(捨石)	—	—	9.58	2.50	0.54	4.11	4					
				11.58	2.17	4.95	2.84	3					8.88	2.37	0.25	2.13	4					10.44	1.55	0	0	6				14.97	3.04	17.81	6.95	3	10.56	1.48	0.01	6.58	6
				12.62	1.50	3.01	1.52	3					10.19	1.46	0.01	6.94	6					10.44	1.55	0	0	6				14.97	3.04	17.81	6.95	3	10.56	1.48	0.01	6.58	6
				10.51	1.48	2.82	1.87	3					10.40	1.53	0.01	6.73	6					10.44	1.55	0	0	6				14.97	3.04	17.81	6.95	3	10.56	1.48	0.01	6.58	6
				14.28	1.65	7.00	2.93	3					13.42	2.81	4.55	2.09	3					14.78	1.78	0.54	2.15	4				15.01	1.84	0.71	2.76	4	15.98	1.91	1.64	5.80	4
				16.41	1.77	8.98	3.05	3					12.91	3.07	5.26	2.56	3					14.35	2.93	8.78	3.65	3				15.01	1.84	0.71	2.76	4	15.98	1.91	1.64	5.80	4
				16.26	2.83	18.65	6.42	3					14.78	1.78	0.54	2.15	4					14.35	2.93	8.78	3.65	3				15.01	1.84	0.71	2.76	4	15.98	1.91	1.64	5.80	4
				14.43	2.58	13.29	5.48	3					15.47	1.84	0.60	2.23	4					14.35	2.93	8.78	3.65	3				15.01	1.84	0.71	2.76	4	15.98	1.91	1.64	5.80	4
				10.83	2.16	6.82	4.3	3					9.75	2.34	1.38	1.05	3					10.29	2.37	2.76	1.89	3				10.29	2.37	2.76	1.89	3	10.29	2.37	2.76	1.89	3
				10.28	2.00	9.17	6.3	3					9.47	2.31	1.48	1.15	3					9.56	2.41	2.88	2.20	3				9.56	2.41	2.88	2.20	3	9.56	2.41	2.88	2.20	3
12.5	9.75	—	—	11.33	1.46	5.22	3.1	3	-10	10	17.5	0	9.47	2.31	1.48	1.15	3	0	6.9	—	—	10.72	1.47	0.71	4.57	4	(捨石)	—	—	10.66	1.49	0.63	4.09	4					
				9.63	1.43	5.18	3.9	3					10.41	1.46	0.06	4.04	5					10.72	1.47	0.71	4.57	4				10.66	1.49	0.63	4.09	4					
				14.70	1.73	10.59	4.2	3					10.46	1.50	0.09	6.01	5					10.66	1.49	0.63	4.09	4				10.66	1.49	0.63	4.09	4					
				14.12	1.64	10.58	4.5	3					14.33	2.69	12.44	4.01	3					14.82	2.93	21.85	8.65	3				14.82	2.93	21.85	8.65	3					
				15.74	2.56	21.13	7.6	3					13.48	2.80	9.62	4.39	3					14.85	2.94	23.70	9.35	3				14.85	2.94	23.70	9.35	3					
				12.74	2.37	17.54	8.7	3					14.73	1.77	1.60	6.40	4					15.24	1.80	5.43	2.06	3				15.24	1.80	5.43	2.06	3					
				10.64	2.32	2.09	1.4	3					15.78	1.81	2.18	7.86	4					16.40	1.88	7.88	2.68	3				16.40	1.88	7.88	2.68	3					
				10.81	2.44	2.43	1.5	3					9.68	2.36	2.83	2.12	3					9.97	2.32	1.48	1.06	3				9.97	2.32	1.48	1.06	3					
				10.54	1.43	1.42	9.4	4					9.31	2.54	2.99	2.38	3					9.76	2.39	2.33	1.73	3				9.76	2.39	2.33	1.73	3					
				9.60	1.46	0.88	6.7	4					10.47	1.47	0.45	3.00	4					10.65	1.47	0.23	1.49	4				10.65	1.47	0.23	1.49	4					
15.04	1.74	5.32	2.1	3	10.72	1.52	0.16	1.03	4	10.69	1.49	0.30	1.94	4	10.69	1.49	0.30	1.94	4																				
13.65	1.75	6.91	3.1	3	14.99	2.74	13.40	5.22	3	14.96	2.80	15.13	5.91	3	14.96	2.80	15.13	5.91	3																				
15.38	2.91	16.70	6.3	3	14.11	2.97	13.83	5.89	3	14.79	2.89	14.38	5.71	3	14.79	2.89	14.38	5.71	3																				
13.90	2.72	11.23	4.9	3	14.77	1.85	3.29	1.31	3	15.35	1.78	3.11	1.17	3	15.35	1.78	3.11	1.17	3																				
11.02	1.99	3.22	2.0	3	15.91	1.82	3.91	1.39	3	15.94	1.80	5.12	1.82	3	15.94	1.80	5.12	1.82	3																				
10.41	1.97	3.81	2.6	3	9.83	2.35	0.07	5.13	5	9.76	2.34	2.32	1.72	3	9.76	2.34	2.32	1.72	3																				
11.54	1.48	2.35	1.4	3	9.36	2.50	0.13	1.03	4	9.51	2.46	0.76	2.13	3	9.51	2.46	0.76	2.13	3																				
9.83	1.41	2.17	1.6	3	10.48	1.47	0	0	4	10.46	1.47	0.71	4.74	4	10.46	1.47	0.71	4.74	4																				
14.25	1.65	5.15	2.2	3	10.59	1.53	0	0	4	10.54	1.48	0.81	5.35	4	10.54	1.48	0.81	5.35	4																				
13.85	1.73	7.01	3.1	3	15.27	2.87	3.53	1.34	3	14.98	2.81	17.57	6.85	3	14.98	2.81	17.57	6.85	3																				
14.48	2.42	20.0	8.2	3	14.30	2.96	2.80	1.17	3	14.90	3.01	17.67	6.94	3	14.90	3.01	17.67	6.94	3																				
13.96	2.23	13.42	5.8	3	14.90	1.83	0.16	6.28	5	15.29	1.76	4.78	1.81	3	15.29	1.76	4.78	1.81	3																				
10.49	2.34	0.868	5.8	4	15.61	1.85	0.29	1.06	4	16.20	1.78	6.49	2.25	3	16.20	1.78	6.49	2.25	3																				
10.56	2.42	1.01	6.6	4	9.74	2.33	0.27	2.01	4	10.13	2.35	3.88	2.72	3	10.13	2.35	3.88	2.72	3																				
10.06	1.48	0.456	3.2	4	9.81	2.37	0.29	2.13	4	9.44	2.40	3.98	3.10	3	9.44	2.40	3.98	3.10	3																				
9.42	1.46	0.245	1.9	4	9.91	1.47	0	0	4	10.43	1.46	1.42	9.52	4	10.43	1.46	1.42	9.52	4																				
14.87	1.74	2.30	9.1	4	10.56	1.50	0.01	6.58	6	10.56	1.49	1.54	1.01	3	10.56	1.49	1.54	1.01	3																				
13.93	1.74	3.82	1.7	3	14.79	2.91	7.57	3.01	3	15.17	2.93	20.96	8.01	3	15.17	2.93	20.96	8.01	3																				
17.22	2.80	7.74	2.4	3	13.92	2.92	5.37	2.34	3	14.69	2.94	21.41	8.59	3	14.69	2.94	21.41	8.59	3																				
12.78	2.71	5.02	2.5	3	15.00	1.76	0.48	1.87	4	14.83	1.81	6.64	2.63	3	14.83	1.81	6.64	2.63	3																				
12.5	13.5	25	2.5	10.21	2.44	0.84	5.82	4	-5	11.9	—	—	9.62	2.54	0.97	7.34	4	0	6.9	—	—	10.19	2.32	0.67	4.65	4	(捨石)	—	—	9.63	2.35	0.78	5.90	4					
				10.54	1.48	0.07	4.62	5					10.82	1.49	0.17	1.08	4					10.82	1.49	0.17	1.08	4													
				10.64	1.55	0.02	1.30	5					10.37	1.49	0.17	1.15	4					10.37	1.49	0.17	1.15	4													
				15.01	2.97	16.00	6.21	3					15.50	2.93	11.52	4.26	3					15.50	2.93	11.52	4.26	3													
				14.00	2.97	8.91	3.84	3					15.34	2.90	8.78	3.30	3					15.34	2.90	8.78	3.30	3													
				15.32	1.85	1.30	4.90	4					14.94	1.78	1.88	7.35	4					14.94	1.78	1.88	7.35	4													
				16.04	1.89	1.89	6.65	4					15.37	1.80	2.72	1.02	3					15.37	1.80	2.72	1.02	3													
				10.21	2.44	0.84	5.82	4					10.21	2.44	0.84	5.82	4					10.19	2.32	0.67	4.65	4				10.19	2.32	0.67	4.65	4					
				9.62	2.54	0.97	7.34	4					9.62	2.54	0.97	7.34	4					9.63	2.35	0.78	5.90	4				9.63	2.35	0.78	5.90	4					
				10.54	1.48	0.07	4.62	5					10.54	1.48	0.07	4.62	5					10.82	1.49	0.17	1.08	4				10.82	1.49	0.17	1.08	4					
10.64	1.55	0.02	1.30	5	10.64	1.55	0.02	1.30	5	10.37	1.49	0.17	1.15	4	10.37	1.49	0.17	1.15	4																				
15.01	2.97	16.00	6.21	3	15.01	2.97	16.00	6.21	3	15.50	2.93	11.52	4.26	3	15.50	2.93	11.52	4.26	3																				
14.00	2.97	8.91	3.84	3	14.00	2.97	8.91	3.84	3	15.34	2.90	8.78	3.30	3	15.34	2.90	8.78	3.30	3																				
15.32	1.85	1.30	4.90																																				

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-2(2) 越波流量実験結果 (56年度)

その6 $i=1/30$

その7 $i=1/30$

設 岸		離岸堤		入射波				越波量				設 岸		離岸堤		入射波				越波量														
h (cm)	h_c (cm)	h_R (cm)	h_{RR} (cm)	H_0 (cm)	T_0 (s)	q ($\frac{cm^3}{sec}$)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $\times 10^{-9}$	h (cm)	h_c (cm)	h_R (cm)	h_{RR} (cm)	H_0 (cm)	T_0 (s)	q ($\frac{cm^3}{sec}$)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $\times 10^{-9}$	h (cm)	h_c (cm)	h_R (cm)	h_{RR} (cm)	H_0 (cm)	T_0 (s)	q ($\frac{cm^3}{sec}$)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $\times 10^{-9}$											
0	6.9 (捨石)	17.5	0					15	10.7 (捨石 + ブロック)	—	—	9.32	2.26	0.48	3.87	4					9.28	2.50	0.65	5.19	4									
0	6.9	17.5	0	15.12	2.98	1.01	3.88	4	15	10.7 (捨石 + ブロック)	27.5	0	9.90	2.33	0.08	5.80	5					9.08	2.29	0.17	1.40	4								
				14.67	2.88	0.74	2.97	4																										
				15.58	1.77	0.03	1.10	5																										
				15.95	1.84	0.13	4.61	5																										
				9.60	2.44	0.09	6.83	5																										
				11.01	1.50	0.10	6.18	5																										
0	6.9	—	—	10.80	1.52	0.12	7.64	5	15	10.7 (捨石 + ブロック)	27.5	0	14.51	2.82	2.40	9.81	4					13.34	2.83	1.81	8.39	4								
				15.39	3.02	1.52	5.69	4																										
				14.99	2.89	1.26	4.90	4																										
				15.74	1.76	0.30	1.09	4																										
				16.25	1.84	0.44	1.52	4																										
				9.87	2.30	0.09	6.56	5																										
0	6.9	—	—	9.28	2.44	0.26	2.08	4	15	10.7	27.5	0	9.13	2.28	1.78	1.46	3					9.05	2.32	1.73	1.44	3								
				10.70	1.48	0.14	9.03	5																										
				10.64	1.49	0.16	1.04	4																										
				15.21	3.00	1.90	7.23	4																										
				14.75	3.03	1.83	7.30	4																										
				15.31	1.76	0.64	2.41	4																										
5	9.5	—	—	15.93	1.79	0.57	2.02	4	15	10.7 (直立 消波)	—	—	9.13	2.28	1.78	1.46	3					9.05	2.32	1.73	1.44	3								
				9.65	2.27	0.60	4.52	4																										
				9.56	2.35	0.59	4.51	4																										
				10.67	1.48	0.63	4.08	4																										
				10.72	1.49	0.68	4.38	4																										
				15.34	2.95	1.69	6.35	4																										
5	9.5 (捨石)	—	—	14.60	2.88	1.64	6.64	4	15	10.7	—	—	10.08	1.50	0.21	1.48	4					14.75	2.78	4.38	1.75	3								
				15.39	1.75	1.13	4.23	4																										
				15.93	1.81	1.32	4.69	4																										
				9.84	2.34	0.21	1.54	4																										
				9.58	2.36	0.24	1.83	4																										
				10.67	1.48	0.18	1.17	4																										
5	9.5 (捨石)	—	—	10.65	1.50	0.23	1.49	4	15	10.7	—	—	10.47	1.50	4.12	2.75	3					15.98	2.73	13.10	4.63	3								
				15.27	2.97	0.91	3.44	4																										
				14.37	2.84	1.01	4.19	4																										
				15.40	1.75	0.51	1.91	4																										
				16.09	1.84	0.48	1.68	4																										
				9.74	2.00	7.79	5.79	3																										
5	9.5 (捨石 + ブロック)	—	—	9.51	2.15	8.08	6.22	3	15	10.7 (直立 消波)	27.5	0	8.98	2.30	0.27	2.27	4					8.91	2.41	0.21	1.78	4								
				10.44	1.41	4.32	2.89	3																										
				10.47	1.50	4.12	2.75	3																										
				15.98	2.73	13.10	4.63	3																										
				13.78	2.69	18.35	8.10	3																										
				15.39	1.70	11.02	4.12	3																										
5	9.5 (捨石 + ブロック)	—	—	15.99	1.83	12.89	4.55	3	15	10.7 (直立 消波)	27.5	0	14.41	2.81	3.01	1.74	3					12.97	2.79	2.47	1.09	3								
				13.45	1.76	0.39	1.79	4																										
				16.18	1.84	0.02	6.94	6																										
				15.38	1.83	0.80	3.00	4																										
				15.38	1.83	0.80	3.00	4																										
				15.38	1.83	0.80	3.00	4																										

付表-3(1) 合田による越波流量実験結果 (港研報告14-4)

a) 直立護岸 ($i=1/30$)

h (cm)	$T_o=1.7\text{sec}$					h (cm)	$T_o=2.3\text{sec}$					h (cm)	$T_o=2.8\text{sec}$				
	h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X * 10^{-9}$	X		h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X * 10^{-9}$	X		h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X * 10^{-9}$	X
22.5	7.0	15.3	29.49	1.11	2	22.5	6.5	12.9	36.14	1.76	2	22.5	7.0	13.2	50.65	2.39	2
	15.5	15.3	17.94	6.77	3								10.5	13.1	33.69	1.60	2
	14.8	15.3	9.32	3.52	3		14.1	13.3	10.60	4.94	3		14.8	13.1	24.04	1.14	2
	18.8	15.2	4.17	1.59	3								18.8	12.9	12.67	6.18	3
	22.5	15.2	2.42	9.22	4		21.9	12.3	2.86	1.50	3		22.5	12.8	8.65	4.27	3
	25.7	16.0	1.273	4.49	4								25.7	12.8	5.63	2.78	3
15.0	7.3	15.3	21.70	8.19	3	15.0	7.0	12.5	23.77	1.21	2	15.0	7.3	13.6	24.40	1.10	2
	11.0	15.2	9.43	3.59	3								11.0	13.3	12.29	5.72	3
	14.9	15.3	4.74	1.79	3		14.8	12.2	6.51	3.45	3		14.9	13.1	7.05	3.36	3
	18.6	15.0	1.924	7.48	4								18.6	13.1	2.64	1.26	3
	22.4	14.5	0.950	3.89	4		22.2	12.7	1.56	7.79	4		22.4	13.1	1.336	6.36	4
	26.1	14.9	0.569	2.23	4								26.1	13.2	0.605	2.85	4
10.0	7.5	16.1	11.39	3.98	3	10.0	7.5	13.4	11.60	5.34	3	10.0	7.5	15.3	14.79	5.47	3
	11.3	15.9	4.47	1.59	3								11.3	14.9	4.99	1.96	3
	15.0	15.6	1.386	5.08	4		15.0	12.5	2.39	1.22	3		15.0	14.1	2.13	9.09	4
	18.9	16.3	0.708	2.43	4		18.6	13.0	0.903	4.35	4		18.9	14.9	1.076	4.23	4
	22.5	16.2	0.376	1.30	4								22.5	14.6	0.445	1.80	4
	26.0	16.0	0.215	7.59	5								26.0	14.5	0.265	1.08	4
5.0	7.3	16.4	2.75	9.35	4	5.0	6.8	13.1	6.14	2.93	3	5.0	7.3	14.9	4.06	1.59	3
	10.9	16.4	0.501	1.70	4								10.9	14.8	1.234	4.90	4
	14.8	16.4	0.106	3.61	5		14.5	13.0	0.531	2.56	4		14.8	15.1	0.232	8.93	5
	18.4	16.4	0.0534	1.82	5		18.2	12.9	0.167	8.14	5		18.4	15.1	0.101	3.89	5
	22.2	16.4	0.0243	8.26	6								22.2	15.2	0.0370	1.41	5
	26.0	16.4	0.0072	2.45	6								26.0	15.2	0.0121	4.61	6
0	7.3	16.7	0.458	1.52	4	0	6.7	13.2	0.804	3.79	4	0	7.3	15.5	1.730	6.40	4
	10.9	16.7	0.0289	9.57	6		10.3	13.1	0.096	4.57	5		10.9	15.3	0.213	8.28	5
	14.3	16.7	0.0024	7.94	7		14.3	13.2	0.0125	5.89	6		14.3	15.3	0.0328	1.24	5
	17.8	16.5	0.0012	4.04	7								17.8	15.6	0.0058	2.13	6
	22.5	17.9	0	0									22.5	16.2	0.0006	2.08	7
-5.0	6.7	16.7	0.1936	6.41	5	-5.0	7.0	13.7	0.645	2.87	4	-5.0	6.7	15.5	1.428	5.29	4
	10.4	16.7	0.0049	1.62	6		10.7	13.7	0.186	8.29	5		10.4	15.3	0.1206	4.55	5
	14.4	16.5	0	0									14.4	15.2	0.0121	4.61	6
15.0	7.1	9.8	8.60	6.33	3	15.0	7.1	9.6	19.24	1.46	2	15.0	7.1	9.6	19.24	1.46	2
	11.0	9.4	3.28	2.57	3		11.0	10.8	8.00	5.09	3		11.0	10.8	8.00	5.09	3
0	6.8	10.7	0.022	1.42	5	0	6.8	11.8	0.226	1.26	4	0	6.8	11.8	0.226	1.26	4
15.0	7.1	7.0	0.821	1.00	3	15.0	7.1	6.5	5.25	7.16	3	15.0	7.1	6.5	5.25	7.16	3
	11.0	7.0	0.196	2.39	4		11.0	6.5	2.60	3.54	3		11.0	6.5	2.60	3.54	3
0	6.8	5.3	0	0		0	6.8	6.1	0.005	7.50	6	0	6.8	6.1	0.005	7.50	6

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-3(1) 合田による越波流量実験結果 (港研報告14-4)

b) 直立護岸 (i=1/10)

h (cm)	$T_o=1.7\text{sec}$					h (cm)	$T_o=2.3\text{sec}$					h (cm)	$T_o=2.8\text{sec}$						
	h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \times 10^{-9}$	X		h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \times 10^{-9}$	X		h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \times 10^{-9}$	X		
22.5	7.0	15.8	27.80	1.00	2	22.5	6.8	12.8	32.16	1.59	2	22.5	7.0	14.3	46.36	1.94	2		
	10.8	15.1	17.70	6.81	3								10.8	13.9	34.44	1.50	2		
	14.8	14.8	9.60	3.81	3		14.6	12.9	8.92	4.35	3		14.8	14.0	22.16	9.56	3		
	18.3	14.9	5.23	2.05	3								18.3	14.8	15.35	6.09	3		
	20.5	14.9	3.70	1.45	3		21.9	12.6	3.45	1.74	3		20.5	15.1	10.05	3.87	3		
	25.9	14.8	2.22	8.81	4								25.9	15.1	6.26	2.41	3		
15.0	7.4	15.2	26.51	1.01	2	15.0	7.3	13.0	29.97	1.44	2	15.0	7.4	12.8	46.08	2.27	2		
	10.8	15.2	16.95	6.46	3								10.8	13.2	31.37	1.48	2		
	14.8	15.0	8.68	3.37	3		14.8	13.2	7.62	3.59	3		14.8	13.4	20.12	9.26	3		
	18.6	15.2	4.00	1.52	3								18.6	13.1	10.81	5.15	3		
	22.4	14.6	2.48	1.00	3		22.5	12.9	2.38	1.16	3		22.4	13.0	6.37	3.07	3		
	26.0	14.6	1.73	7.00	4								26.0	13.8	4.47	1.97	3		
10.0	7.2	16.2	23.20	8.04	3	10.0	7.2	13.1	24.80	1.18	2	10.0	7.2	13.9	38.52	1.68	2		
	10.8	15.4	10.23	3.82	3								10.8	13.2	23.02	1.08	2		
	14.6	15.1	5.01	1.93	3		14.7	13.1	6.55	3.12	3		14.6	12.9	15.40	7.51	3		
	18.5	15.9	2.56	9.12	4		18.4	13.3	3.50	1.63	3		18.5	13.0	7.56	3.64	3		
	22.2	16.0	1.766	6.23	4								22.2	13.1	5.10	2.43	3		
	25.9	16.2	0.905	3.14	4								25.9	13.5	3.02	1.38	3		
5.0	7.2	16.1	13.27	4.64	3	5.0						5.0	7.2	14.2	33.00	1.39	2		
	10.7	15.7	5.77	2.10	3		11.0	14.0	7.99	3.45	3		10.7	13.7	19.68	8.77	3		
	14.6	15.7	2.11	7.66	4		15.0	13.8	3.57	1.57	3		14.6	13.8	10.74	4.73	3		
	18.6	15.9	0.758	2.70	4		18.5	13.9	1.445	6.30	4		18.6	14.1	4.84	2.06	3		
	22.3	15.9	0.461	1.64	4								22.3	13.9	2.41	1.05	3		
	26.0	16.3	0.223	7.65	5								26.0	13.7	1.282	5.71	4		
0	6.6	16.0	9.20	3.25	3	0	6.5	13.7	13.36	5.95	3	0	6.6	14.8	31.92	1.27	2		
	10.4	15.3	3.40	1.28	3		10.2	13.7	5.18	2.31	3		10.4	14.2	19.03	8.03	3		
	14.2	15.4	0.909	3.40	4		14.3	13.8	1.680	7.40	4		14.2	14.0	8.72	3.76	3		
	17.9	16.1	0.156	5.45	5								17.9	14.1	3.13	1.34	3		
	21.6	16.4	0.050	1.70	5								21.6	14.5	1.389	5.68	4		
	25.4	16.4	0.040	1.36	5								25.4	14.5	0.628	2.57	4		
-5.0	7.0	16.2	7.20	2.49	3	-5.0	7.0	13.8	14.34	6.32	3	-5.0	7.0	14.4	27.01	1.12	2		
	10.6	15.4	1.689	6.31	4		10.6	13.8	3.95	1.74	3		10.6	13.8	15.43	6.80	3		
	14.5	15.3	0.381	1.44	4		14.5	13.9	1.056	4.60	4		14.5	13.8	6.23	2.74	3		
	18.0	15.7	0.0737	2.68	5		18.2	13.8	0.303	1.34	4		18.0	14.7	2.62	1.05	3		
	22.0	16.1	0.0244	8.53	6								22.0	15.0	0.392	1.52	4		
	25.7	16.3	0.0031	8.37	6								25.7	15.1	0.422	1.62	4		
-10.0	11.3	17.7	1.893	5.74	4	-10.0	11.1	14.1	5.67	2.42	3	-10.0	11.3	16.1	16.56	5.79	3		
	15.1	16.2	0.332	1.15	4		15.0	13.3	1.034	4.82	4		15.1	15.6	5.26	1.93	3		
	18.9	16.5	0.0984	3.32	5		18.7	13.6	0.283	1.27	4		18.9	15.8	2.23	8.02	4		
	22.7	16.5	0.0403	1.36	5								22.7	15.7	0.904	3.28	4		
	26.4	16.0	0	0									26.4	15.3	0.403	1.52	4		
15.0	7.4	9.2	7.43	6.01	3	15.0	7.4	8.9	18.78	1.60	2	15.0	7.4	5.8	3.16	5.11	3		
10.9	9.2	3.73	3.02	3	10.9		9.6	11.91	9.04	3	10.8		5.7	0.901	1.50	3			
0	6.6	9.5	1.851	1.43	3		0	6.6	9.9	14.02	1.02		2	0	6.6	5.4	2.04	3.67	3
15.0	7.4	5.3	0.826	1.53	3														
10.8	5.1	0.120	2.35	4															
0	6.6	5.7	0.153	2.54	4														

付表-3(1) 合田による越波流量実験結果 (港研報告14-4)

c) ブロック積み消波護岸

$i=1/30$						$i=1/30$						$i=1/30$					
h (cm)	$T_o=1.7\text{sec}$					h (cm)	$T_o=2.3\text{sec}$					h (cm)	$T_o=2.8\text{sec}$				
	h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$			h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$			h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$	
22.5	6.5	15.4	21.88	8.2	3	22.5	6.5	13.6	25.79	1.2	2	22.5	6.5	14.0	49.96	2.2	2
	14.1	15.7	1.628	5.9	4		14.1	14.0	3.94	1.7	3		14.1	14.0	15.60	6.7	3
	21.1	14.9	0.077	3.0	5		21.1	13.1	0.350	1.7	4		21.1	14.0	2.73	1.2	3
15.0	7.0	16.5	7.69	2.6	3	15.0	7.0	12.9	11.21	5.5	3	15.0	7.0	13.8	16.68	7.3	3
	14.7	15.6	0.292	1.1	4		14.7	13.6	0.665	3.0	4		14.7	14.6	2.25	9.1	4
	22.2	15.4	0.0115	4.3	6		22.2	13.3	0.032	1.5	5		22.2	14.5	0.107	4.4	5
10.0	7.7	15.5	1.899	7.0	4	10.0	7.7	13.6	2.725	1.2	3	10.0	7.7	13.1	6.86	3.3	3
	11.3	17.0	0.343	1.1	4		11.3	14.5	0.601	2.5	4		11.3	15.3	1.929	7.3	4
	15.2	15.6	0	0			15.2	15.4	0.084	3.1	5		15.2	13.4	0.155	7.1	5
5.0	10.8	16.2	0.091	3.2	5	5.0	10.8	13.2	0.305	1.4	4	5.0	10.8	15.0	0.852	3.3	4
	14.6	15.5	0	0			14.6	13.3	0.0123	5.7	6		14.6	13.1	0.031	1.5	5
0	14.5	15.8	0	0		0	14.5	13.2	0	0		0	14.5	14.7	0	0	
22.5	6.5	9.2	3.24	2.6	3	22.5	6.5	8.4	7.02	6.5	3	22.5	6.5	6.2	6.61	9.7	3
	14.1	8.9	0.087	7.4	5		14.1	8.5	0.214	2.0	4		14.1	6.3	0.057	8.1	5
15.0	7.0	10.0	1.291	9.2	4	15.0	7.0	9.3	3.50	2.8	3	15.0	7.0	7.4	2.82	3.2	3
	14.7	9.0	0	0			14.7	8.8	0.034	2.9	5		14.7	7.2	0.055	6.4	5
10.0	7.7	8.9	0.1757	1.5	4	10.0	7.7	8.5	0.721	6.6	4	10.0	7.7	6.6	0.465	6.2	4
	11.3	8.9	0.0050	4.3	6		11.3	8.6	0.0182	1.6	5		11.3	7.3	0.0178	2.0	5
5.0	10.8	9.9	0	0		5.0	15.0	8.6	0.0052	4.7	6	5.0	15.0	6.9	0.0028	3.5	6
						5.0	10.8	9.6	0.0018	1.4	6	5.0	10.8	7.2	0	0	

$i=1/10$					$i=1/10$					$i=1/10$							
h (cm)	$T_o=1.7\text{sec}$				h (cm)	$T_o=2.3\text{sec}$				h (cm)	$T_o=2.8\text{sec}$						
	h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$		h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$		h_c (cm)	H_o (cm)	q ($\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$			
22.5	7.3	12.6	12.88	6.5	3	22.5	7.3	14.2	21.14	8.9	3	22.5	7.3	12.0	34.01	1.9	2
	14.6	14.6	0.963	3.9	4		14.6	12.4	1.923	9.9	4		14.6	13.7	9.73	4.3	3
	22.1	15.2	0.070	2.7	5		22.1	12.5	0.153	9.8	5		22.1	13.9	1.639	7.1	4
15.0	7.3	15.5	12.21	4.5	3	15.0	7.3	13.1	16.34	7.8	3	15.0	7.3	13.6	36.39	1.6	2
	15.0	15.6	0.930	3.4	4		15.0	13.3	1.834	8.5	4		15.0	13.8	10.66	4.7	3
	22.6	15.6	0.087	3.2	5		22.6	13.3	0.133	6.2	5		22.6	13.8	1.641	7.2	4
10.0	7.2	15.6	13.85	5.1	3	10.0	7.2	13.3	18.41	8.6	3	10.0	7.2	13.8	38.72	1.7	2
	14.8	15.4	1.022	3.8	4		14.8	12.9	2.24	1.1	3		14.8	13.9	12.56	5.5	3
	18.4	16.1	0.301	1.1	4		18.4	13.7	0.776	3.5	4		18.4	13.8	6.54	2.9	3
5.0	11.0	16.8	3.71	1.2	3	5.0	11.0	14.1	6.51	2.8	3	5.0	11.0	14.7	20.22	8.1	3
	15.0	16.8	1.044	3.4	4		15.0	13.7	2.52	1.1	3		15.0	14.4	14.32	5.9	3
	18.5	16.4	0.313	1.1	4		18.5	13.4	1.002	4.6	4		18.5	13.7	7.44	3.3	3
0	14.3	17.1	0.294	9.4	5	0	14.3	14.3	0.656	2.7	4	0	14.3	15.2	6.86	2.6	3
	17.8	16.6	0.093	3.1	5		17.8	13.8	0.132	5.8	5		17.8	14.3	2.79	1.2	3
22.5	7.3	8.8	1.020	8.8	4	22.5	7.3	9.2	2.52	2.0	3	22.5	7.3	7.5	2.66	2.9	3
	14.8	9.9	0	0			14.8	9.8	0.043	3.2	5		14.8	7.4	0	0	
15.0	7.4	8.4	1.019	9.5	4	15.0	7.4	9.2	2.46	2.0	3	15.0	7.4	6.4	2.22	3.1	3
	15.0	9.2	0.0036	2.9	6		15.0	8.9	0.0128	1.1	5		15.0	6.8	0.0009	1.1	6
10.0	7.2	9.5	1.598	1.2	3	10.0	7.2	8.5	3.73	3.4	3	10.0	7.2	6.3	3.08	4.4	3
	14.8	8.7	0.0079	7.0	6		14.8	8.3	0.082	7.7	5		14.8	6.1	0.022	3.3	5
5.0	15.0	9.5	0.029	2.2	5	5.0	15.0	9.0	0.231	1.9	4	5.0	15.0	6.4	0.111	1.5	4

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-3(2) 合田による越波実験結果 (港研資料242)

a) 直立護岸

i	T _o =1.75s					
	h (cm)	h _c (cm)	H _o (cm)	q (cm ³ /s/cm)	q/√2gH _o ³ X*10 ⁻⁹	
1/10	0	7.5	17.6	10.39	3.2	3
"	0	15.0	18.4	1.075	3.1	4
1/30	15	7.5	16.7	24.33	8.1	3
"	"	11.3	17.0	12.73	4.1	3
"	"	15.0	17.4	6.45	2.0	3
"	0	7.5	16.9	0.358	1.2	4

b) 斜・階段護岸

i	T _o =1.75s h=0cm				
	b (cm)	h _c (cm)	H _o (cm)	q (cm ³ /s/cm)	q/√2gH _o ³ X*10 ⁻⁹
1/10	0	7.3	17.5	17.31	5.3 3
"	0.6	"	17.5	15.05	4.6 3
"	0.9	"	17.8	11.91	3.6 3
1/10	0	14.8	17.5	5.41	1.7 3
"	0.6	"	17.5	3.53	1.1 3
"	0.9	"	17.6	3.28	1.0 3
1/30	0	7.5	16.4	0.92	3.1 4
"	0.6	"	16.6	0.537	1.8 4
"	0.9	"	16.8	0.478	1.6 4

c) 離岸堤+直立護岸

i=1/30 T _o =1.75s h=15cm h _{RT} =7.5cm					
h _R (cm)	h _c (cm)	H _o (cm)	q (cm ³ /s/cm)	q/√2gH _o ³ X*10 ⁻⁹	
21.7	7.5	17.2	6.35	2.0	3
"	11.3	17.5	2.34	7.2	4
"	15.0	17.4	0.777	2.4	4
"	22.5	17.4	0.0764	2.4	5
20.0	7.5	18.2	6.11	1.8	3
"	15.0	18.3	0.867	2.5	4
19.2	7.5	18.6	6.19	1.7	3
"	15.0	18.6	0.914	2.6	4
18.3	7.5	18.5	5.07	1.4	3
"	15.0	18.6	0.616	1.7	4
"	22.5	18.7	0.0398	1.1	5
17.5	7.5	18.8	6.15	1.7	3
"	15.0	19.0	0.632	1.7	4
16.7	7.5	18.2	5.95	1.7	3
"	15.0	18.3	0.587	1.7	4
"	22.5	18.8	0.0465	1.3	5

d) 直立消波護岸

i=1/30 T _o =1.75s							
h (cm)	S ₁ (cm)	S ₂ (cm)	h _c (cm)	H _o (cm)	q (cm ³ /s/cm)	q/√2gH _o ³ X*10 ⁻⁹	
22.5	1.0	2.5	7.5	17.7	15.65	4.7	3
"	1.5	3.0	"	17.8	14.62	4.4	3
"	2.0	3.5	"	17.7	15.71	4.8	3
"	2.5	4.0	"	18.1	17.22	5.1	3
"	3.0	4.5	"	18.1	18.47	5.4	3
22.5	1.0	2.5	15.0	17.3	2.91	9.1	4
"	1.5	3.0	"	17.7	3.14	9.5	4
"	2.0	3.5	"	17.7	3.31	1.0	3
"	2.5	4.0	"	17.9	4.01	1.2	3
"	3.0	4.5	"	18.1	4.71	1.4	3
22.5	1.0	2.5	22.5	17.7	0.486	1.5	4
"	1.5	3.0	"	18.0	0.526	1.6	4
"	2.0	3.5	"	17.7	0.411	1.2	4
"	2.5	4.0	"	18.1	0.66	1.9	4
"	3.0	4.5	"	18.0	0.779	2.3	4
22.5	1.5	56.0	7.5	17.9	13.99	4.2	3
"	"	"	15.0	18.2	2.75	8.0	4
"	"	"	22.5	17.5	0.539	1.7	4
22.5	1.5	0	7.5	18.2	26.86	8.4	3
"	"	"	15.0	17.6	3.90	1.2	3
"	"	"	22.5	17.4	0.588	1.8	4
19.5	1.5	3.0	10.5	17.0	5.76	1.9	3
"	"	"	18.0	17.1	0.952	3.0	4
"	"	"	25.5	16.9	0.164	5.3	5
19.5	1.5	56.0	10.5	17.0	4.72	1.5	3
"	"	"	18.0	17.3	0.767	2.4	4
"	"	"	25.5	17.6	0.184	5.6	5
19.5	1.5	0	10.5	17.4	10.15	3.2	3
"	"	"	18.0	17.1	1.305	4.2	4
"	"	"	25.5	17.1	0.33	1.1	4

(S₁は前面のスリット幅を示す
S₂は天端面のスリット幅を示す)

付表-4(1) 第一港湾建設局による越波実験結果 (54年度)

a) 自然斜面 $i=1/30$

護岸 h (m)	入射波		越波量		
	H_0 (m)	T_0 (s)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $X \times 10^{-9}$	
-3	7.86	11.7	0.01	1.0	4
-4	7.72	11.8	0.0011	1.2	5
-0.42	4.12	9.1	0.228	6.2	3
-1	4.19	9.4	0.051	1.3	3
-2	3.98	9.0	0.0026	7.4	5
-1	7.90	11.8	0.305	3.1	3
-2	7.86	11.8	0.055	5.7	4

b) 直立護岸 $i=1/30$ $h=0$

護岸 h_c (m)	入射波		越波量		
	H_0 (m)	T_0 (s)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $X \times 10^{-9}$	
3	7.86	11.8	0.028	2.9	4
4	7.90	11.6	0.0098	9.9	5
5	7.86	11.7	0.0021	2.1	5
1	4.01	9.2	0.079	2.2	3
2	3.98	9.1	0.0095	2.7	4
3	4.09	9.1	0.0015	4.2	5

c) 階段護岸 $i=1/30$ $i_0=1/4$ $h=0$
 $b=0.2m$

護岸 h_c (m)	入射波		越波量		
	H_0 (m)	T_0 (s)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $X \times 10^{-9}$	
3	7.90	11.6	0.024	2.4	4
4	7.90	11.5	0.0038	3.9	5
5	7.90	11.7	0.0022	2.2	6
1	4.05	9.2	0.084	2.3	3
2	4.09	9.1	0.0093	2.5	4
3	4.05	9.1	0.0061	1.7	5

d) 離岸堤+自然斜面 $i=1/30$

護岸 h (m)	離岸堤		入射波		越波量		
	h_R (m)	h_{RT} (m)	H_0 (m)	T_0 (s)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $X \times 10^{-9}$	
-3	5	-1	8.01	12.1	0.0044	4.4	5
-2	5	-1	4.09	9.3	0.0011	3.0	5
-3	5	0	8.01	12.0	0.0024	2.4	5
-2	5	0	4.09	9.4	0.0028	7.6	5
-3	5	-3	7.86	11.8	0.0084	8.6	5
-2	5	-3	3.95	9.1	0.002	5.8	5
-3	9.2	-1	8.08	11.9	0.0028	2.7	5
-2	9.2	-1	4.23	9.4	0.0002	5.3	6
-3	9.2	0	7.93	11.8	0.0052	5.3	5
-2	9.2	0	4.27	9.2	0	0	
-3	9.2	-3	7.75	11.7	0.0039	4.2	5
-2	9.2	-3	4.38	9.3	0.00093	2.3	5
-1	5	-1	7.93	11.8	0.29	2.9	3
-0.42	5	-1	4.09	9.4	0.24	6.5	3
-2	5	0	7.90	12.0	0.047	4.8	4
-1	5	0	4.09	9.3	0.076	2.1	3
-3	5	-2	7.93	11.8	0.0058	5.8	5
-2	5	-2	3.95	9.2	0.00086	2.5	5
-1	9.2	-1	8.04	11.8	0.37	3.6	3
-0.42	9.2	-1	4.23	9.3	0.23	5.9	3
-2	9.2	0	8.08	11.6	0.077	7.6	4
-1	9.2	0	4.27	9.3	0.046	1.2	3
-3	9.2	-2	8.04	11.7	0.0033	3.3	5
-2	9.2	-2	4.19	9.4	0.001	2.7	5

e) 離岸堤+直立護岸 $i=1/30$ $h=0$

護岸 h_c (m)	離岸堤		入射波		越波量		
	h_R (m)	h_{RT} (m)	H_0 (m)	T_0 (s)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ $X \times 10^{-9}$	
1.0	5	-1.0	7.68	11.5	0.36	3.8	3
1.0	5	-1.0	4.05	9.2	0.093	2.6	3
2.0	5	-1.0	7.90	11.6	0.076	7.7	4
2.0	5	-1.0	3.95	9.1	0.0087	2.5	4
3.0	5	-1.0	7.83	11.6	0.021	2.1	4
2.0	5	0	7.79	11.8	0.097	1.0	3
3.0	5	0	8.12	11.8	0.026	2.6	4
4.0	5	0	7.75	11.7	0.0079	8.3	5
1.0	5	0	4.19	9.3	0.094	2.5	3
2.0	5	0	4.01	9.1	0.015	4.1	4
3.0	5	0	4.23	9.3	0.0024	6.3	5
3.0	5	-3.0	7.97	11.7	0.019	1.9	6
4.0	5	-3.0	7.97	11.7	0.006	6.0	5
5.0	5	-3.0	7.97	11.8	0.0014	1.4	5
2.0	5	-3.0	3.98	9.1	0.0065	1.8	4
3.0	5	-3.0	3.95	9.1	0.00077	2.2	5
4.0	5	-3.0	4.01	9.0	0.0021	6.0	6
1.0	9.2	-1.0	7.93	11.7	0.37	3.8	3
1.0	9.2	-1.0	3.95	9.1	0.059	1.7	3
2.0	9.2	-1.0	7.97	11.8	0.11	1.1	3
2.0	9.2	-1.0	4.01	9.3	0.005	1.4	4
3.0	9.2	-1.0	7.97	11.8	0.023	2.3	4
2.0	9.2	0	7.97	11.8	0.13	1.3	3
3.0	9.2	0	7.93	11.8	0.032	3.2	4
4.0	9.2	0	8.01	11.8	0.0088	8.8	5
1.0	9.2	0	4.27	9.3	0.068	1.7	3
2.0	9.2	0	4.19	9.2	0.0049	1.3	4
3.0	9.2	0	4.27	9.3	0.00066	1.7	5
3.0	9.2	-3.0	7.79	11.6	0.017	1.7	4
4.0	9.2	-3.0	7.83	11.6	0.0047	4.9	5
5.0	9.2	-3.0	7.75	11.5	0.0018	1.9	5
2.0	9.2	-3.0	4.19	9.3	0.0049	1.3	4
3.0	9.2	-3.0	4.16	9.3	0.0061	1.6	5
4.0	9.2	-3.0	4.16	9.2	0.00066	1.8	6

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-4(2) 第一港湾建設局による越波実験結果 (55年度)

a) 斜・階段護岸 ($i=1/30, H_0/L_0=0.036$)

$i_0=1/2, b=0.25m, H_0=4m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	1	0.102	2.5
	2	0.018	4.4
	3	0.0022	5.4
-2	1	0.28	7.0
	2	0.10	2.5
	3	0.034	8.6
-4	1	0.65	1.8
	2	0.39	1.0
	3	0.21	5.5

$i_0=1/4, b=0.25m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.047	4.8
	4	0.013	1.3
	5	0.0022	2.3
-2	3	0.16	1.6
	4	0.062	6.1
	5	0.025	2.4
-4	3	0.34	3.4
	4	0.20	2.0
	5	0.076	7.6

$i_0=1/3, b=0m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.070	6.9
	4	0.027	2.7
	5	0.011	1.1
-2	3	0.24	2.4
	4	0.13	1.3
	5	0.054	2.6
-4	3	0.63	6.3
	4	0.42	4.2
	5	0.26	2.6

$i_0=1/3, b=0.25m, H_0=4m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	1	0.12	3.0
	2	0.081	5.1
	3	0.0019	4.6
-2	1	0.29	7.3
	2	0.088	2.2
	3	0.023	5.9
-4	1	0.58	1.5
	2	0.29	7.4
	3	0.13	3.4

$i_0=1/2, b=0.5m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.048	4.7
	4	0.015	1.5
	5	0.0047	4.6
-2	3	0.18	1.8
	4	0.083	8.2
	5	0.035	3.5
-4	3	0.49	4.9
	4	0.29	2.9
	5	0.17	1.7

$i_0=1/4, b=0m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.083	8.3
	4	0.030	3.0
	5	0.0098	9.8
-2	3	0.21	2.1
	4	0.10	9.9
	5	0.050	5.0
-4	3	0.54	5.5
	4	0.33	3.4
	5	0.19	2.0

$i_0=1/4, b=0.25m, H_0=4m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	1	0.16	3.8
	2	0.014	3.4
	3	0.0011	2.6
-2	1	0.25	6.4
	2	0.071	1.8
	3	0.010	2.7
-4	1	0.48	1.3
	2	0.22	5.8
	3	0.078	2.1

$i_0=1/3, b=0.5m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.056	5.6
	4	0.013	1.3
	5	0.0031	3.1
-2	3	0.16	1.6
	4	0.070	6.9
	5	0.024	2.4
-4	3	0.40	4.0
	4	0.20	2.0
	5	0.10	1.0

$i_0=1/2, b=0.25m, H_0=10m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	5	0.037	2.7
	6	0.019	1.4
	7	0.0075	5.4
-2	5	0.11	7.6
	6	0.055	3.9
	7	0.027	1.9
-4	5	0.32	2.3
	6	0.20	1.5
	7	0.11	8.0

$i_0=1/2, b=0.25m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.062	6.1
	4	0.016	1.6
	5	0.0068	6.7
-2	3	0.20	2.0
	4	0.097	9.5
	5	0.044	4.2
-4	3	0.55	5.4
	4	0.35	3.4
	5	0.20	2.0

$i_0=1/4, b=0.5m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.051	5.2
	4	0.012	1.2
	5	0.0018	1.8
-2	3	0.13	1.3
	4	0.050	4.8
	5	0.020	2.0
-4	3	0.31	3.0
	4	0.14	1.4
	5	0.068	6.7

$i_0=1/3, b=0.25m, H_0=10m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	5	0.032	2.3
	6	0.015	1.1
	7	0.0077	5.7
-2	5	0.085	6.3
	6	0.034	2.5
	7	0.016	1.2
-4	5	0.23	1.6
	6	0.12	8.5
	7	0.058	4.1

$i_0=1/3, b=0.25m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.056	5.5
	4	0.015	1.5
	5	0.0039	3.8
-2	3	0.18	1.8
	4	0.076	7.3
	5	0.032	3.1
-4	3	0.47	4.6
	4	0.24	2.4
	5	0.13	1.3

$i_0=1/2, b=0m, H_0=8m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	3	0.075	7.5
	4	0.024	2.4
	5	0.011	1.1
-2	3	0.24	2.4
	4	0.13	1.3
	5	0.072	7.1
-4	3	0.63	6.4
	4	0.46	4.7
	5	0.28	2.8

$i_0=1/4, b=0.25m, H_0=10m$

h (m)	h_c (m)	q (m ³ /s/m)	$q/\sqrt{2gH_0^3}$ X * 10 ⁻⁹
0	5	0.027	2.0
	6	0.016	1.2
	7	0.0062	4.6
-2	5	0.064	4.7
	6	0.023	1.6
	7	0.0072	5.2
-4	5	0.14	1.0
	6	0.070	5.0
	7	0.031	2.2

付表-4(2) 第一港湾建設局による越波実験結果 (55年度)

b) 直立護岸

($i=1/30, h=0m$)

h_c (m)	H_o (m)	T_o (s)	q ($m^3/s/m$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$	
1	4.41	8.7	0.094	2.3	3
2	4.40	8.7	0.013	3.2	4
3	4.45	8.6	0.0017	4.1	5
3	8.07	12.1	0.048	4.8	4
4	8.10	12.0	0.014	1.4	4
5	8.13	12.1	0.0045	4.4	5
6	8.16	11.8	0.0021	2.0	5
6	10.01	13.6	0.012	8.8	5

c) ブロック積み消波護岸

($i=1/30, h=0m$)

h_c (m)	h_s (m)	H_o (m)	T_o (s)	q ($m^3/s/m$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$	
1	1	4.46	8.7	0.099	2.4	3
2	1	4.47	8.6	0.014	3.3	4
	2	4.44	8.6	0.0094	2.3	4
3	1	4.41	8.5	0.0019	4.6	5
	2	4.46	8.7	0.0010	2.4	5
	3	4.37	8.6	0.000042	1.0	6
3	1	8.09	12.2	0.048	4.7	4
	2	8.04	12.1	0.050	5.0	4
	3	8.02	12.3	0.032	3.1	4
4	3	8.07	12.1	0.0085	8.4	5
	4	8.09	12.1	0.0056	5.5	5
5	3	8.15	12.0	0.0020	1.9	5
	4	8.13	12.1	0.0017	1.6	5
	5	8.13	12.1	0.00082	8.0	6
6	4	8.11	12.1	0.00028	2.8	6
	5	8.11	12.1	0.000045	4.4	7
	6	8.12	12.1	0.0000079	7.7	8
6	4	10.00	13.3	0.010	7.1	5
	5	9.97	13.3	0.0085	6.1	5
	6	9.94	13.8	0.0067	4.9	5

付表-4(3) 第一港湾建設局による越波実験結果 (56年度)

($i=1/30, H_o/L_o=0.036, h=0$)

a) 直立護岸+離岸堤

($h_R=5m$)

b) 階段護岸+離岸堤

($h_R=5m, b=25cm, i_o=1/2$)

c) 斜護岸+離岸堤

($h_R=5m, i_o=1/2$)

H_o (m)	h_c (m)	h_{RT} (m)	q ($m^3/s/m$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$		H_o (m)	h_c (m)	h_{RT} (m)	q ($m^3/s/m$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$		H_o (m)	h_c (m)	h_{RT} (m)	q ($m^3/s/m$)	$q/\sqrt{2gH_o^3}$ $X \cdot 10^{-9}$	
8	2	—	0.17	1.7	3	8	2	—	0.18	1.8	3	8	2	—	0.20	2.0	3
	3		0.056	5.6	4		3		0.065	6.4	4		3		0.082	8.1	4
	4		0.022	2.2	4		4		0.025	2.5	4		4		0.038	3.7	4
8	2	0	0.16	1.6	3	8	2	0	0.16	1.6	3	8	2	0	0.17	1.7	3
	3		0.05	4.9	4		3		0.052	5.3	4		3		0.063	6.4	4
	4		0.019	1.9	4		4		0.015	1.5	4		4		0.023	2.3	4
8	2	1	0.16	1.6	3	8	2	1	0.18	1.8	3	8	2	1	0.19	1.9	3
	3		0.058	5.8	4		3		0.067	6.7	4		3		0.075	7.5	4
	4		0.015	1.4	4		4		0.019	1.9	4		4		0.028	2.8	4
8	2	2	0.088	8.6	4	8	2	2	0.10	1.0	3	8	2	2	0.12	1.2	3
	3		0.024	2.3	4		3		0.032	3.2	4		3		0.046	4.5	4
	4		0.0079	7.8	5		4		0.0078	7.7	5		4		0.017	1.6	4
4	1	1	0.10	2.8	3	4	1	1	0.091	2.6	3	4	1	1	0.10	3.0	3
	2		0.015	4.4	4		2		0.015	4.1	4		2		0.020	5.9	4
	3		0.0024	6.8	5		3		0.0015	4.2	5		3		0.0038	1.1	4

各種消波工による越波流量の減少効果

付表-5 離岸堤透過波の性質に関する既往の研究(その1)

著者	発表文献	論文題名	要旨	関連する内容
佐伯 浩 菊地 秀明 京谷 修 松井 弘夫 尾崎 晃	第27回 海岸工学講演会 論文集 1980年 土木学会	分離式防波堤の 水理機能と設計 波圧について	テトラポッド積み傾斜堤の透過率 波形勾配 $H_0/L_0 < 0.03$ のとき 透過率 K_T は天端高と波高の比 H_c/H で大きく変化 特に $H_c/H < 1$ のとき K_T の変化が 激しい。	本研究もほぼ $H_0/L_0 < 0.03$ $H_c/H < 1$ の範囲であり、この研 究と同様の成果が得ら れている。
永井 莊七郎 倉田 克彦 長谷川 恵一	第24回 海岸工学講演会 論文集 1977年 土木学会	潜堤の消波効果 におよぼす天端 幅の影響	緩傾斜不透過潜堤の波高伝達率 波高伝達率 K_t は、比水深 h/L および 波形勾配 H_i/L_i にほとんど関係なく 相対天端上水深 R/H_i との関係で表 わされ次式のようになる。 $K_t = a(R/H_i) + b$ ここで a 、 b は天端幅あるいは 外法勾配によって異なる定数	式の形は本研究とまっ たく同じになっている。 本研究では離岸堤の形 状は一定としたので a 、 b は一定の定数となっ た。
永井 莊七郎 小田 一紀 倉田 克彦	第22回 海岸工学講演会 論文集 1975年 土木学会	大水深緩傾斜捨 石潜堤に関する 研究	緩傾斜透過式潜堤の波高伝達率 ①外のり勾配が一定な場合には伝達 率 K_T は相対天端上水深 R/H_i によっ てほぼ一義的に決定される。 ②入射波の特性(h/L_i 、 H_i/L_i)による K_T の相異は実用上無視してよい。 ③碎石堤の表面粗度および透過率は 天端上水深が入射波高に比べてか なり小さくない限り K_T にはほとん ど影響を与えない。	①および②は本研究の 結論と一致している。 ③により、不透過潜堤 に関する上の論文の結 果も、本研究とある程 度比較ができることが わかる。
久保 弘一 井田 康夫	第20回 海岸工学講演会 論文集 1973年 土木学会	捨石堤背後の伝 達波高について	捨石堤の波高伝達率 K_T 相対天端高 R/H との関係 $0 \leq R/H < 1$ なら $K_T = 0.56(1 - 0.63R/H - 0.97H/L)$ 誤差範囲は $\pm 10\%$	H/L の項を除けば本研 究の式とはほぼ一致して いる。 本研究の図-40におい ても誤差範囲はほぼ ± 10 %程度。
服部 昌太郎 堺 和彦	第20回 海岸工学講演会 論文集 1973年 土木学会	ブロック積み防 波堤の波高伝達 率に関する実験 的研究	ブロック積み防波堤の波高伝達率実験 ①限界相対天端高は $0.6 < h_c/H_i < 0.8$ 天端高が限界相対天端高より小さ いと、天端の低下とともに波高伝 達率は増大するが、天端付近で碎 波するようになると再び減少する。 ②のり面勾配がゆるくなるか空けき 率が減少すると波高伝達率は若干 減少する。	本研究においてはほと んどすべてのケースに おいて、天端高は限界 相対天端高より小さい。 離岸堤の構造が変わ ると、透過率は若干異 なると予想される。
沼田 淳	第22回 海岸工学講演会 論文集 1975年 土木学会	ブロック堤の消 波効果に関する 実験的研究	傾斜ブロック堤の波高伝達率 天端高 h_c が静水面上の波頂高 η_c よ り小さいときは、 H/L や h/L には 関係なくほぼ一定の値になるよう に思われる。	本研究においては $h_c < \eta_c$ なので この研究とよく一致し ている。