

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

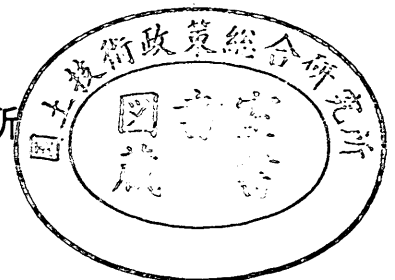
No. 246

Sept. 1976

各種ケーソン式混成堤の反射・越波および
波力特性に関する模型実験

| | | | |
|---|---|---|---|
| 谷 | 本 | 勝 | 利 |
| 原 | 中 | 祐 | 人 |
| 高 | 橋 | 重 | 雄 |
| 小 | 松 | 和 | 彦 |
| 轟 | | 正 | 彦 |
| 大 | 里 | 睦 | 男 |

運輸省港湾技術研究所



目 次

| | |
|------------------------------|----|
| 要 旨 | 3 |
| 1. まえがき | 3 |
| 2. 反射および越波に関する実験 | 4 |
| 2.1 模型および実験の方法 | 4 |
| 2.2 実験波の特性と実験ケース | 6 |
| 2.3 反射特性に関する実験結果 | 11 |
| 2.4 越波特性に関する実験結果 | 14 |
| 3. 波力に関する実験 | 14 |
| 3.1 模型および実験の方法 | 14 |
| 3.2 実験結果 | 18 |
| 4. 外海防波護岸型式についての越波実験 | 25 |
| 4.1 模型および実験の方法 | 25 |
| 4.2 実験結果 | 25 |
| 5. まとめ | 27 |
| 6. あとがき | 29 |
| 参考文献 | 29 |
| 主要記号表 | 29 |
| 付録A 反射率に関する実験データ | 31 |
| 付録B 越波流量に関する実験データ | 34 |
| 付録C 波力に関する実験データ | 35 |
| 付録D 防波護岸の越波流量に関する実験データ | 38 |

An Experimental Investigation of wave Reflection, Over topping and Wave Forces for Several Types of Breakwaters and Sea Walls

Katsutoshi TANIMOTO* Suketo HARANAKA**
Shigeo TAKAHASHI*** Kazuhiro KOMATSU****
Masahiko TODOROKI*** Mutsuo OSATO***

Synopsis

A series of model experiments on wave reflection, overtopping and wave forces have been conducted for the following types of breakwater structures:

- (1) Conventional caisson type breakwater
- (2) Caisson type breakwater covered with wave dissipating blocks
- (3) Caisson type breakwater with a wave chamber
- (4) Caisson type breakwater with a sloped face.

All of these caissons were set on a rubble mound in a water depth of 21 meters and the model scale was 1/50.

Experiments for wave reflection and overtopping were carried out by using irregular waves and the perforated caisson type breakwater was tested as a type of breakwater with a wave chamber.

The variation of reflection coefficients is indicated in the range of 0.105 to 0.263 of $h/H_{1/3}$ for all types and in the range of 0.036 to 0.313 of $b_0/L_{1/3}$ for the perforated breakwater. Where, b_0 is the width of the wave chamber including the thickness of the perforated wall. This perforated wall was 1.5 or 3.0 meters thick in prototype. The diameter of the perforations was 1.25 meters and the ratio of perforated area to the total front wall area was 0.236. The experiments for wave overtopping were made under the condition $h/L_{1/3}=0.105$, and the variation of the non-dimensional rate of overtopping quantity per unit time and length is indicated in the range of 1.2 to 5.3 of h/H'_0 .

Experiments for wave forces were carried out by means of finding the critical weight of the caisson against sliding, under the action of regular waves. The average wave force intensity \bar{p} and the non-dimensional intensity \bar{p}/w_0H were obtained in the range of 0.4 to 0.9 of H/h for both high and low mounds. Vertically slotted caissons were tested as well as the perforated caisson.

As for a sea wall in a depth of 21 meters exposed to severe wave action, the following two types were investigated for wave overtopping:

- (1) Perforated caisson type sea wall at the head of reclaimed land
- (2) Double type structure composed of an offshore breakwater of conventional caisson type, and a bulkhead for reclaimed land

The experiments were carried out under wave conditions of $H'_0/L_0=0.0276$ and $h/L_0=0.0611$. For the double type structure, the distance Bw between the offshore breakwater and the bulkhead was varied from 0.2 to 0.7 $Bw/L_{1/3}$.

* Chief of Breakwaters Laboratory, Hydraulic Engineering Division

** Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

*** Member of Breakwaters Laboratory, Hydraulic Engineering Division

**** Ex-member of Model Test Section, Hydraulic Engineering Division

各種ケーソン式混成堤の反射・越波および波力特性に関する模型実験

谷 本 勝 利 * ・ 原 中 祐 人 **
高 橋 重 雄 *** ・ 小 松 和 彦 ****
轟 正 彦 *** ・ 大 里 睦 男 ***

要 旨

現地水深21mを対象として、次の4つの防波堤構造型式について、反射・越波特性および波力特性に関する模型実験を行った。

- (1) 直立ケーソン式混成堤（混成堤）
- (2) 消波ブロック被覆堤（被覆堤）
- (3) 遊水部を有する防波堤（遊水堤）
- (4) 複合斜面ケーソン堤（斜面壁堤）

模型縮尺は1/50であり、反射・越波に関する実験は不規則波により、波力実験は滑動実験の手法を用いて規則波により実施したものである。反射・越波実験における遊水堤は多孔壁式を対象とし、反射率については遊水部の幅の影響についてやや系統的実験を行っている。波力実験においては、ほかに駒型、平型の縦スリット壁式もとりあげた。

反射率に関する実験結果は相対水深 ($h/L_{1/3}$) による反射率の変化で示し、さらに遊水堤では $bc/L_{1/3}$ および $b_0/L_{1/3}$ による変化を示している。ここに、 bc は遊水部の内寸幅、 b_0 はそれに多孔壁厚を加えた幅である。越波に関する実験結果は h/H_0 に対する無次元越波流量の変化で示した。ただし、反射に関しては $h/L_{1/3} = 0.105 \sim 0.263$ 、越波に関しては $h/L_{1/3} = 0.105$ である。

波力に関する実験は $h/L = 0.113$ を原則とし、各型式について、高マウンドおよび低マウンドの条件に対して、 $\bar{p}/w_0 H$ の値を比較した。ここに、 \bar{p} は平均波圧強度である。

以上の防波堤を対象とした実験のほか、波浪条件の厳しい大水深での防波護岸型式として、次の二つをとりあげ実験を行った。

- (1) 多孔壁式遊水堤による直接護岸型式
- (2) 混成堤による離岸堤と埋立護岸による二重型式

波浪条件は $H_0/L_0 = 0.0276$ 、 $h/L_0 = 0.0611$ の不規則波で、(1)については天端高、(2)については離岸堤と埋立護岸間の水面幅および埋立護岸天端高による越波流量の変化を示している。

1. まえがき

我国における主要防波堤はケーソン式混成堤が主流を占め、多くの施工実績、調査研究に裏付けられて最も親しみやすい構造型式となっている。しかしながら、建設水深の大水化に伴って、従来のケーソン基面水深を保持する場合マウンドの巨大化は避けられず、波浪条件の厳しい海域では異常に強大な衝撃破波力の作用することが懸念される。特に、外海埋立型港湾の外郭施設にあって

は、法線は海岸線にはほぼ平行に延長されるため、波を直角に受けることが多く、かつハネだし等により波向きに凹状の法線形を呈するようになることが多いことから、さらに厳しい波力が作用することになると考えなければならぬ。また通常の混成堤では、波はほぼ完全に反射されることになるから、大規模な外郭施設にあってはそれだけ付近海域への反射波の影響を考慮することが必要となる。

* 水工部 防波堤研究室長
** " 水理計測主任研究官
*** " 防波堤研究室
**** 前水工部 模型試験課

従来、こうした波力や反射波あるいは越波の軽減は、直立部の前面に消波ブロックを投入した被覆堤を採用することによって対処されてきており、特に水深の比較的浅い海域での防波構造として主要な型式となっている。しかし、この型式においても大水深大波浪の条件下ではブロック自体の安定性、ブロック量の大量化などの問題を含んだものである。そのため、大水深・大波浪の条件に対して波力安定性および機能の面から有利な構造型式の開発あるいは実用化が要請されているところである。

一方、海での第一線にあって波を防ぐ防波堤の構造に対する関心は強く、既に多くの特殊な型式の提案、試みが行われてきている。¹⁾ その中で従来の混成堤型式の範疇に入るものとして、特に耐波安定性のうえから斜面ケーソン堤、越波および反射波軽減のうえから遊水部を有する防波堤の二型式が注目される。

斜面ケーソン堤は波力が壁面に直角に作用することから、直接波力を受ける壁面を斜面とすることによって、その鉛直成分の安定性に対する寄与を期待するものである。オランダの土工実験所で模型実験が行われ、²⁾ 下部構が円筒形で上部工のみ斜面とした複合斜面堤であるが、デンマークの Hanstholm 港での施工実例がある。³⁾ また、類似の構造がリビヤの Marsa el Brega でも施工されている。⁴⁾

遊水部を有する防波堤型式については、カナダ国 N.R.C. の Jarlan^{5)~7)} がコモ湾における軟弱地盤上での防波堤建設に際して、音響パネルにヒントを得た孔あきケーソンを提案して以来、類似のものについて多くの研究が行われるようになった。我が国においても形は異なるが、高松港の縦スリットケーソン、⁸⁾ 鹿島港の多孔壁を用いた防波護岸⁹⁾ などの施工例あるいは施工中の例がみられる。

本資料は上述の型式、すなわち

- (1) 直立ケーソン式混成堤（混成堤）

- (2) 消波ブロック被覆堤（被覆堤）
- (3) 遊水部を有する防波堤（遊水堤）
- (4) 複合斜面ケーソン堤（斜面壁堤）

の4型式をとりあげ、水深、波浪などの同一水理条件に対する反射・越波特性、および滑動に対する波力の特性を模型実験により直接比較し、波浪条件の厳しい海域での防波構造物を考えていくうえで今後の参考に供しようとするものである。ただし、(3)の型式については代表的なものとして多孔壁式遊水堤を中心とし、波力実験でのみ縦スリット壁式遊水堤も検討している。

実験における水深は42cmを原則とし、周期は最大2秒程度、波高は砕波後の波の作用まで含んでいる。模型縮尺を1/50とすれば、現地水深21m、周期約14secの条件に対応する。越波・反射に関する実験は不規則波により、波力に関する実験は規則波による滑動実験の手法を用いた。多孔壁式遊水堤の反射特性については遊水部の幅の影響についてやや系統的な実験を実施している。

このほか、大水深での外海防波護岸型式の例として、次の二つの型式についても越波実験を実施した。

- (1) 多孔壁式遊水堤による直接護岸型式
- (2) 混成堤による離岸堤と直立埋立護岸による二重型式

これについても水深は42cmとし、前者については天端高による越波量の変化、後者については離岸堤と埋立護岸の距離および埋立護岸の天端高による越波量の変化を調べたものである。

2. 反射および越波に関する実験

2.1 模型および実験の方法

(1) 実験水路および堤体模型

(a) 実験水路

本実験に用いた水路は長さ30m、幅20mの中型平面水槽内に仮設した水路である。本仮設水路は図-2.1に示すように、造波板静止中心位置を基準として1.1m地点

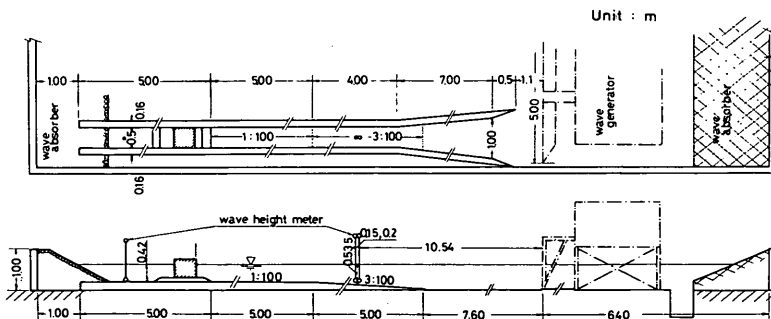


図-2.1 実験水路図

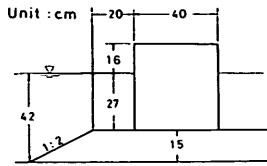


図-2.2 混成堤模型
($h_c = 16 \text{ cm}$)

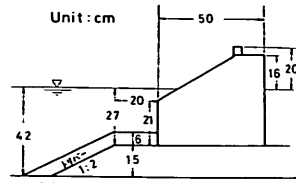


図-2.5 斜面壁堤模型
($h_c = 16 \text{ cm}$)

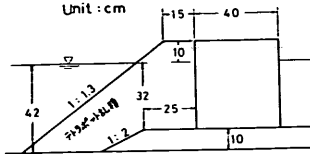


図-2.3 被覆堤模型
($h_c = 10 \text{ cm}$)

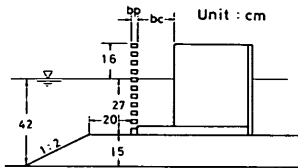


図-2.4 遊水堤模型
($h_c = 16 \text{ cm}$)

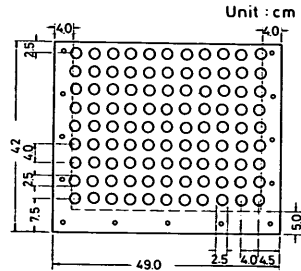


図-2.6 多孔壁前面図

に隔壁端を持ち、1.6 m地点の幅100 cmから8.6 m地点での幅50 cmまで漸縮、あと22.6 m地点まで一定幅としたものである。水路床は7.6 m地点から12.6 m地点までを3/100勾配、つづいて17.6 m地点までを1/100勾配とし、あとは水平床である。水路端には消波装置として砂利斜面を設けている。

この平面水槽には4台の不規則波造波装置が設置しているが、本実験では仮設水路に面しているNo.4のみを用いた。造波板の幅は5 mである。本造波機は当所大型水工実験場用に製作された可搬式ピストン型のもので、低慣性直流電動機で駆動するようになっており、入力信号の波形に追従して任意波形の波を造波することができる。

(b) 堤体模型

本実験で使用した混成堤、消波ブロック被覆堤、多孔壁式遊水堤、斜面壁堤などの堤体模型の代表的断面諸元を図-2.2～2.5に示す。マウンドはいずれも散乱変形を防ぐために碎石、砂利をセメントペーストで固着したもので、前掲図-2.1に示した水路床が1/100から水平に変わる地点に沖側法尻が位置するように設置する。

混成堤、被覆堤の直立部は同一のものを用いており、幅40 cm、水路幅方向の延長49 cmの鉄筋コンクリート製の

ものである。天端高の調節はマウンドの厚みを変えるか、あるいは木製の上部工を取り付けることによる。被覆堤の場合の消波ブロックは0.5 kgのテトラポッドを乱積みとし、散乱を防ぐために金網でおおっている。多孔壁式遊水堤の模型は、幅50 cm、高さ42 cm、水路幅方向の長さ49 cmの溝形状の底版および側壁を鉄筋コンクリートで製作し、多孔壁および背後の不透過壁は別にアクリル合成樹脂製としてボルトで本体に固定するようにした。遊水部の内寸幅は最大50 cmまでとることができる。多孔壁は図-2.6に示すように直径2.5 cmの孔を中心間隔4 cmで矩形状に配したもので、全面積に対する開孔部の面積の比（開孔比） ϵ は0.236である。この多孔壁の壁厚は3 cmを標準とし、壁厚の効果に関する実験ではさらに2枚重ねとして6 cmのものも用いている。遊水部の上面板は反射、越波実験共に全くなしの状態で行った。これによっても反射率、越波量は当然異なると思われる。本実験では遊水部の上部工はできるだけない方がよく、構造上必要な最小限の透過性とすべきとする観点にたち、簡略さのため取りあえずなしとしたものである。天端高の調節はマウンドの厚みを変えるか、または底版とマウンド間に調整用の木製不透過壁体を付加することによる。斜面壁堤模型の堤体は、底面幅45 cm、背面高43 cm、水路幅方向延長49 cmの鉄筋コンクリート製のもので、斜面壁のみアクリル合成樹脂板とし、本体にボルトで固定する構造とした。この斜面壁は底面上21 cmの高さから勾配1:1.5で天端近くに達するもので、静水面付近のみを

斜面としたものである。天端高の調節は頂部に木製の直立上部工を付加することによった。なお、斜面壁の場合のみマウンド被覆工として、高さ6cmのトリバーを一層整積みとした。これは斜面壁堤の場合、特に高マウンド上の上部工として適用性が高いことを考慮したものである。

(2) 反射率および越波量の測定法

(a) 反射率の測定法

反射率の実験は不規則波によるものである。堤体からの反射率の測定は模型堤体と造波機の間での多重反射系

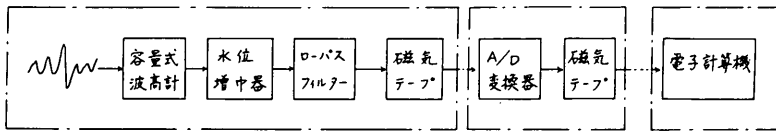


図-2.7 データ記録・解析ブロック図

本実験では2測点の間隔 Δl を20cmと15cmの2種類とし、解析における周波数有効範囲を $f = (0.3 \sim 1.5)$ Hzに設定した。これについては、堤体模型を設置しない状態で通過波高の測定を行ないその妥当性を確認している。波高の測定は容量式波高計により図-2.1に示したように造波機からの距離10.5m地点を中心に設置した。この設置位置は3/100勾配の水路床の上に位置し、波高計の中央位置での水深は53.5cmである。測定波高記録の解析に用いる水深はこの中央水深を用いることにした。解析の対象とした波は、最初の非定常な部分を除くため先端波が波高計を通過したときから40秒以降の範囲とし、120波程度を原則とした。しかしながら、これは周期などによって必ずしも全ケースにわたり同一ではない。

データ解析のサンプリング周期は全て $1/7.5$ secであり、データ個数は周期などにより1024~1536の範囲で解析を行った。

(b) 越波量の測定方法

越波量の測定は図-2.8に示すように、堤体上部にブリキ製の樋を取り付け、樋の背後に約15ℓ容量のバケツを数個用意し、これに流れ込む越波水を取水して台ばかりで重量測定する方法によった。越波量の多少に応じて樋の幅が20cm、5cmのものを使い分けた。一連の実験で20cmから5cmのものに移るときには同一条件に対して両方で測定し、差のないことを確認している。越波量の水は、造波機駆動後第一波が波高計を通過した時点より40秒たったときから開始し、その後の195秒間を対象とした。これは実験波に対し、約120波を考えたものである。測定結果は、その計測時間、さらに樋の流出幅で割

における合成波形を Δl の間隔で設置した波高計により同時記録し、FFT法によって入射波および反射波を分離してスペクトルを推定する方法によった。この解析法は合田・鈴木¹⁰⁾により示されたもので、合田・岸良・神山¹¹⁾による不規則波の越波実験に用いられたものと同じである。詳細は文献を参照して頂けるとありがたい。ここでは、データの記録、解析のブロック図を図-2.7に示しておく。この解析に用いたプログラムは海洋水理部波浪研究室が開発したものである。

って単位幅、単位時間当りの平均越波流量 q ($cm^3/sec \cdot cm$)として整理する。実験は同一条件に対し3回繰り返し、その平均を求めて、これを越波流量の実験データとして使用した。

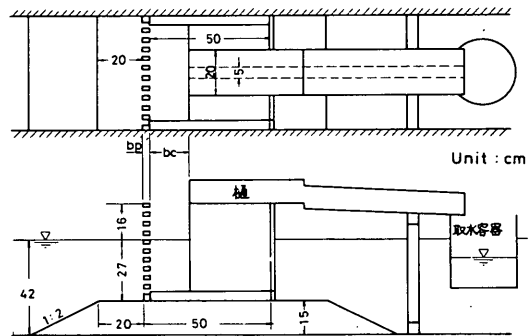


図-2.8 越波量の測定法

2.2 実験波の特性と実験ケース

(1) 実験に用いた不規則波の特性

(a) 不規則波の発生方法

本実験に用いる不規則波の入力信号の作成方法は以下のとおりである。まず白色雑音発生器で白色雑音を発生させ、これを所定のかたちとするため予め計算で得た値を用いて、バンドパスフィルターの目盛を設定することにより修正し、データ・レコーダに記録する。次に所定の周期を得るために2台のデータ・レコーダを用いて速度変換を行い、実験に用いる入力信号とする。

実際の実験に際しては、これをさらにローパス・フィルターを通し、50 Hz以上をカットして造波機への入力

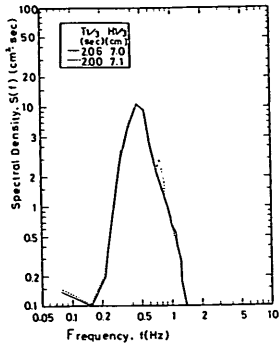


図-2.9 通過波のスペクトル
($T_{1/3} = 2.1 \text{ sec}$)

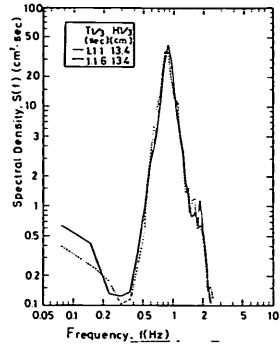


図-2.12 通過波のスペクトル
($T_{1/3} = 1.05 \text{ sec}$)

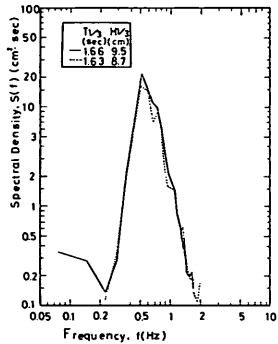


図-2.10 通過波のスペクトル
($T_{1/3} = 1.68 \text{ sec}$)

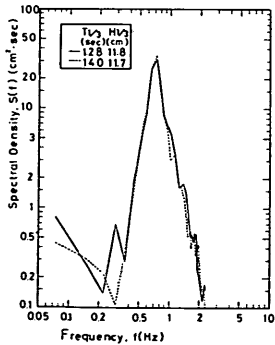


図-2.11 通過波のスペクトル
($T_{1/3} = 1.36 \text{ sec}$)

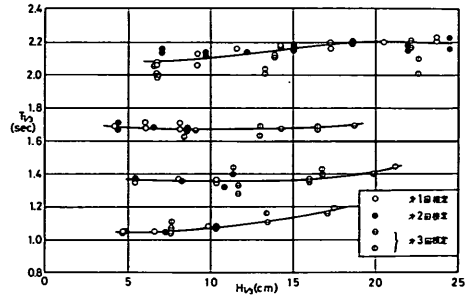


図-2.13 通過波の有義波高 $H_{1/3}$ と有義波周期 $T_{1/3}$ の関係

信号とした。波高はこのローパス・フィルターの増幅度を調整することにより、任意に設定できる。

(b) 通過波の特性

実験に用いた不規則波の入力信号は、Bretschneider・光易型のスペクトルを目標として、各周期ごとに2種類

の波群を設定した。図-2.9～2.12に目標有義周期 2.0 sec, 1.6 sec, 1.3 sec, 1.0 sec ごとの水深 53.5 cm で測定した堤体設置以前の通過波高から求めた実現スペクトルの例を示してある。この実現スペクトルの周波数特性は、ほぼ一致していることがわかる。

特に越波量の実験においては、波高の大きい波の現われ方によって越波量が決るから、同一のスペクトル特性を有する実験波であっても、その中に含まれる最高波高および大きな波高の連なりなどによって異なる。その意味では、波列の異なる多数の波群を対象とした実験を行うべきであるが、本実験においては種々の型式に対する特性をとりあえず比較してみるという観点から、1種類の波列のみ対象とし、補足的に他の1種を用いているにすぎない。

スペクトル解析に用いた波のデータは、略20波目からあとの80～120波程度である。堤体設置以前の状態であっても2点観測波形を分離した結果では、反射率は10%～20%程度認められ、図に示したスペクトルはこれを含んだ合成波形に対するものである。

通過波の検定は併せて3回実施した。図-2.13はこれらの分離入射有義波高 $H_{1/3}$ と合成波形による有義波周期 $T_{1/3}$ の関係を示したものである。 $T_{1/3}$ の値はばらついており、平均的關係では $H_{1/3}$ が大きくなるときやや増大する傾向にある。同様な傾向は堤体を設置したとき

の合成波形による周期にも認められる(付録A参照)。あとの反射実験は比較的波高の小さい範囲で実施していることも考えて、この図の結果から以後の実験データの整理に用いる $T_{1/3}$ をそれぞれ 2.10 sec, 1.68 sec, 1.36 sec, 1.05 sec とすることにした。

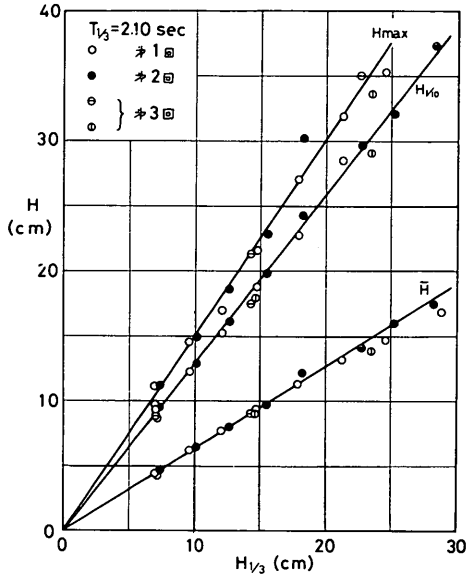


図-2.14 $H_{1/3}$ と \bar{H} , $H_{1/10}$, H_{max} の関係 ($T_{1/3} = 2.10 \text{ sec}$)

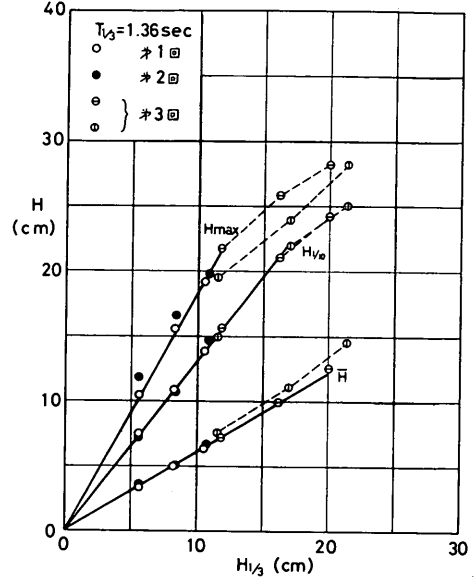


図-2.16 $H_{1/3}$ と \bar{H} , $H_{1/10}$, H_{max} の関係 ($T_{1/3} = 1.36 \text{ sec}$)

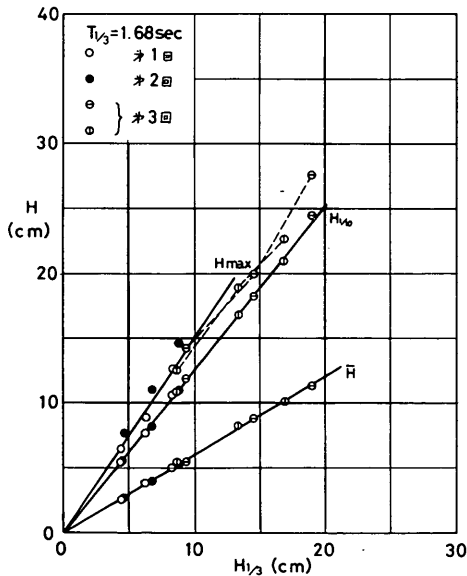


図-2.15 $H_{1/3}$ と \bar{H} , $H_{1/10}$, H_{max} の関係 ($T_{1/3} = 1.68 \text{ sec}$)

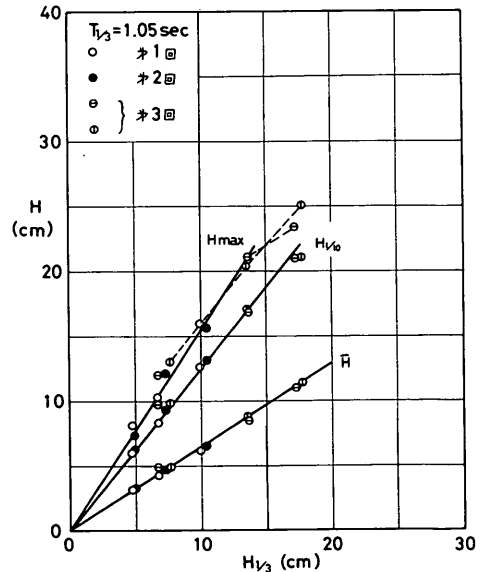


図-2.17 $H_{1/3}$ と \bar{H} , $H_{1/10}$, H_{max} の関係 ($T_{1/3} = 1.05 \text{ sec}$)

図一 2.14 ~ 2.17 はこれらの周期毎に $h = 53.5 \text{ cm}$ での $H_{1/3}$ と平均波高 \bar{H} 、 $1/10$ 最大平均波高 $H_{1/10}$ 、および解析波数内での最高波高 H_{max} との関係を示したものである。それぞれかなり相関性が高いことが認められる。ただし、波高が大きいときは砕波変形の影響が現われてくるので、特に周期が短いとき $H_{1/3}$ の増大に比較して H_{max} 、 $H_{1/10}$ などは増大傾向が鈍化している場合もある。

図に描いた直線の関係から 4 つの周期に対する平均として \bar{H} 、 $H_{1/3}$ 、 $H_{1/10}$ 間の関係を求めると次のようになる。

$$\bar{H}_{1/3} = 1.61 \bar{H}$$

$$H_{1/10} = 1.28 H_{1/3}$$

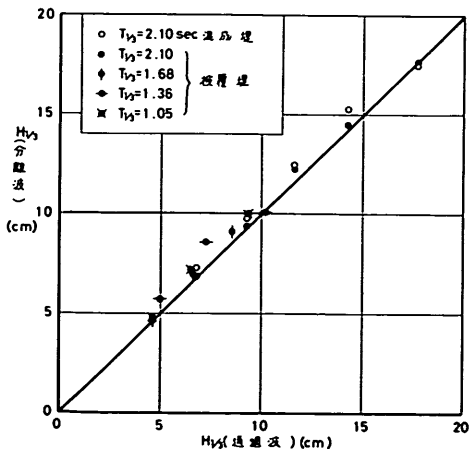
これらは通常のレイリー分布から得られる関係にはほぼ一致している。最高波高については波数との関係による。約 120 波分を対象としている $T_{1/3} = 2.10 \text{ sec}$ については、

$$H_{\text{max}} = 1.50 H_{1/3}$$

であり、越波実験における越波量は砕波変形を受けないとき最高波高が有義波高の 1.5 倍程度の実験波によるものであることに注意を要する。

(c) 分離波の特性

一般に規則波による実験では、一定の条件で実験を遂行するため、模型構造物からの反射波が造波機により再反射されて、再び模型に到達する以前に測定を終了する。不規則波の実験では、この方法を用いた場合測定波数が少くなるので、本実験では造波板からの反射波の影響を含めた状態で行う方法を採用している。そのため、堤体を設置する以前の通過波の特性と堤体を設置した状態で



図一 2.18 分離入射波高と通過波高の相関図

の入射波の特性は必ずしも同じではない。したがって、実験波の諸元としては、条件が変わるごとに堤体設置状態で測定した合成波形から分離して求める入射波の諸元を用いることが原則である。しかしながら、周期については分離入射波スペクトルから求めた値でなく、反射波を含めた合成波形による周期に基づくことにした。

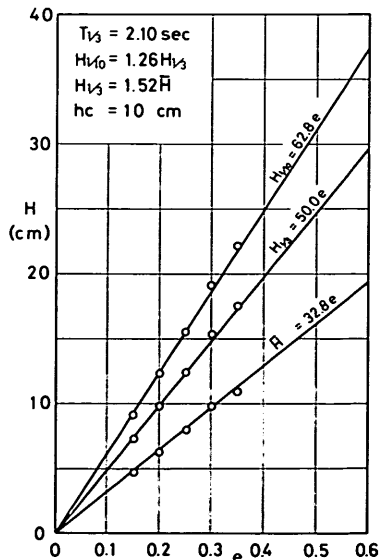
反射実験においては、反射率算定に際して分離入射波高の諸元が全て得られる。この分離入射波による $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 \bar{H} を、2 点における合成波記録から平均値として求めた有義波周期 $T_{1/3}$ と共に全ケースについて付録 A に示しておいた。この周期の値は通過波のそれと同様な変動がある。あとのデータの整理に際しては先に述べた通過波の検定から得た値を用いることにした。

図一 2.18 は堤体設置による多重反射の影響をみるために、同一入力電圧に対する分離入射有義波高と通過波の有義波高の相関図を示したものである。反射率の大きい混成堤に対する結果と小さい被覆堤に対する結果を示しているが、いずれも通過波の有義波高と大差なく、多重反射による影響は小さいといえる。

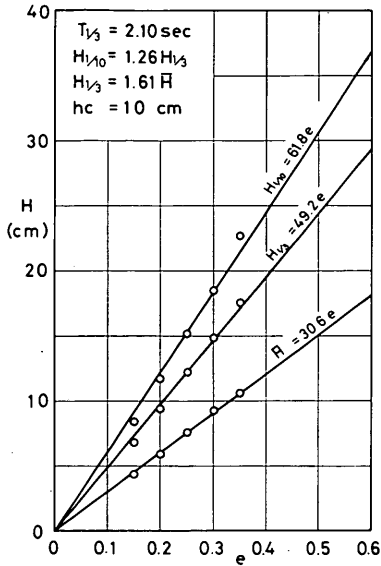
図一 2.19 ~ 2.22 は $T_{1/3} = 2.10 \text{ sec}$ について、入力電圧 e と分離入射波高の関係を各構造型式毎に示したものである。図に示した範囲では e と H はほぼ直線の関係にある。有義波高に対して直線近似したときの関係は

$$H_{1/3} = (50 \sim 46) e$$

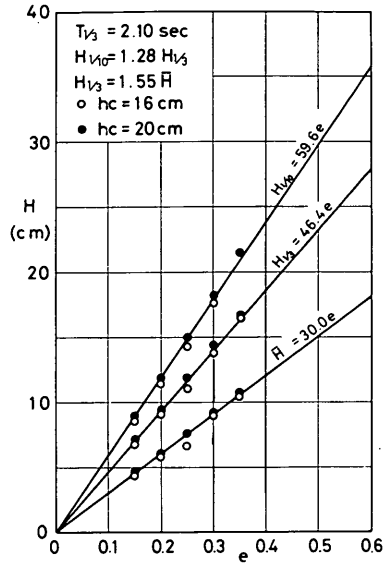
であり、各型式毎に大きな差はない。これからも多重反射による影響はそれほど顕著でないことがわかる。



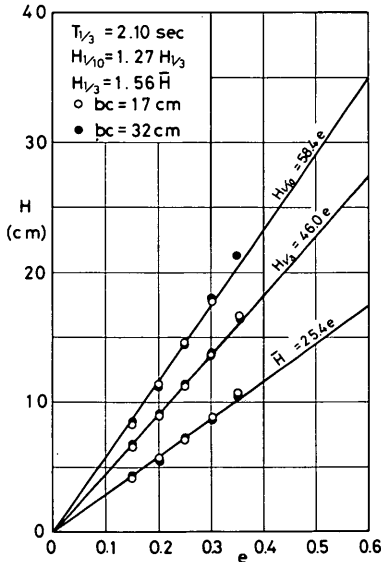
図一 2.19 入力電圧 e と分離入射波高の関係 (混成堤)



図一 2.20 入力電圧 e と分離入射波高の関係 (被覆堤)



図一 2.22 入力電圧 e と分離入射波高の関係 (斜面壁堤)



図一 2.21 入力電圧 e と分離入射波高の関係 (遊水堤)

越波実験結果の整理に用いる波高は、構造型式毎に図一 2.19 ~ 2.22 の直線関係を、大きい場合にもそのまま延長して水深 53.5 cm の波高とすることにした。沖波換算波高はこれから浅水度係数を考慮して求められる。

(2) 実験ケース

(a) 反射実験

反射率の測定は、模型設置水深 42 cm を一定とし、周期 $T_{1/3}$ が 2.10, 1.68, 1.36, 1.05 秒の 4 種類について行った。波高は $h = 53.5$ cm で碎波を生じないような波、2 ~ 5 種類を整理の対象とした。

構造条件によるケースは表一 2.1 に示すとおりである。

表一 2.1 構造条件による反射実験ケース

| 構造型式 | ケースNo | hc (cm) | d (cm) | bp (cm) | bc (cm) |
|------|-------|---------|--------|---------|---------|
| 混成堤 | 10 * | 10 | 32 | — | — |
| | 11 | 10 | 27 | — | — |
| | 12 * | 16 | 27 | — | — |
| 被覆堤 | 20 * | 10 | 32 | — | — |
| 遊水堤 | 30 * | 10 | 32 | 3.0 | 1.7 |
| | 31 * | 16 | 27 | 3.0 | 1.7 |
| | 32 | 10 | 32 | 3.0 | 2.0 |
| | 33 * | 10 | 32 | 3.0 | 3.2 |
| | 34 * | 16 | 27 | 3.0 | 3.2 |
| | 35 | 10 | 32 | 3.0 | 5.0 |
| | 36 | 16 | 27 | 6.0 | 1.4 |
| | 37 | 16 | 27 | 6.0 | 1.7 |
| | 38 | 16 | 27 | 6.0 | 3.0 |
| 39 | 16 | 27 | 6.0 | 3.2 | |
| 斜面壁堤 | 40 * | 16 | 27 | — | — |
| | 41 * | 20 | 27 | — | — |

*印を付けたものについては越波実験を実施した。

天端高 $h_c = 10\text{ cm} \sim 20\text{ cm}$ ，マウンド天端上の水深 $d = 27 \sim 32\text{ cm}$ の組合せにより，混成堤については3ケース，被覆堤については1ケース，斜面壁堤について2ケースを実施している。遊水堤については，そのほか遊水部の幅 $b_c = 14\text{ cm} \sim 50\text{ cm}$ の範囲で4種類，多孔壁の壁厚 b_p を 3 cm と 6 cm の2種類に変えており，全部で10ケースについて反射率の測定を行った。構造条件によるケースは全体で16ケースである。

(b) 越波実験

越波の測定は，周期を $T_{1/3} = 2.10$ 秒の1種類とし，波高は $H_0 = 7.25 \sim 34.1\text{ cm}$ の範囲で6～10種類とした。

構造条件によるケースは，表-2.1に示した反射実験に対するケースのうち，混成堤についてNa10と12，被覆堤のNa20，遊水堤のNa30, 31, 33, 34，斜面壁堤のNa40と41の全部で9ケースである。

すなわち，天端高は混成堤および遊水堤について， 10 cm と 16 cm ，斜面壁堤について 16 cm と 20 cm ，被覆堤については 10 cm で行った。遊水堤の場合，多孔壁厚は 3 cm ，遊水部の幅は 17 cm と 32 cm の2種類とした。

2.3 反射特性に関する実験結果

(1) 各種型式の反射率

反射率に関する実験データは，付録-Aに添付した。その中から4型式についての水深と波長の比 $h/L_{1/3}$ による反射率 K_R を比較して示したのが，図-2.23である。ここに， $L_{1/3}$ は水深 42 cm での有義波の波長である。

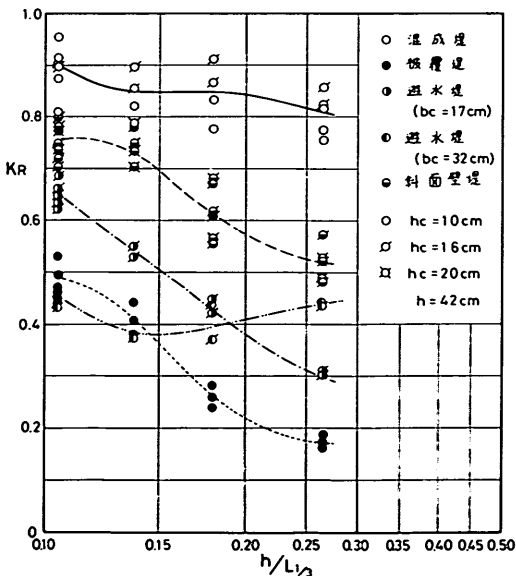


図-2.23 各種型式の水深，波長比による反射率の比較

天端高 $h_c = 16\text{ cm}$ のものを中心としているが，被覆堤は $h_c = 10\text{ cm}$ のものであり，混成堤および斜面壁堤については， $h_c = 10\text{ cm}$ ， 16 cm の両方を併せて示してある。遊水堤については $b_p = 3\text{ cm}$ で， $b_c = 17\text{ cm}$ ， 32 cm の二つを選んである。これについては次項で述べるように，遊水部の幅，天端高あるいはマウンド高などによって反射率は異なる。

データのばらつきが認められるが，実験誤差によるもののほか，波高および天端高の条件による違いが現われているものと思われる。図中の線はこうしたばらつきの平均的関係を示したものである。本結果から次のことが指摘される。

- 1) いずれの構造型式についても，周期により反射率が異なり，遊水堤の $b_c = 32\text{ cm}$ の結果を除いて，本実験の範囲では周期が短いほど反射率は小さくなるといえる。
- 2) しかし，その中でも混成堤の場合は変化が小さく， $h/L_{1/3} = 0.1$ 付近での 0.9 から $h/L_{1/3} = 0.3$ 付近で 0.8 に変化するにすぎない。この反射率は4型式の中で最も大きく反射性の構造型式であることを反映している。
- 3) 斜面壁堤の反射率は 0.8 から 0.5 程度であり，反射波軽減効果のあることが認められる。反射波実験は比較的波高の小さい範囲で実施しており，また $h_c = 16\text{ cm}$ と 20 cm で大きな違いもないことから，越波による軽減ばかりでなく，別の機構があるものと推定される。

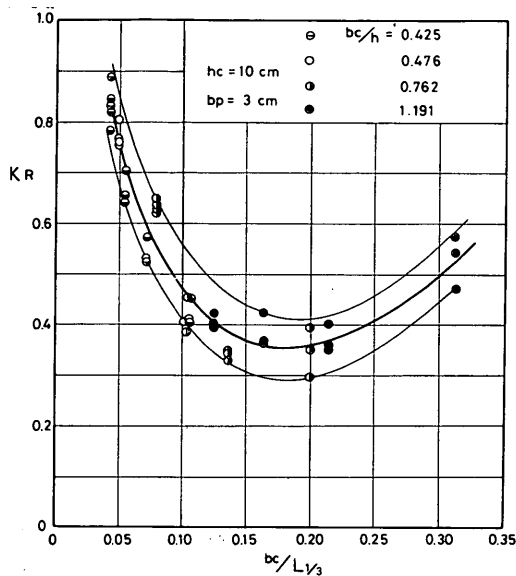
その理由として， d がかなり小さいこと，および水面付近の壁面が斜面であることによって，部分的な砕波が助長されることも一因と考えられる。

- 4) 遊水堤の反射率は，遊水部の幅によって顕著に異なる。ここに示した例では，遊水幅が狭いとき周期減少と共に反射率は小さくなり，幅が広いときはある周期で最小値を示し，それ以上の周期に対しては，かえって反射率が大きくなる傾向を示している。なお，遊水堤の反射率については次項でさらに検討する。本例の場合， $b_c = 17\text{ cm}$ で $h/L_{1/3} = 0.26$ 程度するとき，反射率が 0.3 程度となり，条件によってはかなりの反射波軽減効果が期待できることを示している。

- 5) 被覆堤の反射率も周期の影響が顕著に認められ， $h/L_{1/3} = 0.1$ 付近での 0.5 から $h/L_{1/3} = 0.3$ 付近での 0.15 まで変化する。概して反射波軽減のうえからは，4型式の中で最も効果が高い構造といえる。

(2) 多孔壁式遊水堤の反射特性

遊水堤の場合，多孔壁の壁厚および開孔比ならびに遊水部の幅などの要因によって反射率が異なる。本実験では，開孔比については $\epsilon = 0.236$ の一定とし，主とし



図一 2.24 遊水部幅と波長の比による反射率の関係

て遊水部の幅の影響についてのやや系統的実験結果を述べる。壁厚は 3 cm と 6 cm の 2 種に変化させているが、一般的結論を得るものではない。

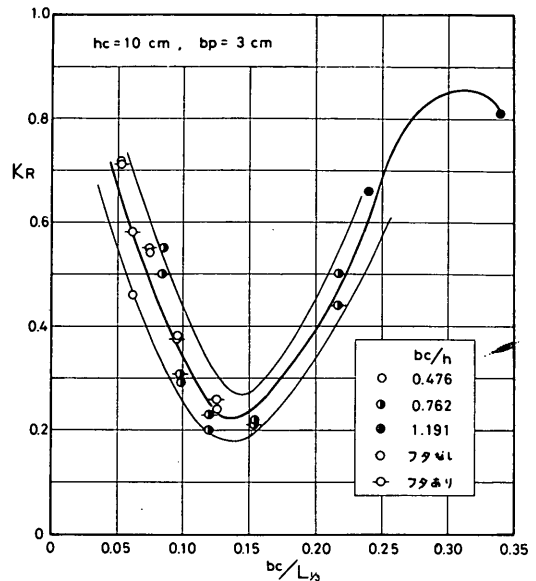
図一 2.24 は天端高 $h_c = 10$ cm, 壁厚 $b_p = 3$ cm の場合の遊水部の幅と水深 42 cm での有義波の波長の比による $b_c/L_{1/3}$ と反射率 K_R の関係を示している。周期を 4 種類、遊水部の幅を 4 種類に変化させたときの結果を併せてプロットしたもので、波高および b_c 等によるばらつきが認められる。

この結果を、対象の周期が決まってい、幅の影響をみるという観点から述べると、 $b_c/L_{1/3}$ の小さいところはわずかな幅の増大によっても反射率は急減し、 $b_c/L_{1/3} = 0.1$ 程度あたりから変化が緩慢となり、0.18 あたりから緩慢ではあるが幅を広くすると、かえって反射率は増大することになるといえる。

こうした変動傾向は、既往の規則波による実験結果あるいは理論計算結果によっても認められているところであり、遊水部を有する防波堤構造物の著しい特徴である。

図一 2.25 は予備実験において行った規則波実験による結果を示したものである。堤体は図一 2.24 の不規則波による実験と同一条件で行ったものであるが、反射率の算定は通常の Healy の方法によっている。

これらの結果を比較すると、不規則波の場合最小値付近の b_c/L による変化はやや緩慢となり、最小値はやや大きくなるようである。これは不規則波においては一波一波の周期が異なり、周期特性がならされたものとな



図一 2.25 規則波による反射率

ることによるものと思われる。遊水部を有する構造において反射波軽減効果は、透過壁での流入、流出に伴うエネルギー損失、および透過壁による反射波と背後の不透過壁からの反射波の位相差が関係しているものと思われる。前者は非線型の現象であるから、不規則波を規則的成分波の線型重ね合わせとして、規則波による検討結果をそのまま不規則波に拡張することには慎重な注意が必要と思われる。この点については消波機構の解明と併せて、さらに今後検討を進めていく予定である。

図一 2.26, 2.27 は天端高 $h_c = 16$ cm の場合の多孔壁厚 $b_p = 3$ cm と 6 cm の結果を示したものである。図一 2.28 に全てのケースに対する結果を併せて、 $b_c/L_{1/3}$ に対して示してあるが、天端高と壁厚の影響について次のようにいえる。

1) h_c が 10 cm と 16 cm の結果は傾向的にかなり異なる。すなわち、 $h_c = 16$ cm の結果は $b_c/L_{1/3}$ の小さい範囲で $h_c = 10$ cm の場合の反射率よりかなり減少する。しかしながら最小の反射率自体は 0.34 程度で大差なく、反射率の変動傾向が $b_c/L_{1/3}$ の小さい方へ全体的に平行移動した形であるが、やや変化が急激である。この理由はよくわからないが、天端高そのものの影響でなく、実験では同時にマウンド厚が 10 cm から 15 cm に大きくなっており、遊水部内での水深も 28 cm から 22 cm に変化しているので、その影響と考えるのが妥当であろう。

2) b_p が 3 cm と 6 cm の結果では、特に $b_c/L_{1/3}$ が小さいところでやや 6 cm の反射率が小さい傾向にあるこ

とが認められる。しかし壁厚のこの程度の差では、それほど反射率は変わらないといえる。

図-2.29に遊水部の幅に壁厚を加えた幅 b_0 を用いて $b_0/L_{1/3}$ に対する反射率を示してあるが、これによ

る壁厚の違いはほとんど認められない。しかしながら、極端に薄い場合、また厚い場合を考えるとその影響のあることは明らかであり、 b_p による最適 b_c あるいは b_0 があるものと思われる。

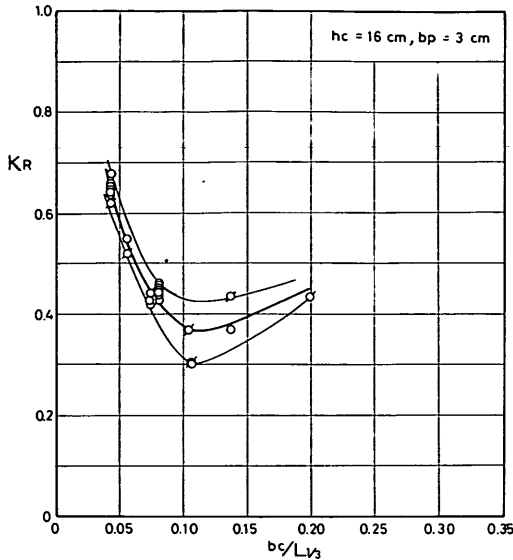


図-2.26 $b_c / L_{1/3}$ と反射率 K_R の関係 ($b_p = 3 \text{ cm}$)

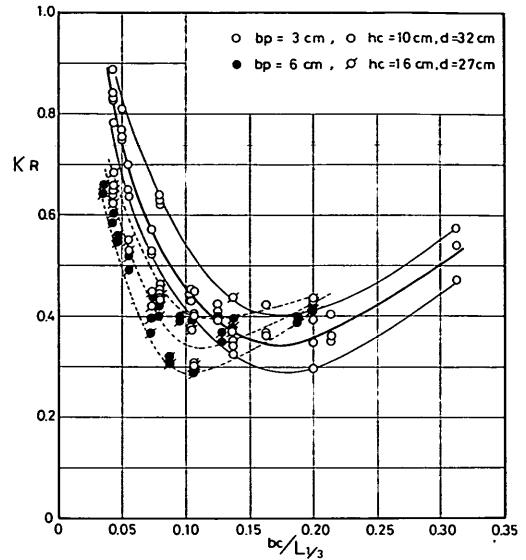


図-2.28 $b_c / L_{1/3}$ と反射率 K_R の関係 (全ケース)

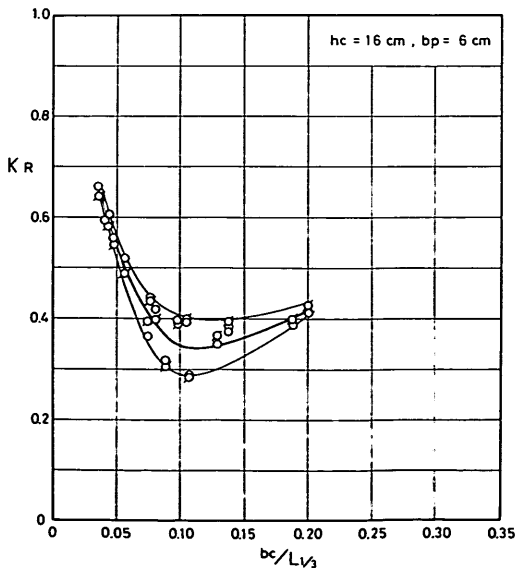


図-2.27 $b_c / L_{1/3}$ と反射率 K_R の関係 ($b_p = 6 \text{ cm}$)

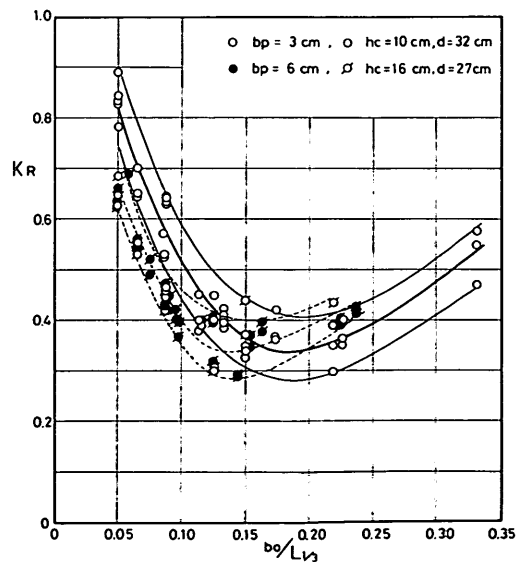
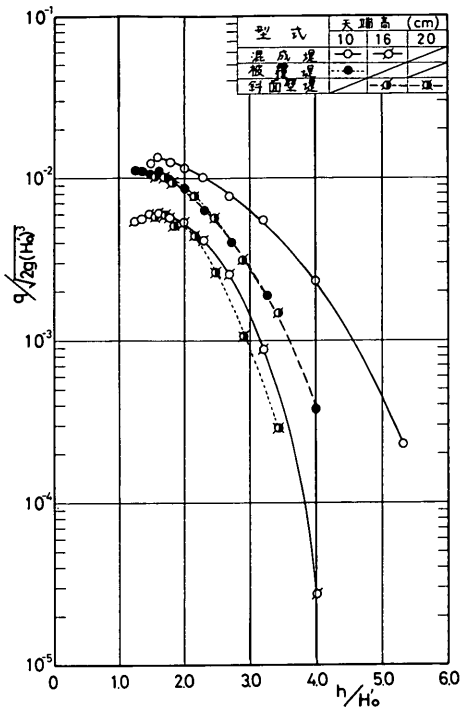
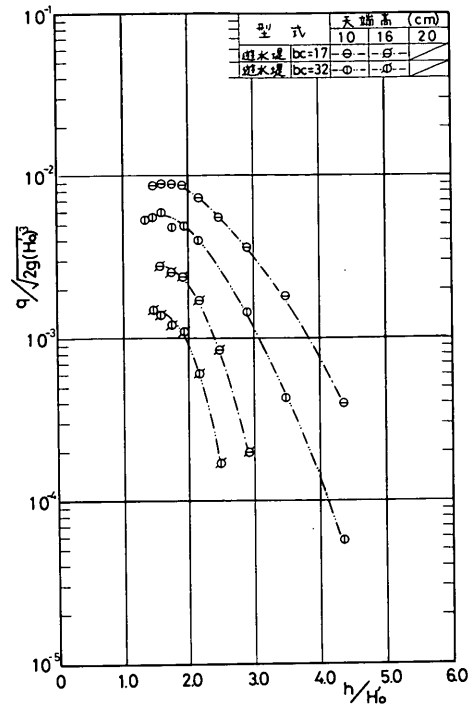


図-2.29 $b_0 / L_{1/3}$ と反射率 K_R の関係 (全ケース)



図一 2.30 各型式による越波流量の比較
(混成堤, 被覆堤, 斜面壁堤)



図一 2.31 各型式による越波流量の比較
(遊水堤)

2.4 越波特性に関する実験結果

越波に関する実験データは付録Bに一括して示した。図一 2.30, 2.31は無次元越波流量 $q / \sqrt{2g(H_0)^3}$ の値で結果をプロットしたものである。ここに、 q は同一条件に対し約120波分づつの越波量を3回繰り返し測定して、単位幅、単位時間当りの値とした平均越波流量 ($cm^3/sec \cdot cm$)である。 H_0 は各型式ごとに図一 2.19 ~ 2.22で与えられる入力電圧 e と $h = 53.5 cm$ での $H_{1/3}$ との関係から浅水変形を考慮して求めた換算沖波の有義波高である。図一 2.30は混成堤, 被覆堤, 斜面壁堤に対する実験結果, 図一 2.31は遊水堤に対する結果を表わしている。これらの結果から本実験条件の範囲において次の点が指摘される。

- 1) 全ケースのうち $h_c = 10cm$ の混成堤の越波流量が最も大きい。 $h_c = 16cm$ とすることによって、 $h_c = 10cm$ の被覆堤の越波流量よりかなり小さくなる。
- 2) 遊水堤の越波流量は天端高のほか遊水部の幅によっても異なる。 $b_c = 32cm$ の結果が $17cm$ のものより小さくなっている。越波については激浪時が問題となることから $T_{1/3} = 2.1 sec$ に対してのみしか検討していないが、短い周期を用いて遊水部の幅を広く変化させると、反射

率の場合のように同一波浪条件に対して越波量を最小にする幅があるものと思われる。

$h_c = 16cm$ で $b_c = 32cm$ の結果は全ケースで最も小さく、 $b_c = 17cm$ がこれにつづく。 $h_c = 10cm$ で、 $b_c = 32cm$ の結果は $h_c = 16cm$ の混成堤と、 $b_c = 17cm$ の結果は $h_c = 10cm$ の被覆堤とそれぞれ同じ程度であり、遊水堤は反射波軽減のみでなく越波軽減効果も期待できることが明らかである。

3) 斜面壁堤の結果は同一天端高で比較したとき、最も大きくなっている。 $h_c = 16cm$ の結果は $h_c = 10cm$ の被覆堤と、 $h_c = 20cm$ の結果は $h_c = 16cm$ の混成堤とほぼ同じである。

3. 波力に関する実験

3.1 模型および実験の方法

(1) 実験水路

波力に関する実験に用いた水路は図一 3.1 に示す津波造波水路である。本水路の諸元は長さ $160 m$ 、幅 $1 m$ 、深さ $1.5 m$ で、ピストン型の造波機によって規則波および孤立波を発生することができる。水路床は造波板位置を基準として $120.5 m$ 地点まで水平床、そこから 130.5

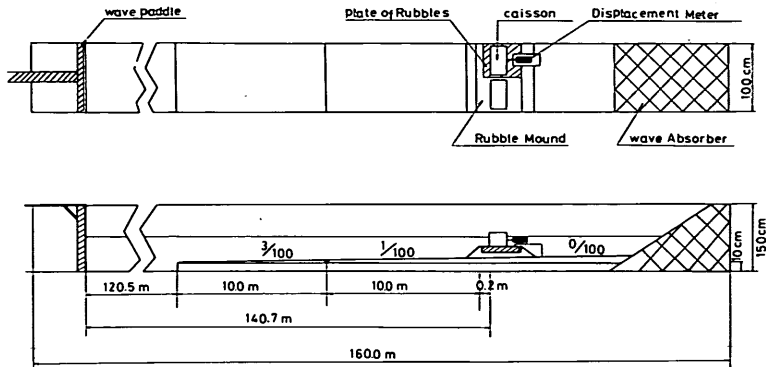


図-3.1 実験水路

m地点まで3/100、つづいて140.5 m地点まで1/100の勾配がついており、あと150 mの地点まで水平床となっている。堤体の設置位置は壁前面が造波板より140.7 mの位置となるように設置する。堤体模型は同じものを2基製作し、水路幅方向に並べて設置することにした。この2基の堤体の間隙および水路側壁との間隙は、互いに接触するのを防ぐ程度とし、1 cm以内である。滑動量の測定は2基の堤体の一方についてのみ行い、他方はダミーとしている。この測定用堤体の底面と接するマウンドの部分は滑動による変形を防ぎ、常に一定の状態を保つようにするため、接着剤で固めた厚さ10 cmの砕石版を用いている。また、マウンドの表面は所定の形状としたのちペーストで散乱を防ぐ程度に固着した。

(2) 滑動実験の方法

本実験は堤体の滑動に対する安定性を検討するための波力を明らかにすることを目的とする。実験は滑動実験の手法によっており、ある波の条件に対し波力と丁度バランスする堤体重量を定め、その重量（滑動限界重量）から逆に波力を得ようとするものである。

堤体に一連の波を作用させたとき、波力が滑動抵抗より大きければその1波1波に対して滑動を生じる。この滑動量を耐水型の差動トランス式変位計を用いて1波1波について測定した。規則波による実験であってもこの1波1波の滑動量は変動する。実験データの整理にあたっては、これらの値の中間値をその波高によるその堤体重量のときの滑動量とすることにした。図-3.2は横軸を堤体の静水中重量、縦軸を滑動量として一定の波の条件のもとで堤体重量を種々に変化させたときの滑動量の変化をプロットしたものである。すべての実験ケースに対しこのような図を作成し、堤体重量に対する滑動量の変化の傾向から曲線を描いて、丁度滑動量が0となる堤体重量を決定し、これを滑動限界重量 W_{0c} （静水中）と

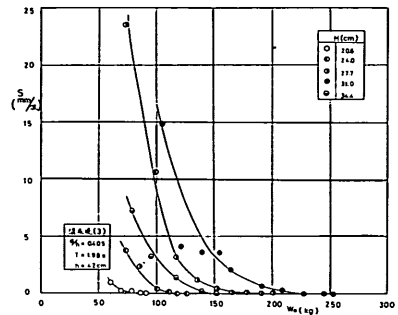


図-3.2 堤体重量による滑動量の変化の例

した。

混成堤や被覆堤のような一般の場合には、堤体に作用する水平波力 P はこの滑動限界重量を用いて、滑動させようとする力と摩擦抵抗力の静的釣合条件を考慮して次式により求められる。

$$P = \mu (W_{0c} - U) \quad (3.1)$$

ここに、 μ は堤体底面とマウンド面の間の摩擦係数、 U は揚圧力である。しかし、揚圧力 U もまた波による力であり、未知数であるから、 U を別に測定するかあるいは波圧分布を仮定しなければならない。ここでは後者により、 P と U の割合が一般の合田による算定式¹²⁾により与えられるものと等しいとして求めることとした。このとき式(3.1)は次のように書きかえられる。

$$P = \frac{\mu W_{0c}}{1 + \mu U_G / P_G} \quad (3.2)$$

ここに、 U_G / P_G は合田による波圧算定式から得られる計算上の揚圧力 U_G と水平波力 P_G との比である。このようにして通常の混成堤や被覆堤については水平波力 P を求めることができる。

遊水堤や斜面壁堤の場合には、波力の作用はもっと複雑であるが、滑動安定に対する波力特性という観点から同様に考えることにする。すなわち、遊水堤の場合には水平波力 P は 2 つの壁で受けることになるが、図-3.3 に示すように前面壁が不透過な壁であると仮想し、これにすべての水平波力が作用すると考え、式(3.2)を適用する。このとき、波の作用によって遊水部内の水位はかわるから、その増減によって重量の変化があり、滑動抵抗力も変化するものと思われる。式(3.2)を用いて得られる水平波力 P はこの影響を含んだものである。

斜面壁堤の場合には図-3.3 に示すように、底面から天端まで直立の壁があるものとして式(3.2)を使用する。実際には斜面壁に作用する波力は鉛直部分に働く波力 P_1 と、斜面部分に働く波力 P_2 とから成る。 P_2 は斜面に垂直な方向に作用すると考えられるから、その鉛直成分によって滑動抵抗力が増加する。今、斜面の水平面からの角度を θ とすればこの抵抗増大は $\mu P_2 \cos \theta$ となり、式(3.2)による水平波力 P はこの効果を含んだものである。

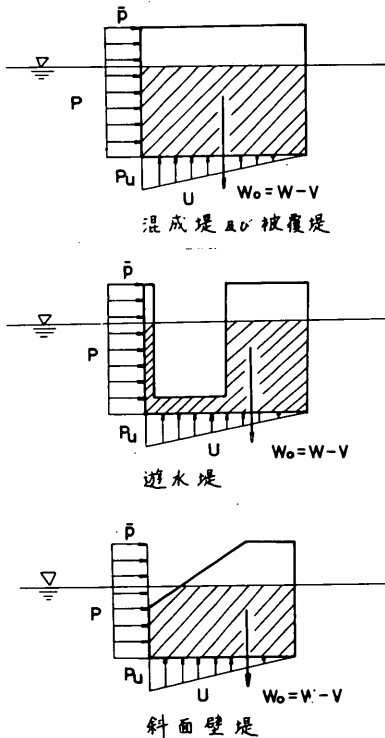


図-3.3 堤体に作用する波力と堤体重量

式(3.2)によって水平波力 P を得るためには、摩擦係数 μ を測定しておかなくてはならない。図-3.4 はそ

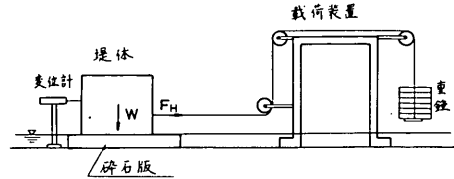


図-3.4 摩擦係数の測定

の検定試験の方法を示すもので、滑車と重錘によって砕石版上の堤体に水平力を載荷する。このとき滑動面がわずかに水没する程度に水位を調整した。載荷位置は各堤体について 3 ケ所に変えて試験を実施した。図-3.5 は

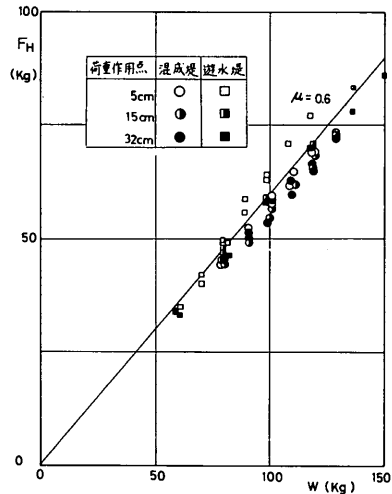


図-3.5 摩擦係数 μ

混成堤のケーソンと遊水堤のケーソンについての摩擦係数 μ の試験結果である。ここに、横軸は堤体重量 W で縦軸は水平載荷力 F_H であり、堤体の区別と載荷位置の違いをパラメータとして示している。水平力の載荷位置の変化によりモーメントが異なり、堤体の端趾圧の分布が違ふこととなるので、 μ の値にも差が生ずるのではないかと考えられるが、試験結果ではこれによる傾向的差異は認められない。これは本試験は滑動面が固い状態で行っていることにもよるものと思われる。遊水堤のケーソンの摩擦係数が混成堤のケーソンよりわずかに大きい値を示しているが、ほぼ 0.6 と考えてよい。また他のケーソンではややこの値より小さくなったが、実験結果の整理では全てのケースに対し $\mu = 0.6$ を用いることにした。

(3) 実験ケース

実験は次の4型式について実施した。

- 1) 混成堤
- 2) 消波ブロック被覆堤
- 3) 遊水堤
- 4) 斜面壁堤

これらの堤体模型の断面諸元および記号を図-3.6に示す。遊水堤については、多孔壁式遊水堤のほかに、合田ら¹³⁾が低天端の護岸型式を考えるうえで取り扱った駒型縦スリット壁をとりあげ、さらに一般の平型スリット壁のものについても実験を行った。これらの壁面の諸元は図-3.7及び図-3.8に示すとおりである。

実験ケースを表-3.1に示す。混成堤については $d/h = 0.643 \sim 0.167$ の範囲で5ケースのマウンド高さについて実験を行っている。遊水堤に対しては、マウンドの高さを変えるほかに遊水部の幅 bc を多孔壁の場合には 16.8 cm と 29.3 cm 、縦スリット壁のときには 13.8 cm と 26.3 cm のそれぞれ2ケース実施した。消波ブロック被覆堤および斜面壁堤は、 $d/h = 0.643$ と 0.405 の2種類のマウンド高さについて実験を行った。

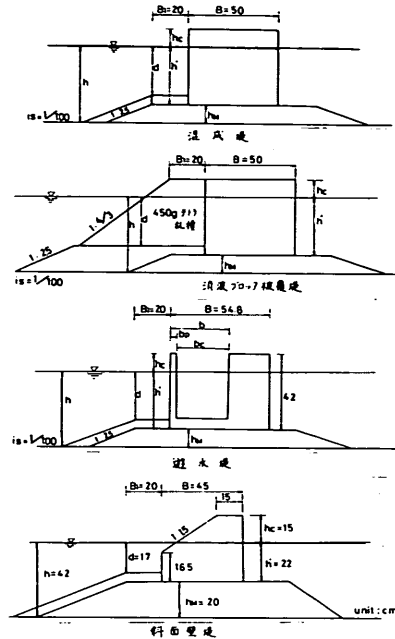


図-3.6 各型式の諸元及び記号

表-3.1 波力に関する実験ケース

| 堤体名 | 前面壁 | T | h | h _M | d | hc | bc | bp | bs | B | H |
|------|----------|-----|----|----------------|----|-----|------|------|-----|------|--|
| 混成堤 | - | 198 | 42 | 10 | 27 | 115 | - | - | 48 | 50 | T = 198 sec のときは、 124 206 240 277 310 344 378 cm の7ケース T = 1.8 s のときは、 180 227 256 308 322 cm の5ケース |
| | | | | 15 | 22 | 112 | - | - | 48 | | |
| | | | | 20 | 17 | 109 | - | - | 48 | | |
| | | | | 25 | 12 | 106 | - | - | 48 | | |
| 被覆堤 | - | 198 | 42 | 10 | - | 100 | - | - | 47 | 40 | |
| | | | | 20 | - | 109 | - | - | 48 | 50 | |
| 遊水堤 | 多孔壁 | 198 | 42 | 10 | 27 | 10 | 16.8 | 30 | 49 | 54.8 | |
| | | | | 10 | 27 | 10 | 29.3 | 30 | 49 | 54.8 | |
| | | | | 15 | 22 | 15 | 16.8 | 30 | 49 | 54.8 | |
| | | | | 15 | 22 | 15 | 29.3 | 30 | 49 | 54.8 | |
| | | | | 20 | 17 | 20 | 16.8 | 30 | 49 | 54.8 | |
| | | | | 20 | 17 | 20 | 29.3 | 30 | 49 | 54.8 | |
| | 平型縦スリット壁 | 198 | 42 | 10 | 27 | 10 | 138 | 6.0 | 49 | 54.8 | |
| | | | | | 10 | 27 | 10 | 26.3 | 6.0 | 49 | 54.8 |
| | | | | | 20 | 17 | 20 | 13.8 | 6.0 | 49 | 54.8 |
| | | | | | 20 | 17 | 20 | 26.3 | 6.0 | 49 | 54.8 |
| | 駒型縦スリット壁 | 198 | 42 | 10 | 27 | 10 | 138 | 6.0 | 49 | 54.8 | |
| | | | | | 10 | 27 | 10 | 26.3 | 6.0 | 49 | 54.8 |
| 20 | | | | | 17 | 20 | 13.8 | 6.0 | 49 | 54.8 | |
| 20 | | | | | 17 | 20 | 26.3 | 6.0 | 49 | 54.8 | |
| 25 | | | | | 12 | 25 | 13.8 | 6.0 | 49 | 54.8 | |
| 25 | | | | | 12 | 25 | 26.3 | 6.0 | 49 | 54.8 | |
| 斜面壁堤 | - | 198 | 42 | 20 | 17 | 15 | - | - | 48 | 45 | |
| | | | | 10 | 27 | 10 | - | - | 48 | 45 | |

(単位: cm, sec)

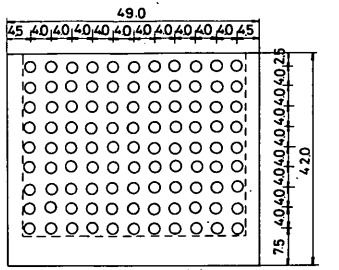


図-3.7 多孔壁の諸元

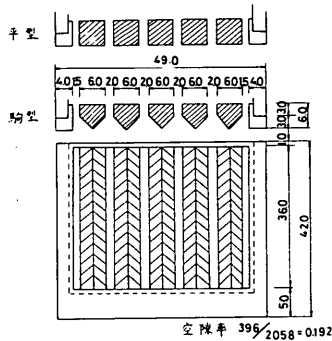


図-3.8 駒型及び平型スリット壁の諸元

水深と波の周期は全型式について $h = 42\text{ cm}$, $T = 1.98\text{ sec}$ とし、遊水堤の場合のみ $h = 54\text{ cm}$, $T = 1.8\text{ sec}$ のケースを加えた。

波高については重複波から砕波後までの波を対象とし、 $T = 1.98\text{ sec}$ の波については7ケースの実験を行った。造波機の偏心量 e と堤体設置位置における通過波高の関係と、堤体から測った砕波点までの距離 B_p を図-3.9に示した。波高はその値が最大となる付近まで偏心量にはほぼ比例している。図中の直線はその比例直線であり、最大となる波高はこの比例関係よりわずかに小さな値となるにすぎない。この図から波高が最大となるときを、堤体設置位置での砕波波高 H_b とすると $H_b = 29.6\text{ cm}$ となる。これより大きな偏心量では堤体の沖側で砕波するようになり、波高は減少している。

一般に最大の波力を生ずる波は堤体のやや沖側で砕波する通過波であり、図の堤体位置での波高では砕波後のやや減少した波高に相当する。このときの波高としては、堤体のやや前方での砕波波高を用いることが妥当と思われるので、実験結果の整理に用いる波高は砕波後の波に対しても、図の比例直線をそのまま延長した仮想通過波高を用いることにした。したがって、後述の実験結果に

において $\bar{p}/W_0 H$ が最大値を示したのち減少する領域は実際の砕波後の波高で除した値よりも著しく小さくなっているものもあり、注意を要する。実際の観点からは、波力が最も大きくなる波高まで検討すれば充分であり、砕波後の波による実験はこの最大値を確認するためのものである。

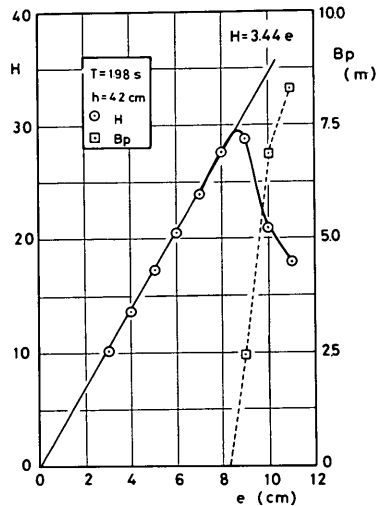


図-3.9 偏心量と通過波の波高および砕波点

$T = 1.8\text{ sec}$ の波については水路の特性から偏心量を大きくしても造波板の前面で砕波してしまい、通過波としての砕波を発生させることができなかった。このため、 $H = 18.0\text{ cm}$ からはほぼ砕波に近い $H = 32.2\text{ cm}$ の波の5ケースについて実験を実施した。

3.2 実験結果

(1) 混成堤

まず、波の作用状況について述べておく。マウンドが低い $d/h = 0.643$ の場合には、 $H = 31.0\text{ cm}$ のとき堤体の沖側 0.7 m , $H = 34.4\text{ cm}$ のとき 7 m , $H = 37.8\text{ cm}$ のときは 8.5 m 程度の位置で崩れ波となり、堤体には崩れ波として作用する。マウンドを高くしていくと、次第に波高が小さくてもマウンド上で巻き波となって堤体に作用するようになるが、崩れ波型の破波をし始める位置は低マウンドの場合とあまりかわらない。たとえば $d/h = 0.405$ のとき、 $H = 31.0\text{ cm}$ の波は 0.7 m 前方で波頂部が崩れ始め、さらにマウンドがあることによって巻き波状に変形して堤体に衝突する。また $H = 34.4\text{ cm}$ では沖側 7 m 付近で崩れ波となり、波頂部が砕けながらさらにマウンド上で巻き波状となり堤体に作用する。写真-3.1 ~

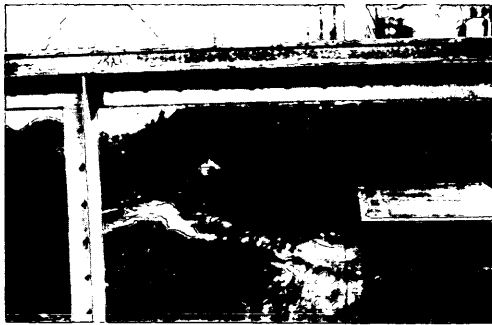
3.5は各々のマウンド高さについて $H = 31.0\text{ cm}$ のときの波の状況を示すものであり、マウンドが高くなればなるほど、はげしく巻いて堤体に衝突していることがわかる。

図一3.10に実験結果を示すが、平均波圧強度 \bar{p} の変化は波の作用の状況ともよく対応している。マウンドが低い $d/h = 0.643$ や 0.524 の場合には、波高が小さいとき重複的な波であるので \bar{p} はそれほど大きくはなく、波高が増大するにつれて大きくなり、直前で崩れ波となる波高で最大となる。この最大の \bar{p} を生ずる波高は $H = 31.0\text{ cm}$ と $H = 34.4\text{ cm}$ の間にある。波力はマウンドが高くなるにともなって、波高が比較的小さいときでも大きくなる傾向を示している。また巻き波状になって碎波が衝突する条件では、 \bar{p} が著しく大きくなっていることが認められる。各マウンドの高さについて、最大波力が発生する波高はそれほどかわらず、いずれも $H = 31.0\text{ cm}$ と 34.4 cm の間にある。

同図に \bar{p} を $w_0 H$ で除した $\bar{p}/w_0 H$ の値も併せて示した。波高に対し \bar{p} が比例するならば、 $\bar{p}/w_0 H$ の値は一定値となる。マウンドが低く波高が小さい場合には、ほぼそのような傾向にあり、 $\bar{p}/w_0 H = 0.6$ 程度であ



写真一3.3 混成堤 ($d/h = 0.405$, $H/h = 0.738$)



写真一3.1 混成堤 ($d/h = 0.643$, $H/h = 0.738$)



写真一3.4 混成堤 ($d/h = 0.286$, $H/h = 0.738$)

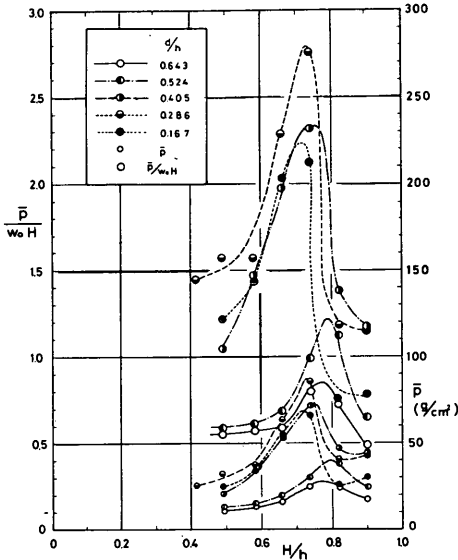


写真一3.2 混成堤 ($d/h = 0.524$, $H/h = 0.738$)

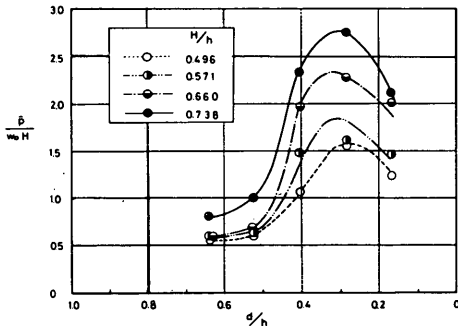


写真一3.5 混成堤 ($d/h = 0.167$, $H/h = 0.738$)

る。しかし、マウンドが低くても波高が砕波波高に近づくほど \bar{p}/w_0H の値は大きくなり、最大値を示し、 $d/h = 0.643$ のときには $\bar{p}/w_0H = 0.85$ となっている。マウンドが高くなるにつれて \bar{p}/w_0H の値は大きくなる。たとえば $d/h = 0.286$ においては、 $H = 17.4\text{ cm}$ においても $\bar{p}/w_0H = 1.44$ と大きく、この値は波高とともに増大し最大値では $\bar{p}/w_0H = 2.75$ となり強大な波力が発生するようになることがわかる。



図一 3.10 混成堤の実験結果



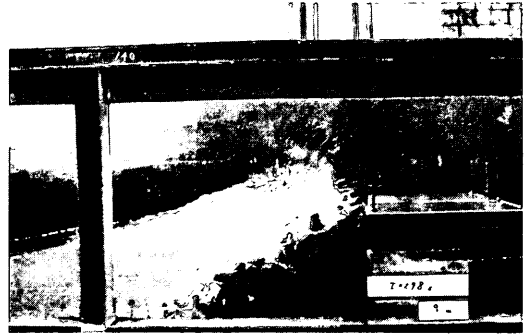
図一 3.11 混成堤の実験結果 (d/h)

図一 3.11 は d/h による波力の変化をみやすくするために、横軸を d/h にとって図一 3.10 を書きなおしたものである。この図より、 $d/h = 0.3$ 付近が最も危険なマウンドの高さであり、 $d/h = 0.45$ から 0.15 の範囲では \bar{p}/w_0H が 2 を越える強大な波力が働くことがある

といえる。こうしたマウンド高さによる波力の変化は、マウンド前肩幅 B_1 によっても影響される。今回の実験は $B_1 = 20\text{ cm}$ のときについて検討したものである。

(2) 消波ブロック被覆堤

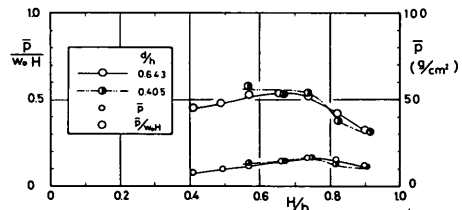
消波ブロック被覆堤の場合には、特に波高が大きくなると、たとえば写真一 3.6 のように、消波ブロックの斜



写真一 3.6 消波ブロック被覆堤 ($d/h = 0.405$, $H/h = 0.738$)

面を塑上する流れのようになる。マウンドを高くした場合にも、こうした波の状況はあまりかわらなかつた。

図一 3.12 に実験結果を示したが、マウンドの高さの違いによってはそれほど大きな差が認められない。また \bar{p}/w_0H の値は 0.58 程度で一定であり、波力は波高に比例していることがわかる。この値は混成堤と比べれば、 $d/h = 0.643$ でマウンドが低く波高が小さい場合とはほぼ一致している。すなわち重複波の値程度の波力が作用しているといえる。波高が大きく砕波が作用する場合には、マウンドが低くても若干の波力減殺効果が認められる。マウンドが高い場合、混成堤には極めて大きな波力が作用するわけであるが、被覆堤の場合はほぼ波高に比例した力であり、特に衝撃の砕波力が発生する条件に対して、波力減殺効果が顕著であることがわかる。これは消波ブロックがあるとき、波の作用状況が巻き波型とならず、それほど強い波力を生じさせないことによる。

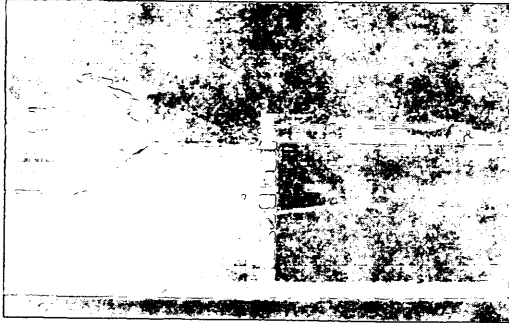


図一 3.12 消波ブロック被覆堤の実験結果

(3) 遊水堤

(a) 多孔壁式遊水堤

多孔壁式遊水堤の場合、混成堤の場合に比較して堤体前面の波面の乱れがやや大きく、マウンドが高くなるほど顕著となる。これは反射波が入射波の周期より短い周期成分をも、かなりの強さで含んでいるからであると思われる。しかしながら、堤体に作用する直前の波の状況はどの d/h に対しても混成堤とはほぼ同じであり、遊水幅 b_c をかえてもあまり変化しない。ただ遊水部内の乱れの程度は b_c が広いほど大きいようである。写真—3.7～3.10は $H=31.0\text{cm}$ 、 $b_c=16.8\text{cm}$ のときの波の作用の状況を各マウンドの高さについて示すものであり、波面がかなり乱れているが、マウンドが高くなるほどはげしく衝突していることがわかる。



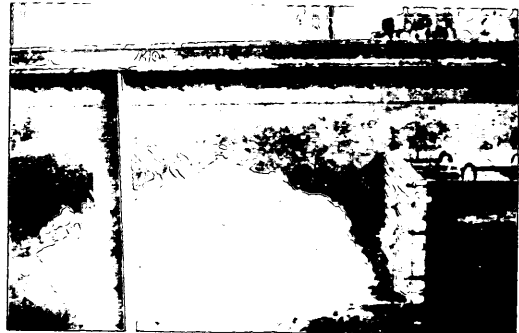
写真—3.7 多孔壁式遊水堤 ($d/h = 0.643$, $H/h = 0.738$, $b_c = 16.8\text{cm}$)



写真—3.9 多孔壁式遊水堤 ($d/h = 0.405$, $H/h = 0.738$, $b_c = 16.8\text{cm}$)



写真—3.8 多孔壁式遊水堤 ($d/h = 0.524$, $H/h = 0.738$, $b_c = 16.8\text{cm}$)



写真—3.10 多孔壁式遊水堤 ($d/h = 0.286$, $H/h = 0.738$, $b_c = 16.8\text{cm}$)

図—3.13は $b_c=16.8\text{cm}$ の場合の実験結果であり、図—3.14は $b_c=29.3\text{cm}$ の結果である。マウンドが高くなれば同時にそれだけ堤体の天端が高くなる条件で実験を行っており、こうした天端の違いによる影響も水平波力 P の値に含まれている。また遊水部内の水位の上昇量も条件によって異なっているので、これによる滑動抵抗の増加は一定でなく、波力 P の値に及ぼす影響も一定ではない。

実験結果を判断するにはこうしたことも考慮しなければならないが、図から明らかなように波高が大きくなるとともに波力は大きくなり、最大値をとるのは $H=31.0\text{cm}$ から $H=34.4\text{cm}$ の間の波高で、混成堤の場合よりやや大きい。マウンドが高くなれば波力は増大するが、混成堤と比べればかなり減少した値となり、たとえば $d/h=0.286$ 、 $b_c=13.8\text{cm}$ のとき \bar{p}/w_0H の最大値は

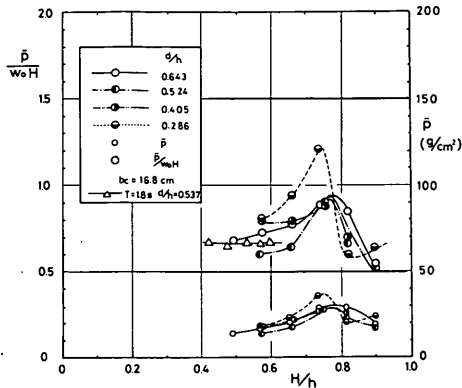


図-3.13 多孔壁遊水堤の実験結果
($b_c = 16.8\text{ cm}$)

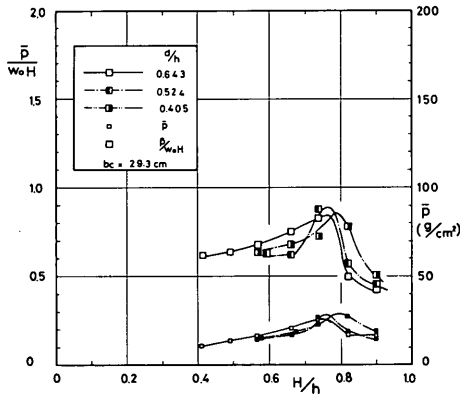


図-3.14 多孔壁遊水堤の実験結果
($b_c = 29.3\text{ cm}$)

1.2である。多孔壁の空隙率は23.6%であり、前面壁だけを考えれば受圧面積が減少しているだけ全波力は減少することも考えられるが、混成堤の場合は同条件で $\bar{p}/w_0H = 2.75$ であり、それよりはるかに小さな値である。壁面に衝突する直前の波の状況がほぼ同じであっても、孔があることによって波面が衝突したときの水の流れが変わり、波力も減少するものと思われる。なお、この波力は滑動に寄与する波力であり、部材の強度の検討に用いる波力については別の考慮が必要であろう。

マウンドが低い $d/h = 0.643$ の場合には、混成堤に比べて少しではあるがかって大きくなっており、遊水堤とすることによって必ずしも波力が減少するものではないことに注意を要する。たとえば $b_c = 13.8\text{ cm}$ の場合には、波高が小さく重複的な波のときには $\bar{p}/w_0H =$

0.7程度であり、もっとも大きい波力は $\bar{p}/w_0H = 0.92$ である。いずれも混成堤より若干大きい値であり、これは2つの壁で波力を受けるからであると思われる。また遊水幅 b_c が広くなれば波力は減少する傾向にあるが、その差はそれほど大きくはない。

$T = 1.8\text{ sec}$, $h = 54\text{ cm}$ で $d/h = 0.537$ の場合についても比較のため実験を実施しており、その結果を示しているが、実験条件の範囲では $T = 1.98\text{ sec}$ の結果とそれほど差は認められない。

(b) 縦スリット壁式遊水堤

平型縦スリット壁と駒型縦スリット壁の実験結果をそれぞれ図-3.15と3.16に示す。平型の場合は $d/h =$

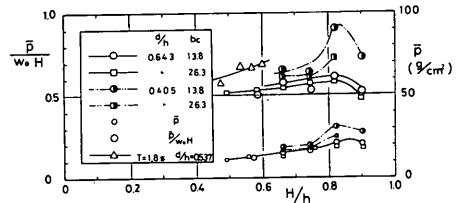


図-3.15 平型スリット式遊水堤の実験結果

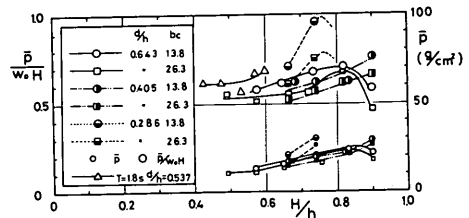


図-3.16 駒型スリット式遊水堤の実験結果

0.643, 0.405の2ケース、駒型の場合には $d/h = 0.643, 0.405, 0.286$ の3ケースについての結果である。平型と駒型とは、ほぼ同じくらいの波力が作用している。多孔壁の場合とくらべれば、いずれのマウンド高さにおいてもやや小さな値となるが、差はそれ程大きくなく、波の作用状況も全般的には多孔壁の場合とあまりかわらない。

しかしながら、 $d/h = 0.405$ のマウンド高さにおいて、平型の場合も駒型の場合も $H = 31.0\text{ cm}$, $H = 34.4\text{ cm}$, $H = 37.8\text{ cm}$ のときの波の作用の状況が異っていた。平型の場合には、混成堤であれば堤体より沖側7mのところまで崩れ波となった $H = 34.4\text{ cm}$ の波でも崩れ波とならず、波高がそれ程減衰せずにマウンドまで達し、写真-3.11

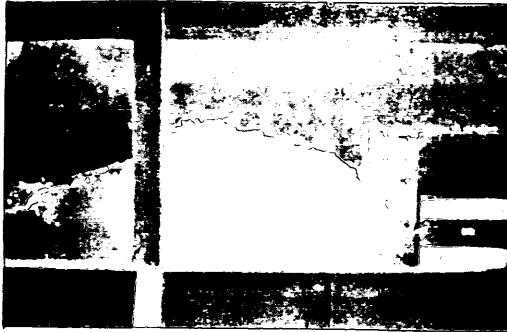


写真-3.11 平型縦スリット式遊水堤 ($d/h = 0.405$, $H/h = 0.819$, $b_c = 13.8 \text{ cm}$)

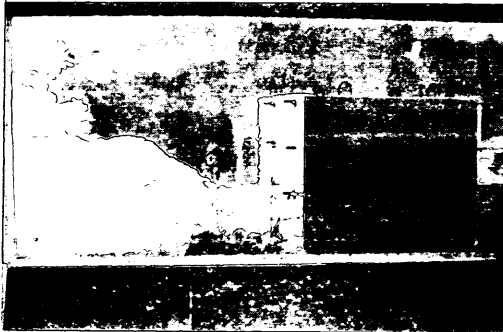


写真-3.12 駒型スリット式遊水堤 ($d/h = 0.285$, $H/h = 0.738$, $b_c = 13.8 \text{ cm}$) 側面

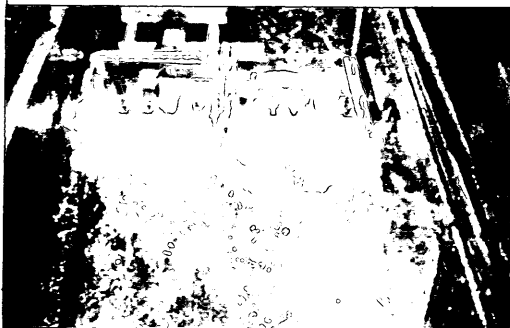


写真-3.13 駒型スリット式遊水堤 ($d/h = 0.285$, $H/h = 0.738$, $b_c = 13.8 \text{ cm}$) 前面

のように巻き波となって壁面に衝突している。駒型の場合には、さらに $H = 37.8 \text{ cm}$ の波でも崩れ波とはならず、マウンドまで達している。このような波の状況は平均波圧強度 \bar{p} の最大値の現われ方と対応している。平型縦スリット壁は多孔壁より波高が 1 割程度大きい $H = 34.4 \text{ cm}$ 付近において \bar{p} の最大値 ($\bar{p}/w_0 H = 0.92$) が現われ、さらに駒型では波高が 2 割大きい $H = 37.8 \text{ cm}$ 付近で最大値 ($\bar{p}/w_0 H = 0.85$) となっている。このように、 \bar{p} が最大値となる波高は、各壁によって異なっているが、 \bar{p} の値そのものはそれほど差がない。

$d/h = 0.643$ の場合には駒型スリット壁も平型スリット壁も多孔壁のときと波の作用の状況はあまりかわっていない。しかし、 $\bar{p}/w_0 H$ の最大値は平型で 0.6、駒型で 0.7 であり、多孔壁のときと比べて 15~25% 程度小さい値となっている。駒型に対しては、 $d/h = 0.286$ の場合についても実験を行った。 $\bar{p}/w_0 H$ の最大値は 1.0 ぐらいであり、多孔壁より少し減少している。このときの波の様子を写真-3.12 と 3.13 に示す。

$T = 1.8 \text{ sec}$, $h = 54 \text{ cm}$, $d/h = 0.537$ の条件に対して多孔壁の場合と同様に、平型および駒型縦スリット壁についても実験を実施したが、実験条件の範囲では $T = 1.98 \text{ sec}$ の結果とあまり差が認められなかった。

(4) 斜面壁堤

斜面壁堤の場合は $d/h = 0.524$ と 0.405 の 2 ケースを実験した。堤体は鉄筋コンクリートの壁とアクリル合成樹脂板の斜面壁でできているが、 $d/h = 0.524$ のマウンドが低い場合には、堤体の中詰を水だけとしても滑動は生じなかった。これから $\bar{p}/w_0 H$ は $H = 31.0 \text{ cm}$ のときでも 0.35 以下であることがわかる。このときは天端が $h_c = 10 \text{ cm}$ とそれほど高くなくともあって、被覆堤のように斜面を塑上する流れのようになり、越波量の多いことが認められた。

$d/h = 0.405$ のときはマウンドが高いために、混成堤のときと同様に波高が大きくなるとマウンド上で巻き波となって堤体に衝突するようになった。このような波では、たとえば写真-3.14, 3.15 に示すように砕波が堤体の鉛直壁にあたり、さらに斜面に衝突して斜面を塑上する。 $h_c = 15 \text{ cm}$ と比較的天端が高かったのであるが、越波量も多い。

このときの波力は図-3.17 に示すように、波高が小さいときには $\bar{p}/w_0 H = 0.5$ 以下と小さく、波が巻き波となってはげしく衝突するにしたがって大きくなるが、それでも最大値は $\bar{p}/w_0 H = 0.66$ 程度であり、混成堤の $\bar{p}/w_0 H = 2.75$ に比べればはるかに小さな値である。



写真-3.14 斜面壁堤 ($d/h = 0.405$, $H/h = 0.738$, 作用直前)

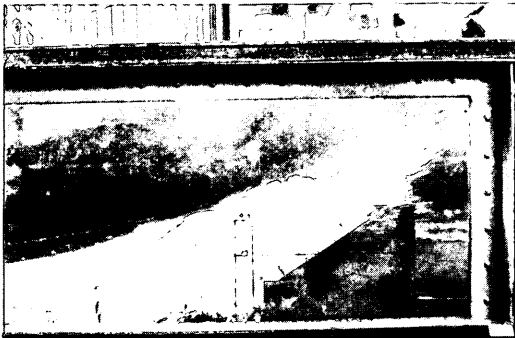


写真-3.15 斜面壁堤 ($d/h = 0.405$, $H/h = 0.738$, 作用直後)

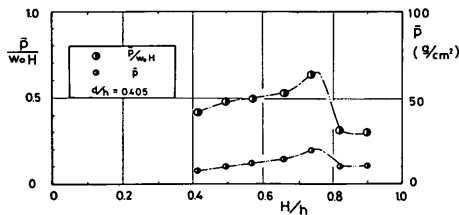


図-3.17 斜面壁堤の実験結果

(5) 各型式の比較

図-3.18は $d/h = 0.643$ のときの各型式の結果を、波高を横軸にとり、縦軸に $\bar{p}/w_0 H$ をとってプロットしたものである。図-3.19は同様に $d/h = 0.405$ の場合について示したものである。ただし、遊水堤については、遊水部の内寸幅が小さい方の結果を示したものであり、 h/L はすべて 0.111 のときの結果である。型式によって最大波力が発生する波高が異なるため、表-3.2では、波高 H のかわりに堤体設置位置での通過波の碎波波高 $H_b = 296 \text{ cm}$ を用いて $\bar{p}/w_0 H_b$ の最大値 ($\bar{p}/$

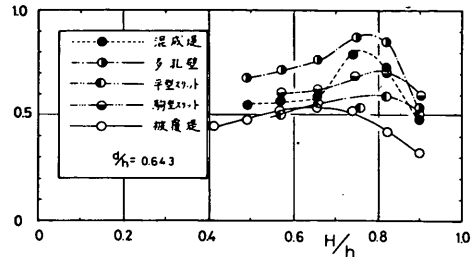


図-3.18 各型式に作用する波力の比較 ($d/h = 0.643$)

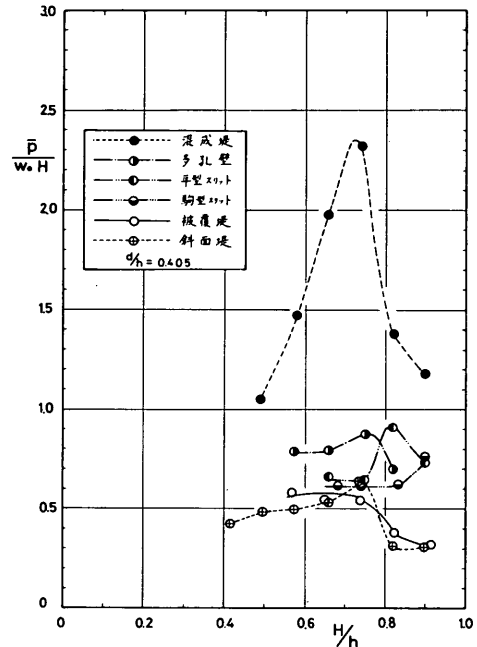


図-3.19 各型式に作用する波力の比較 ($d/h = 0.405$)

表-3.2 各型式に作用する波力の比較

($H_b = 296 \text{ cm}$)

| 堤体の種別 | $(\bar{p}/w_0 H_b)_{\max}$ | |
|-------------|----------------------------|---------------|
| | $d/h = 0.643$ | $d/h = 0.405$ |
| 混成堤 | 0.95 | 2.43 |
| 消波ブロック被覆堤 | 0.55 | 0.58 |
| 多孔壁式遊水堤 | 1.01 | 1.05 |
| 平型縦スリット式遊水堤 | 0.74 | 1.05 |
| 駒型縦スリット式遊水堤 | 0.84 | 1.02 |
| 斜面壁堤 | 0.35 以下 | 0.70 |

$w_0 H_b$) max を示している。

$d/h = 0.405$ のマウンドの高さでは、混成堤の場合には低いマウンドに比べて、どの波高についてもかなり大きな波力が発生し、今回の実験条件では最大波力が $\bar{p}/w_0 H = 2.32$ ($(\bar{p}/w_0 H_b) \max = 2.43$) にも達した。こうした強大な波力が発生することはさけるべきであり、このためには二通りの方法が考えられる。その一つは、堤体に作用する波がこのように巻き波状とならないようにする方法であり、もう一つは、このような波が作用しても安定な型式を選ぶことである。

前者の方法には、当然マウンドの形状をかえることも含まれるが、この他には消波ブロック被覆堤がある。被覆堤では作用する波の状況が混成堤とは全く異なり、 $\bar{p}/w_0 H$ はほぼ一定で、その値も 0.58 と小さい。

遊水堤は後者に属すると考えられ、堤体前面の波は堤体からの反射波によってかなり乱れるが、その波の作用する様子は混成堤とあまりかわらない。 $\bar{p}/w_0 H$ の値は各型式によって多少差があるが、波高の小さいときには $\bar{p}/w_0 H = 0.6 \sim 0.8$ であり、波高が大きくなると $\bar{p}/w_0 H$ の最大値で 0.92 程度となる。これは $(\bar{p}/w_0 H_b) \max$ で表わせば 1.05 程度であり、混成堤に比べてかなり小さい値となっている。斜面壁堤も後者に属すると考えられ、 $(\bar{p}/w_0 H_b) \max = 0.70$ であり、遊水堤の値より小さいが、被覆堤よりも少し大きい。

$d/h = 0.643$ の低いマウンドでは混成堤にもそれほど大きな波力は生じなく、 $(\bar{p}/w_0 H_b) \max$ の値で 0.96 程度である。多孔壁式遊水堤は $(\bar{p}/w_0 H_b) \max = 1.05$ 程度であり、少しではあるが混成堤より大きな値となっている。平型および、駒型スリット壁式遊水堤は、それぞれ $(\bar{p}/w_0 H_b) \max = 0.74$ と 0.84 であり、多孔壁式よりも小さく、また混成堤よりも小さい値である。被覆堤は $d/h = 0.405$ のときとはほぼ同じ値の $(\bar{p}/w_0 H_b) \max = 0.55$ となる。この値は混成堤より少し小さな値となるが、波高が小さいときには、混成堤においても $\bar{p}/w_0 H = 0.6$ であり、被覆堤とそれほどの差は認められない。斜面壁堤は $(\bar{p}/w_0 H_b) \max$ が、0.35 以下であり、被覆堤よりさらに安定な型式であるといえる。

なお、これらの実験データは付録 C に示しておいた。

4. 外海防波護岸型式についての越波実験

4.1 模型および実験の方法

水深が大きくかつ波浪条件の厳しい外海に面した防波護岸として次の二つの型式を選定し、越波流量の変化について実験を行った。

- 1) 多孔壁式遊水堤による直接護岸型式
- 2) 混成堤による離岸堤と埋立護岸の二重型式

多孔壁式遊水堤による直接護岸型式については、水深 42cm、波の条件は $T_{1/3} = 2.1 \text{ sec}$ 、 $H'_0 = 19 \text{ cm}$ の不規則波の 1 種である。多孔壁式遊水堤の模型はあとで示す図-4.2 中の説明図に示すようにマウンド厚は 15cm、多孔壁の天端高は 16cm で一定とし、不透過壁の天端高

(h_c) は 16cm から 2cm づつ 28cm まで変化させた。多孔壁の模型は今までに用いたものと同じで、開孔比 (ϵ) は 0.236、壁厚 b_p は 3cm を標準とし、 $b_p = 6 \text{ cm}$ を追加した。遊水部の幅 b_c は 17cm を標準とし、 $b_p = 6 \text{ cm}$ のとき 14cm も追加した。越波流量の測定法については 2.1(2)(b)の越波流量の測定法において述べた方法と同じである。

混成堤による離岸堤と埋立護岸の二重型式については水深 42cm で一定とし、波の条件は、 $H'_0 = 19 \text{ cm}$ 、 $T_{1/3} = 2.10 \text{ sec}$ 、および $H'_0 = 21.4 \text{ cm}$ 、 $T_{1/3} = 1.68 \text{ sec}$ の不規則波 2 種と、 $H'_0 = 27.2 \text{ cm}$ 、 $T = 2.0 \text{ sec}$ の規則波 1 種の合わせて 3 種類である。堤体模型は図-4.1 に示

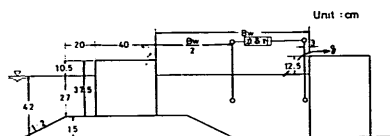


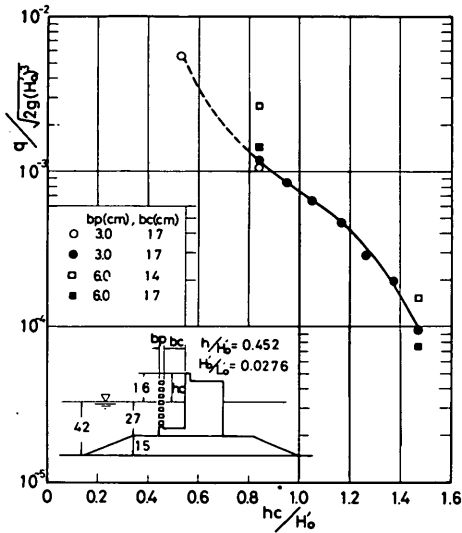
図-4.1 混成堤と埋立護岸による二重型式の模型

しているように、離岸堤の天端高 (h_{c1}) は 10.5cm で一定とし、埋立護岸の天端高 (h_{c2}) を 12cm から 22cm の範囲で、離岸堤背面と埋立護岸との水面域の幅 (B_w) を 75cm から 275cm の範囲で変化させた。

4.2 実験結果

(1) 多孔壁式遊水堤による直接護岸型式

実験データは付録 D に示してある。図-4.2 は h_c/H'_0 に対して無次元越波流量をプロットしたものである。このうち白ぬきの丸で示した結果は 2.4 で述べた実験結果であり、今回の実験結果と点線で結んでいる。四角の記号で示した結果は $b_p = 6.0 \text{ cm}$ のときのもので、天端が高い場合と低い場合の 2 ケースについて、 $b_c = 14 \text{ cm}$ と 17 cm の 2 ケースを比較している。天端高が高くなるにつれて越波流量が減少する当然の結果が認められる。壁厚の効果については、 $b_0 = 20 \text{ cm}$ として、 b_p を 3cm から 6cm に増大させたとき、すなわち b_c が 17cm から 14cm に減少したとき、越波流量はやや大きくなるようである。



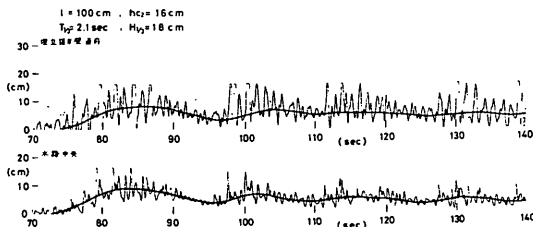
図一 4.2 多孔壁式遊水堤の天端高による越波流量の変化

b_p を一定としたとき、この結果に関する限りでは多孔壁厚を厚くするより薄くして遊水部の幅を広げた方がよいことを示している。しかしながら、実験例は少く結論づけることはできない。

(2) 混成堤による二重型式

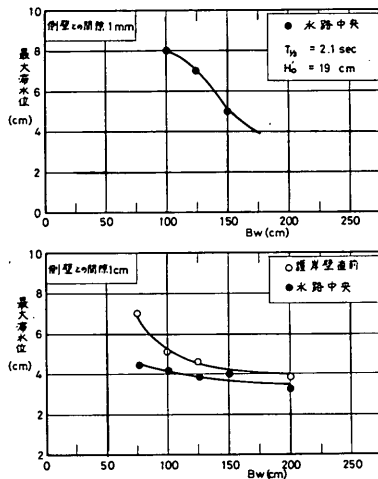
混成堤と埋立護岸の二重型式とした場合、埋立護岸の越波量は混成堤越波水の滞水の程度にも影響される。断面実験では、この越波水の流出は堤体模型と水路側壁の間隙により異なる。本実験では混成堤、埋立護岸ともにこれを 1 mm 程度とし、このほか埋立護岸についてのみ間隙を 1 cm 程度と広くしたときについて一部比較を行った。勿論、これらは実験上でのことであり、現地において埋立護岸に間隙をもたせることは考えられない。

この混成堤と埋立護岸間の水面域における滞水位の程度および水面変動の様子を知るために、中央および埋立護岸直前の 2 箇所まで波形を記録した。図一 4.3 にその例



図一 4.3 水面域内での水位変動記録の例

を示す。水面変動の程度は時間的に変化しており、混成堤を越波する量の違いに対応しているものと思われる。また、変動の大きいところではその中心も明らかに上昇しているのが認められ、越波水の滞水の影響があることがわかる。波面変動の中心線を変動の大きいところではやや谷よりにとって描き、その変動における越波量測定期間中の最大値を最大滞水位と称して示したのが、図一 4.4 である。この図は堤体と側壁との間隙が 1 mm のものと 1 cm の両方に対する結果を示しているが、特に水面域の中央において B_w が小さいとき間隙の大きい方が小さくなっている。



図一 4.4 水面域 B_w と最大滞水位の関係

図一 4.5 に埋立護岸の天端 $h_{c2} = 12.0 \text{ cm}$ を一定にして、混成堤背後の水面幅 B_w を種々に変えたときの越波流量の変化を示している。ここに横軸は B_w を水深 42 cm での波長で除して無次元化している。ただし、この波長は有義波周期あるいは規則波周期に対応するものである。側壁との間隙 1 cm の結果を一部示しているが 1 mm のものに比較して埋立護岸の越波流量が減少することが認められる。

また本結果より、埋立護岸の越波流量は B_w により変化することが明らかである。すなわち、本実験条件では B_w/L が小さいとき B_w が大きくなるにつれて越波流量は減少し、 $B_w/L = 0.35$ 付近で極小、その後 B_w が大きくなるにつれて増大して、0.55 付近で極大を示している。これは混成堤を越波する水塊による背後水域での水面変動の影響と考えられる。 $B_w/L = 0.55$ 付近の極大を示す条件では、混成堤を越波した水塊による伝達波

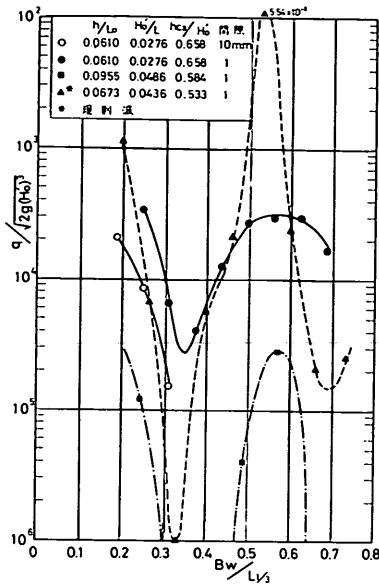


図-4.5 水面域 B_w による越波流量の変化

が埋立護岸壁面で反射され、丁度混成堤のところでの越波水と出会い、極端な場合には前面と背面から同時に越波が生ずるという状況であった。この場合、混成堤を越波した水塊による新たな伝達波と背面からの反射波が一緒になって埋立護岸へ伝播するから、そこでの越波も著しく多くなる。図-4.5の B_w/L による変動はこうした水面変動と断続的に生ずる越波流入の位相によるものと考えられる。したがって、周期一定の規則波では一種の共振現象を呈することになり、極大、極小がより極端なかたちで現われている。不規則波においても越波の顕著な大きな波群がある程度連続的に生ずるから、こうした傾向が緩慢になるとしても現われてきているものと思われる。波の伝播を単純に考えると最初の極小値は $B_w/L = 0.25$ 、極大値は 0.5 付近で生ずることになる。極小値を生ずる実験値との差がやや大きいのは、混成堤を越波した水塊の打ち込み位置の違いおよび B_w が小さいときにはまた別の現象によることによるものと考えられる。

図-4.6は $T_{1/3} = 2.1 \text{ sec}$ 、 $H_0 = 19.0 \text{ cm}$ の不規則波に対して、種々の B_w での埋立護岸の天端高 hc_2 を変えたときの越波流量を無次元化して示したものである。

なお、二重型式の実験データは付録Dに一括して示しておいた。

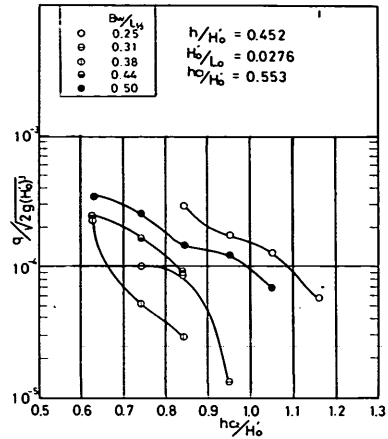


図-4.6 埋立護岸天端高による越波流量の変化

5. まとめ

以上、二・三の防波堤型式についての反射・越波実験および波力実験、外海防波護岸型式についての越波実験について述べた。主要な結果をまとめると以下のとおりである。ただし、量的概念をわかり易くするため、模型縮尺を $1/50$ としたときの現地量へ換算した値で述べることにする。

(1) 混成堤、被覆堤、遊水堤、斜面壁堤についての反射率に関する実験結果を現地量に換算して示すと表-5.1のとおりである。ただし、遊水堤については多孔壁厚 $b_p = 1.5 \text{ m}$ 、マウンド上の水深 $d = 7.5 \text{ m}$ 、遊水部の幅 $b_c = 8.5 \text{ m}$ と 16 m のものを示している。いずれもばらつきの平均値を示したものである。周期により反射率は異なり、実験条件の範囲では $b_c = 16 \text{ m}$ の遊水堤を除いて、

表-5.1 4型式による反射率 K_R の比較
($S = 1/50$ としたときの現地量)

| 型式 | 有義波周期 $T_{1/3}(\text{sec})$ | | | |
|-------|-----------------------------|------|------|------|
| | 7.4 | 9.6 | 11.9 | 14.8 |
| 混成堤 | 0.81 | 0.85 | 0.85 | 0.90 |
| 被覆堤 | 0.17 | 0.26 | 0.41 | 0.49 |
| 遊水堤* | 0.30 | 0.43 | 0.54 | 0.65 |
| 遊水堤** | 0.44 | 0.40 | 0.48 | 0.45 |
| 斜面壁堤 | 0.52 | 0.61 | 0.73 | 0.76 |

* $b_p = 1.5 \text{ m}$ 、 $b_c = 8.5 \text{ m}$ 、 $d = 135 \text{ m}$

** $b_p = 1.5 \text{ m}$ 、 $b_c = 16 \text{ m}$ 、 $d = 135 \text{ m}$

周期が長くなるにつれて反射率が大きくなる傾向にある。混成堤による反射率は 0.8 ~ 0.9 で、各型式の中で最も大きく、反射性の構造型式であることを反映している。被覆堤の反射率は 0.17 ~ 0.49 と小さく、 $T_{1/3} = 7.4$, 9.6 sec に対しては各型式の中で最も小さい。概して反射軽減効果の高い構造型式といえる。遊水堤の反射率は遊水部の幅によって異なる。 $b_c = 7.5$ m では 0.30 ~ 0.65 で単調に変化するが、幅の広い $b_c = 16$ m では極小値が現われている。問題となる周期に対してうまく遊水部の幅を設定することによりかなりの反射波軽減効果が期待できる構造型式といえる。斜面壁堤の反射率は 0.52 ~ 0.76 で、被覆堤や遊水堤に劣るが、混成堤よりよく、若干の反射波軽減効果が期待できる。

(2) 多孔壁式遊水堤の遊水幅による実験結果は図—2.29 に集約して示してある。遊水部の内寸幅 b_c あるいは多孔壁厚を含んだ幅 b_0 と波長の比により、反射率は異なり、極小値が存在する。本実験条件に対してばらつきのある平均的関係によれば、 $d = 16$ m のとき極小値を与える

$(b_0 / L_{1/3})_{\min}$ は 0.19 程度、そのときの反射率 $(K_R)_{\min}$ は 0.34 程度である。 $d = 13.5$ m に対しては、 $(K_R)_{\min}$ はほとんど同じであるが、 $(b_0 / L_{1/3})_{\min}$ はやや小さい値となり 0.14 程度であった。マウンド高が反射率に影響を与えるものと考えられる。多孔壁厚の効果は、 $b_p = 1.5$ m と 3 m について検討したが、 $b_0 / L_{1/3}$ で整理するとき、この程度の違いではほとんど反射率に差はない。不規則波と規則波による比較では、不規則波による結果が周期変動に対してややならされたかたちとなり $(K_R)_{\min}$ もやや大きくなるようである。

(3) 波力については、滑動に対する安定性の検討に用いる波力の特性を比較する観点から、滑動実験を行って、平均波圧強度 \bar{p} および $w_0 H$ で除して無次元化し $\bar{p} / w_0 H$ の変化を調べた。その際、遊水堤や斜面壁堤についても堤体基面から天端まで直立不透透の仮想壁面があるものとして、それにかかる波力強度のかたちで結果をまとめた。

水深 21 m、周期約 14 sec の波による高マウンド ($d/h = 0.405$) と低マウンド ($d/h = 0.643$) の場合について、各型式の波高変化に対する $\bar{p} / w_0 H$ を図—3.18, 3.19 に示した。最も大きな波力はいずれも堤体のやや前方で砕波する波によって生じる。混成堤に作用する波力はマウンドの高さによって著しく異なり、高マウンドでは \bar{p} が $2.0 w_0 H$ をこすような強大な衝撃砕波力が生じる。しかしながら、被覆堤、遊水堤、斜面壁堤では $1.0 w_0 H$ 以下であり、通常の混成堤では強大な衝撃砕波力が生ずる条件であっても、これらの構造型式とすること

により、それを避けることができる。低マウンドの条件にあつては、混成堤も含めて \bar{p} は $1.0 w_0 H$ 以下である。この場合、遊水部を有する構造であっても必ずしも混成堤に作用する波力よりも小さくなるとは限らないことに注意を要する。

重複波から砕波後の波を含めた条件に対する平均波圧強度のうち各型式毎に最大のものについて、水深 21 m での砕波限界波高 $H_b = 14.8$ m に対し $(\bar{p} / w_0 H_b)_{\max}$ の値を求めて表—3.2 に示した。遊水堤については、多孔壁式、平型および縦型縦スリット壁式いずれについても $d/h = 0.405$ のときはほぼ同じ値で 1.05 となり、 $d/h = 0.643$ のときには多孔壁、駒型縦スリット壁、平型縦スリット壁の順で小さくなるが、それほど大差なく 1.01 ~ 0.74 の値である。被覆堤の値が 0.6 以下で最も小さい。斜面壁堤は高マウンドのとき 0.7 であるが、これは基面から高さ 825 m まで直立壁を形成しているときの結果であり、斜面壁をもっと水面下まで延ばすことにより、さらに波力は小さくなるものと思われる。低マウンドの条件に対しては、堤体の調節可能な最小重量に対し滑動が生じなくて、結果を得ることができなかった。これから推定して、低マウンド ($d = 13.5$ m, $h_c = 5.0$ m) のとき 0.35 以下となり、安定性の高い型式であるといえる。

(4) 外海に面した波浪条件の厳しい海域での防波護岸として、多孔壁式遊水堤による直接護岸型式および混成堤による離岸堤と埋立護岸の二重型式の二つについて天端高による越波の変化を調べてみた。水深 21 m で、 $H'_0 = 9.5$ m, $T_{1/3} = 14.8$ sec の厳しい条件を考えると $q = 0.01$ $m^3 / sec \cdot m$ の越波流量となる天端高は、多孔壁式遊水堤 ($b_c = 8.5$ m) による直接護岸型式の場合約 14 m となり、離岸堤の天端高を約 5 m、離岸堤と埋立護岸の間の水面域の幅 B_w を 50 m とした二重型式では、埋立護岸の天端高は約 11 m となる。単なる直立壁とする場合については直接実験による検討は行っていないが、天端高は 20 m を越すものと思われる。

二重形式の場合では、特定の波浪条件を対象としたとき、埋立護岸での越波量は B_w によって大きく異なる。本実験条件の場合、 $B_w / L_{1/3} = 0.35$ 付近で越波流量は極小となり、0.55 付近で極大となった。すなわち上述の条件の場合、 B_w が 70 m 程度で極小となり、そのときの所要天端高は 6 m 程度に減少する。波の周期が背面水域の共振周期に近くなる $B_w = 100$ m では、所要天端高は約 10 m となる。反射性構造物による二重堤型式の採用では、こうした現象にも注意することが必要であろう。

6. あとがき

本資料は昭和49年から50年度にかけて実施した水深21mでの防波堤および防波護岸の二・三の型式に関する反射・越波および波力実験の結果をまとめたものである。模型縮尺は1/50とし、実験データは5.のまとめを除いて全て模型量で記述した。適当な縮尺を用いることにより、他への応用も可能と思われる。しかしながら本実験では、ケーソン式混成堤、消波ブロック被覆堤の従来の二型式および遊水部を有する防波堤、斜面ケーソン堤の特殊二型式について、反射・越波特性および波力特性を限られた条件の中で対比しながらとりあえず明らかにすることを目的としたもので、個々の型式に対して広く要因を変えて系統的实验を行ったわけではない。いくつかの問題点については、さらに基礎的観点あるいは発展したかたちで実験を継続あるいは計画中のところである。

本資料の実験のほとんどは秋田湾臨海部開発計画調査の技術開発WGとの関連で実施したものである。関係者に対し謝意を表する次第である。また、不規則波の発生方法および入・反射波の分離解析法については、元波浪研究室岸良安治技官を始め多数の方の協力を得た。ここに記して謝意を表する次第である。なお、本実験のうち、越波に関する実験は原中、小松、大里が、波力に関する実験は高橋、轟が主として担当し、全体的指導は谷本が行ったことを付記する。

参考文献

- 1) 伊藤善行：特殊防波堤論，1968年度水工学に関する夏期研修会講義集，A，海岸・港湾コース，68-06，1968
- 2) Van Dixhoorn, J.・A. Paape・E. Stanhuis・W. A. Venis：P. I. A. N. C.，S. II-1，Stochhlm，1965
- 3) Lundgren, L.：A new type of breakwater for exposed positions, Dock and Harbour Authority, Nov. 1962
- 4) Colleran, R. J.・T. Leonard：Harbour extension in Libya, Dock and Harbour Authority, pp. 104~106, July, 1969
- 5) Jarlan, G. E.：A perforated vertical wall breakwater, Dock and Harbour Authority, pp. 394~398, April, 1961
- 6) Jarlan, G. E.：Breakwater structures, United States Patent Office, Jan. 21, 1964
- 7) Cote, G. I.・G. R. Simard：The breakwater quay at the Bay of Comeau, Dock and Harbour Authority, April 1964
- 8) 高松港設計計算書－朝日地区防波堤－，神調査 No 119, 1970
- 9) 茨城県鹿島港湾事務所：鹿島港，1975（パンフレット）
- 10) 合田良実・鈴木康正：不規則波に対する反射波の分離法について，昭和49年度関東支部年次研究発表会講演概要，土木学会，1974，pp. 151~154
- 11) 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，Vol. 14, No 4 1975，pp. 3~44
- 12) 合田良実：防波堤の設計波圧に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol. 12, No 3, 1973，pp. 31~69
- 13) 合田良実・岸良安治：不規則波による低天端型護岸の越波特性実験，港湾技術資料，No 242, 1976

主要記号表

- B：堤体幅
B₁：マウンド前肩幅
B_D：通過波の砕波点
B_w：離岸堤と埋立護岸間の水面幅
b₀：多孔壁厚を含めた遊水幅 = b_D + b_c
b_c：遊水幅
b_D：多孔壁厚
b_s：堤体の水路幅方向の長さ
d：マウンド天端上の水深（被覆工を含む）
e：造波機の偏心量
F_H：摩擦係数の測定において載荷した水平力
H：波高
H_b：通過波の堤体設置位置での砕波波高
H_I：分離入射波高
H_R：分離反射波高
 \bar{H} ：平均波高
H_{1/3}：有義波高
H_{1/10}：1/10最大波高
H_{max}：最高波高
H₀：相当深水波高または換算沖波波高（有義波）
h：堤体設置位置での水深
h'：静水面下の堤体の深さ
h_c：堤体の天端高
h_M：マウンドの厚さ
K_R：反射率
L：水深hでの波長
L₀：深水または沖波波長
P：水平波力（合力）

\bar{p} : 平均波圧強度
 P_G : 合田の算定式による水平波力
 q : 越波流量
 $S(f)$: 波の周波数スペクトル密度
 T : 波の周期
 \bar{T} : 波の平均周期
 $T_{1/3}$: 有義波周期
 U : 揚圧力

U_G : 合田の算定式による揚圧力
 V : 堤体の浮力
 W : 堤体の空中重量
 W_0 : 堤体の静水中重量
 W_{0c} : 滑動限界重量 (静水中重量)
 w_0 : 水の単位体積重量
 μ : 堤体とマウンドの摩擦係数
 ε : 多孔壁の開孔比

付録A 反射率に関する実験データ

本文 2.3 で取り扱った反射率に関する実験データを各型式について次表に示す。

付表-A 1(1) 反射率に関する実験データ 混成堤

h = 420 cm, h_c = 10 cm, d = 320 cm

| 合成波周期(sec) | | 分層入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 204 | 170 | 917 | 728 | 475 | 0.915 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 198 | 164 | 124 | 977 | 631 | 0.891 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 206 | 166 | 156 | 125 | 803 | 0.851 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 210 | 171 | 191 | 153 | 977 | 0.820 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 208 | 168 | 222 | 175 | 109 | 0.785 | 688 | 3997 | 0105 | |

付表-A 1(2) 反射率に関する実験データ 混成堤(2)

h = 420 cm, h_c = 16 cm, d = 270 cm

| 合成波周期(sec) | | 分層入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 199 | 167 | 140 | 110 | 71 | 0.896 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 173 | 151 | 174 | 143 | 92 | 0.854 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 138 | 126 | 158 | 126 | 84 | 0.866 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 113 | 105 | 171 | 129 | 79 | 0.824 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 203 | 175 | 140 | 114 | 76 | 0.898 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 163 | 143 | 165 | 135 | 37 | 0.896 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 138 | 127 | 151 | 122 | 80 | 0.901 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 114 | 102 | 141 | 109 | 68 | 0.856 | 172 | 1598 | 0263 | |

付表-A 1(3) 反射率に関する実験データ 混成堤(3)

h = 420 cm, h_c = 100 cm, d = 270 cm

| 合成波周期(sec) | | 分層入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 195 | 165 | 894 | 712 | 462 | 0.913 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 196 | 162 | 1355 | 1082 | 704 | 0.873 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 198 | 158 | 1843 | 1465 | 922 | 0.809 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 208 | 171 | 2361 | 1830 | 1161 | 0.767 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 171 | 150 | 1715 | 1422 | 918 | 0.821 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 135 | 117 | 1331 | 1017 | 648 | 0.832 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 138 | 125 | 1918 | 1505 | 971 | 0.775 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 112 | 106 | 1629 | 1249 | 766 | 0.815 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 116 | 110 | 2081 | 1508 | 933 | 0.755 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 120 | 112 | 2152 | 1608 | 1006 | 0.773 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 200 | 199 | 986 | 967 | 931 | 0.953 | 688 | 3997 | 0105 | |

付表-A 2(1) 反射率に関する実験データ 被覆堤(1)

h = 420 cm, h_c = 100 cm, d = 320 cm

| 合成波周期(sec) | | 分層入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|------|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 207 | 176 | 836 | 682 | 439 | 0.529 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 208 | 170 | 118 | 939 | 591 | 0.493 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 209 | 171 | 152 | 122 | 763 | 0.470 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 215 | 179 | 185 | 145 | 928 | 0.447 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 213 | 168 | 227 | 176 | 102 | 0.438 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 185 | 157 | 574 | 478 | 306 | 0.441 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 186 | 155 | 819 | 693 | 440 | 0.407 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 182 | 153 | 109 | 911 | 576 | 0.380 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 138 | 116 | 728 | 572 | 346 | 0.282 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 139 | 119 | 110 | 855 | 533 | 0.259 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 139 | 121 | 128 | 101 | 642 | 0.238 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 109 | 0930 | 615 | 486 | 313 | 0.188 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 109 | 0965 | 921 | 718 | 457 | 0.174 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 110 | 0992 | 131 | 102 | 632 | 0.164 | 172 | 1598 | 0263 | |

付表-A 3(1) 反射率に関する実験データ 遊水堤(1)

h = 420 cm, h_c = 100 cm, d = 320 cm, b_c = 170 cm, b_p = 30 cm

| 合成波周期(sec) | | 分層入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 212 | 166 | 1210 | 938 | 575 | 0.888 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 216 | 173 | 170 | 1350 | 851 | 0.843 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 219 | 175 | 204 | 160 | 100 | 0.830 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 218 | 174 | 235 | 182 | 1120 | 0.827 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 222 | 173 | 265 | 206 | 126 | 0.782 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 172 | 153 | 671 | 532 | 339 | 0.701 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 175 | 153 | 989 | 766 | 490 | 0.652 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 175 | 152 | 124 | 973 | 625 | 0.636 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 139 | 122 | 762 | 582 | 359 | 0.572 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 139 | 121 | 119 | 884 | 549 | 0.528 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 142 | 124 | 139 | 111 | 716 | 0.526 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 109 | 094 | 670 | 527 | 327 | 0.448 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 110 | 096 | 995 | 788 | 486 | 0.399 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 113 | 097 | 1380 | 105 | 655 | 0.403 | 172 | 1598 | 0263 | |

付表-A 3(2) 反射率に関する実験データ 遊水堤(2)

h = 420 cm, h_c = 160 cm, d = 270 cm, b_c = 170 cm, b_p = 30 cm

| 合成波周期(sec) | | 分層入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 210 | 171 | 825 | 655 | 410 | 0.684 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 209 | 176 | 1140 | 889 | 568 | 0.660 | 688 | 3887 | 0105 | |
| 212 | 179 | 1450 | 113 | 712 | 0.648 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 214 | 171 | 1280 | 138 | 886 | 0.635 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 212 | 171 | 213 | 166 | 105 | 0.635 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 212 | 175 | 126 | 100 | 64 | 0.649 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 170 | 143 | 174 | 137 | 85 | 0.551 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 142 | 123 | 156 | 121 | 78 | 0.421 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 112 | 099 | 150 | 118 | 71 | 0.302 | 172 | 1598 | 0263 | |
| 209 | 170 | 129 | 105 | 66 | 0.623 | 688 | 3997 | 0105 | |
| 174 | 142 | 154 | 120 | 86 | 0.529 | 440 | 3066 | 0137 | |
| 140 | 121 | 137 | 110 | 71 | 0.448 | 289 | 2338 | 0180 | |
| 113 | 099 | 143 | 109 | 68 | 0.308 | 172 | 1598 | 0263 | |

付表-A 3 (3) 反射率に関する実験データ 遊水堤(3)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 100 \text{ cm}$, $d = 320 \text{ cm}$, $b_c = 200 \text{ cm}$, $b_p = 30 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|------|---------------------|--------------------|------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 209 | 1.61 | 1.31 | 9.89 | 5.94 | 0.801 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 212 | 1.71 | 1.83 | 1.41 | 8.90 | 0.768 | " | " | " | |
| 217 | 1.68 | 1.01 | 1.64 | 2.15 | 0.756 | " | " | " | |
| 219 | 1.74 | 1.19 | 1.94 | 2.51 | 0.750 | " | " | " | |

付表-A 3 (4) 反射率に関する実験データ 遊水堤(4)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 100 \text{ cm}$, $d = 320 \text{ cm}$, $b_c = 320 \text{ cm}$, $b_p = 30 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|------|---------------------|--------------------|-------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 204 | 1.61 | 1.20 | 9.64 | 5.85 | 0.641 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 211 | 1.68 | 1.76 | 1.39 | 8.66 | 0.629 | " | " | " | |
| 204 | 1.67 | 2.07 | 1.60 | 9.90 | 0.639 | " | " | " | |
| 216 | 1.73 | 2.36 | 1.85 | 11.40 | 0.623 | " | " | " | |
| 1.67 | 1.36 | 5.87 | 4.54 | 2.85 | 0.453 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 1.69 | 1.43 | 8.61 | 6.67 | 4.30 | 0.398 | " | " | " | |
| 1.71 | 1.37 | 1.07 | 8.81 | 5.67 | 0.380 | " | " | " | |
| 1.36 | 1.09 | 7.94 | 5.86 | 3.49 | 0.341 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.35 | 1.10 | 1.12 | 8.60 | 5.20 | 0.350 | " | " | " | |
| 1.35 | 1.12 | 1.31 | 1.07 | 6.72 | 0.325 | " | " | " | |
| 1.03 | 0.91 | 5.87 | 4.83 | 3.13 | 0.393 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 1.05 | 0.91 | 8.69 | 7.12 | 4.50 | 0.349 | " | " | " | |
| 1.09 | 0.97 | 1.29 | 1.02 | 6.51 | 0.296 | " | " | " | |

付表-A 3 (5) 反射率に関する実験データ 遊水堤(5)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 160 \text{ cm}$, $d = 270 \text{ cm}$, $b_c = 320 \text{ cm}$, $b_p = 30 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|------|---------------------|--------------------|-------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 204 | 1.70 | 8.38 | 6.75 | 4.30 | 0.432 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 206 | 1.65 | 11.20 | 8.97 | 5.65 | 0.436 | " | " | " | |
| 208 | 1.63 | 14.50 | 11.40 | 7.23 | 0.443 | " | " | " | |
| 209 | 1.61 | 1.790 | 1.380 | 8.77 | 0.455 | " | " | " | |
| 212 | 1.69 | 21.30 | 16.50 | 10.70 | 0.465 | " | " | " | |
| 2.02 | 1.58 | 1.290 | 1.030 | 6.3 | 0.459 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 1.30 | 1.06 | 1.510 | 1.210 | 7.5 | 0.370 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.10 | 0.95 | 1.350 | 1.050 | 6.6 | 0.435 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 2.04 | 1.50 | 1.270 | 1.050 | 6.4 | 0.429 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 1.67 | 1.25 | 1.350 | 1.110 | 7.0 | 0.374 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 1.34 | 1.13 | 1.400 | 1.130 | 7.5 | 0.438 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.00 | 0.98 | 1.490 | 1.090 | 6.9 | 0.435 | 172 | 1598 | 0.263 | |

付表-A 3 (6) 反射率に関する実験データ 遊水堤(6)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 100 \text{ cm}$, $d = 320 \text{ cm}$, $b_c = 500 \text{ cm}$, $b_p = 30 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|------|---------------------|--------------------|------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 1.95 | 1.54 | 8.56 | 6.88 | 4.30 | 0.393 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 1.97 | 1.51 | 1.19 | 9.44 | 5.82 | 0.396 | " | " | " | |
| 1.97 | 1.55 | 1.52 | 1.19 | 7.38 | 0.398 | " | " | " | |
| 1.98 | 1.56 | 1.83 | 1.43 | 8.82 | 0.424 | " | " | " | |
| 2.02 | 1.61 | 2.14 | 1.70 | 1.06 | 0.409 | " | " | " | |
| 1.63 | 1.21 | 5.05 | 3.97 | 2.52 | 0.422 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 1.63 | 1.26 | 7.60 | 5.52 | 3.78 | 0.363 | " | " | " | |
| 1.63 | 1.27 | 1.12 | 8.06 | 5.11 | 0.365 | " | " | " | |
| 1.29 | 1.13 | 7.28 | 5.79 | 3.66 | 0.403 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.29 | 1.10 | 1.04 | 8.24 | 5.23 | 0.361 | " | " | " | |
| 1.30 | 1.12 | 1.32 | 1.07 | 6.79 | 0.349 | " | " | " | |
| 1.06 | 0.91 | 5.81 | 4.78 | 3.03 | 0.574 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 1.04 | 0.93 | 9.03 | 7.17 | 4.49 | 0.538 | " | " | " | |
| 1.08 | 0.99 | 1.30 | 1.01 | 6.39 | 0.469 | " | " | " | |

付表-A 3 (7) 反射率に関する実験データ 遊水堤(7)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 160 \text{ cm}$, $d = 270 \text{ cm}$, $b_c = 140 \text{ cm}$, $b_p = 60 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|------|---------------------|--------------------|------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 2.03 | 1.69 | 1.58 | 1.26 | 8.0 | 0.66 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 1.74 | 1.44 | 2.26 | 1.76 | 1.10 | 0.558 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 1.43 | 1.19 | 2.10 | 1.60 | 1.00 | 0.434 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.11 | 0.94 | 1.80 | 1.42 | 8.7 | 0.319 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 2.09 | 1.73 | 1.67 | 1.36 | 8.6 | 0.641 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 1.77 | 1.42 | 1.87 | 1.53 | 9.8 | 0.546 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 1.37 | 1.23 | 1.76 | 1.43 | 9.5 | 0.475 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.13 | 1.01 | 1.78 | 1.37 | 8.5 | 0.309 | 172 | 1598 | 0.263 | |

付表-A 3 (8) 反射率に関する実験データ 遊水堤(8)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 160 \text{ cm}$, $d = 270 \text{ cm}$, $b_c = 170 \text{ cm}$, $b_p = 60 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高 (cm) | | | K _R | 波長 (cm) | | | h |
|------------------|------|---------------------|--------------------|------|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 2.07 | 1.66 | 1.83 | 1.44 | 9.1 | 0.604 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 1.73 | 1.45 | 1.80 | 1.63 | 1.03 | 0.519 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 1.39 | 1.18 | 2.06 | 1.56 | 9.8 | 0.366 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.10 | 0.96 | 1.80 | 1.43 | 8.8 | 0.289 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 2.09 | 1.69 | 1.81 | 1.51 | 9.5 | 0.581 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 1.73 | 1.41 | 1.77 | 1.43 | 9.1 | 0.489 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 1.37 | 1.20 | 1.72 | 1.43 | 9.4 | 0.395 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 1.10 | 0.99 | 1.83 | 1.37 | 8.6 | 0.286 | 172 | 1598 | 0.263 | |

付表-A 3 (9) 反射率に関する実験データ 遊水堤(9)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 160 \text{ cm}$, $d = 270 \text{ cm}$, $b_c = 300 \text{ cm}$, $b_p = 60 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高(cm) | | | K _R | 波長(cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 203 | 161 | 165 | 134 | 83 | 0.443 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 162 | 124 | 184 | 153 | 93 | 0.398 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 136 | 111 | 205 | 160 | 100 | 0.345 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 109 | 096 | 176 | 137 | 87 | 0.390 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 202 | 151 | 165 | 138 | 83 | 0.420 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 161 | 122 | 170 | 136 | 85 | 0.390 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 135 | 117 | 186 | 150 | 100 | 0.369 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 110 | 100 | 194 | 142 | 90 | 0.403 | 172 | 1598 | 0.263 | |

付表-A 3 (10) 反射率に関する実験データ 遊水堤(10)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 160 \text{ cm}$, $d = 270 \text{ cm}$, $b_c = 320 \text{ cm}$, $b_p = 60 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高(cm) | | | K _R | 波長(cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 204 | 157 | 160 | 130 | 80 | 0.421 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 164 | 128 | 187 | 149 | 93 | 0.397 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 133 | 113 | 199 | 157 | 99 | 0.376 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 109 | 099 | 129 | 137 | 87 | 0.413 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 207 | 152 | 162 | 133 | 80 | 0.403 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 164 | 123 | 164 | 132 | 82 | 0.405 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 137 | 116 | 188 | 149 | 96 | 0.397 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 110 | 099 | 189 | 140 | 87 | 0.426 | 172 | 1598 | 0.263 | |

付表-A 4 (1) 反射率に関する実験データ 斜面壁堤(1)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 160 \text{ cm}$, $d = 270 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高(cm) | | | K _R | 波長(cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 196 | 152 | 849 | 667 | 432 | 0.807 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 194 | 150 | 114 | 904 | 575 | 0.780 | " | " | " | |
| 198 | 149 | 142 | 110 | 657 | 0.749 | " | " | " | |
| 204 | 163 | 176 | 138 | 888 | 0.697 | " | " | " | |
| 209 | 167 | 214 | 165 | 104 | 0.670 | " | " | " | |
| 172 | 134 | 623 | 513 | 319 | 0.782 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 171 | 137 | 901 | 751 | 466 | 0.750 | " | " | " | |
| 137 | 109 | 675 | 501 | 286 | 0.670 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 140 | 116 | 144 | 800 | 492 | 0.615 | " | " | " | |
| 140 | 123 | 147 | 112 | 711 | 0.555 | " | " | " | |
| 108 | 097 | 643 | 487 | 307 | 0.572 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 101 | 096 | 928 | 737 | 460 | 0.521 | " | " | " | |
| 111 | 099 | 137 | 104 | 643 | 0.481 | " | " | " | |

付表-A 4 (2) 反射率に関する実験データ 斜面壁堤(2)

$h = 420 \text{ cm}$, $h_c = 200 \text{ cm}$, $d = 270 \text{ cm}$

| 合成波周期(sec) | | 分離入射波高(cm) | | | K _R | 波長(cm) | | | h |
|------------------|-----|---------------------|--------------------|-----|----------------|----------------|------------------|------------------|---|
| T _{1/3} | T̄ | H _{1/10} * | H _{1/3} * | H̄* | | L ₀ | L _{1/3} | L _{1/3} | |
| 197 | 151 | 887 | 695 | 447 | 0.808 | 688 | 3997 | 0.105 | |
| 197 | 152 | 118 | 934 | 595 | 0.775 | " | " | " | |
| 198 | 153 | 149 | 118 | 756 | 0.736 | " | " | " | |
| 203 | 153 | 182 | 144 | 901 | 0.702 | " | " | " | |
| 203 | 165 | 214 | 167 | 107 | 0.692 | " | " | " | |
| 169 | 134 | 603 | 503 | 310 | 0.784 | 440 | 3066 | 0.137 | |
| 171 | 136 | 875 | 726 | 450 | 0.734 | " | " | " | |
| 171 | 140 | 117 | 971 | 606 | 0.703 | " | " | " | |
| 140 | 112 | 740 | 566 | 354 | 0.680 | 289 | 2338 | 0.180 | |
| 138 | 118 | 109 | 834 | 531 | 0.613 | " | " | " | |
| 142 | 123 | 145 | 110 | 702 | 0.565 | " | " | " | |
| 108 | 093 | 948 | 741 | 459 | 0.525 | 172 | 1598 | 0.263 | |
| 109 | 097 | 138 | 104 | 628 | 0.476 | " | " | " | |

ただし、合成波周期は2点観測の平均値、分離入射波高は水深53.5cmでの値、波長L_{1/3}は水深42cmでの有義波長である。

付録B 越波流量に関する実験データ

本文 2.4 で取り扱った越波流量に関する実験データを各型式について次表に示す。

付表一B 1 (1) 越波流量に関する実験データ 混成堤(1)

$h = 420 \text{ cm}, h_c = 100 \text{ cm}, d = 320 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 750 | 787 | 0011 | 1.27 | 534 | 0.239 | 245×10 ⁻⁴ |
| 100 | 105 | 0015 | 0.95 | 400 | 3520 | 234×10 ⁻³ |
| 125 | 131 | 0019 | 0.76 | 321 | 1145 | 545×10 ⁻³ |
| 150 | 157 | 0023 | 0.64 | 268 | 2116 | 768×10 ⁻³ |
| 175 | 184 | 0027 | 0.54 | 228 | 3484 | 997×10 ⁻³ |
| 200 | 210 | 0031 | 0.48 | 200 | 4832 | 113×10 ⁻² |
| 225 | 236 | 0034 | 0.42 | 178 | 6294 | 124×10 ⁻² |
| 250 | 263 | 0038 | 0.38 | 160 | 8004 | 134×10 ⁻² |
| 275 | 289 | 0042 | 0.35 | 145 | 8377 | 122×10 ⁻² |

付表一B 1 (2) 越波流量に関する実験データ 混成堤(2)

$h = 420 \text{ cm}, h_c = 160 \text{ cm}, d = 270 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 100 | 105 | 0015 | 1.52 | 400 | 0041 | 27 × 10 ⁻⁵ |
| 125 | 131 | 0019 | 1.22 | 321 | 1841 | 877×10 ⁻⁴ |
| 150 | 157 | 0023 | 1.02 | 268 | 7023 | 255×10 ⁻³ |
| 175 | 184 | 0027 | 0.87 | 228 | 1451 | 415×10 ⁻³ |
| 200 | 210 | 0031 | 0.76 | 200 | 2243 | 526×10 ⁻³ |
| 225 | 236 | 0034 | 0.68 | 178 | 2899 | 571×10 ⁻³ |
| 250 | 263 | 0038 | 0.61 | 160 | 3595 | 602×10 ⁻³ |
| 275 | 289 | 0042 | 0.55 | 145 | 4111 | 598×10 ⁻³ |
| 300 | 315 | 0046 | 0.51 | 133 | 4410 | 563×10 ⁻³ |
| 325 | 341 | 0050 | 0.47 | 123 | 4778 | 542×10 ⁻³ |

付表一B 2 (1) 越波流量に関する実験データ 被覆堤(1)

$h = 420 \text{ cm}, h_c = 10 \text{ cm}, d = 320 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 98 | 103 | 0015 | 0.97 | 408 | 0551 | 377×10 ⁻⁴ |
| 123 | 129 | 0019 | 0.78 | 326 | 3841 | 187×10 ⁻³ |
| 147 | 154 | 0022 | 0.65 | 273 | 1084 | 405×10 ⁻³ |
| 172 | 181 | 0026 | 0.55 | 232 | 2140 | 628×10 ⁻³ |
| 196 | 206 | 0030 | 0.49 | 204 | 3557 | 859×10 ⁻³ |
| 221 | 232 | 0034 | 0.43 | 181 | 4896 | 990×10 ⁻³ |
| 245 | 257 | 0037 | 0.39 | 163 | 6289 | 109×10 ⁻² |
| 269 | 282 | 0041 | 0.35 | 148 | 7018 | 106×10 ⁻² |
| 294 | 309 | 0045 | 0.32 | 135 | 8281 | 109×10 ⁻² |
| 319 | 335 | 0049 | 0.30 | 125 | 9472 | 110×10 ⁻² |

付表一B 3 (1) 越波流量に関する実験データ 遊水堤(1)

$h = 420 \text{ cm}, h_c = 10 \text{ cm}, d = 320 \text{ cm}, b_c = 170 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|------|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 920 | 966 | 0014 | 1.04 | 435 | 0490 | 397×10 ⁻⁴ |
| 115 | 1210 | 0017 | 0.83 | 347 | 3343 | 18 × 10 ⁻³ |
| 138 | 145 | 0021 | 0.69 | 290 | 8856 | 362×10 ⁻³ |
| 161 | 169 | 0024 | 0.59 | 248 | 1690 | 55 × 10 ⁻³ |
| 184 | 193 | 0028 | 0.52 | 218 | 2796 | 745×10 ⁻³ |
| 207 | 217 | 0031 | 0.46 | 194 | 3945 | 88 × 10 ⁻³ |
| 230 | 242 | 0035 | 0.41 | 173 | 4741 | 90 × 10 ⁻³ |
| 253 | 266 | 0039 | 0.37 | 158 | 5459 | 90 × 10 ⁻³ |
| 276 | 290 | 0042 | 0.34 | 145 | 6167 | 892×10 ⁻³ |

付表一B 3 (2) 越波流量に関する実験データ 遊水堤(2)

$h = 420 \text{ cm}, h_c = 160 \text{ cm}, d = 270 \text{ cm}, b_c = 170 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 138 | 145 | 0021 | 1.10 | 290 | 0496 | 203×10 ⁻⁴ |
| 161 | 169 | 0024 | 0.95 | 248 | 2451 | 857×10 ⁻⁴ |
| 184 | 193 | 0028 | 0.83 | 218 | 6345 | 169×10 ⁻³ |
| 207 | 217 | 0031 | 0.74 | 194 | 1076 | 240×10 ⁻³ |
| 230 | 242 | 0035 | 0.66 | 173 | 1354 | 257×10 ⁻³ |
| 253 | 266 | 0039 | 0.60 | 158 | 1697 | 279×10 ⁻³ |

付表一B 3 (3) 越波流量に関する実験データ 遊水堤(3)

$h = 42 \text{ cm}, h_c = 100 \text{ cm}, d = 32 \text{ cm}, b_c = 320 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 92 | 966 | 0014 | 1.04 | 435 | 0076 | 5.7 × 10 ⁻⁵ |
| 115 | 121 | 0017 | 0.83 | 347 | 0810 | 4.35×10 ⁻⁴ |
| 138 | 145 | 0021 | 0.69 | 290 | 3544 | 1.45×10 ⁻³ |
| 161 | 169 | 0024 | 0.59 | 248 | 7610 | 2.47×10 ⁻³ |
| 184 | 193 | 0028 | 0.52 | 218 | 1512 | 4.03×10 ⁻³ |
| 207 | 217 | 0031 | 0.46 | 194 | 2203 | 4.92×10 ⁻³ |
| 230 | 242 | 0035 | 0.41 | 173 | 2576 | 4.89×10 ⁻³ |
| 253 | 266 | 0039 | 0.37 | 158 | 3614 | 5.95×10 ⁻³ |
| 276 | 290 | 0042 | 0.34 | 145 | 3896 | 5.63×10 ⁻³ |
| 299 | 314 | 0046 | 0.32 | 134 | 4204 | 5.40×10 ⁻³ |

付表一B 3 (4) 越波流量に関する実験データ 遊水堤(4)

$h = 420 \text{ cm}, h_c = 16 \text{ cm}, d = 270 \text{ cm}, b_c = 320 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 161 | 169 | 0024 | 0.95 | 248 | 0533 | 1.73 × 10 ⁻⁴ |
| 184 | 193 | 0028 | 0.83 | 218 | 2326 | 6.20 × 10 ⁻⁴ |
| 207 | 217 | 0031 | 0.74 | 194 | 4836 | 1.10 × 10 ⁻³ |
| 230 | 242 | 0035 | 0.66 | 173 | 6479 | 1.23 × 10 ⁻³ |
| 253 | 266 | 0039 | 0.60 | 158 | 8734 | 1.44 × 10 ⁻³ |
| 276 | 290 | 0042 | 0.55 | 145 | 1049 | 1.52 × 10 ⁻³ |

付表一B 4 (1) 越波流量に関する実験データ斜面壁堤(1)

$h = 42 \text{ cm}, h_c = 16 \text{ cm}, d = 270 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 116 | 122 | 0018 | 1.31 | 344 | 2755 | 1.47 × 10 ⁻³ |
| 139 | 146 | 0021 | 1.10 | 288 | 2705 | 3.12 × 10 ⁻³ |
| 162 | 170 | 0025 | 0.94 | 247 | 1746 | 5.63 × 10 ⁻³ |
| 186 | 195 | 0027 | 0.82 | 215 | 2918 | 7.65 × 10 ⁻³ |
| 209 | 219 | 0032 | 0.73 | 192 | 4220 | 9.30 × 10 ⁻³ |
| 232 | 244 | 0035 | 0.67 | 172 | 5366 | 1.00 × 10 ⁻² |
| 255 | 268 | 0039 | 0.60 | 157 | 6263 | 1.02 × 10 ⁻² |

付表一B 4 (2) 越波流量に関する実験データ斜面壁堤(2)

$h = 42 \text{ cm}, h_c = 20 \text{ cm}, d = 27 \text{ cm}$

| H 1/3 | H'0 | H'0 | h _c | h | 越波量 q (cm ³ /cm sec) | q √2g(H'0) ³ |
|-------|-----|------|----------------|-----|------------------------------------|----------------------------|
| | | L 0 | H'0 | H'0 | | |
| 116 | 122 | 0018 | 1.64 | 344 | 0547 | 2.90 × 10 ⁻⁴ |
| 139 | 146 | 0021 | 1.37 | 288 | 2628 | 1.06 × 10 ⁻³ |
| 162 | 170 | 0025 | 1.18 | 247 | 8130 | 2.62 × 10 ⁻³ |
| 186 | 195 | 0027 | 1.03 | 215 | 1669 | 4.38 × 10 ⁻³ |
| 209 | 219 | 0032 | 0.91 | 192 | 2282 | 5.03 × 10 ⁻³ |
| 232 | 244 | 0035 | 0.82 | 172 | 3124 | 5.86 × 10 ⁻³ |
| 255 | 268 | 0039 | 0.75 | 157 | 3523 | 5.74 × 10 ⁻³ |

付録C 波力に関する実験データ

本文 3.2 で取り扱った波力に関する実験データを各型式について次表に示す。

付表-C-1(1) 実験結果 混成堤 (1)

h = 42 cm, T = 1.98 sec

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p ₀ (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| 70 | 120 | 103 | 174 | 1090以下 | | | | | | | | | | |
| | | | | 206 | 1310 | 253 | 148 | 123 | 0.88 | | | | | |
| | | | | | 1270 | 245 | 143 | 119 | 0.85 | | | | | |
| | | | | | 240 | 1850 | 353 | 215 | 147 | 1.10 | | | | |
| | | | | | | 1770 | 338 | 207 | 141 | 1.06 | | | | |
| | | | | | | 277 | 2600 | 490 | 314 | 177 | 1.39 | | | |
| | | | | | | | 3400 | 634 | 409 | 229 | 1.81 | | | |
| | | | | | | | 310 | 3100 | 577 | 384 | 186 | 1.52 | | |
| | | | | | | | | 3960 | 738 | 488 | 238 | 1.93 | | |
| | | | | | | | | 344 | 1320 | 244 | 162 | 0.71 | 0.64 | |
| | | | | | | | | | 1480 | 275 | 182 | 0.80 | 0.72 | |
| | | | | | | | | | 378 | 1500 | 280 | 185 | 0.74 | 0.73 |
| | | | | | | | | | | 1680 | 314 | 208 | 0.83 | 0.82 |

付表-C-1(2) 実験結果 混成堤 (2)

h = 42 cm, T = 1.98 sec

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p ₀ (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| 120 | 170 | 106 | 174 | 1590 | 256 | 166 | 147 | 1.20 | | | | | | |
| | | | | | 1540 | 247 | 160 | 142 | 1.16 | | | | | |
| | | | | | 206 | 2150 | 361 | 200 | 175 | 1.22 | | | | |
| | | | | | | 1720 | 288 | 160 | 140 | 0.98 | | | | |
| | | | | | | 240 | 2820 | 410 | 231 | 171 | 1.21 | | | |
| | | | | | | | 2360 | 343 | 193 | 143 | 1.01 | | | |
| | | | | | | | 277 | 3770 | 651 | 319 | 235 | 1.45 | | |
| | | | | | | | | 3590 | 615 | 306 | 222 | 1.39 | | |
| | | | | | | | | 310 | 5100 | 865 | 450 | 279 | 1.83 | |
| | | | | | | | | | 5010 | 849 | 440 | 274 | 1.79 | |
| | | | | | | | | | 344 | 2460 | 416 | 217 | 1.21 | 0.88 |
| | | | | | | | | | | 2360 | 399 | 207 | 1.16 | 0.84 |
| | | | | | | | | | | 378 | 2590 | 438 | 227 | 1.16 |
| | | | | | | | 2540 | 431 | 222 | 1.14 | 0.90 | | | |

付表-C-1(3) 実験結果 混成堤 (3)

h = 42 cm, T = 1.98 sec

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p ₀ (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|--|
| 170 | 220 | 109 | 174 | 1260以下 | | | | | | |
| | | | | 206 | 1670 | 206 | 151 | 100 | 0.95 | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

付表-C-1(4) 実験結果 混成堤 (4)

h = 42 cm, T = 1.98 sec

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p ₀ (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| 220 | 270 | 112 | 174 | 920以下 | | | | | | | | | | |
| | | | | 206 | 1050 | 126 | 104 | 0.61 | 0.67 | | | | | |
| | | | | | 1010 | 119 | 99 | 0.58 | 0.64 | | | | | |
| | | | | | 240 | 1330 | 158 | 124 | 0.66 | 0.69 | | | | |
| | | | | | | 1190 | 137 | 106 | 0.57 | 0.59 | | | | |
| | | | | | | 277 | 1590 | 194 | 142 | 0.70 | 0.68 | | | |
| | | | | | | | 1520 | 186 | 135 | 0.67 | 0.65 | | | |
| | | | | | | | 310 | 2530 | 313 | 214 | 1.01 | 0.92 | | |
| | | | | | | | | 2430 | 301 | 207 | 0.97 | 0.89 | | |
| | | | | | | | | 344 | 3070 | 382 | 259 | 1.11 | 1.11 | |
| | | | | | | | | | 3160 | 392 | 234 | 1.14 | 1.15 | |
| | | | | | | | | | 378 | 2430 | 302 | 206 | 0.80 | 0.88 |
| | | | | | | | | | | 1470 | 181 | 124 | 0.48 | 0.53 |

付表-C-1(5) 実験結果 混成堤 (5)

h = 42 cm, T = 1.98 sec

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p ₀ (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| 270 | 320 | 115 | 174 | 980以下 | | | | | | | | | | |
| | | | | 206 | 1150 | 122 | 107 | 0.59 | 0.71 | | | | | |
| | | | | | 1110 | 117 | 102 | 0.57 | 0.68 | | | | | |
| | | | | | 240 | 1330 | 142 | 119 | 0.59 | 0.68 | | | | |
| | | | | | | 1240 | 132 | 112 | 0.55 | 0.64 | | | | |
| | | | | | | 277 | 1450 | 155 | 125 | 0.56 | 0.62 | | | |
| | | | | | | | 1540 | 166 | 134 | 0.50 | 0.66 | | | |
| | | | | | | | 310 | 2310 | 251 | 195 | 0.81 | 0.86 | | |
| | | | | | | | | 2220 | 242 | 188 | 0.78 | 0.83 | | |
| | | | | | | | | 344 | 2220 | 242 | 186 | 0.70 | 0.82 | |
| | | | | | | | | | 2400 | 261 | 202 | 0.76 | 0.89 | |
| | | | | | | | | | 378 | 1740 | 189 | 145 | 0.50 | 0.64 |
| | | | | | | | | | | 1650 | 181 | 139 | 0.48 | 0.61 |

付表-C-2 実験結果 被覆堤

h = 42 cm, T = 1.98 sec

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p ₀ (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------|------|------|------|--|--|
| 27 | 32 | 100 | 174 | 710 | 80 | 75 | 0.46 | 0.59 | | | | | | |
| | | | | 206 | 870 | 97 | 92 | 0.47 | 0.61 | | | | | |
| | | | | | 240 | 1110 | 125 | 116 | 0.52 | 0.66 | | | | |
| | | | | | | 277 | 1320 | 147 | 136 | 0.53 | 0.67 | | | |
| | | | | | | | 310 | 1400 | 158 | 147 | 0.51 | 0.65 | | |
| | | | | | | | 344 | 1260 | 144 | 132 | 0.42 | 0.58 | | |
| | | | | | | | 378 | 1070 | 121 | 111 | 0.32 | 0.49 | | |
| | | | | 17 | 22 | 109 | 174 | 940以下 | | | | | | |
| | | | | | | | | 206 | 940以下 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

付表-C-3(1) 実験結果 多孔壁式遊水堤(1)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 168 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|
| 27 | 32 | 10 | 174 | 1060以下 | 1.38 | 1.19 | 0.67 | 0.79 | | | | |
| | | | 206 | 1290 | | | | | | | | |
| | | | 240 | 1600 | | | | | | | | |
| | | | 277 | 1960 | | | | | | | | |
| | | | 310 | 2590 | | | | | | | | |
| | | | 344 | 2670 | | | | | | | | |
| | | | 378 | 1870 | | | | | | | | |
| | | | 204 | 156 | | | | | | | | |
| 22 | 27 | 15 | 174 | 1270以下 | 1.46 | 1.19 | 0.61 | 0.66 | | | | |
| | | | 206 | 1270以下 | | | | | | | | |
| | | | 240 | 1360 | | | | | | | | |
| | | | 1310 | 142 | | | | | 1.14 | 0.59 | 0.63 | |
| | | | 277 | 1710 | | | | | 1.88 | 1.41 | 0.68 | 0.68 |
| | | | 1540 | 1.69 | | | | | 1.27 | 0.61 | 0.61 | |
| | | | 2610 | 2.91 | | | | | 2.07 | 0.94 | 0.89 | |
| | | | 2430 | 2.73 | | | | | 1.93 | 0.88 | 0.83 | |
| | | | 2070 | 2.34 | | | | | 1.63 | 0.68 | 0.70 | |
| | | | 2030 | 2.27 | | | | | 1.60 | 0.66 | 0.69 | |
| | | | 1620 | 1.81 | | | | | 1.28 | 0.48 | 0.55 | |
| | | | 1840 | 2.08 | | | | | 1.44 | 0.55 | 0.62 | |

付表-C-3(2) 実験結果 多孔壁式遊水堤(2)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 168 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 17 | 22 | 20 | 174 | 1440以下 | 1.87 | 1.35 | 0.78 | 0.73 |
| | | | 206 | 1440以下 | | | | |
| | | | 240 | 1680 | | | | |
| | | | 277 | 1890 | | | | |
| | | | 310 | 2330 | | | | |
| | | | 344 | 2060 | | | | |
| 378 | 264 | | | | | | | |
| 12 | 17 | 25 | 174 | 1660以下 | 1.95 | 1.09 | 0.81 | 0.57 |
| | | | 206 | 1660以下 | | | | |
| | | | 240 | 1660 | | | | |
| | | | 277 | 2020 | | | | |
| | | | 310 | 3010 | | | | |
| | | | 344 | 1800 | | | | |
| | | | 378 | 2070 | | | | |
| | | | 240 | 134 | | | | |
| 236 | 1.34 | 0.85 | 0.61 | | | | | |
| 356 | 2.05 | 1.15 | 0.85 | | | | | |
| 209 | 1.24 | 0.61 | 0.51 | | | | | |
| 240 | 1.41 | 0.64 | 0.58 | | | | | |

付表-C-3(3) 実験結果 多孔壁式遊水堤(3)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 293 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|
| 27 | 32 | 10 | 174 | 1010 | 1.08 | 0.95 | 0.62 | 0.75 | | | | |
| | | | 206 | 1240 | 1.32 | 1.14 | 0.64 | 0.76 | | | | |
| | | | 240 | 1510 | 1.63 | 1.35 | 0.68 | 0.77 | | | | |
| | | | 277 | 1910 | 2.08 | 1.65 | 0.75 | 0.82 | | | | |
| | | | 310 | 2360 | 2.57 | 1.99 | 0.83 | 0.88 | | | | |
| | | | 344 | 1550 | 1.72 | 1.31 | 0.50 | 0.58 | | | | |
| | | | 378 | 1460 | 1.63 | 1.22 | 0.43 | 0.54 | | | | |
| | | | 1.08 | 0.61 | 0.65 | | | | | | | |
| 22 | 27 | 15 | 174 | 1080以下 | 1.46 | 1.17 | 0.61 | 0.65 | | | | |
| | | | 206 | 1080以下 | | | | | | | | |
| | | | 240 | 1350 | | | | | | | | |
| | | | 1420 | 1.54 | | | | | 1.23 | 0.64 | 0.68 | |
| | | | 277 | 1530 | | | | | 1.69 | 1.27 | 0.61 | 0.61 |
| | | | 1570 | 1.75 | | | | | 1.31 | 0.63 | 0.63 | |
| | | | 2560 | 2.85 | | | | | 2.02 | 0.92 | 0.87 | |
| | | | 2340 | 2.60 | | | | | 1.86 | 0.84 | 0.80 | |
| | | | 1620 | 1.82 | | | | | 1.28 | 0.53 | 0.55 | |
| | | | 1710 | 1.93 | | | | | 1.35 | 0.56 | 0.58 | |
| | | | 1350 | 1.51 | | | | | 1.05 | 0.40 | 0.45 | |
| | | | 1310 | 1.47 | | | | | 1.02 | 0.39 | 0.44 | |

付表-C-3(4) 実験結果 多孔壁式遊水堤(4)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 293 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 17 | 22 | 20 | 174 | 1200以下 | 1.53 | 1.11 | 0.64 | 0.60 |
| | | | 206 | 1200以下 | | | | |
| | | | 240 | 1380 | | | | |
| | | | 277 | 1620 | | | | |
| | | | 310 | 1910 | | | | |
| | | | 344 | 2360 | | | | |
| | | | 378 | 1650 | | | | |
| | | | 185 | 1.20 | | | | |
| 223 | 1.30 | 0.72 | 0.54 | | | | | |
| 275 | 1.59 | 0.80 | 0.66 | | | | | |
| 192 | 1.11 | 0.51 | 0.46 | | | | | |

付表-C-3(5) 実験結果 多孔壁式遊水堤(5)

h = 54 cm, T = 1.8 sec, bc = 168 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ | | |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|------|------|
| 29 | 34 | 80 | 180 | 960以下 | 1.54 | 1.24 | 0.68 | 0.87 | | |
| | | | 227 | 1420 | | | | | | |
| | | | 256 | 1670 | | | | | | |
| | | | 289 | 1760 | | | | | | |
| | | | 308 | 1850 | | | | | | |
| | | | 322 | 1940 | | | | | | |
| | | | 169 | 1.41 | | | | | 0.66 | 0.88 |
| | | | 197 | 1.45 | | | | | 0.68 | 0.80 |
| 206 | 1.48 | 0.67 | 0.77 | | | | | | | |
| 216 | 1.53 | 0.67 | 0.76 | | | | | | | |

付表-C-3(6) 実験結果 平型縦スリット壁式遊水堤(1)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 138 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 17 | 22 | 20 | 174 | 1440以下 | 1.82 | 1.18 | 0.66 | 0.55 |
| | | | 206 | 1440以下 | | | | |
| | | | 240 | 1440以下 | | | | |
| | | | 277 | 1590 | | | | |
| | | | 310 | 1680 | | | | |
| | | | 344 | 2670 | | | | |
| 27 | 32 | 10 | 174 | 1030以下 | 1.21 | 1.01 | 0.50 | 0.57 |
| | | | 206 | 1030以下 | | | | |
| | | | 240 | 1120 | | | | |
| | | | 277 | 1480 | | | | |
| | | | 310 | 1480 | | | | |
| | | | 344 | 1840 | | | | |
| | | | 378 | 1750 | | | | |
| | | | 196 | 1.13 | | | | |
| 311 | 1.80 | 0.91 | 0.75 | | | | | |
| 159 | 0.73 | 0.66 | | | | | | |

付表-C-3(7) 実験結果 平型スリット壁式遊水堤(2)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 263 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | p _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 17 | 22 | 20 | 174 | 1200以下 | 1.70 | 1.09 | 0.61 | 0.51 |
| | | | 206 | 1200以下 | | | | |
| | | | 240 | 1200以下 | | | | |
| | | | 277 | 1490 | | | | |
| | | | 310 | 1620 | | | | |
| | | | 344 | 2160 | | | | |
| | | | 378 | - | | | | |
| | | | 189 | 1.10 | | | | |
| 27 | 32 | 10 | 174 | 900以下 | 2.52 | 1.44 | 0.73 | 0.60 |
| | | | 206 | 990 | | | | |
| | | | 240 | 1170 | | | | |
| | | | 277 | 1350 | | | | |
| | | | 310 | 1620 | | | | |
| | | | 344 | 1800 | | | | |
| | | | 378 | 1620 | | | | |
| | | | 106 | 0.91 | | | | |
| 126 | 1.05 | 0.52 | 0.60 | | | | | |
| 147 | 1.18 | 0.53 | 0.58 | | | | | |
| 178 | 1.37 | 0.57 | 0.61 | | | | | |
| 197 | 1.52 | 0.57 | 0.67 | | | | | |
| 176 | 1.36 | 0.47 | 0.60 | | | | | |

付表-C-3(8) 実験結果 平型縦スリット壁式遊水堤(3)

h = 54 cm, T = 1.8 sec, bc = 138 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | P _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 29 | 34 | 80 | 180 | 1000 | 108 | 90 | 060 | 080 |
| | | | 227 | 1180 | 129 | 102 | 057 | 072 |
| | | | 256 | 1310 | 156 | 110 | 061 | 069 |
| | | | 289 | 1'60 | 197 | 145 | 068 | 080 |
| | | | 302 | 1850 | 202 | 148 | 067 | 077 |
| | | | 322 | 1960 | 222 | 157 | 069 | 078 |

付表-C-3(10) 実験結果 駒型縦スリット壁式遊水堤

h = 54 cm, T = 1.8 sec, bc = 138 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | P _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 29 | 34 | 80 | 180 | 960以下 | | | | |
| | | | 227 | 1250 | 14.1 | 108 | 062 | 076 |
| | | | 256 | 1420 | 15.6 | 120 | 061 | 075 |
| | | | 289 | 1490 | 16.5 | 123 | 057 | 068 |
| | | | 308 | 1550 | 20.6 | 14.8 | 067 | 077 |
| | | | 322 | 1960 | 21.9 | 15.5 | 068 | 077 |

付表-C-3(9) 実験結果 駒型縦スリット式遊水堤(1)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 138 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | P _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 12 | 17 | 25 | 174 | 1640以下 | | | | |
| | | | 206 | 1640以下 | | | | |
| | | | 240 | 1640以下 | | | | |
| | | | 277 | 1730 | 20.2 | 11.4 | 073 | 052 |
| | | | 310 | 2530 | 29.9 | 12.2 | 097 | 071 |
| | | | 344 | 1640 | | | | |
| | | | 378 | 1640 | | | | |
| 17 | 22 | 20 | 174 | 1440以下 | | | | |
| | | | 206 | 1440以下 | | | | |
| | | | 240 | 1440以下 | | | | |
| | | | 277 | 1530 | 17.4 | 11.1 | 063 | 052 |
| | | | 310 | 1620 | 18.9 | 11.1 | 061 | 046 |
| | | | 344 | 1820 | 21.3 | 12.3 | 062 | 051 |
| | | | 378 | 2470 | 28.8 | 16.6 | 076 | 069 |
| 27 | 32 | 10 | 174 | 1030以下 | | | | |
| | | | 206 | 1030以下 | | | | |
| | | | 240 | 1300 | 14.0 | 11.7 | 058 | 067 |
| | | | 277 | 1570 | 17.1 | 13.6 | 062 | 068 |
| | | | 310 | 1930 | 21.1 | 16.4 | 068 | 073 |
| | | | 344 | 2200 | 24.1 | 18.5 | 070 | 082 |
| | | | 378 | 2020 | 22.2 | 17.0 | 059 | 075 |

付表-C-4 実験結果 斜面壁堤

h = 42 cm, T = 1.98 sec

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | P _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 17 | 22 | 15 | 174 | 570 | 20 | 5.9 | 0.40 | 0.44 |
| | | | | 630 | 7.8 | 6.6 | 0.45 | 0.49 |
| | | | 206 | 790 | 10.1 | 7.6 | 0.49 | 0.48 |
| | | | | 770 | 9.9 | 7.5 | 0.45 | 0.47 |
| | | | 240 | 930 | 12.0 | 8.3 | 0.50 | 0.45 |
| | | | | 930 | 12.0 | 8.3 | 0.50 | 0.45 |
| | | | 277 | 1130 | 15.0 | 9.2 | 0.54 | 0.43 |
| | | | | 1100 | 14.7 | 9.0 | 0.53 | 0.42 |
| | | | 310 | 1520 | 20.5 | 11.4 | 0.66 | 0.48 |
| | | | | 1470 | 19.8 | 10.9 | 0.64 | 0.46 |
| 22 | 27 | 10 | 174 | 850以下 | | | | |
| | | | 206 | " | | | | |
| | | | 240 | " | | | | |
| | | | 277 | " | | | | |
| | | | 310 | " | | | | |
| | | | 344 | " | | | | |
| | | | 378 | " | | | | |
| | | | | 10.9以下 | 8.32以下 | 0.35以下 | 0.37以下 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ただし、波高Hは堤体設置位置での仮想通過波高であり、P_Eは実験による水平全波力である。

付表-C-3(11) 実験結果 駒型縦スリット壁式遊水堤(2)

h = 42 cm, T = 1.98 sec, bc = 263 cm

| d (cm) | h' (cm) | h _c (cm) | H (cm) | W _{oc} (gr/cm) | \bar{p} (gr/cm ²) | P _u (gr/cm ²) | $\frac{\bar{p}}{W_0 H}$ | $\frac{P_E}{P_G}$ |
|--------|---------|---------------------|--------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 12 | 17 | 25 | 174 | 1340以下 | | | | |
| | | | 206 | 1340以下 | | | | |
| | | | 240 | 1340以下 | | | | |
| | | | 277 | 1450 | 17.0 | 9.7 | 0.61 | 0.44 |
| | | | 310 | 2240 | 26.4 | 15.2 | 0.85 | 0.63 |
| | | | 344 | 1340以下 | | | | |
| | | | 378 | 1340以下 | | | | |
| 17 | 22 | 20 | 174 | 1200以下 | | | | |
| | | | 206 | 1200以下 | | | | |
| | | | 240 | 1200以下 | | | | |
| | | | 277 | 1260 | 14.4 | 9.2 | 0.52 | 0.43 |
| | | | 310 | 1510 | 17.6 | 10.1 | 0.57 | 0.42 |
| | | | 344 | 1800 | 21.0 | 12.0 | 0.61 | 0.50 |
| | | | 378 | 2140 | 25.0 | 14.2 | 0.66 | 0.59 |
| 27 | 32 | 10 | 174 | 900以下 | | | | |
| | | | 206 | 1080 | 11.6 | 10.0 | 0.56 | 0.66 |
| | | | 240 | 1170 | 12.6 | 10.5 | 0.52 | 0.60 |
| | | | 277 | 1440 | 15.7 | 12.5 | 0.57 | 0.62 |
| | | | 310 | 1620 | 17.7 | 13.7 | 0.57 | 0.61 |
| | | | 344 | 2160 | 23.7 | 18.2 | 0.69 | 0.81 |
| | | | 378 | 1620 | 17.8 | 13.6 | 0.47 | 0.60 |

付録D 防波護岸の越波流量に関する実験データ

本文4.2で取り扱った防波護岸に関する越波流量の実験データを各型式について次表に示す。

付表-D 1 防波護岸に関する越波流量の実験データ 多孔壁式

$H'_0 = 19.0 \text{ cm}$, $T_{1/3} = 2.10 \text{ sec}$

| $b_p = 3 \text{ cm}$, $b_c = 17 \text{ cm}$ | | | | $b_p = 6 \text{ cm}$, $b_c = 14 \text{ cm}$ | | | |
|--|--------------------|---|-------------------------------|--|--------------------|---|-------------------------------|
| h_c (cm) | $\frac{h_c}{H'_0}$ | q ($\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$) | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | h_c (cm) | $\frac{h_c}{H'_0}$ | q ($\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$) | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ |
| 16.0 | 0.84 | 4.384 | 1.20×10^{-3} | 16.0 | 0.84 | 9.647 | 2.63×10^{-3} |
| 18.0 | 0.95 | 3.110 | 8.48×10^{-4} | 28.0 | 1.47 | 0.565 | 1.54×10^{-4} |
| 2.00 | 10.5 | 2.348 | 6.40×10^{-4} | $b_p = 6 \text{ cm}$, $b_c = 17 \text{ cm}$ | | | |
| 2.20 | 1.16 | 1.640 | 4.47×10^{-4} | | | | |
| 2.40 | 1.26 | 1.061 | 2.89×10^{-4} | $b_p = 6 \text{ cm}$, $b_c = 17 \text{ cm}$ | | | |
| 2.60 | 1.37 | 0.735 | 2.00×10^{-4} | | | | |
| 2.80 | 1.47 | 0.354 | 9.70×10^{-5} | | | | |
| | | | | 28.0 | 1.47 | 0.270 | 7.40×10^{-5} |

付表-D 2 (1) 防波護岸に関する越波流量の実験データ 二重型式 (水路幅による変化)

| | | 間隔 10 mm $H'_0 = 19.0 \text{ cm}$ $T_{1/3} = 2.1 \text{ sec}$ | | 間隔 1 mm $H'_0 = 19.0 \text{ cm}$ $T_{1/3} = 2.1 \text{ sec}$ | | 間隔 1 mm $H'_0 = 2.14 \text{ cm}$ $T_{1/3} = 1.68 \text{ sec}$ | | 間隔 1 mm (規則波) $H'_0 = 2.72 \text{ cm}$ $T_{1/3} = 2.0 \text{ sec}$ | | | |
|---------------|-----------------------|---|-------------------------------|--|-------------------------------|---|---|--|---------------|---|-------------------------------|
| B_w (cm) | $\frac{B_w}{L_{1/3}}$ | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | B_w (cm) | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | B_w (cm) | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ |
| 75 | 0.188 | 0.749 | 2.04×10^{-4} | 1.241 | 3.4×10^{-4} | 0.244 | 0.052 | 1.2×10^{-5} | 0.199 | 7.10 | 1.13×10^{-3} |
| 100 | 0.250 | 0.311 | 8.5×10^{-5} | 0.241 | 6.6×10^{-5} | 0.326 | 0 | | 0.265 | 0.413 | 6.6×10^{-5} |
| 125 | 0.312 | 0.0537 | 1.5×10^{-5} | 0.150 | 4.1×10^{-5} | 0.407 | 0 | | 0.332 | 0.0063 | 1.0×10^{-6} |
| 150 | 0.375 | | | 0.150 | 4.1×10^{-5} | 0.489 | 0.018 | 4.0×10^{-6} | 0.398 | 0.350 | 5.6×10^{-5} |
| 175 | 0.437 | | | 0.457 | 1.25×10^{-4} | 0.570 | 0.122 | 2.8×10^{-5} | 0.464 | 1.313 | 2.09×10^{-4} |
| 200 | 0.500 | | | 0.997 | 2.72×10^{-4} | 0.651 | 0 | | 0.530 | 3.481 | 5.54×10^{-2} |
| 225 | 0.562 | | | 1.071 | 2.92×10^{-4} | | | | 0.597 | 1.475 | 2.35×10^{-4} |
| 250 | 0.625 | | | 1.091 | 2.98×10^{-4} | | | | 0.663 | 0.125 | 2.0×10^{-5} |
| 275 | 0.687 | | | 0.609 | 1.66×10^{-4} | | | | 0.729 | 0.156 | 2.5×10^{-5} |

付表-D 2 (2) 防波護岸に関する越波流量の実験データ 二重型式 (天端高による変化)

$T_{1/3} = 2.1 \text{ sec}$, $H'_0 = 19.0 \text{ cm}$, $B = 40 \text{ cm}$, $h_c = 10.5 \text{ cm}$, 間隔 1 mm

| | | $B_w/L_{1/3} = 0.25$ | | $B_w/L_{1/3} = 0.31$ | | $B_w/L_{1/3} = 0.38$ | | $B_w/L_{1/3} = 0.44$ | | $B_w/L_{1/3} = 0.50$ | |
|---------------|-----------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| B_w (cm) | $\frac{B_w}{L_{1/3}}$ | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ | q $\text{cm}^3/\text{sec} \cdot \text{cm}$ | $\frac{q}{\sqrt{2g(H'_0)^3}}$ |
| 120 | 0.63 | | | | | 0.820 | 2.24×10^{-4} | 0.877 | 2.39×10^{-4} | 1.245 | 3.40×10^{-4} |
| 140 | 0.74 | | | 0.368 | 1.0×10^{-4} | 0.192 | 5.20×10^{-5} | 0.608 | 1.66×10^{-4} | 0.933 | 2.54×10^{-4} |
| 160 | 0.84 | 1.070 | 2.92×10^{-4} | 0.311 | 8.5×10^{-5} | 0.107 | 2.90×10^{-5} | 0.339 | 9.20×10^{-5} | 0.531 | 1.46×10^{-4} |
| 180 | 0.95 | 0.636 | 1.73×10^{-4} | 0.048 | 1.3×10^{-5} | | | | | 0.452 | 1.23×10^{-4} |
| 200 | 1.05 | 0.467 | 1.27×10^{-4} | | | | | | | 0.244 | 6.80×10^{-5} |
| 220 | 1.16 | 0.212 | 5.80×10^{-5} | | | | | | | | |

港湾技研資料 No.246

1976・9

編集兼 運輸省港湾技術研究所
行人

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社美巧社