

潜堤付防波堤の波力に対する実験的研究

中 泉 昌 光*・ 山 本 正 昭**・ 間 辺 本 文***

1. はじめに

本研究は、「潜堤付防波堤による海水交流工法の開発」(山本ら¹⁾)の一部として行ったものであるが、捨石式潜堤の場合には防波堤直立部に作用する衝撃波力を緩和するのに広く役立つことが分ってきたので、これを積極的に利用すべく実験範囲を広げて研究を行なったものである。

一般に、海底勾配が急な場合や、マウンド高さと波の条件によっては衝撃砕波力が発生することがある。設計においてはこうした強大な波力を直接受けるおそれのある断面形状や構造の採用を避けることが原則であるが、特に漁港のように水深の浅い所に混成堤を設ける場合に所要のマウンド高を確保するため高マウンド堤にならざるを得ない場合がある。そのような条件を避けられない場合には、従来から直立部を消波ブロックで被覆することが行われてきた。しかしながら、鴻上ら²⁾、伊藤ら³⁾が指摘しているように消波工が十分でない施工途中の安全性の確保には困難を極める。これに対し、筆者らは、衝撃砕波力の緩和の対策工の一つとして捨石マウンドを前方へ伸ばして切り放した形の捨石式潜堤(図-1)を提案する。

従来、谷本⁴⁾の研究では、高マウンドにおいてマウンドの高さに応じ前肩幅がある値のところ直立部に作用する波力が最大となり、衝撃砕波力を示すことを指摘している。即ち、衝撃砕波力の発生条件は、海底勾配については、1/30 より急であり、入射波が直立壁のやや沖側で砕波する波を含み、換算沖波の波形勾配が0.03以下のときである。海底勾配が1/50程度より緩やかであって、 h_c/h が0.6より大きい場合にはその発生の危険性は少ないが、0.6より小さく高マウンド化するにつれて発生することがあり、特に $h_c/h=0.25\sim0.35$ のときに最も波力が大きくなる。その危険性は h_c/h と H/h により検討される。また、マウンドの高さだけでなく入

射波長やマウンドの前肩幅および法勾配も影響する。例えば、 h_c/h が小さい程、また h/L が大きい程波力の大きい領域は B/L の小さい所に移行する傾向があることがわかっている。

一方、衝撃砕波の危険性がないように高マウンドで前肩幅を広げた場合、あるいは、捨石式潜堤を設置した場合については余り明らかにされていない。マウンド前肩部をさらに大きくとることができれば、マウンド上において完全に波を砕波させ、砕波後の減衰した波が直立部に作用することになるものと思われる。このとき、防波堤基部からの高マウンドの延長は工費が嵩むため、砕波減衰に有効なマウンド前肩部の先端を防波堤基部から分離した形式をとるのが一般に経済的であろう。この分離した高マウンド部すなわち捨石式潜堤で完全に砕波させ、防波堤直立部に作用する波力の低減を期待するものである。

そこで、捨石式潜堤を有する防波堤に関して水理模型実験を行ない、波圧の面から捨石式潜堤の有効性の検討と波圧低減量の定量化を行なった。実験は、水路内に想定縮尺1/30の堤体模型を設置し、波圧測定センサーを取り付けて行なった。本報告の中で用いる記号は表-1の他は次の通りである。

l' : 潜堤設置距離(= $B_s + l$) (cm)

L : 入射波長 (cm)

H : 入射波高 (cm)

η : 遊水部の水位上昇量 (cm)

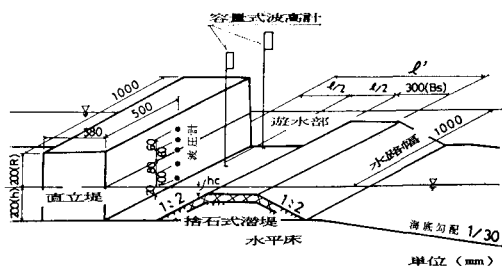


図-1 堤体模型および計測器配置図

* 正会員 水産庁振興部開発課
 ** 正会員 農博 水産庁水産工学研究所漁港水理研究室
 *** 正会員 工修 水産庁水産工学研究所漁港水理研究室

表—1 実験諸元

堤体設置水深	h (cm)	20.0
造波水深	h_d (cm)	87.8
水底勾配	i	1/30
周期	T (sec)	1.46, 2.20, 2.92
換算沖波波高	H'_0 (cm)	約 4~21
防波堤の天端高	R (cm)	+ 20.0
〃 天端幅	B (cm)	38.0
潜堤上水深	h_c (cm)	-10.0, -5.0, 0.0
潜堤上比水深	h_c/h	0.5, 0.25, 0.0
潜堤天端幅	B_s (cm)	30.0
潜堤法勾配		1 : 2
被覆ブロック重量	(g)	640
防波堤直立部と 潜堤間の遊水部長さ	l (cm)	20.0, 40.0, 60.0 90.0, 120.0

2. 実験方法と実験ケース

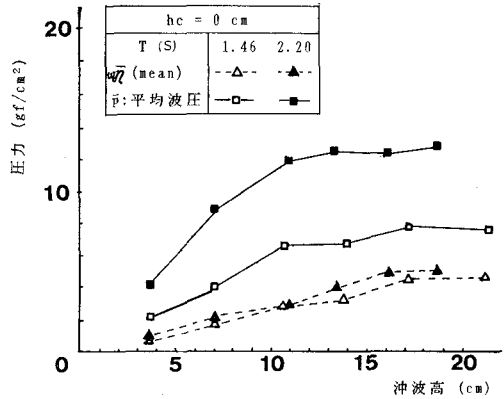
長さ 100 m, 幅 1 m, 深さ 1.5 m の 2 次元水路内に水底勾配 1/30 の斜面を造り, この水平床前端に潜堤の前法端を合せて堤体模型を設置した. 模型の想定縮尺は 1/30 である.

防波堤に作用する波圧の測定には直径 10 mm の小型波圧計を用い, これを防波堤直立部前面に張付けた. 入射波高と沖波波高の測定には容量式波高計を用い, これを堤体設置予定である水平床前端から沖側 $L/4$ と岸側 $L/4$ (L は入射波長) の区間に数本, 水路沖に 1 本設置した. また, 捨石式潜堤と防波堤の遊水部間の水位上昇が波圧に及ぼす影響がどの程度のものか不明であるため, 遊水部に波高計を設置し, 遊水部間の水位上昇量を調べた.

波高記録と波圧記録は, アンプ, 動ひずみ計を通じてパソコンにより AD 変換後, FD に書き込み, 防波堤に作用する波圧並びに沖波波高と入射波高を算定した. このときのサンプリングタイムは, 波高記録が 60 ms, 波圧記録が 3 ms である.

入射波高は, 非碎波については水路端からの反射波の影響を受けて場所による波高の変化が見られ, そのためこれらの平均値をもって入射波高とした. 実験は碎波後の条件すなわち波高が減少している範囲まで行っているが堤前で碎波しているものについては堤体設置予定位置から 5 波高沖側の区間での最大波高を入射波高とした.

実験ケースを表—1 に示す. 図—1 に示すように, 堤体の設置水深は 20 cm, 直立堤はコンクリートで造り, 越波を許さない天端高とした. 捨石式潜堤は捨石の表層を被覆ブロック (640 g/個) で被ったものである. 天端幅はブロック並びで 3 列, 前後法勾配は 1 : 2 である. 原型換算では, 潜堤上水深は 0 m, 1.5 m, 3.0 m, 遊水



図—2 水位上昇量と平均波圧

部長さが 6 m, 12 m, 18 m, 27 m である. 実験は規則波で行ない, 周期 8.0 s, 12.0 s, 16.0 s の 3 種類, 波高が各周期について 1 m~6 m 間で 6 種類とし, 周期の長いものまでを含めて完全に碎波する範囲までを対象とした.

3. 実験結果と考察

3.1 波の作用状況

捨石式潜堤では潜堤の天端を高くすることにより潜堤上で波を強制碎波させ波力を碎波後の波圧に変え防波堤直立部に作用する波力を低減させることができ, 小さい波に対してもその波圧減殺効果が現われている.

波圧の解析にあたっては, 潜堤がない直立堤に対して碎波後の波圧を示したデータは除いた.

捨石式潜堤の無い直立堤に作用する波力は, 海底勾配が 1/30 であることもあって, 周期 $T=2.20$ s, 2.92 s で入射波が堤体のやや前方で碎波するときに衝撃碎波力の発生が見られた. ところが捨石式潜堤を設置すると, 潜堤の天端高が低く, かつ設置距離が短いときを除いて, かなり小さくなった波力が直立部に作用するようになり, 大きい波圧低減効果が認められた.

これは同じ波浪条件に対して, 捨石式潜堤を設置することにより, 潜堤のやや前方で碎波する波は潜堤上で碎波がさらに促進させられ, 碎波後の減衰した波圧となって直立堤に働くものと考えられる.

図—2 は潜堤の同一設置条件における各水位上昇量と後で説明する平均波圧とを比較したものである. この図に示すように, 波圧値のうち, 潜堤による平均水位の上昇分が大きい部分を占めており, 潜堤の天端上水深が小さい程, かつまた, 周期が短い程, 波高に比例して水位上昇量が大きくなり, 波圧に占めるその割合は増大する. 例えば, 潜堤上水深が 0 では 4~6 割にも達していることが分る.

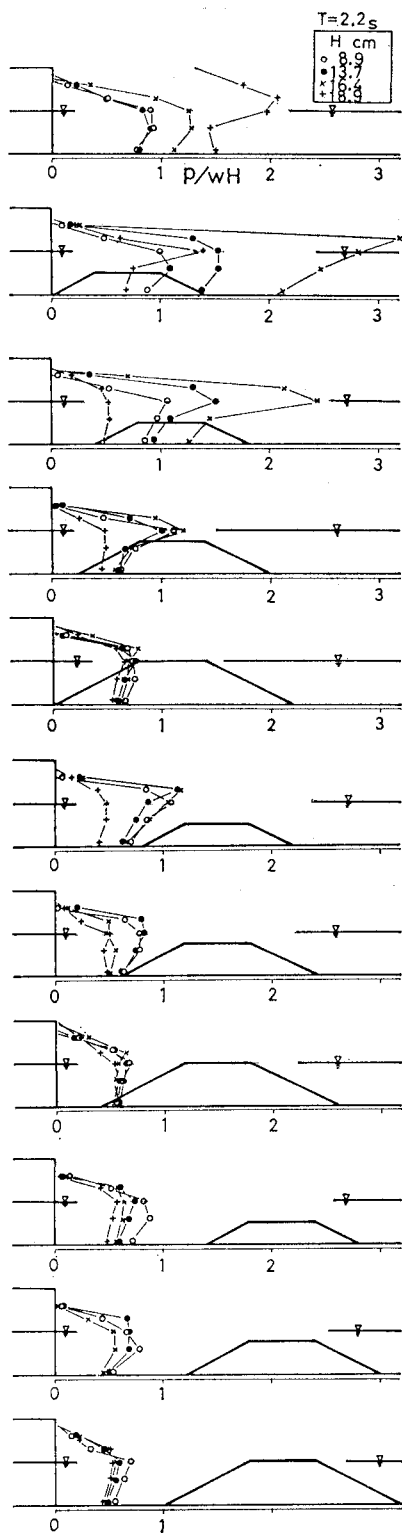


図-3 潜堤の位置と高さによる波圧分布の変化

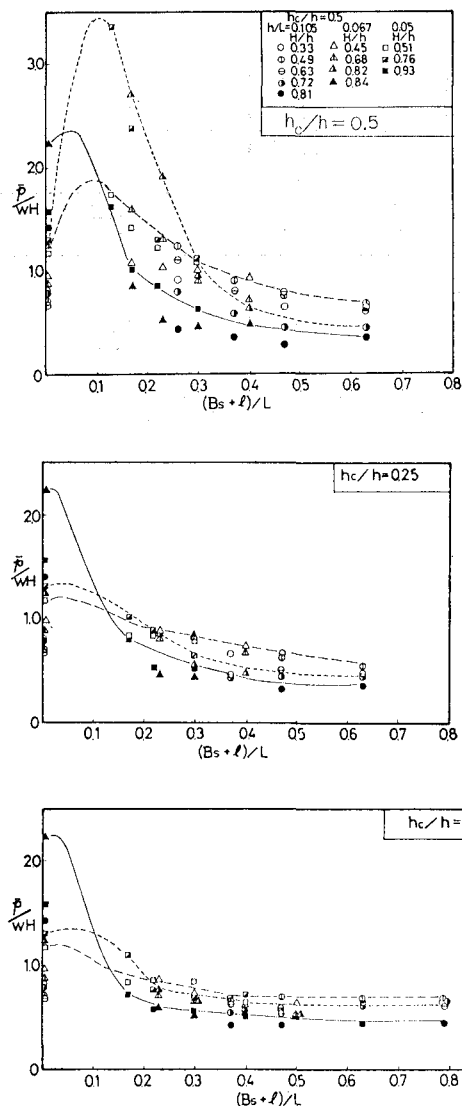


図-4 潜堤の設置距離による波力の変化

また、文献^{2),3)}で指摘されているような潜堤の設置による波力の増大が見られないのは、遊水部の水位上昇量により遊水部と潜堤上での水面勾配が大きくなり、潜堤上のもどり流れが潜堤上での碎波減衰を促すことも一因と考えられる。そこで、導水のため防波堤に開口部を設けることにより遊水部の水位上昇量が減少し、その波圧も異なるのではないかと懸念されるが、前報¹⁾で述べたように防波堤に開口部を設けたことによる水位上昇量の減少は、波高が大きいほど小さいという結果が得られており、高波高時、開口部を設けたことによる波圧の変化は特に問題にすることはないと考えられる。

一方、捨石式潜堤の設置距離が短く、かつ天端高が低い場合、周期の長い2.20 s, 2.92 sの波に対して碎波が

促進され捨石式潜堤の設置により重複波圧から強大な衝撃碎波力となって直立部に作用している。

3.2 波圧分布とそのモデル化

図-3 に波圧分布の例を示す。前述のように水位上昇による波圧が大きいこともあり、高波浪時の波圧分布は水面付近のピークが小さくなっている。これよりモデル波圧分布形状はその作用高が進行波としての入射波高に等しく、静水面上で三角形分布、静水面以下では一様分布を仮定することにした。ここで、平均波圧とは一様分布部の波圧である。

3.3 潜堤の各設置条件と入射波条件における波力

図-4 は、潜堤の堤頂比水深ごとに潜堤の相対設置距離 $(B_s+l)/L$ による平均波圧の変化である。この図より次の事が分る。

(1) $h_c/h=0.5$ の場合、いずれの波浪条件のもとでも、潜堤の相対設置距離 $(B_s+l)/L$ が短いと $1.0 wH$ 以上の波力が作用し、水平床前端付近で碎波していた波については、 $2.0 wH$ 以上の平均波圧にもなる。しかしながら潜堤の設置距離をのばすことにより、潜堤の無い場合に碎波圧であったものは、 $0.5 wH$ 、重複波圧では $0.8 wH$ 以下に落ちつく。

(2) $h_c/h=0.25$ の場合、実験範囲内では、平均波圧が $1.0 wH$ を越えるケースはなかったが、潜堤の相対設置距離による変化の傾向は、 $h_c/h=0.5$ の場合と同様であった。

(3) $h_c/h=0.0$ 潜堤の天端を静水位と一致させると、潜堤の相対設置距離がかなり短いにもかかわらず波力の増大が見られず、その平均波圧は $(B_s+l)/L \geq 0.2$ において、 $0.75 wH$ 以下である。

潜堤の各設置条件における平均波圧の概略値を図-5 に示す。捨石式潜堤と防波堤直立部の距離を短くすると

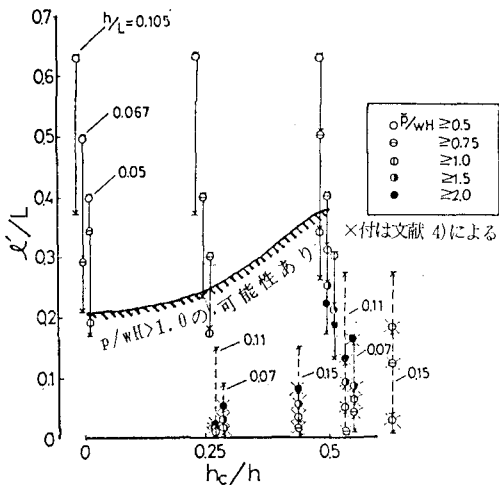


図-5 潜堤形状による波力の概要

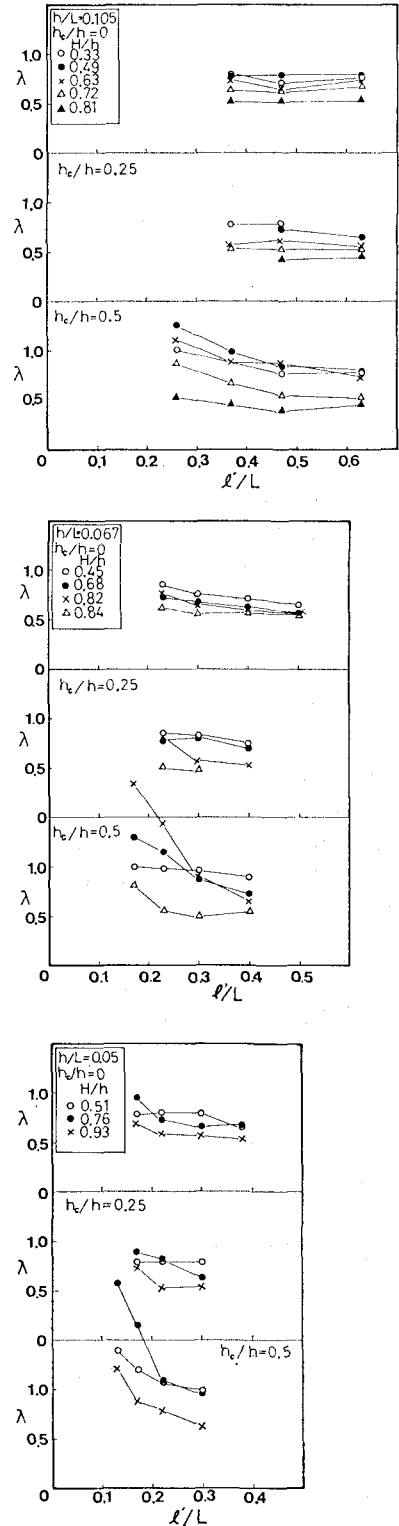


図-6 潜堤の設置距離による波圧低減係数の変化

通常の混成堤と同等な形状となるが、本実験ではこのような形状について行わなかったため、他報告のデータ⁴⁾を合せて図中にプロットした。ここで、他報告のデータについては、マウンド上水深を h_c/h としてある。両データから潜堤上比水深が 0.6 以上と大きいと、捨石式潜堤の設置による衝撃波力の発生はほとんどみられない。

潜堤上比水深が 0.5~0.6 より小さくなると潜堤の影響があらわれ、 $2.0 wH$ 以上の強大な平均波圧が出現する危険性のある範囲は潜堤上比水深が小さい程、潜堤の相対設置距離が短い場合であることが分る。

3.3 波力の算定法

合田の波圧公式において消波ブロック被覆堤の直立部に働く波力は、波圧低減係数 λ を用いて算定される。この合田式を準用して、波圧低減係数 λ による捨石式潜堤付防波堤の波力を評価すると、図-6 のようになる。設計においては、波圧係数が 1.0 を越える条件を避けることは当然のことである。したがって各マウンド比水深相対マウンド幅の条件のもとで、波圧低減係数が 1.0 以下で、かつ、ほぼ一定となるときデータのみにとりあげまとめると図-7 となる。即ち、 $h_c/h=0$ のとき $l'/L > 0.2$ 、 $h_c/h=0.25$ のとき $l'/L > 0.25$ 、 $h_c/h=0.5$ のとき $l'/L > 0.38$ の条件では、衝撃碎波力は発生せず、かつ h_c や l' に関係なく一定の波圧減殺効果がみられる。その波圧低減係数は水深波長比 h/L と波高水深 H/h により変化するが、おおよそ重複波圧領域で 0.9~0.7、碎波圧に対しては 0.7~0.4 とかなり小さくなる。この波圧低減係数 λ は平均的には次式により評価できることが分った。

$$\lambda = \exp[-7(h/L)(H/h)^3] - 0.2$$

この式で得られた波圧低減係数により捨石式潜堤付防

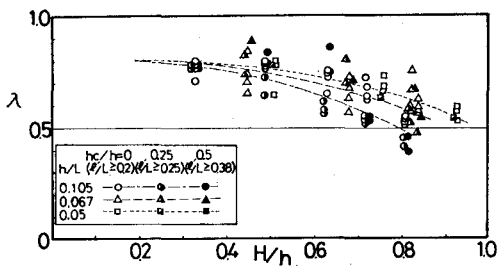


図-7 定量化した波圧低減係数

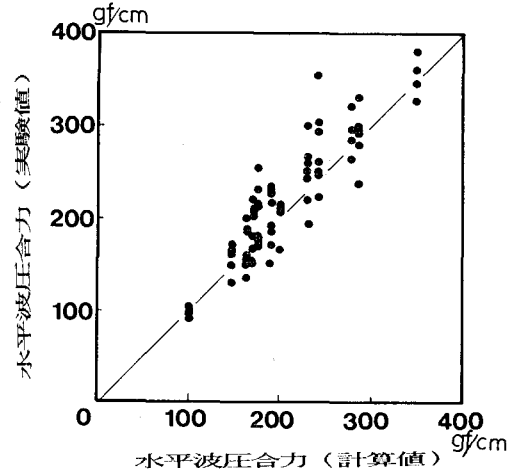


図-8 波力の計算値と実験値との比較

波堤に作用する水平力を算定し実験値と比較したのが図-8 である。計算値は実験値をほぼ説明している。また、その波圧分布を波圧低減係数 λ を用いてあらわすと、その下端水平波圧強度は λp_3 (p_3 は直立壁での下端水平波圧強度)、水面附近における水平波圧強度は λp_1 (p_1 は直立壁の場合の水平波圧強度) である。これについて計算値と実験値を比較した場合も同様な結果を得ている。

6. まとめ

防波堤前面に捨石式潜堤を設置すると、消波ブロックを設置した場合とは異なり、その潜堤の設置条件によってはかなりの波圧減殺を期待できる。また、そのときの波圧低減量を評価する波圧低減係数が得られた。

参考文献

- 1) 山本正昭・中泉昌光・間辺本文：潜堤付防波堤による海水交流工法の開発，第34回海岸工学講演会論文集，pp. 675-679, 1987.
- 2) 鴻上雄三・時川和夫：施工段階における消波工の波圧減殺効果に関する実験的研究，第17回海岸工学講演会論文集，pp. 205-210, 1970.
- 3) 伊藤勝一・中山哲蔵・山本正昭：消波工の形状と防波堤の滑動量に関する実験的研究(A漁港をモデルとして)，第28回全国漁港建設技術者研究発表会講演集，pp. 1-12, 1983.
- 4) 谷本勝利：混成堤に作用する波力について，昭和51年度港湾技術研究所講演会講演集，pp. 1-25, 1976.