

砂マウンド式混成堤の衝撃碎波圧に関する研究

Shock Pressure Exerted on Sand Mound Breakwaters

梅沢 信敏* 柳瀬 知之** 水野 雄三***

Nobutoshi UMEZAWA, Tomoyuki YANASE and Yuzo MIZUNO

比較的水深の深い海域における経済的な新形式防波堤のひとつとして実用化が期待される砂マウンド式混成堤の波圧特性について、水理模型実験により調べた。

実験は、2次元水路を用いて規則波および不規則波を砂マウンド堤に作用させ、さまざまな条件下における作用波圧を測定した。その結果、砂マウンドが小規模のときは通常の混成堤と同様な設計が可能で、砂マウンドが適当な厚さと勾配を有する場合には、衝撃的な波圧が作用しやすくなることなどがわかった。それらを基に、砂マウンド式混成堤の衝撃碎波圧発生の可能性を推定する判定図表を作成した。

〈碎波；壁面に作用する波力；砂マウンド式混成堤〉

Wave forces on the upright sections of sand mound breakwaters, a newly developed economical breakwater type, were investigated by hydraulic model tests.

Variations in the wave forces on sand mound breakwaters were investigated in a two-dimensional wave tank with both regular and irregular waves.

The paper describes how shock pressure is generated due to the configuration of sand and rubble mounds.

Keywords: breaking wave, wave forces, sand mound breakwater.

1. ま え が き

比較的水深の大きい海域における混成堤の経済的な設計法のひとつとして、海底面上に砂でマウンドを形成し、捨石マウンド厚の低減を図る方法が考えられる。このような形式の防波堤をここでは砂マウンド式混成堤と称し、当工法を砂マウンド工法と呼ぶものとする。

通常のケーソン式混成堤は、ケーソンの製作限界などからケーソン高には上限があるため、堤体の設置水深が深くなると、捨石マウンドを厚くすることで対処している。しかしながら、近年の石材難から全体工事費に占める基礎工費の割合が高くなり、防波堤の単価アップにつながっている。一方、航路や泊地の整備をみると浚渫と埋立の土量バランスが合わず、余剰浚渫土砂の処理が問

題となっている港も多い。

砂マウンド式混成堤はこの余剰砂を有効利用することにより、土砂処理費と混成堤の基礎工費の節減の相乗効果を期待したものである。

わが国の港湾では、防波堤の直立壁に作用する波力の算定には、重複波、碎波を区別することなく作用波力を連続的に求めることができる合田式を用いることを標準¹⁾としている。合田式のもうひとつの特徴は、捨石マウンド高さと海底勾配による影響を考慮していることである。一般に碎波の影響を受ける領域においては、進行波として直立壁のやや沖側で碎波する場合に最大の波力が作用することが知られており、碎波領域では直立壁から設計有義波高の5倍の距離だけ沖側に離れた地点の水深と、

*港湾研究室主任研究員 **同室員 ***同室長

そのときの最高波高を設計計算に用いている。

しかしながら、急勾配海底面上の直立壁とか、緩勾配にあっても、高いマウンドの上にある直立壁に碎波が作用する場合には、合田式による算定波力の数倍ないし数10倍のいわゆる衝撃碎波力と呼ばれる強大な波力が作用することが模型実験などにより示されている^{2),3)}。

砂マウンド式混成堤を作用波圧の面からみても、緩勾配の海底面上に砂マウンドによる急勾配の人工地盤が形成されることから、砂マウンド形状や波浪条件によっては衝撃碎波力が作用する可能性があるものと推察される。過去の研究例をみても、砂マウンド式混成堤のような緩勾配の海底面上に堤体前面で0.2~5波長程度と比較的延長が短く、1/15~1/50の急勾配斜面を有する変断面形状をもつ場合の波圧特性に関する研究はほとんど例がない。

本報告は、以上の背景から、砂マウンド式混成堤に働く波圧特性を明らかにすることを目的として実施している一連の水理模型実験のうち、これまでに得られた結果をとりまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 砂マウンド式混成堤に働く波力の特徴

通常の混成堤の直立部に働く波力 P を規定する主要な要因をあげると、一般に次のようになる⁴⁾。

$$P=f(h, i_s, H, L, h_c, h', d, B_m, i_m)$$

ここに、 h : 直立部前壁面位置での原地盤水深、 i_s : 海底勾配、 H : 波高、 L : 波長、 h_c : 直立部の静水面上の天端高、 h' : 直立部底面から静水面までの高さ、 d : マウンド被覆工天端上の水深、 B_m : マウンドの前水平肩幅、 i_m : マウンド沖側面のり勾配。

砂マウンド式混成堤の直立部に作用する波圧に影響を与えられる条件は、上記のほかに次のような要因があげられる。

- ① t : 砂マウンド厚
- ② l : 砂マウンド斜面長
- ③ α : 砂マウンド沖側面のり勾配

さらに、谷本ら⁵⁾は通常の混成堤に働く不規則波力に関する実験の中で、不規則波の場合ほぼ同一の有義波諸元を有する波群であっても特に碎波が作用するような条件での最大波力は波列によって著しく変動することを指摘している。これは、波列を構成するさまざまな波形（周期も含めて）の1波1波の順序によっては、堤体前面からの反射波と重複して、たまたま切りたった波面で直立壁に衝突する可能性があることによる。したがって、

- ④ 波の不規則性

⑤ 堤体前面の反射率

も衝撃碎波圧に対する重要な影響要因であると考えられる。

2.2 実験内容

上記のさまざまな要因が砂マウンド式混成堤に及ぼす影響について検討するため、規則波および不規則波実験を行った。規則波実験では、通常の混成堤に対して捨石マウンドの一部を砂マウンドとした場合、直立壁に作用する波圧特性がどのように変化するかをみるために、捨石マウンド厚と砂マウンド厚の組合わせを変えて検討した。次に、捨石マウンド前肩幅を変えてその影響も調べた。

不規則波実験では、規則波実験結果を参考にして、砂マウンドの厚さ、勾配、斜面長の波圧強度に及ぼす影響をさらに詳しく調べた。また、実際に砂マウンドを施工した場合、長期的には波浪などにより部分的に洗掘などの変形を受けることが予想されるため、砂マウンド洗掘前後の波圧特性についての比較も行った。

最後に、これらの実験結果から砂マウンド式混成堤の衝撃碎波圧の可能性について検討を行った。

以下にその実験結果を示す。

3. 規則波による波圧特性

3.1 実験装置および方法

実験は、一端にペンデュラム型造波機を有する2次元造波水路（長さ28 m、幅80 cm、高さ1 m）において実施した。縮尺は現地の水深15~18 m程度を想定して1/75とし、相似則はフルード則によった。図-1に実験水路を示す。実験に用いる入射波は砂マウンド設置前の原地形（図中で固定床と表示）の状態、堤体設置後に直立部前壁位置となる個所で測定した。この位置に容量式波高計を間隔 Δl だけ離して2本設置し、入・反射波分離推定法⁶⁾により算定した。

その後、原地形上に順次砂マウンド地形をモルタルで形成していき、その上に混成堤を設置して波圧測定を行った。測定結果の整理に使用した波高は原地形で測定した値を用いた。図-2に実験断面を示す。混成堤はモルタルで形成した砂マウンド上に碎石により沖側のり勾配1:3の捨石マウンドを設け、その上に堤体を設置した。堤体はアクリル板をステンレス製アングルの枠に固定して振動を抑えたものを用い、堤体全体を波力によって振動しないように確実に固定した。

3.2 実験条件

実験条件は表-1に示すように、砂マウンド厚 (t)、砂マウンド勾配 (α)、捨石マウンド厚 (r)、捨石マウ

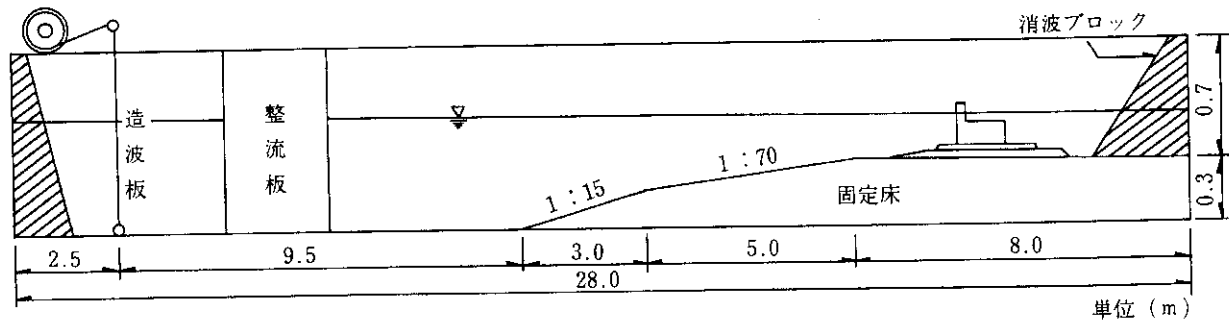


図-1 規則波実験水路

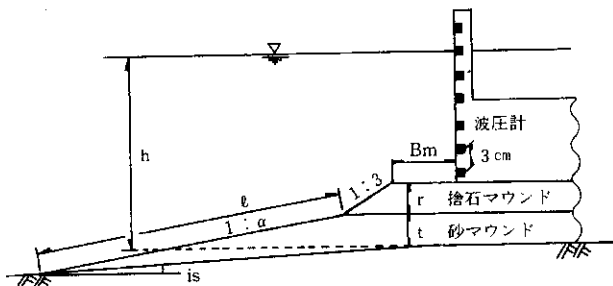


図-2 実験断面

表-1 規則波実験条件 単位(cm)

砂マウンド 勾配 厚さ (α) (t)	水深 (h)	捨石マウンド 肩幅 厚さ (Bm) (r)	実験波
0 0	20 24	14 8, 10	水深20cmのとき T=1.1, 1.3, 1.5s H=8.0, 9.0, 9.5, 10.0 10.5, 11.0cm
1/15 4	20 24	14 4, 6 4, 6, 8	
1/15 6	20 24	14 4, 6	水深24cmのとき T=1.1, 1.3, 1.5s H=10.0, 11.0, 11.5 12.0, 12.5, 13.0cm
1/30 4	20 24	14 19 24 4, 6, 8	
1/30 6	20 24	14 14 19 24	堤体天端高 +8.0 海底勾配 1/70

ンド肩幅 (B_m)、水深 (h) を変化させ、その堤体に 6 波高、3 周期の波を作用させた。

捨石マウンドの厚さは砂マウンドがない状態で 8 ~ 12 cm のものを基本断面として定め、砂マウンドがある場合にはその厚さと捨石マウンド厚の合計 (Σ r=r+t) が基本断面の捨石厚と同じとなるように各々の値を定めた。

砂マウンド勾配は、1/15および 1/30とした。α = 1/

15は、水深15~20 mのもとで、土運船からの直投方式による施工可能な最急勾配であり、苫小牧東港における土砂投入実験⁷⁾などを参考にして決定した。

3.3 波圧の測定および解析法

直立壁に働く波力は波圧計を用いて測定した。測定に使用した波圧計は、受圧面の内径がφ12 mm、定格0.2 kgf/cm²のもの(共和電業製 PGM-02KG)である。波圧計はアクリル製の直立壁の中央に水深方向に間隔3 cm(上下端は除く)に配置した。波圧計の出力は動ひずみアンプをとおしてデータレコーダに収録し、オフラインで A/D 変換を行いパソコンにより解析した。A/D 変換の際のサンプリング周波数は 80 Hz とした。測定波数は有効測定波のうち 9 波とした。

ある時刻における直立壁に働く波圧の合力は図-3に示すように階段上に近似して、次式により求められることができる。

$$P = p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots + p_m l_m \quad (1)$$

ここに、P は合力、p₁、p₂、…、p_m は各測点での波圧強度、l₁、l₂、…、l_m はそれぞれの測点が代表する作用高さである。

式(1)で得られた波圧合力の時系列データを用いて 1 波ごとの最大値を求め、9 波の平均値を波力のデータとした。

3.4 実験結果と考察

(1) 砂マウンド形状と波圧強度

図-4~9は、規則波実験から得られた砂マウンド形状別の波高と直立壁に作用する平均波圧強度の関係を示したものである。なお、平均波圧強度とは式(1)で得られた波力を単位面積当たりの平均値として表わしたもので、 \bar{p} と表示する。

図-4~6は、水深20 cm(現地換算15 m)の場合である。図中の破線は砂マウンドの無い基本断面に対して、合田式により計算した波圧合力を平均波圧強度として示

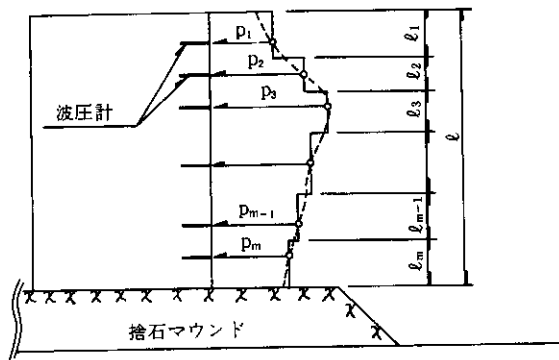


図-3 波圧合力の算定法

したものである。 $d/h=0.60$, $\Sigma r=8$ cmでは、どの周期においても、ほぼ砂マウンドのない基本断面と同程度の波圧強度を示した。これに対して、 $d/h=0.50$, $\Sigma r=10$ cmと高マウンドになると、周期1.1sでは波高の増加に伴って基本断面に対して砂マウンドがあることによる波圧の増大が全体的にみられ、周期1.3, 1.5sでは $t=6$ cm, $\alpha=1/30$ とマウンド長が一番長いときに、特に波圧の増大が顕著であった。

図-7~9は、水深24 cm (現地換算18 m) の場合である。 $d/h=0.67$, $\Sigma r=8$ cmでは砂マウンドが波圧強度に及ぼす影響はほとんどみられず、 $d/h=0.58$, $\Sigma r=10$ cmでは $t=6$ cm, $\alpha=1/30$ のみ波圧の増大が著しい。さらに、 $d/h=0.50$, $\Sigma r=12$ cmになると、高マウンドのために砂マウンドがなくても合田式による計算値の1.2倍を越える値のものがあ、衝撃的な波圧が作用する場面がみられる。砂マウンドの勾配の比較では、 $\alpha=1/15$ より $\alpha=1/30$ の方がより衝撃的な波圧が多く発生しているようである。

以上のことから、 d/h が0.6程度より小さくなると、これまで通常の混成堤でいわれているように衝撃的な波圧が生じやすくなり、砂マウンドがあることによって、より小さな波高においても衝撃碎波圧が発生しやすくなるようである。また、砂マウンドにより部分的に海底面が複断面形状を呈している場合には、ある波浪条件に対して衝撃碎波圧を生じさせるような勾配と延長をもつ砂マウンド斜面が存在するものと推察される。

(2) 捨石マウンド前肩幅と波圧強度

砂マウンド式混成堤の捨石マウンド前肩幅を変化させたときの波圧の変化を調べたものが、図-10, 11である。図は横軸に捨石マウンド前肩幅 (B_m) と直立部前面位置での原地盤水深に対する波長 (L) の比を、縦軸には平

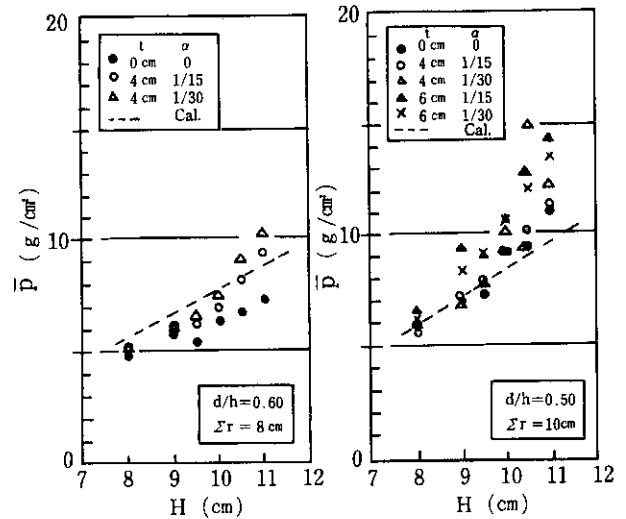


図-4 砂マウンド形状と波圧強度 ($h=20$ cm, $T=1.1$ s)

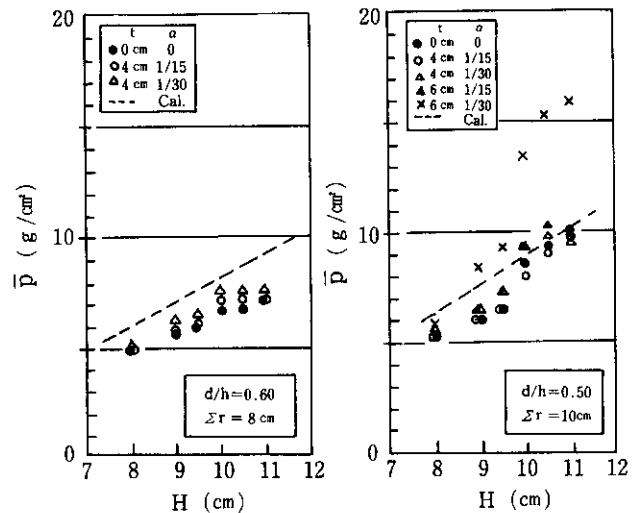


図-5 砂マウンド形状と波圧強度 ($h=20$ cm, $T=1.3$ s)

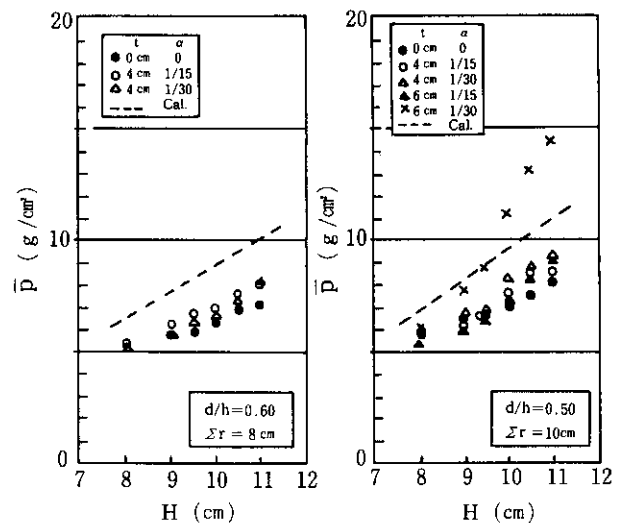


図-6 砂マウンド形状と波圧強度 ($h=20$ cm, $T=1.5$ s)

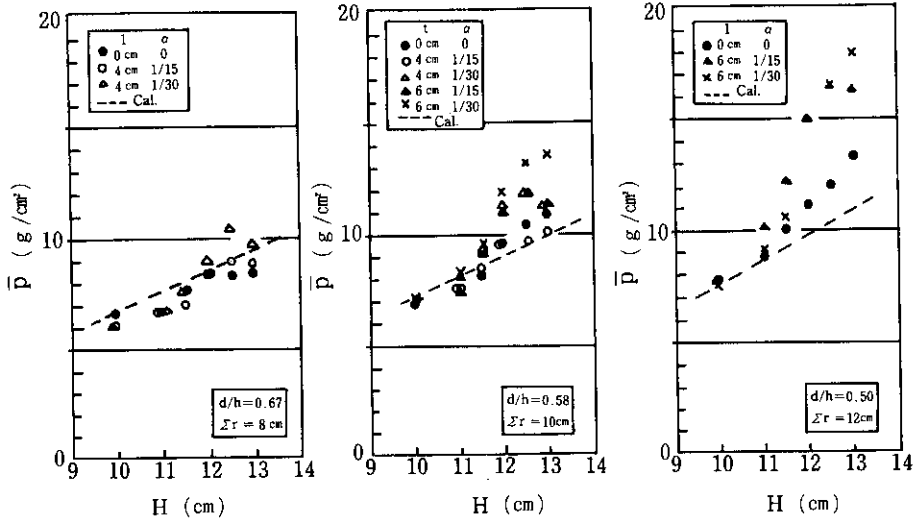


図-7 砂マウンド形状と波圧強度 ($h=24$ cm, $T=1.1$ s)

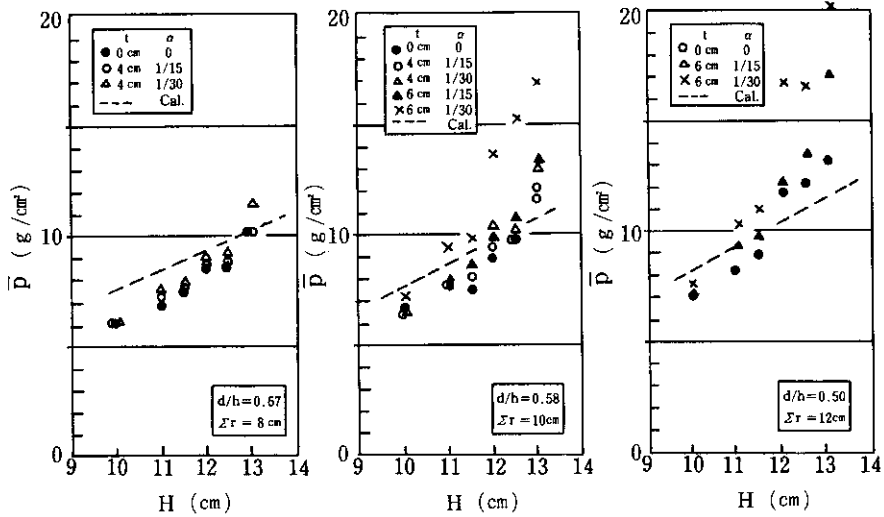


図-8 砂マウンド形状と波圧強度 ($h=24$ cm, $T=1.3$ s)

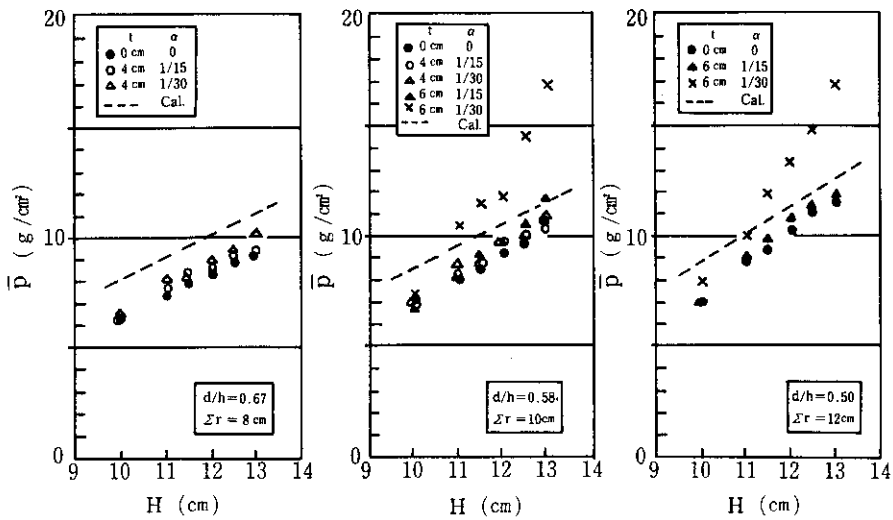


図-9 砂マウンド形状と波圧強度 ($h=24$ cm, $T=1.5$ s)

均波圧強度係数 (\bar{p}/w_0H) をプロットしたものであり、捨石肩幅以外の形状は同じである。

図-10を見ると、全般的に捨石肩幅が大きくなるほど波圧係数も大きくなっており、捨石肩幅の延長が長くなることによって碎波が助長されていることがわかる。ま

た、図-11を見ると周期1.1s, 1.3sでは捨石肩幅が大きくなるのに伴い、波圧係数がピークを示す傾向がみられる。周期1.1sでは波高13cmのときの波圧係数が波高12cmのときより小さくなっており、波高13cmの場合は斜面上で完全に碎波していることがわかる。また、周期1.5

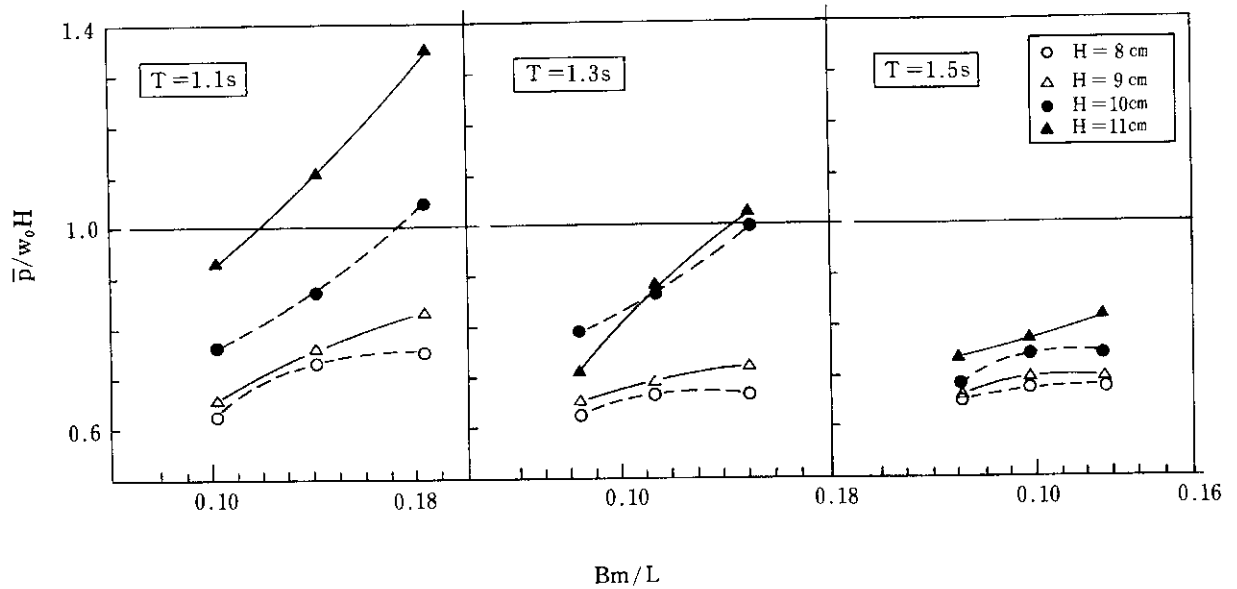


図-10 捨石マウンド肩幅と波圧係数
($h = 20\text{cm}$, $t = 4\text{cm}$, $\alpha = 1/30$)

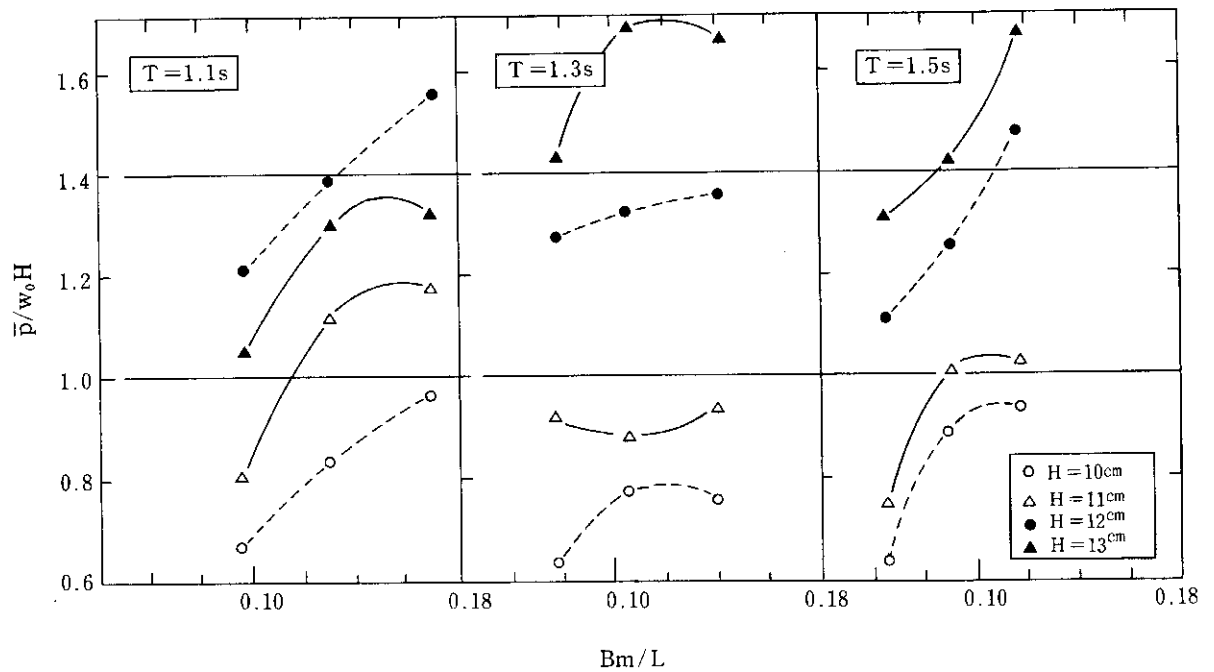


図-11 捨石マウンド肩幅と波圧係数
($h = 24\text{cm}$, $t = 6\text{cm}$, $\alpha = 1/30$)

sでは波高が大きい場合、波圧係数が増大の傾向を保っており、碎波が進行中であることを示している。

以上により、砂マウンド式混成堤においても通常の混成堤で高橋ら⁹⁾が指摘しているように、適当に捨石マウンド前肩幅が広い場合に衝撃碎波圧が生じやすくなるものと判断される。

4. 不規則波による波圧特性

4.1 実験装置および方法

規則波実験により、おおよその衝撃碎波圧発生傾向が把握できたので、次にパラメータを絞り込んで不規則波による波圧実験を行った。

実験は、一端に波面検出型吸引式不規則波造波装置を有する2次元造波水路(長さ24 m, 幅80 cm, 高さ1 m)において実施した。本造波装置は、文字どおり堤体側から造波機側へ戻ってくる反射波を吸収しながら所定の造波が行えるもので、不規則波実験や洗掘実験など長時間波を作用させておくことが必要な場合には、本装置を用いることにより安定した波を起こせるといった利点がある。図-12に実験水路を示す。縮尺は規則波実験と同じ1/75とし、水路床は海底勾配を1/100としたほかは、規則波実験とはほぼ同じである。

4.2 実験条件

実験は表-2に示すように、2種類に大別される。

実験1は規則波実験と同様に固定床で行っており、変化させた条件は砂マウンド勾配(α)、砂マウンド厚(t)および水深(h)である。捨石マウンド前肩幅 B_m は根固め方魂と被覆ブロック各2個並びを想定した最小の14 cm(現地10.5 m)とした。また、捨石マウンド厚さは経済性を勘案し、可能な限り薄い方が有利であるとの判断から、4 cm(同3 m)とした。これは、通常の捨石マウンド厚1.5 mに想定される砂マウンドへのめり込み分0.5 mと被覆ブロック厚分1.0 mを加えたものである。それらの堤体に有義波6波高、3周期の波を作用させた。

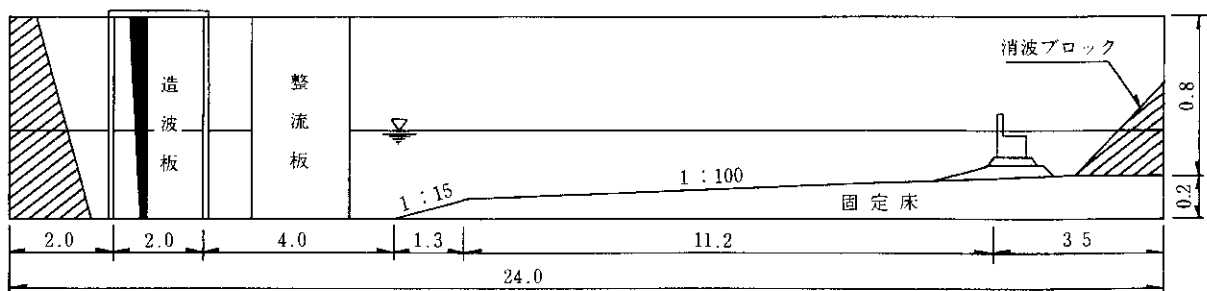
実験2は移動床で行っており、砂マウンドが洗掘された後の波圧の変化を調べたものである。移動床は固定床と同一断面で、砂マウンドおよび海底部を砂で置き換えたもので、模型砂は珪砂7号(中央粒径 $d_{50}=0.16$ mm)を使用した。これは漂砂の移動形態の相似を考え、現地砂マウンド材の中央粒径($d_{50}=1$ mm)に相当する。変化させた条件は砂マウンド勾配、洗掘防止工幅でそれぞれ4時間の起波を行い、精密連続計測式水底形状測定器で洗掘後の砂面計測を行った後、実験1と同様の波浪条件で波圧測定を行った。

4.3 波圧の測定および解析法

使用した不規則波のスペクトル系は修正プレットシュナイダー光易型で、測定時間はおおむね測定波数が200波以上になるように有義波周期 $\times 200$ (秒)とした。A/D変換の際のサンプリング周波数は100 Hzとし、解析方法は変換後の各波圧を規則波解析と同様に、配置による重みづけを行って平均同時波圧として合成し、ゼロアップクロス法により合成波圧波形個々のピーク値を求めた。次にこれらのピーク値を測定時間内の全波圧波形について

表-2 不規則波実験条件 単位(cm)

実験	砂マウンド勾配厚さ		水深	実験波	
	(α)	(t)			
1	1/15	4	20, 24	水深20cmのとき $T_{1/3}=1.1, 1.3, 1.5$ s $H_{1/3}=6.0, 6.5, 7.0, 7.5$ 8.0, 9.0 cm	
	1/15	6	20, 24		
	1/15	8	24		
	1/30	6	20, 24		
	1/40	6	20, 24		
	1/50	6	20, 24		
2	砂マウンド勾配厚さ	洗掘防止工幅	水深	捨石マウンド 肩幅 14.0 厚さ 4.0 堤体天端高 +8.0 海底勾配 1/100	
	(α)	(Bs)			
	1/15	6			4.0
	1/15	6			13.5
	1/50	6	4.0	24	



単位 (m)

図-12 不規則波実験水路

求め、大きい方から200波圧データをとりだした。整理の方法は、波浪の統計と同様の方法で200波圧中の最大値を最大平均同時波圧、大きい方から数えて全体の1/10の数の測定値の平均値を1/10最大同時平均波圧、同じく1/3の数の平均値を1/3最大同時平均波圧と定義し、それぞれ \bar{p}_{max} , $\bar{p}_{1/10}$, $\bar{p}_{1/3}$ と表す。

ここで、波圧データ数を上位200波圧とした理由は、入射波1波1波とそれによる作用波力の1対1の対応づけを行っていないため、波作用後の堤前部での二次的な水面振動による波圧データを除去することを意図したものである。

4.4 実験結果と考察

(1) 波圧強度に及ぼす砂マウンド厚の影響

図-13は、 $\alpha = 1/15$, $h=24$ cm, $T_{1/3}=1.1$ s を同条件とし、砂マウンド厚を $t=4, 6, 8$ cm と変化させた場合の有義波高と平均波圧強度の関係をプロットしたものである。各ケースとも波高が大きくなるにつれて $\bar{p}_{1/3}$ と $\bar{p}_{1/10}$ もほぼ比例して増加している。しかしながら、 \bar{p}_{max} は明らかに砂マウンド厚の増加に伴って衝撃的な波圧を発生させる波高の範囲が拡大していることがわかる。これは、捨石厚は全ケースとも同じであることから、水深

と捨石マウンド天端高 (d/h) の影響および砂マウンド斜面長の違いによる影響が関係しているものと考えられる。

(2) 波圧強度に及ぼす砂マウンド勾配の影響

$t=6$ cm, $h=24$ cm のときに砂マウンド勾配を $\alpha = 1/15, 1/30, 1/50$ の3とおりに変化させた場合の波圧強度係数の変化をみたものが図-14である。全体的な傾向としては、一番急な勾配をもつ $\alpha = 1/15$ のときに同係数が最も大きくなっている場合が多いが、周期が長くなると緩勾配のときに同係数が大きくなるものも数ケース存在する。これは、波浪条件によっては砂マウンド勾配がやや緩く適当な斜面長をもつ場合の方が急勾配の砂マウンド堤よりも衝撃碎波圧が生じやすくなる可能性があることを示していると考えられ、規則波実験結果と一致する。

(3) 砂マウンド洗掘前後の波圧強度の変化

これまで実施してきた波圧実験はすべて固定床で行ってきており、換言すれば、砂マウンド堤の施工直後に種々の波浪が作用したときの安定問題を検討しているということになる。長期的な見地から砂マウンド堤の安定問題を論じる場合、砂マウンド自体の洗掘に対する安定性は最も重要な課題(別途検討中)であるが、あわせて砂マ

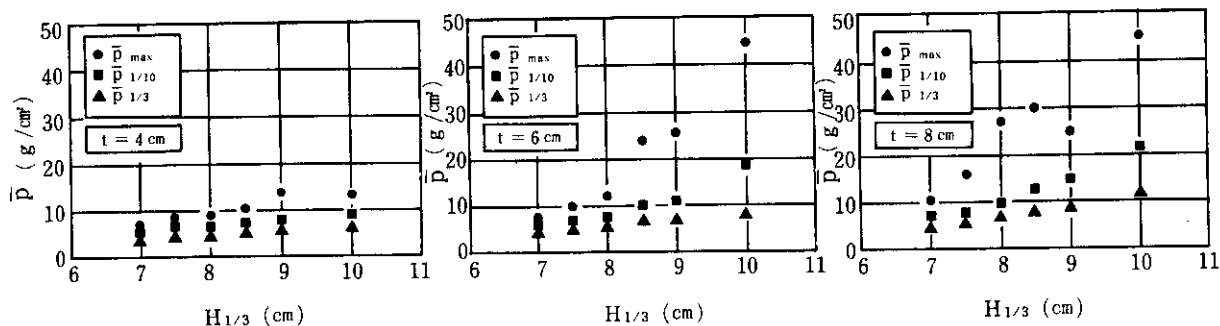


図-13 砂マウンド厚と波圧強度
($h=24$ cm, $\alpha=1/15$, $T_{1/3}=1.1$ s)

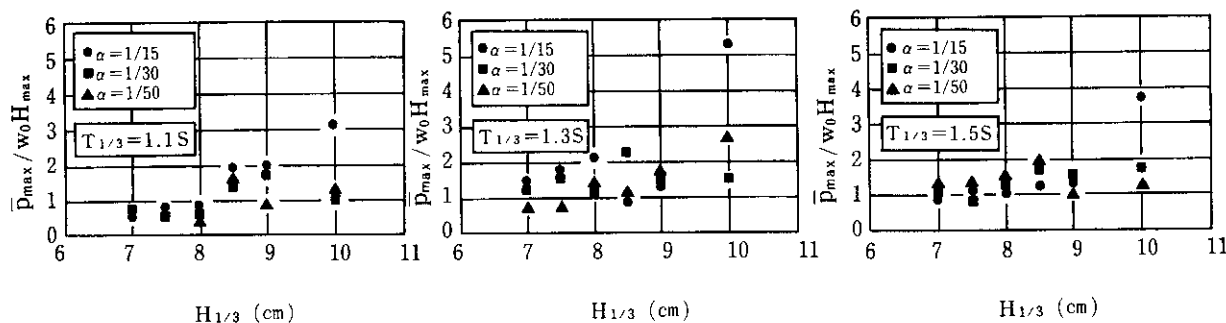


図-14 砂マウンド勾配と波圧強度
($h=24$ cm, $t=6$ cm)

ウンド上の洗掘防止工前面などが掘られて部分的に砂マウンド形状が変化した場合の波圧に及ぼす影響も検討しておく必要があるものと考えられる。

図-15の断面図は、 $h=24\text{ cm}$ 、 $t=6\text{ cm}$ は同一で前掲の表-2に示す3条件の断面において、各ケース $H_{1/3}=8.5\text{ cm}$ 、 $T_{1/3}=1.3\text{ s}$ の波を4時間作用させた場合の洗掘前後の状況を比較したものである。洗掘状況では $\alpha=1/15$ の方が $1/50$ の場合よりも洗掘量は多く、またこの場合、洗掘防止工幅の短い (a) 図が洗掘防止工前面の掘

れ方が大きい。

これらの洗掘前後の波圧強度を比較すると、 $\bar{p}_{1/3}$ についてはほとんど変化がなかった。また、 \bar{p}_{\max} は洗掘前の方が大きな値を示す傾向がみられた。このような傾向は他の周期の場合もほぼ同様であったが、不規則波のため全般に洗掘量が少ないこと、洗掘幅も $1/4$ 波長程度であることなどから波の変形に与える影響は少ないものと推察される。

(4) 衝撃砕波圧発生の可能性の推定

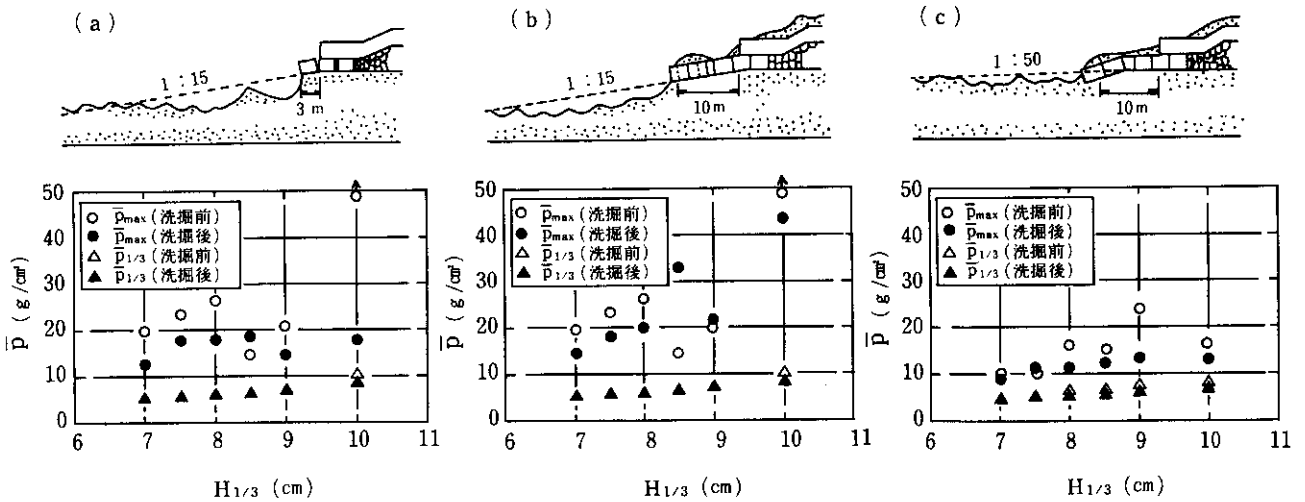


図-15 砂マウンド洗掘前後の波圧強度の変化
($h=24\text{ cm}$ 、 $t=6\text{ cm}$ 、 $T_{1/3}=1.3\text{ S}$)

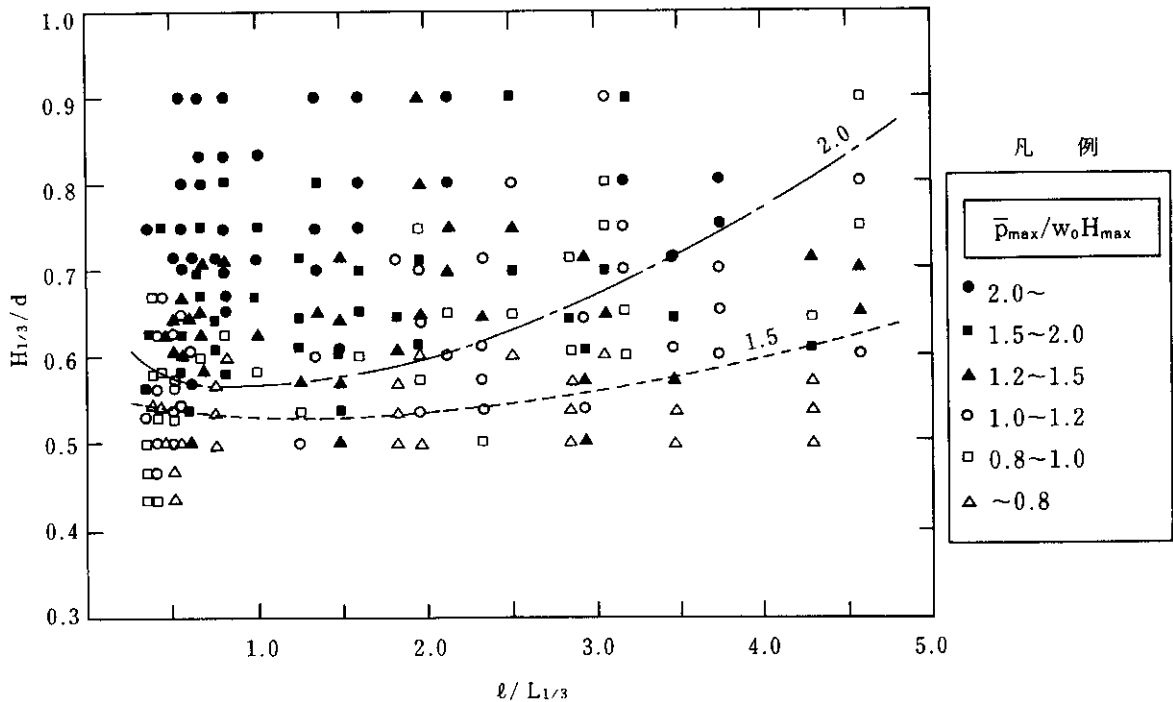


図-16 衝撃砕波圧発生の可能性

これまでの実験結果から、砂マウンド勾配 $\alpha = 1/15 \sim 1/50$ の範囲において、衝撃碎波圧が生じるのは砂マウンド斜面上で碎波し始め、空気を巻きみつつ波が直立壁に衝突する場合である。このような現象を引起こす主な要因を整理すると、①波高が大きい場合、②捨石天端高が高い場合、③直立壁直前で碎波するために必要な砂マウンド勾配と斜面長を有している場合、④直立壁直前で碎波することに関係する波の周期（波長）があげられる。

そこで、衝撃碎波圧発生の可能性を推定する図表として図-16を作成した。これは縦軸に有義波高 ($H_{1/3}$) と捨石マウンド天端水深 (d) の比、横軸に砂マウンド斜面長 (l) と有義波長 ($L_{1/3}$) の比という2つの無次元量を用いて、最大同時平均波圧強度係数 ($\bar{p}_{\max}/w_0 H_{\max}$) を適当なランクに分けてプロットしたものである。図中の破線および一点鎖線は、同係数がそれぞれ1.5および2.0以上となる境界を示しており、これより上側領域の条件では衝撃碎波圧発生の可能性が高いものと推定される。

今回の一連の実験においては、すべての波浪、構造条件を満たしているものではないので、実際の適用に当たってはひとつの目安として捉え、詳細には現地の条件で水理模型実験を行い確認することが望ましい。

5. ま と め

今回の砂マウンド式混成堤に関する一連の波圧実験結果から得られた結果をまとめると、次のとおりである。

- (1) 砂マウンドが小規模で厚さが薄く斜面長が短い場合には、直立壁に作用する波圧は砂マウンドを捨石マウンドの一部とみなして計算することが可能である。
- (2) 砂マウンド式混成堤においても、捨石マウンド前肩幅を広げると通常の肩幅（根固め方塊・被覆ブロック各2個並び）の場合に比べて衝撃碎波圧を生じやすくなるので、捨石マウンド肩幅はできる限り小さくする方がよい。
- (3) 砂マウンド勾配と衝撃碎波圧発生の関係は勾配の緩急だけでなく、種々の波浪条件に対して衝撃碎波圧発生の危険性が高い適当な砂マウンド勾配と斜面長が存在するようである。
- (4) 砂マウンド洗掘前後の波圧特性について、検討を行った。今回の実験結果からは、洗掘前後の波圧強度について大きな差異はみられなかった。
- (5) 有義波高 ($H_{1/3}$) と捨石マウンド天端水深 (d) の比および砂マウンド斜面長 (l) と有義波周期に対する波長 ($L_{1/3}$) の比の2つの無次元量を用いて、図-16より衝撃碎波圧発生のおおむね推定できる。

6. あとがき

本報告では、砂マウンド式混成堤の実用化に向けて、いくつかの課題の中からその波圧特性について検討を行った。このような特性は、岩盤地帯と同様の形状を有しているときにも当てはまるものと推察され、設計においては水理模型実験などで確認することが望ましい。

衝撃碎波圧が発生する際の波の変形過程を観察すると先行する波が堤体によって重複的に反射し、引き波の谷の程度がより大きくなる時に強大な波圧を引起こす壁のように切りたった巻き波が生じやすい。このため、反射波をできるだけ抑えることによって衝撃碎波圧を発生しづらくできるものと推察される。このようなことから、今後、洗掘防止および衝撃碎波圧抑止の両面から、低反射型堤体を用いた場合の効果について検討を進めていく予定である。

なお、本報告における規則波実験は、昭和62年度に当時港湾研究室主任研究員の牛嶋龍一郎氏が主として担当したものである。また、昭和63年度の不規則波圧データ解析に際しては、当研究室研究員遠藤仁彦技官の協力を得た。さらに、当研究所の時川和夫水工部長には終始貴重な御助言をいただいた。ここに、記して上記各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、上巻、pp.119, 1989.
- 2) 谷本勝利、高橋重雄、北谷高雄：混成防波堤のマウンド形状による衝撃碎波力の発生と対策について、港研報告、Vol.20, No.2, pp.3~39, 1981.
- 3) 高橋重雄、谷本勝利、鈴木諭司：直立壁に作用する衝撃波圧の発生機構に関する一考察、港研報告、Vol.22, No.4, pp.3~31, 1983.
- 4) 前出2).
- 5) 谷本勝利、高橋重雄、明瀬一行：防波堤直立部に働く不規則波力に関する実験的研究、港研報告、Vol.23, No.3, pp.47~99, 1984.
- 6) 合田良美、鈴木康正、岸良安治、菊池 治：不規則波実験における入反射分離推定法、港研資料、No.248, 1976.
- 7) 梅沢信敏、杉本義昭、宮地陽輔：苫小牧東港砂マウンド式混成堤実証実験について、第31回北海道開発局技術研究発表会論文集、pp.1095~1100, 1986.
- 8) 前出3).