

上部パイラー形式防波堤における波圧特性について

TYPICAL WAVE PRESSURE DISTRIBUTION OF SETBACK PARAPET BREAKWATER CAISSON WITH CYLINDRICAL PILER

豊島照雄¹・榊俊博²・田宮厚実¹・河崎尚弘¹・森本 徹¹・中嶋道雄³

Teruo TOYOSHIMA, Toshihiro SAKAKI, Atsumi TAMIYA, Takahiro KAWASAKI, Toru MORIMOTO
and Michio NAKAJIMA

¹ 運輸省 第三港湾建設局神戸調査設計事務所(〒650-0024 兵庫県神戸市中央区海岸通 29 番地)

² 正会員 運輸省 第三港湾建設局神戸調査設計事務所(〒650-0024 兵庫県神戸市中央区海岸通 29 番地)

³ ニシキコンサルタント株式会社(〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 5 番地 1)

Breakwater caissons with armor blocks are built at so many places. It is very simple structure that it has armor blocks in front of caisson. It needs a lot of blocks where it built deep sea, because armor blocks setted by gentle slope. Then it needs high-cost.

Setback parapet breakwater caisson with cylindrical piler is one of this type caisson, but top of armor block is lower and parapet was setted back from caisson face. The parapet is pressed by impact breaking wave pressure because it is not covered by armor blocks. Then cylindrical pilers gain wave force for parapet.

This paper reports typical wave pressure distribution of this type caisson in case of instability.

keywords: Breakwater caisson, setback parapet, cylindrical piler, wave pressure distribution

1. はじめに

運輸省第三港湾建設局では、図-1 に示す上部パイラー形式防波堤について和歌山県日高港を設置モデルとして開発を進めている。

上部パイラー形式防波堤は、消波ブロック被覆堤の一種であり、従来形式の消波ブロック被覆堤に比べ、消波ブロックの天端を下げ、パラペットを後部に設置することにより、消波ブロックの使用量を減少するとともに、同時に堤体に作用する波力を減少させ堤体幅を低減させる特徴を持ち、経済性を追求する形式の防波堤である。

消波ブロックの天端を下げることにより、後部パラペット部分に衝撃的な波力が発生する可能性があるが、遊水部に円柱状のパイラーを設け、後部パラペットにかかる波力を減少させる構造を併せ持つ。

この上部パイラー形式の防波堤について、前面直立部に角切部がある type-1 と、角切部がない type-2 の2つの堤体形状について、堤体に作用する波圧・波力実験を行い、この形式の防波堤に作用する波圧特性を解明したものである。

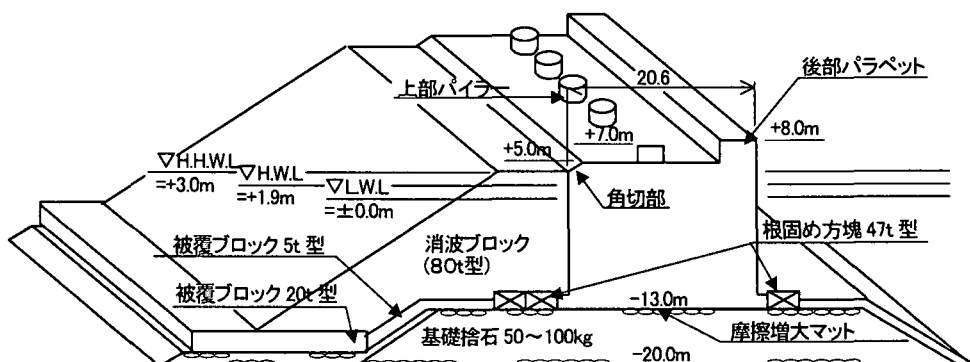


図-1 上部パイラー形式防波堤の形状名称と現地条件

2. 水理模型実験

(1) 実験条件

a) 実験模型

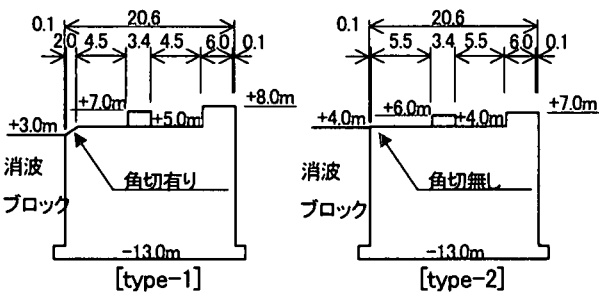
実験は図-2 に示す 2 種類の堤体模型を用いて実験を行った。

縮尺は、フルードのひずみ無しの相似則を用いて 1/70 である。

各 type は以下のような特徴を持つ。

type-1: 前面直立部と遊水部の境界に 45 度の角切部を設け、さらに消波工の天端を下げるタイプである。従って、消波工天端は+3.0m となり、type-2 よりも 1.0m 天端高が下がっている。そのうえ、角切部に当たる波圧により鉛直下向きの波力を期待するものである。

type-2 : type-1 に比べて角切部の無いタイプである。消波工天端は+4.0m である。type-1 に比べて角切部がないため、波が後部パラペットを越波しない分だけ伝達率が低くなることを想定して実験を行った。



数値は全て現地換算値(m)

図-2 堤体形状図

b) 実験水路

以下の図-3 に示す全長=64.0m、幅=1.5m の 2 次元造波水路を用いて実験を行った。

造波装置はピストン型の造波板を持つ。

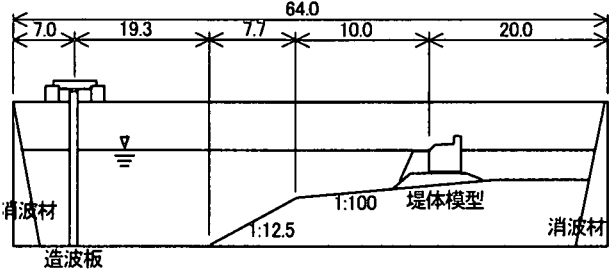


図-3 実験水路断面図

c) 使用波浪

波圧・波力実験での使用波浪は、現地の最大波高を想定した規則波を用いた。

堤体位置での入射波高は以下の表-1 の値を使用した。

表-1 波浪条件一覧表

潮位(m)	波高(m)	周期(s)	備考
HHWL=+3.0	14.03	14.9	規則波
H.W.L=+1.9	13.53	14.9	規則波
L.W.L=±0.0	12.38	14.9	規則波

値は全て現地換算値

d) 計測方法

type-1,type-2 それぞれの実験堤体表-1 の規則波を 1 回当たり 5 波作用させて、3 回計測を行った。

波力実験 堤体全体に作用する水平・鉛直波力を分力計にて計測した。その際データのサンプリング間隔は 1,000Hz にて収集を行った。

波圧実験 各部に作用する波圧を波圧計(合計 16 点)にて計測した。サンプリング間隔は波力実験と同様に 1,000Hz にて行った。

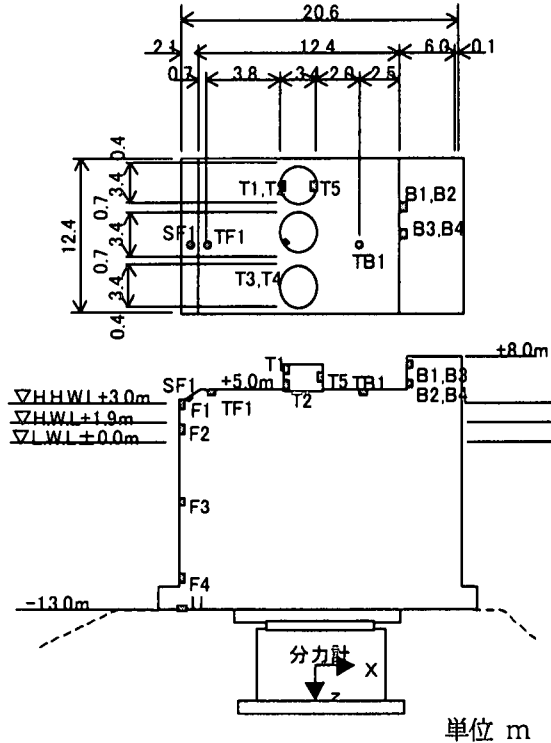


図-4 type-1 計測機器取付位置図

同様の機能とする場合には type-2 に比べて 1m、後部パラペット高を上げなければならないことが分かった。その結果、 $H_{1/3}=9.6\text{m}$ 、 $T_{1/3}=14.5\text{s}$ の設計対象波浪での伝達率は、目標伝達率の $K_t=0.2$ を満足した。

また、反射率では、上部パイラー等の形状に左右されず、 $H_{1/3}=2.6\text{m}$ 、 $T_{1/3}=7.9\text{s}$ の消波対象波浪で、目標反射率の $K_r=0.4$ を満足した。

(2) 各部にかかる波圧

各波圧計で計測された波圧のうち、各 1 波当たり最大値の 15 波で平均した値を以下の図に示す。なお、値は無次元化している。

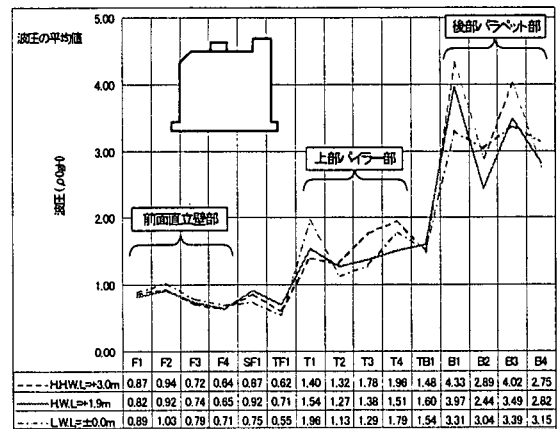


図-6 各部にかかる波圧の平均値(type-1)

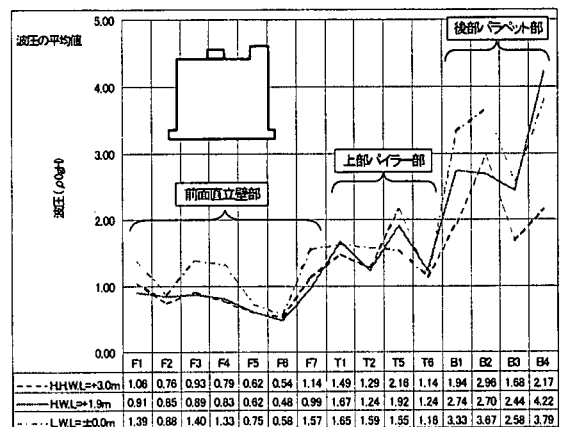


図-7 各部にかかる波圧の平均値(type-2)

消波ブロックで覆われた前面直立部には、 $1.0\rho gH$ 程度の静水圧分程度の波圧が作用している。また、消波ブロックの効果により衝撃碎波力が作用していないことが確認できる。

しかし、上部パイラー部には $2.0\rho gH$ 程度、後部パラペット部には $4.0\rho gH$ 程度の波圧が作用していることとなる。

このことは、ケーソン天端を完全に覆う高さまで消波

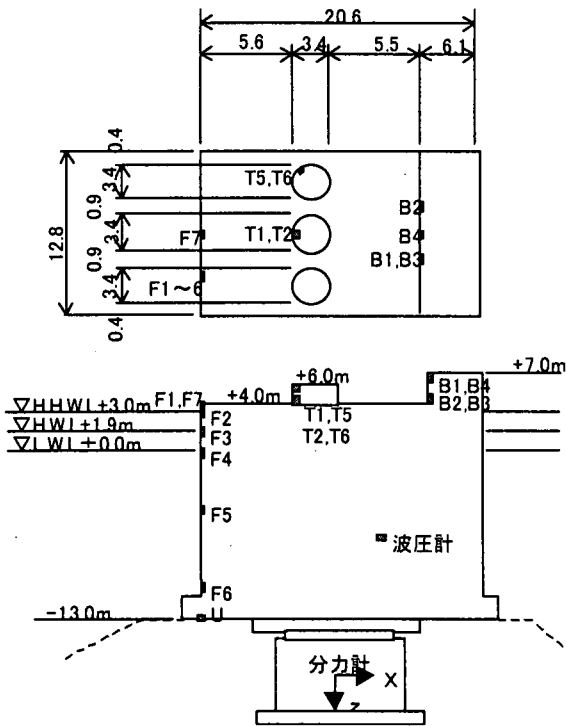


図-5 type-2 計測機器取付位置図

堤体の安定を知る場合には、堤体全体にかかる水平力、鉛直力を同時に考慮する必要がある。その際、水平力・鉛直力を 1 つの指標により評価するため、滑動限界重量を設定した。滑動限界重量は、以下の式によって算出を行った。

$$w' = (P/\mu) - Pu$$

w' : 滑動限界重量(kN/m)

P : 堤体全体にかかる全水平力(kN/m)

Pu : 堤体全体にかかる全鉛直力(kN/m)

μ : 堤体とマウンド面での摩擦係数

摩擦係数は、摩擦増大マットを設置することを想定しているため $\mu=0.7$ の値を使用した。

堤体の安定は、滑動限界重量が最大となる位相での波圧分布を用いた。

3. 解析結果

(1) 機能特性

波圧・波力の実験を行う前に、機能実験として不規則波により各実験堤体の伝達率、反射率の測定を行った。その結果、type-1 の場合では、前面直立壁上部の角切部により揚圧力を押さえ込む鉛直下向き力を考慮できるが、越波量が増加することにより、伝達率が悪化するので、

ブロックを設置する従来形式では、消波工を波が遡上する際に碎波し始めた波が、堤体背後に越波していたが、消波ブロック天端を低くしたことにより、上部パイラー、後部パラペットに作用しているためと考えられる。

しかし、 $2.0\sim4.0\rho_0gH$ 程度の波圧であれば部材設計で対処できる値であるが、この値が堤体の安定性にどの程度影響するのかが問題である。

(3) 堤体安定時の波圧分布

a) 波の位相差

重複波による波力では、波の進行に応じて次第に波力が増し波頂高で最大となり、次第に減じてくる。この性質を利用して、堤体前面の直立部に波力が作用し、その後、上部パイラーや後部パラペットに作用する時には、堤体前面にかかる波力は減じていると考えられる。また、堤体上の水塊重量は、下向きの鉛直力となり、堤体の安定に寄与する。しかも、波エネルギーは静水面付近が最大であることから、静水面付近で一度に波力が作用しない構造であれば波力は分散すると考えられる。このような波力の位相差が、この堤体形状では発生するものと思われる。

また、波圧実験の結果から、この堤体には上部パイラーと後部パラペット部に衝撃碎波圧が作用していることを確認しているため、位相差の程度を確認することとする。

今回の実験では、滑動限界重量が最大となる瞬間が堤体にとって最も不安定であると考え、滑動限界重量の時系列から最大時の波圧分布を調べた。

その結果、滑動限界重量が最大時の波圧分布状況は実験各波、各回で一樣とはならず、特に潮位が高いほど数種類の位相で発生する確率が高くなった。

以下の図-8.9 に、潮位が H.H.W.L=+3.0m 時での波力時系列図の一例を示す。

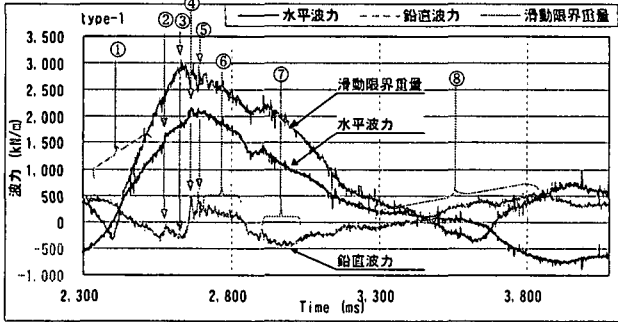


図-8 type-1 の波圧の時系列図例

ここで、各特徴的な位相を図-8.9 に示すように①から⑧に分けた。各位相での堤体にかかる波の状況をまとめると、以下の表-2 のようになる。

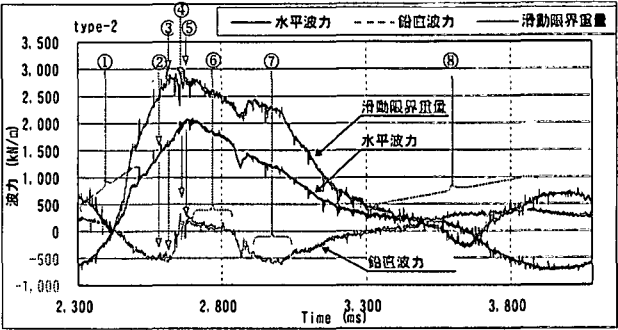


図-9 type-2 の波圧の時系列図例

表-2 各位相での波の作用状況一覧表

位相	波の状況図	説明
②		水平力が増加して、まだあまり堤体上に波が乗っていない、パイラーに作用する波力があまり増加していないとき。
③		まだパラペットの波力があまり増加していない状況で、揚圧力が増加しているとき。
④		後部パラペットに波が当たり水平力、鉛直力ともに増加する瞬間。
⑤		波が流れ去っていく過程で後部パラペットに当たった後、じょう乱の中で鉛直力が減少した一瞬。

堤体安定上最も危険となる H.H.W.L での波圧分布は、両 type とも以下の表-3.4 に示す 2 位相の波圧分布に分かれた。

表-3 type-1 の滑動限界重量発生位相一覧表

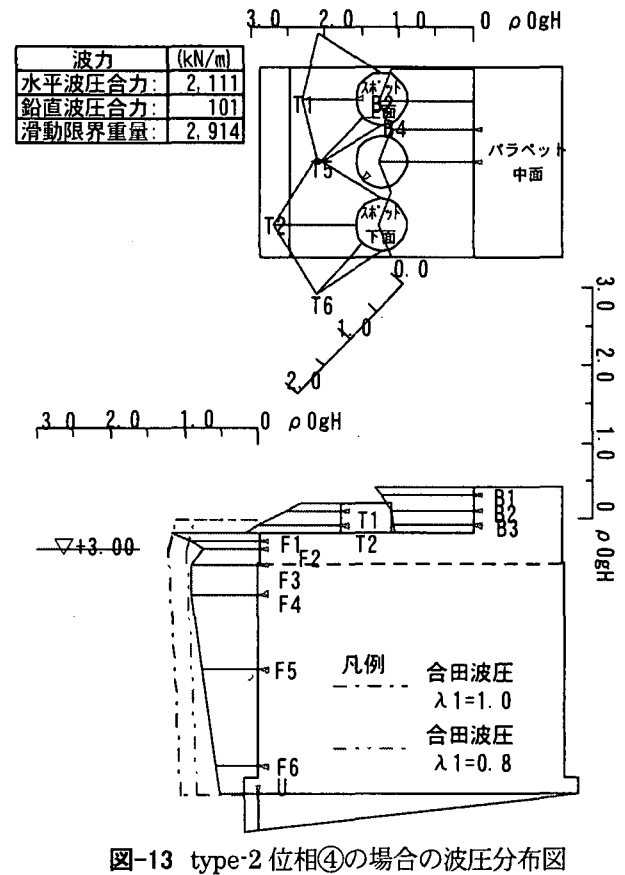
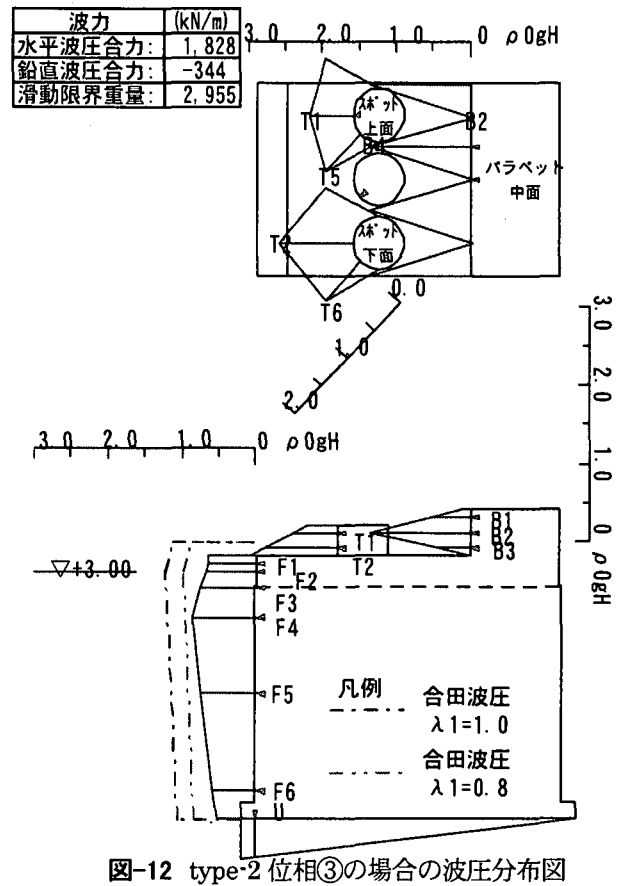
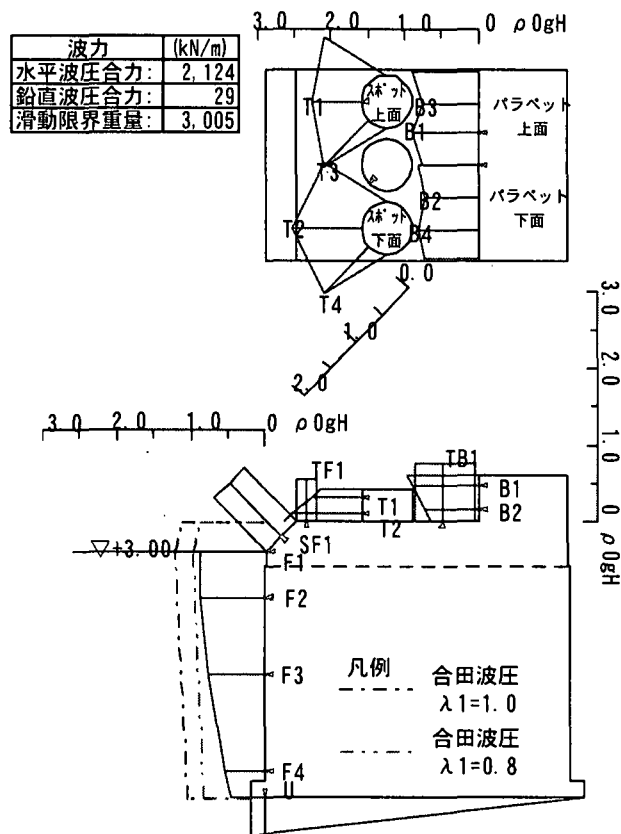
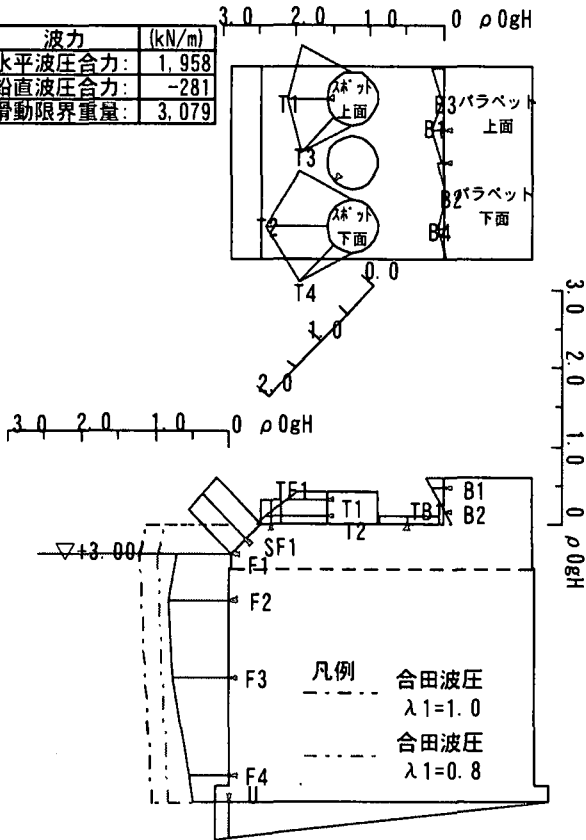
ケース名		type-1															合計
実験回数		1回目					2回目					3回目					
波数		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
位相	③	○	○								○						3
	④																0
	⑤		○		○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	10
ノイズ等					○				○								2

表-4 type-1 の滑動限界重量発生位相一覧表

type名		type-2															合計
実験回数	波数	1回目					2回目					3回目					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
位相																	
	③	○					○	○	○	○				○			6
	④			○	○	○					○	○	○		○	○	8
	⑤																0
ノイズ等		○															1

これらの位相での同時波圧分布を平均したものを以下に示す。図中には、実験で用いた入射波高で計算された、消波ブロックで被覆された合田波圧の計算値のうち、

$\lambda_1=1.0$ の値と、 $\lambda_1=0.8$ の値も示した。



位相③の場合、図-12 の様に type-2 の B2 の部分で波圧の多少大きい場合があるが、後部パラペットに波が作用していないため、水平力が大きくなっていない。また、堤体下面に揚圧力が作用しているため、鉛直力が位相④⑤に比べて小さく、鉛直波力は負となっている。

位相④⑤の場合、図-11、-13 に示すとおり、後部パラペットの波圧が大きく、水平力は大きい。堤体上の水塊重量により鉛直波力も大きい波圧分布となった。

直立壁前面ではどちらの位相においても、消波ブロック被覆堤に作用する合田波圧式で $\lambda_1=0.8$ とした場合と同程度の波圧合力が作用することが分かった。

パイラーに作用する波圧については、 $0.4 \sim 0.8 \rho_0 g H$ 程度で、平均最大波圧約 $2.0 \rho_0 g H$ の半分程度であることから、最大波圧が作用する位相と滑動限界重量が最大になる位相は、位相差が発生していることが分かる。

後部パラペットについても、パイラーと同様に、 $0.3 \sim 1.0 \rho_0 g H$ 程度で、平均最大波圧約 $4.0 \rho_0 g H$ の約 $1/4$ 程度であることから、同じく位相差が発生していることが分かる。

また、滑動限界重量は、どの位相においても $3,000 \text{ kN/m}$ 程度となり、これらの複数の位相で堤体が不安定になっている状態と考える。

4. 結論

- (1) 前面直立壁、上部スポット、後部パラペットにかかる最大波圧はそれぞれ $1.0 \rho_0 g H$ 、 $2.0 \rho_0 g H$ 、 $4.0 \rho_0 g H$ 程度であるがそれぞれの最大値が発生する位相は、堤体全体が滑動しようとする位相とは同時性が無い。

- (2) 堤体が滑動をしようとする（不安定になる）滑動限界重量が最大の時は、1つの位相で発生せず複数の位相で発生し、

①堤体前面直立壁から上部パラペットに当たった瞬間で、水平波力は大きくないが、鉛直波力は鉛直上向きの時。

②後部パラペットに波が作用した瞬間で、水平波力は増加するが、同時に堤体上部の水塊重量により、鉛直波力は下向きに発生している瞬間。

の2位相となる。

5. おわりに

これらの波圧計測や波力計測では、計測値が瞬間的に大きく変化するものが多く、また堤体の条件により値が大きく変化する場合が多い。したがって、これらの条件を詳細に変化させながら、より多数の実験結果から統計立てた値を、今後の設計に使用することが望ましいと考えられる。

また、マウンド形状などを変更した実験を運輸省第三港湾建設局では、現在実験中である。

参考文献

- 1) 櫻井定三、菅谷幹夫、榊俊博、遠山憲二：上部パイラー形式防波堤水理模型実験、土木学会第53回年次学術講演会（平成10年10月）