

後退型パラペットを有する護岸に作用する 衝撃砕波力の特徴

CHARACTERISTICS OF IMPACT WAVE FORCE ACTING ON THE CAISSON WITH A REAR PARAPET

福山貴子¹・池谷毅²・稲垣聡¹・星秀樹³・室田哲平⁴・佐藤宏幸⁵
Takako FUKUYAMA, Tsuyoshi IKEYA, Satoshi INAGAKI,
Hideki HOSHI, Teppei MUROTA and Hiroyuki SATO

¹正会員 工修 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2丁目19-1)

²フェロー会員 工博 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2丁目19-1)

³正会員 工修 北海道電力株式会社 (〒060-8677 北海道札幌市中央区大通東1丁目2番地)

⁴正会員 北海道電力株式会社 (〒060-8677 北海道札幌市中央区大通東1丁目2番地)

⁵正会員 北電総合設計株式会社 (〒060-0031 北海道札幌市中央区北1条東3丁目1-1)

A caisson with a rear parapet is advantageous because the wave force acts on the caisson and the parapet having a time lag, so that the total wave force becomes smaller. However, the wave force acting on the parapet was not well investigated, especially the impact wave force was not clear when the caisson locates in the surf zone. We carried out hydraulic model experiments to investigate the characteristics of the impact wave force on the parapet.

The experiments showed that the shape of the wave at the front of caisson varies wave force widely and the water splashed from the edge of the caisson makes large force on the parapet. Though the observed wave force changed when the tests repeated, the largest wave pressure acting on the parapet was about $3\rho gH_{\max}$ and it acted evenly from top to bottom of the parapet.

Key Words : *Impact wave force, caisson with a rear parapet, surf zone, hydraulic model experiment*

1. はじめに

後退型パラペットを有する護岸や防波堤では、ケーソン部分とパラペット部分に波力が作用する時間にずれがあり、波力がピークとなるタイミングに位相差ができる。このため、全体的に見ると作用する波力のピーク値が小さくなり、護岸や防波堤の断面を小さくすることができ、コスト面などで有利である。

後退型パラペットを有する護岸や防波堤に作用する波力に関しては、高橋ら¹⁾や田崎ら²⁾、岡部ら³⁾など、多数の研究がされているものの、パラペット部分に作用する波力に関する詳細な研究例は少なく、その特性は必ずしも十分明らかにはされていない。特に、砕波帯内に防波堤や護岸が設置される場合には、パラペットには衝撃的な波力が作用すると考えられるため、その作用波圧の特性を把握する必要がある。さらに、衝撃的な波力が作用する場合には、変動するばらつきを含む特性を明らかにすることが求められる。

そこで本研究では、砕波帯内に設置した、後退型パラペットを有する護岸に作用する衝撃波圧の特性を明らかにすることを目的として、水理模型実験を実施した。

2. 水理実験概要

(1) 実験施設および実験模型

水理模型実験は、図-1 に示す一方向不規則波を造波できる二次元造波水路(幅 2.0m, 深さ 2.0m, 長さ 62.0m)を用いて行なった。対象とした護岸の形状を図-2 に示す。後退型パラペットの形状は、1:0.3 の傾斜の付いた壁面の上部に、曲面の付いた波返しを擁するものである。

本実験では、ケーソン全体に作用する波力と、パラペット部分に作用する波力を同時に計測するために、図-3 に示すようにケーソン模型を水路横断方向に3分割して作製した。全体波力用ケーソンは、下方から水中6分力計により支持し、6分力を計測

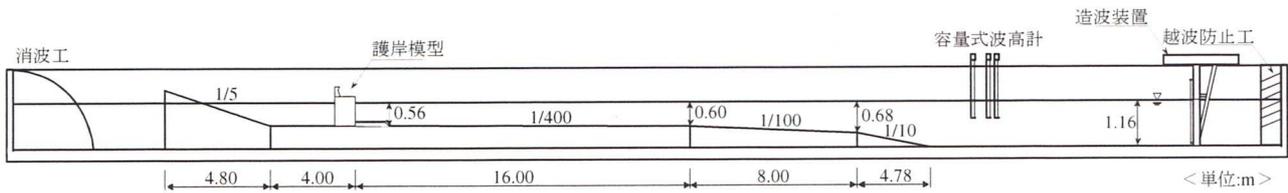


図-1 水理実験装置の概要

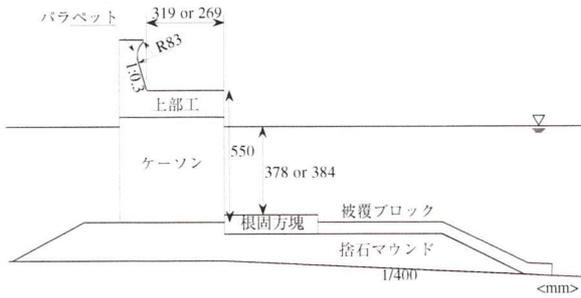


図-2 対象とする護岸形状

すると同時に、ケーソン前面に直線上に設置した10箇所の小型波圧計により作用波圧を計測した。パラベット波力計測用ケーソンは、パラベット部分を高さ方向に3分割し、それぞれに作用する波力を水中3分力計で計測した。なお、パラベットの波力は、計測機器の設置の都合上、図-3の平面図に示すように、横断方向にもずれた位置での計測となっている。

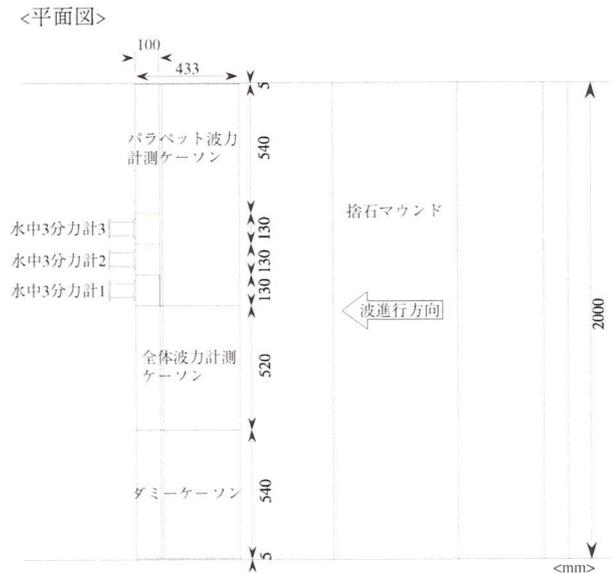
なお、ケーソンの天端の幅がパラベットに作用する波力に与える影響を見るために、図-2に示すように天端幅を2ケース変えた計測を行なった。

(2) 実験波条件

水理実験で使用した波浪条件を表-1に示す。実験波は一方向不規則波である。wave1, wave2ともに、護岸設置水深では砕波帯となる波条件である。造波時間は30分間とした。これは、有義波周期で700波~900波程度に相当する。

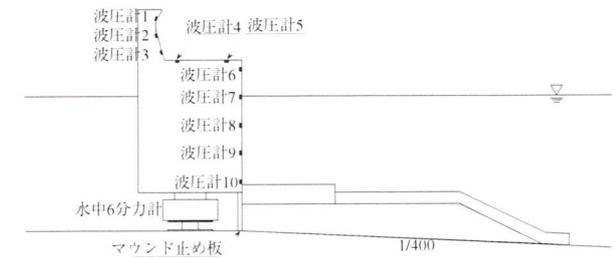
(3) 実験方法

実験手順としては、まず、サンプリングレート20Hzで30分間造波して波圧・波力の計測を行ない、パラベット部分に衝撃的な波力が作用するタイミングを抽出した。再度造波してパラベット部分に衝撃的な波力が作用するタイミングの前後10秒間程度を、同期をとった画像とともに500Hzでデータ収録を行なった。ここで、500Hzでの収録は、衝撃波力のばらつきを評価するために、同じ波条件で5回ずつ繰り返して行なった。



<断面図>

全体波力計測ケーソン



パラベット波力計測ケーソン

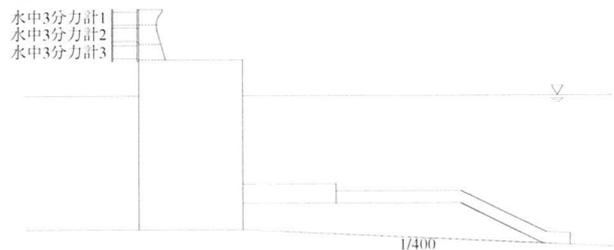


図-3 護岸模型形状

表-1 波浪条件

	wave1	wave2
護岸設置水深	38.4cm	37.8cm
有義波高	24.7cm	27.7cm
有義波周期	2.01s	2.37s

3. 実験結果

(1) ケーソンおよびパラペットへの作用波力

図-4 に、計測時間中で、波圧の積分値による護岸全体に作用する水平波力が最大となった波の時系列を、水中6分力計による水平波力と、波圧積分波力について示す。また、図-5 には、図-4 に示す1波が作用する中で、ケーソン前面に作用する波力が最大となるタイミングと、パラペットに作用する水平波力が最大となるタイミングの波圧分布を示す。図-6 および図-7 には、計測時間中で、パラペットに作用する水平波力が最大となった波の時系列と波圧分布を示す。なお、波圧計のデータは、スパイクノイズを含むデータであったので、100Hz のローパスフィルタで処理をしたものを使用した。また、パラペットに作用する波圧は、水中3分力計による水平波力を、投影面積で割って波圧とした値を用いている。なお、波圧計による波圧を100Hz のローパスフィルタで処理した結果と、水中3分力計による波圧がほぼ同程度であることは別途確認している。波圧は、それぞれ、 $\rho g H_{\max}$ (H_{\max} : 入射波の最高波高) で割って無次元化している。

図-4 および図-6 から、波圧積分波力と水中6分力計による波力はほぼ一致しており、断面方向のずれ、計測機器の違いなどの計測方法の影響は小さいことが分かる。また、ケーソン前面に波力が作用するタイミングと、パラペットに波力が作用するタイ

ミングには位相差があることが分かる。

図-4 および図-5 から、全体水平波力が最大となるのは、ケーソンに作用する波力が最大となるときであり、静水面付近での波圧が最も大きくなり、このときはパラペットには波力は作用していない。逆に、パラペットに波力が作用するときには、ケーソン前面に作用する波力は小さい。また、図-6 および図-7 を見ると、パラペットに作用する波力が最大となる波の作用では、ケーソン前面にはそれほど大きな波力は作用していないことが分かる。

全体水平波力の最大値を比較すると、ケーソン前面に波力が作用するときにもっと大きくなり、護岸の安定性の検討には支配的である。ただし、図-7 を見ると、パラペットには $3\rho g H_{\max}$ 以上の衝撃的な波力が作用することがあり、パラペットの部材設計のためにはパラペット部分に作用する波力の値と、その分布形を把握する必要があると考えられる。

(2) パラペットへの波力の作用形態

前節で述べたように、ケーソン本体およびパラペットに作用する波力に関しては、波の作用形態によってそれぞれに発生する波力に違いが見られた。そこで、ケーソン本体およびパラペットに作用する波力の計測データおよび同期を取って撮影した画像の観察を行なったところ、パラペットに波力が作用する場合の波の作用状況は、大きく分けて以下の3パターンに分類できることが分かった。

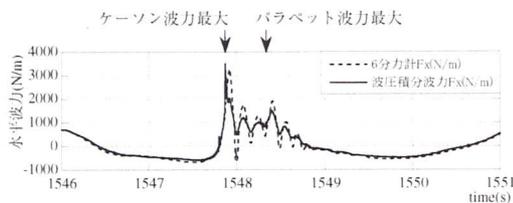


図-4 全体波力最大時の水平波力時系列

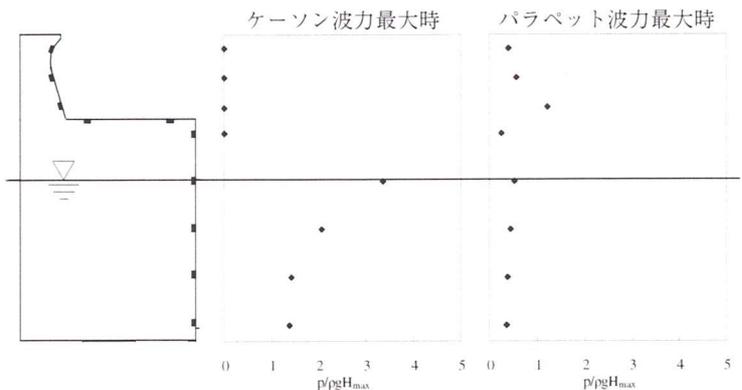


図-5 全体波力最大時の同時波圧分布

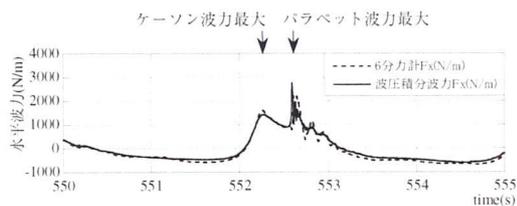


図-6 パラペット波力最大時の水平波力時系列

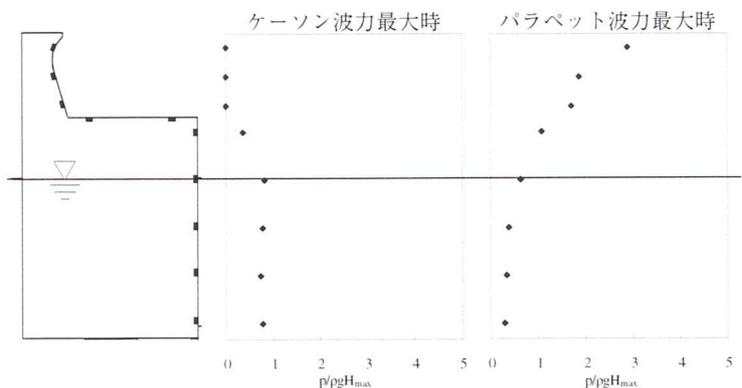


図-7 パラペット波力最大時の同時波圧分布

- ①ケーソン前面から水位が上昇して、波がケーソン天端上を進んでパラペットに波力が作用するパターン
- ②ケーソン前面に作用した波の水塊が、ケーソン上端から飛び出し、直接パラペット部分に衝突するパターン
- ③ケーソン前面に作用した波の水塊が、ケーソン上端から飛び出し、パラペットの上部を通過するパターン

波条件 wave2, 天端幅 319mm のケースで、それぞれの波の作用状況の代表的な例を写真-1～写真-3に示す。また、ケーソンおよびパラペットに作用する波圧および波力の時系列を図-8～図-10に示す。

それぞれのパターンでの波力のピーク値に関して見てみると、ケーソンおよびパラペットに作用する波力のピーク値は、上記の3パターンで大きく異なる。パラペット部分に作用する波力が衝撃的となる場合は、②のパターンの場合で、ケーソン上端から飛び出した水塊量が多いほど作用波力が大きくなる傾向にある。ただし、このようなケースでは、同じ波を作用させても発生する波力は大きくばらつく傾向がある。①のパターンの場合には、パラペット下部に波力が作用するものの、上部には大きな波力は作用しない。③のパターンの場合には、ケーソン本体に作用する波力が大きくなるものの、パラペット部分に作用する波力は小さくなる傾向にあることが分かった。

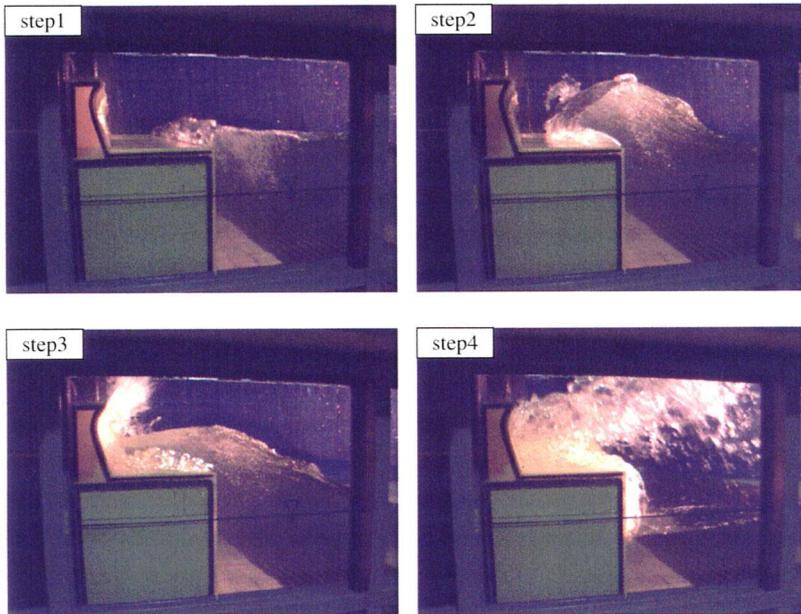


写真-1 波力の作用状況 (パターン①)

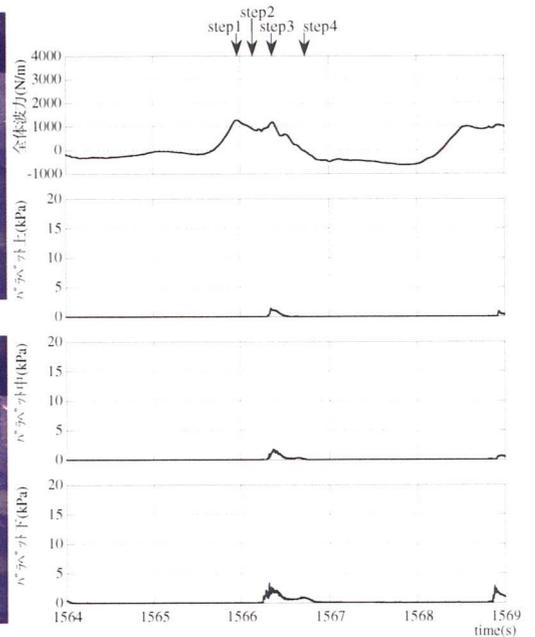


図-8 波圧・波力時系列 (パターン①)

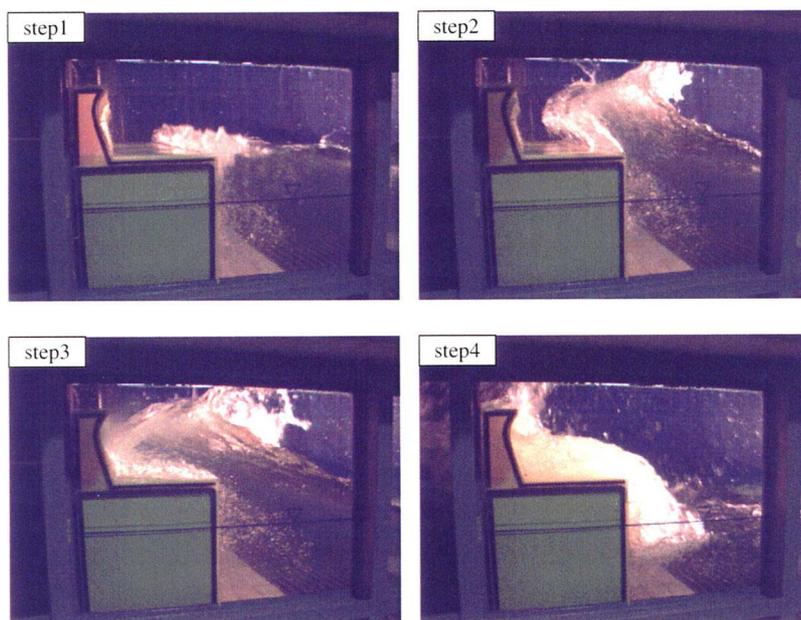


写真-2 波力の作用状況 (パターン②)

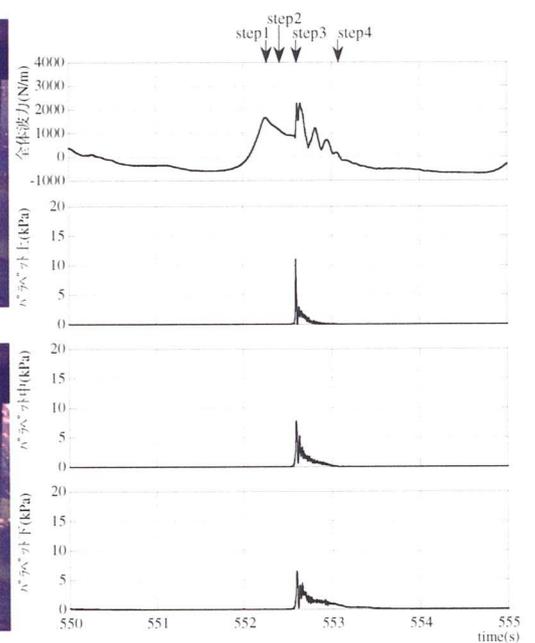


図-9 波圧・波力時系列 (パターン②)

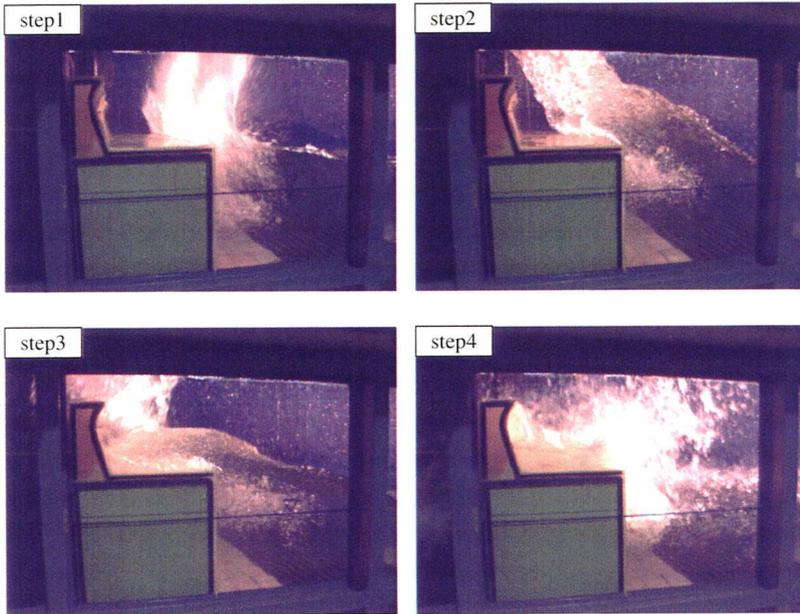


写真-3 波力の作用状況 (パターン③)

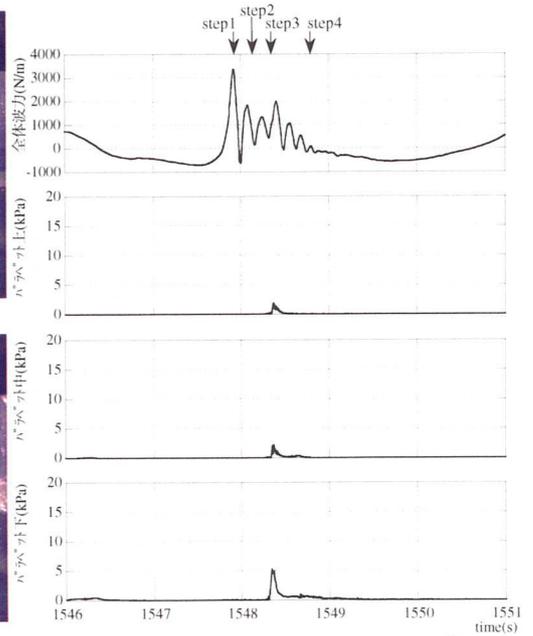


図-10 波圧・波力時系列 (パターン③)

(3) 天端幅の影響

図-11 に、天端幅の影響を見るため、天端幅を変えた2ケースに対して同一の波を作用させた場合の全体波力の時系列を示す。ケーソン天端幅を小さくすると、ケーソン前面と、パラペット部分とに作用する波力のピーク値が発生する時間差が短くなるものの、最大波力には大きな違いは見られなかった。

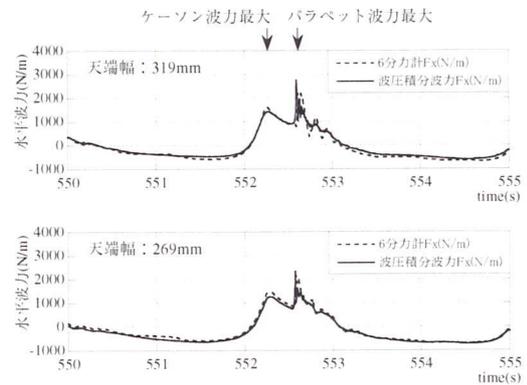


図-11 天端幅の位相差への影響

(4) 作用波力のばらつき

図-12 に、ある1波の作用によってパラペットに働く波圧の、各計測点の最大値を示した例を2ケース示す。2ケースとも、パターン②の形でパラペットに波が作用したケースである。プロットには、5回繰り返して計測した結果と、各計測点での平均値、全波圧の平均値を示している。図-12 から、同じ波の作用でも、各計測点に作用する波力にはばらつきがあることが分かる。また、ケース1のばらつきは小さいのに対し、ケース2のばらつきは大きく、作用する波によってそのばらつき度合いも異なる。

そこで、各計測点に作用する最大波圧の5回の繰り返し計測の平均値と、標準偏差の関係を図-13 に示す。各波圧は、計測点3点での平均値とした。

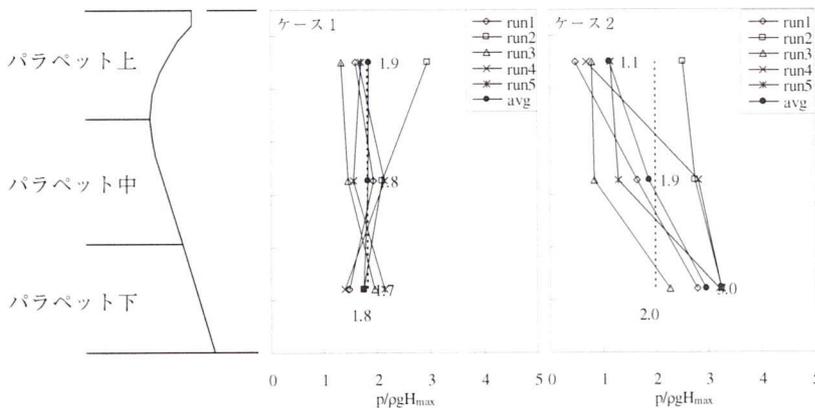


図-12 最大波圧強度分布例

図-13 から、パラペットに作用する波力は、ばらつきがあるものの、全体的には平均値が大きいほど、標準偏差も大きくなる傾向がみられる。

(5) パラペットに作用する波圧分布

図-14 に、同じ1波の作用による最大波圧分布、曲げモーメントが最大となるときの同時波圧分布を示す。曲げモーメントが最大となるときの同時波圧分布を見ると、対象断面で傾向が異なり、パラペッ

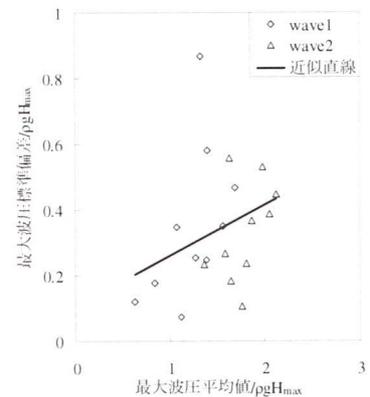


図-13 波力平均値とばらつき

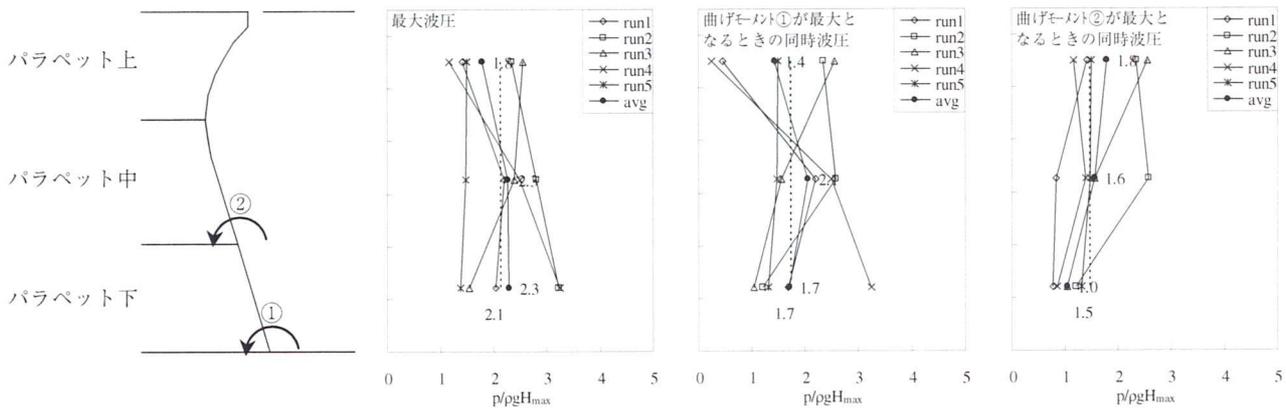


図-14 波圧強度分布

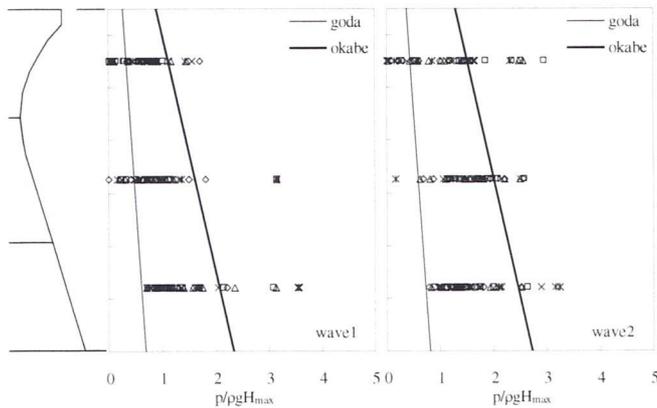


図-15 パラベット波力最大時の波圧強度分布

ト基部①でのモーメントが最大となるときにはパラベットの中央部分の波力が大きく、②でのモーメントが最大となるときにはパラベット上部の波力が大きい傾向となっている。

(6) 既存の波圧公式との比較

パラベットに作用する波力について、高橋ら⁴⁾による衝撃碎波力係数 α_1 を考慮した合田波力と、岡部らによるパラベット部分の割増係数を考慮した波力を、それぞれの波条件について求めた。結果を図-15に示す。図-15には、各波条件について、パラベット部分に作用する波力が大きくなる10波の、それぞれの5回繰り返し計測結果について、パラベットに作用する水平波力がピークとなるときの同時波圧分布をあわせて示す。

実験結果と比較をすると、合田波力では過小評価となっている。岡部らによる割増係数を考慮した値では、実験値をほぼ満足しているものの、特に、波高の大きいwave2のパラベットの上部で、実験値が計算値を超えているケースが目立つ。これは、評価方法のベースとなっている合田式では、静水面より上部では天端に向かうほど波力が小さくなる分布となっているが、これが、後退型パラベットの場合には適用できないことを示している。本実験の結果からは、後退型パラベットに作用する衝撃碎波力は一様な波圧分布に近いと考えられる。これは、後退型パラベットに波が作用する形態が、直立壁の場合のように静水面から水位が上昇して波力が作用するの

ではなく、ケーソン前面上端から波が打ち上がって直接パラベットに衝突する形態のため、静水面付近の波力が必ずしも大きくならないためと考えられる。

4. まとめ

後退型パラベットを有する護岸を対象に、水理模型実験を行い、ケーソン部分およびパラベット部分に作用する波力の特徴を明らかにした。得られた知見は以下の通りである。

- ・パラベットに波力が作用するときの形態は3パターンに分類され、パラベットに最も大きな波力が作用するのはケーソンの前面に作用した波の水塊がケーソン上端から飛び出し、直接パラベット部分に衝突する場合である。
- ・パラベット部分に作用する波力には大きなばらつきがあるものの、本実験の結果からは、平均的には上部から下部まで一様な分布となっており、最大で $3\rho g H_{\max}$ 程度の一様分布が作用した。

ただし、本検討は海底勾配やマウンドまで含めた護岸の断面形状を一定とした場合の結果であり、海底が急勾配であったり、マウンドが高いなどの場合には、さらに大きな衝撃波力が作用する可能性も考えられ、検討の余地があると考えられる。

参考文献

- 1) 高橋重雄, 遠藤仁彦, 室善一朗: 混成防波堤上の越波水の運動と波力に関する実験的研究～親水性港湾構造物に関する水工的研究(第1報)～, 港湾技術研究所報告, 第31巻第1号, pp.3-50, 1992.
- 2) 田崎敏, 岡部成光, 池田浩一, 藤田浩二, 榊山勉: 衝撃碎波力低減のための後部パラベット上部斜面堤の開発, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.911-915, 1995.
- 3) 岡部成光, 畑元浩樹, 白石貴司, 榊山勉, 清水琢三, 片山裕之: 急勾配海岸における後部パラベット型上部斜面堤の実用的な設計法について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.841-845, 1997.
- 4) 高橋重雄, 谷本勝利, 下迫健一郎, 細山田得三: 混成防波堤のマウンド形状による衝撃碎波力係数の提案, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.676-680, 1992.