

直立消波ブロックの消波特性と作用波力に関する研究

Wave Attenuation by Vertical Wave Dissipating Blocks and the Wave Forces

中村 孝幸*・福田 鐘行**

Takayuki NAKAMURA*, Kaneyuki FUKUDA**

In fishery and commercial harbors, various configurations of vertical-type wave dissipater have been developed and adopted as a sea wall, wharf and breakwater to tranquilize the harbor and coastal basin. In this study, the performance of a newly developed dissipater is examined experimentally to clarify the applicability to the real harbor, since the geometrical configuration of the dissipater is too complicated for the theoretical examinations. We have used two different types of the vertical dissipater, i.e. permeable and impermeable types of dissipaters. The permeable type is intended as an outside breakwater of the harbor to enhance the water exchange between inside and outside harbors. Wave forces on the new dissipaters are also examined to know the stability against waves. Especially the up-lift force on a crown plate of the dissipater is extensively examined because of its impulsive nature. It was seen that the spatial distribution of up-lift pressures on a capping plate is different from the one adopted in the previous design formula.

Key word; vertical wave dissipater, wave reflection, wave transmission, up-lift force

1. 緒言

漁港及び岸壁において、主に岸壁や物揚場・港内波除堤・防波堤などに直立消波ブロックが多く施工されている。この反射特性については、ある程度の一般的な目標範囲は提示されているが¹⁾、個々のブロック形状が複雑であるため、水理模型実験等によりその反射特性などを求める必要がある。ここでは、モデルとして採用した直立式消波ブロック構造の直立壁よりの反射特性ならびに、泊地内の海水交換を目的として、透過型構造にブロックを変更するときの透過特性についても明らかにする。これらの特性に加え、直立消波ブロックを防波堤及び波除堤に用いるときに問題となる、上部工に作用する衝撃的な揚圧力の実態についても明らかにする。

2. 実験装置及び実験方法

(1) 実験装置

実験には長さ2.8m、幅1m、高さ1.25mの2次元造波水槽を用いた。波高計は入射波測定用に1台、反射波測定用に2台、透過波測定用に1台を使用した。波圧の測定は、上部工底面に波圧計

* 愛媛大学工学部環境建設工学科

** 日建工学㈱ 総合技術研究所

* Department of Civil and Environmental Engineering, Ehime University

** Development and Research Division, Nikken Kougaku Co. Ltd

連絡先: 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番 愛媛大学工学部 TEL 089-927-9835

原稿受理 平成16年10月31日

を4ヶ所に設置して衝撃的な揚圧力の分布が検討できるようにした。実験水槽及び波高計の設置状況を図-1に示す。

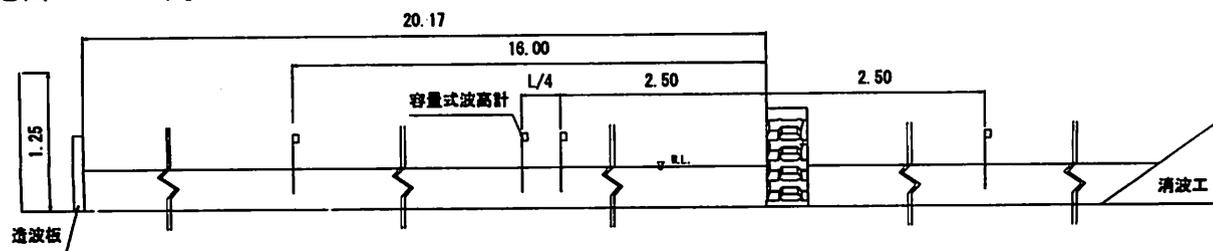


Fig.1 Wave tank and experimental apparatus.(unit:m)

(2) 実験模型

実験に用いた模型は、現地量を長さの縮尺1/11で模型化したものを用いた。反射波特性及び揚圧力測定には図-2、透過波特性の測定には図-3に示すモルタル模型を用いた。これらは、いずれも直立式に積上げること

(3) 実験条件

本実験で想定した模型則は、フルードの相似則であり、波条件等もこの相似則により上記した長さの縮尺を考慮して設定した。実験で用いた作用波は、反射波特性及び揚圧力・透過波特性の検討共に規則波とした。各ケースにおける波条件(波高, 周期)及び水深等の条件を一括して表-1に示す。なお, 表中に示すクリアランス hc は, 上記した模型ユニットを組み上げて構築される直立式消波堤の上部に設けた水平床版の下端から静水面までの距離で定義される量に相当する。

(4) 実験断面

反射波特性の測定実験で用いた構造断面と、波圧計の設置位置を図-4に示す。波圧計は隣り合うブロック間からの波圧を受ける上部工(水平床版)底面に等間隔に配置して、揚圧力の空間分布が検討できるようにした。図-5は、コンクリートユニットの背面側の一部を透過構造にして組み上げた構造体で、透過波特性の測定に用いた断面に相当する。図中で、下2段に透過型ユニットを設置し、上2段に不透過ユニットの標準型を設置した。各ユニットは、別途に用意した底板に相当する水平板上に4段設置し、水路幅方向に3.5個分を千鳥配列で配置した。そして、上部工には厚さ10.9cm(現地換算:

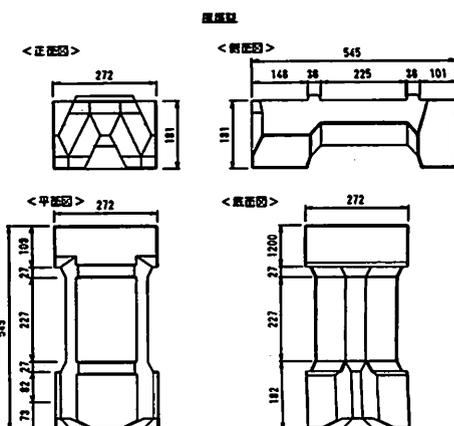


Fig.2 Model unit No.1. (Unit : mm)

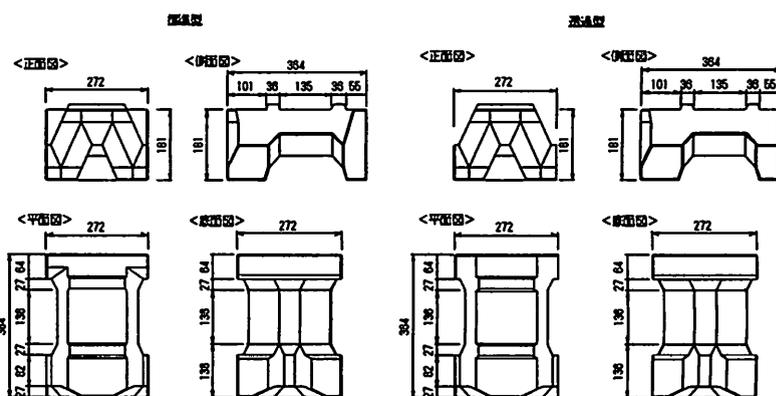


Fig.3 Model unit No.2. (Unit: mm)

Table 1 Experimental conditions.

| | | 波高 H(cm) | 周期 T(sec) | 水深 h(cm) | クリアランス hc(cm) | 備考 |
|------|-------|----------|-----------|----------|---------------|-------|
| 反射特性 | CASE1 | 7.0~30.0 | 0.9~3.0 | 54.5 | 22.6 | |
| | CASE2 | 7.0~30.0 | 0.9~3.0 | 83.5 | 13.6 | |
| | CASE3 | 7.0~30.0 | 0.9~3.0 | 72.7 | 4.4 | 波圧計設置 |
| | CASE4 | 7.0~30.0 | 0.9~3.0 | 72.7 | 4.4 | 上部工無し |
| 透過特性 | CASE5 | 7.0~30.0 | 0.9~3.0 | 36.4 | 40.7 | |
| | CASE6 | 7.0~30.0 | 0.9~3.0 | 54.5 | 22.6 | |
| | CASE7 | 7.0~30.0 | 0.9~3.0 | 72.7 | 4.4 | |

各ユニットは、別途に用意した底板に相当する水平板上に4段設置し、水路幅方向に3.5個分を千鳥配列で配置した。そして、上部工には厚さ10.9cm(現地換算:

1.2m) のコンクリート床版を設置した。

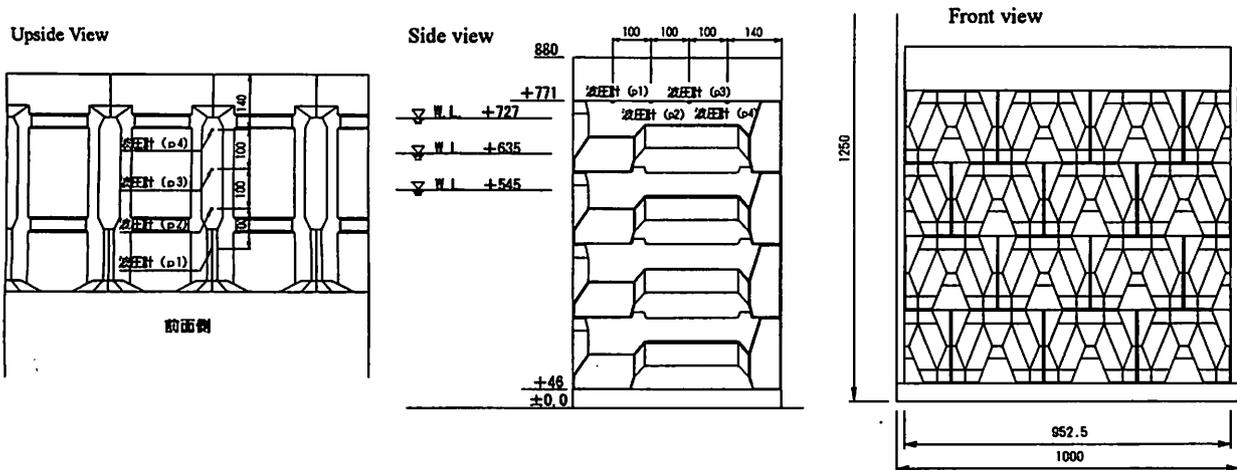


Fig.4 Vertical wave dissipater composed of concrete block units and allocations of pressure gages on the capping plate. (Unit : mm)

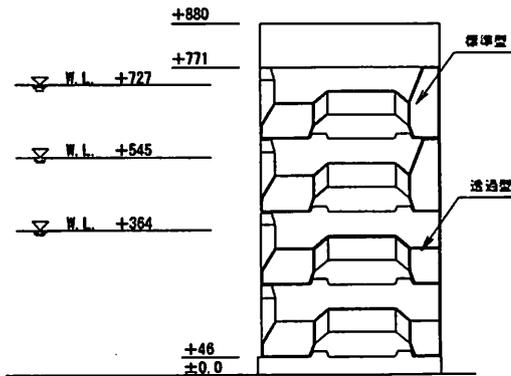


Fig.5 Vertical wave dissipater composed of impermeable and permeable units. (Unit: mm)

3. 結果と考察

(1) 反射波の低減効果

図-6は、静水面上から直立消波ブロック天端までの距離 hc (クリアランス) と波高 H の比 (hc/H) をパラメータにして、反射率 C_r の波周期による変化を示す。図中では、波周期の無次元量として堤体幅と波長の比 B/L が用いてある。また、図-7は、同様のデータを水深別 (CASE 1~3) にまとめ、上部工の無い場合 (CASE 4) も含めた比較で示す。図中の WL は水深に相当する。

図-6および図-7より、直立消波ブロック堤体の反射率は、水深あるいはクリアランスの相違に関わらず $B/L=0.2$ 付近で極小となる変化を示す。このような傾向は、縦スリット式低反射工の反射率特性²⁾ と酷似している。そして、反射波が低減する理由としては、堤体背後の不透過部からの反射波と入射波の合成による重複波が形成される際、前面開口部に節が形成されることで卓越する水平流速による渦流れ等の形成により波エネルギーの逸散が増大することによると考えられ。

また、図-6より、クリアランス-波高比による影響を検討すると、反射率の極小値付近で差が見られ、 hc/H が小さくなるに連れ反射率が大きくなり、特に $hc/H < 0.5$ の場合にはその傾向が顕著に見られる。この傾向は、水深別に反射率を検討した図-7においても同様に見られ、特にクリアランス

が小さな W.L. 72.7 cm (上部工有り) の場合には、極小値でも反射率 $C_r > 0.4$ となることが分かる。一方、図-7の W.L. 72.7 cm (上部工無し) の条件では、W.L. 54.5cm の場合とほぼ同様の反射特性が確認できる。

これらの比較・検討より、直立消波ブロック堤では、その消波機構として、遊水部内での上下左右への分流・衝突によるところが大きく、これを抑制するような上部不透過床版を設けると反射率は上昇する傾向にあることが判明した。事実、図-7に示す上部不透過床版を取り除いたケースでは、反射率はクリアランスの大きな場合と同様に十分な反射波低減効果が認められる。中村・西平ら³⁾は、多列水平円柱で構成されるブロック堤を対象にして、やはり上部工として不透過な水平版を設けることで反射率が增加することや、水面付近にある部材と波面との衝突現象により反射波が有意に低下することなどを報告している。

(2) 透過波の特性

本研究では、図-5に示すように、ブロック背後の一部を取り除き、透過型構造にしたときの透過率についても検討を行った。この結果を示すのが図-7であり、やはり水深別に透過率 C_t の B/L による変化を示す。

透過率は、反射率とは異なり、明確な極小値は見られず、B/L が 0.2 より小さな長周期側になると順次増大する傾向が見られる。また、水深の影響に着目すると、W.L. 36.4 cm 及び 54.5 cm ではほぼ同程度の透過率を示すが、水深の最も深い W.L. 72.7 cm の場合に最も低くなる傾向にある。これは、ブロック背後の透過部の位置

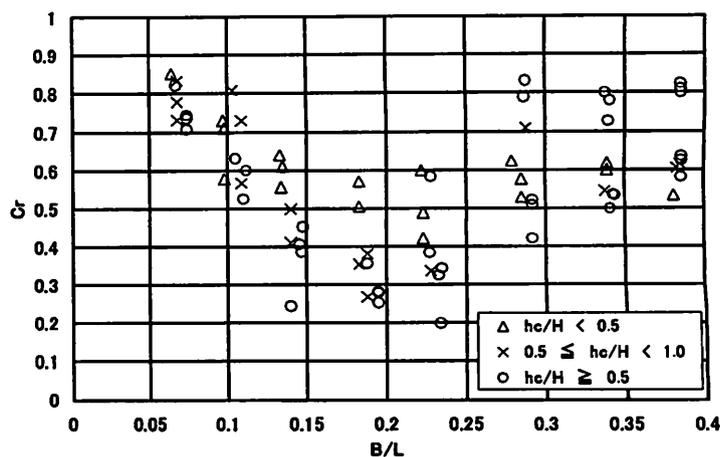


Fig.6 Variations of reflection coefficient with B/L for various hc/H.

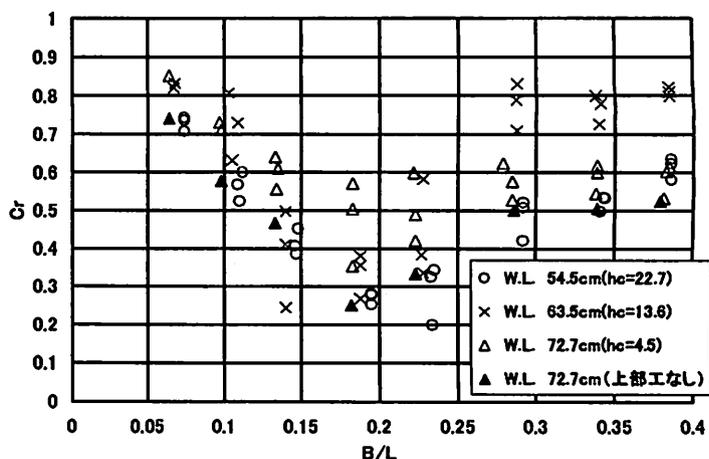


Fig.7 Reflection coefficient for various water depths.

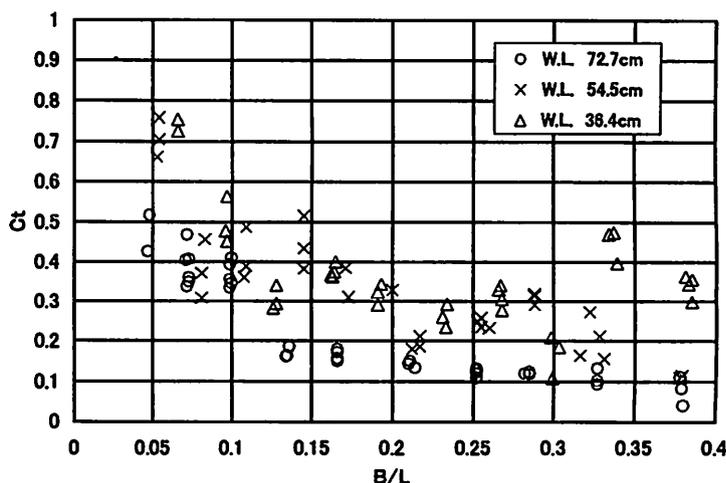


Fig.8 Transmission coefficients for various water depths

が水底付近にあることによる影響と考えられる。

(3) 揚圧力とその空間分布

Fig.9 は、CASE 3 での水深及び波条件を用いて、図-4 に示す波圧計の配置条件で測定した、上床版に作用する波圧分布を示す。図中では、入射波高に相当する水圧 (ρgH) で無次元化した波圧強度で表示してある。図中の横軸は、波圧の測定ポイント ($p1 \sim p4$) に対応する。また、図中では入射波高別に分類して、波高値の影響が検討できるようにしてある。

これらの図より、波条件により波圧強度のバラツキは見られるが、全体としてはブロック前面側の $p1$, $p2$ ではほぼ同じ波圧強度を示し、背面側の $p3$, $p4$ で波圧強度が増加する空間分布であることが分かる。特にこの傾向は、波高 $H < 15\text{cm}$ の条件で顕著に見られる。

一般的に上床版に作用する揚圧力は、版の前面で最大、その背面で 0 となる三角形分布の波圧分布を仮定して耐波安定性の検討が行われることが多い^{4), 5), 6)}。これは、直立壁に対する合田の波圧式を準用することで対処してきたことによると考えられる。

しかしながら、本実験での検討結果では、従来のような背面側で 0 となる三角形分布ではなく、むしろその逆に近い台形分布であることが確認された。このように堤体の背面側で上床版に作用する波圧が最大となる理由は、ブロック後部の不透過壁の影響で波圧計 $p4$ 付近が波面形状において重複波の腹の位置に相当し、波圧強度が増大するものと推測される。

入射波高が小さいとき ($H < 10\text{cm}$) の波圧強度は、各波圧計でのバラツキが大きいが、周期の影響が比較的に見られ、長周期側の波条件になるほど波圧強度が増大する傾向にある。一方、入射波高が

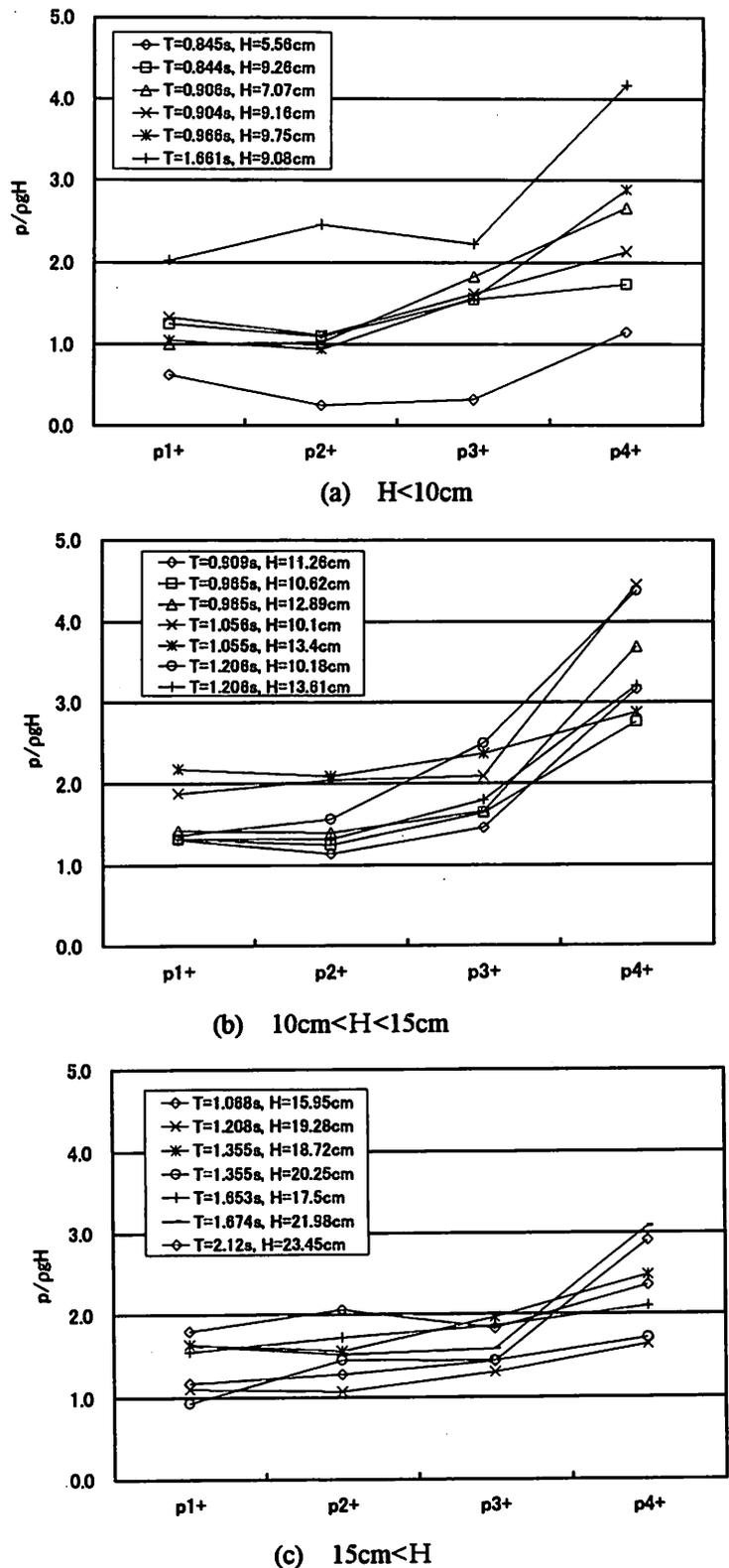


Fig.9 Uplift pressures and their distributions on the capping plate.

大きいとき ($15\text{ cm} \leq H$) の波圧強度は、波高の比較的低い条件に相当する図 (a), (b) と比べ波圧強度が全体的に小さくなることや、背面側の p 4 付近での波圧強度の上昇率も小さくなる傾向が認められる。しかしながら、波圧強度としては、2~3程度と非常に強い強度を持つことに注意する必要がある。ここでは、割愛したが、いずれの波圧についても、その時間波形は作用時間の短い衝撃的な波形になっていたことを付記しておく。

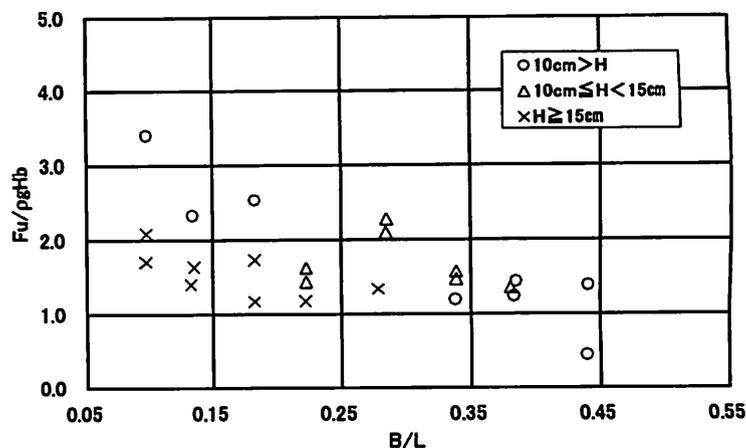


Fig.10 Dimensionless maximum uplift forces on the capping plate.

図-10は、上記した各測定点での波圧を時々刻々に積分して、上床版の単位幅当りに作用する揚圧力 F_u を求めた結果について検討したもので、図中では最大揚圧力を $F_u/\rho g H b$ で定義される無次元強度で示す。この図より、上床版に作用する揚圧力の空間平均値に相当する無次元揚圧力強度は、高波高の条件下で最大で2程度であることや、長波長の条件になるほどその強度は増加する傾向にあることなどが認められる。そして、従来の鉛直堤に対する碎波による水平波圧強度を推定する広井式の無次元波圧強度が1.5であることを考慮すると、上床版に作用する揚圧力はこれ以上に大きく、設計面においても重要視すべき作用荷重といえる。

4. まとめ

(1) 本研究で対象にした直立消波ブロックでは、堤体幅と波長の比 $B/L=0.2$ 付近で反射率が極小となる特性を示すなど、従来のスリット式低反射工と類似した反射波低減特性を有する。また、静水面から直立消波ブロック天端までのクリアランスが小さいと反射率が增大するなど、その影響は大きいことが明らかになった。

(2) 透過波の低減特性は、 $B/L=0.15$ より短周期側では透過率 $C_t=0.4$ 以下になることや、ブロックの透過部を水深に比較して十分に深い位置にすることで $C_t=0.1\sim 0.2$ 程度と実用上十分な制御効果が発揮できる。

(3) 直立消波ブロック堤の上床版に作用する揚圧力は、衝撃性の強い大きな強度を有する重要な外力であり、その無次元強度は空間平均値で2程度にもなる。また、その波圧分布は、従来において仮定されてきたブロック前面で最大、背面で0となる三角形分布とは異なり、ブロック背面付近で最大となる台形分布に近いものであることが確認された。そして、堤体背面側での無次元波圧強度は、高波高の条件下で2~3程度の値になることなどが明らかになった。

なお、本研究は、平成15年度愛媛大学共同研究「直立式消波ブロックの消波特性と作用波力に関する研究」による成果の一部であることを付記しておく。

参考文献

- 1) 竹田英章, 赤塚雄三, 河口隆明: ブロック式直立消波構造の水理特性, 第23回海岸工学講演会論

文集, 1976, pp.117~pp.122

2)谷本勝利・吉本靖俊:スリットケーソンの反射率に及ぼす諸要因の影響, 第 29 回海岸工学論文集, pp389-393, 1982.

3)中村孝幸・西平和彦・小野修史:ブロック堤体内のスラミング現象によるエネルギー逸散に関する研究、海岸工学論文集, 第 39 巻, pp.611~615,1992.

4) 日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp.139~165, 1992.

5) 全国漁港漁場協会:漁港・漁場の施設の設計の手引き, pp.70~73, 1998.

6)岡本博:直立消波構造の波圧算定法の一試案, 第 25 回海岸工学講演会論文集, 1978, pp.319~pp.322