

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¹・福田鐘行²

Takayuki NAKAMURA, Kaneyuki FUKUDA

¹正会員 工博 愛媛大学工学部 環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

²正会員 日建工学株式会社 総合技術研究所 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-10-1)

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 type 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 Words : Vertical wave dissipater, wave reflection, wave transmission, up-lift force

1. はじめに

港湾・漁港の岸壁・物揚場及び港内波除堤, 防波堤において, 特殊な形状を有する直立消波ブロック堤が各地で施工されている. 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, 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消波ブロック構造の直立壁よりの反射波特性ならびに, 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を主に実験的に明らかにする. これらの検討の際, 従来においてあまり知られていない, 構造体の上部に設ける不透過床版の下端と静水面間の距離 (上部

クリアランス) の消波効果に及ぼす影響について着目する. また, 今回の研究の対象とする施設の被災事例に関して, 平成16年の台風18号などでも, 直立消波ブロック堤の上部工が被災を受けた事例も報告されている. 現象としては, 上部工が飛散した状態や, 隅各部にあたる部分での波の収斂によるものなどがある. そこで上部工に関する, 安定性について検討するため, 堤体の上部工に作用する衝撃的な揚圧力の実態について明らかにし, 現行の設計法との妥当性を実験的に検証する.

2. 実験装置及び実験方法

(1) 実験装置

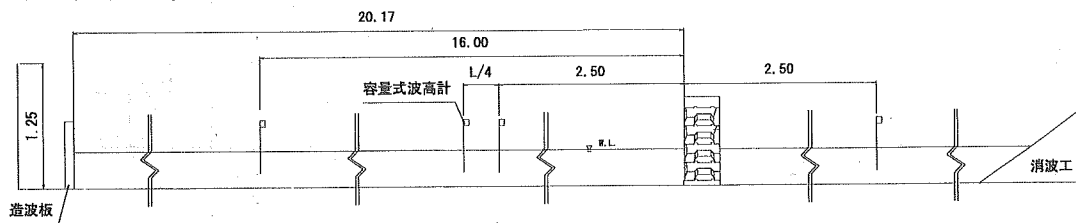


図-1 実験水槽および実験装置(unit:m)

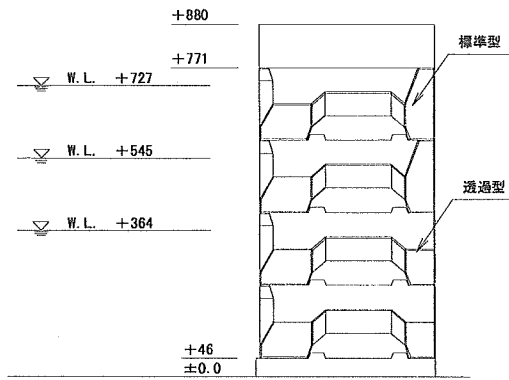


図-5 透過構造実験断面図(Unit: mm)

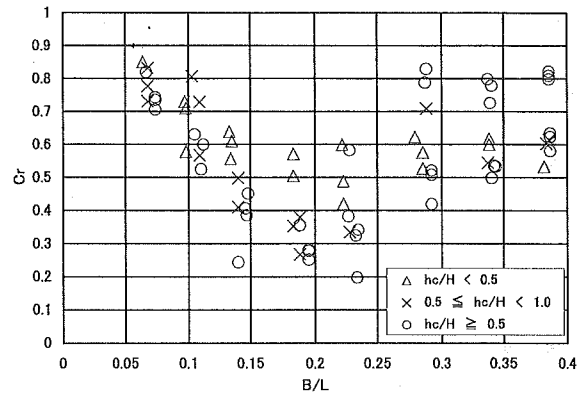


図-6 クリアランスと波高の比による反射率の変化

4. 結果および考察

(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 Cr 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る。

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. 72.7cm (上部工有り) の場合には、極小値でも反射率 $Cr > 0.4$ となることが分かる。一方、図-7のW.L. 72.7cm (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。また、現行の設計法では上部工とのクリアランスを $0.5H$ 以上設けることとされているが、本実験からも反射率への影響に関して同様の傾向が検証された。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増加することや、水面付近にあ

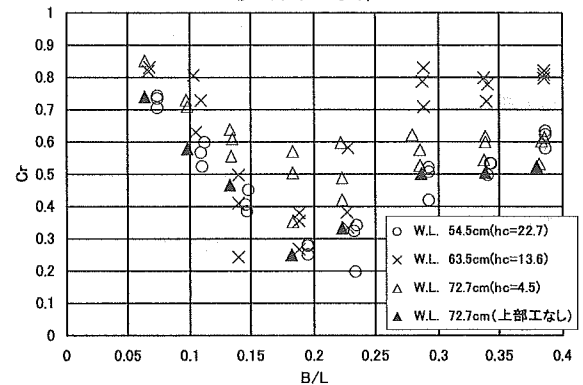


図-7 水深変化による反射率の変化

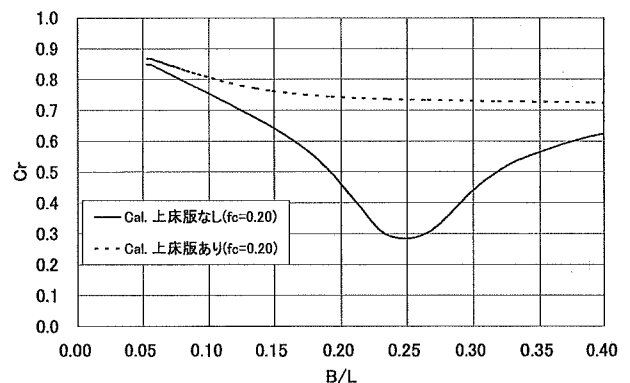


図-8 上床版の有無による反射率の相違(理論的な検討)

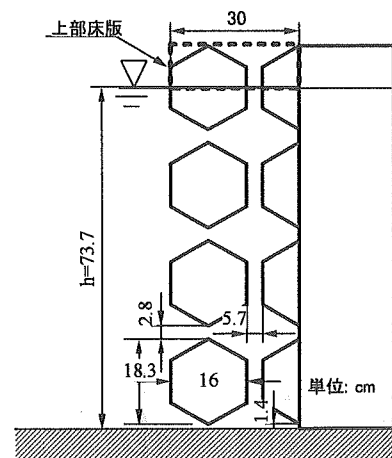


図-9 直立消波構造物の算定モデル (断面空隙率45%)

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。

図-8は、上床版の有無による反射率の相違を理論的に検討したもので、断面モデルとしては空隙率を前出の実験模型とほぼ一致させた図-9のものを用いた。このとき、理論算定には、中村ら⁴⁾による減衰波理論を用いた。算定では、図-9に示すように、上床版有りでは遊水室内の水面を水平版で覆うようにして実現した。また、理論算定に必要な線形減衰係数 f_c には、著者らの従来の研究で用いた $f_c=0.20$ を準用した。

図-8より、堤体上部を不透過版で覆うと、反射率は有意に上昇することが確認できる。これは上記した部材と波面との衝突現象が生じにくくなるためと考えられる。

(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分を取り除き、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-10であり、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、 $W.L. 36.4\text{cm}$ 及び 54.5cm ではほぼ同程度の透過率を示すが、水深の最も深い $W.L. 72.7\text{cm}$ 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

図-11は、最も上部クリアランスが狭くなる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

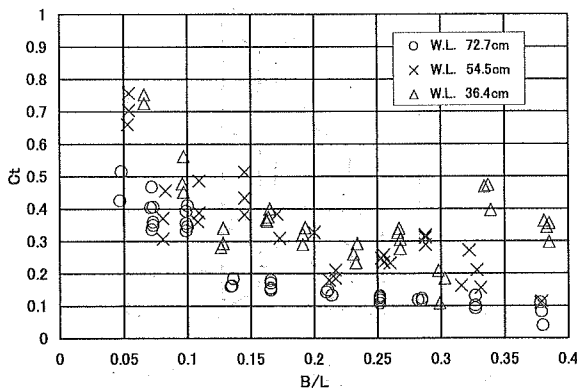


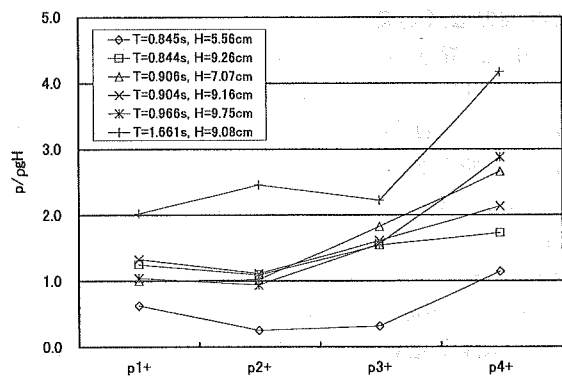
図-10 水深変化による透過率の変化

の傾向は、波高 $H < 15\text{cm}$ の条件で顕著に見られる。

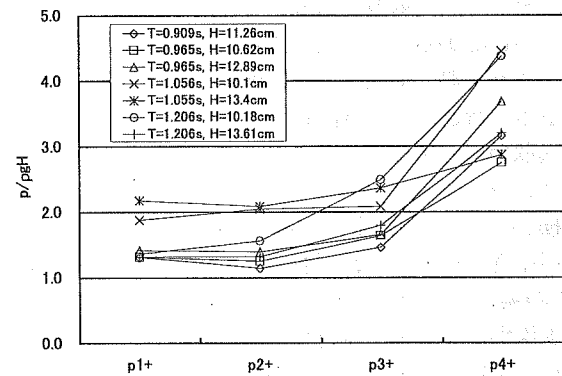
一般的に上床版に作用する揚圧力は、版の前面で最大、その背面で0となる三角形分布の波圧分布を仮定して耐波安定性の検討が行われることが多い^{5)・6)・7)}。これは、直立壁に対する合田の波圧式を準用することで対処してきたことによると考えられる。

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。

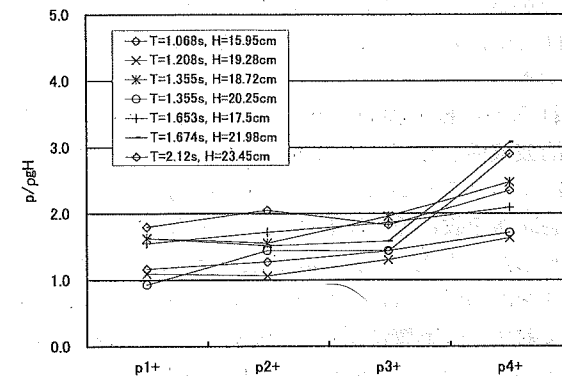
入射波高が小さいとき($H < 10\text{cm}$)の波圧強度は、各波圧計でのバラツキが大きいが、周期の影響が比較的



(a) $H < 10\text{cm}$



(b) $10\text{cm} < H < 15\text{cm}$



(c) $15\text{cm} < H$

図-11 揚圧力の空間分布

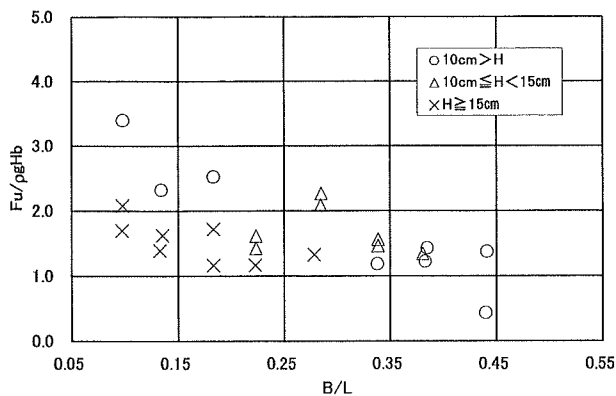


図-12 上床版に作用する揚圧力の総和

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。

図-12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。

写真-1は、昨年台風18号の波により、上床版が被災した例を示す。被災した場所は、護岸の隅角部で、



写真-1 台風18号の波により被災した上部工の例

平面的な波高増大が顕著な所に相当する。被災状況としては、上床版が波の作用により持ち上がり、滑動している。やはり、強大な揚圧力の作用によるものと推定される。

5. 結語

(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、従来の設計法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。

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, pp. 117~122, 1976.
- 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, pp. 389~393, 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) 中村孝幸, 井出善彦: 波の逸散現象を考慮した隅角物体まわりの波変形と作用波力の算定法, 海洋開発論文集, Vol. 13, pp. 177~182, 1997.
- 5) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp. 139~165, 1999.
- 6) 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, 2003.
- 7) 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, pp. 319~322, 1978.