

多列円柱型浮体式消波工による消波効果の 増大工法について

IMPROVEMENT OF A DISSIPATIVE-TYPE FLOATING BREAKWATER WITH A BUNDLE OF HORIZONTAL CIRCULAR CYLINDERS

中村孝幸¹・塚原靖男²・高木伸雄³・中山哲蔵⁴・河野徹⁵・楨本一徳⁶
Takayuki NAKAMURA, Yasuo TSUKAHARA, Nobuo TAKAKI, Akiyoshi NAKAYAMA, Tohru
KOHNO, and Kazunori MAKIMOTO

¹正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3)

²学生会員 愛媛大学大学院理工学研究科 環境建設工学専攻 (〒790-8577 松山市文京町3)

³正会員 農博 水産庁水産工学研究所 水産土木工学部長 (〒314-0421 茨城県波崎町海老台)

⁴正会員 水産庁水産工学研究所 水産土木工学部水理研究室長 (〒314-0421 茨城県波崎町海老台)

⁵正会員 復建調査設計㈱ 沿岸開発部長 (〒852-8041 広島市東区光町2-10-1)

⁶正会員 復建調査設計㈱ (〒852-8041 広島市東区光町2-10-1)

Floating breakwaters have been adopted in the comparatively deep sea area with a mild wave climate, such as inland seas. In that area, aquacultural facilities, such as fish ponds, oyster farming facilities and so on, are usually installed. The development of highly dissipative floating breakwaters has been devoted in that sea area for reducing reflected waves from newly constructed breakwaters and sea walls, which are usually adopted for protecting the newly reclaimed land from wave actions. In this study, a new type of floating breakwater intending to reduce both the reflected and transmitted waves was proposed. There are two major dissipation mechanisms presumed in this model. One is the wave slamming loss of the horizontally installed circular cylinders near the water surface in the breakwater. The other is the enhancement of vortex flows around the lower end of side curtain walls arranged with some spacing. Here, the piston mode wave resonance between the two side curtain walls is used for the enhancement. By the use of various sections of the breakwater, especially changing side curtain wall configurations, performance of each breakwater model has been extensively examined.

Key Words : Dissipative-type floating breakwater, wave slamming loss, piston mode wave resonance, a bundle of circular cylinders, double curtain walls

1. はじめに

既に、著者らは図-1に示すような堤体両端部に矩形浮力体、そして中央部に円柱列がある浮体式消波工を提案し、その効果などを明らかにしてきた¹⁾。この浮体式消波工の消波機構は、中央部に設けた円柱列と波面の衝突現象(スラミング現象)によるエネルギー逸散を利用するもので、比較的短周期の波に対して効果的であることが判明している。

ここでは、このようなスラミング現象による逸散効果を増大させるため、円柱列の前後に鉛直側方版を設け、それらの版で仕切られた遊水室内の波浪増幅現象を利用することを提案する。そして、浮体式消波工の側方版の形状や吃水深を各種に変化させ、水理模型実験と減衰波理論²⁾による理論算定に基づき、より効果的な構造体について明らかにする。

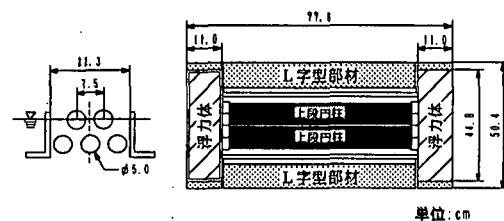


図-1 基本型堤体

単位: cm

2. 実験装置および実験方法

(1) 実験水槽と実験方法

実験には長さ28m、幅1m、高さ1.25mの2次元水槽を用いた。この水槽の一端には、造波装置が設置されており、もう一端の透過側には、砕石からなる勾

配1/5の消波工が設置されている。

波高計は、図-2に示すように沖側での入射波測定用に1台、反射波測定用に6台、透過波測定用に5台の計12台の容量式波高計を用いた。反射波および透過波の測定において、水槽の幅方向に配列ピッチ長入にわたって5台の波高計を設置したのは、一定の開口幅をもって浮消波工が規則的に直線配置されている状態を想定して実験していることによる。

多列形式に配置される浮防波堤において、配列ピッチ長入と波長 L の比で表される λ/L が、 $\lambda/L \geq 1.0$ の範囲では入射波とは異なる方向にも透過・反射波の成分が現れるためである³⁾。このため、方向性を考慮した反射・透過波の測定が必要となる。

ここでは、5台の波高計を用いて、反射・透過波の方向性を考慮した中村ほか⁴⁾の方法を用いて反射・透過波を分離解析した。なお、この実験での配列ピッチ長入は、水槽幅に等しい1mとなる。

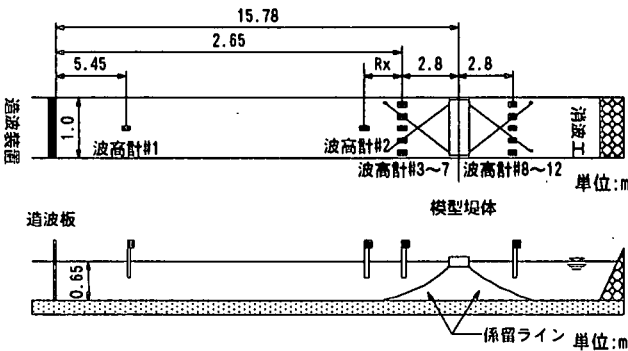


図-2 水槽全体図および波高計の設置状況

(2) 模型浮体

本研究で用いた模型のスケールは現地の約1/18である。図-1に示すL字型の側方部材を持つ浮体式消波工を基本型として、このL字型部材を下記のa)~d)のように4種類に変化させた。これら実験に用いた基本型を除く4種類の堤体模型断面について図-3に示す。

a)側方版の効果を調べるために図-1に示すL字型部材を取り、円柱列のみとした模型(以下、円柱列型模型と呼ぶ)。

b) L字型部材の水平部分だけを取り除いた模型(以下、浅吃水型模型と呼ぶ)。L字型部材の水平部分がないため基本型の浮体と比較して、鉛直動揺の共振点が短周期側に移行することが期待される。

c) L字型部材の水平部分を鉛直下方向に向きを変え、上記b)の構造よりも吃水を深くした模型(以下、深吃水型模型と呼ぶ)。この模型では吃水を深くすることによって遊水室内でのピストンモードの波浪共振点が長周期側に移行することなどの効果が期待される。

d)上記c)の構造では反射波が高くなる恐れがあり、円柱列前面の鉛直版をb)で用いた浅い吃水のものに取り替えた模型(以下、前後異吃水型模型と呼ぶ)。この場合、前後の構造形状は非対称となる。

実験では基本型と深吃水型模型については波変形の測定に加え、動揺量も測定した。動揺量の測定には4台のレーザー式変位計を用い、水平方向の変位測定用に2台、鉛直方向の測定用に2台を用い、堤体中央部に設置した反射版との距離を測定して、間接的に動揺量を測定した。

これらの模型堤体の堤体長は78cmであり、水槽幅が1mであることから、水槽側壁を完全反射条件として鏡像効果を考えると、堤体長78cmの堤体を開口長22cmで直線的に無限基配列した場合と同じになり、このとき開口率は22%に相当する。

浮体式構造物において、特に重要となる項目として共振動揺があり、それを短的に表すパラメーターとして固有振動周期がある。ここでは、波面と部材との衝突現象によるエネルギー逸散に着目していることから、その逸散に直接的に関係すると考えられる鉛直動揺の固有振動周期 T_H を測定しており、その固有振動周期およびそれを波周期とするときの仮想的な波長 L_H と堤体幅 B の比である L_H/B 、さらに浮体重量と慣性半径を表-1に示す。なお、堤体幅 B は消波工の側方版の水線幅を堤体幅 B としてある。

表-1 堤体模型の諸量

堤体名	T_H (s)	L_H/B	重量(N)	慣性半径(cm)
基本型	1.10	7.58	109.8	11.82
円柱列型	0.50	1.95	64.2	10.23
浅吃水型	0.78	3.90	114.2	11.72
深吃水型	0.80	4.11	113.2	11.36
前後異吃水型	0.76	3.71	111.2	10.75

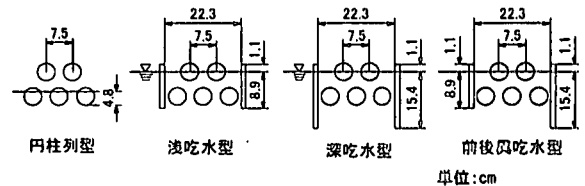


図-3 模型堤体の断面形状

(3) 係留ライン

模型堤体の係留には市販のチェーンを用い、係留方法は係留チェーンが模型浮体の左右の係留点とそれぞれのアンカー点との間で交差するクロス係留である。係留ライン長は260cm、水中重量は843dyn/cmである。

(4) 実験条件

模型堤体に作用させた入射波は、波高が5,10cmの2種類で周期が0.65~1.5sの範囲の14~19種類である。このときの水深は65cmと一定とした。

3. 実験結果とその考察

(1) 基本型

基本型模型の実験結果を図-4に示す。図中では、透過波高および反射波高の配列方向におけるrms値を入射波波高で除した無次元波高比 K_t , K_r の周期による変化を示す。ここで周期に関する無次元量とし

ては、波長 L と堤体幅 B の比 L/B を用いた。

図中には断面2次元の減衰波理論²⁾による算定結果をも合わせて示している。断面2次元による減衰波理論では、開口部の影響やスラミング現象による逸散を考慮することはできないが、参考データとして示す。

この図より K_r は、高くても0.2程度と全体的に低いことがわかる。 K_t は、ほとんどの L/B で0.5以上と高くなっている。これは、鉛直動揺量を示す図-5より、その共振点が $L/B=9$ と長周期側にあり、スラミング現象が卓越する短周期側では鉛直動揺量が少ないため、 K_t が全体的に高くなるものと考えられる。

図-6のエネルギー逸散率 E_L を見てみると、 $L/B=3$ の短周期側で高く周期と共に低下している。これは上述したようにスラミング現象が短周期側でしか効果的に生じないためと考えられる。

図中の減衰波理論による算定結果と実験値が異なるのは、上記したように算定においてスラミング現象によるエネルギー逸散や開口部の影響が無視されていることによると考えられるが明確ではない。

(2) 側方版の有無による比較

図-7~9には側方部材の有無による比較を行うため、側方部材のない円柱列型模型と浅い吃水の側方部材を取り付けた浅吃水型模型の結果を合わせ示す。

図-7の K_r は、円柱列模型と浅吃水型模型の両堤体とも全体的に低い K_r を示しており、堤体構造による有意な差は見られない。

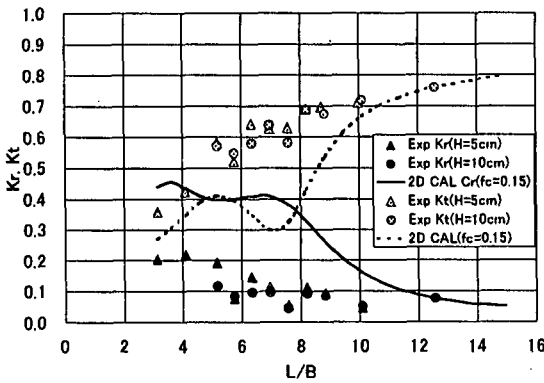


図-4 基本型の K_r , K_t

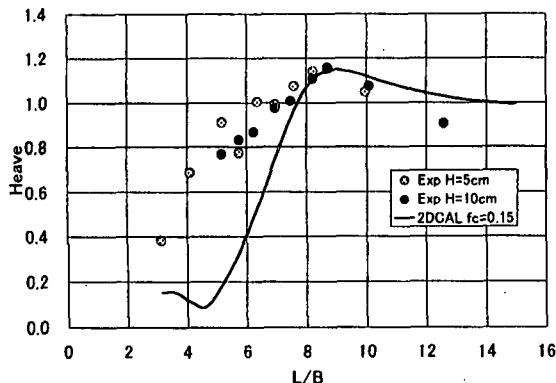


図-5 基本型の鉛直動揺量

図-8の K_t は短周期側では浅吃水型模型の方が低くなっている。これは、浅吃水型模型の K_t が低くなっている L/B に鉛直方向の固有振動周期があるためであり、このために浅吃水型模型の方が円柱列型模型に比べて鉛直動揺量が大きくなり、スラミング現象によってより多くのエネルギーが逸散して K_t が下がっていると考えられる。このことは、エネルギー逸散率を示す図-9からもわかる。

(3) 水平版の有無による比較

水平版の影響を調べるために側方部材にL字部材を持つ基本型模型と基本型模型からL字部材の水平部分を取り除いた浅吃水型模型の結果を比較する。

K_t は、図-4の基本形模型と図-8の浅吃水型模型を比べてみると全体的に浅吃水型模型の方が低くなっ

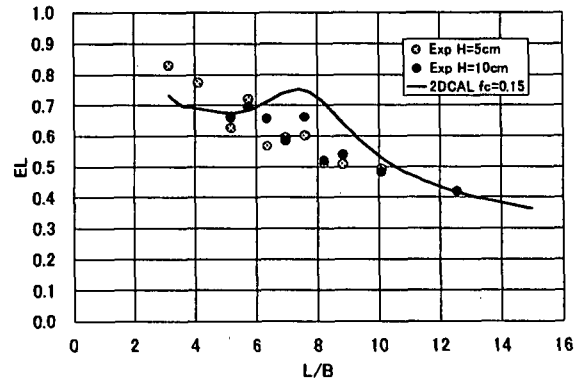


図-6 基本型のエネルギー逸散率 E_L

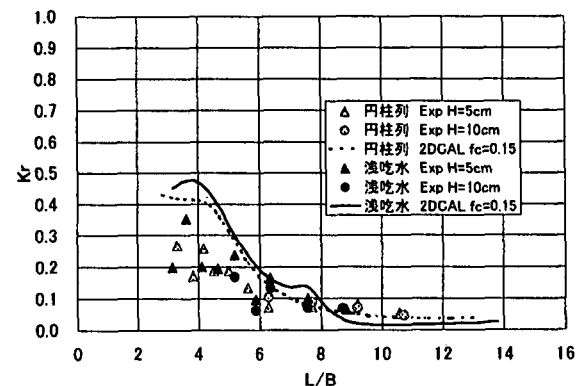


図-7 側方版の有無による比較: 反射波高比 K_r

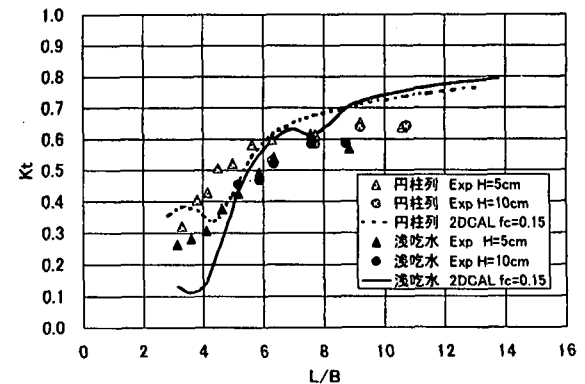


図-8 側方版の有無による比較: 透過波高比 K_t

ている。また、この差は短周期側の方が大きくなることがわかる。これは、浅吃水型模型の鉛直方向の固有振動周期が短周期側にあるために、短周期側でスラミング現象が効果的に生じてエネルギーが逸散され、 K_t が低くなると考えられる。

エネルギー逸散率については、図-6の基本形模型と図-9の浅吃水型模型を比較すると、浅吃水型模型の方が高いことがわかる。

(4) 側方版吃水の違いによる比較

側方部材の吃水の違いによる影響を検討するために側方部材に吃水の浅い浅吃水型模型と浅吃水型模型の約1.7倍の吃水を持つ深吃水型模型の結果について比較する。

図-10の K_r は短周期側では深吃水型模型の方が高くなっているが、これは前面の吃水の差によるものと考えられる。両堤体構造とも $K_r=0.3$ 以下と全体的に低い値である。

図-11の K_t は長周期側では浅吃水型模型の方が小さくなっているが、それ以外の L/B では有意な差は見られない。

図-12より両者のエネルギー逸散率は、 K_t に差が見られる長周期側以外では差はほとんど見られない。

(5) 前面版の吃水の違いによる比較

堤体前面の側方部材の吃水の影響を検討するために図-13～15には、深吃水型模型から堤体前面の吃

水だけを浅くした前後異吃水型模型と深吃水型模型の結果の比較したものを示す。

図-13の K_r は、短周期側で前後異吃水型模型の方が小さくなっていることがわかる。これは、両者の鉛直方向固有振動周期がそれほど異なるため、前面版の吃水の差によると考えられる。

図-14の K_t は、両堤体とも有意な差は見られないが、全体的に深吃水型模型の方が低い傾向にある。

図-15のエネルギー逸散率は、両堤体とも有意な差は見られない。深吃水型模型でも K_r は低いので構造の安定性などから考えて深吃水型模型の方が良いと言える。

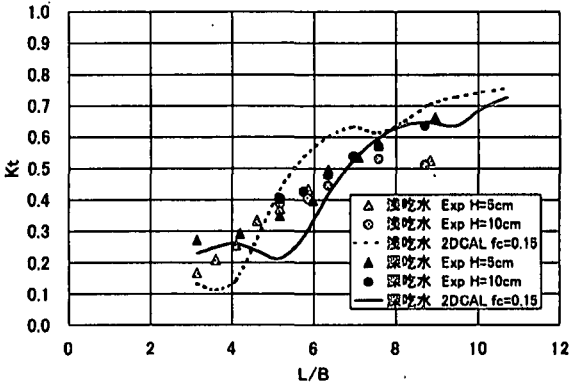


図-11 吃水の違いによる比較:透過波高比 K_t

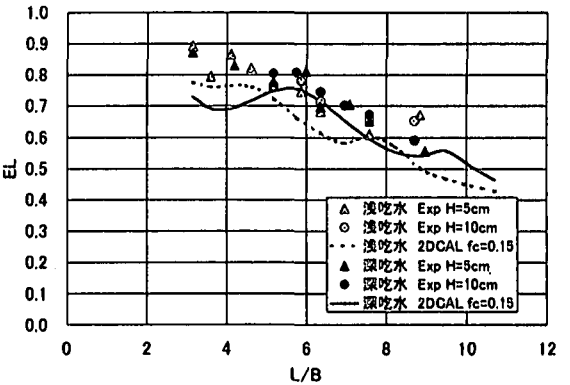


図-12 吃水の違いによる比較:エネルギー逸散率EL

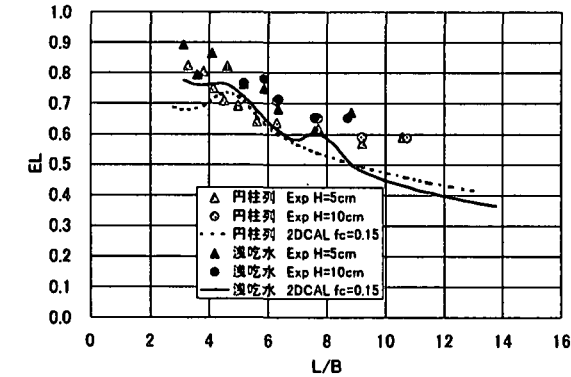


図-9 側方版の有無による比較:エネルギー逸散率EL

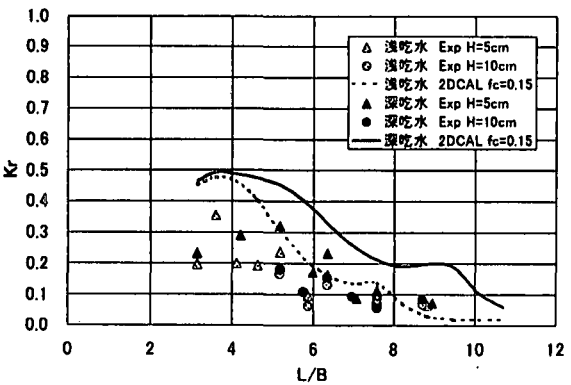


図-10 吃水の違いによる比較:反射波高比 K_r

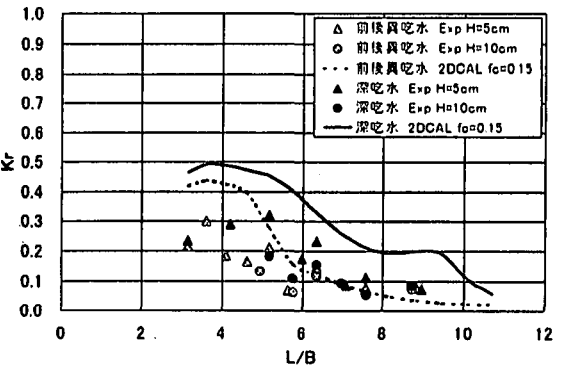


図-13 前面版の吃水の違いによる比較:反射波高比 K_r

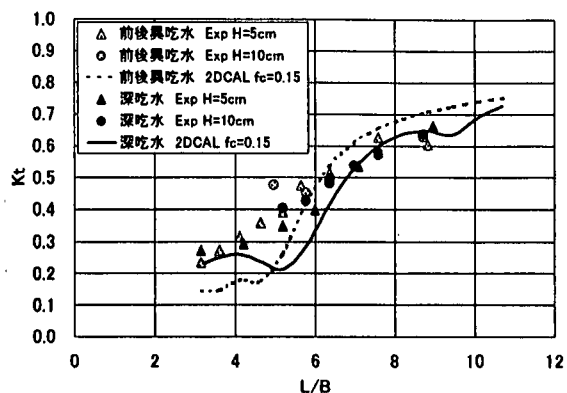


図-14 前面版の吃水の違いによる比較:透過波高比 K_t

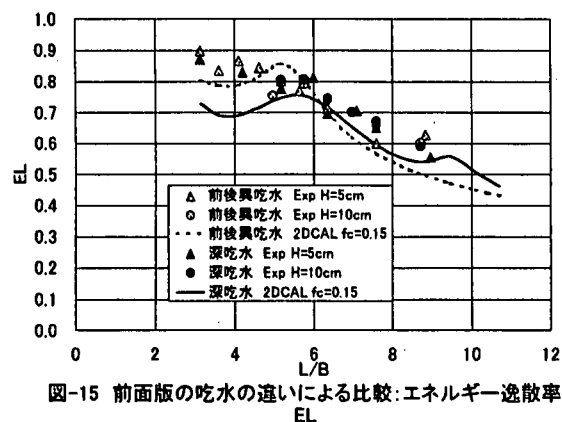


図-15 前面版の吃水の違いによる比較:エネルギー逸散率EL

4. 結語

(1) 側方版の吃水深を深くして深吃水型浮体にする
と基本型浮体に比較して有意に透過波を低減でき
る。このときの反射波は比較的低い状態にあり、こ
のような傾向は、遊水室内でのスラミング現象の増
大により、逸散が増加することに起因すると考えら
れる。

(2) 側方版を前後異吃水としても、反射波高比 K_r は
深吃水型浮体のそれと有意な差はなく、逆に透過波
高比 K_t は増大するため、安定性なども勘案して、全
対的には、側方版を前後共に深吃水にする方が良い。

(3) 本研究で用いた側方版を鉛直版に変えた3種類
の堤体では、いずれも基本型浮体に比較すると、透
過波の制御効果が改善できる。

参考文献

- 1) 中村孝幸, 加藤健一, 河野 徹, 上村 稔: スラミ
ング現象を利用した浮防波堤の波浪制御効果について,
海洋開発論文集, 第14巻, pp.311-316, 1998.
- 2) 中村孝幸, 井出善彦: 減衰波中における浮体の動揺理
論とその適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第44
巻, pp.856-860, 1997.
- 3) 中村孝幸: 配列構造物と波の平面的な干渉, 水工学に
関する夏期研修会講義集, ppB2-1-B2-20, 1997.
- 4) 中村孝幸, 小野正順, 長田和久: 波向きを考慮した堤
体列まわりの平面的な波変形の評価法について, 海岸
工学論文集, 第40巻, pp.620-630, 1990