

傾斜版列型杭式防波堤の波浪制御効果に及ぼす 上部工の影響について

INFLUENCE OF A SUPERSTRUCTURE ON THE PERFORMANCE OF A PILE-SUPPORTED BREAKWATER WITH DISSIPATIVE FRONT WALLS

中村孝幸¹・高木伸雄²・中山哲蔵³・河野徹⁴・森田嘉満⁵・菊地一郎⁶

Takayuki NAKAMURA, Nobuo TAKAKI, Akiyoshi NAKAYAMA, Tohru KOHNO,
Yoshimitsu MORITA and Ichiro KIKUCHI

- 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 愛媛県松山市文京町3番)
- 2 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 茨城県鹿島郡波崎町海老台)
- 3 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 茨城県鹿島郡波崎町海老台)
- 4 正会員 復建調査設計(株) 沿岸開発部長 (〒852-8041 広島県広島市東区光町2-10-1)
- 5 正会員 オリエンタル建設(株) 大阪支店工務部長 (〒530-0012 大阪市北区芝田2-7-18)
- 6 学生会員 愛媛大学大学院 工学研究科 環境建設工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

In order to mitigate secondary effects caused by high reflection waves from a conventional curtain-walled breakwater, a new type of breakwater consisting of two different walls was proposed. One wall is an impermeable curtain wall and located on the shore side of the breakwater. The other is consisted of an array of inclined plates with the same gap and located on the offshore side. For the practical application of the new breakwater, the influence of a super structure on the performance was examined extensively. Furthermore, presuming the sea area with significant tidal difference such as the Seto Inland Sea, effect of water levels on the performance of the breakwater was also clarified. The dissipation mechanism used here is to enhance the generation of vortex flows from the plate-array front wall. By using the Helmholtz mode wave resonance between the two walls, enhancement of the vortex flow is realized.

Key Words: Pile-supported breakwater, doubly walled breakwater, dissipative front wall, low wave reflection and transmission, super-structure effect, tidal difference effect

1. 序論

既に著者ら¹⁾は、反射波災害の防止を目的として異吃水の二重式カーテン防波堤を提案し、その効果やエネルギー逸散機構などについて明らかにしてきた。また、瀬戸内海のように潮位差の大きい海域でも効果的に反射波が低減できるように、前面カーテンに代わり傾斜版を用いる二重式防波堤を提案し、その効果などを確認してきた²⁾。しかし、現地へ適用される堤体は上部工、支持杭などが存在しており、これまでにこうした構造部材の波浪制御効果に及ぼす影響については十分に知られていない。

本研究では、このような二重式防波堤を潮位差の大きい瀬戸内海へ施工することを前提にして、図-1に示すような現地構造物を比較的忠実に再現した模型を採用して、消波効果などを検討する。具体的には、反射率・透過率などに着目し、上部工の構造形式や潮位により、これらがどのように変化するかを明らかにする。この際、上部工や支持杭のない原

理模型や、単一カーテン防波堤、二重式カーテン防波堤についても比較実験を行い、それらの結果についても比較検討する。

2. 原理模型に対する結果

ここでは、後述する傾斜版列型防波堤において上部工や支持杭のない原理模型に対する結果を紹介する。

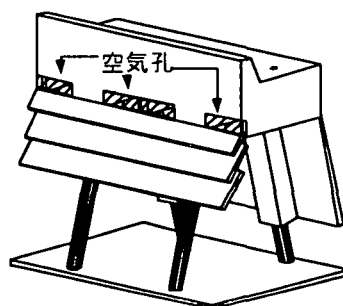


図-1 現地堤体の概観図

(1) 実験装置および実験方法

a) 実験装置

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。実験に用いた模型堤体の断面を図-2に示す。この模型は現地を想定した模型(図-1)に対して上部工や支持杭がなく、さらに水面上に傾斜版を一枚追加したものである。傾斜版の角度は、消波機構として利用しているピストンモードの波浪共振が保持されるように、また、施工の容易さを考慮して、上向き50度とした。この模型の縮尺は現地の1/12程度であり、後述する現地模型の1.5倍である。このとき、堤体幅Bは現地模型の上部工幅を考慮して33cm、現地量で4.0mとした。

b) 実験条件

設置水深は52.5cm(現地量6.3mの1/12)と一定にし、波高Hが6cm(0.7m)、10cm(1.3m)、周期Tが0.70~1.30sec(2.0~4.5sec)の10種類を採用した。なお、()の量はすべて現地量を示す。

(2) 反射波および透過波の特性

図-3は原理模型での反射率Cr、図-4は透過率Ct、図-5は原理模型のエネルギー逸散率ELの周期T(現地換算量)による変化を、それぞれ示す。なお、図中には比較のため減衰波理論¹⁾による算定結果も併せ示す。このとき、減衰波理論の算定に必要な線形抵抗係数fcは、0.15~0.25まで変化させてある。

まず、反射率Crの実験結果に着目すると、ある特定の周期で一旦低減することがわかる。そして、図-5でも同様の周期でエネルギー逸散率が極大となっており、これらのことから、従来の研究で指摘されているように¹⁾、遊水室内でピストンモードの波浪共振が発生し、前面傾斜版間やその下部より強い渦流れが発生し、結果的に波エネルギーが効果的に逸散されると考えられる。

次に、波高Hの効果に着目すると、H=1.3mの結果は、反射率の一旦低下する周期条件がH=0.7mのときよりやや短周期側に移行する傾向が認められる。これは、高波高になると堤体前後の傾斜角の存在により、波峰時に遊水室幅が狭くなるなどの影響によると考えられるが定かではない。一方、透過率Ctについては、波高による差異はほとんど見られない。

次に、実験結果と算定結果を比較すると、fc=0.25のときの算定結果が、最も実験結果に近い結果となっている。ただし、長周期側や短周期側では、充分な一致度は見られず、今後は渦力の非線形性の影響などを含めて、更なる検討が必要である。

そして、以下の検討では、統一した比較が行えるように、線形抵抗係数fcには0.25の値を用いることとする。

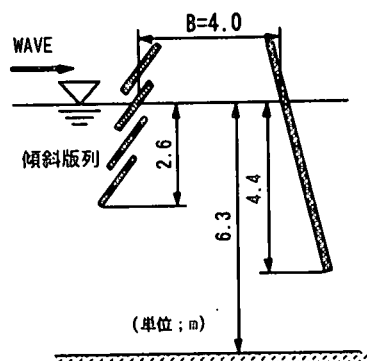


図-2 原理堤体の断面(現地換算量)

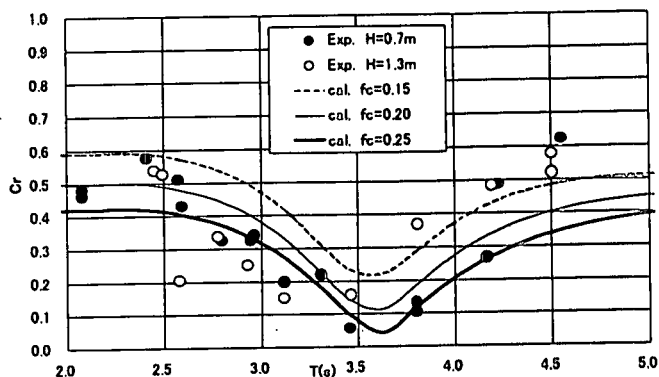


図-3 原理模型の反射率

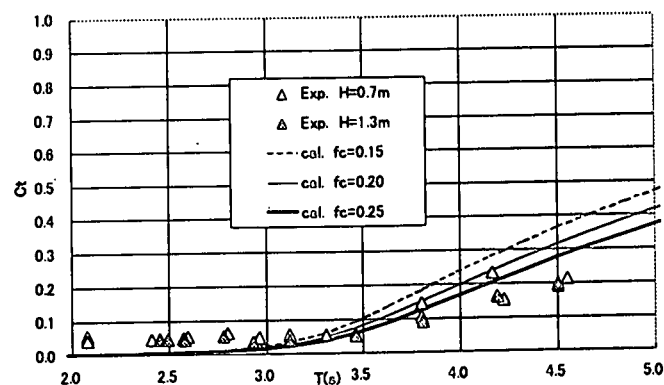


図-4 原理模型の透過率

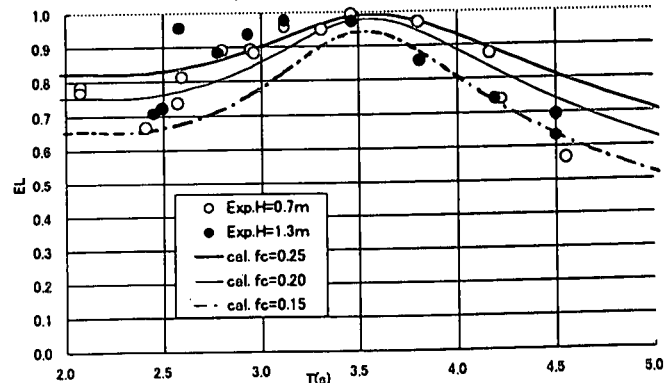


図-5 原理模型のエネルギー逸散率EL

3. 現地模型に対する結果

上部工や支持杭のない原理模型では、上述してきたように反射波および透過波の両者の低減が可能であることが判明した。しかしながら、現地への建設を想定する場合、防波堤上部の有効利用や設置を考えると上部工や支持杭が必要であり、それらの影響についても考える必要がある。以下では、上部工の構造形式や潮位による反射波および透過波の変化を検討する。

(1) 実験装置および実験方法

a) 実験装置

実験には、上記と同様の2次元造波水槽を用いた。模型堤体は図-1および図-6に示すもので、堤体前面の3枚の傾斜版、後面壁、杭そして上部工で構成されており、現地堤体を1/18縮尺模型に相当する。支持杭は構造物の安定性を考慮して、図中に示すように鉛直方向から15度傾けて設置してある。このとき、堤体は図-1、6中に斜線で示す空気孔を設けたものと設けないものの2種類とし、遊水室内でのピストンモードの波浪共振に及ぼす上部空気層の出入の容易さの影響が検討できるようにした。また、これらの模型堤体に加え、比較実験のため、傾斜版を取り除いた単一カーテン防波堤の模型も用いた。

b) 実験条件

模型堤体の設置水深は35cm（現地換算量6.3m）、波高Hが4cm(0.7m)、7cm(1.3m)、周期Tが0.70～1.30sec（2.5～6.0sec）の10種類を採用した。そして、これらの堤体を対象にして、反射率・透過率などの水理学的な特性を検討した。

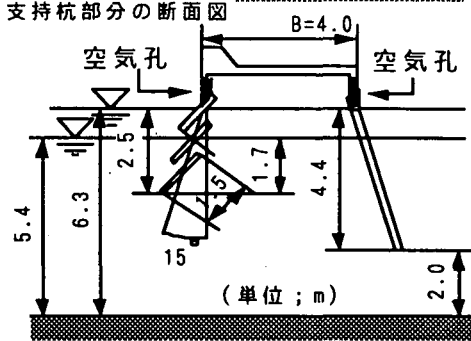
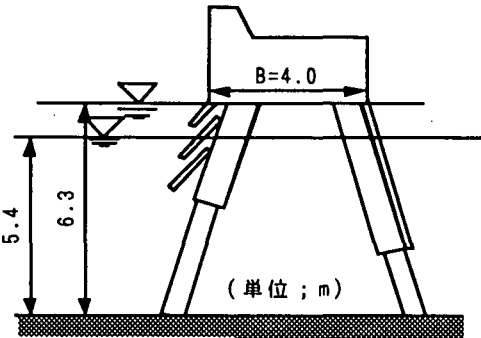


図-6 現地堤体の断面図

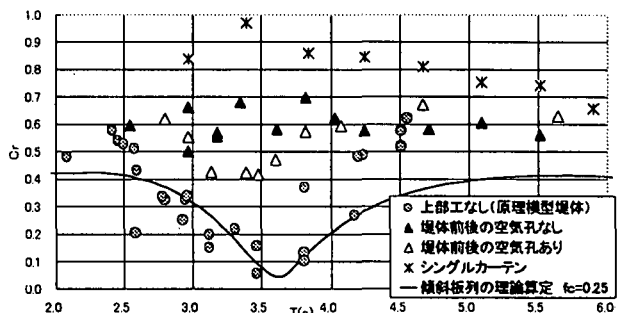


図-7 同一水深(6.3m)で構造形式の違いによる反射率(波高H=0.7m,1.3m)

(2) 上部工の影響

図-7はこの検討結果の代表例を示すもので上記した3種類の堤体および原理模型の反射率の波周期T（現地換算量）による変化を併せて示す。図中には比較のため、やはり減衰波理論による算定結果（ $f_c=0.25$ ）についても示す。

この図より、原理模型の反射率は、消波対象とした $T<4.5s$ に対して、単一カーテン防波堤のそれよりも対象とした周期全体に対して低くなることがわかる。特に、Crが極小値を示す周期（3.5s付近）では9割ほども低下することが分かる。そして、前面傾斜版列の存在による反射波低減効果は、原理堤体で最も強く、空気孔のない現地堤体で最も弱く現れることも認められる。

空気出入孔の効果に着目すると、それを設けると、反射率は原理模型ほどには低下しないものの、一旦極小値を示す変化になるなど、ある程度の反射波低減効果が認められるようになる。これは、やはり空気孔の存在により、上部空気層の出入が容易となり、遊水室内のピストンモードの波浪共振がある程度回復することによって考えられる。そして、空気出入孔を設けても、原理模型の結果ほどに反射率が低下

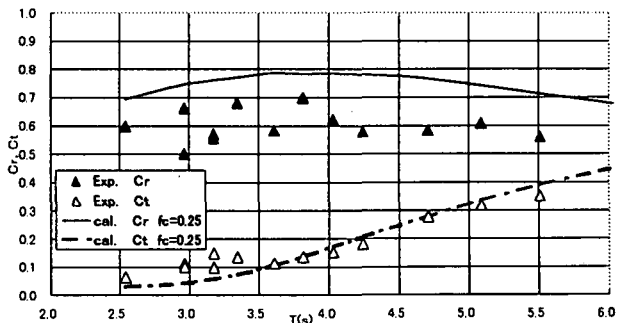


図-8 上部工があるときの反射・透過率

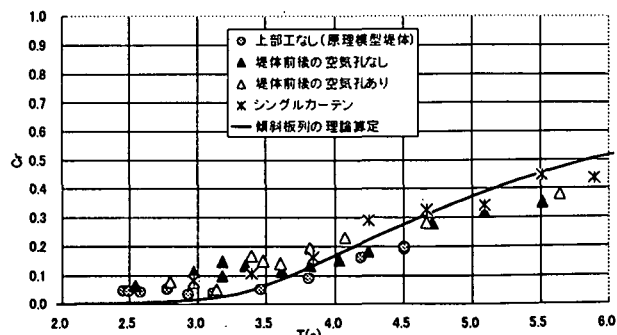


図-9 同一水深(6.3m)で構造形式の違いによる透過率

しない理由としては、上部工の存在が挙げられる。

そこで、上部工の存在の影響を理論的に検討してみた。具体的には、遊水室内の水面上に一致するように水平版を設けて、再計算を行ってみた。この水平版は、上部工を擬似的に表すものとして設置したものである。図-8はこのような検討結果を示すもので、図中には空気出入孔のないときの実験結果も併せ示す。この図中の理論算定結果と水平版のない前出の理論算定結果の比較から、遊水室内の水面上に一致するように水平版を設けると、特に反射率が増大することがわかる。しかしながら、透過率についてはそれほど差異がないことも認められる。そして、図中に示す実験結果と比較しても、反射・透過率ともに算定結果と定性的な傾向の一致が確認できる。このように、上部工の存在の影響は、反射率に強く現れることが明らかになった。

一方、図-9は上記した各種堤体模型の透過率を波周期による変化で示す。この図より、透過率は、各種堤体について有意な差は認められず、これは透過波が主に後面カーテン壁により左右されるためと考えられる。

(3)潮位による影響

a) 反射率・透過率

次に、現地堤体形式で反射波低減効果がある程度認められた、前後面に空気出入孔を設けた堤体を対象にして、水位に伴う反射・透過率の変化を水理実験により検討した。この検討結果の代表例を示すのが、図-10であり、やはり反射率の現地周期による変化を示す。この図より、潮位が低下すると、反射率は、特定の周期条件下ではあるが、その絶対値が順次減少することがわかる。そして、低潮位に相当する条件下では、反射率は図-3に示す原理模型のそれと同程度に低減されていることも確認できる。

このような検討では、前後壁の吃水深のみならず上部工のクリアランスも変化することになるが、Crの極小となる周期が多少ながら長周期側に移行することを考えると、反射率の絶対値が低下する原因としては、上部工のクリアランスの影響がより強いと推測される。

反射率に及ぼす入射波高の差異に着目すると、水深5.9mのとき、波高0.7mと1.3mでは反射率の極小値に2割程度の差が見られる。これは0.7mの波では上部工に接触しないため遊水室内でピストンモードの波浪運動が妨げられないが、波高1.3mの波では上部工に妨げられ反射率に差が生じたと考えられ、やはり上部工の影響と判断される。

次に図-11に示す透過率に着目すると、潮位が順次低下すると、透過率は後面カーテン壁の吃水深が浅くなるため増加する傾向が認められる。特に、この傾向は、長周期の条件になると著しい。そして、反射率の設置水深による変化が顕著であった $T=3.5s$ 付近に着目すると、透過率にはそれほど水位による影響が見られず、これはやはり透過波には上部工の

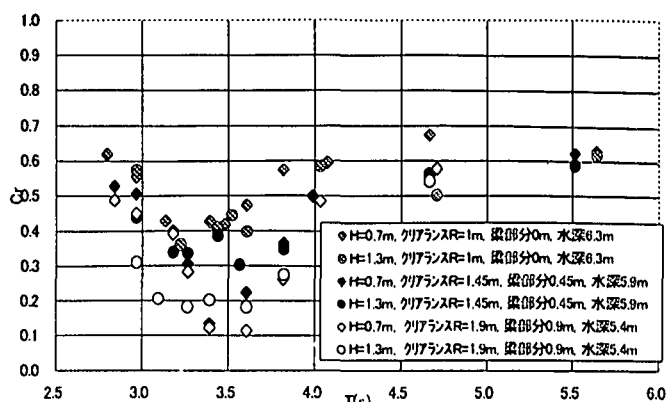


図-10 潮位変化による反射率の比較

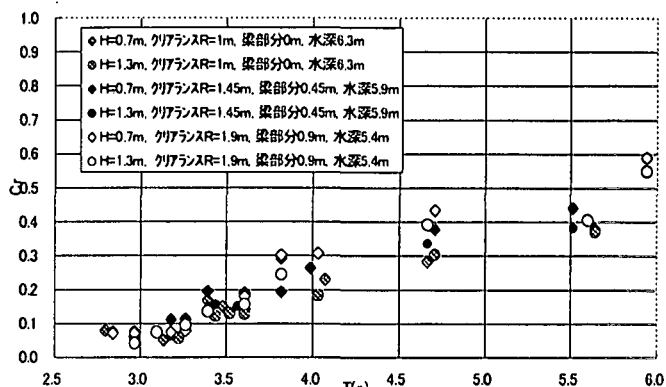


図-11 潮位変化による透過率の比較

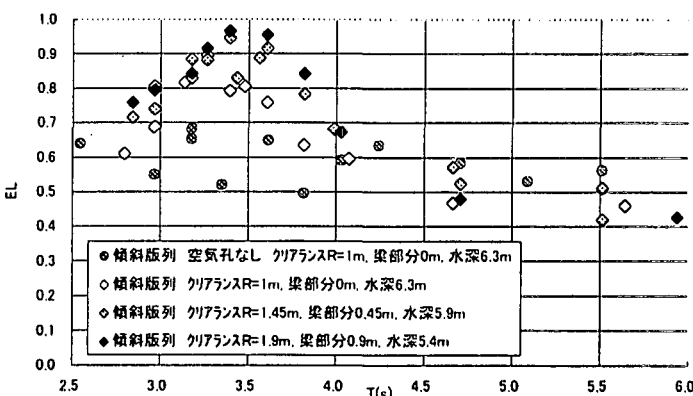


図-12 潮位変化によるエネルギー逸散率ELの比較

存在がほとんど影響しないことによると考えられる。

b) エネルギー逸散率

図-12は、潮位を変化させたときのエネルギー逸散率ELの実験結果を示す。この図から、逸散率が最も大きくなるのは、低潮位のことであることが分かる。このことから上部工と水面のクリアランスが大きいほど、遊水室内で水面が上下に動きやすくなり、ピストンモードの波浪運動が励起しやすくなるため、エネルギーの逸散効果は増大することが確認できる。また、空気出入孔を設けることにより、エネルギー逸散率は1~2割程度増大することも認められる。

このように、傾斜板列型二重式防波堤では、反射波低減効果に及ぼす上部工の存在の影響は非常に強く、より効果的に反射波を低減させるためには、遊水室内のクリアランスを入射波高程度以上に設定す

ることが望ましいといえる。

3. 結語

(1)上部工を有する傾斜版列型二重式防波堤では、減勢機構として、遊水室内でのピストンモードの波浪運動を利用することから、低減効果に及ぼす上部工の影響は非常に強く、空気の入りを阻害しないようにするため空気孔を設けることで2割程度の反射率の改善がなされる。(2)さらに、上部工のクリアランスを大きくとるなどの工夫を行うと、反射波の低減効果は大幅に改善できる。(3)透過率については、後面カーテン壁の吃水深によりほぼ決定される。

参考文献

- 1) 中村孝幸, 神川裕美: 透過波と反射波の低減を可能にする二重式カーテン防波堤について, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 786~790, 2000.
- 2) 中村孝幸, 神川裕美, 河野徹, 楨本一徳: 傾斜版列を前面壁とする二重式カーテン防波堤の波浪制御効果について, 海洋開発論文集, 第15巻, pp.13~18, 1999.
- 3) 中村孝幸, 神川裕美: 傾斜版列型二重式防波堤の構造形式と波浪制御効果について, 海洋開発論文集, 第16巻, pp.31~34, 2000.
- 4) 中村孝幸, 井出喜彦: 波の逸散現象を利用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, 第13巻, pp177~182, 1997.