

# 浮防波堤の消波効果に及ぼす遊水室型低反射工 と没水平版の効果について

## PERFORMANCE OF A FLOATING BREAKWATER WITH WATER CHAMBERS OF VERTICAL BARRIER TYPE AND SUBMERGED HORIZONTAL PLATES

中村孝幸<sup>1</sup>・浅井威人<sup>2</sup>  
Takayuki NAKAMURA, Taketo ASAI

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>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)

Pontoon-type floating breakwaters have been adopted everywhere in Japan. Especially for improving the ability of reducing transmitted waves for comparatively long waves by the floating breakwater, various studies have been carried out. In this study, to improve the high reflective feature of the pontoon breakwater for comparatively short waves and also to expand the effective range of wave period for the reduction of transmitted waves, we apply the two additional devices to the pontoon breakwater; vertical-barrier-type reflection dissipaters and submerged horizontal plates. The former device is intended to reduce reflected waves from the pontoon for comparatively short waves. The latter is to expand the effective range of wave period. There are two dissipation mechanisms presumed in this model. One is to enhance vortex flows around an outside vertical barrier by the use of piston-mode wave resonance in the water chamber. The other is effective usage of radiated waves by the oscillating floating body, especially for comparatively long waves.

**Key Words:** floating breakwater, vertical-barrier-type dissipater, submerged horizontal plate, low reflection, low transmission, dissipative-type floating breakwater

### 1. はじめに

従来のポンツーン形式の浮防波堤では、主に堤体の流体力学的な慣性効果を利用して来襲波を反射させることで透過波を低減している。このため透過波が低減可能な周期条件下では、逆に反射波は大きく、堤体の反射側の海域では設置以前よりも波高はかなり増大することになる。またこのような形式の浮防波堤では、長周期波に対して十分な波浪制御効果が期待できず、専ら比較的短周期の波の制御を目的として利用されている<sup>1)</sup>。

本研究ではポンツーン形式の浮防波堤で問題と考えられる高反射性および長周期波に対する波浪制御効果の改善工法の究明を目的としている。このとき、具体的な方策としては、図-1に示すように①ポンツーンの前後面に遊水室をもつ二重垂下版構造の低反射工を設け、浮体中央側垂下版の吃水深を本体のそれより深くすることで透過波を低減するとともに遊水室内のピストンモード波動運動に起因する外側垂下版下端部での渦流れ等の発生により反射波を低

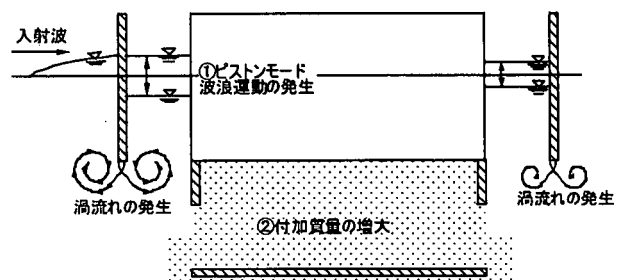


図-1 波浪制御効果の改善の機構

減する方法、②これに加えてさらに没水平版も設け、付加質量の増加などにより動揺特性を変化させ、長周期波に対する透過波の制御効果を改善する方法を採用してみた。

### 2. 理論的検討

#### (1) 検討に用いた断面形状

ここでは、前出した低減機構をまず理論的に検討した。採用した断面は、図-2に示す、①ポンツーン形式の浮防波堤、②堤体前後面に垂下版で構成され

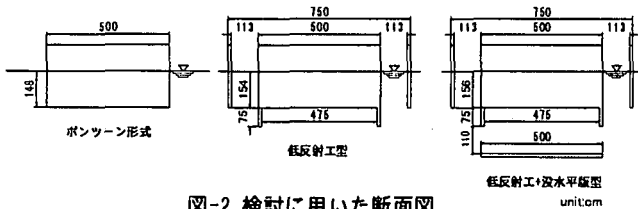


図-2 検討に用いた断面図

表-1 浮体の諸量

	ポンツーン形式	低反射工型	低反射工+没水平版型
長さ $l_b$	60m	60m	60m
幅 $B$	5.0m	5.0m	5.0m
吃水 $d$	1.48m	1.54m	1.56m
総重量 $W_B$	4351kN	4864kN	5301kN

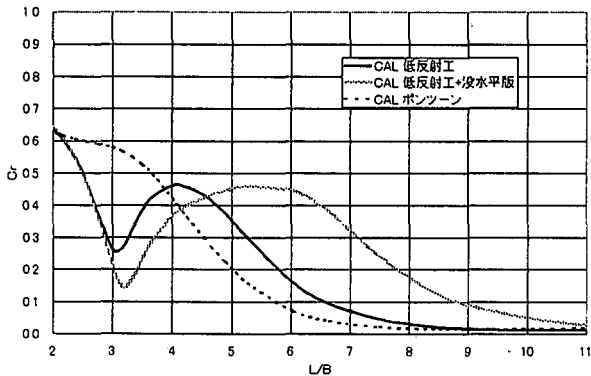


図-3 低反射工, 低反射工+没水平版とポンツーンの反射率Crの比較

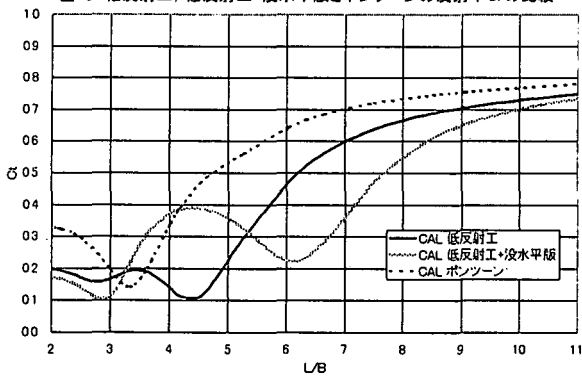


図-4 低反射工, 低反射工+没水平版とポンツーンの透過率Ctの比較

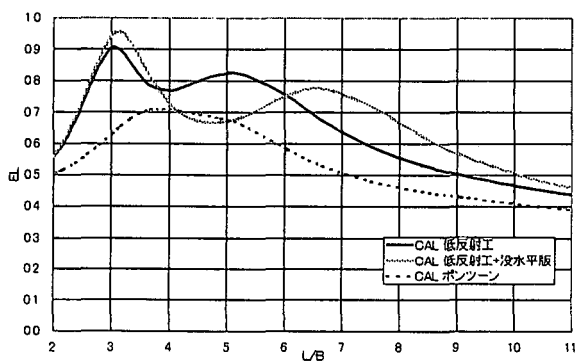


図-5 低反射工, 低反射工+没水平版とポンツーンのエネルギー逸散率ELの比較

る遊水室型の低反射工を設けた堤体(以下この断面を低反射工型と呼ぶ), ③垂下版式低反射工に加えて没水平版をさらに設けた堤体(以下この断面を低反射工+没水平版型と呼ぶ)の3種類である。このとき, 理論解析法としては, 渦流れの発生等によるエネルギー逸散が近似的に考慮できる減衰波理論<sup>2)</sup>を用いた。ここで線形抵抗係数 $f_c$ は, 著者らの過去の研究<sup>2)</sup>に準じて $f_c=0.15$ とした。浮体の係留には, カテナリー係留を想定し, その理論解析には静的な

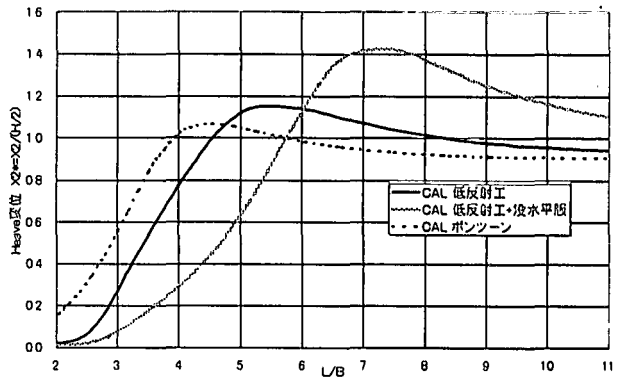


図-6 低反射工, 低反射工+没水平版とポンツーンのHeave変位の比較

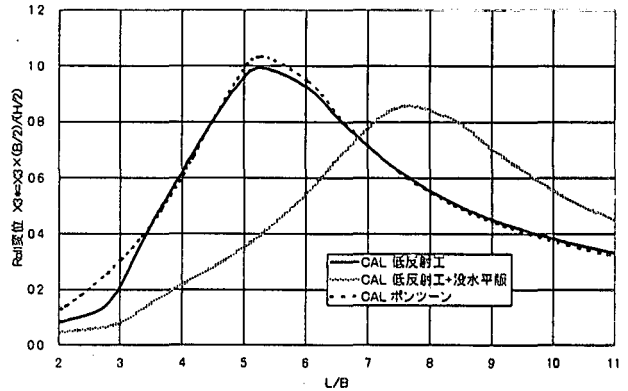


図-7 低反射工, 低反射工+没水平版とポンツーンのRoll変位の比較

カテナリー理論を用いた。また, 遊水室型低反射工の寸法等は, ポンツーン形式の浮防波堤で反射率が高い比較的短周期の波を対象にして, 従来の固定式の垂下版式低反射工の設計法<sup>3)</sup>を用いて決定しており, 堤体側垂下版の吃水深をより深くする必要から下駄状の突起を設けた。没水平版の寸法効果については不明のため, 原則的にポンツーンの幅と同一にし, 設置位置については各種に変化させて, その効果を理論的に検討した。このとき, 算定で想定した諸量を表-1に示す。

## (2)算定結果

図-3~5は, 遊水室型反射波低減工の有無による比較および没水平版の有無による比較を行うため, ①ポンツーン, ②低反射工型, ③低反射工+没水平版型による波浪制御効果(反射・透過率など)の算定結果を併せて示す。横軸は周期の無次元量である波長 $L$ と堤体幅 $B$ の比 $L/B$ を用いた。

図-3より反射率 $Cr$ は低反射工の効果によって,  $L/B=3$ 付近で低反射型および低反射工+没水平版型がポンツーン形式に比べ, 低減されているのがわかる。この原因は, 図-5に示すエネルギー逸散率 $EL (=1-Cr^2-Ct^2)$ が $L/B=3$ 付近で高い値を示すことから, 著者ら<sup>3)</sup>により指摘されている遊水室内でのピストンモード波浪運動により外側垂下版の下端部で渦流れが生じ, 波エネルギーが逸散されていると考えられる。

図-4より, 透過率 $Ct$ は,  $L/B=3$ 付近で低反射型および低反射工+没水平版型がポンツーン形式に比べ, 低減されている。やはりピストンモード波浪共振に

伴う逸散現象により低減されたものと考えられる。またCtは低反射工型でL/B=4.5付近、低反射工+没水平版型ではL/B=6付近においても一旦極小値を示す。これは後述するように、鉛直動揺量Heaveおよび回転動揺量Rollが極大となる共振点が付加構造体の影響により長周期側に移行することから、HeaveおよびRoll共振に伴う逸散エネルギーの増加および発散波の位相干渉によるものと考えられる。

図-6, 7は、各種浮体の鉛直動揺量および回転動揺量を示す。ポンツーンに低反射工を付加することにより鉛直動揺量Heaveおよび回転動揺量Rollの動揺共振点は長周期側に移行することが分かる。そして、付加構造体の影響により、Roll変位は低下するものの、Heave変位は逆に増加する傾向なども見られる。このことから上述したように、長周期波に対する透過波の制御効果が向上するものと推測される。

### 3. 低反射工と没水平版を付加した改善工法

ここでは、前出の検討の結果、有効であることが判明した、1) 低反射工+没水平版型、および比較のための2) 低反射工型、3) 内側垂下版型、4) 低反射工+深水平板型、5) 同吃水低反射工+没水平版型について実験結果と理論算定結果の両者から波浪制御効果を比較検討する。

#### (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。

波高計は入射波測定用に1台、反射波測定用に2台、

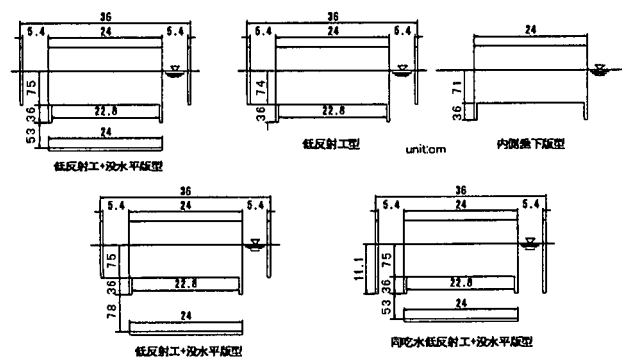


図-8 模型堤体の断面 (1/20scale)

表-2 低反射工+没水平板型の動的諸量

長さ	$l_B$	98.6cm
幅	B	24.0cm
高さ	D	12.0cm
吃水	d	7.5cm
ポンツーン部分の重量		155.8N
側版の重量		9.8N
水平板の重量		19.6N
総重量	$W_B$	195.0N
重心位置(水面より)	$Z_G$	3.3cm
慣性半径	$R_y$	10.3cm

透過波測定用に1台を使用した。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、鉛直方向の変位測定用にそれぞれ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、間接的に動揺量を測定した。

#### (b) 模型浮体

実験に用いた模型は、現地量の1/20に相当する。

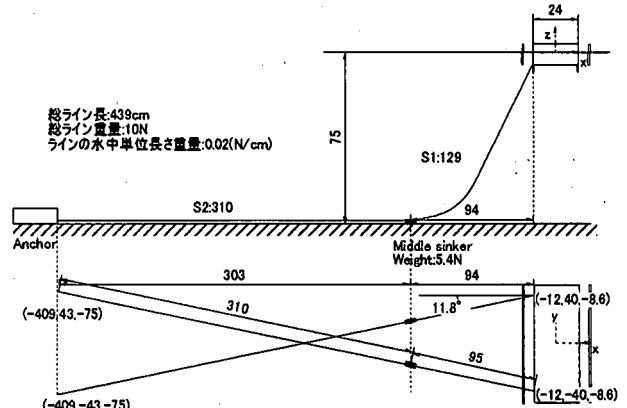


図-9 保留状況

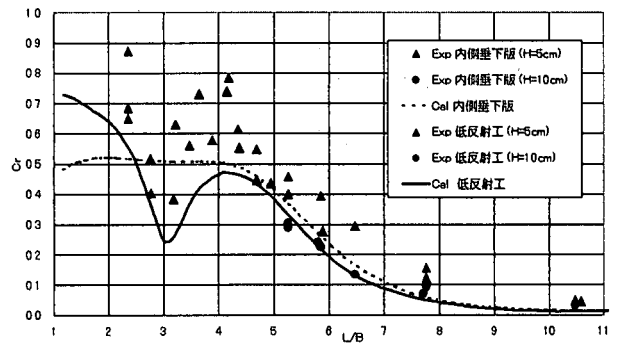


図-10 低反射工の有無による比較: 反射率  $C_r$

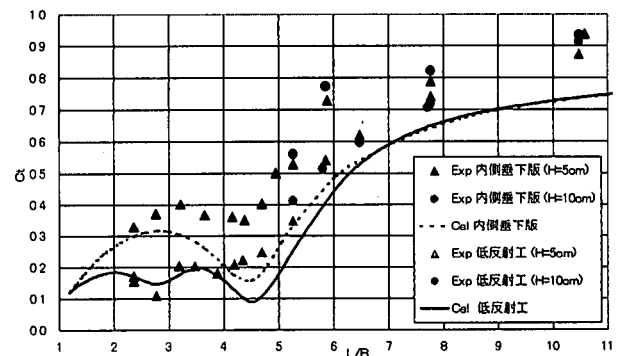


図-11 低反射工の有無による比較: 透過率  $C_t$

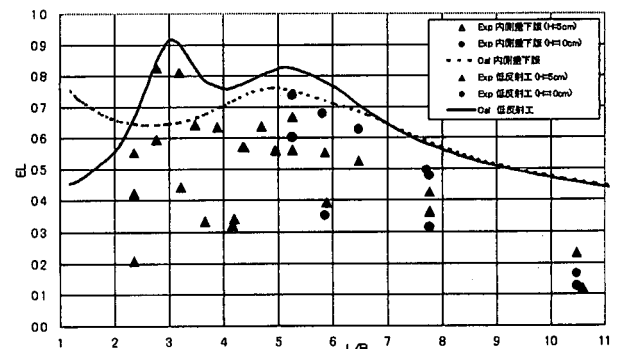


図-12 低反射工の有無による比較: エネルギー逸散率 EL

堤体長は水槽幅とほぼ等しい98.6cmである。用いた各種の模型堤体を図-8に示す。表-2には低反射工+没水平板型を代表例としてその動的諸量を示す。

### (c) 係留ライン

堤体の係留には市販のチェーンを用い、係留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。この係留状況を図-9に示す。係留ライン長は439cm、係留ラインの水中重量は0.02N/cmである。また、ラインの反力特性を強化する目的から中間シンカーを設置した。中間シンカーは水中重量で5.4Nである。

### (d) 実験条件

模型堤体に作用させた入射波は、波高Hが5, 10cmの2種類で周期Tが0.6~1.3sの範囲の16~21種類である。このときの水深hは75cmと一定とした。

## (2) 実験結果と考察

以下では各種の堤体の実験結果について紹介するが周期の無次元量は統一して波長堤体幅比L/Bを用いる。また、予測法の妥当性を検討するため減衰波理論による算定結果も併せて示した。

### (a) 低反射工の効果

図-10~12は低反射工の有効性の検討を行うため、低反射工のない内側垂下版型と低反射工型による波浪制御効果の結果を併せて示す。

図-10・11より低反射工型のCr, Ctは、実験結果と算定結果の両者においてL/B=3付近で一旦低下する傾向が見られる。これは、前述した低反射工を設けることでピストンモード共振に伴うエネルギー逸散が生じることによるものである。図-12に示すエネルギー逸散率ELは、L/B=3付近でピストンモード共振に相当する周期帯とL/B=4.5付近で動揺共振によりCtが一旦低下する周期帯で極大になることが確

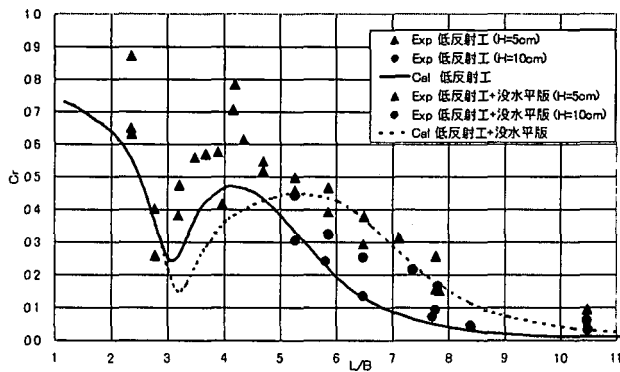


図-13 没水平板の効果: 反射率 Cr

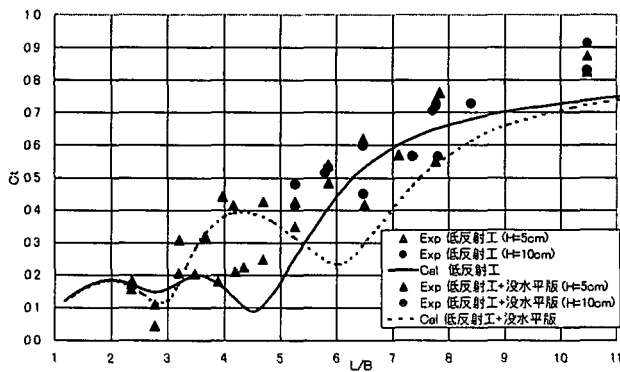


図-14 没水平板の効果: 透過率 Ct

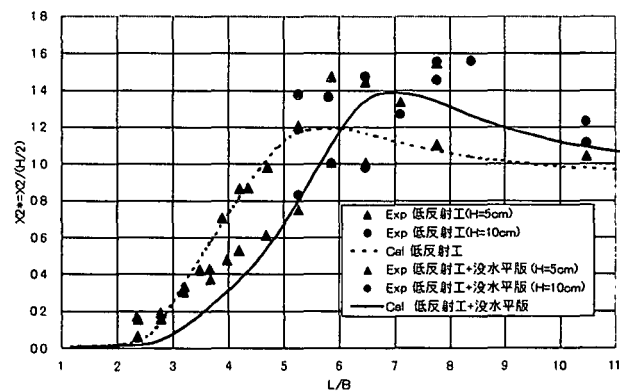


図-15 没水平板の効果: Heave変位

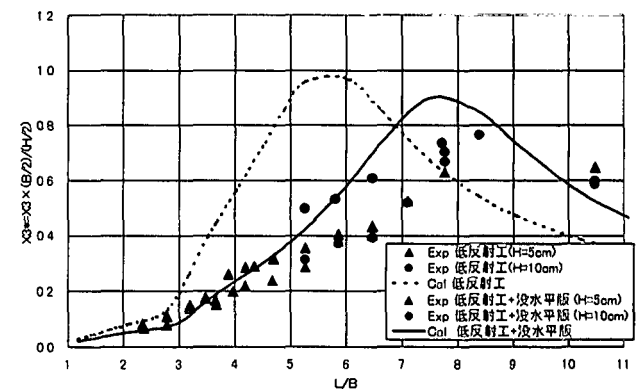


図-16 没水平板の効果: Roll変位

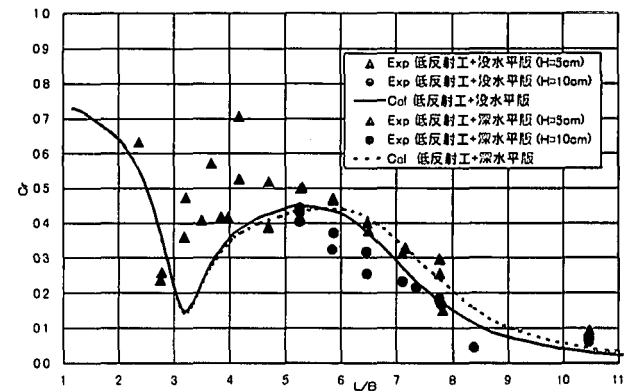


図-17 没水平板の設置位置の効果: 反射率 Cr

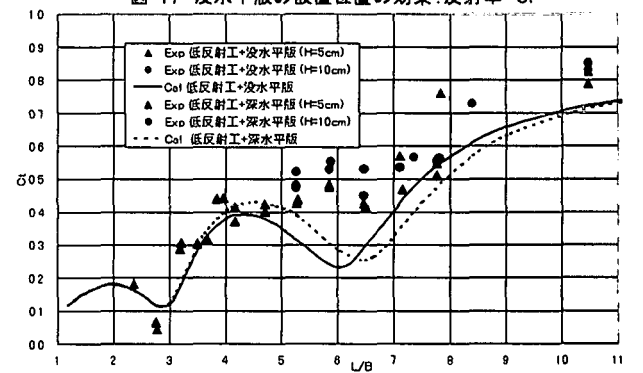


図-18 没水平板の設置位置の効果: 透過率 Ct

周期帯の拡大につながる事が分かる。

(b)低反射工付き浮体における没水平板の効果

図-13, 14は低反射工付き浮体における没水平板の有効性を検討するため、低反射工型と低反射工+没水平板型による波浪制御効果の結果を併せて示す。

Ctに着目すると、没水平板を取り付けることにより、低反射工のみの場合においてCtが急増していたL/B>5の条件に対して、緩やかに増加する傾向を示すようになり、透過波の低減できる周期帯が有意に拡大できることが分かる。このような傾向は、理論的にも確認できる。これは、図-15, 16に示す動揺特性で、Heave, Rollの共振点が長周期側に移行することによるもので、それらの動揺共振に伴う逸散エネルギーの増加および動揺発散波による影響と考えられる。

また、没水平板を設けても、Crは比較的低いままであり、この場合でも低反射工は有効に作用していることが分かる。

図-16のRollの実験結果と理論算定結果とを比較すると、実験結果は算定結果より長周期側で極大値を示す傾向が見られ、絶対値についても低い値を示す。これらの相違の原因は実験解析において水平動揺量Swayと回転動揺量Rollの分解精度が十分でなかったことやRoll動揺に伴う逸散現象が十分に評価できていないことなどが原因と考えられるが定かでない。

(c)没水平板の設置位置の効果

図-17, 18は低反射工と没水平板を有する堤体において没水平板の設置位置を深くしたときの効果を主に理論的に検討したもので、低反射工+没水平板型と水平板+深水平板型による波浪制御効果の結果を併せて示す。

Ctに着目すると水平板の位置を深くすると有効周期帯がさらに長周期側に拡大することが分かる。これは、図-19, 20に示すようにHeave, Rollの共振点が水平板の設置位置を深くすることで付加質量が増加し、長周期側に移行するためと推測される。

しかしながら、設置位置を深くすると短周期側でのCtの絶対値は増加するなど副作用的な面も見られ、適切な位置に没水平板を設置する必要がある。

一方、Crは没水平板の位置による変化がほとんど見られず、その低減機構が低反射工におけるピストンモード波浪共振によることが再確認できる。

(d)低反射工における外側鉛直版の吃水の効果

図-21~22は、低反射工と没水平板を有する堤体において低反射工の外側鉛直版の吃水を深くすることによる効果について検討したもので、低反射工+没水平板型と同吃水低反射工+没水平板型による波浪制御効果の結果を併せて示す。

この場合の特徴は、外側鉛直版の吃水深を深くすることで、ピストンモード波浪共振が長周期側で生じるようになることであり、これに伴い吃水を深く

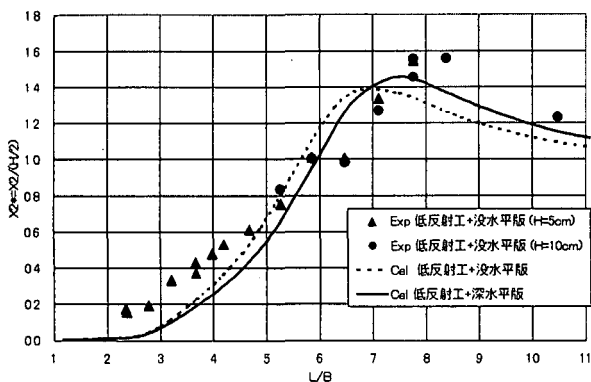


図-19 没水平板の設置位置の効果 Heave変位

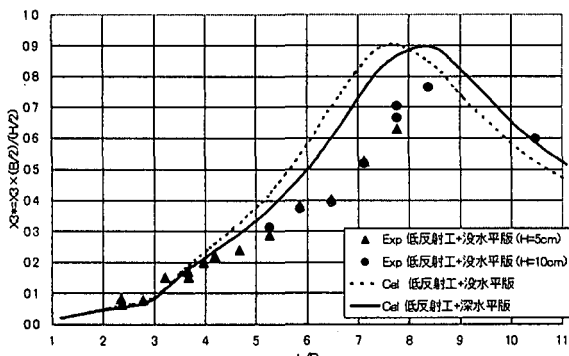


図-20 没水平板の設置位置の効果 Roll変位

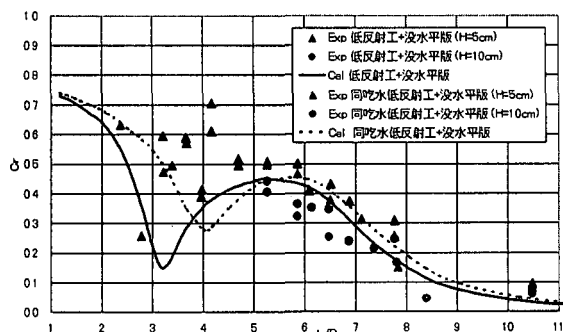


図-21 外側鉛直版の吃水の効果: 反射率 Cr

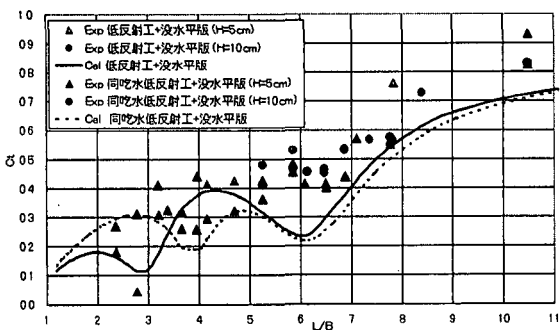


図-22 外側鉛直版の吃水の効果: 透過率 Ct

認できる。

ポンツーンに付加した内側垂下版の効果を検討するため、図-10~12の内側垂下版型と図-3~5のポンツーン形式の算定結果を比較すると、Crは、L/B=4より短周期側で内側垂下版型の方が低減されている。Ctは、一旦低下する周期帯が内側垂下版の付加によりL/B=3.5から4.5付近に移行しており、低減できる

する前の堤体に比べ、 $C_t \cdot C_r$ の低減する周期帯が長周期側に移行する。このため $C_t$ は前出の低反射工型+没水平版型および低反射工型+深水平版型と比較し、低減される周期帯が比較的広くなる傾向が認められる。このような特性は、理論的にもほぼ予測できる。

そして、 $C_r$ も比較的低いままであることから低反射工型+没水平版型や低反射工型+深水平版型より優れた構造形式と判定できる。また、低反射工のみの場合と比較すると、この堤体では短周期側で $C_t$ の絶対値が多少高いものの、 $L/B=7$ 付近まで $C_t$ が0.5以下程度になるなど長周期波用の浮防波堤の断面として最良と判定される。

#### 4. 結語

(1) 遊水室型反射波低減工を従来のポンツーン形式の浮防波堤に付加すると、反射波のみならず比較的短周期の波に対する透過波を低減できるなど有意な改善工法といえる。

(2) 低反射工に加えて没水平版を設けると、反射波は比較的低いままで鉛直および回転動揺の共振点が長周期に移行するため透過波の制御周期帯が長周期に拡大できる。そして、没水平版の設置位置を深くすると、このような傾向はさらに顕著になるが、逆に短周期の波に対する透過率が増加するなどの副作

用も見られるようになる。

(3) 本研究で検討した中では、低反射工として外側鉛直版の吃水深を本体側に設けた鉛直版と同吃水程度とし、没水平版を設けた堤体が反射・透過波の制御効果について最も優れている。このとき、回転動揺変位についてもポンツーン形式の浮防波堤に比較して有意に低減できる。

(4) 垂下版式低反射工や没水平版をポンツーン形式の浮防波堤に付加するときの効果は、概略的に減衰波理論により推定できる。

#### 参考文献

- 1) 神瀬哲：漁港における浮防波堤の現状と課題，浮防波堤の現状と課題，社団法人国際海洋科学技術協会，pp. 3-8，1987.
- 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，神川裕美，河野徹，槇本一徳：透過波と反射波の低減を可能にするカーテン防波堤の構造形式について，海岸工学論文集，第46巻，pp. 786-790，1998.