

# ダブルバリア型浮消波堤における 波高低減率算定モデルの開発

DEVELOPMENT OF WAVE MODEL FOR ESTIMATING ENERGY DISSIPATION  
EFFECT BEHIND DOUBLE BARRIER FLOATING BREAKWATER

沖和哉<sup>1</sup>・江島隆晃<sup>2</sup>・山田文彦<sup>3</sup>・由比政年<sup>4</sup>・辻本剛三<sup>5</sup>

Kazuya OKI, Takaaki EJIMA, Fumihiko YAMADA,  
Masatoshi YUHI and Gozo TSUJIMOTO

<sup>1</sup>正会員 博(工) 京都大学講師 先端技術グローバルリーダー養成ユニット  
(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂4)

<sup>2</sup>正会員 修(工) 株式会社ジオ技術研究所 (〒812-0013 福岡市博多区博多駅東3-1-26)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

<sup>4</sup>正会員 博(工) 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

<sup>5</sup>フェロー 工博 神戸高専教授 都市工学科 (〒651-2194 神戸市西区学園東町8-3)

Wave energy dissipation characteristics of a Double Barrier Floating Breakwater (DBFB) are experimentally examined by using a vertically 2D wave flume and a horizontally 2D wave basin. A simple empirical formula for estimating energy dissipation rate behind DBFB is proposed in this study. This formula is introduced into an extended energy balance equation with diffraction effect (ExEBED) wave model. The results by this model are compared with experimental measurements and the model is validated.

**Key Words :** *Double barrier floating breakwater, experimental study, empirical formula, wave transmission, wave diffraction, numerical model, harbor tranquility*

## 1. はじめに

近年, 漁港やマリーナ等のように防波堤で防護された小規模な閉鎖性水域を維持管理する上で, いくつかの問題が生じている. まず, 沖からの侵入波や航走波・台風等の異常気象に伴う高波浪により港内静穏度が低下し, 係留船の破損や稼働率の低下が生じている. また, 港内の海水交換能力が低下し, 水質悪化等の環境問題が深刻化している. さらに, 活発な沿岸・岸沖漂砂によって航路や港内が埋没し, 港内環境維持のための浚渫等のランニングコストが増大している. これらの問題に対処するには, 安価で施工性がよく, 比較的小規模で水質環境を損なわない波浪制御方法が必要となる.

浮消波堤は, 上記問題を解決するための構造物として, 小規模な閉鎖性水域への設置に適している. 矩形断面を有する浮消波堤に関しては, これまでに様々な研究が行われ, 多くの知見が得られている. また, 浮消波堤に何らかの構造上の特徴を付加して波高減衰効果を高めたものも提案されている. しかし, 反射率や波高低減率などの特性が十分明らかになっておらず, 明確な設計基準も存在しない.

Harms<sup>1)</sup>は古タイヤを有効活用した浮消波構造物を考案し, 透過率について理論的および実験的考察を行った. Christian<sup>2)</sup>は矩形断面を有する浮体の下面中央に鉛直板を装着した消波堤を提案し, 実験を行った. Koutandosら<sup>3)</sup>は鉛直板の装着位置を浮体側面の入射側に変更してその効果について検討した. 一方, 加藤ら<sup>4)</sup>は矩形断面を有する浮体の岸沖両側面に鉛直板を装着したダブルバリア型浮消波堤について検討した. 以上はすべて断面二次元による検討である. これらにより基本的な特性は把握できるものの, 実海域への適用となるとこれらの検討だけでは不十分である.

断面二次元的検討に対し, 平面水槽を用いた平面的な検討例は散見される程度であり, さらに, 数値解析による平面的な検討例はきわめて少ない. 高木・明田<sup>5)</sup>は実海域設置に向けての浮消波堤の配置計画について実験的検討を行った. 平面実験において波高分布を計測しているが, 浮体の幅 14.5m (実スケール) に対して 50m 間隔での計測となっている. また, 高木ら<sup>6)</sup>は平面水槽において複数設置された通水部を有する浮消波構造物による消波性能実験を行ったが, 波高分布の計測地点はいくつ

かの代表地点のみであり、有効消波領域を平面的に推定するには不十分である。Martinelli ら<sup>7)</sup>は矩形断面を有する複数の浮消波堤を用いて、配置や波向きの変化による波高低減効果の違いについて検討した。外村ら<sup>8)</sup>は現地観測を行って、ダブルバリア型浮消波堤の波浪減衰メカニズムとその有効性の検証を行った。以上の研究では、数値解析による平面的検討は行われていない。中村ら<sup>9)</sup>は、浮防波堤の配置方法について、近似的にはあるが鉛直線グリーン関数法に基づく手法で透過波の影響を考慮した。

本研究では、まず、断面二次元水路および平面水槽を用いてダブルバリア型浮消波堤模型実験を行い、その特性について検討する。特に平面水槽実験においては測定間隔を密にして詳細な波高分布を計測し、ダブルバリア型浮消波堤背後の有効消波領域と波向きの関係や回折波の影響について検討する。次に、断面二次元水路における実験結果をもとに波高低減率算定式を考案し、回折効果を考慮できるエネルギー平衡方程式モデルに組み込む。最後に、構築したモデルによる数値解析結果を平面水槽実験結果と比較し、ダブルバリア型浮消波堤周辺の波高分布予測モデルとしての検証を行う。

## 2. ダブルバリア型浮消波堤について

### (1) 浮消波堤の特徴および利点

本研究では漁港やマリーナ等の小規模閉鎖性水域における波浪制御構造物を対象としているため、必然的に構造物自体がコンパクトとなる浮消波堤は、海底面に設置する防波堤や没水型波浪制御構造物と比較して施工性・経済性において優位である。別の場所で作成した後に設置水域へ曳航することも可能なため、稼働している港であっても工事による影響を少なくすることができる。また、同様の特徴から季節的に設置あるいは撤去しての利用も可能である。次に、海底面と構造物の間の透水性により、水質悪化を防ぐことができ、環境保全の面でも優れている。さらに、地球温暖化によって今後予想される海面上昇が生じた場合、水深急浅に伴う構造物天端上での砕波機構に波高減衰の多くを期待する没水型構造物では消波機能の低下が懸念されるが、浮消波堤では流体内部の構造物隅角部で発生・剥離する渦運動に期待するため海面上昇後も一定の効果が期待できる。

### (2) 浮体側面に設置する鉛直板（バリア）の効果

鉛直板を装着することによって入射波に対する遮蔽断面が大きくなり、結果として透過率を下げるることができる。また、単に断面が大きくなるだけでなく、バリア先端部において発生・剥離する渦によりエネルギー減衰効果が促進される。バリアを装着することにより、積極的にエネルギー散逸を引き起こす構造物となる。さらに、浮消波堤の渦運動をコ

ントロールすることで港内に侵入する漂砂の一部を遮断し、航路埋没量を減少させることで、維持浚渫のランニングコストを低減させることも期待されている。

### (3) シングルバリアおよびダブルバリアの違い

Christian<sup>2)</sup>は、浮体幅や喫水は一定のままであっても、矩形断面を有する浮体の下面中央に鉛直板を装着することで透過率を低減させることが可能であることを示した。また、Koutandos ら<sup>3)</sup>は、入射側に鉛直板をつけた浮消波堤による実験結果から、下面中央に装着するよりも効果的であると述べている。鉛直板に穴をあけて透水性を持たせた場合についても実験し、比較を行っているが、両者にはあまり差は見られなかった。一方、加藤ら<sup>4)</sup>は矩形浮体の岸沖両側に鉛直板を装着し、透過率、反射率およびエネルギー損失率について調べた。浮体幅波長比が0.2以上の場合には、ヒービング（鉛直運動）が抑えられるため、ダブルバリアの利点として平常時に作業ヤードとして利用できることが指摘されている。

以上より、本研究ではシングルバリア型よりも優れた特徴を有するダブルバリア型に焦点を絞って議論する。

## 3. 断面二次元水路実験

ダブルバリア型浮消波堤の基本的な特性を調べるために、断面二次元水路において実験を行う。使用した水路は、図-1に示すように、神戸高専所有の長さ18m、幅0.6m、高さ0.8mの造波水路である。また、使用したアクリル製のダブルバリア型浮消波堤模型（図-2）の寸法は、岸沖方向幅0.25m、波峰方向長さ0.5m、高さ0.122m（内、バリア部0.05m）である。模型の縮尺は1/16である。浮体模型は水槽底面から鉛直に立てられた4本の鋼製円柱杭でローラー支持されており、ベアリングによって上下方向にのみ滑らかに動く。目視で確認した範囲では、浮体は水位と同調して上下していた。なお、浮体の喫水は0.091mである。浮消波堤前面に3台、背後に2台の容量式波高計を設置し、入射波分離法を用いて反射波および透過波の波高を算定する。水路の岸側には砂層のスロープがあり、水路端部からの反射を抑えている。表-1に示すように、3通りの水深を設定し、入射波高および周期を変えて規則波を入射させ、計63ケースの実験を行う。

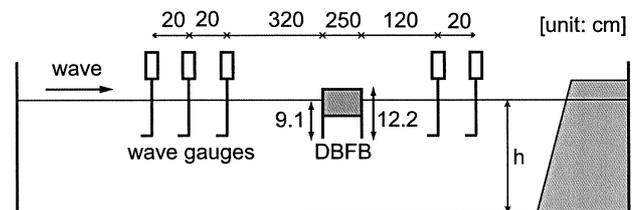


図-1 実験装置（断面二次元水路）

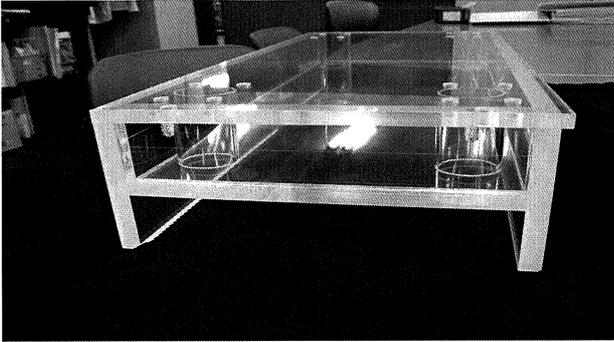


図-2 ダブルバリア型浮消波堤の模型

表-1 実験条件 (断面二次元水路)

水深 $h$ (m)	入射波高 $H$ (m)	周期 $T$ (sec)
0.187	0.031, 0.047, 0.063, 0.078, 0.094	0.75, 0.88, 1.0,
0.312		1.13, 1.25, 1.38, 1.5,
0.500		1.63, 1.75

浮消波堤の性能評価には透過率  $K_t$  (入射波高と透過波高の比) を用いる。実験結果から透過率を定量的に評価するための無次元パラメータを考える上で、Christian<sup>2)</sup>およびKoutandosら<sup>3)</sup>らの次元解析を参考にする。本研究では波力および浮体の回転等を考慮していないため、それらを除いたパラメータは次式の通りである。

$$K_t = f(B/L, H/L, d/h, h/H) \quad (1)$$

ここで、 $B$  は浮消波堤の幅 (岸沖方向)、 $L$  は入射波長、 $H$  は入射波高、 $d$  は喫水、 $h$  は浮消波堤設置水深である。

図-3 に実験から得られた透過率  $K_t$  を示す。横軸は  $B/L$  である。傾向としては、 $B/L$  が大きくなるほど透過率が小さくなっている。今回の実験条件では、 $B/L=0.1\sim 0.3$  の範囲にデータが集中しているが、 $B/L$  が同じ値であっても透過率にはばらつきがある。 $B/L>0.2$  では透過率が 0.5 以下となっている。

#### 4. 平面二次元水槽実験

実海域にダブルバリア型浮消波堤を設置することを想定すると、波向きや回折の影響を考慮する必要がある。そこで本研究では、図-4 に示す北陸電力(株) 所有の長さ 28.5m、幅 17m、高さ 1.0m の水槽を用いて実験を行う。水深を 0.312m の一様水深として、水槽のほぼ中央にダブルバリア型浮消波堤の模型を設置し、周期 1.0sec の規則波を、消波堤に対して直および斜め  $25^\circ$  の角度で入射させる。浮消波堤の模型寸法は、岸沖方向幅 0.25m、波峰方向長さ 2.0m、高さ 0.122m (内、バリア部 0.05m) である。直入射の場合、対応する  $B/L$  の値は、0.18 となる。模型の固定方法は断面二次元水路の場合と同様に、鋼製杭によりローラー支持され、ベアリングによって上下方向にのみ滑らかに動く。また、喫水は 0.091m である。水槽の岸側境界には礫で構成されたスロープが、側方境界にはヘチマロンが設置

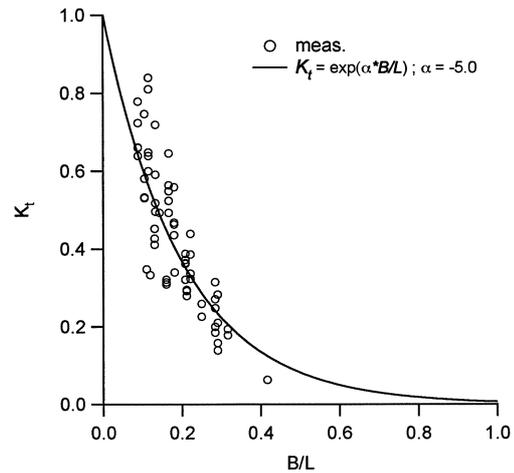


図-3 透過率の実験結果および透過率算定曲線

してあり、水路壁からの反射の影響はないものとする。入射波が十分伝達した後、浮消波堤周辺の詳細な波高分布を調べるために、0.20m 間隔で 9 台の容量式波高計を移動しながら、サンプリング間隔 80Hz で計 425 点計測する。入射波の再現性の確認および入射波分離のため、造波板からおよそ 5m および 6m 程度離れた 2 地点に波高計を設置する。

図-4 に示すように、沖から岸向きに  $x$  軸を、造波装置と平行に  $y$  軸をとる。浮消波堤は前面が  $x=2.0$ m に、中心が  $y=1.8$ m となるよう設置する。平面二次元水槽を用いた実験では、造波板周辺を除き、波高形の記録から入射波を分離することが困難であるため、以下では入射波共存場における波高を入射波高で規格化した無次元波高を用いて検討する。

図-5 に消波堤に波を直入射させた場合の無次元波高分布を示す。直入射の場合には、波の進行方向に対して浮消波堤を中心として対称な分布になると考えられるが、必ずしもそのような結果が得られていない。これは、模型の設置が入射波向きに対して

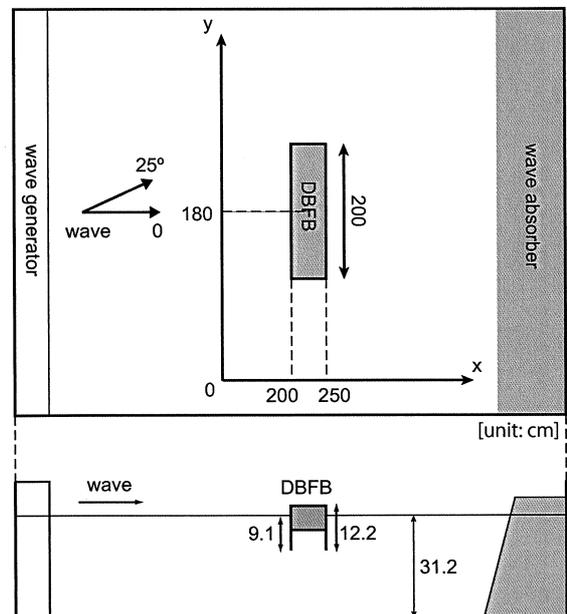


図-4 実験装置 (平面水槽; 上: 鳥瞰図, 下: 断面図)

厳密に直角ではなく、模型の動きが入射波に対して必ずしも同様とならなかったことも一因であると考えられる。浮消波堤の直背後中央において、最大30%の波高減衰が生じている。平面実験においては入反射波分離を行うことができないため直接の比較はできないが、断面二次元水路実験における同条件の結果と比べると、平面二次元水槽の波高減衰効果が約10%~15%低下している。これは、主に回折波の影響によるものと考えられるが、この結果は高木ら<sup>6)</sup>の結果に一致する。

図-6 に消波堤に対して25°の角度で波を入射させた場合の無次元波高分布を示す。入射波向きに

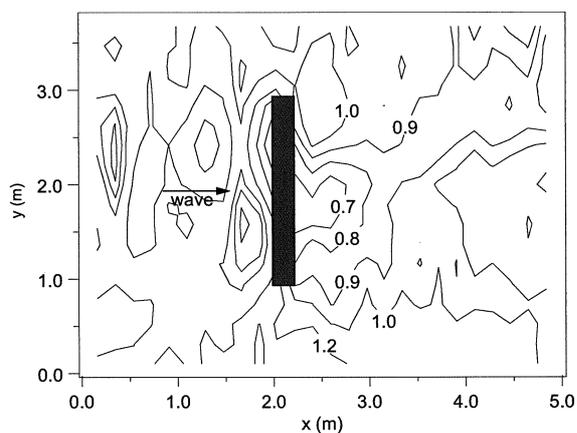


図-5 無次元波高分布実験結果 (直入射)

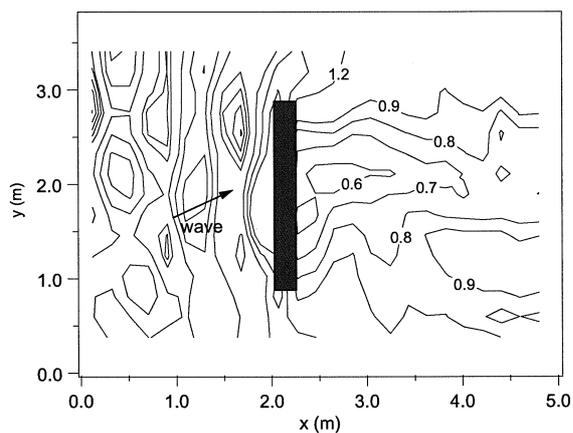


図-6 無次元波高分布実験結果 (斜め入射)

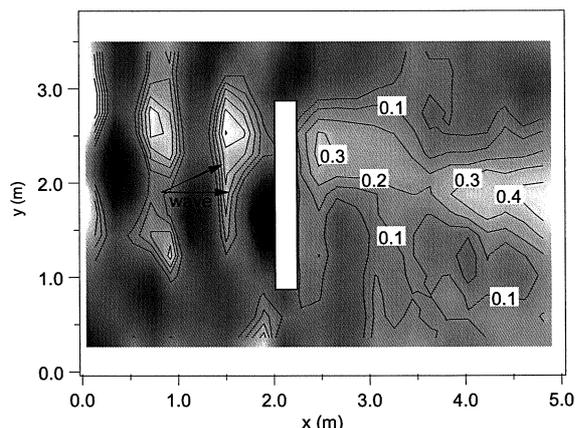


図-7 直入射および斜め入射の場合における波高差

じた方向に、波高減衰領域が広がっている。浮消波堤背後中央付近において約40%の波高減衰が生じており、直入射の場合と比較して減衰効果が大きくなっている。また、波高減衰率が0.8以下である範囲を低減有効領域と仮定すると、y軸方向の有効領域は直入射で浮体幅の半分、斜め入射では浮体幅程度となっている。x軸方向の有効領域も、直入射で浮体幅の半分、斜め入射では浮体幅程度と、斜め入射の場合の方が低減有効領域は広い。より詳しく比較するために、直入射の条件で得られた波高から斜め入射条件での波高を引いた値を図-7に示す。正の値の領域では直入射条件における波高が大きいことを表し、すなわち斜め入射条件の方が波高減衰効果が大きいことを表す。図からわかるように、浮消波堤背後ではほぼ正の値の領域が広がっており、結果として斜め入射条件の方が波高減衰効果が高いことがわかる。これは、斜め入射条件では見かけの浮体の長さが増加するためであると考えられる。なお、両条件ともに計測された入射波高は同じであることを確認している。

斜め入射の場合には減衰効果が向上するという今回の結果は、高木・明田<sup>5)</sup>およびMartinelliら<sup>7)</sup>の結果に一致する。しかしながら、波高低減率が大きい場合には反射波が大きくなるため、走行する船への影響が懸念される。そのため、一概に斜めに浮体を配置するのが望ましいとは言えず、注意が必要である。

## 5. 波高低減率算定式

数値予測モデルを構築するためには、波高低減率算定式が必要である。そこで、断面二次元水路にて行った実験結果をもとに、以下のように考える。

まず、理論的な考察として、Harms<sup>1)</sup>は線形理論を適用し、エネルギーフラックスのバランスから、次の透過率算定式を導出している

$$K_t = H_t/H = \exp\left(-\frac{20\pi C_d H B}{3 P L L}\right) \quad (2)$$

ここで、 $K_t$ は透過率、 $H_t$ は透過波高、 $H$ は入射波高、 $C_d$ は抗力係数、 $P$ は単位断面当りの構造物が占める割合、 $B$ は消波堤の岸沖方向幅、 $L$ は入射波長である。ダブルバリア型浮消波堤の場合、 $P$ は一定で、 $C_d$ の定義をどう評価するかが問題であるが、形状や動揺特性を考慮すると複雑になる。本研究ではまず簡易的に算定する方法を検討するため、変数としては既往の研究および実験結果の次元解析から得られるパラメータである $B/L$ のみを採用し、Harmsの式を援用して以下の式を用いる。

$$K_t = \exp\left(\alpha \frac{B}{L}\right) \quad (3)$$

$C_d$ 、 $P$ および $H/L$ の影響をはじめとして、浮体の動揺特性等はすべてパラメータ $\alpha$ に入った形となっている。最小二乗法により実験結果とのフィッティングを行ったところ、 $\alpha = -5.0$ が最適値となった。

$\alpha = -5.0$  として得られる波高低減率算定式の最適曲線を図-3 に示す。曲線は分布のほぼ中央を通っており、全体的な傾向をとらえているが、 $B/L=0.1$  の付近では過小評価となっている。

## 6. 平面計算

本研究で構築するモデルは実務での検討に使用することを想定しているため、計算負荷の大きい数値予測モデルは向いていない。平面的検討を行う場合、消波堤を通過する波の影響だけでなく、回折効果を考慮することが不可欠である。そこで、回折効果を考慮できるよう改良されたエネルギー平衡方程式モデル（沖・間瀬<sup>10)</sup>）を用いる。このモデルでは透過構造物の背後の計算格子において透過率を陽に与えることによって透過波を考慮することができる。ここに先述の波高低減率算定式を用いて、浮消波堤前面での入射波条件から得られる透過率が構造物背後の計算格子に与えられるよう、モデルに組み込む。構築したモデルを用いて4. で示した実験と同様の条件で計算を行い、以下でその妥当性について検討する。本モデルでは反射波も計算できるが、対象を透過波に限定しているため、以下では透過波高のみを示す。

図-8 に浮消波堤に対して波が直入射した場合の無次元波高（入射波高  $H$  と透過波高  $H_t$  の比）分布の計算結果を示す。浮消波堤背後では波高が 0.5 以下の領域が広がっており、実験結果（図-5）よりも計算結果の方が波高減衰率が大きい。また、有効消波領域も  $x$  方向に大きく広がっている。

図-9 に  $y$  方向断面 ( $x = 3.0\text{m}$ ) の無次元波高分布を示す。○が実験結果、実線が計算結果を表す。分布傾向は概ね一致しているが、実験結果の方がかなり大きな値となっている。

図-10 に浮消波堤の中央を通る  $x$  方向断面 ( $y = 1.8\text{m}$ ) の無次元波高分布を示す。浮消波堤直背後においては、実験結果の波高の方がやや大きいものの、計算結果と近い値となっている。しかし、平面分布で見られたように、計算結果では浮消波堤から離れても大きく波高が減衰した領域が広がる分布となっている。

図-11 に浮消波堤に対して  $25^\circ$  の角度で波が直入射した場合の無次元波高分布計算結果を示す。なお、斜め入射の場合においては、波高低減率算定式中の  $B$  には、見かけの堤体幅を与えている。浮消波堤背後において、入射波向きに応じた方向に波高減衰領域が広がっている様子がみてとれる。直入射の場合と同様に、実験結果（図-6）よりも計算結果の方が波高減衰率が大きい。

図-12 に  $y$  方向断面 ( $x = 3.0\text{m}$ ) の無次元波高分布を示す。分布傾向は概ね一致しており、特に、波高が最も小さくなる位置がよく再現されている。

図-13 に浮消波堤の中央を通る  $x$  方向断面 ( $y = 1.8\text{m}$ ) の無次元波高分布を示す。防波堤直背後で

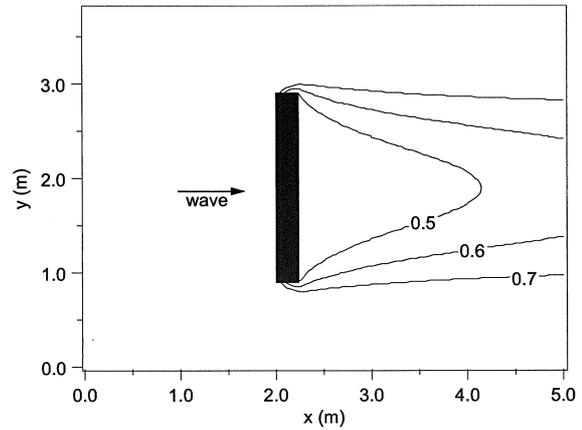


図-8 無次元波高分布計算結果（直入射）

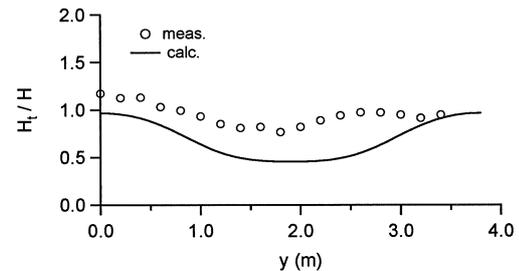


図-9  $x = 3.0\text{m}$  断面における波高分布（直入射）

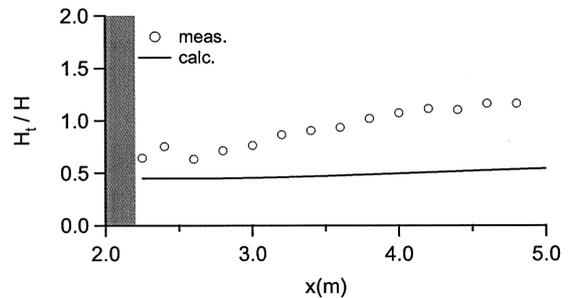


図-10  $y = 1.8\text{m}$  断面における波高分布（直入射）

の波高減衰率は計算結果の方が大きくなっているが、浮消波堤から離れても波高は大きく変化することなく、実験結果と計算結果は良好に一致している。

実験結果に対して、数値計算によって得られる波高が小さく見積もられている理由として、まず、実験結果は入射波共存場における波高であることが挙げられる。平面実験においては入射波を分離することができないため、その分大きな値となっていると考えられる。また、実験結果において、入射波高よりも波高が大きくなるとは考えにくい地点において 1.2 程度の無次元波高が計測されていることから、測定値自体がやや大きく見積もられている可能性も否定できない。図-12 の波高分布断面比較において波高が最も小さくなる位置がよく再現されていることなどから、本モデルによって定性的な分布は再現可能であった。しかし、直入射条件における浮消波堤背後の低減有効領域については、実験結果と計算結果の一致の程度がよくなかった。これについては、浮消波堤の動揺の影響やそれに伴って発生する波と入射波との干渉などが考えられる。

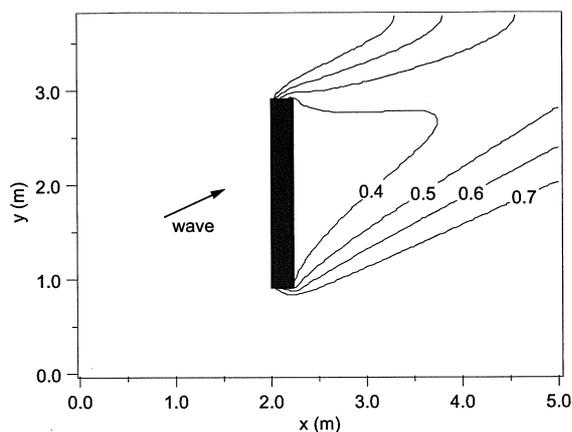


図-11 無次元波高分布計算結果 (斜め入射)

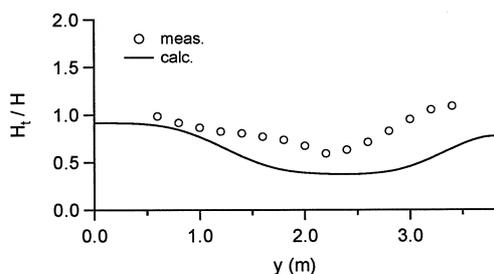


図-12  $x = 3.0\text{m}$  断面における波高分布 (斜め入射)

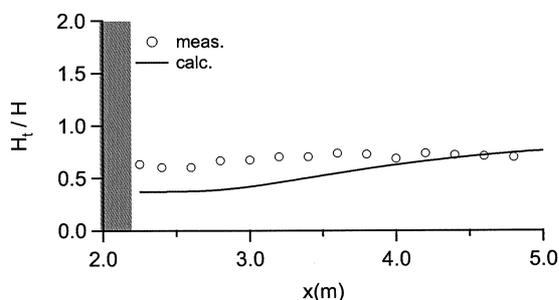


図-13  $y = 1.8\text{m}$  断面における波高分布 (斜め入射)

## 7. おわりに

本研究では、小規模な閉鎖性水域への適用が有効であるダブルバリア型浮消波堤に着目し、まずはその基本特性を明らかにするために断面二次元水路および平面二次元水槽における模型実験を行った。次に、断面二次元水路実験の結果からダブルバリア型浮消波堤による波高低減率算定式を提案し、エネルギー平衡方程式モデルに組込んだ。最後にこのモデルの妥当性を検証するため、平面二次元水槽実験の結果と計算結果の比較を行った。得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 既往の研究および実験における次元解析の結果、透過率算定のためのパラメータとして  $B/L$  を抽出し、断面二次元水路における実験結果からダブルバリア型浮消波堤における簡易な透過率算定式を構築した。
- 2) 平面水槽においてダブルバリア型浮消波堤模型実験を行い、計測間隔を密にして波高分布を測定した。斜め入射の場合には入射波に対して見かけ

の堤体幅が長くなるため、直入射の場合と比較して低減率が大きくなる結果が得られた。波向きの違いで透過率が変化するのは三次元現象の特徴であり、これは既往の研究による報告に一致する。

- 3) 構築した波高透過率の算定式を、回折効果を考慮できる位相平均型波浪数値予測モデルに組み込み、平面二次元水槽における実験結果と比較した。本モデルは実験結果よりも総じて波高を小さく見積もる結果となったが、定性的に再現できた。

今後の課題として、現地を想定して多方向不規則波による検証をする。また、波高低減率算定式において浮体の特性 (係留方法および動揺特性など) が一つのパラメータのみで表現されているため、より多くの特性を再現できるようにパラメータを増やし、より精度の良い波高低減率算定式を提案したい。

謝辞：本研究の一部は財団法人レントオール奨学財団の研究助成を受けて行った。また、実験を行うにあたり、熊本大学技術職員の外村隆臣氏、学部生 (当時) の田尻慶祐君、金沢大学学部生 (当時) の四辻拓哉君、大学院生の印牧史人君、NTC コンサルタンツ (株) の津嶋了氏、安瀬地一作氏にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) Harms, W. V. : Design criteria for floating tire breakwater, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division*, Vol.105, pp.149-170, 1979.
- 2) Christian, C. D. : Floating breakwaters for small marina protection, *Proc. 27th Int. Conf. on Coastal Engineering*, vol.3, pp.2268-2277, 2000.
- 3) Koutandos, E., P. Prinos and X. Gironella : Floating breakwaters under regular and irregular wave forcing: reflection and transmission characters, *Journal of Hydraulic Research*, Vol.43, pp.174-188, 2005.
- 4) 加藤雅也・津嶋了・濱中健一郎・大橋正臣・佐藤幸雄・佐伯浩：マリーナにおける二重鉛直板付矩形浮体の港内波浪制御に関する研究，海洋開発論文集，第17巻，pp.211-216，2001。
- 5) 高木儀昌・明田定満：福井県高浜地区養殖場造成に係わる水理模型実験－浮消波堤の配置計画と安全性について－，*水工研技報*，水産土木14，pp.37-75，1992。
- 6) 高木儀昌・森口朗彦・明田定満・滑川順：浮消波堤の3次元水槽における消波性能について，*海岸工学論文集*，第40巻，pp.651-655，1993。
- 7) Martinelli L., Ruol P. and Zanuttigh B. : Wave basin experiments on floating breakwaters with different layouts, *Applied Ocean Research*, Vol.30, pp.199-207, 2008.
- 8) 外村隆臣・江島隆晃・今村格・津嶋了・辻本剛三・由比政年・沖和哉・山田文彦：ダブルバリア型浮消波堤の波浪減衰メカニズムとその現地有効性の検証，*海岸工学論文集*，第55巻，pp.896-990，2008。
- 9) 中村孝幸・水谷法美・許東秀・金度三：浮防波堤の配置方法と波浪制御効果に関する研究，*海洋開発論文集*，第18巻，pp.299-304，2002。
- 10) 沖和哉・間瀬肇：位相平均型波浪予測モデルの高精度化に関する研究，*海岸工学論文集*，第51巻，pp.1-5，2004。