

浮体配置群による静穏海域造成技術の研究開発

大澤 弘敬^{*1} 鷲尾 幸久^{*1}

増田 光一^{*2}

「マイティーホエール」は浮消波堤と同様の機能を有しており、波を完全に遮蔽する固定式の消波堤に比べ消波性能は劣るが、海水の交換性を損なわず、なおかつ水深に関わらず設置可能であるという特徴をもつ。さらに、波エネルギー吸収との相乗効果により、一般の浮消波堤と比べても消波機能の向上が期待される。将来的に静穏な海洋空間を創造するためには、「マイティーホエール」を多数配置し、その平面的な配列、配置方法に関して検討する必要がある。そこで、本論では「マイティーホエール」を多数配列した場合の平面的な配列、配置に対する消波の基本特性を把握する目的で水槽実験で実施し、「マイティーホエール」を直線配置及び千鳥配置した場合について比較するとともに、直線配置ではその配列間隔を変化させた場合についても検討を行った。

キーワード：浮体群，静穏海域造成，波エネルギー，海洋空間

R & D on creating calm-sea conditions using an array of floating bodies

Hiroyuki OSAWA^{*3} Yukihiisa WASHIO^{*3}

Kouichi MASUDA^{*4}

In terms of wave absorption, "Mighty Whale" performs the same function as a floating breakwater. Even though wave absorption in this case is not as complete as in the case of fixed breakwaters, it is carried out without affecting the natural flow of sea-water to and from the coast. Further, being a floating structure, "Mighty Whale" is free from the depth limitations faced by fixed breakwaters. Furthermore, because "Mighty Whale" must also perform as a wave-energy utilization system, its wave absorption characteristics are designed to be superior to those of conventional floating breakwaters.

In order to plan for providing large areas of calm ocean space in the future, it is necessary to study the use of arrangements of multiple "Mighty Whale" units in the ocean. This paper describes laboratory experiments carried out to study the effect of array configuration on wave absorption. The focus of the work is on (1) straight-line and (2) staggered-type arrays of multiple "Mighty Whale" units.

Key Words : array of floating bodies, creating calm-sea, wave energy, ocean space

* 1 海洋技術研究部

* 2 日本大学理工学部

* 3 Marine Technology Development

* 4 Science & Technology, Nihon University

1 はじめに

国土が小さな我が国にとって、海洋における空間利用は重要な検討課題であり、21世紀に向けそれに伴う技術的な問題についても解決していかなければならない。海洋空間利用では、海面に存在する最も顕著なエネルギーで、海上での安全の障害となる波を消波し、そこに新たな産業などを興すことのできる静穏な海域を創造する技術が必要である。

現在、研究開発が行われている沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」は、波のエネルギーを吸収して、有効な電気エネルギーに変換する波浪発電装置としての機能を有する一方、波の消波効果も期待されている装置である。

特に、「マイティーホエール」は浮消波堤と同様の機能を有しており、波を完全に遮蔽する固定式の消波堤に比べ消波性能は劣るが、海水の交換性を損なわず、なおかつ水深に関わらず設置可能であるという特徴をもつ。さらに、波エネルギー吸収との相乗効果により、一般の浮消波堤と比べても消波機能の向上が期待される。将来的に静穏な海洋空間を創造するためには、図1に示すように「マイティーホエール」を多数配置し、その平面的な配列、配置方法に関して検討する必要がある。そこで、本論では「マイティーホエール」を多数配列した場合の平面的な配列、配置に対する消波の基本特性を把握する目

的で水槽実験で実施し、「マイティーホエール」を直線配置及び千鳥配置した場合について比較するとともに、直線配置ではその配列間隔を変化させた場合についても検討を行った。

2 水槽実験

2.1 実験概要

本実験では「マイティーホエール」の平面配列に関して、その配列間隔、配列方法を変化させ、「マイティーホエール」の後背域の透過率を測定し、「マイティーホエール」を浮体群としたときの消波特性を把握するため、浮体の2つの拘束条件（浮体係留状態、浮体固定状態）について実験を行った。

実験は長さ19,000mm、幅7,000mm、深さ1,000mmの平面水槽を用いて行った。水槽側板の両端より1,550mm離れた場所に高さ500mmの仮側板を設置し、水槽中央に3,500mm間隔の水路を設け、水槽に設置された仮底により、水面から仮底までの水深を模型縮尺(1/100)と同じ縮尺の400mmと一定水深で実験を行った。この水深は、現在、実海域実験が行われている設置水深40mの縮尺と一致している。水槽の図を図2に示す。

また、供試模型は実機の1/100を想定し、実際の「マイティーホエール」の消波性能を再現するために、模型前方に3個の空気室を設けた。模型の図を図3に示す。

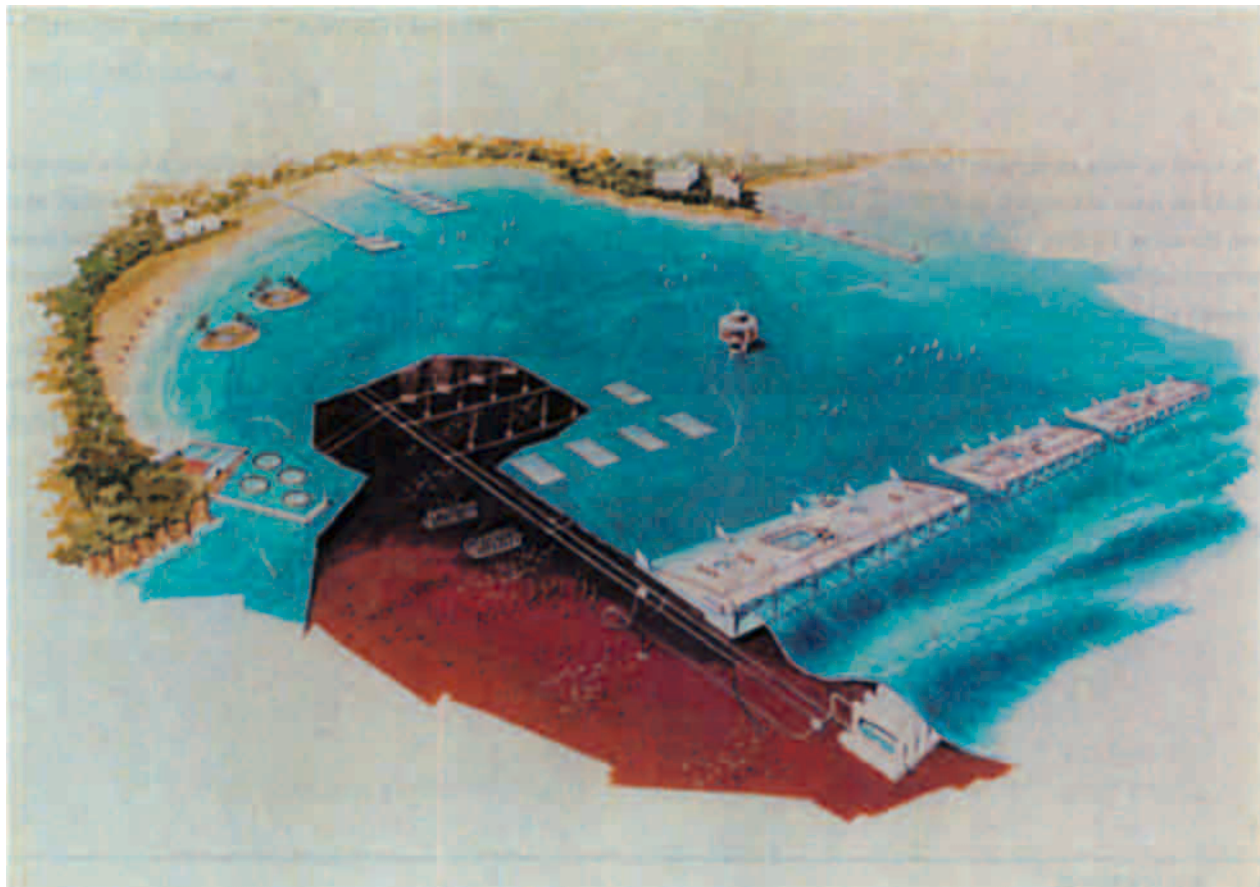


図1 「マイティーホエール」配置群による静穏海域創造概念図

Fig.1 creating tranquil sea by "Mighty Whale" multi system

2.2 実験方法

実験は、「マイティーホエール」を直線配置 (150mm 間隔、300mm 間隔) 及び千鳥配置で規則波を直角入射させ、それぞれの拘束状態に関し「マイティーホエール」後方の透過波を測定した。また、「マイティーホエール」の拘束条件は係留状態と固定状態の 2 ケースで行い、係留状態の実験にはステンレスチェーン (69.88g/m) に中間ウェイト (50g) を取り付け使用した。固定状態は、平面水槽に設置された計測電車から L 型部材を用いて固定した。図 4 にチェーン係留、図 5 に固定の実験状態を示す。また、模型配置は直線配置 (150mm 間隔、300mm 間隔)、千鳥配置の 3 ケースで行い、「マイティーホエール」の模型は造波機から 6,850mm 離れた場所に設置した。また、水槽中央に 3,500mm 間隔の水路を作り、その水路に直線配置 150mm 間隔では 8 基、直線配置 300mm 間隔では 6 基、千鳥配置では 11 基の模型を配置した。波高計は模型前面に 2 個、模型後方に 5 個配置した。波高計の位置と模型の配置を図 6～図 8 に示す。

実験条件は周期 0.6sec、0.7sec、0.8sec、0.9sec、1.0sec の 5 ケースの規則波を用いて行った。なお、1 つの周期に対し 4 ケースの波高 20mm、40mm、60mm、80mm (0.6sec のみ 20mm～60mm まで) で行い、拘束条件 2 ケース (浮体係留状態、浮体固定状態)、配置間隔 3 ケース (150mm 間隔、300mm 間隔、千鳥配置) とし、それぞれの組合せで合計 114 ケースで計測を行った。実験条件を表 1 に示す。

3 実験結果及び考察

「マイティーホエール」を浮体群とした消波特性を把握するためには、浮体群後背域の透過率 K_t (透過波高に対する入射波高の比率) を求め、評価する必要がある。本実験では「マイティーホエール」浮体群背後に設置した波高計 H3、H4、H5、H6、H7 で計測した値をフーリエ

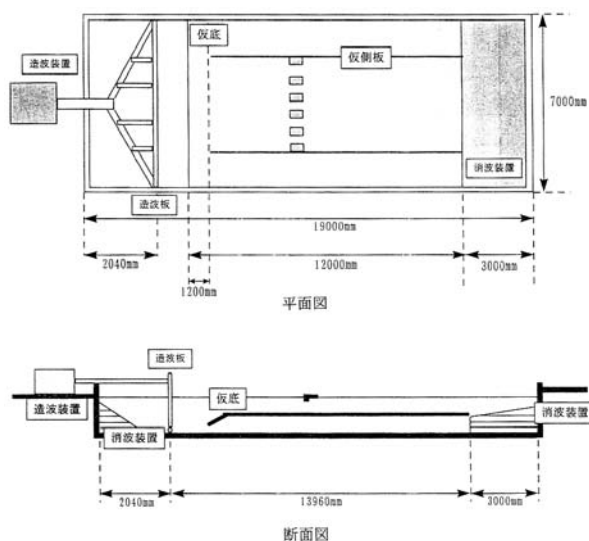


図 2 実験水槽
Fig.2 experimental tank

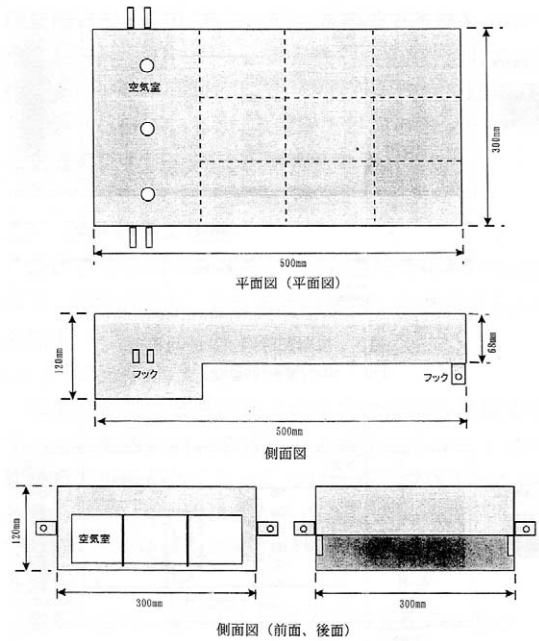


図 3 供試模型
Fig.3 experimental model

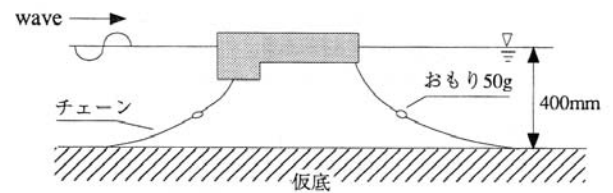


図 4 浮体係留状態
Fig.4 mooring condition

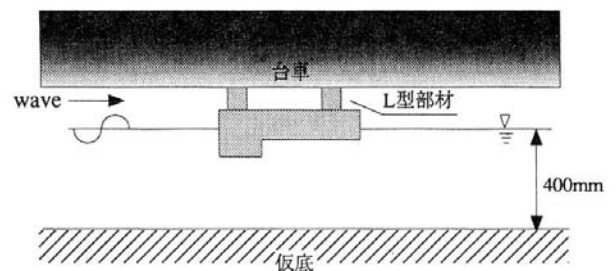


図 5 浮体固定状態
Fig.5 fix bodies condition

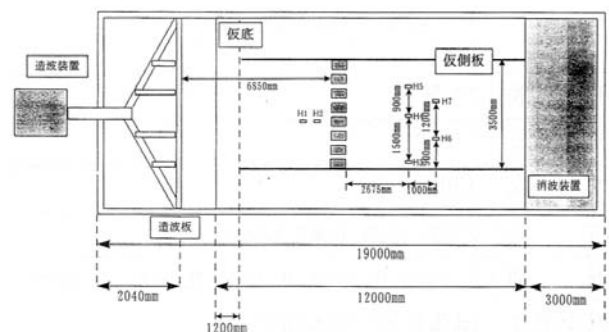


図 6 直線配置図 (150mm 間隔)
Fig.6 straight arranging (150mm)

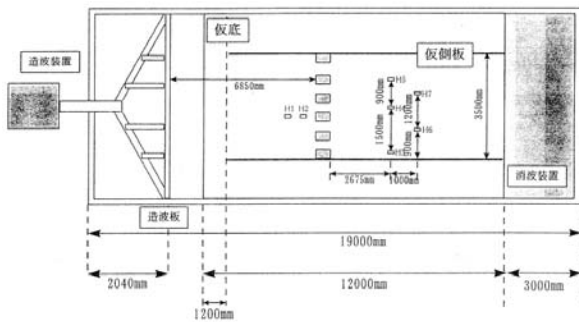


図7 直線配置図 (300mm 間隔)
Fig.7 straight arranging (300mm)

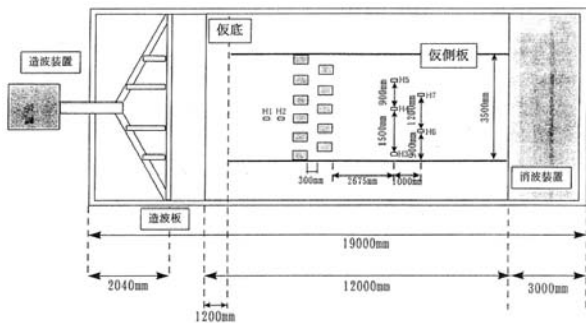


図8 千鳥配置図
Fig.8 cross switch arranging

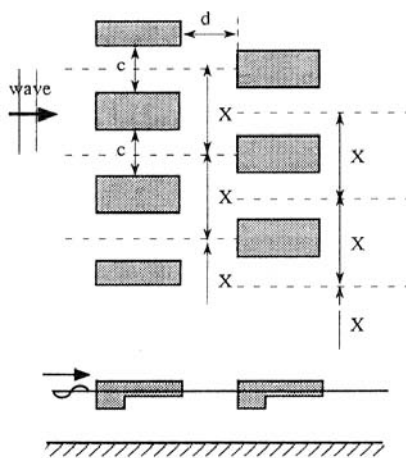


図9 開口率の定義
Fig.9 define of opening coefficient

表1 実験条件
Table1 experimental condition

模型数	11基
模型縮尺	1/100
水深	400mm
波高	20mm, 40mm, 60mm, 80mm
周期	0.6sec, 0.7sec, 0.8sec, 0.9sec, 1.0sec
拘束条件	浮体係留, 浮体固定
配置条件	150mm 間隔, 300mm 間隔, 千鳥間隔
合計	114 ケース

解析し、透過波高振幅 A_t を求めた。さらに透過率 K_t は予備実験における波高検定時の波高振幅を入射波高振幅 A_i とし、透過波高振幅 A_t を用いて次式で算定し評価した。

$$K_t = \frac{A_t}{A_i} \quad (1)$$

また、各配置、配列の比較評価を行うため、図9に示すように浮消波堤の消波特性のパラメータとして用いられている開口率 α 、開口幅（斜波開口長） c 、外縁間隔 d という概念を導入して検討を行う。開口率 α とは開口幅 c と隣接する浮体の中心間距離 X との比率であり、次式で表される。

$$\alpha = \frac{c}{X} \quad (2)$$

浮消波堤の配置計画では、この開口率のパラメーターにより基本的な配置が決定されている¹⁾。

また、各結果のグラフは横軸に λ/L (波長/装置長)、縦軸に透過率 K_t を示し、浮消波堤の評価の目安となる透過率 0.5 の位置を一応の基準として検討した。

3.1 浮体群固定状態

浮体群を固定状態にしたときの、各配列における波高計前列、波高計後列、全波高計の平均した透過率 K_t の結果を図10～図12に示す。

また、参考のため浮体群を固定した場合の有限要素法による波高分布²⁾の解析結果をCALとして図中に示す。この計算結果は2次元断面での結果である。すなわち、「マイティーホエール」が間隔をあけずに横一列に無限長並べた場合を想定した解析結果であり、間隔の影響による消波効果を検討する上で一応の目安になる。

(1) 波高計の位置による比較

波高計前列と波高計後列の平均透過率を比較すると、波高計前列の方が比較的高い値を示している。これは、波高計H3は仮側壁からの反射波の影響、波高計H4は開口部の真後ろにあるため開口部からの回折波と入射波の干渉影響により、波高計前列の方が高い値を示しているものと考えられる。

(2) 配置による比較

一般的に直列配置より千鳥配置の方が消波性能が高いと言われているが、長周期域になるに従い、150mm間隔、千鳥配置、300mm間隔の順に透過率が低く押さえられている。これは、千鳥配置では波高計H4の位置が模型の直後にあり、模型背後に出来る波紋の干渉による影響があると思われる。この傾向は、中村ら³⁾の研究でも重複波の影響によって模型直後で大きな値を示している。一方、150mm間隔と300mm間隔では、150mm間隔の方が周期が長くなるほど透過率が低く押さえられており、開口幅を狭めることで比較的良好な消波効果が得られることを示している。

また、300mm間隔と千鳥配置では、両配置とも開口幅が300mmであるが、千鳥配置は2列目の浮体で射影開口長 c を0にすることで300mm間隔より透過率が低く押さえられている。しかし、中村ら³⁾の研究では千鳥配置で

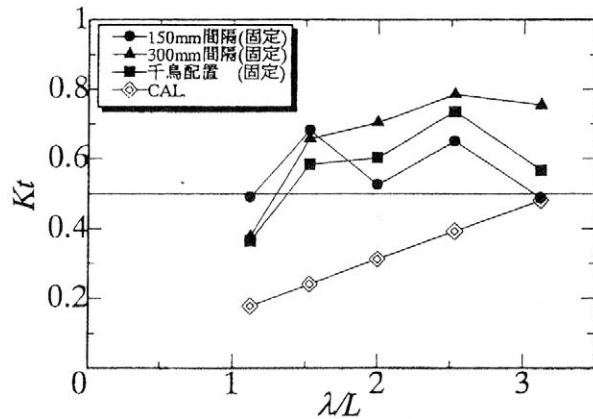


図10 波高計前列 (H3~H5) の平均透過率
(浮体群固定状態)

Fig.10 average wave transmission coefficient of front wave meter (H3-H5)
(fix bodies condition)

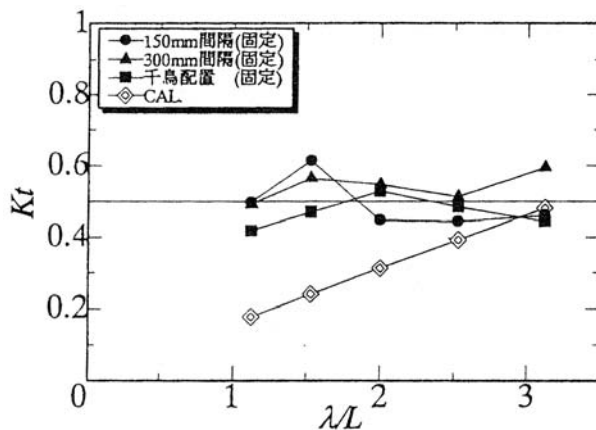


図11 波高計後列 (H6~H7) の平均透過率
(浮体群固定状態)

Fig.11 average wave transmission coefficient of back row wave meter (H6-H7)
(fix bodies condition)

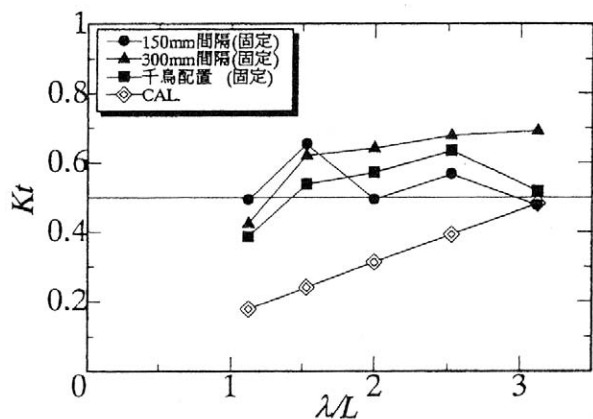


図12 全波高計 (H3~H7) の平均透過率
(浮体群固定状態)

Fig.12 average wave transmission coefficient of total wave meter(H3-H7)
(fix bodies condition)

射影開口長 c を0に取り、広い周期帯で透過率が0.5以下を示しているのに対し、本実験では0.5を越えている箇所が多い。この原因として、中村らの研究では開口率 $a=20\%$ で行っているが、本実験では開口率 $a=33\%$ 、 50% と大きめに取ったためと考えられる。

3.2 浮体群係留状態

浮体群を係留した状態の時の、各配列における波高計前列、波高計後列、全波高計の平均した透過率 K_t の結果を図13～図15に示す。

(1) 波高計の位置による比較

波高計前列と波高計後列の平均透過率を比較すると、すべての配置において後列の方が小さくなっており、模型からの距離が長くなるにつれ波高が減衰することもあるが、模型開口部から進入してくる波が模型直後では高く、外縁からの波の回折が少ないことを示している。

また、前列、後列ともに透過率の変化の傾向は、すべての配置において同じである。

(2) 配置による比較

300mm 間隔と千鳥配置では両配置とも開口幅が300mmであるが、千鳥配置は2列目の浮体で射影開口長 c を0にすることにより、300mm 間隔より透過率が低く押さえられている。

また、直線配置より千鳥配置の方が消波性能が高いといわれているが、本実験においては150mm 間隔と千鳥配置を比較すると、直線配置である150mm 間隔の方が透過率が低く押さえられている箇所が多いことがわかる。これは一般的な浮消波堤の開口率 a は20%程度とされているのに対し、今回の千鳥配置の開口率 a は50%、外縁間隔 d は300mmで、一般の浮消波堤に比べ大きいことが、直線配置である150mm 間隔より透過波が大きくなった原因と考えられる。このことより、千鳥配置により射影開口長 c を0にしても、外縁間隔 d を大きく取りすぎると消波効果が下がるものと思われる。

3.3 拘束条件の違いによる比較

浮体群を係留した場合と固定した場合の各配置ごとに前列波高計の平均透過率 K_t を示したグラフを図16に示す。図16より、全体的に $\lambda/L=1.0\sim 2.0$ 付近では係留した場合の方が透過波高が低く、 $\lambda/L=2.0\sim 3.0$ 付近では固定した場合の方が透過波高が低くなっている。この原因として、浮体群を固定した場合では浮体が運動しないのに対し、浮体群を係留した場合では浮体が運動するため、周期が長くなるにつれ浮体が波形に追従してしまい消波効果が低減してしまうためと考えられる。

また、直線配置では拘束条件による透過率の差は大きい、千鳥配置では差異が無くほぼ同じような値を示しており、千鳥配置では浮体後方に波紋の干渉が出来るため、拘束条件による影響が小さく出たものと考えられる。

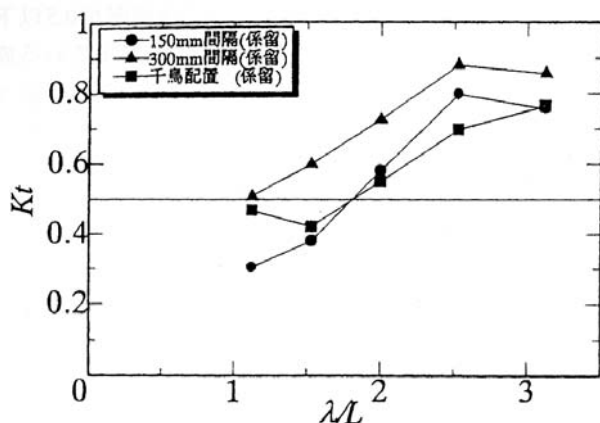


図13 波高計前列 (H3~H5) の平均透過率
(浮体群係留状態) (入射波高2cm)

Fig.13 average wave transmission coefficient of front wave meter (H3-H5)
(mooring condition) (wave height 2cm)

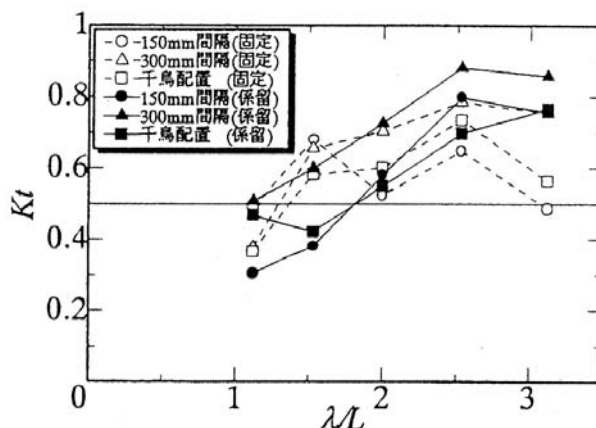


図16 各配置ごとの前列波高計の平均透過率 (入射波高2cm)

Fig.16 Comparison average wave transmission coefficient of total arrangement
with front wave meter (wave height 2cm)

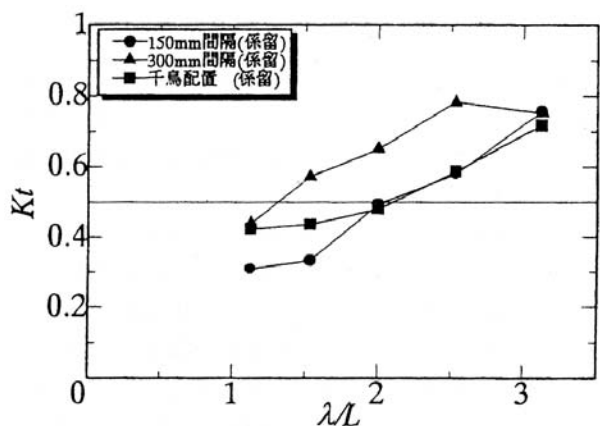


図14 波高計後列 (H6~H7) の平均透過率
(浮体群係留状態) (入射波高2cm)

Fig.14 average wave transmission coefficient of back row wave meter (H6-H7)
(mooring condition) (wave height 2cm)

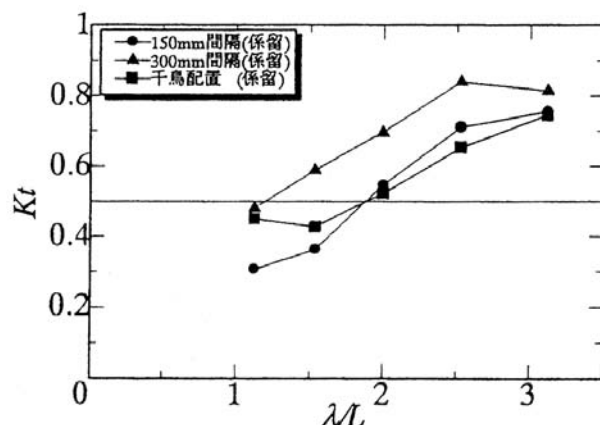


図15 全波高計 (H3~H7) の平均透過率
(浮体群係留状態) (入射波高2cm)

Fig.15 average wave transmission coefficient of total wave meter (H3-H7)
(mooring condition) (wave height 2cm)

4 おわりに

「マイティーホエール」を浮体群とした時の後背域の静穏時に関する検討を実験的に行った。

全体的な傾向としては、直線配列の場合、開口率 a を小さくすることにより透過率を低く押さえることがわかった。また、千鳥配置では開口率 a を小さくすることは勿論であるが、それに加え斜波開口長 c も小さくすることにより消波効果を上げることがわかった。現在の設置海域である三重県五ヶ所湾湾口部においては、過去に計測された波浪データの結果 $\lambda/L < 2.0$ の波浪が85%以上を占めることより、「マイティーホエール」を多数配列した場合、その配置計画により外洋より襲来する波浪波高を半分にすることも可能であり、「マイティーホエール」を浮体配置群とした静穏海域の創造に期待が持てるものと考えられる。

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)国際海洋科学技術協会、3-8、(1987)。
- 2) 増田光一、有限要素法による波浪中の海洋構造物に働く流体力に関する基礎的研究、日本大学博士論文、(1978)。
- 3) 中村孝幸・野村周吾・泉川学文・森田知志、浮防波堤の平面的な配置法に関する研究、海岸工学論文集、531-535、(1992)。

(原稿受理:1999年8月6日)