



| | |
|--------------|---|
| Title | Design Optimization of a Floating Breakwater |
| Author(s) | Faisal, Mahmuddin |
| Citation | 大阪大学, 2012, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/59906 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

| | |
|---------------|--|
| 氏 名 | フアイサル マハムディン Faisal Mahmuddin |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工学) |
| 学 位 記 番 号 | 第 2 5 6 4 3 号 |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 24 年 9 月 25 日 |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科地球総合工学専攻 |
| 学 位 論 文 名 | Design Optimization of a Floating Breakwater (浮き消波堤の設計最適化) |
| 論 文 審 査 委 員 | (主査) 教 授 柏 木 正 (副査) 教 授 加 藤 直 三 教 授 青 木 伸 一 准教授 箕 浦 宗 彦 |

論 文 内 容 の 要 旨

From technical and economical points of view such as construction cost, transportability, environmental friendliness, and design flexibility, floating-type breakwaters are more preferable to be installed in a near-shore area than conventional gravity-type ones. However, because of complex hydrodynamic characteristics, applications of this type of floating breakwater seem to be still limited. The present designs for floating breakwaters are based mostly on intuitive trial and error and thus less efficient especially in finding shape geometry with higher wave-reflection performance over a wide range of wave frequencies. Accordingly, it is needed to develop an optimization scheme to determine semi-automatically and efficiently the shape of a floating breakwater which has high performance in the range of wave frequencies to be considered. In order to meet that technical demand, this dissertation presents a scheme for the design optimization of floating breakwaters and its verification and validation through experiments and numerical computations.

The design starts with seeking an optimal 2D model shape. For this purpose, an optimization method called Genetic Algorithm (GA) combined with Boundary Element Method (BEM) is employed as the main calculation method. In hydrodynamic computations using BEM, it is assumed that the free surface around a floating body extends to infinity and the water depth is also infinite. The accuracy of computed results by BEM is confirmed by checking satisfaction of the energy conservation principle and the Haskind-Newman relation for the wave-exciting forces. Moreover, since a floating body to be obtained will be of asymmetric shape and BEM is based on the potential-flow theory, an experiment using a manufactured asymmetric model is also conducted for both motion-fixed and motion-free conditions to confirm applicability of BEM. The results are favorable in the degree of agreement, convincing us of usefulness and correctness of the 2D analysis based on BEM.

After the above confirmation of the calculation method, the optimization is then performed using the combination of GA and BEM. In GA optimization, each side of body surface is represented by a Bezier curve which can be drawn conveniently by a set of control points. This set of control points represents a chromosome of an individual model. 8 control points encoded using binary number are used to draw a Bezier curve. The optimization starts by generating a certain number of random individuals. After that, genetic operators such as reproduction, crossover, mutation, and elitism are applied to form the next generation which satisfies certain fitness functions as a measure of the performance. In the present work, the roulette wheel selection method is

used for reproduction, the single-point crossover method based on the crossover probability is used for crossover, and mutation is implemented with the mutation probability. The fitness of each model is defined by the area of transmission-wave coefficient over the wave frequencies considered. Moreover in the present study, GA is implemented with a constraint that the transmission-wave coefficient must be less than 0.4 at maximum even at the longest possible wavelength considered. The process is repeated until there is no improvement anymore for certain numbers of generations so that the final model obtained is considered to be the optimal one.

However, the optimal performance obtained in the 2D analysis is expected to be different to some extent from that in real situation, because floating breakwaters in reality are finite in longitudinal length and the waves may be incident upon with oblique angle. In order to investigate 3D effects due to finite longitudinal length, the performance of the corresponding model in the 3D case is also analyzed. Higher Order Boundary Element Method (HOBEM) is employed for this purpose. The computations are performed for some different body lengths, and 3D effects on the wave-induced motions and wave elevation on the free surface around the floating breakwater are then discussed. Furthermore, for consideration in installation of a 3D real model especially in the body mooring, the drift forces induced by waves are also computed and its characteristics and 3D effects are discussed.

The main conclusions of the present study are:

1. A numerical analysis using 2D BEM on floating breakwaters with asymmetric shape has been performed, and its accuracy and correctness were confirmed by checking satisfaction of theoretically-proven relations such as energy-conservation and Haskind-Newman relations and also through a comparison with model experiments newly conducted in a wave channel using an asymmetric model of floating body.
2. An optimization scheme based on GA combined with BEM has been exploited to find semi-automatically and efficiently the optimal shape of a floating breakwater model which has a smaller value (less than 0.4 at maximum) of the transmission-wave coefficient over the range of wavelength of $1 < \lambda/B < 7$ (where λ is the wavelength and B is the breadth of the body).
3. By computing with HOBEM for the corresponding 3D model with optimized shape at the transverse section and some different longitudinal lengths up to $L/B=20$, a different performance from that of the 2D model was realized as 3D effects. However, it was confirmed that the trend in variation of wave-induced body motions or the free-surface wave elevation with respect to the wavelength becomes similar to the 2D one as the longitudinal body length increases.
4. 3D wave effects on the hydrodynamic forces and resultant wave-induced body motions were confirmed to be not so large. However, the free-surface wave elevation was found to be much dependent on the measurement position, that is, spatially three dimensional even near the middle of a longer body.
5. The drift force for a longer body (even for the case of $L/B=8$) was virtually the same as that for the 2D body in values over the range of all wave frequencies considered, and thus the 2D analysis can be used for evaluation of the wave drift force in the design.

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

湾内での各種の養殖目的などで、ある特定海域に静穏域を実現するためには、比較的環境に優しく、しかも設置および撤収が容易で建造コストが安いなどの理由から、浮き消波堤が好まれる。しかしながら、一般的には浮体の流体力学的な特性が複雑であるため、非常に広い波周波数領域のすべてで消波性能に優れた浮体形状を求めることは容易ではなく、これまでの設計の殆どは、試行錯誤的に行っており効率的ではない。したがって、消波性能に優れた浮き消波堤の形状を効率良く、ほぼ自動的に決定できる最適化手法の開発が期待されている。その要求に応えるために、本論文では浮き消波堤の設計最適化手法を提示し、その手法の妥当性を水槽実験と数値計算を通して検証している。

まず本論文の前半では、消波性能に優れた浮体の 2 次元断面形状を求めるために、遺伝的アルゴリズムと境界要素

法を組み合わせた最適化手法に関する計算法の詳細を述べている。境界要素法による流体力学的な計算では、無限水深の広い海域における完全流体を仮定し、エネルギー保存則や波浪強制力に関する Haskind-Newman の関係を数値的に調べることによって計算精度を確認している。左右非対称浮体に対する流体力学的な計算結果の妥当性を示すために、模型を用いた造波水路での実験を行い、浮体の動揺、透過波、反射波に関する計測値と計算値を比較して、良好な一致度を確認している。次に、この境界要素法と遺伝的アルゴリズムを組み合わせた最適化手法によって、消波性能に優れた浮体形状の探索が行われている。本論文での遺伝的アルゴリズムでは、浮体表面の左右非対称の形状が Bezier 曲線で表されるが、この浮体形状データはその浮体モデルの染色体と見なされ、また最適化計算では、幾つかの浮体モデルをランダムに作り、再生 (reproduction)、交叉 (crossover)、突然変異 (mutation)、エリート保存戦略 (elitism) などの遺伝的操作によって、ある適応度関数を満たす次の世代を形成する。本論文では、再生にはルーレット選択法を、交叉には交叉確率に基づく一点交叉法を、また突然変異には突然変異確率を用いた計算が行われている。各浮体モデルの性能指標としての適応度関数は、透過波係数を C_T と表すとき、 $1-C_T$ の値を設計で考えるべき波周波数の全域にわたって積分した面積で定義している。すなわちこの値が大きい方が高性能である。さらに、 C_T の値が必ず 0.4 以下で、かつ 0.4 となる波長ができるだけ長くなるように制約条件を付加して最適化計算を行っている。得られた性能に改善が見られなくなるまでこの計算プロセスを繰り返す行が、その繰り返し計算の途中における浮体形状、計算が収束した後の (すなわち最適化された) 浮体形状を示し、それらの妥当性について論じている。

以上の計算はすべて 2 次元問題として行っているが、実際の浮き消波堤は有限な長さであり、また波は浮体に対して斜めに入射してくるため、2 次元解析で得られた浮体の性能は、実際の状態とはある程度異なることが考えられる。そこで本論文の後半では、有限な長さに起因する 3 次元影響について検討するために、3 次元浮体に対する性能解析が行われている。この浮体の横断面形状は 2 次元の最適化計算で得られたものと同じであり、それを長手方向に引き伸ばすことによって 3 次元浮体を作り出している。また流体解析には、3 次元高次境界要素法を用い、浮体に働く流体力、波浪中動揺振幅、浮体周りの水面変位分布を計算し、2 次元計算値と比較することによって 3 次元影響について論じている。さらに、実際の浮き消波堤では係留が必要になることを考慮し、波による定常漂流力も 2 次元理論、3 次元理論の両方で計算し、波漂流力に対する 3 次元影響についても論じている。

本研究によって示された主な結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 左右非対称形状の浮き消波堤に対して 2 次元境界要素法を適用し、理論的に証明されている関係式を数値的に調べることによって計算精度を確認するとともに、浮体模型を用いて造波水路で行った実験結果との比較によって、浮き消波堤の性能解析法としての妥当性を確認した。
- (2) この 2 次元境界要素法を遺伝的アルゴリズムに組み込み、最適浮体形状をほぼ自動的に求めることができる最適化手法を提示した。それによって、 $1 < \lambda/B < 7$ (λ : 波長、 B : 浮体幅) の波長域において、透過波係数が最大でも 0.4 以下となる浮体形状を実際に示した。
- (3) 浮体の有限長さに起因する 3 次元影響を調べるために、2 次元最適化手法で求めた断面形状を有し、浮体長さが異なる 3 次元浮体に対して高次境界要素法を適用した数値解析を行った。その結果、浮体に働く流体力や波浪中浮体動揺に対する 3 次元影響は大きくないが、浮体周りの水面変位は、浮体長さが長くなると 2 次元計算値と似た傾向を示すものの、 $L/B = 20$ (L : 浮体長さ、 B : 浮体幅) の長い浮体の中央断面位置でも、波振幅が計測場所によって異なっていることが示された。
- (4) 波漂流力に対する 3 次元影響も比較的小さく、計算した波周波数領域の殆どで、2 次元計算値に浮体長さを掛けた値は 3 次元計算値と実用上大きな差はなく、設計では 2 次元解析法による計算値を用いることが可能であることが示された。

以上のように、本論文は、性能の良い浮き消波堤の開発に対して、遺伝的アルゴリズムと境界要素法を組み合わせた最適化手法を導入し、その妥当性を水槽実験などで検証するとともに、有限長さによる流体力学的な 3 次元影響についても数値計算によって考察したものであり、新しい浮き消波堤の開発・設計に資するものであると評価される。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。