

三次元影響を考慮に入れた浮消波艇の初期計画

Initial plan of floating breakwater considering three-dimensional hydrodynamic effect

学籍番号 47-176629 伊藤 匡規

指導教員 尾崎 雅彦 教授

平成 31 年 1 月 30 日発表予定

Keywords: 動揺制御型浮消波艇, 透過率, 三次元影響, ポテンシャル理論

Keywords: Floating breakwater, Transmission coefficient, three-dimensional effect, potential theory

1. 序論

1.1 はじめに

本報では、洋上作業の稼働率を効果的に高めるのに必要な波高・周期の波のみを消波対象とし、波向や作業段階に応じて位置の変更や荒天待避が可能な移動式浮消波堤—浮消波艇—を提案する。

浮消波堤（あるいは浮防波堤）は、港湾の仮設工事などの目的で古くから国内各地で建設実績がある^{5),6)}。設置場所は、湾内や内海など比較的穏やかな海域であり、対象となる波周期は最大で 6 秒程度、水深は数十 m。波の進入方向はほぼ定まっているため、複数の浮消波堤を波の入射方向に合わせて一列に並べて係留される(Fig.1)。以上の環境的要因から、従来の内海向けの浮消波堤の計画においては、一般的に二次元性能の評価のみ行われる^{1),2),3)}。これに対し、本研究で提案する浮消波艇は、比較的穏やかな内海から外洋へと利用の場を移す。水深は大水深を含めて変化し、波周期は 10 秒を超える場合もあり、あらゆる方向から入射する。本研究の浮消波艇は、洋上作業の稼働率を高めることを目的としたものであるため、浮消波堤に推進器による移動・位置保持機能を持たせ、新たに浮消波艇として、必要な時に作業海域に移動し、洋上作業に合わせて移動し静穏域を作り出す機構を提案する。



Fig. 1 Floating breakwater

1.2 浮消波艇の目標性能

Fig.2 に日本海のある地点における波高一波周期確率密度分布を示す。海上作業の限界波高が 1.0m である場合、年間の稼働率は 41%程度であるが、周期 10 秒以下の波の透過率を 0.5 にできる浮消波艇を用いれば、稼働率は 76%程度までに上昇する。荒天時は作業を避けること想定しているため、波周期 10.0 秒以上の波は消波のターゲットとしない。これらのことから、浮消波艇の目標性能は「10.0 秒以下の周期範囲で透過率 0.5 以下の水域を 50m×50m 以上確保」と定める。透過率とは消波性能を表す基本的な無次元量であり、(観測点の波高)/(入射波高)で求められる。

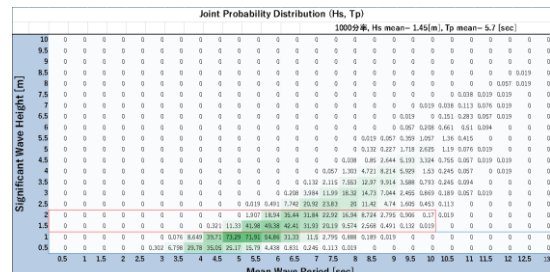


Fig. 2 ERA 135E38N significant wave height

1.3 研究手法

研究は計算と実験の双方を利用しながら進める。計算は 3 次元ポテンシャル理論計算ソフト WAMIT を用いて行う。ポテンシャル理論は非粘性、非回転の条件の流体を扱い、浮体運動や波浪についての計算によく利用される。実験は水槽で行う模型実験である。

2. 従来二次元計算の知見

本研究では、三次元環境での性能について論じるわけであるが、利用する水波の理論は以前の研究と同じものであり、そこで得られた知見は本研究の基礎となるものであるため、ここで説明しておく。参考文献 1) では三菱動揺制御型浮消波堤の性能について計算と実験を行い、その性能について論じている。浮消波堤の断面と透過係数を Fig.3 に示す。透過係数は透過率と同義である。また、横軸は(波長)/(浮体幅)の無次元値である(以降λ/Bと記す)。実線で示された計算結果を見るとλ/Bが 2 から 3 の間に一つ、そして 6 付近に一つ透過係数が 0 となる全反射点が存

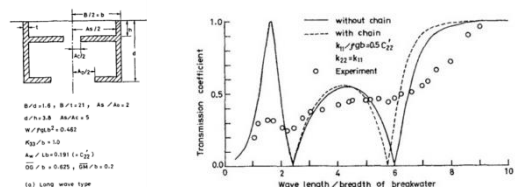


Fig. 3 Sectional figure of existing floating breakwater and Transmission coefficient

在する。別所らの研究により以下の関係式が知られている。

$$\varepsilon_x - \varepsilon_y = n\pi \quad (n = 0, \pm 1, \dots) \quad (1)$$

ここで ε_x は左右揺れ(roll 又は sway), ε_y は上下揺れ(heave)の位相差を表す。手前の $2 < \lambda/B < 3$ の点については、スロッシングにより roll の位相差が変化することで条件式を満たす。一方、 $\lambda/B = 6$ の点については、heave の同調によって位相差が変化するために条件式を満たす。この 2 つの全反射点の間の λ/B では透過率が 0.5 以下であるのでこの 2 点間を広くとることを考えるが、その場合 $\lambda/B = 4$ の上に突の部分の透過率が大きくなってしまふことが知られている。浮消波艇の性能向上には 2 つの全反射点の間を広くとりかつその間の性能を悪化させないような工夫が必要である。

次に Fig.3 における実験と計算を比較する。実験では、計算結果にあった 2 点の全反射点は存在せず、その付近では緩やかに変化していることが分かる。この原因は、流体の粘性に基づく減衰力の存在による船体運動の減衰や、ポテンシャル理論で考慮されていない非線形影響などが考えられる。

3. 模型実験 1

3.1 実験概要

浮消波艇の三次元性能について理解を深めるため、浮消波艇模型を用いて、三次元性能を知るための水槽実験を行う。そして、実験結果を WAMIT の計算結果と比較して計算による浮消波艇の性能評価の妥当性を検討する。浮体模型を 1 基係留し、波を入射させて各種性能を測定する。入射波高と浮体後方の観測点の波高から消波率を算出する。実験場は生産技術研究所 海洋工学水槽、長さ 50m、幅 10m の長水槽である。実験模型を Fig.4 に示す。寸法は L 1520mm × W 320mm × D 280mm (縮尺 1/50) である。



Fig. 4 Experimental model

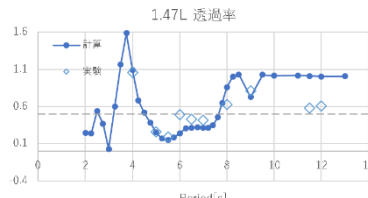


Fig. 5 Transmission coefficient of Experiment1- period

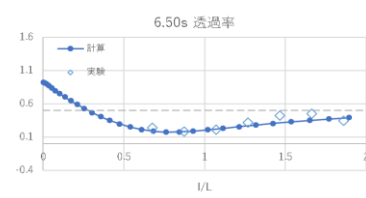


Fig. 6 Transmission coefficient of Experiment1 - L/L

3.2 実験結果

Fig.5 は横軸を実機スケール波周期とした透過率, Fig.6 は横軸を(距離)/(模型長さ L)の長さの無次元値で表した透過率である。見れば、距離によって透過率が変化していることがわかる。そして距離についての性能というものは単調に変化していくものではなく適切な距離というものがあることもわかる。定量的には 0.5L~1.0L の範囲が消波性能が良い距離であるといえる。

実験値と計算値を比較すると、波周期 4s,8s 付近の透過率のピーク位置が一致していることがわかる。しかし、ピーク時の定量的な透過率の値は計算のほうが大きく表された。Fig.6 から、透過率の距離についての変化も、定性的に一致していることがわかる。

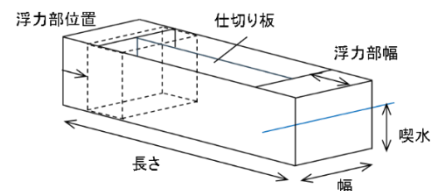


Fig. 7 Each parameter of floating breakwaters

4. パラメータ計算

WAMIT 計算を用いて性能の良い浮消波艇を開発していく。開発の方針としては、実験で扱ってきた動揺制御型浮消波艇について、性能を向上させる可能性のあるパラメータを変化させていった計算を行い、その結果を評価していく。パラメータ計算の手順は次のようである

1. いくつかのパラメータを挙げていき、それぞれのパラメータ単独の効果を評価する
2. 1.で有効だったパラメータから 2 種のパラメータの組み合わせた場合の効果を評価する

4.1 単独パラメータの計算

パラメータ一つ一つについて計算を行う。採用するパラメータとその狙い、また対応するアルファベットについて、簡単に記す。

- ・喫水：浮消波艇の喫水を操作する。深くすることでヒープ同調周期をより長くする。D10→実機スケールで喫水 10m

- ・幅：浮消波艇の幅を操作する。狭くすることでスロッシング周期を小さくする。B16→実機スケールで幅 16m

- ・長さ：浮消波艇の長さを操作する。波の回り込みを抑えて消波性能の悪化を防ぐ。L72→実機スケールで長さ 72L

- ・浮力部幅：浮消波艇の両端の浮力部の幅を操作する。三次元的な形状の変化が性能に与える影響を見る。WB9→実機スケールで浮力部幅 9m

- ・浮力部位置：浮消波艇の両端の浮力部を移動させる。浮力部幅と同じく三次元的な形状の変化による影響を見る。SB5→実機スケールで浮力部を 5m 移動する

- ・仕切り板：浮消波艇を幅方向に分断する仕切り板を挿入する。見かけの水線長を短くしてスロッシング周期を小さくする。

P1:1 →浮体幅を 1:1 に分断する
計算結果を Fig.8-13 に示す。凡例(C), (A) は実験で用いた浮消波艇の基本的なモデルで、比較対象として載せる。

- ・喫水：Fig.8, 1.47L 地点の透過率曲線。深くすると長周期の性能が良くなり、中間波周期 (6.0s~8.0s) の性能が悪化する。これらを考慮すると D14 が最も性能が良い。

- ・幅：Fig.9, 1.47L 地点の透過率曲線。小さくすると短周期側の限界が多少広がる、中間波周期の性能が多少悪化

- ・長さ：Fig.10, 周期 6.0s 横軸を距離とした透過率曲線。長くすると効果範囲が波進行方向に延びる。消波する波周期には影響しない。

- ・浮力部幅：Fig.11, 0.40L 地点の透過率曲線。大きくすると浮体近傍の性能が良くなる。

- ・浮力位置：Fig.12, 1.47L 地点の透過率曲線。移動しても一元的な効果は得られず総じて性能は良くない。

- ・仕切り板：Fig.13, 1.47L 地点の透過率曲線。スロッシング時の性能悪化が抑えられる。

4.2 パラメータ組み合わせ

パラメータ単独計算で性能向上が期待できる喫水(D), 幅(B), 浮力部幅(BW), 仕切り板(P)の4つを組み合わせで計算する。パラメータは4つあるうちから2つを取り出して計算をし、それぞれのパラメータの相性を確認する。計算結果を Fig.14-19 に示す。浮力部幅については Fig.15,17,18 どの組み合わせでも浮力部幅の良い効果が表れることがなかった。対照的に仕切り板については、Fig.16,18,19 どの組み合わせにおいても性能を発揮した。幅と喫水の組み合わせ Fig.14 については、単独計算の時と同じく、中間波周期帯の性能の悪化に注意してパラメータを調節する必要があることが分かった。

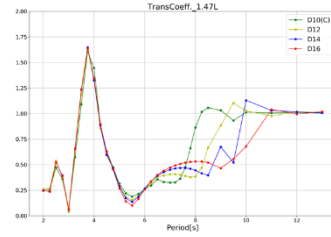


Fig. 8 Transmission coefficient

about Draft

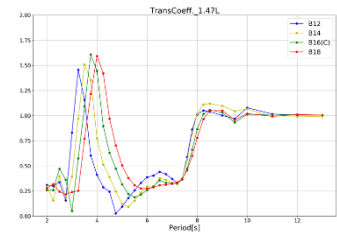


Fig. 9 Transmission coefficient

about Breadth

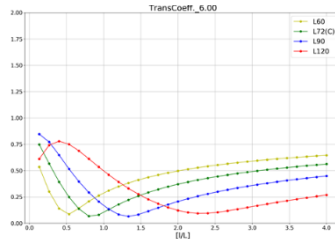


Fig. 10 Transmission coefficient

about Length

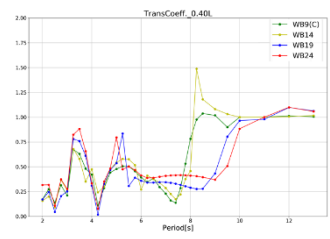


Fig. 11 Transmission coefficient

about Width of buoyancy part

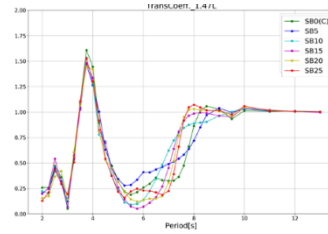


Fig. 12 Transmission coefficient

about Position of buoyancy part

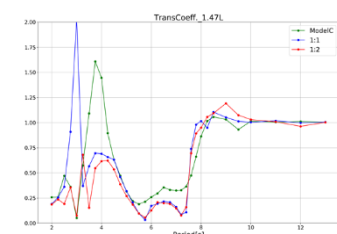


Fig. 13 Transmission coefficient

about Partition

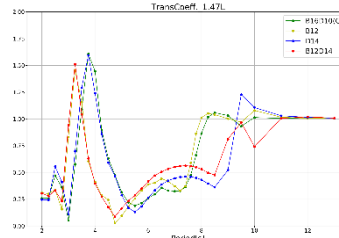


Fig. 14 Transmission

coefficient about D and B

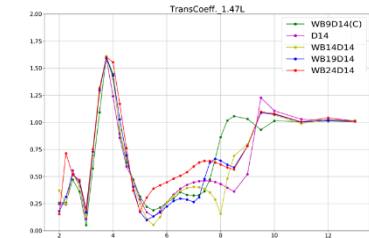


Fig. 15 Transmission

coefficient about D and WB

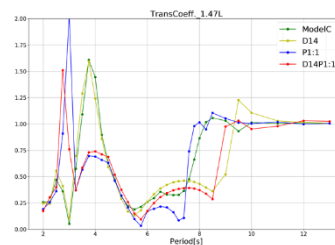


Fig. 11 Transmission

coefficient about D and P

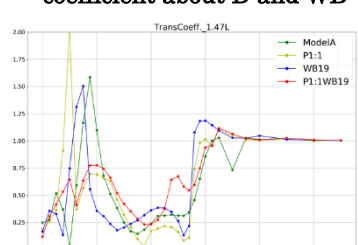


Fig. 10 Transmission coefficient

about B and WB

4.3 3種のパラメータの組み合わせ

他のものと組み合わせて利用できるパラメータは喫水、幅、仕切り板であることが分かった。この3つのパラメータを組み合わせれば、より性能の良くすることが期待できる。そこで、D14B14P1:1とD14B14P1:2の組み合わせについての計算を行う。Fig.20より、採用した3種のパラメータによる効果がそれぞれ表れていることが分かる。結果としては、1.47Lの地点にておおよそ5.0s-9.0sの範囲で透過率0.5以下を達成した。目標の「10秒以下の周期の透過率0.5以下」には達しなかったが、従来のものに比べて性能が良いモデルを一つ提案できた。

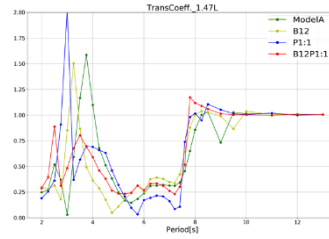


Fig. 12 Transmission coefficient about B and P

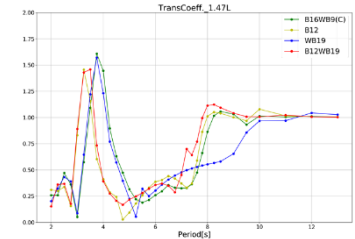


Fig. 13 Transmission coefficient about P and WB

5. 模型実験 2

計算結果から得られたそれぞれのパラメータの特徴が実験環境においても表れるか確認する。また、4.3において示された性能の良いモデルについても実験における性能を確認する。実験モデルは以下の5種である。Aは比較対象となるモデルでありd28が喫水、d26が幅、d20p仕切り板、d32pが3種の組み合わせについての実験である。

- A: 喫水 10m, 幅 16m 縮尺 1/50
- d26 : 喫水 10m, 幅 12m 縮尺 1/37.5
- d28 : 喫水 14m, 幅 16m 縮尺 1/50
- d20p: 喫水 10m, 幅 16m, 仕切り板 縮尺 1/50
- d32p: 喫水 14m, 幅 14m, 仕切り板 縮尺 1/43.75

Fig.21より、計算で取り上げたパラメータについて、それぞれが計算で予想した通りの効果を確認できた。特に仕切り板の実験においては、スロッシングによるピークの値が計算より小さな値を示した。一方で中間波周期帯の透過率が計算の予測より大きくなってしまったため、良い性能は発揮しなかった。

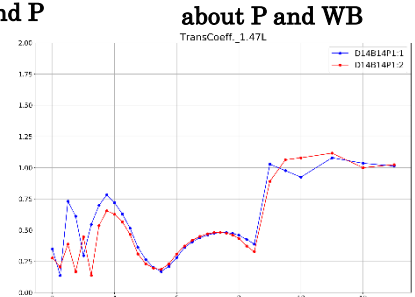


Fig. 20 Transmission coefficient about D, B, P

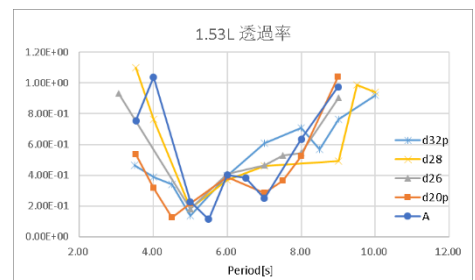


Fig. 141 Transmission coefficient of Experiment 2

6. 結言

本研究では、浮消波艇を外洋作業に利用するために、浮消波艇の目標性能として「10.0秒以下の周期範囲で透過率0.5以下の水域を50m×50m以上確保」と定め、そのために浮消波艇の基本的な消波性能を理解し、向上させることができた。WAMITを駆使したパラメータ計算によって、5.0s-9.0sの範囲で透過率0.5以下を達成し、模型実験では仕切り板による短周期側の著しい性能向上が図れたので最終的に「9.0秒以下の周期の透過率0.5以下」を提案できると考える。

参考文献

- 1) 大楠丹, 柏木正, 池上国広, 尾崎雅彦, 磯崎芳男: 内部自由水を利用する浮消波堤の消波性能に関する研究, 日本造船学会論文集第169号(1992), pp.215-222.
- 2) 高木儀昌, 森口朗彦, 明田定満, 滑川順: 浮消波堤の三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(1993), pp.651-655.
- 3) 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(2002) pp.299-304.
- 4) 辻田孝, 鎌田正雄, 土岐直二, 動揺制御式浮消波堤の開発, 三菱重工技報 Vol.16, No.2 (1979).
- 5) ECOR 日本委員会, 浮消波堤の沿革に関する報告書 (1985).
- 6) 日本浮消波堤協会パンフレット, 海洋開発の未来を担う浮消波堤 (現在廃版).
- 7) WAMIT, Inc., WAMIT USER MANUAL Version 7.2 <http://www.wamit.com/downloads/index.htm> (2016)
- 8) AeroHydro, Inc., MultiSurf for WAMIT8.0 Manual <http://aerohydro.com> (2011)