

新エネルギー・資源開発のための海洋構造物周辺の二次共振現象について

2013年3月修了

東京大学大学院 新領域創成科学研究科

環境システム学専攻 地球環境工学研究室

47-116678 藤井達也

指導教員：影本 浩 教授，阿久津 好明 准教授

キーワード：共振現象，速度ポテンシャル，定在波，浮体式洋上風力発電，海洋資源開発

1. 研究の背景

エネルギー開発，資源開発のどちらも経済的に必要不可欠のものであるが，環境問題と無縁ではない．日本国内では洋上風力発電に限らず，排他的経済水域内でのメタンハイドレート開発やレアアース開発の計画も進んでおり，海洋利用が進むと考えられる．その採掘の際には非常に深い水深を理由に浮体式の海洋構造物が選択されることは間違いない．その主要な形式としては現在，石油プラットフォームとして広く用いられているセミサブ式のように，Fig. 1 に示すような複数の円柱状の脚と上部構造物から成る構造物が採用されるものと考えられる．この構造は，水面を貫く部分の断面積を小さくしていることにより波による動揺を低減できるという特徴を持ち，広く用いられている．

しかし，参考文献[1]によれば，Fig. 1 のように円柱と円柱の間において，入射波と同じ振動数の成分である1次成分が共振現象を見せることが知られている．また，参考文献[2]では入射波の2倍の振動数で振動する2次成分も1次成分に匹敵するほど大きくなり，場合によってはデッキ下面への波浪衝撃圧など構造安全上大きな問題を引き起こす可能性がある．

本研究はこのような構造物の安全性に関連する問題を扱っているもので，このような点から環境問題と深く関連する研究である．

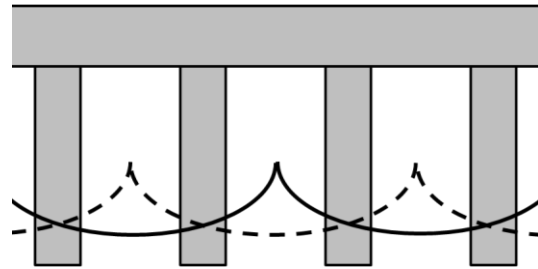


Fig. 1 Resonance of water surface [1]

2. 研究の目的

本研究の目的としては大きく分けて2つの目的が存在する．

1つ目の目的は構造物の設計を考えたものである．具体的には，円柱の半径や間隔といった配置に関する要素を様々に変化させることで，共振現象が発生する周期との相関を探ることが1つ目の目的である．

2つ目は科学的なものである．1次成分の共振現象に関する先行研究は数多く存在するが，一方で2次成分の共振現象に注目したものはない．したがって，この点に新規性があると言える．そのため，本研究では2次成分の共振現象の発生についての理論的な考察をもう一つの目的とする．

3. 数値モデル構築と妥当性の検証

本研究においては，参考文献[3]にて提示されていた数値モデルを用いている．

これは，複数の着底円柱が存在する場合に，各円柱に対して局所円筒座標系を設定し，各種支配方程式を満たす円柱近傍の1次および2次の速度ポテンシャルを，連立方程式を

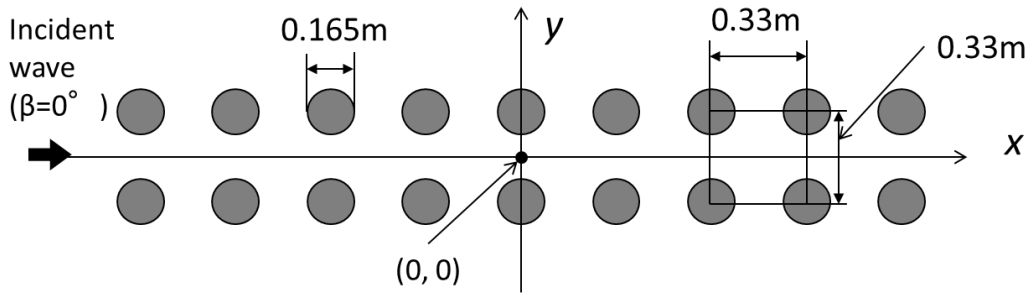


Fig. 2 Geometry of the array of 2x9 cylinders

用いて準解析的に求めるものである。これを用いて、計算を行った。

参考文献[2]では、9本の浮体円柱が2列に並んでいる状態(以下、列数×本数の形で表記する。この場合は2×9本と表記される。)以外にも、円柱同士の間隔や円柱の半径はそのままに2×3本、2×5本、2×7本の計4種類の実験を行っている。本研究においても同様に4種類の計算を行ったが、代表してFig. 2のように配置した2×9本の円柱列に対する計算例を示す。

Fig. 3がその計算例であり、横軸には入射波の周期、縦軸には原点における各成分の振幅と入射波の振幅 ζ_a の比をとっている。これを見るとわかるように、浮体円柱と着底円柱というモデルの違いはあるものの、ピーク周辺のみならず、全体的によく再現できていることがわかる。

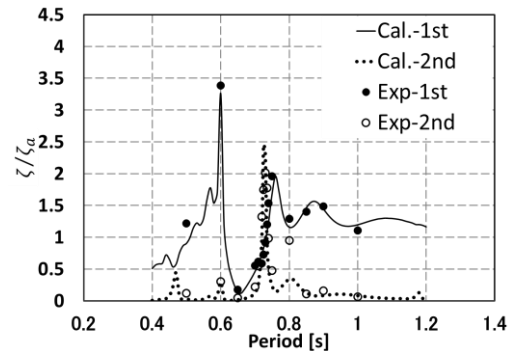


Fig. 3 Calculation for 2x9 cylinders

4. 各種パラメータの影響

本研究では、円柱の配置を変化させた場合として、円柱の半径、円柱の間隔(列同士の間隔のみ変化させる、列内での隣同士の間隔のみ変化させる、両方とも変化させる)の4つの場合の計算を行ったが、ここでは代表して2つの計算例を示す。Fig. 4が円柱の半径を変化させた場合、Fig. 5が円柱の間隔を縦横同じ値のまま変化させた場合の計算例である。横軸には円柱の間隔 L と円柱の半径 a の比、縦軸には円柱の間隔 L とピーク周期における入射波の波長 λ の比を示している。

この結果を見るとわかるように、ピーク周期は円柱の半径に左右されず、またその波長は円柱の間隔との比が $n/2$ ($n=1,2,3,\dots$)とな

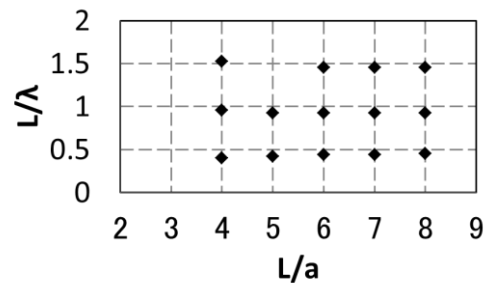


Fig. 4 Calculation result focusing radius of cylinders

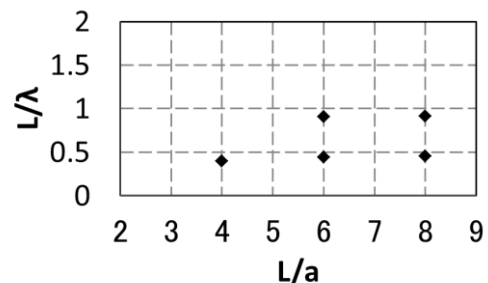


Fig. 5 Calculation result focusing distance between adjacent cylinder axes

る場合にピークを示している．これについては，1次成分に関する先行研究として参考文献[4]があり，それによれば定在波状の応答を示すことによって顕著なピークが見られているということである．

水面に対する計算結果を可視化したところ，Fig. 6(a)～(c)のようになった．いずれも等高線は各成分の振幅 ζ と入射波の振幅 ζ_a の比が1ごとの間隔で描かれている．これを見ると確かに1次成分と2次成分ともに定在波状の応答となっている．

しかし，Fig. 6(a)とFig. 6(b)を見比べるとわかるように，定在波における節と腹に相当する位置が1次成分と2次成分で逆転しており，なおかつ2次成分が最も大きな振幅を示す円柱表面が1次成分の節に相当する位置となっていることがわかる．その結果，そこでの合計水位は1次成分による推測の4倍の高さまで波が高くなる計算となっていた．また，合計水位はその点で最大水位を示しており，その高さは1次成分のみによる計算の場合の最大水位もしのぎ，入射波の振幅の5倍以上となっていたため，1次成分だけによる計算

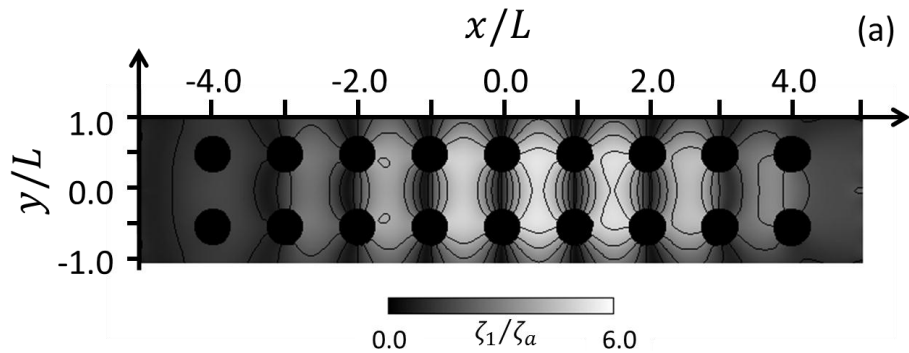


Fig. 6(a) 1st-order water-surface elevation ($T=0.73s$)

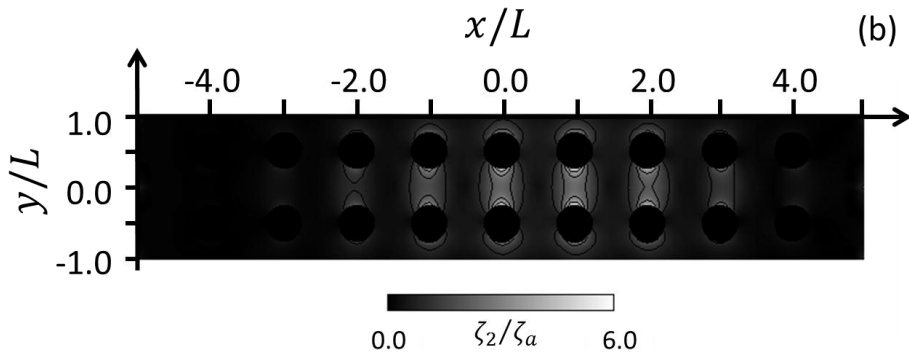


Fig. 6(b) 2nd-order water-surface elevation ($T=0.73s$)

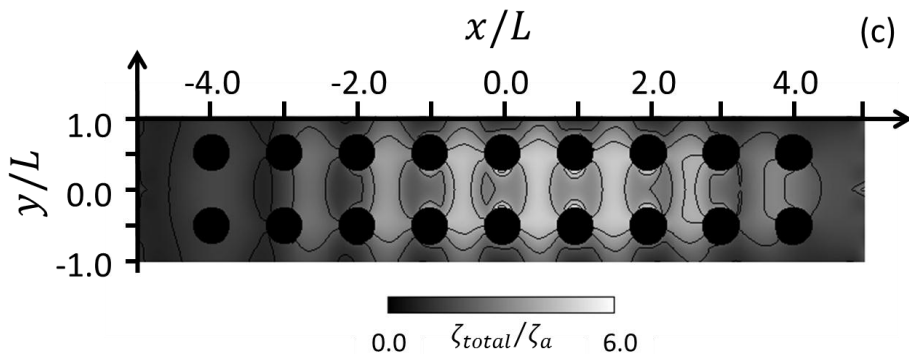


Fig. 6(c) Total water-surface elevation ($T=0.73s$)

では振幅が小さいはずの位置において最大水位をとるという結果になっている。

1列を構成する円柱の本数を増やした場合の計算も行ったが、その場合でも1次成分, 2次成分ともに定在波状の応答を示していることが確認された。

5. 最大水位に関する計算

ここで、同様の定在波状の応答を示している場合における、原点上方の円柱の中心軸と原点を結ぶ線上の水面の高さを示したものが Fig. 7 である。ここでは3種類の間隔に対して合計水位の高さを示している。縦軸には合計水位 ζ_{total} と入射波の振幅 ζ_a の比、横軸には原点上方の円柱の中心軸座標からの距離 r_k と円柱の半径 a の比をとっている。

Fig. 7 を見ると、円柱の中心軸の間隔が広くなると確かに3本の線それぞれの右端、すなわち原点におけるピーク水位が小さくなっていることが再確認できるが、必ずしも円柱表面に近づくにつれて同じように高くなっていくわけではなく、円柱の中心軸の間隔が広がるほど水位の変動は全体的に緩やかになるということがわかる。すなわち、水面に対して円柱の占める割合が少なくなるほど水面全体の変動が小さくなるという直感的にも適合する結果が得られた。

しかし、最大水位を示す円柱表面の水位については、円柱の中心軸の間隔が広がると急激に小さくなっており、波の高さを許容範囲内に収めるために円柱の間隔を極端にとらなくとも十分な効果が得られるということがわかる。

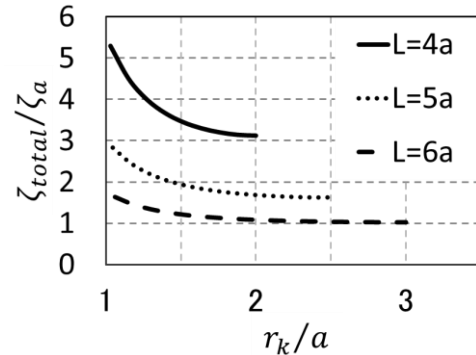


Fig. 7 Water-surface elevation on y-axis

6. 結論と今後の課題

今回構築した数値モデルにおいて、2次成分の共振現象を再現することができた。また、円柱の配置について各種パラメータの影響を評価することにも成功している。その結果、ピーク周期は円柱の間隔を変化させることによって操作することが可能であることがわかった。また、条件によっては2次成分が卓越し、1次成分のみによる推測では波が低いはずの場所において最大水位を示すこともわかった。円柱の間隔を広くとることは2次成分の卓越を抑制する効果があることも確認されたが、その効果は広げるほど薄くなっていくことも確認された。

ただし、これらはいくまで着底円柱をモデルとした理論に基づくため、浮体円柱に対する理論の構築と実際の構造物への適用、2次成分の共振現象の理論的解明が今後の課題になると思われる。

参考文献

- [1] 日本造船学会海洋工学委員会構造部会, 超大型浮体構造物の構造設計, 成山堂書店, p.161, 2004
- [2] Hiroshi Kagemoto, Motohiko Murai, Water-surface dynamics among a periodic array of floating bodies subject to regular incident waves, 2004, (未発表)
- [3] 真田武, 岩田好一郎, 水谷法美, 複数の大口径円筒構造物による非線形2次近似回折波理論, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 846-850, 1995
- [4] H. D. MANIAR and J. N. NEWMAN, Wave diffraction by a long array of cylinders, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 339, pp. 309-330, 1997