

超大型浮体構造物が有する津波高さ低減効果の数値解析

鹿児島大学工学部	学生会員	勸場隆嗣
鹿児島大学大学院理工学研究科	正会員	柿沼太郎
鹿児島大学大学院理工学研究科	学生会員	中平達也
関西大学システム理工学部		村上佳広

1. 研究の背景及び目的

近年、海上空港や、風力・太陽光発電の基地、そして、災害時の避難場所として、超大型浮体構造物の利用が考えられるようになった。超大型浮体構造物は、曳航等により移動可能であるという特徴を有し、また、日本のような島国では、空間の創造という意味でも有効であろう。ところで、劉・堺 (2000) は、津波を想定した孤立波が、弾性体である薄板状浮体構造物に入射する場合の浮体の応答を水理実験により調べ、入射波の非線形性が比較的強い場合に、孤立波に先行する分裂波が生じることを見出した。こうした波の分裂は、主波の波高を低減させるが、このことは、薄板状浮体が津波高さの低減効果を有することを示唆している。そこで、本研究では、薄板状浮体と流体の相互干渉問題を対象とした数値モデルを適用し、超大型浮体構造物が有する、津波高さの低減効果に関して、数値解析に基づき検討する。

2. 数値解析の手法及び条件

基礎方程式系は、水の波の変分原理に基づく非線形方程式系と、線形古典理論から得られる薄板の運動方程式である (Kakinuma ら, 2012)。数値解析では、薄板が存在する位置の水面に曲げ剛性率を与え、一部の水域を覆う薄板を表現する。上述した水理実験の結果 (劉・堺, 2000) との比較により、本数値モデルを用いて再現された薄板状浮体の応答は、高い精度を有することが確認されている (Kakinuma ら, 2012)。

本研究では、図-1 に示す例のように、水面上に存在する薄板状浮体構造物に、孤立波を入射させ、浮体の運動と相互干渉する表面波の、1 次元伝播解析を行なう。そして、全長や曲げ剛性率が異なる超大型浮体構造物が有する津波高さの低減効果を調べる。なお、各地点の水面変動の最大値を津波高さとして定義する。静水深 h を 50 m とし、約 5.0 m の波高の孤立波を入射させる。1 基目の超大型浮体構造物の沖側端の位置を $x = 4$ km とし、超大型浮体構造物を 2 基設置する場合についても検討する。流体の速度ポテンシャルを表わす鉛直分布関数の個数を $N = 3$ とする。また、計算格子間隔 Δx 及び計算時間間隔 Δt は、それぞれ 20 m 及び 5.0×10^{-3} s とする。

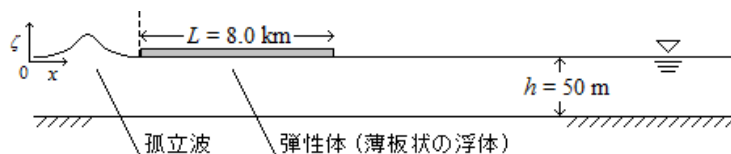


図-1 薄板状浮体構造物が設置された計算対象領域

3. 津波高さ低減効果に対する超大型浮体構造物の全長の影響

超大型浮体構造物の曲げ剛性率 B を 1.0×10^{12} Nm² とする。全長 L が 0.5, 0.7, 1, 2, 3, または、4 km である浮体を 1 基設置した場合における、各地点の相対最大水位の数値解析結果を図-2 に示す。ここで、相対最大水位は、各地点における、浮体を設置した場合の最大水位 $\eta_{1,max}$ と、浮体を設置しない場合の最大水位 $\eta_{0,max}$ の比である。津波が浮体を通過した後、いずれの場合においても、津波高さの増加が見られる。これは、浮体通過時の分裂によって発生し、先行した、波長の短い波に、浮体通過後、波長の長い主波が追い付き、重合して、主波の波高が増加するためである。この重合の後に、津波高さが低減し始め、そして、津波がある距離を伝播した後に、津波高さの低減効果が現れる。図-2 より、超大型浮体構造物の全長が長いほど、最終的な津波高さの低減効果が大きくなるのがわかる。ただし、津波高さの最終的な低減効果が発揮されるためには、浮体の全長が長いほど、津波が、浮体通過後、より長距離を伝播する必要がある。図-2 において、最終的な津波高さは、浮体の全長 L が 2 km の場合に、約 1 割低減し、浮体の全長が 3 km の場合には、約 2 割低減し、そして、浮体の全長が 4 km の場合には、約 3 割低減している。

浮体の全長 L が 8 km 及び 10 km の場合における、各地点の相対最大水位 $\eta_{1,max} / \eta_{0,max}$ の数値解析結果を図-3 に

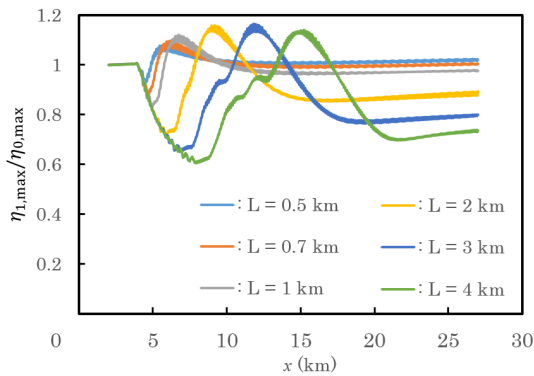


図-2 各地点の相対最大水位 $\eta_{1,\max}/\eta_{0,\max}$ ($B = 1.0 \times 10^{12} \text{ Nm}^2$, $L = 0.5, 0.7, 1, 2, 3, \text{ or } 4 \text{ km}$)

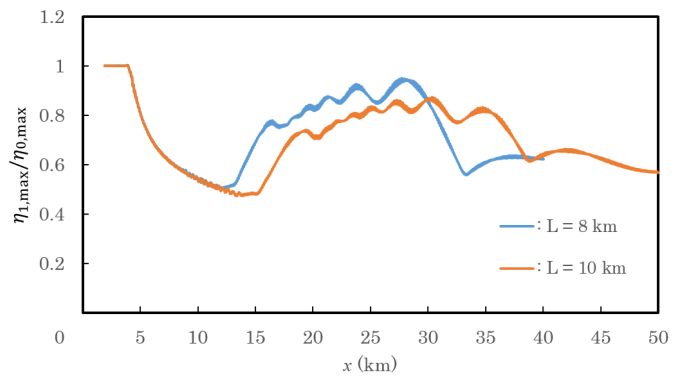


図-3 各地点の相対最大水位 $\eta_{1,\max}/\eta_{0,\max}$ ($B = 1.0 \times 10^{12} \text{ Nm}^2$, $L = 8 \text{ or } 10 \text{ km}$)

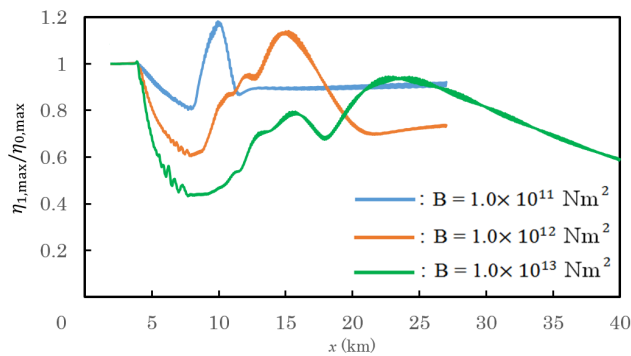


図-4 各地点の相対最大水位 $\eta_{1,\max}/\eta_{0,\max}$ ($L = 4 \text{ km}$)

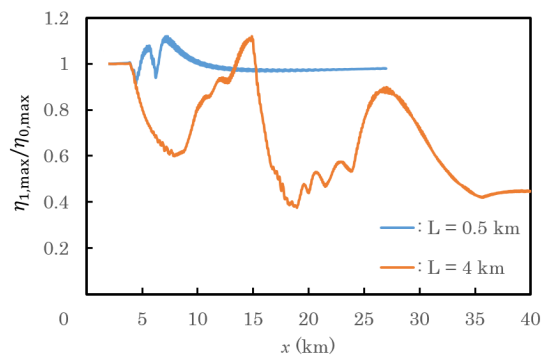


図-5 浮体を2基設置した場合の相対最大水位 $\eta_{1,\max}/\eta_{0,\max}$ ($B = 1.0 \times 10^{12} \text{ Nm}^2$, $L = 0.5 \text{ or } 4 \text{ km}$)

示す。これらの場合には、分裂波に重合した主波の津波高さは、入射波波高を越えていない。浮体の幅が、浮体背後の水域に対して十分に大きいと仮定すれば、両者の場合、最終的な津波高さは、4割程度低減する。

4. 津波高さ低減効果に対する超大型浮体構造物の曲げ剛性率の影響

図-1に示す水域の $4 \text{ km} \leq x \leq 8 \text{ km}$ の位置に、全長 L が 4 km である超大型浮体構造物を1基設置する。この浮体の曲げ剛性率 B が異なる場合の、各地点の相対最大水位 $\eta_{1,\max}/\eta_{0,\max}$ を図-4に示す。浮体の曲げ剛性率 B が大きいほど、最終的な相対最大水位 $\eta_{1,\max}/\eta_{0,\max}$ が低くなり、津波高さの低減効果が大きい。ただし、曲げ剛性率が大きいほど、最終的な相対最大水位に至るまでに要する津波の伝播距離が長くなる。これは、曲げ剛性率が大きい場合に、周期の短い分裂波が数多く生成されるためである。すなわち、波高が比較的大きく低減して波速が遅くなった周期の長い主波は、長い波列の分裂波を追い越すために、より多くの時間を要する。

5. 超大型浮体構造物を2基設置した場合の津波高さ低減効果

超大型浮体構造物の曲げ剛性率を $1.0 \times 10^{12} \text{ Nm}^2$ とし、2基の浮体を設置する場合を対象とする。その際に、津波が1基目の浮体を通過後、津波高さが最大となる地点を2基目の浮体の沖側端の位置とする。こうすることにより、津波高さの低減効果を最大とすることができる(中平ら, 2014)。浮体の全長 L が 0.5 km 及び 4 km である場合の各地点の相対最大水位 $\eta_{1,\max}/\eta_{0,\max}$ の数値解析結果を図-5に示す。浮体の全長が 0.5 km の場合、2基目の浮体の沖側端は、 $x = 5.78 \text{ km}$ の位置にある。この場合、津波高さの低減効果は、全長が 1 km の浮体を1基設置した場合と比較して、あまり大きくない。他方、浮体の全長が 4 km の場合、2基目の浮体の沖側端は、 $x = 15.0 \text{ km}$ の位置にある。この場合、図-3に示す、全長が 8 km の浮体を1基設置した場合と比較して、津波高さの低減効果が増大しており、最終的な津波高さは、約6割低減している。

参考文献

- 中平達也・柿沼太郎・山元 公・山下 啓・村上佳広: 超大型浮体構造物の津波低減効果, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, pp. 911-915, 2014.
- 劉 曉東・堺 茂樹: 大型弾性浮体下での孤立波の分裂に関する数値解析, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 31-35, 2000.
- Kakinuma, T., K. Yamashita, and K. Nakayama: Surface and internal waves due to a moving load on a very large floating structure, J. Applied Mathematics, Vol. 2012, Article ID 830530, 14 pages, 2012.