

超大型浮体構造物による津波高さ低減の数値解析

鹿児島大学大学院	学生会員	○越智 直人
鹿児島大学学術研究院	正会員	柿沼 太郎
関西大学	正会員	村上 佳広
神戸大学	正会員	中山 恵介

1. 研究の目的

堺ら(1998)及び劉・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浮体波として生じることを見出した。この波の分裂時に、波のエネルギーの一部が分裂波のエネルギーとなる。すなわち、浮体構造物通過時に、各地点における波高の最大値が、分裂波の生成に伴い低減される。この現象は、超大型浮体構造物が、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を検討する。

2. 基礎方程式系及び数値解析手法

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、線形古典理論より得られる薄板の運動方程式とする(柿沼, 2001)。速度ポテンシャルの、鉛直方向 z に関するべき級数の展開項数を $N = 2$ とし、波の分散性を考慮する。数値解析では、2 層流体中における内部波の 1 次元伝播を対象とした陰的な差分法(Nakayama・Kakinuma, 2010)を薄板状浮体構造物と、表面波の 2 次元伝播の相互干渉問題が扱えるように拡張し、上記の基礎方程式系を解く。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。Kakinuma ら(2012)は、本数値モデルによる解析結果と、上述した劉・堺(2000)による水理実験結果を比較し、本数値モデルによる薄板状浮体の応答の再現性が高い精度を有することを確認している。

3. 数値解析条件

図-1 に示すような湾内の $2.4 \leq x/\lambda \leq 2.4 + L/\lambda$ 及び $0.16 \leq y/\lambda \leq 1.44$ の位置に、超大型浮体構造物を 1 基設置する場合を考える。ここで、入射波波長が λ となるよう、 $x/\lambda = 0.0$ を完全反射境界とし、図-2 に示すように、初期時刻 $t = 0$ s における津波初期波形を次式で与え、初期時刻における速度ポテンシャルを至る所で 0 とする。

$$\eta(x, y, 0)/a = 1 + \cos[2\pi(x/\lambda)], \quad \text{where } 0.0 \leq x/\lambda \leq 0.5, 0.0 \leq y/\lambda \leq 1.6 \quad (1)$$

ここで、 η は、水面変動である。また、静水深 h を $h/\lambda = 0.02$ で一様とする。浮体構造物の曲げ剛性率 B は、一様とし、 $1.0 \times 10^{11} \text{ Nm} \sim 1.0 \times 10^{15} \text{ Nm}$ とする。境界条件として、完全反射条件を $y/\lambda = 0.8$ に課し、半分の領域を対象領域とする。入射波波高 a は、 $a/h = 0.1$ とし、計算格子間隔を $\Delta x/\lambda = 0.016$ 及び $\Delta y/\lambda = 0.08$ とする。

4. 数値解析結果

図-3 及び図-4 に、浮体長 L を $L/\lambda = 0.8$ とした場合の、それぞれ、 $y/\lambda = 0.4$ 及び $y/\lambda = 0.8$ における、各地点の相対最大水位の数値解析結果を示す。ここで、相対最大水位は、各地点における、浮体構造物を設置した場合の最大水位 $\eta_{\max}$ と、浮体構造物を設置しない場合の最大水位 $\eta_{0,\max}$ の比である。津波が浮体構造物に入射すると、分裂して浮体波が発生し、津波が浮体構造物を通過している間、津波高さが低減している。浮体波は、波長が短い波ほど波速が大きいため、分裂により生成した波長の短い波が先行して浮体構造物を伝播し、その後、波長の最も長い、最大波高の波が浮体構造物を進行する。波は、浮体構造物を通過すると、自由水面波となる。自由水面波は、波長が長い波ほど位相速度が大きいため、最大波高の波が、先行していた分裂波に重畳する。図-3 及び図-4 より、浮体構造物の曲げ剛性率が大きいほど、浮体構造物通過直後の津波高さの低減率が大きくなることがわかる。ただし、曲げ剛性率が大きいほど、津波高さが y 軸方向に大きく変動している。

キーワード 超大型浮体構造物, VLFS, 津波, 低減

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究科 Phone: 099(285)8467

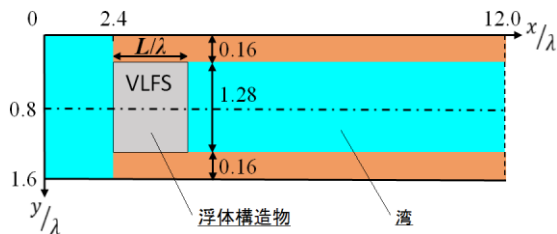


図-1 計算対象領域の平面図

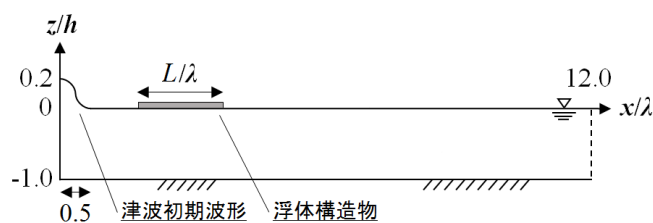
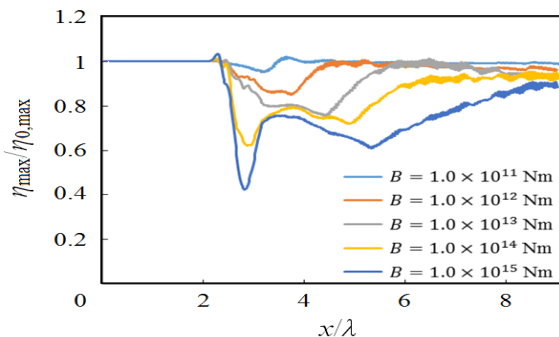
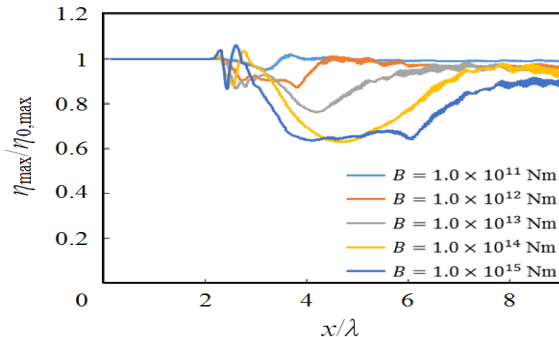
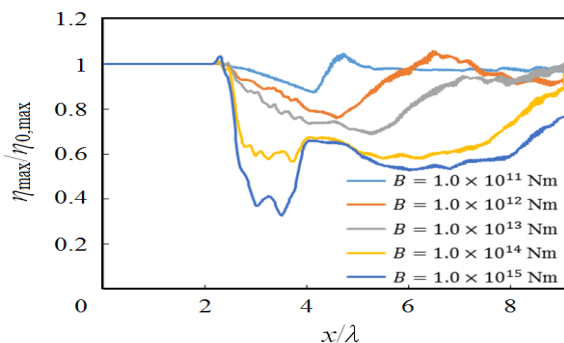
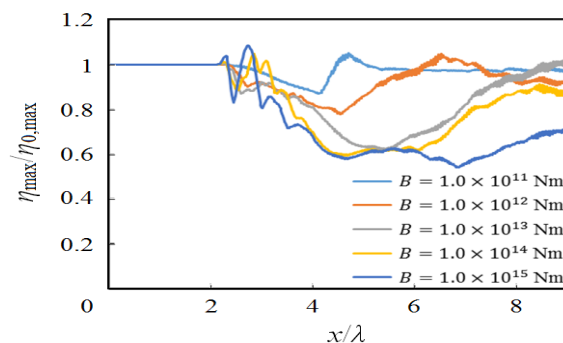


図-2 計算対象領域の鉛直断面図

図-3 各地点における相対最大水位 $\eta_{\max}/\eta_{0,\max}$ ($L/\lambda = 0.8$, $y/\lambda = 0.4$)図-4 各地点における相対最大水位 $\eta_{\max}/\eta_{0,\max}$ ($L/\lambda = 0.8$, $y/\lambda = 0.8$)図-5 各地点における相対最大水位 $\eta_{\max}/\eta_{0,\max}$ ($L/\lambda = 1.6$, $y/\lambda = 0.4$)図-6 各地点における相対最大水位 $\eta_{\max}/\eta_{0,\max}$ ($L/\lambda = 1.6$, $y/\lambda = 0.8$)表-1 津波高さが最低となる地点とその地点における津波高さの低減率 ($L/\lambda = 0.8$)

B	$y/\lambda = 0.4$		$y/\lambda = 0.8$	
	x/λ	低減率 (%)	x/λ	低減率 (%)
1.0×10^{11} Nm	3.264	4.7	4.016	0.5
1.0×10^{12} Nm	3.744	15.2	3.792	12.8
1.0×10^{13} Nm	4.448	24.6	4.224	23.9
1.0×10^{14} Nm	4.912	28.2	4.688	37.3
1.0×10^{15} Nm	5.344	39.2	6.048	36.0

表-2 津波高さが最低となる地点とその地点における津波高さの低減率 ($L/\lambda = 1.6$)

B	$y/\lambda = 0.4$		$y/\lambda = 0.8$	
	x/λ	低減率 (%)	x/λ	低減率 (%)
1.0×10^{11} Nm	4.128	12.8	4.112	13.0
1.0×10^{12} Nm	4.592	24.1	4.544	22.7
1.0×10^{13} Nm	5.248	31.3	5.344	38.0
1.0×10^{14} Nm	6.224	42.1	4.640	40.7
1.0×10^{15} Nm	6.048	47.1	6.880	46.0

図-5 及び図-6 に、浮体長 L を $L/\lambda = 1.6$ とした場合の、それぞれ、 $y/\lambda = 0.4$ 及び $y/\lambda = 0.8$ における、各地点の相対最大水位を示す。この場合、分裂波との重合時に、津波高さが入射波の津波高さより大きくなる地点が存在する。表-1 及び表-2 に、津波が浮体を通過後、津波高さが最低となる地点と、その地点における津波高さの、浮体がない場合からの低減率を示す。曲げ剛性率が大きいほど、この地点が湾奥に近くなる傾向がある。

参考文献

- 柿沼太郎: 海面や海中で振動する大規模薄板構造物と相互干渉する表面波及び内部波の非線形数値計算, 海洋開発論文集, 第 17 巻, pp. 181-186, 2001.
- 堺 茂樹・笹本 誠・劉 曉東・影佐拓也・平賀健司: 津波来襲時の大型弾性浮体の変形について, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 896-900, 1998.
- 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., Yamashita, K. and Nakayama, K.: 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.
- Nakayama, K. and Kakinuma, T.: Internal waves in a two-layer system using fully nonlinear internal-wave equations, Int. J. Numer. Meth. Fluids, Vol. 62, pp. 574-590, 2010.