

# 巨大津波に対する超大型浮体構造物の津波高さ低減効果

鹿児島大学大学院理工学研究科 学生会員 山元 公  
鹿児島大学大学院理工学研究科 学生会員 山下 啓  
鹿児島大学大学院理工学研究科 正会員 柿沼太郎  
鹿児島大学工学部 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: 巨大津波の発生が想定される南海地震津波等に対し、津波対策の見直しが行なわれている。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た。そして、入射波の非線形性が比較的強い場合、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効果を有しており、薄板状浮体が津波低減効果を有すると考えられる。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 (Kakinuma ら, 2012) を用いて、超大型浮体構造物が有する、巨大津波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、水面の薄板が存在する位置に曲げ剛性率を与えて一部の水域を覆う薄板を表現する。この手法により、薄板の端部における波の反射や透過を考慮することが可能になる。なお、山下ら (2011) は、本数値モデルによる結果と既存の水理実験結果 (劉・堺, 2000) 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. 超大型薄板状浮体構造物に入射する巨大津波の挙動: 鉛直断面内の運動を対象として、2011年東北地方太平洋沖地震津波が薄板状浮体構造物に入射する場合の津波の挙動を調べる。まず、岩手県南部沖の水深約 204 m の地点に設置された GPS 波浪計が捉えた津波波形をモデル化する。すなわち、潮位偏差の値を 2 倍し、津波が GPS 波浪計の設置位置を線形浅水波の波速で通過したと仮定して、図-1 のような空間波形を得る。そして、これを津波初期波形として、図-2 に示すようなモデル地形上を津波が伝播する場合の数値解析を行なう。ここで、 $600 \text{ km} \leq x \leq 650 \text{ km}$  に一様勾配斜面があり、斜面沖側の静水深を 204 m、斜面岸側の静水深を 60 m とする。なお、この斜面勾配は、0.00288 であり、岩手南部沖 GPS 波浪計の設置地点から釜石湾湾口に至る実地形の斜面勾配と同オーダーである。この Case A の津波初期波形から、先行する引き波を形成する部分を除外した波形を Case B の津波初期波形とする。また、Case B の津波初期波形から、第 1 段階の比較的低い水位上昇部を波形が滑らかになるように除外した波形を Case C の津波初期波形とする。他方、Case A の津波初期波形から、第 2 段階の比較的大きい水位上昇部を除外した波形を Case D の津波初期波形とする。図-3 に、 $t = 8,000 \text{ s}$  における水面形の数値解析結果を示す。Case A 及び Case B では、波高数 m の成分と、変位のより大きな比較的短周期の成分とで構成される、2 段階で水位が上昇する津波の伝播が確認される。なお、変位の大きな比較的短周期の津波の波形勾配は、約 0.01 である。

次に、図-3 の Case A の、変位の大きな第 2 段階部分の津波に着目するため、波形をやや単純化し、図-4 の  $t = 0 \text{ s}$  に示す水面形を作成する。そして、これを津波初期波形として、一様静水深が  $h = 60 \text{ m}$  である水域に設置した薄板状浮体に津波が入射する場合の数値解析を行なう。ここで、 $30 \text{ km} \leq x \leq 40 \text{ km}$  に、曲げ剛性率が  $1.0 \times 10^{11} \text{ Nm}^2$  である浮体を設置する。なお、津波初期波形の最高水位は、24.0 m である。津波初期波形は、図-4 のように二つの波に分離し、このうち、 $x$  軸の正の方向に伝播する、津波高さ 15 m 程度の津波が、浮体に入射する。浮体に入射後、相対的に短波長の、振幅が小さい浮体波が分裂波として発生する。浮体波は、短波長である波ほど波速が大きく (坪郷・岡田, 1997)、短波長である浮体波の波速は、浅水波の波速より顕著に大きいため、これらの短波長波は、主波に先行し、その結果、主波の津波高さが低減する。そして、浮体を通過後、短波長波は、主波に追い越される。図-5 に、各地点における最大水位を示す。先行する短波長波と主波の重合により、 $40 \text{ km} \leq x \leq 50 \text{ km}$  において、津波高さが増加している。その後、津波高さは、減少し、津波高さが 11 m 程度の津波となる。従って、

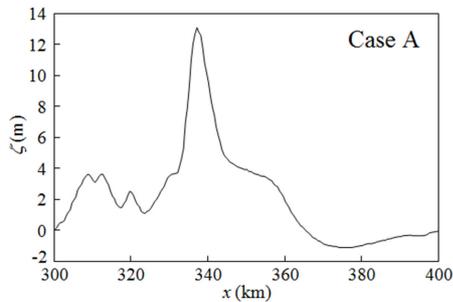


図-1 モデル化した津波初期波形

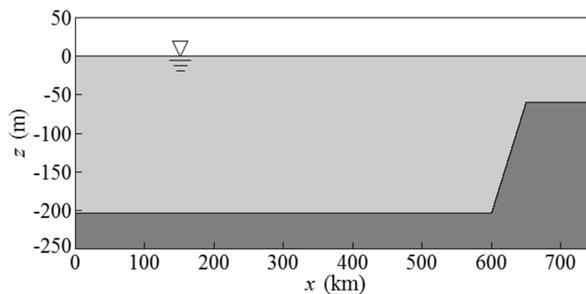


図-2 津波の伝播解析のためのモデル地形

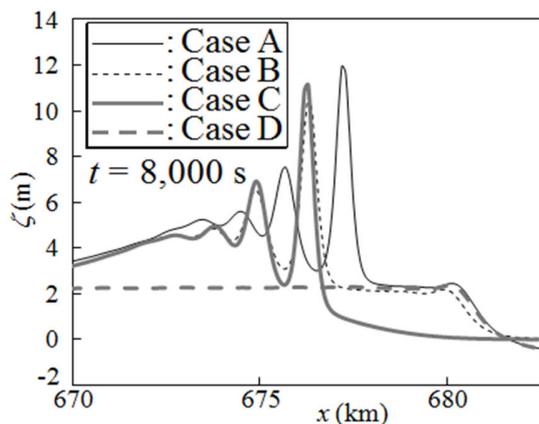


図-3 図-2 の水域を伝播する津波

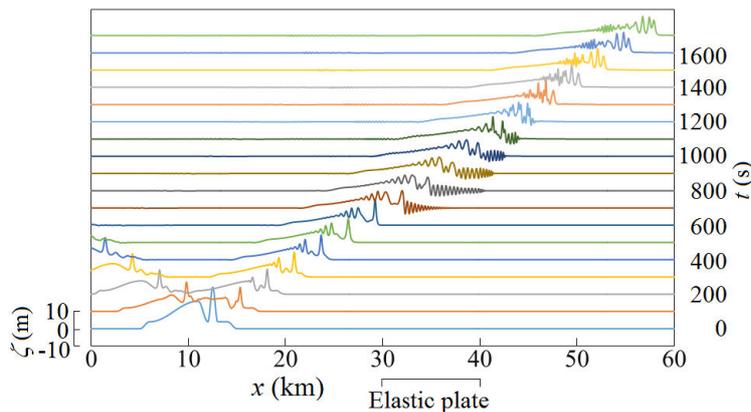


図-4 浮体構造物に入射する津波の各時刻の空間波形

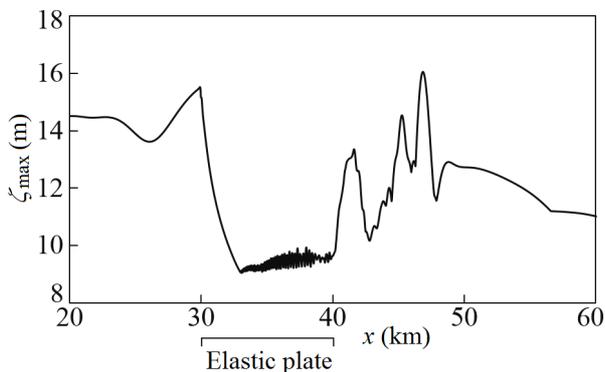


図-5 図-4 の水平軸 x 上の各地点における最大水位

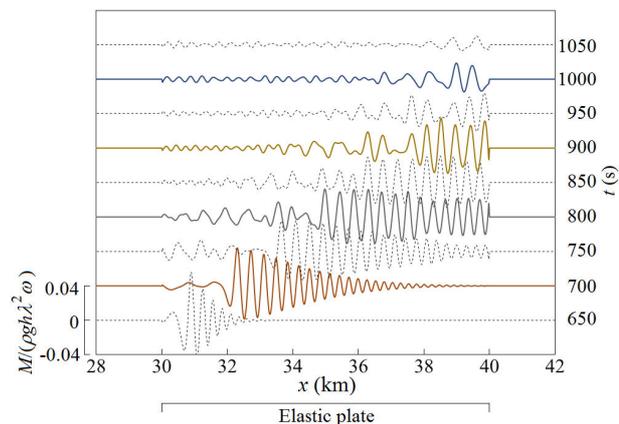


図-6 図-4 に示す津波が浮体を通過する際に浮体に作用する曲げモーメント M

岸から 10 km 程度沖に超大型薄板状浮体構造物を設置すれば、津波低減効果を十分に発揮し得る。

図-6 に、浮体に作用する曲げモーメント  $M(\rho gh \lambda^2 \omega)$  を示す。ここで、無次元化のために、 $\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$ 、 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  及び  $\lambda = h = 60 \text{ m}$  とし、浮体幅を  $\omega = 1.0 \text{ m}$  としている。ここで算出された曲げモーメントに対する強度が、浮体に要求されることになる。なお、津波本体の水位が高い地点では、大きな曲げモーメントが生じていないが、これは、比較的大きな曲げモーメントが、分裂によって生じた短波長波に起因しているからである。

#### 参考文献

- 坪郷 尚・岡田博雄: 超大型浮体構造の撓み波動伝搬挙動と強度に関する基礎的考察, 造船学会論文集, 第 181 巻, pp. 381-390, 1997.
- 山下 啓・柿沼太郎・中山恵介: 薄板状浮体構造物上を移動する荷重により生成される表面波及び内部波の数値解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 67, pp. 109-114, 2011.
- 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.