中空浮体構造物の波浪応答における内部応力の検討

東海大学 大 学 院　学生員○藤田　覚
東海大学 海洋学部　学生員　小倉　洋一
東海大学 海洋学部　正　員　川上哲太朗

1. はじめに

近年、メガフロートと呼ばれる超大型浮体構造物が各種施設の海上立地に向けて着目されている。このような浮体構造物の波浪応答解析では、浮体構造物を梁や平板と仮定してモデル化し、その弾性挙動を評価する手法が一般的に用いられている [1]。しかしながら、大型浮体構造物は中空箱型浮体の組合せにより全体構造が形成されていることが多く、いくつかの隔壁を有する中空構造と見ることができる。

このような構造系に対して波浪が作用した場合、浮体構造物の全体的な挙動は、構造物を梁や平板と仮定した解析結果とほぼ同様なものであることは容易に予想できる。しかしながら、隔壁取付け部分の近傍や隔壁自身などでは、隔壁中空浮体構造特有の変位や内部応力が発生するものと考えられ、構造物の破壊問題などを議論する際重要な検討項目となる。

そこで本研究は、隔壁中空浮体構造物特有の変位や内部応力に関する波浪応答特性の解明を目的とし、浮体構造物を隔壁を有する中空弾性浮体構造物と仮定し、流体との連成系モデルとして境界要素法による数値解析 [2]を行ったものである。

2. 解析モデル

解析対象する隔壁中空弾性浮体構造物―流体系モデルを図-1 に示す。ここで、領域 ***I,I⁺,I⁻***は流体領域であり、非圧縮性の完全流体と仮定する。領域 ***I*** は浮体構造物による波の散乱が顕著な領域、***I⁺***と ***I⁻***は無限遠方を含む一定水深領域である。領域***II***の浮体構造物は均質・等方・線形な弾性体、領域***III***の海底地盤は剛体と仮定してモデル化する。外力は ***I⁻***の無限遠方より伝達する水面波を考える。図 1 に示したS_1～S_6は各々の領域の境界を示し、以下のように定義する。

S_1：流体領域における自由表面境界
S_2,S_3：領域 ***I*** と領域 ***I⁺,I⁻***における仮想境界
S_4：流体と半無限海底地盤が接する共通の境界
S_5：浮体構造物の自由表面境界
S_6：浮体構造物と流体とが接する共通の境界

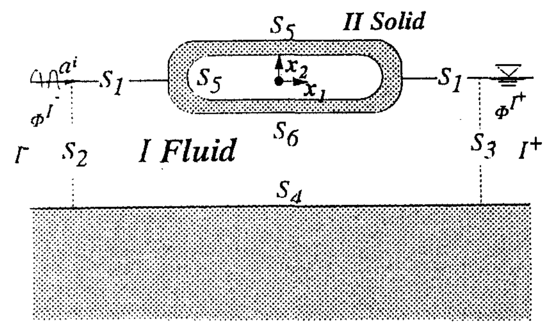


図 1　隔壁中空浮体構造物―流体系モデル

3. 各領域の基礎式

本解析では流体、浮体構造物の運動を入射波の角振動数をωとし、時間因子$e^{-i\omega t}$による定常状態で考える。各領域における基礎式は次のように表される。

流体領域 ***I+I⁺+I⁻***：

$$\Delta\Phi = 0 \tag{1}$$

構造物領域 ***II***：

$$\mu\Delta u + (\lambda+\mu)\nabla\nabla\cdot u + \rho\omega^2 u = 0 \tag{2}$$

ここで、uは変位ベクトル、Φは速度ポテンシャルである。また、ρは密度、∇は勾配作用素、λとμは Lamé 定数である。

4. 連続条件と境界条件

弾性領域境界上(境界S_6)の変位速度の法線方向成分と、その点における水粒子速度の法線方向成分の連続性が成立つと仮定する。ここでの運動学的連続条件は定常状態において次式のように表せる。

$$-i\omega n u\cdot n = vn \tag{3}$$

上式においてnは弾性領域境界上の単位外向き法線ベクトルである。また、定常状態における流体圧Pは速度ポテンシャルを用いて$P = i\rho_F\omega\Phi$となり、(ρ_F：流体密度)、tを弾性領域境界上の表面力とすると、力学的連続条件は

$$t = -nP \tag{4}$$

と表せる。また、浮体構造物の天端、内部空洞(S_5)の境界条件は自由表面として次のように表せる。

$$t_{S_5} = 0 \tag{5}$$

仮想境界S_2,S_3においては、外部一定水深領域 ***I,I⁺***

における放射条件を満足する速度ポテンシャルに関する解析解Φ^{I^-},Φ^{I^+}を用いることにより領域Iとの接続を行った。また、境界S_1は流体の自由表面であり境界条件は次のように書ける。

$$\frac{\partial\Phi}{\partial x^2}=\frac{\omega^2}{g}\Phi \tag{6}$$

なお、海底地盤は剛体と仮定しており境界S_4における境界条件は次のように表される。

$$\frac{\partial\Phi}{\partial n}=0 \tag{7}$$

5. 数値計算

弾性領域ならびに流体領域の各基礎式に対する境界積分方程式への変換は Green の公式と基礎解を用いた直接法により行った。各領域の境界積分方程式に対して境界条件式(5)～(7)と連続条件式(3)、(4)を導入することにより浮体構造物 - 流体系に対する境界積分方程式系が得られ、これを数値的に解くことにより境界上の物理量が求まる。

本解析では、数値計算モデルとして図２に示すような二隔壁を有する中空浮体構造物を設定した。浮体構造物は、コンクリート程度の剛性を有するものと仮定し、各物性値は$\mu_S=1.02\times10^5$ (N/m²)、$\rho_S=2.5\times10^3$ (kg/m³)、$\upsilon_S=0.2$とした。ここで、添字Sは、浮体構造物を表す。

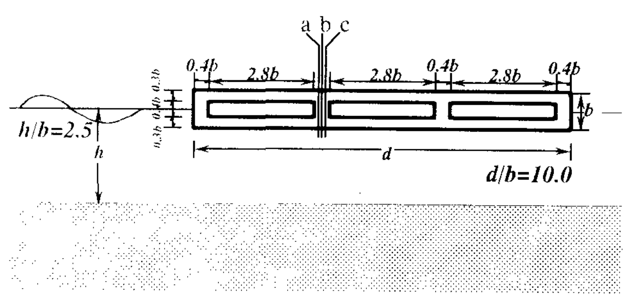
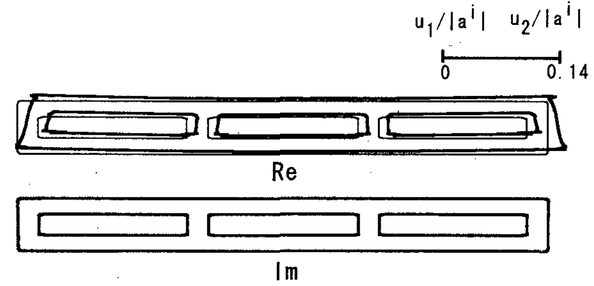


図２　数値計算モデル

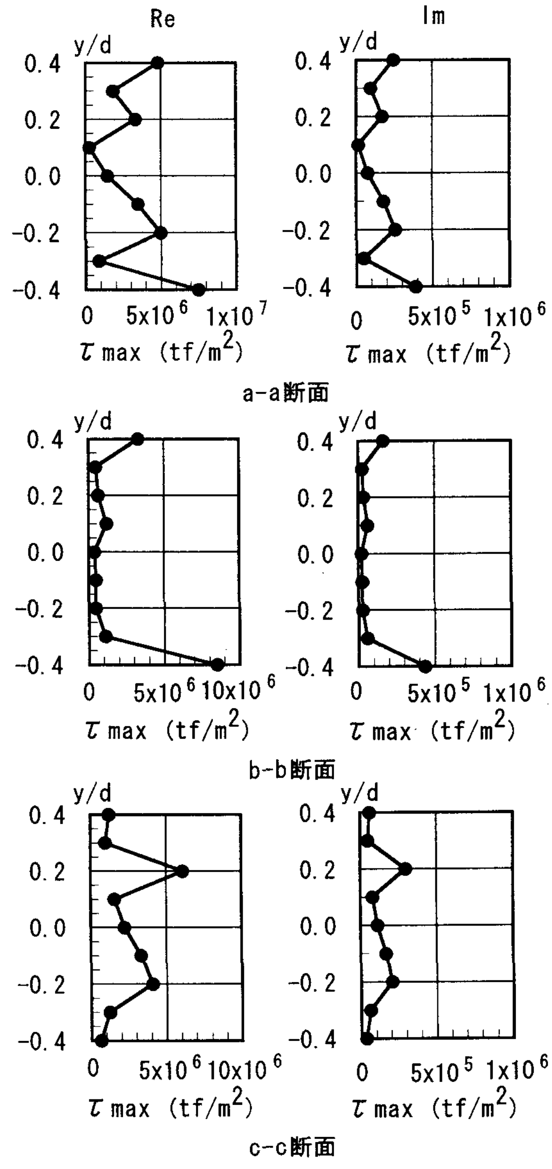
数値計算例として、図３(a)~(b)に、入射水面波波長λと浮体構造物の長さの比$\lambda/l=1.0$における浮体構造物の変位と構造物内部での最大せん断応力τ_{max}の分布（実部、虚部）を示す。

まず、図(a)の実部より浮体構造物の全体的な変位は、下に凸な曲げ変形的な傾向を示していることが分かる。しかしながら、隔壁付近の天端及び低板では、全体的な変位傾向とは異なる局所的変形が発生している。

図(b)は、浮体構造物の内部での最大せん断応力の分布状態（実部、虚部）を示している。



(a) 浮体構造物の変位分布



(b) 浮体構造物の内部の最大せん断応力状態

図３　変位及び内部での最大せん断応力分布状態

参考文献

1) 渡邊英一，宇都宮智明，谷垣信吉，中井幸治，関田欣治：大規模浮体の固有値振動解析，構造工学論文集，Vol.42A，pp.49～54，1996.

2) 内海秀幸，白川英輝，川上哲太朗，北原道弘：弾性浮体構造物-流体-海底地盤連成系の動的相互作用問題の解析，構造工学論文集，Vol.44A，pp.375-382，1998.