

I-A75

中空浮体構造物の波浪応答特性に関する解析

東海大学大学院 学生員 ○藤田 寛
東海大学海洋学部 正 員 川上哲太郎
千葉工業大学 正 員 内海 秀幸

1. はじめに

近年、浮体構造物の波浪応答解析では、浮体構造物をはりや薄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用いられており、これらの手法は浮体構造物の全体的な挙動特性の把握には有効である。しかしながら、一般的に、大型浮体構造物は中空箱形浮体の組み合わせにより全体構造が形成されていることから、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、構造物をはりや薄板と仮定した解析によって得られる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、隔壁中空構造特有の変位や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事項となる。

そこで本研究では、隔壁中空構造特有の変位や応力に関する波浪応答特性の解明を目的として、浮体構造物を隔壁を有する中空弾性構造物と仮定し、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を行ったものである。

2. 解析モデル

解析対象と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・線形弾性体である。領域 III の海底地盤は剛体と仮定してモデル化する。外力は領域 I^- の無限遠方より伝播する水面波を考える。図-1中に示した $S_1 \sim S_6$ は各々の領域の境界を表し、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。

$S_{2,3}$: 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。

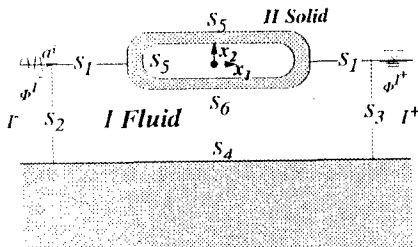


図-1 隔壁中空浮体構造物-流体系モデル

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それぞれ次のように表される。

流体領域 $I^- \rightarrow I \rightarrow I^+$:

$$\Delta \Phi = 0 \quad (1)$$

構造物領域 II :

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

ここで、 $\mathbf{u}$ 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り立つと仮定する。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される。

$$-i\omega \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} \quad (3)$$

上式における $\mathbf{n}$ 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 Φ を用いて $P = i\rho_F \omega \Phi$ となり、(ρ_F :流体密度)、 $\mathbf{t}$ を弾性領域境界上の表面力とすると、力学的連続条件は

$$\mathbf{t} = -\mathbf{n}P \quad (4)$$

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される。

$$\mathbf{t}_{S_5} = 0 \quad (5)$$

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²⁾³⁾。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。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x_2} = \frac{\omega^2}{g} \Phi \quad (6)$$

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。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad (7)$$

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の公式と基本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

浮体構造物、波浪応答問題、境界要素法

〒424-8610 静岡県清水市折戸3-20-1 TEL(0543)34-0411, FAX(0543)34-9768

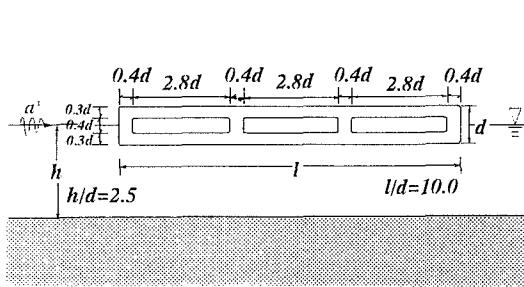


図-2 数値計算モデル

数値的に解くことにより境界上の物理量が求まる。境界上の縁応力は浮体構造物-流体系に対する境界積分方程式系を解くことによって得られる浮体構造物境界上の変位を共変微分することにより得られる。

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 $\mu_s = 1.042 \times 10^6$ (tf/m²)、 $\rho_s = 2.5$ (t/m³)、 $\nu_s = 0.2$ とした。ここで、添字はSは、浮体構造物を表す。

数値計算例として図-3(a)~(d)に、入射水面波波長 λ と浮体構造物の長さ l との比 $\lambda/l = 1.0$ における浮体構造物の変位と縁応力の分布状態(実部)を示す。

まず、図(a)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わかる。しかしながら、隔壁付近の天端及び低版では、全体的な変形傾向とは異なる局所変形が発生している。

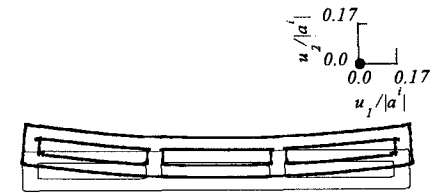
図(b)は、浮体構造物天端での縁応力分布を示したものである。これより全体的には、下に凸の曲げ変形による圧縮応力(引張を正)が発生していることがわかるが、隔壁付近では、反対に引張応力が局所的に発生しており、上述の変位に関する局所的な特性を表している。

図(c)は、浮体構造物の空洞内部上面での縁応力分布を示したものであり、隔壁間の空洞内部上面では、一様に引張応力が発生しているが、隔壁近傍では、隔壁と上面との角部による応力集中の影響が表われていることがわかる。

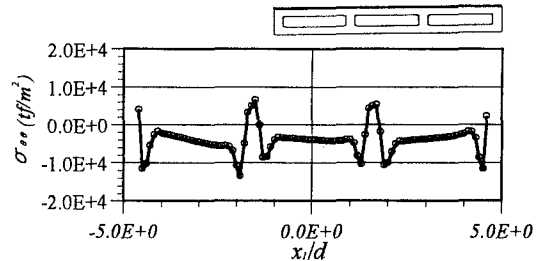
図(d)は、浮体構造物の入射波側側面での縁応力分布を示したものである。縁応力は全体的には、 $x_2/d = 0.0$ (喫水)を境にして、上部では引張、下部では圧縮側の分布を示しているが、上、下端の角部付近では、著しい局所的な応力の変化が見られる。

6. まとめ

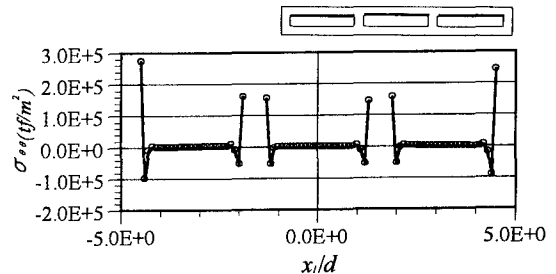
本研究では、浮体構造物を二隔壁を有する中空構造とし、構造物の変位及び隔壁部や内部空洞の縁応力分布特性を求めた。本解析結果より、興味深い結果として隔壁付近の浮体構造物天端や内部隔壁上部において、全体的な構造物の変位状態とは異なる著しい応力変化が表われることが明らかとなった。今後は、破壊に対してより詳細な検討を行う上で浮体構造物の内部応力状態を明らかにする必要がある。



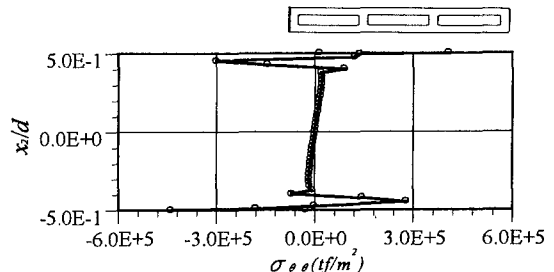
(a) 浮体構造物の変位分布



(b) 浮体構造物天端での縁応力分布



(c) 浮体構造物空洞内部上面での縁応力分布



(d) 浮体構造物波浪入射側面での縁応力分布

図-3 浮体構造物の変位・縁応力分布状態

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, pp49~54, 1996.
- 2) Black, J.L. and Mei, C.C.: Scattering and radiation of water wave, Tech. Report No.121, M.I.T. Water Resources and Hydrodynamic Laboratory, 1970.
- 3) Mei, C. C. and Black, J. L.: Scattering of surface waves by rectangular obstacles in waters of finite depth, J. Fluid Mech., Vol.38, part3, PP499~511, 1969.