

II-426

大型浮体構造物の3次元連成振動解析における自由度の設定方法に関する研究

名古屋大学 工学部 学生員 天野喜勝

名古屋大学 工学部 正会員 田辺忠顕

1. はじめに

現在、数多く見られる大規模な海上土木構造物のほとんどは埋立式である。しかし、今後予想されるような20m以上の大水深海域利用においてはその適用はほとんど不可能であろう。そこで、水深・軟弱地盤の影響を受けず、建設費の低い浮体式構造物の開発が注目されるようになってきている。しかしながら、これらの構造物のうち、浮体高に対して大きな広がりをもつような構造物の設計に際しては曲げ変形を考慮する必要があり、それらの解析手法は未だ確立されていないのが現状である。

今までに西村ら¹⁾は、有限要素法を用いた流体浮体連成振動解析の手法を提案しているが、その手法を大型の構造物に適用させようとすると、自由度が多くなりすぎて計算不可能である。そこで田中ら²⁾は、同一節点における流体と浮体の物理量が異なることを利用した新たな離散化手法を提案し、2次元問題において自由度を減らすことに成功した。本研究では、さらにこの手法をより実構造物に近い3次元問題に拡張し、自由度の設定方法が、浮体の断面力及び鉛直方向変位に与える影響について検討する。

2. 有限要素法による定式化

(1) 流れ場の解析

流体は、非回転、非圧縮、非粘性で、入射波は微小振幅波とし、速度ポテンシャルの存在を仮定すると、散乱波の速度ポテンシャル ϕ に関する問題はLaplace方程式の境界値問題に帰着され、境界条件として水表面 S_F における運動学的・力学的条件、水底面 S_B 及び浮体表面 S_H における不透過条件、無限遠方における放射条件が課せられる。本研究ではMeiらによるHybrid法を用いて定式化を行い、浮体近傍に設けた鉛直な仮想境界 S_R の内部領域 Ω での有限要素近似と放射条件を満たす外部解とを仮想境界上で接続することにより次のような変分方程式を得た。

$$\begin{aligned} \iint \iint_{\Omega} \nabla \delta \phi \nabla \phi dV + \iint_{S_F} \delta \phi \left(-\frac{\omega^2}{g} \phi \right) dS \\ + \iint_{S_H} \delta \phi \frac{\partial \phi}{\partial n} dS + \iint_{S_R} \delta \phi (-n) dS + \iint_{S_H} \delta \phi \left(-\frac{\partial \phi}{\partial r} \right) dS = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\iint_{S_R} \frac{\partial (\delta \phi)}{\partial r} \phi dS + \iint_{S_R} \frac{\partial (\delta \phi)}{\partial r} (-\phi) dS = 0 \quad (2)$$

ここで、 ϕ^i : 入射波の速度ポテンシャル、 ω : 角振動数、 g : 重力加速度、 ϕ : 外部領域における散乱波の速度ポテンシャルを示す。

(2) 浮体の振動解析

浮体は曲げ振動及び水平方向の振動を伴った微小な定常周期運動状態にある平板で近似し、水平方向・鉛直方向それぞれに線形バネによる係留を考えた。

仮想仕事の原理より最終的に次の運動方程式を得た。

$$\bar{W}_i + \bar{W}_w + \bar{W}_{v1} = 0 \quad (3)$$

ここで、 $\bar{W}_i$: 内部エネルギーの増分、 $\bar{W}_w$: 鉛直方向外力のなす仮想仕事、 $\bar{W}_{v1}$: 水平方向外力のなす仮想仕事を示す。

3. 離散化手法

西村らが提案した手法を、大型の浮体構造物に適用させようとすると、波長による流体要素長の制限によ

り、要素数の増加に伴う自由度の増加や莫大な計算時間の消費といった問題が出てくる。

そこで本研究では、 u , v , w と ϕ は物理量として完全に独立していることに注目し、境界面において共通節点で離散化する必要が理論上全くないことを利用して、図1に示すように浮体と流体の節点を同一にすることなく、それぞれを必要に応じて要素分割をすることにより、流体要素長を大きくすることなく、自由度の大きな浮体の要素数のみを減らす手法をとった。即ち、(2)式の第3項、第4項、及び(3)式の荷重項の離散化が、浮体と流体との別自由度の影響をうけることになる。

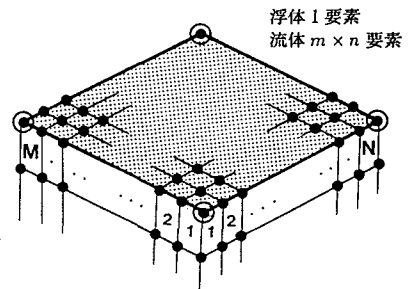


図1 要素分割方法

4. 自由度の削減が断面力に与える影響

本解析における自由度削減の方法の妥当性を検証するため、境界面 S_H における自由度の設定が浮体の鉛直変位および断面力（曲げモーメント、せん断力）に及ぼす影響を解析した。

表1 解析モデル

浮体諸元			入射波			
浮体長	浮体幅	喫水	波高	波長	周期	水深
70m	10m	2m	2m	44m	5.6s	10.5m

表2 要素分割数

	流体要素数	浮体1要素に対する 流体要素数 ($m \times n$)	浮体要素数	縦軸方向浮体要素長 (m)
Case1	416	1	48	5.8
Case2	416	4	12	11.7
Case3	416	6	8	17.5

解析モデルは、表1に示す通りであり、波は浮体長軸方向からの入射とした、境界面における要素分割は、表2に示すように3つのCaseについて行いそれぞれの断面力の解析結果を比較した。このとき、流体場の要素分割はすべて一定とし、解析結果に流体場の要素分割方法の影響がでないようにしている。

図2～図4に、各断面内の鉛直方向変位、最大曲げモーメントおよび最大せん断力の解析結果を示す。

最大鉛直変位は要素分割の影響をほとんど受けていない。最大曲げモーメントは、若干影響を受けている。しかし、最大せん断力に関しては、要素分割の影響がかなり顕著である。本解析では、鉛直変位を3次の変位関数によって表しているため、変位の2階微分のせん断力に関しては、このような結果となるのは当然と考えられるが、実際の設計上の観点からは問題はないであろう。

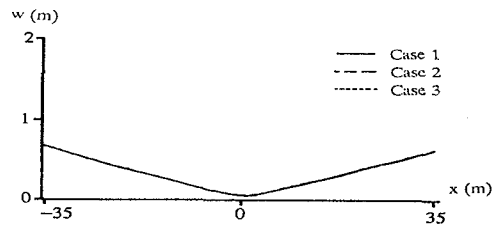


図2 鉛直方向変位

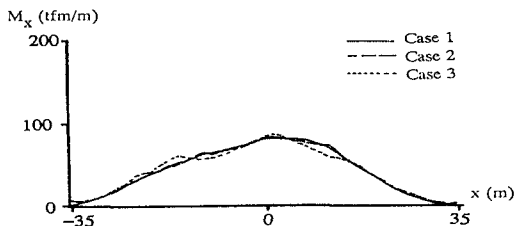


図3 曲げモーメント図

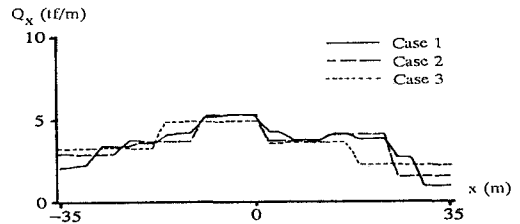


図4 せん断力図

参考文献

- 1) 西村政洋：箱型係留浮体の3次元振動解析 1992年度名古屋大学修士論文
- 2) 田中小百合：大型浮体構造物の連成振動解析 1993年度名古屋大学卒業論文