II－393　　大型浮体構造物の連成振動解析

名古屋大学大学院　学生会員　石川靖晃
名古屋大学工学部　学生会員　田中小百合
名古屋大学工学部　正　会員　田辺忠顕

１．はじめに

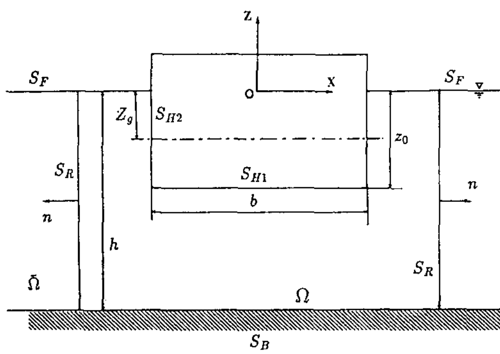
現在、環境問題の見地から海上施設の必要性が非常に高まってきており、実際多くの構想が立てられている。海上施設の建設工法としては主に埋め立て式、浮体式等が挙げられる。既存の海上施設は大半が埋め立て式で建設されてきているが、建設条件、経済性の問題から、今後は浮体式による建設が主になると予想される。故に、浮体構造物の変形挙動を捉えることは、今後非常に有用であると思われる。現在まで、西村ら[1]は有限要素法による浮体構造物の連成曲げ振動の解析方法を提案してきたが、その離散化手法は浮体および流体の物理量を全く共通の節点で捉えるというものであったので、自由度が非常に大きくなり大型浮体構造物には適用不可能であった。本研究では、浮体および流体の物理量が異なるという点に着目し、より自由度を減らすような離散化手法を提案した。そして、大型浮体構造物への適用について解析的に検討を行った。

２．支配方程式と離散化手法

まず、Hybrid法の手順にしたがって、解析領域を鉛直な仮想境界S_Rによって内部領域Ωおよび外部領域$\bar{\Omega}$に分割する。幾何学的な不規則性を全て内部領域に含ませれば外部領域は一定水深となり、解析的な取り扱いができる（図－１）。流体の支配方程式は最終的に次式で表される。

$$-\int\int_{\Omega}\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\cdot\frac{\partial\delta\phi}{\partial x}+\frac{\partial\phi}{\partial z}\cdot\frac{\partial\delta\phi}{\partial z}\right)d\Omega+\frac{\omega^2}{g}\int_{S_F}\phi\cdot\delta\phi dS+\int_{S_{H1}}\left(-\frac{\partial\phi^I}{\partial n}+\frac{\partial w}{\partial t}\right)\delta\phi dS$$
$$-\int_{S_{H2}}\left[\frac{\partial\phi^I}{\partial n}+m\left\{\frac{\partial u}{\partial t}-(z+z_g)\frac{\partial w'}{\partial t}\right\}\right]\delta\phi dS-\int_{S_R}\frac{\partial\bar{\phi}^I}{\partial n}\cdot\delta\phi dS=0 \qquad (1)$$

$$\int_{S_R}\left(\phi-\bar{\phi}\right)\cdot\frac{\delta\bar{\phi}}{\partial n}dS=0 \qquad (2)$$



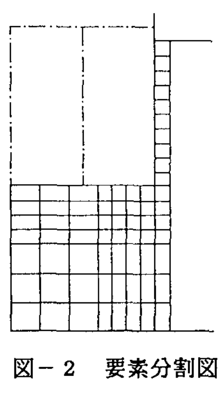
図－１　解析領域

ここでϕ^I、ϕはそれぞれ入射波、散乱波による速度ポテンシャル、ωは角振動数、gは重力加速度、w、uはそれぞれ鉛直方向、水平方向の変位である。また、mは正の面では1、負の面では-1である。さらに浮体の運動方程式は最終的に次式で表される。

$$\left[\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)\cdot M\right]_{x=L}-\left[\delta\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)\cdot M\right]_{x=0}+EI\int_0^L\delta\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}dx$$
$$-\omega^2\rho_H A\int_0^L\delta w\cdot w dx-\int_0^L\delta w\cdot q_{z(x)}dx=0 \qquad (3)$$

$$-\omega^2\rho_H AL\int_{z_0}^0\delta u\cdot u dz-\int_{z_0}^0\delta u\cdot q_{x(z)}dz=0 \qquad (4)$$

ここで q_z, q_x はそれぞれ鉛直方向、水平方向の外力であり、速度ポテンシャルの関数である。また、Mは境界でのｙ軸回りの曲げモーメントであり、ρ_H、L、A はそれぞれ浮体の密度、浮体長、断面積である。結局、式(1)～(4)が流体場での浮体の支配方程式となる。そして、適当な補間関数を用いることにより、有限の自由度を持つ離散化された代数方程式を解く問題に帰着される。境界面 S_Hではϕ、w、u が自由度となるが、ϕとu, wは、物理量としては完全に独立しているため共通節点で離散化する必要は無い。そこで、図－２に示す様な、浮体と流体の節点を必ずしも共通にとることなく要素分割を行った。そこで、流体はアイソパラメトリック要素、浮体ははり要素で

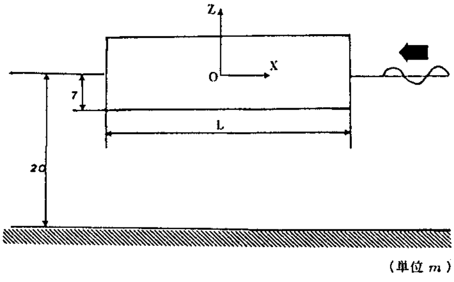


図－２　要素分割図

分割されることにより自由度を減らすことが可能となった。

3．大型浮体構造物への適用についての解析的検討

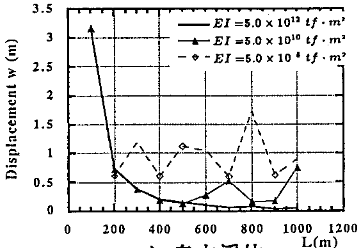
図－3に示す解析モデルを用いて変形解析を行った。そして浮体長Lおよび浮体の係留が浮体振動に及ぼす影響について考察した。波浪条件は有義波高4.6m、周期9.6secとした。そして解析ケースとして曲げ剛性を3通り変えて行い、さらに係留の有無について行った。係留は浮体の両端に線形バネを導入することにより行い、バネ定数は鉛直、水平方向それぞれ200, 2000tf/mとした。



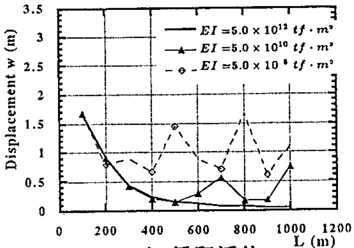
図－3　解析モデル

図－4に最大鉛直変位と浮体長の関係を示す。浮体長が短いときは剛体的挙動をするため変位は曲げ剛性の影響をほとんど受けない。しかし、浮体長が長くなると曲げの影響が大きくなるため変位は曲げ剛性に大きく依存している。また、変位は浮体長が短いほど係留の影響を受け、係留がある場合は、変位は自由浮体の場合より小さくなる。しかし、浮体長が長くなるにつれ係留の変位に及ぼす影響は余りうけなくなる。

図－5に最大曲げモーメントと浮体長の関係を示す。変位と同様に、浮体長が長くなるほど曲げモーメントは曲げ剛性の影響を受けている。しかし、係留が曲げモーメントに及ぼす影響はほとんどみられない。以上から、浮体構造物の変形は浮体が長くなるにつれ曲げ剛性の影響を受けることがわかる。ここで得られた知見は大型浮体長が大きくなるほど曲げ剛性は正確に評価されなければならないことを示唆している。

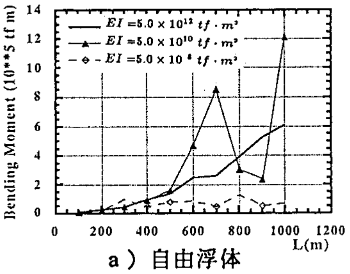


a）自由浮体

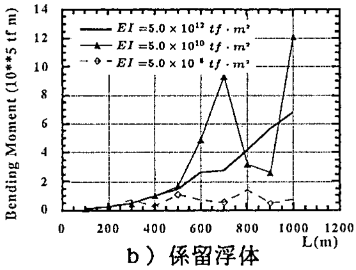


b）係留浮体

図－4　最大鉛直変位



a）自由浮体



b）係留浮体

図－5　最大曲げモーメント

4．結論

本研究では、大型浮体構造物の連成解析において自由度を減らすための離散化手法を提案し、大型浮体構造物への適用について解析的に検討を行った。そして、大型浮体構造物においては曲げ剛性が変形に及ぼす影響は大きくなるため、曲げ剛性の的確な評価を要することがわかった。

参考文献

1）　西村政洋：規則波による浮体構造の曲げ振動に関する研究、名古屋大学卒業論文、1990.3