弾性円柱構造物が受ける波力に関する基礎的研究

京都大学大学院　学生員　○佐藤　郁
京都大学工学部　正　員　渡邊英一
京都大学工学部　正　員　杉浦邦征
鹿児島大学工学部　正　員　河野健二

1．はじめに

近年、環境問題への関心が高まり、森林の伐採、肥沃な浅海部の埋め立てという従来の方法は、わが国の人口集中を解消する手段として好ましいとは言えなくなってきている。そこで貧沃で比較的深い（水深100m程度）海洋の開発手段として大規模な人口地盤としての有脚式海洋構造物が注目されている。本研究ではこの基礎的研究として、地震力の影響を考慮するために、回折理論を用いて修正された等価モリソン式[1]を単弦的な波のみを受ける水面上に突き出した、上載荷重のある弾性円柱構造物に対して有限要素法を用いて適用し、実験値及び従来の修正モリソン式と比較検討し、等価モリソン式の波力に対する有効性の検討を行うものである。

2．解析モデル

実験概要[2]は図-1に示す。柱体の有限要素解析モデルは図-2の様に柱を10等分したものとし、柱体の種類は表-1に示す２種類とする。なお、与えた波は波高3cm、6cmで、それぞれのモデルに対して与えた。

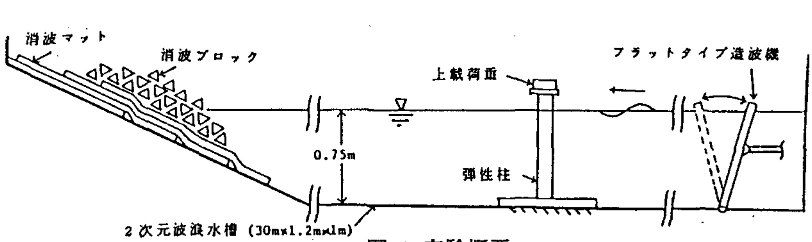

図-1 実験概要

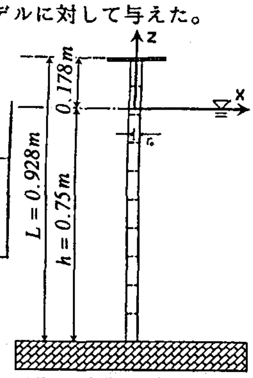

図-2 有限要素モデル

3．定式化

等価モリソン式は次式のようにあらわされる。dFは部材軸方向単位長さ当りの波力、ρは水の単位体積質量、r_0は部材半径、uは水粒子速度、xはx軸方向への構造物変位、C_M、C_D、C_m、C_rはそれぞれ、慣性力係数、抗力係数、付加質量係数、減衰抵抗係数をあらわす。

$$dF = C_M \rho \pi r_0^2 \frac{\partial u}{\partial t} dZ + C_D \rho r_0 \left(u - \frac{\partial x}{\partial t} \right) \left| u - \frac{\partial x}{\partial t} \right| dZ - C_m \rho \pi r_0^2 \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} dZ - C_r \omega \rho \pi r_0^2 \frac{\partial x}{\partial t} dZ \quad (3\text{-}1)$$

また、等価線形化法を用いて非線形項を線形化すると、運動方程式は以下のようになる。

$$\left[[m]+[C_m]\right]\{\ddot{x}\}+\left[[c]+[C_D]+[C_r]\right]\{\dot{x}\}+\left[[k]+[k_G]\right]\{x\}=[C_M]\{\dot{u}\}+[C_D]\{u\} \quad (3\text{-}2)$$

但し、[m]:整合質量マトリックス、[C_m]:付加質量マトリックス、[C_D]:抗力マトリックス、[C_r]:減衰抵抗力マトリックス、[k]:整合剛性マトリックス、[k_G]:整合形状剛性マトリックス、[C_M]:慣性力マトリックスとする。これを簡単に

$$M\ddot{x}+C\dot{x}+Kx=P(t) \quad (3\text{-}3)$$

とあらわし、振動モード形マトリックスを用いて

表－1

実験定数	モデル１	モデル２
材質	塩化ビニル	塩化ビニル
外径(直径)	0.0382(m)	0.0602(m)
内径(直径)	0.0306(m)	0.0503(m)
柱長	0.928(m)	0.928(m)
比重	1.327	1.370
弾性定数	2.487×10^6(kN/m^2)	2.489×10^6(kN/m^2)
上載荷重	0.129(kN)	0.561(kN)
水中固有周期	1.14(sec)	1.009(sec)
減衰定数	0.02	0.02

Iku SATO , Eiichi WATANABE , Kunitomo SUGIURA , Kenji KAWANO

対角化し、一般化外力$P_i(t)$及び一般化質量M_i、モード振動数ω_i、モード減衰定数ξ_iを用いて、

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i\omega_i\dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = \frac{P_i(t)}{M_i} \qquad (3\text{-}4)$$

の様に各モードごとの運動方程式が求められる。いま外力が振幅P_{0i}、各振動数ω_wで単弦的に振動し、時刻0で静止しているとき、モードiの最大応答Y_{iMAX}は次式のように求められ、モード重量法により、最大

$$Y_{iMAX} = \frac{P_{0i}}{M_i\omega_i^2}\left\{\left(1-\beta^2\right)^2+\left(2\xi\omega\right)^2\right\}^{-\frac{1}{2}} \qquad (3\text{-}5)$$

応答変位及び最大応答加速度が求められる。

4．解析結果と考察

実験及び修正モリソン式（従来式）と等価モリソン式（等価式）との、波の周期と構造物の固有周期の比に対する最大加速度振幅で示した比較を図-3に示す。まず、従来式との比較であるが4パターンすべて一致していることがわかる。これは今回の実験が非常に水深が浅く、柱径も小さいモデルであり、従来式の付加質量係数が1.0、減衰抵抗係数が0に近く高次モードにならないとこれらの影響があらわれないので、1次モード形が非常に卓越する今回のモデルでは、従来式と等価式は一致することとなることが原因である。次に、実験との比較であるが、波高6cmの場合は両モデルとも実験と一致していることがわかる。しかし、波高3cmの場合は最大加速度振幅のピーク時に実験結果とずれていることがわかる。このような結果となった理由としては、実験値とのズレが一定していないことから、解析の精度の問題ではなく、実験において振幅の小さい波を与えるのが困難であったなど、実験の精度に問題があったと考えられる。

5．結論

(1)等価モリソン式は修正モリソン式と同様に波力に対して適用できる。

(2)修正モリソン式の適用できない、高振動数で管径の大きい構造物に対して等価モリソン式を適用し実験等を通して検証されることが今後の課題である。

参考文献

1)松本敏克：円柱構造物が地震時に受ける波力に関する基礎的考察,京都大学修士論文,pp.11～65,1989.

2)Venkataramana Katta : Stochastic Respose of Offshore Structures to Sea Wave and Earthquake Excititation with Furuid-Storucture-Soil Interaction, Dr.Thesis,Kyoto Univercity, pp.10～43,1989.

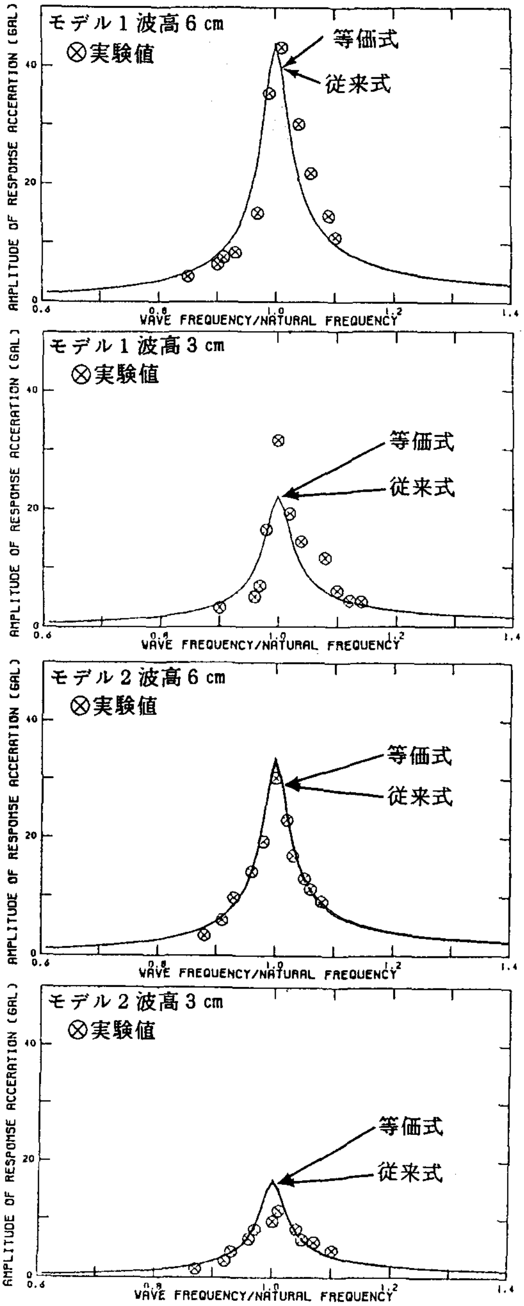

図-3 解析結果