

京都大学工学部 学生員 ○橋本達典 京都大学工学研究科 フェロー 渡邊英一
京都大学工学研究科 正会員 宇都宮智昭

1. はじめに

従来行われている複数の浮体基礎からなる浮体構造物の波浪応答解析では、個々の浮体基礎に対してそれぞれ独立して流体力を算出し、得られた個々の流体力がそれぞれの浮体基礎に作用するものとして構造物全体の波浪応答解析が行われている。しかし、このような解析手法では、各浮体基礎間の相互干渉効果を考えることができない。複数浮体間の流体力学的相互干渉については今まで多くの研究例があるが、着底円柱列に限るなどして簡明な解析的表現式を導いており、この点でまだまだ研究の余地があるものと思われる。そこで本研究では、無限海域における複数円筒浮体間の流体力学的相互干渉を考慮した、流体力に関する簡明な表現式を導き、基本的な問題に対する解析解を得る。そして円筒浮体で支持される浮体橋梁の応答解析への応用例を示す。

2. 解析理論

本研究では、流体を非粘性、非圧縮性の完全流体とし、また流体運動を渦なしと仮定し、無限海域に任意に配置した円筒浮体列について固有関数展開法により、流体力学的相互干渉効果を厳密に考慮し、Diffraction問題、Radiation問題それぞれの流体力に関する定式化を行う。Diffraction問題の流体運動を、速度ポテンシャル Φ_D により表す。また、すべての時間依存運動を ω の調和運動として扱うことで、次式のように表される。

$$\Phi_D(x, y, z; t) = \begin{cases} \text{Re}\{(\phi_s(x, y, z) + \phi_0(x, y, z))e^{-i\omega t}\} & (|r_p| > a) \\ \text{Re}\{\varphi_p(x, y, z)e^{-i\omega t}\} & (|r_p| < a) \end{cases}$$

支配方程式及び、境界条件

$$\left\{ \begin{array}{ll} \nabla^2 \phi_s(x, y, z) = 0 & \text{in the fluid} \\ \frac{\partial \phi_s}{\partial z} = K \phi_s & \text{on } |r_p| > a, \quad z = 0 \\ \frac{\partial \phi_s}{\partial z} = 0 & \text{on } |r_p| > a, \quad z = -H \\ \frac{\partial \phi_s}{\partial r_p} = -\frac{\partial \phi_0}{\partial r_p} & \text{on } r_p = a, \quad -D < z < 0 \\ \phi_s \rightarrow 0 & \text{as } r \rightarrow \infty \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \nabla^2 \varphi_p(x, y, z) = 0 & \text{in the fluid} \\ \frac{\partial \varphi_p}{\partial z} = 0 & \text{on } z = -D, \quad |r_p| < a \\ \frac{\partial \varphi_p}{\partial z} = 0 & \text{on } z = -H, \quad |r_p| < a \end{array} \right.$$

連続条件

$$\left\{ \begin{array}{ll} \varphi_p = \phi_s + \phi_0 & \text{on } r_p = a, \quad -H < z < -D \\ \frac{\partial \phi_s}{\partial r_p} = \frac{\partial \varphi_p}{\partial r_p} - \frac{\partial \phi_0}{\partial r_p} & \text{on } r_p = a, \quad -H < z < -D \\ \frac{\partial \phi_s}{\partial r_p} = -\frac{\partial \phi_0}{\partial r_p} & \text{on } r_p = a, \quad -D < z < 0 \end{array} \right.$$

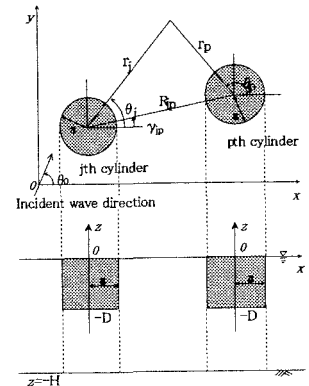


Fig.1 定式化の際の円筒浮体の配置

ただし、 t は時間、 i は虚数単位、 p は円筒浮体の番号を表し、 ϕ_0 は入射波ポテンシャル、 φ_p は浮体下部の領域の速度ポテンシャル、 ϕ_s はそれ以外の領域の速度ポテンシャルを表す。 φ_p, ϕ_s は左記の条件を満たすように与えられる。 H は水深、 D は喫水、 a は浮体の半径、 g は重力加速度、 $K = \omega^2/g$ である。これらのポテンシャルより強制波力を求める。その際、ベッセル関数群に対するロンスキー行列公式などを使うことによって、より簡明な表現式を導く。

3. 浮体橋梁の解析

定式化に基づいてDiffraction問題についてプログラムを作成し、Fig. 2のモデルの浮体橋梁を解析する。ここで、2個の円筒浮体は剛結合されている。 a は半径、 H は水深、 D は喫水、 Lc は中心間の距離、 ω は入射波の角速度、 ζ_0 は振幅、 σ は角周波数を表す。このモデルに対して、原点0における2浮体に作用する合力 F_i ($i=1, 2, \dots, 6$)を、浮体間の相互干渉効果を考慮する場合と、入射波の位相差ならびに相互干渉を考慮しない場合を比較した。ここでは、 $a/H=2.8$ 、 $D/H=0.32$ 、 $Lc/H=25.0$ 、 $\omega=30^\circ$ として計算した。その結果をFig. 3~6に表す。横軸は

Tatsunori HASHIMOTO, Eiichi WATANABE, Tomoaki UTSUNOMIYA

周波数，縦軸は強制波力である．グラフより，2浮体間の相互干渉の効果で，相互干渉を考慮しない場合と比べて大きな力が発生する場合があることが分かる．特に Surge 方向において大きな力が発生しているのは2浮体が x 軸上に並んでいるからと考えられる．Roll, Yaw 方向は Sway 方向同様，大きな力は発生しなかった．また，周期的に強制波力の値が変動しているのは浮体に入る入射波の位相差の影響である．このように，相互干渉効果を考慮しない場合は危険側の評価となることがあるため，実際の構造物の設計を行う際にはこの効果を十分に考慮する必要がある．また BEM で解析した結果と比較すると，両者はよく一致しており，本解析結果の妥当性が検証される．

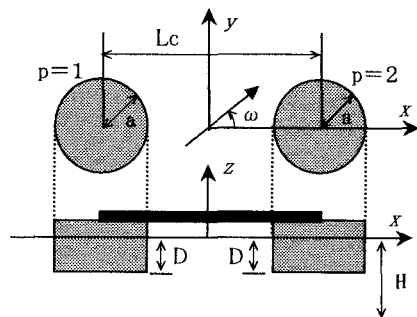


Fig.2 解析モデル(文献3)

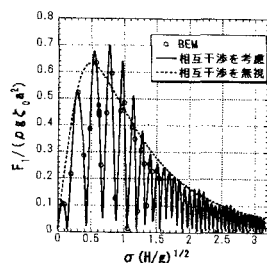


Fig.3 Surge 方向

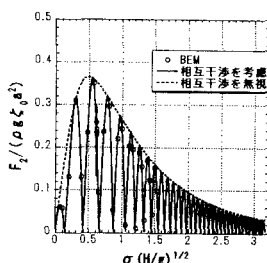


Fig.4 Sway 方向

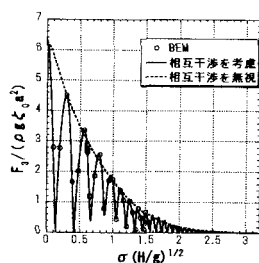


Fig.5 Heave 方向

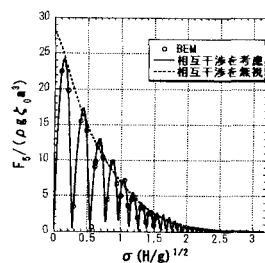


Fig.6 Pitch 方向

次に，同じ解析モデルで2浮体間の距離が相互干渉効果におよぼす影響について検討する．ここでは相互干渉効果により特に大きな強制波力の発生した Surge 方向についてのみ考えることとする．その結果を Fig. 7 に示す．横軸は2浮体間の距離，縦軸は相互干渉を考慮した場合とそれを無視した場合の強制波力の比の最大値である．グラフより，相互干渉効果は非常に複雑であり，また徐々に小さくはなっているが，非常に遠く離れた浮体間でも危険側の評価となることがわかった．この点からも，相互干渉効果は構造物の設計を行う際には無視できないものである．

4. 結論及び今後の課題

今回の研究で，流体力学的相互干渉効果を厳密に考慮した任意配置された複数円筒浮体群に関する流体力の解析的表現が導出された．その後，Diffraction 問題についてのプログラム作成と比較的簡単なモデルでの解析を行い，相互干渉効果を考慮する必要性が示された．今後の課題としては，さらにより大規模なモデルに対しても解析を行い，また Radiation 問題についても同様にプログラム作成ならびに解析を行い，浮体運動の応答解析法へと発展させることである．

(参考文献)

- 1) Yeung, R. W. (1980) "Added mass and damping of a vertical cylinder in finite-depth waters", Applied Ocean Reserch. 3, pp. 119-133.
- 2) Linon, C. M. & Evans, D. V. (1990) "The interaction of waves with arrays of vertical circular cylinders", J. Fluid Mech. 215, pp. 549-569.
- 3) 永田修一, 藤田孝, 吉田尚史 : 1994 3次元領域分割法による流体力計算の精度, 海岸工学論文集 Vol. 41, pp. 851-855.

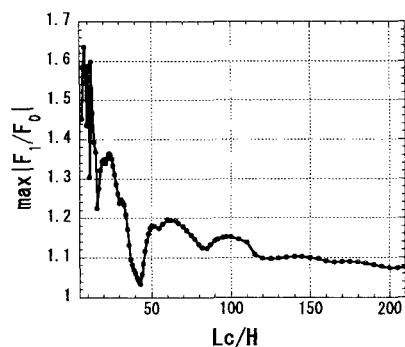


Fig.7 距離が相互干渉におよぼす影響