I-50　有限要素法による浮体の有限振幅応答解析析

電力中央研究所　正会員　◎塩尻弘雄
電力中央研究所　正会員　萩原 豊
（株）計算力学研究センター　熊井 規

１．はじめに

流体はせん断力を伝えにくいため、浮体には水平地震動が伝わりにくく、一種の免震効果が期待されている。その効果を積極的に利用する目的での浮上式の発電所やプラントも考えられている。しかし、そのようなプラント建設に当たっては、波浪等の影響の低減のため防波堤で周囲を囲んだり、あるいは内陸を掘り込み水を導入して締切るなど、閉鎖された水域となる場合が考えられる。その場合、経済性の上からは閉鎖領域は可能な限り狭い方が好ましい。比較的狭い閉鎖領域内の浮体は、地震時に大振幅の振動を起こしうる。従って合理的設計のためにはそのような挙動をシミュレートしうる解析法が必要となる。

ここでは、有限要素法により、地盤の振動による浮体の有限振幅応答解析を試みる。

２．解析手法

流体部については、基本的に文献[1)]らの分離型Lagrange法に基づく方法を採用した。未知変数は、流速と圧力であり、流速と圧力は同一節点、同一補完関数を用いている。浮体はニューマークβ法で解析し、相互の境界条件はイタレーションで満足させている。概略の理論と解析フローを下記に示す。

浮体と流体の連成解析計算フロー

$t+\Delta t$（n+1ステップ）

$X_{n+1}=X_n+\Delta t\,u_n$（x：流体座標、u：流体速度）

$Y_{n+1}=Y_n+\Delta t\,v_n$（Y：浮体座標、v：浮体変位）

Ｉのイタレーション（流体と浮体のカップリング）

Ｊのイタレーション（浮体の状態決定）

$MV_{n+1}(I,J)+CV_{n+1}(I,J)+KV_{n+1}(I,J)=P_{n+1}(I)\,mds$

判定 $\dfrac{M(V(I,J)-V(I,J-1)^2+C(V(I,J)-V(I,J-1))^2+K(V(I,J)-V(I,J-1))^2}{MV(I,J)^2+CV(I,J)^2+K(V(I,J)^2} \leqq E_J$

Y_{n+1}，(I,J)，$v_{n+1}(I,J)$ の決定

浮体外形上の流体節点と流速の推定

$Y_{n+1} \rightarrow X_{n+1}$

Ｋのイタレーション（浮体の状態決定）

圧力　$P_{n+1}(I,J,K)$ の推定

$$\int_V p^*_{,i} p^{n+1}_{,i} dV = \frac{\rho}{\Delta t}\int_V p^*_{,i} u^n_{i,i} dV + \mu\int_V p^*_{,i}(u^n_{i,j}+u^n_{j,i})_{,j} dV + \rho\int_V p^*_{,i} f_i dV + \rho\int_S p^*\left(\frac{u^{n+1}_i - u^n_i}{\Delta t}\right)\cdot n_i dS .$$

流速　$U_{n+1}(I,J,K)$ の推定

$$\int_V u^*_i u^{n+1}_i dV = \int_V u^*_i u^n_i dV + \Delta t\left[\frac{1}{\rho}\int_V u^*_{i,i} p^{n+1} dV - \mu\int_V u^*_{i,j}(u^n_{i,j}+u^n_{j,i}) dV - \int_V u^*_i f_i dV \ -\frac{1}{\rho}\int_S u^*_i\{p^{n+1}\delta_{ij} - \mu(u^n_{i,j}+u^n_{j,i})\}\cdot n_j dS\right],$$

判定　$|U_{n+1}(I,J,K) - U_{n+1}(I,J,K-1)| \leqq E_K$

$X(I,J,K)$，$U(I,J,K)$ の決定

判定　$|U_{n+1}(I) - U_{n+1}(I-1)| \leqq E_I$

↓

次の時間ステップ

３．解析結果

初期水浸100mm、幅100mmの剛体が水深200mm、幅300mmの水槽中で、振幅1mm、周期１秒の正弦加振を受けるものとする。これを時間間隔0.01秒で解析する。メッシュ例を図－１に、変形例を図－２に、速度場例を図－３に、圧力場例を図－４に示す。収束が得られ、妥当な結果が得られている。

４．まとめ

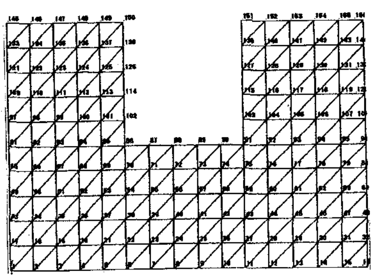
閉水域下の地盤動による浮体の有限変位応答を有限要素法によりシミュレートした。収束上最もクリティィカルな点は、浮体隅角部付近の流体メッシュの過大な歪みであり、今回自動的なリメッシュを行って対応しているが、計算効率向上にはさらに検討が必要である。

謝辞

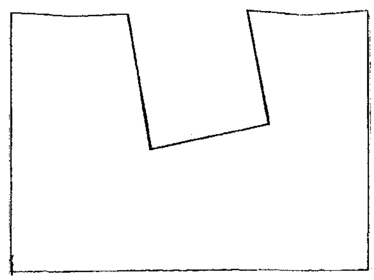
流体部の解析に関しては中央大学川原睦人教授の懇切な御指導をいただきました。深く感謝致します。

参考文献

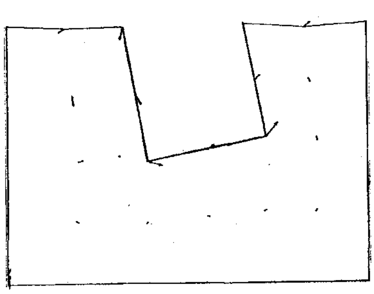
1)H.HATANAKA, et al: Numerical Investigation of Solving Unsteady Incompressible Viscous flow by Finite Element Method.



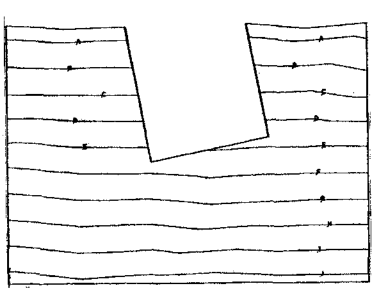
図－１　メッシュ図例



図－２　変形図例（5.0秒後）



図－３　速度場例（5.0秒後）



図－４　圧力場例（5.0秒後）