II－99　　浮体型洋上風車の運動の時刻歴計算

東北工業大学　正会員○新井 信一
東北工業大学　正会員　阿部 至雄
足利工業大学　正会員　長尾 昌朋

1.　序論

石油の世界的枯渇が視野に入り始め、化石燃料に依存した現在のエネルギーシステムの危機がささやかれる今日、エネルギーソースの多様化は緊急の課題であり、また、自然環境汚染防止の面からはクリーンエネルギーの使用が強く望まれる。クリーンエネルギーの中では風力発電が最も現実的であり、その利用の推進が重要となる。日本では狭い陸上よりも広大な海洋スペースを利用する必要が出てくるが、水深が深くなるため、浮体式洋上風力発電所が不可欠となる。

これを実現するには、検討を要するさまざまな要素があるが、浮体の揺れを正確に把握することは重要である。しかし、フルード則に従う波浪による運動とレイノルズ則による稼動風車に働く風力を同時に再現する実験は実機以外に不可能である。また、発電中の風車にかかる荷重は非線形となるだろうから、線形を前提とした周波数領域での取り扱いが可能かどうかわからない。だから、洋上風力発電所の挙動を把握するためには実機のシミュレーターが必要である。本研究ではそのシミュレーターの構築を目的とするが、ここでは、研究の第１段階として、波浪中浮体の２次元の運動について時刻歴計算を試みる。

2.　計算方法と計算モデル

浮体の形状は、図１に示すように流体力の計算が比較的容易な２次元長方形断面とし、５MW の風車と水素メタン変換装置および貯蔵装置等を搭載すると仮定して諸量を設定した。風車１機あたりの浮体奥行きは 43m となる。２次元の運動であるからスウェイとヒーブ、ロールを取り扱えばよく、それぞれ順に 1, 2, 3 の番号を対応させることとする。流体力は領域分割法[1]で計算する。

Oortmerssen[2]は係留船舶の運動を計算するために時間領域の運動方程式を提案した。ここではそれを踏襲することとする。すると浮体重心周りに立てた運動方程式は、

$$\sum_{j=1}^{3}\left[(M_{kj}+m_{kj})\ddot{X}_j+\int_{-\infty}^{t}D_{kj}(t-\tau)\dot{X}_j(\tau)d\tau+C_{kj}X_j+G_k(X_j)\right]=F_k(t)\ ,\ k=1,2,3 \qquad (1)$$

ここに、M_{kj} は浮体の質量または慣性モーメントで、$kj=11,22,33$ のみで値を有する。C_{kj} は流体による復原力、G_k は係留による復原力、X_1, X_2, X_3 は浮体の運動で順にスウェイ、ヒーブ、ロール、F_k は波浪外力である。また、D_{kj}は遅延関数、m_{kj}は流体付加質量係数であり、それぞれ以下の式により求められる。

$$D_{kj}(t)=\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}b_{kj}(\omega)\cos\omega t\,d\omega\ ,\ k=1,2,3 \qquad (2)$$

$$m_{kj}=a_{kj}(\omega')+\frac{1}{\omega'}\int_0^{\infty}D_{kj}(t)\sin\omega' t\,dt\ ,\ k=1,2,3 \qquad (3)$$

(2)式と(3)式の $a(\omega)$ と $b(\omega)$ は、周波数領域での浮体運動に係わる付加質量係数と造波減衰係数である。(2)式と(3)式の計算は簡単で

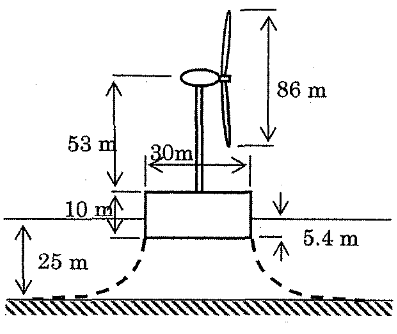

図１　5MW 級洋上風車

はないが、積分上限は適当な値で打ち切ることとした。なお、(3)式のω'は任意の値である。

3. 計算結果と考察

以下では実機の 1/150 模型スケールでの量で表示するので注意願いたい。

図２に本モデルの遅延関数の例を示す。(2)式の計算にあたり$\omega=100\ rad/s$で積分を打ち切った。遅延関数は過去の運動の影響の程度を表しているから、図２から、１秒もすると過去の影響は殆んどなくなっていることが分かる。

時刻歴計算の精度を調べるため、まずは無係留時を対象とする。そして、波高 0.02m で周期 0.8 秒の入射波が来襲した場合を考え、(1)式右辺の外力にその波の波浪外力を設定する。左辺では遅延関数を使用する。別途検証済みのルンゲ・クッタ法で、同式を積分して求めた運動の時刻歴計算結果を図３に示す。この波による浮体の周波数応答振幅は解析的に求められ、ヒーブが 0.0113cm、スウェイが 0.0083cm、ロールが 0.069rad である。これらの値を時刻歴計算結果の定常な振幅量と比較してみると、ロールは過渡応答が収まらないので検討からはずすが、ヒーブとスウェイはほぼ妥当な結果を示しているといえる。従って、(2)式の無限積分を有限で打ち切った影響はあまりないといえる。

4. 結言

５MW 型風車搭載を仮定して台船モデルを設定し、その波浪中の運動の時刻歴を計算してみた。(2)式の無限積分を有限で打ち切っても計算精度は確保できそうであることが分かった。

(1)式の形で運動を計算できれば、非線形係留力や速度の２乗に比例する風抗力の影響を検討することができるようになるので、今後、風力発電稼働時の挙動を検討していきたい。

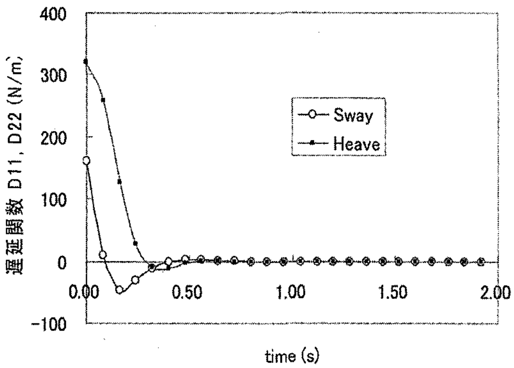

図２　Heave と Sway の遅延関数

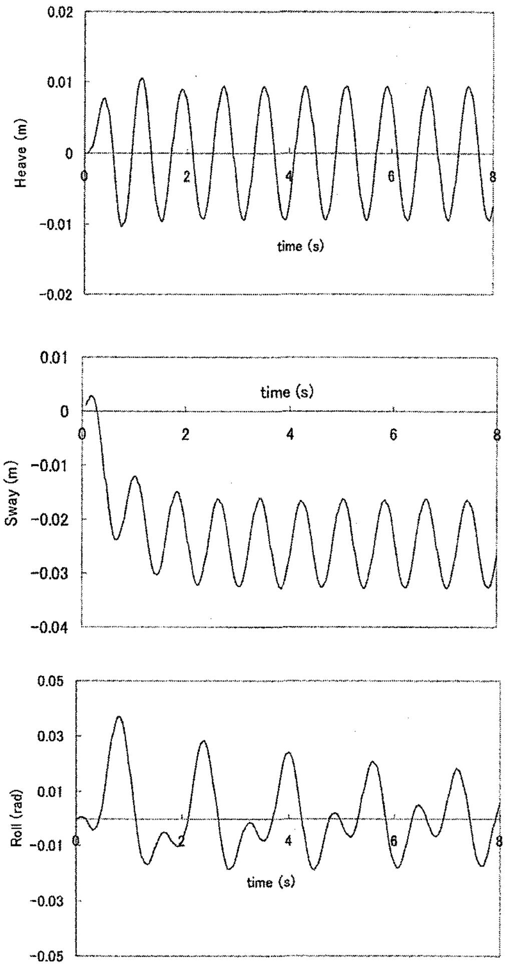

図３　運動応答の時刻歴

参考文献

1）新井信一：箱型浮体の運動の簡易計算方法、土木学会第 33 回年次学術講演会講演概要集、第 II 部、1978.

2）Oortmerssen, G. van : The Motion of A Moored Ship in Waves, No.510, Netherlands Ship Model Basin, Wageningen, The Netherlands, p.136, 1976.