

PS-35 浮体式洋上風力発電施設の漂流シミュレータの開発

洋上再生エネルギー開発系 * 中條 俊樹、國分健太郎

1. 序論

浮体式洋上風力発電は、商用化の段階においては、多数の風車および浮体から構成されるウィンドファームとなることが予想されており、福島県沖では浮体式ウィンドファームの実証試験が開始されている¹⁾。

このようなウィンドファームにおいては、浮体あるいは航行船舶が漂流すると、ウィンドファーム内の他の浮体に衝突し、それにより連鎖的に漂流・衝突が発生する、いわゆる連鎖漂流が安全上のリスク要因の一つとして考えられる。

そこで、本研究ではウィンドファーム内で1基の浮体あるいはウィンドファーム付近を航行中の船舶が漂流を開始したと仮定し、その浮体または船舶の軌跡を計算し、他の浮体と衝突するか、衝突した場合には連鎖漂流を引き起こすかについて、シミュレーションプログラムを作成し、連鎖漂流・衝突問題の検討を実施した。

2. シミュレーションの全体構成

プログラムの全体構成の概要を図-1²⁾に示す。本プログラムは浮体運動や衝突現象は簡略化してモデル化し、簡便にできる限り多くの解析をすることで、ウィンドファーム全体の漂流・連鎖衝突を扱うことを意図している。

計算条件として浮体の初期配置、形状等を読み込み、外力釣り合い計算を開始する。次に移動判定を行い、浮体が漂流しているか否かを判定する。漂流開始後は他浮体の位置データとの照合を行い、衝突判定を行う。

衝突判定では、接近した2浮体間の距離によって場合分けを行う。2浮体間距離が浮体幅以下の場合は浮体同士の衝突、ある一定の範囲内にある場合は係留索との交錯と仮定する。

衝突後の2浮体の挙動について、分離判定を行う。ここでは、衝突した浮体（衝突浮体）と衝突された浮体（被衝突浮体）の挙動に注目し、(1)衝突後両者は分離し、衝突浮体は漂流を続け、被衝突浮体は健全状態で留まる、(2)衝突時に被衝突浮体の係留索を切断し、被衝突浮体も漂流を開始する、(3)衝突後両者は分離せず、一体となってその場に留まる、という3パターンを考慮することとした。この分離判定においては、判定基準を水槽模型試験等により求めることを想定しているが、本論文では単純化のために基準値を設定して用いている。

なお、本報告では、1基の浮体あるいは船舶が漂流開始した時点を開始地点として検討を実施した。

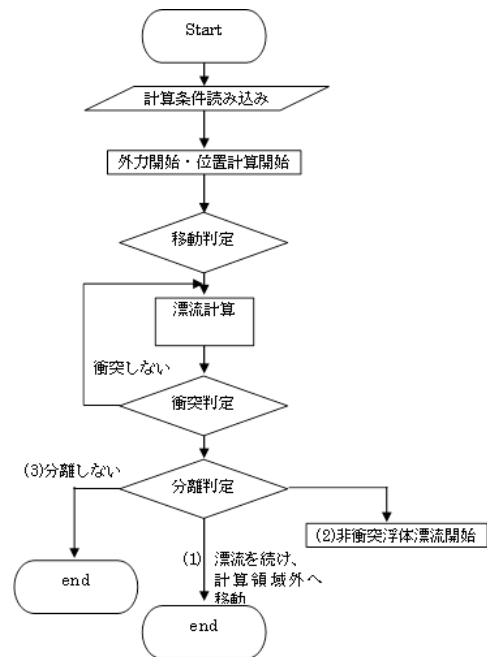


図-1 計算フロー図

3. 外力

外力については定常漂流力として、風抗力、波漂流力、潮流力を用いた。

風抗力はロータ、タワーおよびナセル部に働く風抗力、水面上の浮体に働く風抗力に大別できる。それぞれ以下の式を用いている。

$$F_r = \frac{1}{2} \rho_{air} C_D A_r U^2 \quad (1)$$

$$F_{tower} = \frac{1}{2} \rho_{air} C_D A_{tower} U^2 \quad (2)$$

$$F_{wind-f} = \frac{1}{2} \rho_{air} C_D A_{windf} U^2 \quad (3)$$

ここで ρ_{air} は空気密度、 A_r はブレード面積、 U は風速、 C_D はブレード、タワーおよび浮体の抗力係数である。

波漂流力は以下の式を用いた。

$$F_{wave-d} = \frac{1}{2} \rho_{water} g R \xi^2 L \quad (4)$$

ここで ρ_{water} は海水密度、 g は重力加速度、 R は波漂流力係数、 ξ は入射波振幅、 L は浮体代表長さである。潮流力は以下の式を用いた。

$$F_c = \frac{1}{2} \rho_{water} C_D A_f V^2 \quad (5)$$

ここで A_f は浮体投影面積、 V は流速である。

これらの外力はその大きさと方向を変化させており、現段

階では正規分布に従う乱数を発生させている。

4. 計算結果の一例

ウィンドファーム近傍を航行している比較的大型の船舶が漂流を開始したと想定し、5MW級の風車を搭載したセミサブ型浮体に衝突する事例について、試計算を実施した。それぞれの寸法データを表-1および表-2に示す。ただし、これらの計算対象は実存する船舶・浮体を対象としたものではない。

なお、ブレードの抗力係数についてはブレードの角度をフェザリング状態または発電状態とし、これまでに実施した模型試験結果³⁾および過去の研究事例⁴⁾より求めている。波漂流力係数については水槽試験結果⁵⁾から求めた。

また、入力した海象条件を表-3に示す。本論文における試計算はランダムシードを変えて20回実施したが、その際衝突ができるだけ多く発生するように計算開始時の船舶と浮体間の距離を500mとした。また、船舶と浮体のそれぞれの中央座標が一定距離内に接近した場合に衝突が発生したとみなした。

計算結果を図-3に示す。図中の実線は漂流船舶の軌跡を、点線は連鎖漂流した浮体の軌跡をそれぞれ示す。衝突により、船舶の軌道が変化していること、またいくつかのケースにおいては、衝突された浮体の連鎖漂流が発生していることが分かる。

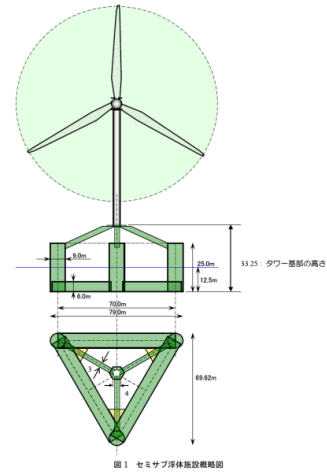


図-2 模型概略図

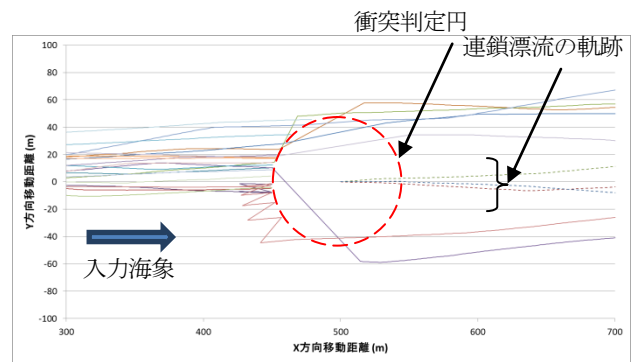


図-3 漂流船舶とセミサブ型浮体の連鎖漂流計算例

表-1 浮体式風力発電浮体の諸元

L(m)	69.62
B(m)	79
D(m)	25
d(m)	12.5
Displacement(m ³)	12641
Column Dia.(m)	9

表-2 漂流船舶の諸元

L _{pp} (m)	144.0
L _{wl} (m)	146.5
B _{wl} (m)	26.1
D (m)	13.5
T (m)	9.4
Displacement (m ³)	28488

表-3 入力海象条件

	大きさ	方向
波	波高 4.0[m]、周期 12.0[sec]	すべて同一とした
風	平均風速 5.0[m/s]	
潮流	平均流速 1.0[m/s]	

5. 結論

漂流する船舶、浮体がウィンドファーム内の他浮体と衝突し、連鎖漂流に至る過程を算出するシミュレーションプログラムを開発し、計算例を示した。本プログラムの活用法として、漂流開始地点・海象等を様々に設定して計算することでウィンドファーム内の連鎖漂流確率の算出を想定している。

参考文献

- 1) 福島洋上風力発電コンソーシアムホームページ <http://www.fukushima-forward.jp/>
- 2) 中條俊樹、國分健太郎ら：浮体式ウィンドファームにおける浮体漂流シミュレーションプログラムの開発、日本船舶海洋工学会秋季講演会論文集
- 3) Tohiki CHUJO, et.al, Model Experiments on the Motion of a SPAR Type Floating Wind Turbine in Wind and Waves、Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2011
- 4) 土木学会：風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2010年版]
- 5) 海上技術安全研究所、東京大学：平成24年度「浮体式洋上風力発電施設の安全確保及び国際標準化のための研究開発」報告書