

# 風と波を受ける浮体式洋上風車の不規則応答

長崎総合科学大学 正会員 藤田謙一  
防衛大学校 正会員 矢代晴実

## 1. はじめに

脱炭素社会およびクリーンエネルギー利用の実現に向けて、わが国では洋上風力発電の計画・事業化が推進されている。浮体式洋上風力発電の計画・設計では、風と波に対する構造評価を行い安全性の検討を行う。今後、運用期間中の構造損失期待値の評価を行うためには、確率論手法を用いて応答を評価する必要がある。

本研究では、バージ型の浮体式洋上風車を対象に、自由浮体と係留浮体において、構造物に作用する風と波を不規則荷重とした応答をランダム振動理論により評価する。数値例題では、浮体式洋上風車の風速と係留の有無による応答の変化を検討する。

## 2. 解析モデル

本研究の浮体式洋上風車を図1に示す。浮体は正方形平面のバージで、係留モデルでは四隅をテンションレグで係留する。構造物は有限要素でモデル化し、浮体は *Mindlin* 板、タワーは梁で離散化し、ローターは質点でモデル化する。海水領域は境界要素でモデル化し、支配方程式および海水と浮体の接触面を除く境界条件を満足する *Green* 関数を用いて接触面のみを離散化する。解析は両モデルを結合して行う。

## 3. 応答解析

浮体式洋上風車の応答解析は弾性範囲内で行い、風および波の作用に対してそれぞれ実施する。風に対してはさらに平均風速と変動風速による荷重に分ける。平均風速による風圧は静的荷重とする。変動風速は平均値0のエルゴード過程に従うと仮定し、変動風速のパワースペクトル密度関数を用いて風圧を評価する。波の波形は平均値0のエルゴード過程に従うとし、*Pierson-Moskowitz* の波高スペクトルを用いて波圧を評価する。平均風速に対する応答は静的つり合い式を用いて解析し、応答値は平均値として評価する。変動風速と波に対しては、定常ランダム振動理論により解析し、応答値は標準偏差として評価する。

## 4. 数値例題と検討

10MW級の浮体式風車を対象に、風速と係留の有無による応答を検討する。構造物の要素分割を図2に示す。ローターの受風面積は、 $D_R$ を直径とする円の面積とする。抗力係数は、ローターで0.4、タワーで1.0である。ローター中心高さ(海面上106m)の平均風速は10~100m/sである。

浮体幅方向中央の長辺方向における応答変位を図3に示す。自由浮体では、風に対して浮体が大きく傾斜する。波に対しては浮体のヒープが支配的で、タワーの変位は浮体のヒ

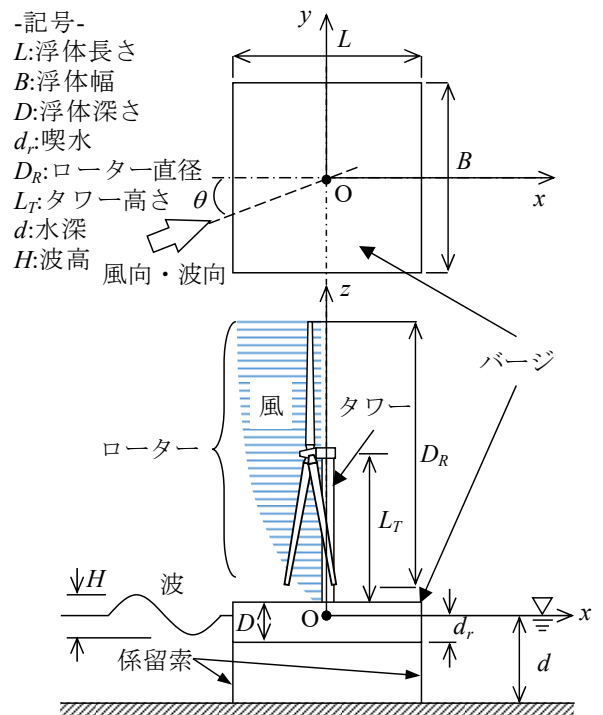


図1 浮体式洋上風車

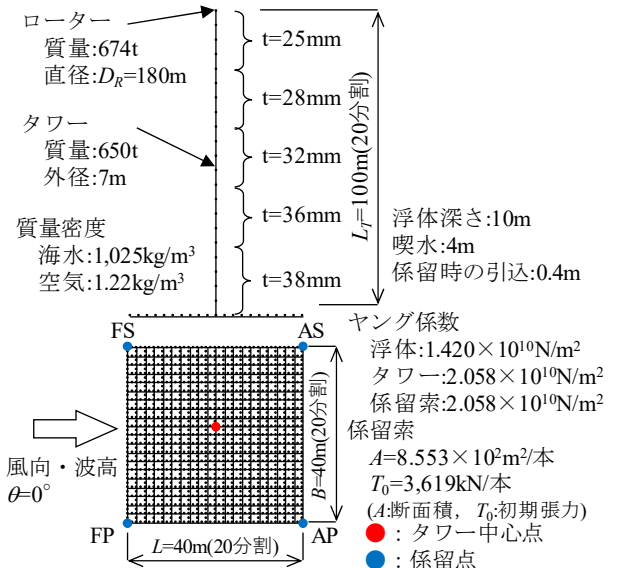


図2 要素分割

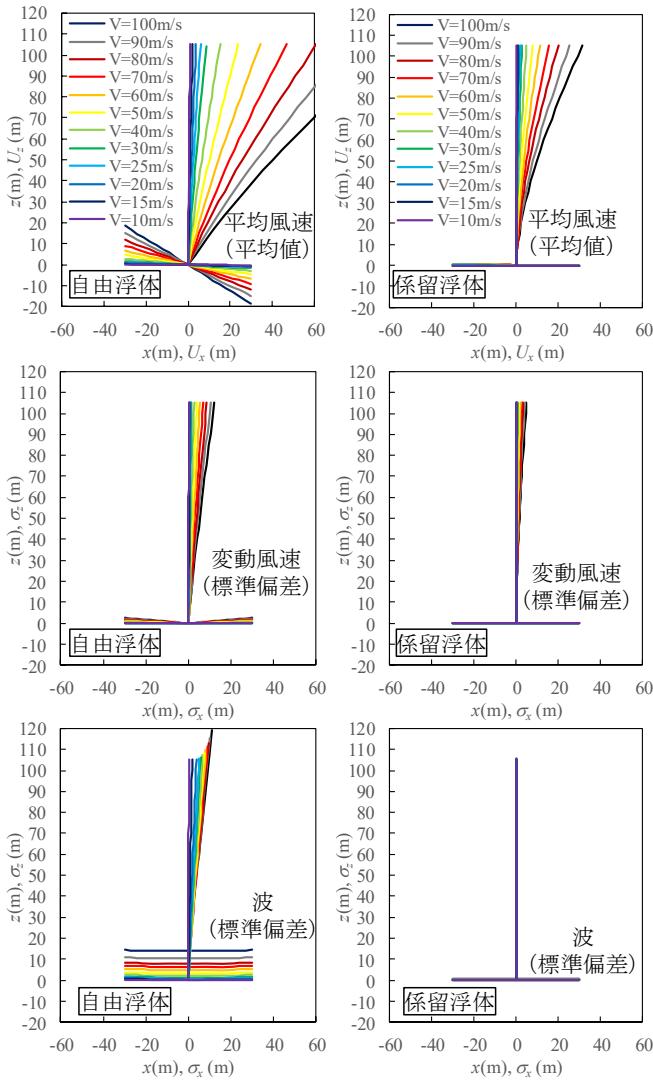


図3 応答変位

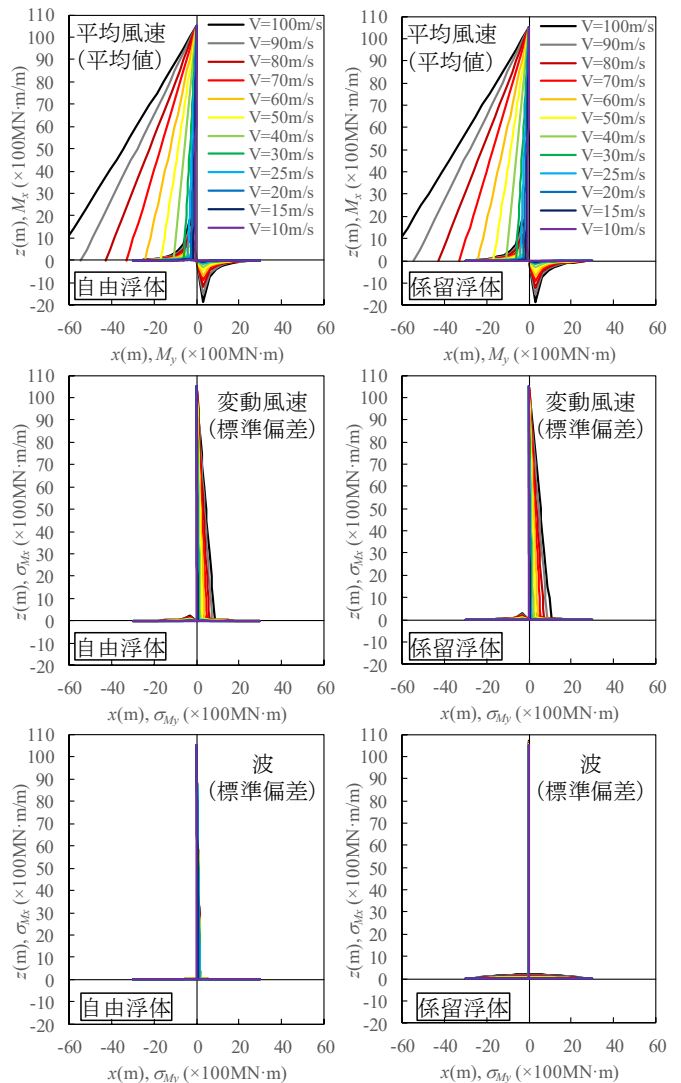


図4 曲げモーメント分布

ーブとピッチに伴う。係留浮体の変位は、自由浮体よりも小さい。  
 曲げモーメントを図4に示す。タワーの曲げは平均風速に対して顕著である。自由浮体において、タワーでは脚部で最大となり、浮体ではタワー脚部周辺で集中する分布形となる。係留浮体において、風に対しては自由浮体と同じ傾向にあるが、変動風速に対しては、自由浮体よりも全体的に大きい。これは、係留時のタワーの1次固有振動数が変動風速のスペクトルのピークに近いためである。波に対しては、浮体全体の曲げが大きくなる。

係留力を図5に示す。係留力は波で最も大きい。風速 25m/s を超えると平均風速による係留力は負の値になる。実施には係留力が負になると弛緩状態となり、引張側の係留索にさらに過大な係留力が生じること、構造全体が不安定になることが考えられる。

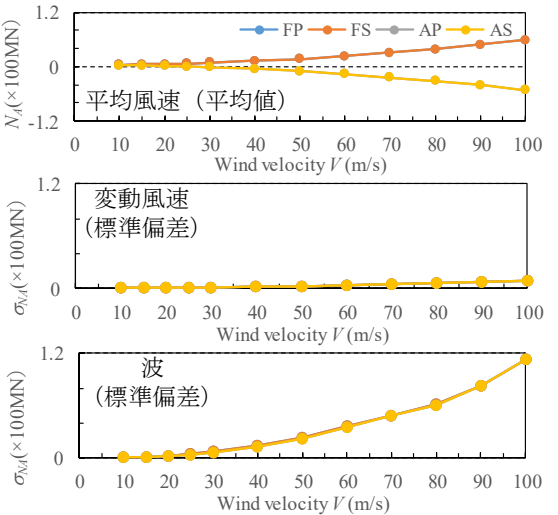


図5 係留力

5. まとめ

- 1) 自由浮体では風と波による構造物全体の変位は大きく、係留浮体の変位は大幅に小さくなる。
- 2) 曲げモーメントは係留の有無に関係なく平均風速に対して最も大きい。波に対しては係留の有無で異なり、タワーの曲げモーメントは自由浮体で大きく、係留浮体で極めて小さい。
- 3) 浮体の変位の低減に係留は効果的である一方、波による浮体の曲げモーメントを増大させる。
- 4) 係留力は風よりも波に対して顕著である。