

バージ式浮体式洋上風車の風と波による損傷発生確率（その2：評価結果）

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

本報では、（その1）で示した評価方法を用いて、浮体式洋上風車の運転時を対象に損傷発生確率を評価する。対象部位はタワー脚部とテンションレグとし、自由浮体と係留浮体について評価する。

2. 検討モデル

評価対象は10MWクラスのバージ式洋上風車である。風車は浮体平面中心に設置し、タワーの長さは100m、外径は7m、質量は650tonである。ローター直径は180m、質量は674tonである。バージは1辺長さ60mの正方形平面であり、厚さは10m、自由浮体の喫水は4m、係留浮体の喫水は4.4mである。係留はテンションレグ形式であり浮体平面四隅に設けている。テンションレグ1本の直径は330mmであり、引込によりテンションレグ1本に生じる初期張力（3.62MN）が降伏張力（35.1MN）の約10%となるように設定した。ヤング係数は浮体で $1.420 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 、タワーとテンションレグで $2.058 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ である。海水の質量密度は $1,025 \text{kg/m}^3$ 、空気の質量密度は 1.22kg/m^3 である。

解析モデルの離散化を図1に示す。バージの平板モデルは 20×20 分割、タワーの線材モデルは20分割した。なお、バージ内に含まれるタワー部分は質量のない線材とした。ローターは質点とし、集中質量を付加した。ローターに作用する風力は、質点に作用させている。

検討に用いる平均風速は、ローター中心高さ（静止海面上106m）で、10～100m/sとし、25m/sまでは5m/sごと、30m/s以降は10m/sごとに解析する。変動風速のパワースペクトルを図2、Pierson-Moskowitzの波スペクトルを図3に示す。両図において、青色の縦線は自由浮体、鳶色の縦線は係留浮体のウェットモード固有円振動数である。

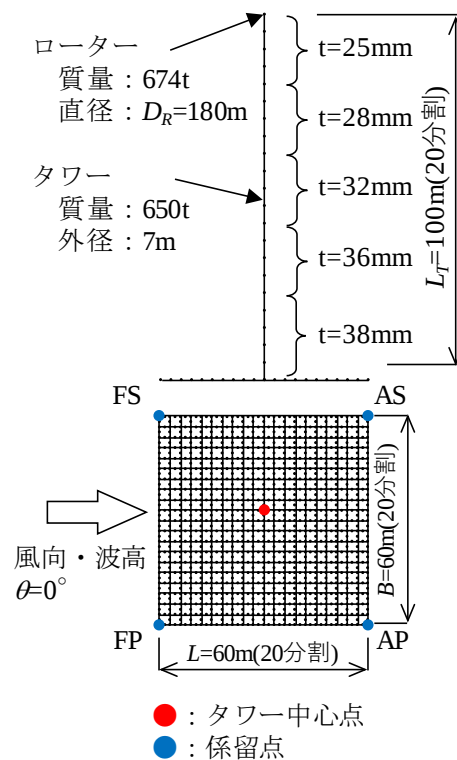


図1 離散化モデル

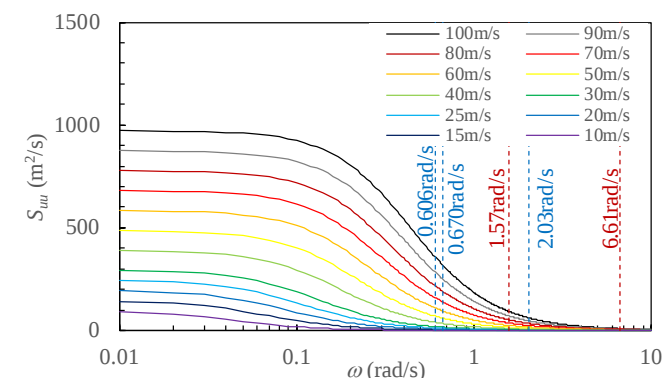


図2 変動風速のパワースペクトル

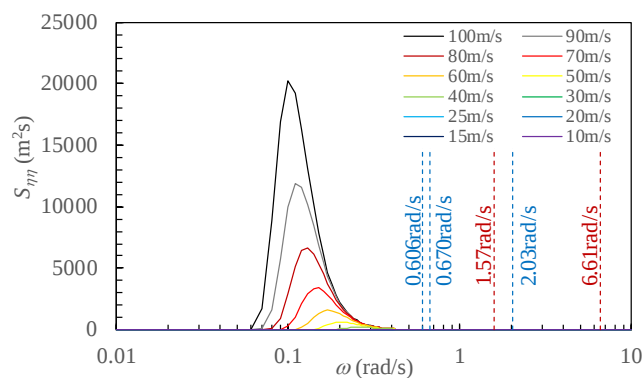


図3 Pierson-Moskowitzの波スペクトル

浮体式洋上風車、損傷発生確率、定常ランダム振動、テンションレグ、変動風、不規則波

連絡先 〒851-0193 長崎県長崎市網場町536 長崎総合科学大学工学部工学科建築学コース TEL 095-838-4124

偏差を求めるにあたり、風車タワーの許容耐力は鋼材（SM490）の降伏点の統計資料を用いる。テンションレグの許容耐力については、鋼材（SBC690）の統計資料がないため、降伏点の平均値は規格値とし、標準偏差は平均値に SM490 の降伏点の標準偏差を平均値で除した値を乗じて評価した。表 1 に使用鋼材の平均値と標準偏差を示す。

3.1 風車脚部の損傷発生確率

風車脚部の圧縮（座屈）降伏耐力および曲げ降伏耐力の平均値と標準偏差を表 2、平均風速ごとの断面力の圧縮力の平均値と標準偏差を表 3 に示す。断面力の平均値は平均風速で決まり、自由浮体と係留浮体ともに同じ値となる。また、圧縮軸力の標準偏差は波で支配的であり、曲げモーメントの標準偏差は変動風速で支配的になる。

風車脚部の損傷発生確率を図 4 に示す。損傷発生確率は、表 2 と表 3 の値を用い、（その 1）の(1)式により評価した。自由浮体では風速 20m/s、係留浮体では風速 15m/s を超えると発生確率は急激に増加し、40m/s 以上で発生確率は 1.0 となる。

3.2 テンションレグの損傷発生確率

テンションレグの引張降伏耐力の平均値と標準偏差を表 4、平均風速ごとの係留力の標準偏差と標準偏差を表 5 に示す。係留力の平均値は、波上側（FP, FS）では常時引張力が作用し、波下側（AP, AS）では風速が増すにつれて引張力は小さくなり、負の値になる。これは本解析では、テンションレグを線形ばねとしてモデル化しているためであるが、実際には弛緩状態となり浮体式風車が不安定になる恐れがあると考えられる。

テンションレグの損傷発生確率を図 5 に示す。損傷発生確率は、表 4 と表 5 の値を用い、（その 1）の(2)式により評価した。損傷発生確率は波上側で高い。風と波の作用により浮体波上側の変位が大きいためである。発生確率は、波上側では平均風速 30m/s 以上、波下側では平均風速 50m/s あたりから大きくなるが、風車脚部のように急激に増加することはない。

4. まとめ

本報（その 1）に示す方法を用い、浮体式洋上風車の風車脚部とテンションレグの損傷発生確率を検討した。

表 1 鋼材の平均値と標準偏差

降伏点	SM490 (N/mm ²)	SBC610 (N/mm ²)
平均値	361.9	410.0
標準偏差	34.4	39.0

表 2 脚部降伏耐力の平均値と標準偏差

降伏耐力	圧縮（座屈） (MN)	曲げ (MN・m)
平均値	286.0	520.6
標準偏差	27.2	49.5

表 3 脚部断面力の平均値と標準偏差

平均風速 (m/s)	自由浮体				係留浮体			
	圧縮軸力 (MN)		曲げ (MN・m)		圧縮軸力 (MN)		曲げ (MN・m)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
10	12.99	0.02	2.43	9.86	12.99	0.01	2.43	7.66
25	12.99	0.21	15.20	141.83	12.99	0.20	15.20	25.80
40	12.99	0.36	38.90	164.11	12.99	0.69	38.90	67.62
60	12.99	0.53	87.53	169.97	12.99	1.77	87.53	149.53
80	12.99	0.71	155.61	174.41	12.99	3.42	155.61	250.70
100	12.99	0.88	243.14	182.01	12.99	5.12	243.14	363.78

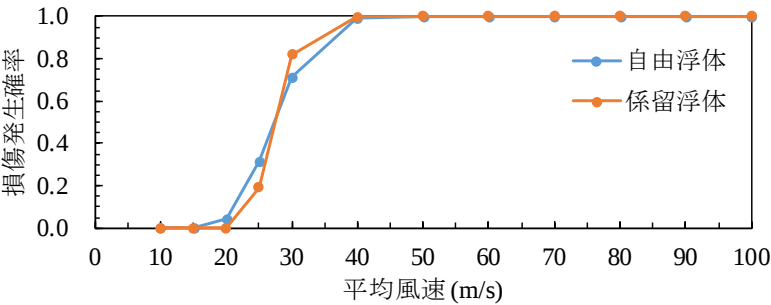


図 4 脚部の損傷発生確率

表 4 引張降伏耐力の平均値と標準偏差

引張降伏耐力(MN/本)	
平均値	標準偏差
35.07	3.33

表 5 係留力の平均値と標準偏差

平均風速 (m/s)	係留力 (MN)			
	波上側 (FP, FS)		波下側 (AP, AS)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
10	4.17	0.26	3.07	0.15
25	7.06	3.95	0.18	3.21
40	12.43	12.72	-5.19	11.90
60	23.44	31.91	-16.20	31.15
80	38.85	61.01	-31.62	60.35
100	58.67	91.07	-51.44	90.47

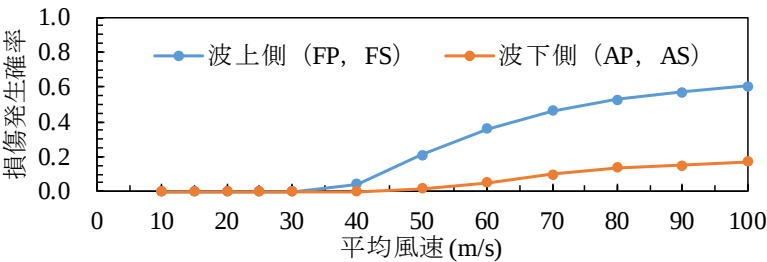


図 5 テンションレグの損傷発生確率