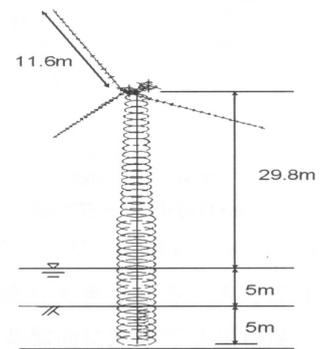


風、地震、波浪を同時に受ける洋上風力発電施設の振動解析

早稲田大学 学生会員 ○小長井 聡
早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. まえがき 自然エネルギーの有効利用の観点から風力発電に注目が集まっている。景観や騒音などの環境上の問題、また世界有数の海岸線を持つ国土利便性から「洋上」での風力発電施設¹⁾の設置計画が進められている。最近では風力発電施設が暴風時などに倒壊した事例がおき安全性が問題となってきたり、日本での自然現象を反映した設計・施工法を求めている。本研究では、有限要素汎用プログラムソフト SOLVIA を用いて風、波、地震を同時に作用させたときの各荷重の影響とタワーの安全性について検討を行った。

2. 解析方法及び入力条件 発電能力 180KW, 風車本体重量 218 kN, タワー長 29.8m, ブレード長さ 11.6m, 基礎杭 10mのモノパイル式基礎風力発電施設を梁要素で三次元モデル化した。基礎杭 5m部分を X, Y の2方向から水平バネ(砂質土 N 値=20 に相当)で支持した。海底地盤の水深は 5mとした。風荷重はハブ高において、栃木県岩舟町と沖縄県宮古島で観測した定格風速(平均 15m/s)と暴風(平均 54m/s)の変動風速を対象とし、ブレードには X 方向推進風荷重, ブレードの回転方向接線風荷重を静的荷重²⁾として作用させた。なおブレードはこの接線荷重により回転できるモデルとした。またタワーには、上記のハブ高での観測風速から風速の高度分布式により各高度の風速を算出し、風荷重を作用させた。



波荷重は、1年確率波を対象とし水深 5mにおいて周期 $T=7.8\text{cm}$, 波高 $H=2.6\text{m}$, 波長 $L=96.05\text{m}$ とし、波荷重は杭の抗力係数 $C_D=1.0$, 質量係数 $C_M=2.0$, 海水の単位体積質量 $\omega_0=1.02\text{t}$ としてモリソンの公式より算出し、正弦波の波荷重として作用させた。地震動は 1995 年兵庫県南部地震ポートアイランド波の最大入力加速度を 200, 400, 600, 679Gal に基準化し、基盤入力した。

3. 解析結果 風(定格風速), 波, 地震(200Gal)をそれぞれ単独でタワーに作用した時の、タワー基部にかかるモーメントのフーリエスペクトルの入力と出力を比較した図を以下の図-2~4 に示す。

風荷重による影響は、低い周波数成分が卓越し、他の外力よりも大きい影響を与え続けた。また地震では、タワーの一次固有振動数 ($f=0.87\text{Hz}$) で卓越して大きく共振を起している。また波荷重は値としては大きい外力だが、タワーの基部に外力が作用すること共振の影響も小さく風や地震に比べるとモーメントへの影響の小さかった。

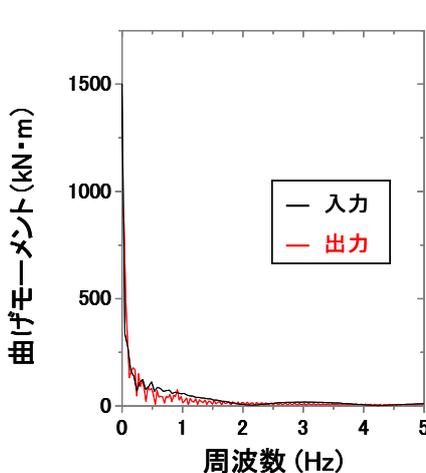


図-2 風によるスペクトル

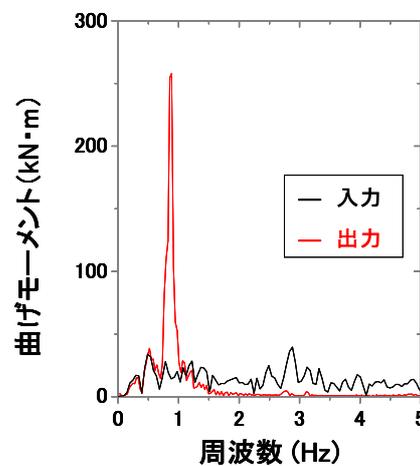


図-3 地震によるスペクトル

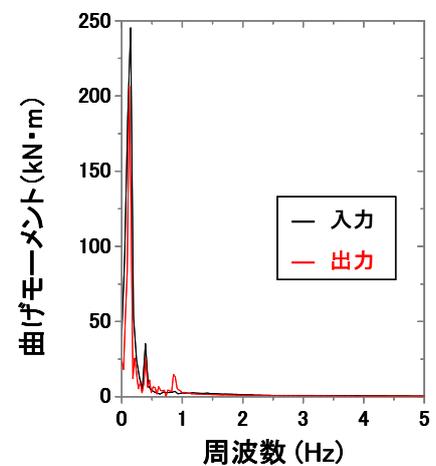


図-4 波によるスペクトル

キーワード 荷重の組み合わせ, スペクトル, 降伏, フェザリング, 台風

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学社会環境工学科 清宮研究室 TEL 03-5286-3582

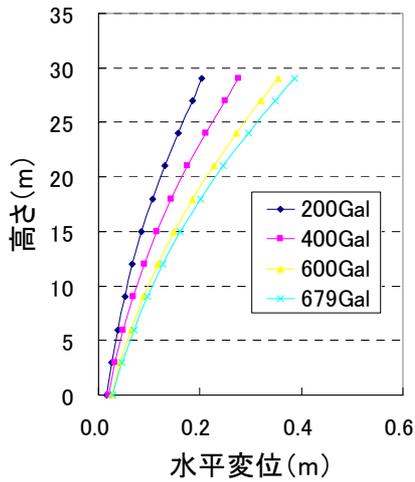


図-5 タワーの水平変位

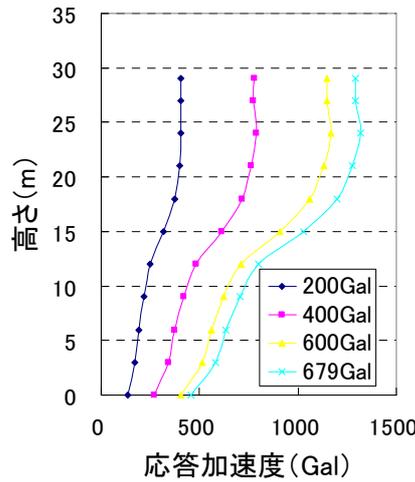


図-6 タワーの応答加速度

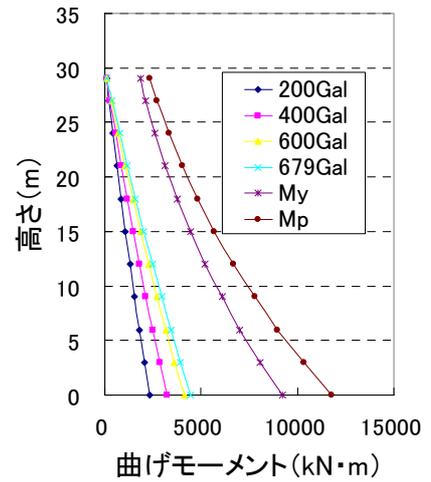


図-7 タワーの曲げモーメント

また波力一定、定格風速時 ($V=14.7\text{m/s}$) で入力地震動を 200~679Gal と変化させたときの各種最大応答値のタワー高さ方向分布を図-5~7 に示す。図-7 では降伏曲げモーメント M_y と全断面塑性モーメント M_p も図中に示す。水平変位、応答加速度、曲げモーメントともに入力地震動の増加に伴い応答値も大きくなる。入力加速度 400Gal の場合、タワーの頂部水平変位は最大 30.7cm である。加速度応答倍率は基盤面に対して 2 倍程度である。曲げモーメントは、タワー方向全高さで降伏モーメント M_y を超えなかった。

また波力一定、入力地震波の変化による定格風速と暴風時のタワー基部の曲げモーメントと、降伏モーメント M_y と全断面塑性モーメント M_p を比較した図を以下の図-8 に示す。なお暴風時には、ブレードにフェザリング効果によってストール状態として解析した。定格風速時 ($V=15\text{m/s}$) には降伏モーメント以下であったが、暴風時 ($V=54\text{m/s}$) という未曾有の風に 200Gal を超える地震波が同時作用した場合、降伏に至る可能性がある。しかし遭遇確率の問題として暴風とレベル 2 地震動が同時に発生する可能性は図-9 の通り非常に低く³⁾、通常設計では考慮に入れていない。

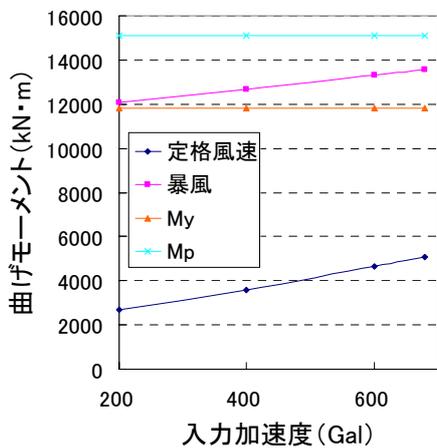


図-8 タワー基部の曲げモーメント

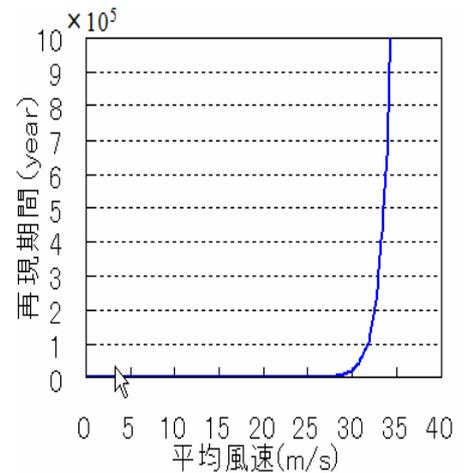
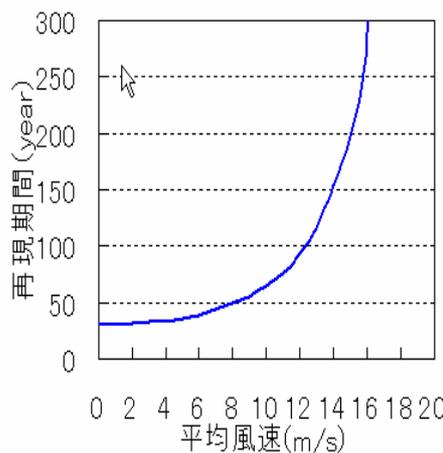


図-9 地震の再現期間中に遭遇する平均風速との関係

4. 結論 (1) 今回の計算モデルと計算条件下では、風の影響が強く、地震ではタワーの一次固有周期と共振を起こし応答が大きかった。一方波の影響は風・地震に比べ小さかった。(2) 地震と風の同時遭遇確率を考慮すると、通常設計下では安全と言えるが、大型の台風 ($V=54\text{m/s}$) が接近した場合に降伏の危険性があるので、今後の設計検討で議論する必要がある。

参考文献 (1) 財団法人 沿岸開発技術研究センター (平成 12 年 11 月) 洋上風力発電基礎工法の技術 (設計・施工) マニュアル(案) (2) 牛山 泉 著 風車工学入門 森北出版株式会社 (3) Osamu Kiyomiya, etc, Dynamic Response Analysis for Onshore Wind Energy Power Units during Earthquakes and Wind, The 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, 2002. May. pp.520-526