

洋上風力発電施設の風と地震による動的応答計算

早稲田大学 学生会員 ○久保田翔平
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起き安全性が問題となっており、日本での自然現象を反映した設計・施工法が求められている。本研究では、有限要素法汎用プログラム SOLVIA を用いて、重力式基礎上の風力発電施設に風、地震を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 一般的に用いられている発電能力 2MW の風力発電施設を今回検討対象とした。タワー高さ 61m、ブレード長 40m、ケーソン 15×15×10m、マウンド 30×30×2m、地盤 70×70×20m の重力式基礎洋上風力発電施設である。ブレードとタワーを beam 要素で、ケーソン、マウンド、地盤を solid 要素で 3次元モデル化した。海底地盤は層厚 20m、N 値 20 程度の砂質地盤であり、ヤング率は $2.4 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ である。水深は 10m とした。また、タワーの一次固有振動数は 0.47Hz、地盤の一次固有振動数は 2.3Hz である。

風荷重は茨城県鹿島港沖合で観測した定格荷重(15m/s)と暴風(36m/s)の2種類の変動風速を対象とし、タワーとブレードに推進方向から作用させた。地震動は道路橋示方書で推奨される加速度波形を用いて、level1 地震動(319Gal)、level2 地震動(810Gal)を基盤入力した。

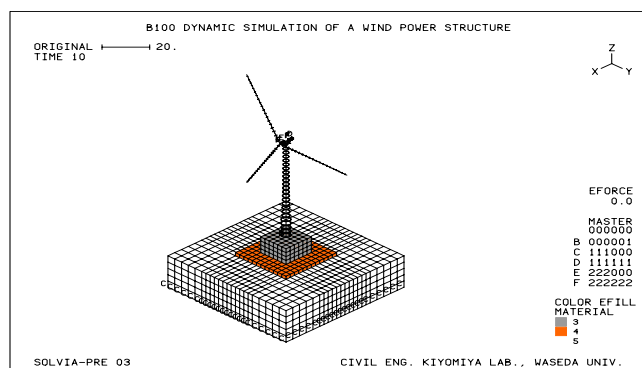


図-1 解析対象モデル

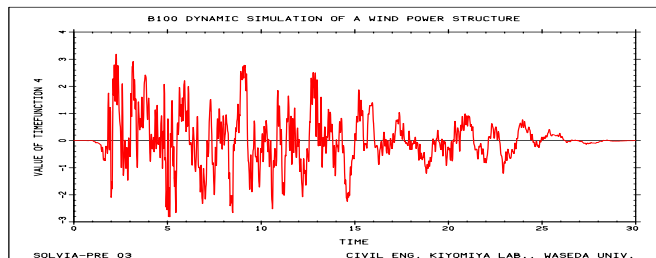


図-2 level1 地震動

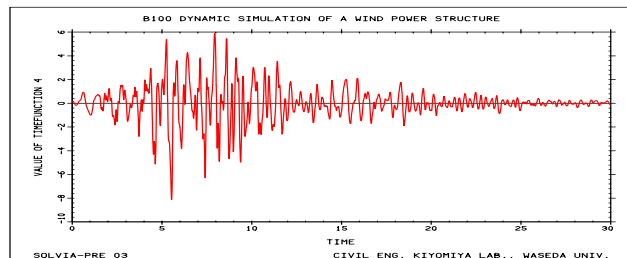


図-3 level2 地震動

3. 解析結果 定格風、暴風、level1 地震動、level2 地震動をそれぞれ単独で解析モデルに作用させたときの、各外力のタワーへの影響をタワー高さ方向分布で表し比較したものを図-4、図-5に示す。

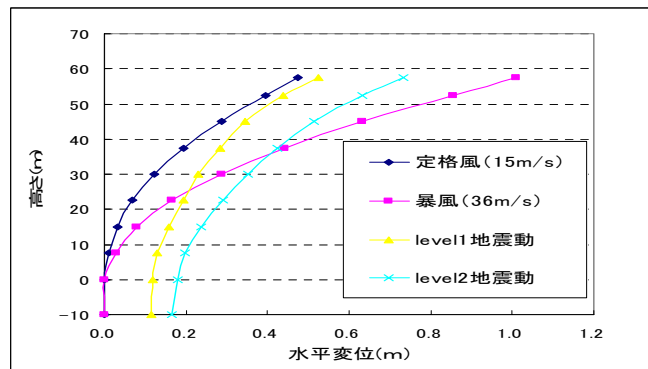


図-4 水平変位のタワー高さ方向分布

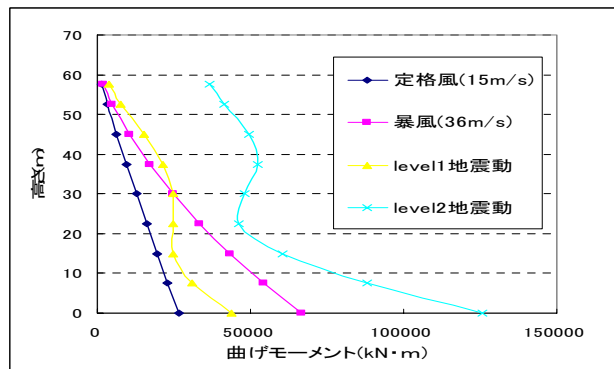


図-5 曲げモーメントのタワー高さ方向分布

キーワード 重力式洋上風力発電、地震応答計算、有限要素法、風荷重

連絡先 〒160-8555 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

水平変位、曲げモーメントのどちらについても、風荷重、地震動の影響を強く受けていることがわかる。タワー頂部の水平変位については、暴風による影響が最も大きく、タワー基部の曲げモーメントについては level2 地震動の影響が最も大きい。定格風、暴風、level1 地震動をそれぞれ単独で作用させた場合に、タワー基部が降伏に至ることはなかったが、level2 地震動を単独で作用させた場合には、最大曲げモーメントが $125678\text{kN}\cdot\text{m}$ となり、全断面塑性モーメントの $120969\text{kN}\cdot\text{m}$ を上回っていることから、タワー基部が全断面塑性になるとわかる。

次に、定格風時、暴風時に level1 地震動(319Gal)、level2 地震動(810Gal)をそれぞれ作用させたときの、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 の比較を図-6 に示す。

level1 地震動を作用させた場合、定格風時にタワー基部が降伏に至ることはなかった。暴風時についても、タワー基部が降伏に至ることはなかったが、最大曲げモーメントが $92583\text{kN}\cdot\text{m}$ であり、降伏モーメントの $94513\text{kN}\cdot\text{m}$ と値が近かった。

level2 地震動を作用させた場合、定格風時、暴風時ともに、最大曲げモーメントが全断面塑性モーメントの $120969\text{kN}\cdot\text{m}$ を上回り、タワー基部は全断面塑性となった。また基礎の安定性も十分ではなかった。今後 level2 地震動に対してどのような耐震性能を洋上風力発電施設に求めるか、検討が必要と考える。

4. 結論 (1) 風荷重、地震動が風力発電施設のタワーに与える影響は大きい。定格風、暴風、level1 地震動をそれぞれ単独で作用させた場合、定格風と level1 地震動を同時に作用させた場合、また、暴風と level1 地震動を同時に作用させた場合にタワーが降伏に至ることはなく、通常設計下での安全性は十分に高いと言える。

(2) level2 地震動を単独で作用させた場合、タワー基部は全断面塑性となる。また、定格風時、暴風時ともに level2 地震動を作用させるとタワー基部は全断面塑性となる。しかし、遭遇確率の問題として、図-7 に示すように定格風と level1 地震動が同時に発生する可能性は低くはないが暴風と地震が同時に発生する可能性は非常に低いこと、また、level2 地震動のような大規模な地震が施設の供用期間中に発生する可能性は低いことから、通常設計下では同時性を考慮に入れなくともよいと言える。また level2 地震動に対してどのような耐震性能を洋上風力発電施設設定するのか今後の課題である。

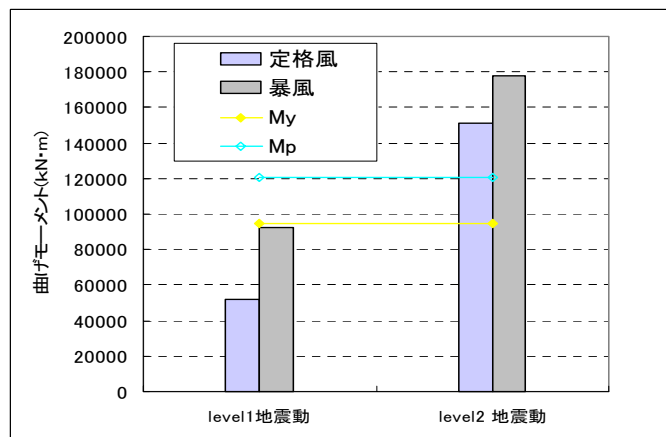


図-6 M_y 、 M_p との比較

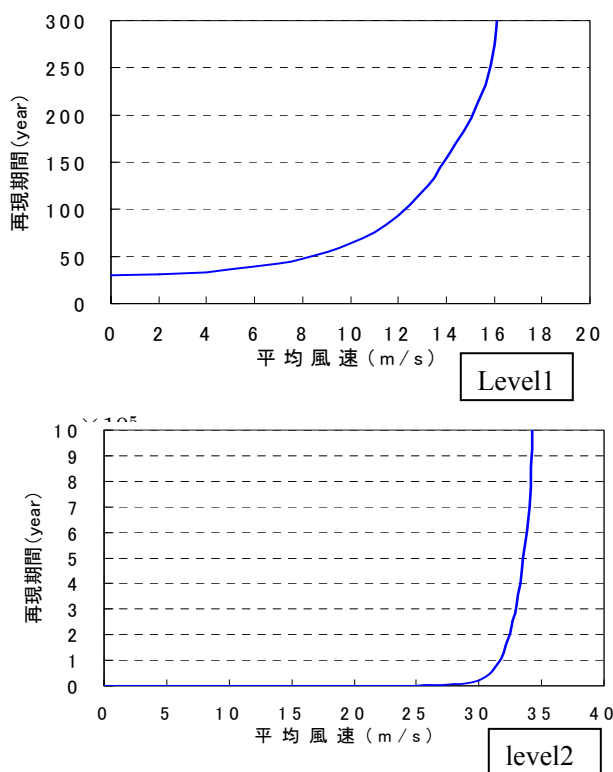


図-7 地震と風の再現期間

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 Earth quakes and Wind,The 20th International Offshore and Polar Engineering Conference,ISOPE,2002.May.pp,520-526