

洋上風力発電タワー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 の重力式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、非線形性は Ramberg-Osgood モデルをトリリニアモデルに近似し考慮した。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 1.8Hz 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。定格風の場合はブレードの回転を考慮している。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、level2 地震動（海洋型、内陸直下型）及び東北地方沖太平洋地震地震動（東日本型）を入力した。

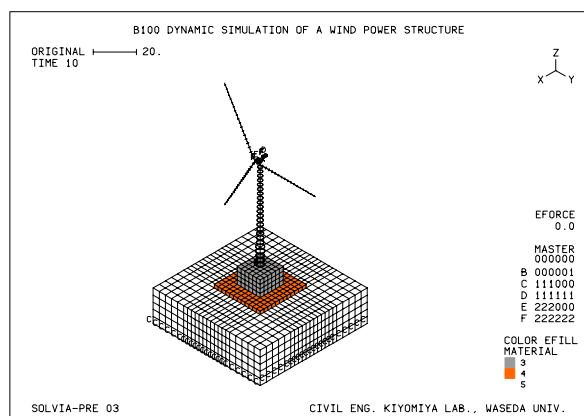


図-1 解析対象モデル

なお、波力は地震と風と比較して断面力に与える影響が小さいので今回は考慮していない。

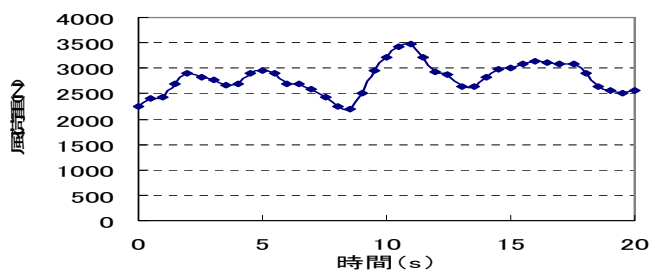


図-2 タワーに作用する風荷重(定格風)

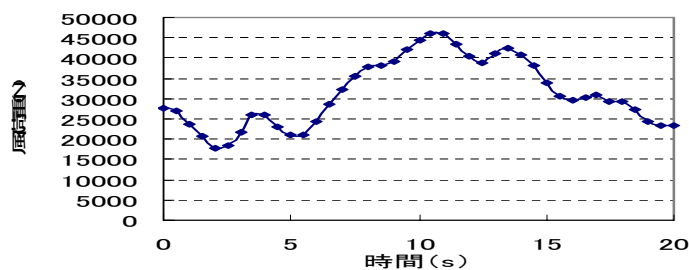


図-3 タワーに作用する風荷重(暴風)

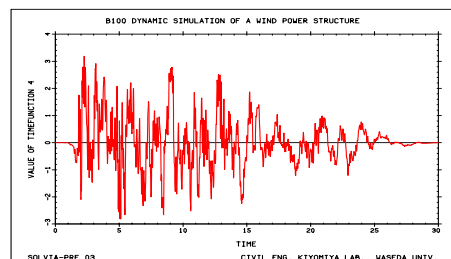


図-4 level2 地震動(海洋型)

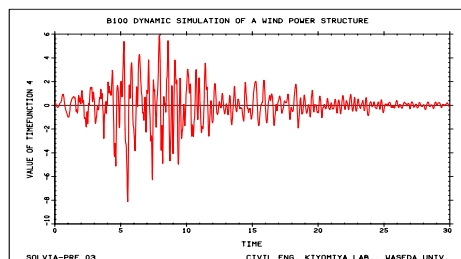


図-5 level2 地震動(内陸直下型)

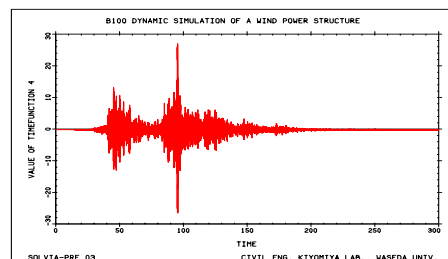


図-6 level2 地震動(東日本型)

キーワード 重力式洋上風力発電、地震応答計算、風荷重、遭遇確率

連絡先 〒169-0072 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 03-5286-3852

3. 解析結果 定格風、暴風、level2 地震動(海洋型、内陸直下型、東日本型)をそれぞれ単独でモデルに作用させたときの、各外力のタワーへの影響を高さ方向分布で表し比較したものを図-7 及び図-8 に示す。

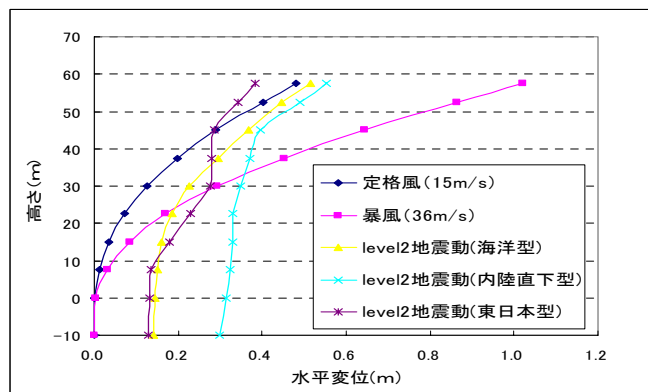


図-7 水平変位のタワー高さ方向分布

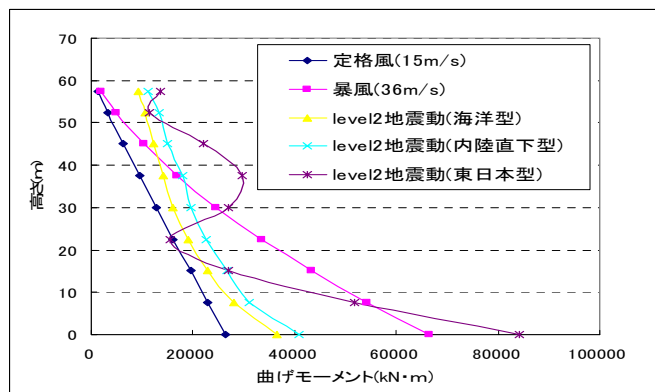


図-8 曲げモーメントのタワー高さ方向分布

水平変位、曲げモーメントのどちらも、風荷重、地震動の影響を強く受けている。タワー頂部の水平変位は暴風の影響を強く受け、タワー基部の水平変位は地震動の影響を強く受けている。タワー基部の曲げモーメントについては level2 地震動(東日本型)の影響が最も大きい。定格風、暴風、level2(海洋型)、level2 地震動(内陸直下型)、level2 地震動(東日本型)をそれぞれ単独で作用させた場合に、タワーが降伏に至ることはなかった。

次に、定格風時、暴風時に level2 地震動(海洋型)、level2 地震動(内陸直下型)をそれぞれ同時作用させたときの、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-9 に示す。

level2 地震動(海洋型)を作用させた場合、定格風時、暴風時共にタワー基部が降伏に至ることはなかった。

level2 地震動(内陸直下型)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が、最大曲げモーメントが $93977\text{kN}\cdot\text{m}$ であり、降伏モーメントの $94513\text{kN}\cdot\text{m}$ と値が近かった。暴風時は、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。

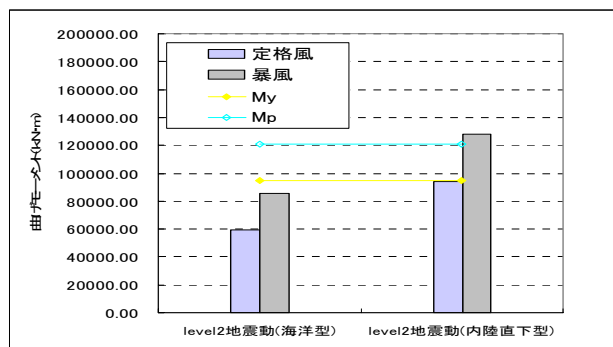


図-9 M_y と M_p との比較

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、level2 地震動(海洋型)、level2 地震動(内陸直下型)、level2 地震動(東日本型)をそれぞれ単独で作用させた場合、定格風と暴風を level2 地震動(海洋型)と同時に作用させた場合、また、定格風と level2 地震動(内陸直下型)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) 暴風と level2 地震動(内陸直下型)を同時に作用させるとタワー基部は全断面塑性となった。しかし、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、また、遭遇確率の問題として、図-10 に示すように暴風と地震が同時に発生する可能性は非常に低いことから、通常設計下では同時性を考慮に入れなくともよいと考えるが、最悪状況では損壊する可能性がある。

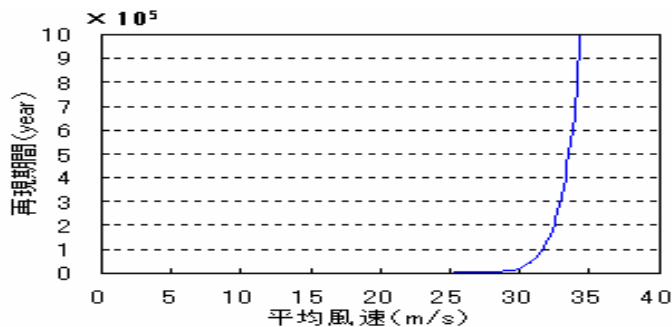


図-10 地震と風の再現期間

参考文献 (1) (財) 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) 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