

洋上風力発電施設における地震荷重と波荷重の組合せ手法の検証

(株)大林組 正会員 ○松本 修 松岡 義博 小山 宏人
住永 哲史 伊藤 政人 栗本 卓

1. はじめに

洋上風力発電施設の耐震設計において、統一的解説¹⁾では、地震時の荷重評価として地震荷重（稀地震動および極稀地震動）と風波荷重の組合せが規定されている．国際規格 IEC²⁾では地震荷重と運転時荷重（風荷重を対象）を SRSS 法（square-root-sum-of-squares：二乗和平方根）で組み合わせることを提唱されているが、波荷重の組合せ方法については言及されておらず、再現期間における最大値を用いる地震荷重と年平均波荷重の組合せ方法が課題である．そこで本研究では、地震荷重と波荷重の位相差をパラメータとした複数ケースにて連成解析を実施し、荷重の組合せ手法を検証した結果を報告する．

2. 解析モデルと解析条件

解析モデルは図 1 のように RNA 部分はブレード、発電機、制御装置の地震時挙動を詳細に考慮できるものとした．地盤は $V_s=140\sim400\text{m/s}$ の沖積～洪積層を想定した．杭基礎は地盤の相互作用ばねとダッシュポッドを有する Winkler モデルとし、地盤ばねは Francis のばね、地盤減衰は風力指針³⁾に準拠した 2%減衰とした．

地震荷重は極稀のスペクトル適合波のランダム位相とし、事前に実施した地盤の次元解析より杭下端の位置における加速度を解析モデルの入力波とした．荷重の干渉を大きく再現するため、地震荷重の加振方向は波荷重と同じとした．波荷重は、時刻歴波形とし、年平均波を想定し表 1 に示す諸元に基づき、作用時間を 900 秒として作成した．地震荷重と波荷重の位相差による影響を検討するため、地震動の開始時間を、波荷重の載荷後 300 秒遅らせて載荷することを基本とし、更に 0.5 秒間隔で開始時間を遅らせたパラメータスタディ解析を実施した．時間間隔は事前に波荷重のみの解析を実施し、海底面の曲げモーメントの時刻歴の周期がおおよそ 4.5 秒程度であったことから 0.5 秒間隔とし、最大 6.0 秒まで地震荷重の開始時間を遅らせた 13 ケースを行った．

解析ケースの一覧を表 2 に示す．解析の手順は、自重解析ののち、波荷重、地震荷重を載荷させる動的解析を実施し、それぞれ大変形を考慮させ重力の影響を再現した．

3. 解析結果と組合せ手法の検証

図 2 にタワーおよび杭の曲げモーメントの最大絶対値

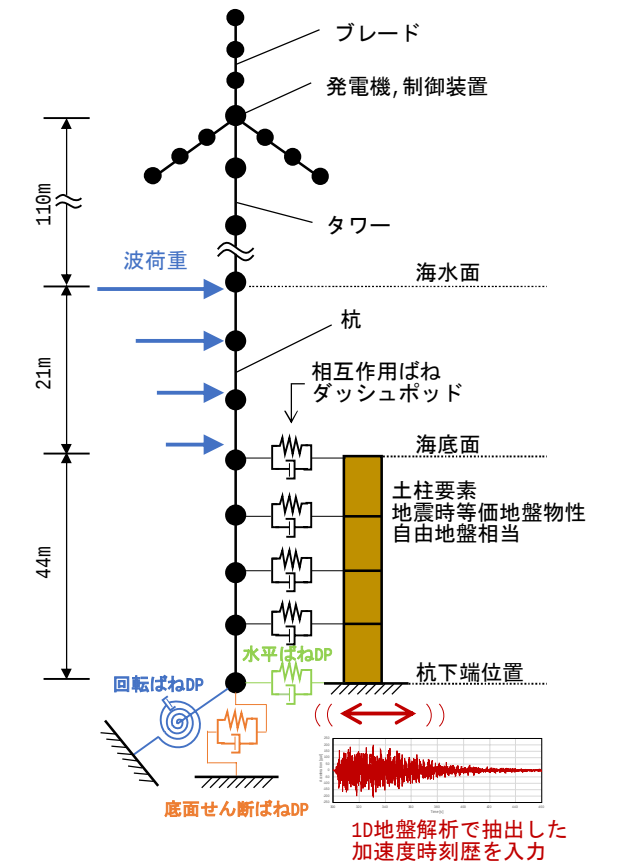


図 1 解析モデル

表 1 年平均波の諸元

水深(m)	波高(m)	ピーク周期(秒)
21.2	1.9	7.8

表 2 解析ケース

ケース	地震	位相差	波荷重
地震のみ	スペクトル適合波 ランダム位相	-	-
波荷重のみ	-	-	年平均波
地震+波荷重	スペクトル適合波 ランダム位相	300+0.0～6.0秒 0.5秒間隔	年平均波

キーワード 洋上風力、耐震設計、波荷重、SRSS
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟
 (株)大林組 本社土木本部生産技術本部設計第二部 TEL03-5769-1307

の分布を示す。分布図には、地震+波の位相差を考慮した13ケース、地震のみのケース、波荷重のみのケースの結果の他に、地震のみと波荷重のみの結果を単純に足し合わせた値、地震+波荷重の13ケースの平均値、地震のみと波荷重のみの結果をSRSS法で組み合わせた値を示す。地震+波荷重の位相差を考慮した13ケースについては位相差によっては地震のみのケースに比べて曲げモーメントが20%程度の範囲で増減した。地震+波荷重の13ケースの平均値とSRSS法の値は地震のみの結果に近かった。一方、地震のみと波荷重のみを単純足合わせたケースは地震+波荷重の位相差を考慮した13ケースすべてより大きかった。

図3に図2から地震のみ、単純足合わせ、全位相差平均、SRSS法各結果を抜き出した比較を示す。単純足合わせでは最大25%程度大きくなり、全位相差の平均値は、地震のみの結果と同等であり、一部では小さくなっている。この原因としては、位相差によっては地震と波荷重が打ち消し合い、最大曲げモーメントが小さくなるケースがあるためであり、これらはケース数、時間間隔の設定によって異なってくるものと考えられる。SRSS法で組み合わせた値は、地震のみの結果に対して0~3%増で全体を包括する結果となった。

以上の結果から、地震のみと波荷重のみの単純足合わせを用いた設計では、過度に安全側の設計になっているため実際の設計手法としては経済的ではない。また地震+波荷重の位相差を考慮したケースの平均値を求めるには数多くの解析が必要となるため煩雑であり、解析ケース数や時間間隔など実務者の裁量に委ねられる部分が大い。一方、SRSS法は解析ケース数が少なく他手法よりも比較的容易であり、地震+波荷重の位相差を考慮したケースの平均値をおおむね包括し保守的であると考えられる。

4. まとめ

地震荷重と波荷重の連成解析を実施し、位相差の影響を考慮して荷重の組合せ手法を検証した。その結果、SRSS法で組み合わせた結果は位相差を考慮した結果を包括するため、設計実務上の検討手法として合理的であると考えられる。

参考文献

- 1) 洋上風力発電施設検討委員会：洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説，2020年3月。
- 2) IEC61400-1: Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements, 2019-02.
- 3) 土木学会：風力発電設備支持構造物設計指針・同解説，2010年1月。

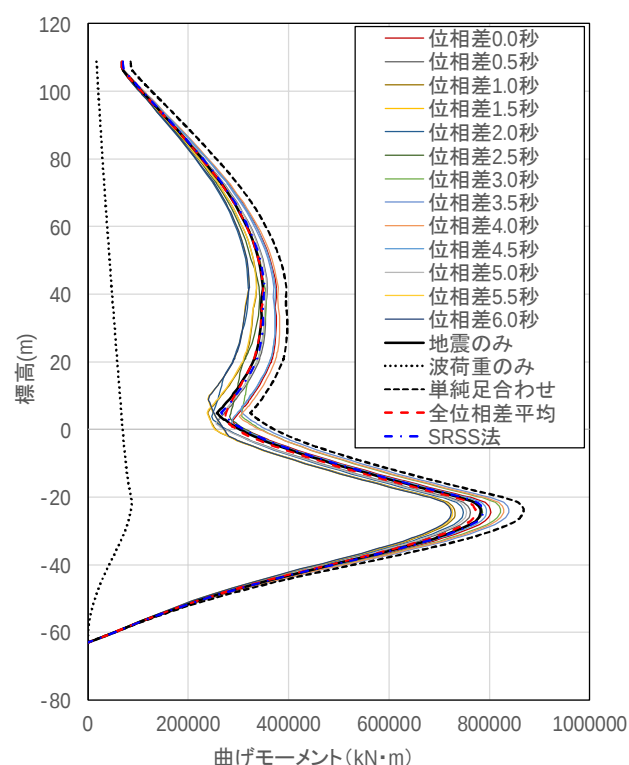


図2 最大曲げモーメント分布図（絶対値）

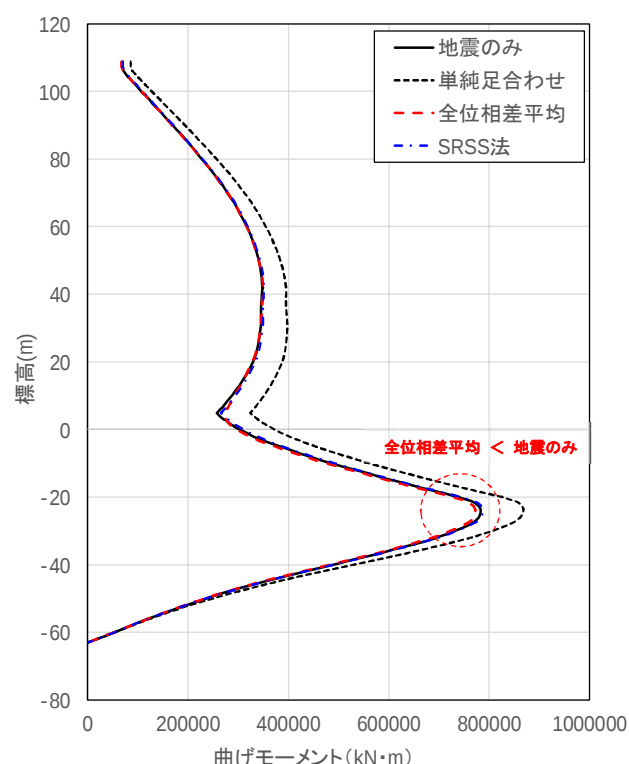


図3 各結果の曲げモーメント分布の比較図