

洋上風力発電モノパイル基礎の地震時の地盤減衰評価（その1：逸散減衰効果の検討）

清水建設（株） 正会員 ○山本 康之, 新田 康男,
池田 竜介, 河本 悠歩
東京大学 正会員 石原 孟

1. はじめに

洋上風力発電施設の大型化に伴い、モノパイル基礎による支持構造には地震時に大きな応力が発生し、それによって断面寸法が決まることから、地震応答解析の合理化が必要となっている。土木学会指針^[1]に準拠した地盤ばねとダッシュポットを用いたウインクラーモデルの地震応答解析は、地盤減衰を安全側に評価するため、応答が大きくなる傾向がある。

吉岡ら 2022^[2]は、Wang & Ishihara 2020^[3]の手法を参考とし、地盤の逸散減衰効果をレーリー減衰で考慮する合理化手法を提案している。この手法は、地盤材料減衰をダッシュポットでモデル化し、2次モードの地盤逸散減衰を等価なレーリー減衰で考慮し、2次モード以上の地震応答を合理的に評価している。また、倉本ら 2022^[4]では、地盤ばね・減衰の評価方法として薄層要素法と宮本らの手法^[5]を用いた場合についての検討も行われている。

これらの手法を参考とし、砂地盤上の 3MW 風車のモノパイル基礎を対象として、（その1）では吉岡ら 2022^[2]の方法を適用した2次レーリー減衰を増加させたウインクラーモデルについて、（その2）では薄層法や軸対称 FEM を適用した検討結果を示す。

2. 検討解析条件

図1に地盤条件を示す。地盤は弾性とする。GL-60.55mを工学的基盤面としている。地盤の材料減衰は2%とした。風車の構造減衰0.22%はレーリー減衰（連成1次、2次振動数）で設定した。

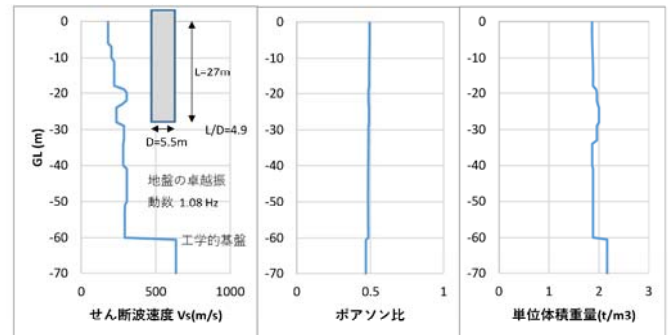


図1 地盤条件

3. 2次レーリー減衰増モデルによる検討

土木学会指針の地盤ばねとダッシュポットを用いたオリジナルモデルを図2に示す。地盤ばね K とダッシュポットの減衰係数 C の分布を図3に示す。この減衰係数 C は、例として GL-2m の場合を図4に示すように、連成1次振動数 f_1 が地盤の卓越振動数 f_g よりも低いために、土木学会指針に従い、地盤卓越振動数 f_g に対する減衰係数 $C(f_g)$ を用いている。

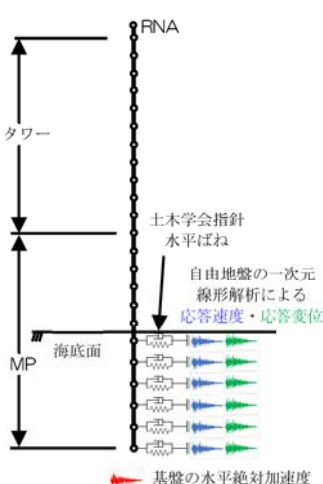


図2 解析モデル

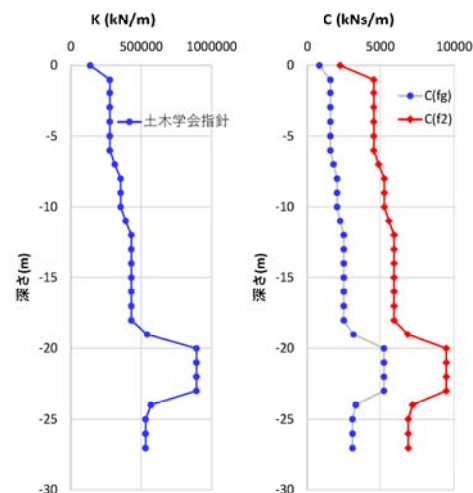


図3 地盤ばねとダッシュポットの減衰係数

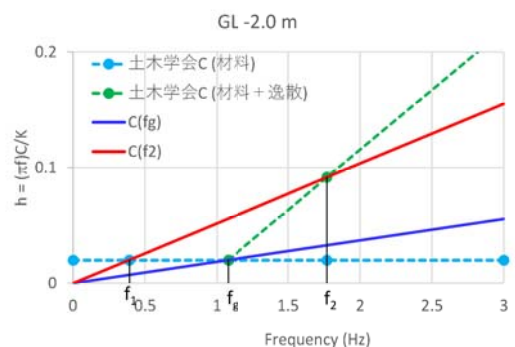


図4 GL-2mの減衰定数

キーワード 洋上風力発電, モノパイル基礎, 地震応答解析, 逸散減衰, レーリー減衰
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 TEL. 080-2255-2184

連成2次振動数 f_2 に対する土木学会指針の $C(f_2)$ は、逸散減衰効果加わる。この影響を考慮するため、 $C(f_2)$ を用いた2次Cモデルを作成し、2つのウィンクラーモデルに対して正弦波加振後の自由減衰振動より2つのモデルのモード減衰比を評価した。

その結果を図5に示す。連成2次振動数 f_2 の加振に対して、2次Cモデルは $h = 0.0065$ だけモード減衰比が増加していることがわかる。この増加分を、オリジナルモデルの構造のレーリー減衰評価に用いる2次モード減衰比に加えたモデル（2次レーリー減衰増モデル）を作成する。この作成したモデルに1次と2次の加振を行い、モード減衰比を確認した結果を図5に示すが、1次は変化せず、2次がほぼ目標通りに増加していることが確認できた。

この2次レーリー減衰増モデルに地震動（スペクトル適合波（乱数位相））を入力して、応答結果をもとめ、オリジナルモデルの応答結果との比較を行った。結果を図6と図7に示す。

これより、タワートップと海底面では2次の応答の影響が大きい。2次レーリー減衰増モデルの応答はオリジナルモデルの応答に比べ、20%程度低減されている。図8に示す海底面の曲げモーメント応答FFTでは、2次のピークは40%以上低下しているが、1次のピーク値にはほとんど差はないことがわかる。

4. まとめ

逸散減衰による2次モード減衰の増分をレーリー減衰に加えることにより、2次モード以上の逸散減衰を考慮でき、地盤卓越振動数 f_g に対する減衰係数 $C(f_g)$ による地震荷重の過大評価を解消できる。

本研究にあたり、(株) ウェンティ・ジャパンの協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 土木学会：風力発電設備支持物構造設計指針, 2010
- [2] 吉岡ら：洋上風力発電ジャケット基礎の地震応答解析, その1 逸散減衰効果の検証 JSCE 大会, 2022
- [3] L. Wang, T. Ishihara, A study of the effects of foundation uplift on the seismic loading of wind turbine tower and shallow foundation using a new dynamic Winkler model, Engineering Structures, Vol. 219, pp.1-16, 2020
- [4] 倉本ら：洋上風力発電ジャケット基礎の地震応答解析, その2 薄層法の適用 JSCE 大会, 2022
- [5] 宮本ら：非線形、液状化地盤における杭基礎の地震応答性状に関する研究, 建築学会構造系論文集 No.471, 1995.

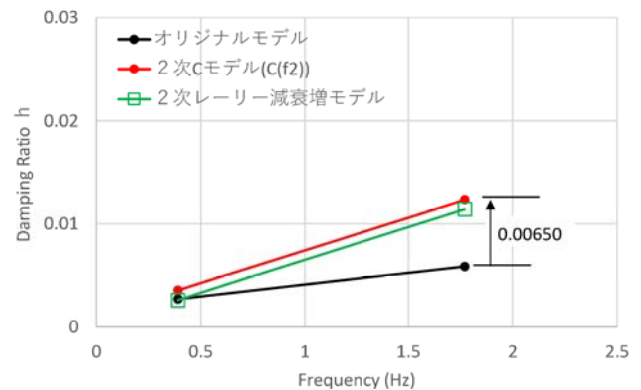


図5 モード減衰比の変化

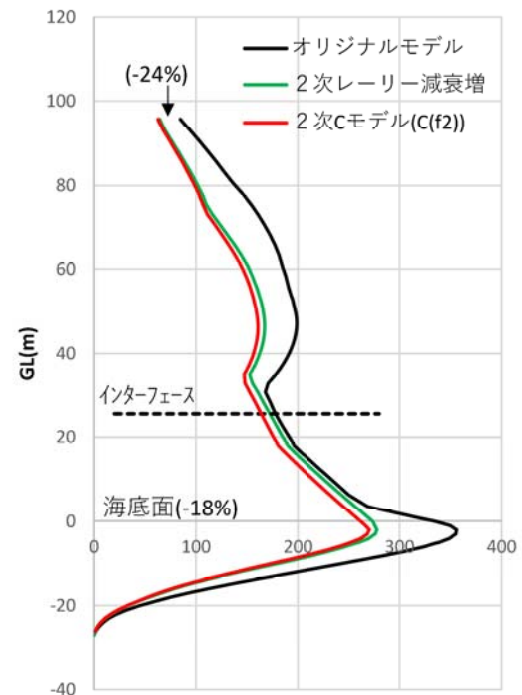


図6 曲げモーメント応答の比較 (MNm)

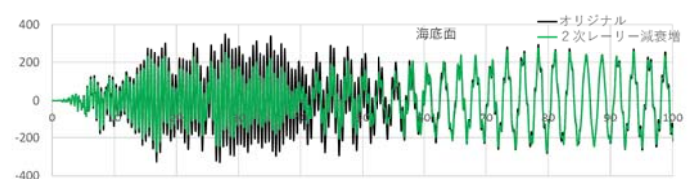


図7 海底面の曲げモーメント応答波形(MNm)

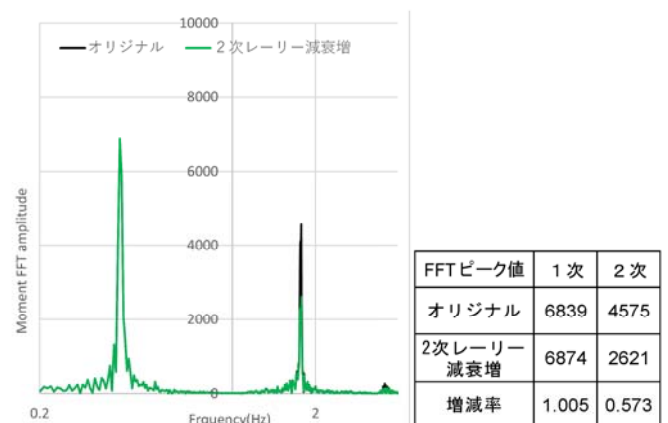


図8 海底面の曲げモーメント応答のFFT結果