

第I部門

2024年9月6日(金) 9:00 ~ 10:20 A104(川内北キャンパス講義棟A棟)

耐風・風工学(1)

座長：中藤 誠二（関東学院大学）

9:50 ~ 10:00

[I-325] 洋上風力発電モノパイル基礎の地震荷重の評価（その2：各種地盤ばね効果の検討）

*新田 康男¹、河本 悠歩¹、古島 優希¹、石原 孟² (1. 清水建設（株）、2. 東京大学大学院工学系研究科)

キーワード：洋上風力発電、地震応答解析、薄層法、せん断ばね、回転ばね、減衰係数

前編（その1）では、砂地盤上の3MW洋上風車を対象に、水平地盤ばねとダッシュポットを用いた1D modelによる地震応答解析結果を、3次元薄層法を用いた地震応答解析結果と比較することにより、その予測精度を検証した。本編（その2）では、水平地盤ばねとダッシュポットに加えて、せん断および回転の地盤ばねとダッシュポットの値を薄層法によって評価し、それらを組み合わせた4つのケース（①水平のみ考慮したケース、②水平にせん断を加えたケース、③水平に回転を加えたケース、④水平にせん断と回転を加えたケース）に対して地震応答解析を実施し、モノパイルの地震荷重に対する各種地盤ばね効果が与える影響を明らかにした。

洋上風力発電モノパイル基礎の地震荷重の評価（その2：各種地盤ばね効果の検討）

清水建設（株） 正会員 ○新田 康男，河本 悠歩，
古島 優希
東京大学 正会員 石原 孟

1. はじめに

前編（その1）では，砂地盤上の3MW 洋上風車を対象に，薄層法および簡易法により評価したばねとダッシュポットを用いた1D modelによる地震応答解析結果を，地盤とモノパイルの挙動を厳密に再現できる3次元薄層法を用いた地震応答解析結果と比較することにより，その予測精度を検証した。

その際，薄層法によって評価したばねとダッシュポットは，Fig. 1に示す水平地盤ばね(k_a)とダッシュポット(c_a)のみであった。本編（その2）では，以下の4つのケース，すなわち，①水平地盤ばねとダッシュポットのみを考慮したケース（1D $k_a k_b$ ），②水平地盤ばねとダッシュポットにせん断地盤ばねとダッシュポットを加えたケース（1D $k_a k_b c_a c_b$ ），③水平地盤ばねとダッシュポットに回転地盤ばねとダッシュポットを加えたケース（1D $k_a k_r c_a c_r$ ），および④3つの地盤ばねとダッシュポットを考慮したケース（1D $k_a k_b k_r c_a c_b c_r$ ）に対して地震応答解析を実施し，モノパイルの地震時のモーメントおよびせん断力に対して，せん断地盤ばね(k_b)とダッシュポット(c_b)および回転地盤ばね(k_r)とダッシュポット(c_r)が与える影響を明らかにする。

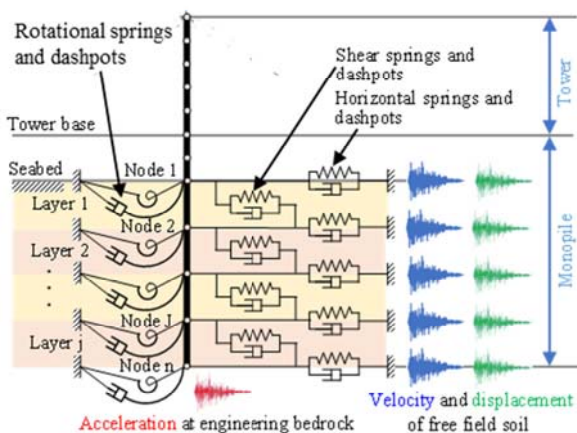
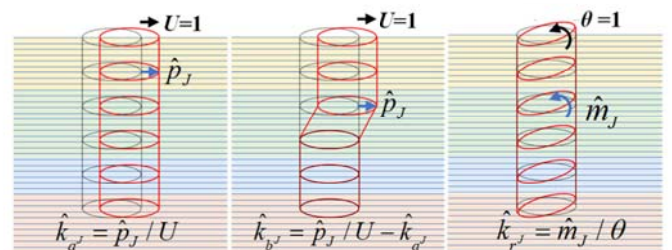


Fig. 1 1D model for a monopile supported wind turbine

2. 3次元薄層法による地盤ばねと減衰係数の評価

3次元成層地盤に対し薄層法を適用し，モノパイル周囲の点加振解を用いることで，モノパイルの各要素の位置における地盤の柔性マトリクスを求め，その逆行列から地盤の剛性マトリクスを算定できる。

Fig.2(a)(b)(c)には，水平，層間せん断および回転の単位変形をそれぞれ加え，各高さにおける杭周の地盤反力から計算した水平および回転反力と Winkler モデルの水平ばね，層間せん断ばねおよび回転ばねの反力が等価になるように等価置換を行う方法を示す。この方法で得られたばねは，振動数依存の複素ばねであるので，時刻歴応答解析を実施するために，剛性 k と減衰係数 c が並列に結合された Voigt 型のばねに置換する必要がある。Fig.3 に示すように，剛性 k は，疑似静的振動数 (0.1Hz) における実数部の値を，減衰係数 c は，複素ばねの虚数部を用いて主要振動数域の最小値を用いた。^{1), 2)}



(a) Horizontal (b) Shear (c) Rotational
Fig. 2 Calculation of horizontal and shear springs by thin layer method

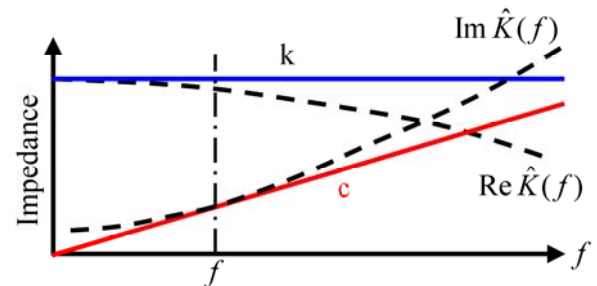


Fig. 3 Soil spring approximated by Voigt model

キーワード 洋上風力発電，地震応答解析，薄層法，せん断ばね，回転ばね，減衰係数
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 TEL. 090-2642-9184

薄層法により評価した水平ばねの剛性 k_a と減衰係数 c_a の鉛直分布は前編（その1）に示した。Fig. 4 には層間せん断ばねの剛性 k_b と減衰係数 c_b の鉛直分布を示す。Fig. 2 に示した方法により求めた減衰係数 c_b の値は海底面に近い範囲において負の値になることがある。本研究では計算された減衰係数の値が負になる場合はゼロとした。Fig. 5 には回転ばねの剛性 k_r と減衰係数 c_r の鉛直分布を示す。

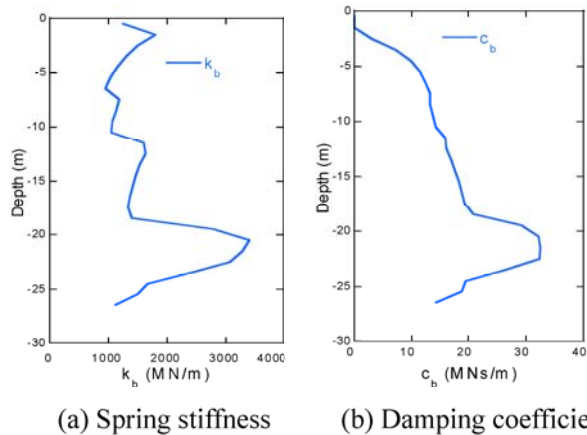


Fig. 4 Shear spring stiffness and damping coefficient

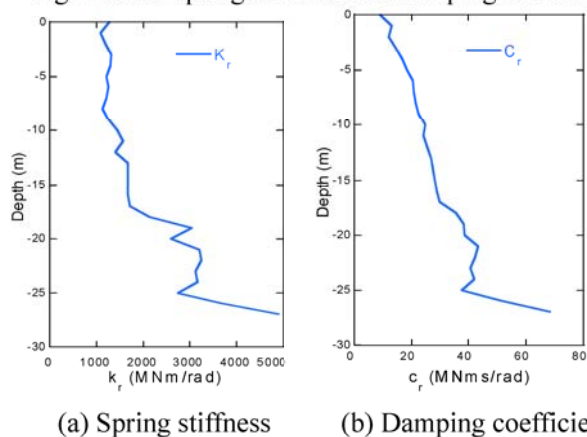


Fig. 5 Rotational stiffness and damping coefficient

3. 地震応答解析結果のまとめ

Fig. 6 には、それぞれのモデルの地震応答解析により得られた風車タワーおよびモノパイルに作用する曲げモーメントおよびせん断力の最大包絡値の鉛直分布を示す。同図から、風車タワーに作用する地震時のモーメントおよびせん断力に対して、水平地盤ばねとダッシュポットが支配的であり、せん断地盤ばねとダッシュポットおよび回転地盤ばねとダッシュポットの影響は小さいことがわかる。海底面以深では、モーメント (Fig. 6(a)) は、せん断地盤ばねおよび回転地盤ばねを考慮して求めた応答が水平地盤ばねのみの応答よりも3次元薄層法 (3D TML) の結果に近づくが、せん断力 (Fig. 6(b)) は、せん断地盤

ばねおよび回転地盤ばねを考慮して求めた応答が3次元薄層法の結果を下回る部分が見られる。しかし、一般的に鋼管杭であるモノパイルの設計ではモーメントが支配的となり、せん断力の影響が小さいことから、せん断地盤ばねおよび回転地盤ばねの設計への影響は限定的であるといえる。なお、本研究で対象とした地盤については、1D $k_a k_b c_a c_b$ からせん断ばねの減衰係数 c_b を除いたケースでは結果がほとんど変わらないことを確認した。これは、せん断ばねの減衰を省略できるという既往の文献^{2), 3)}の結論と一致した。

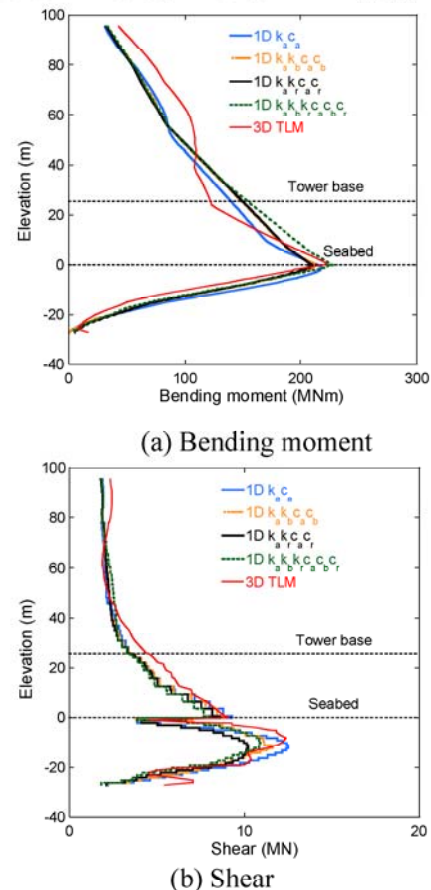


Fig. 6 Comparison of maximum responses predicted by four 1D models and 3D TLM for an earthquake wave with random phase

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) 日本建築学会 : 建物と地盤の動的相圧作用を考慮した応答解析と耐震設計, 2006
- 3) 宮本裕司, 酒向裕司, 喜多村英司, 三浦賢治, 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, 60 巻, No.471, pp.41-50, 1995