

モノパイル式洋上風車基礎の耐震解析に関する一考察

大成建設(株) 土木設計部 正会員 ○笠井 康裕 仁井田 将人

1. はじめに

着床式基礎形式の1つであるモノパイル基礎の代表的な設計ツールである Sesam では使用可能な地盤ばね算定式として、API 指針¹⁾が採用されている。ただし、海外の指針では耐震設計について詳細に記載されているものは少ない。国内の陸上風車等では群杭基礎に薄層要素法(薄層法)²⁾が採用されており、Francis の方法と比して薄層法がより詳細な手法という位置づけがなされている。また、API 指針の算定式は杭径 1m 程度以下の知見を基に設定されたものであることから、今後想定されるような大口径の杭に対する耐震解析のための地盤ばねの算定手法の妥当性を確認することは合理的な設計を行う上で重要な課題である。

2. 目的

前述した各地盤ばねの算定手法(薄層法, Francis の方法, API 指針)について、地盤物性をパラメータとしてケーススタディを行い、各種地盤ばねの算定方法の特徴と動的な応答値への影響の差異について考察を行う。

3. 地盤ばねの比較

3.1 地盤条件

地盤条件は、 $V_s=100, 200\text{m/s}$ の砂層のみとし図1に示すような単一層・2層地盤の3ケースとした。杭径は 10m, 杭長は 30m と仮定し各地盤条件での地盤ばねの算定結果の比較を行う。

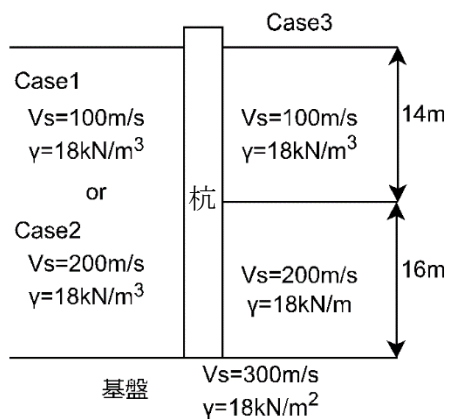


図1 地盤条件

3.2 各手法による地盤ばねの算定方法

1) 薄層法

薄層法による地盤ばねの初期剛性は、FDAPIIIの拡張機能を用いて算定した。ばね値はリング加振解により算定し水平ばね成分のみを抽出して設定した。終局抵抗は Broms の方法により算定した。

2) Francis の方法

Francis による地盤ばねの初期剛性は下式にて算定した。終局抵抗は薄層法と同じく Broms の方法により算定した。

$$k_{fsl} = \frac{1.3E_{si}}{1 - \nu_{si}^2} \left(\frac{E_{si}B^4}{E_p I_p} \right)^{1/12}$$

3) API 指針

API 指針による地盤ばねの初期剛性は下式にて算定した。ただし、解析では簡単のため初期剛性のみを採用して後述する終局抵抗と合わせてバイリニア型の地盤ばねに変換している。

$$p = A \times p_u \tanh \left[\frac{k \times z}{A \times p_u} y \right]$$

ここに、 A : 繰返または静的な負荷条件を考慮するための係数 ($A=0.9$), p_u : 終局抵抗, k : 初期剛性の深さに対する増加率である。 y : 深度 z における横方向の変位, z : 深度である。終局抵抗は、下式にて算定した。

$$p_{us} = (C_1 z + C_2 D) \gamma' z$$

$$p_{ud} = C_3 D \gamma' z$$

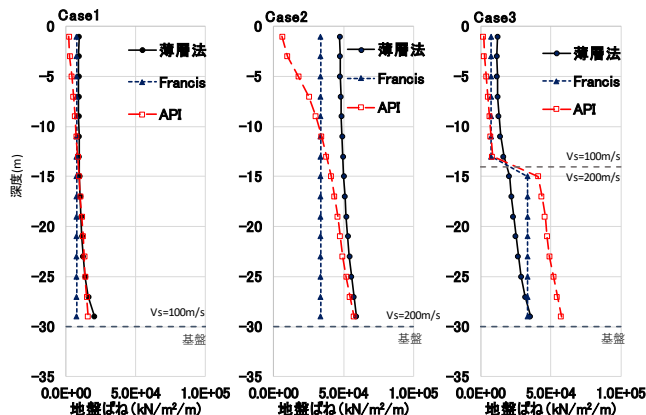


図2 初期剛性の深度分布比較

キーワード モノパイル, 薄層要素法(薄層法), API, FDAPIII, TDAPIII

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木本部土木設計部洋上風力設計室 TEL 03-6882-0792

ここに、 p_{us} ：浅い深度における，単位長さ辺りの終局抵抗， p_{ud} ：深い深度における，単位長さ辺りの終局抵抗， γ' ：地盤の単位体積重量， z ：深度， ϕ' ：内部摩擦角， D ：杭の外径である．また， C_1, C_2, C_3 は ϕ' の関数として算定される係数である．

図 2 に，各手法にて算定した初期剛性の深度分布を示す．Francis の方法は各層ごとに一定値となるが，薄層法や API 指針では深度方向に漸増していることがわかる．

4. 固有値・動的解析による各応答値の比較

4.1 解析条件

固有値・動的解析は TDAPIII により行った．参照風車である DTU10MW 風車対して杭径 10m のモノパイル基礎を仮定し梁ばねモデルとしてモデル化した．地盤条件は図 1 と同じとし，各算定手法に基づくバイリニア型の地盤ばねを設定した．地盤ばねの減衰比は一律 3% を仮定し，剛性比例型の減衰とした．外力は自重・慣性力のみを考慮し，入力地震動は告示八戸波とした．

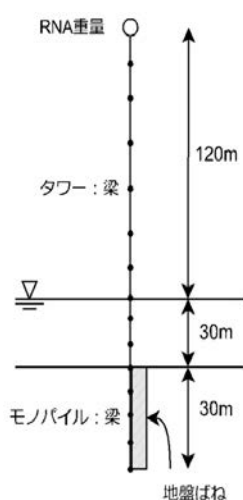


図 3 解析モデル

4.2 応答値の比較

上記モデルによる各応答値を比較した．1次固有振動数の比較結果を表 1 に示す．各ケースで API 指針が小さく薄層法が大きい傾向が見られるが，その比率は 2% 以下であり風車全体の挙動に与える影響は小さいと考えられる．

表 1 各モデルにおける 1 次固有振動数

	Case1	Case2	Case3
薄層法	0.243	0.250	0.245
Francis	0.243	0.248	0.243
API	0.241	0.246	0.242

次に動的解析結果を示す．図 4 に，各モデルの Case2 における最大応答分布を，図 5 に薄層法ばねの各ケースの最大応答分布を示す．地盤ばねの設定手法の影響として，最大応答値は RNA 位置の加速度にはあまり差が見られないが，タワー途中の応答値で大きな差異が見られた．曲げモーメント最大値では同一の地盤条件で最大 18% の差異が生じた．地盤条件の影響としては

やはり表層の剛性が変位や加速度応答に与える影響が大きく，Case1 と Case3 ではほとんど差が生じなかった．

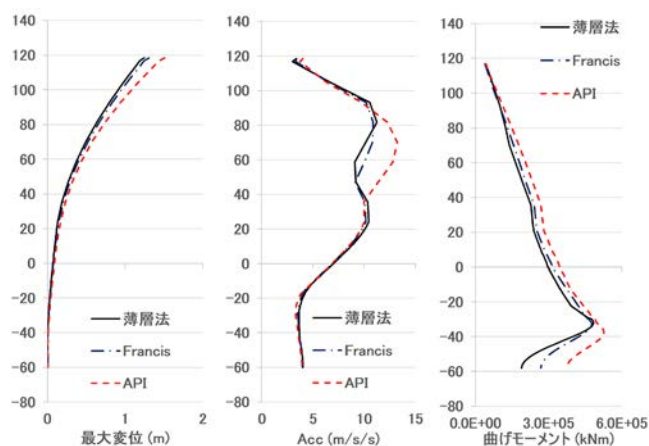


図 4 最大応答分布 (Case2, 各指針式) の比較

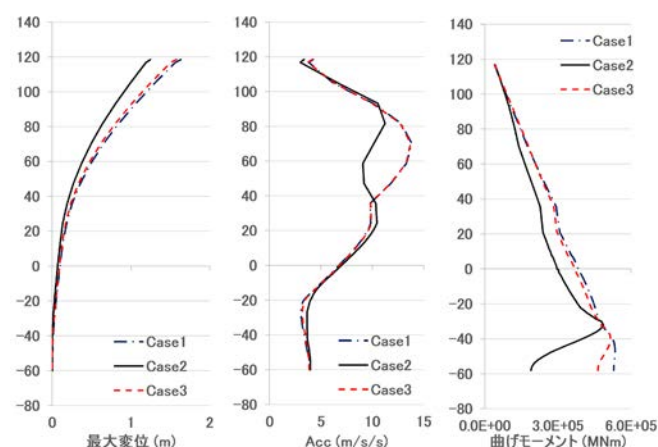


図 5 最大応答分布 (Case1~3, 薄層法) の比較

5. まとめ

今回の試算では，地盤ばねの設定手法による影響は，1次固有振動数では 2% 程度であったのに対し，断面力では 18% 程度と無視できない程度の差異が見られた．今回は簡略化した砂層地盤のみを対象として減衰比を固定して比較を行ったため，粘性土地盤や互層地盤での比較や地盤の履歴減衰の考慮方法などが今後の課題である．

参考文献

- 1) API, Geotechnical and Foundation Design Considerations, Recommended practice 2GEO first edition, APRIL 2011.
- 2) Schaedlich, Bert & Kirsch, Fabian & Richter, Thomas. (2015). Zur lateralen Bettungssteifigkeit von Pfählen mit großen Durchmessern bei kleinen Verformungen. geotechnik. 38. 10.1002/gete.201500013.
- 3) 日本建築学会, 2006, 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計