

砂質地盤における大型風車の基礎計画・設計

鹿島建設(株) 正会員 ○市田 賢
(株)小堀鐸二研究所 酒向裕司
(株)グリーンパワーインベストメント 正会員 田口洋輔

1. はじめに

本稿では、(株)グリーンパワーインベストメントが開発中の風力発電事業「ウインドファームつがる」における風力発電設備支持物の構造的特徴とその設計内容について報告する。

本事業では、青森県つがる市で出力 3,200kW の風車 38 基の建設を計画しており、支持構造は全て杭基礎である。事業概要を表-1 に示す。

2. 設計上の特徴

(1) 地盤特性

計画地は津軽平野西端の屏風山砂丘に位置しており、地盤は砂質土を主体とし、粘性土や、風車地点により有機質土が介在する土層構成となっている。杭の支持層となる N 値が概ね 30 を超える洪積砂質土層(S3)は GL-15m ～-45m 程度の範囲で出現するため、風車地点により杭長は大きく異なる。

また、砂質地盤で地下水位も高く、液状化判定によって液状化発生の可能性が高いことを確認したことから、液状化の影響を考慮した設計を実施した。代表機の例として、図-1 に基礎構造図と土層構成、液状化判定結果を示す。

(2) 荷重

近年、風車 1 基当たりの出力が大きくなっており、本事業においても陸上風車としては大型機となる 3,200kW の出力を有する風力発電機が採用されている。風車の大型化に伴い、基礎に作用する荷重は増大するため、基礎の耐力向上が必要になる。例えば、暴風時の荷重ケースについて、ある既往事例(出力 1.67MW、2016 年発電開始)と比較しても、本事業の基礎作用荷重は、鉛直力、水平力で約 1.7 倍、曲げモーメントでは約 2.5 倍まで増大している(表-2)。

これに伴い基礎設計においては、フーチング配筋、タワーアンカーボルト周りのせん断補強鉄筋、場所打ち杭の軸方向およびせん断補強鉄筋などに関して、既往事例の仕様と比べ高い耐力が必要となった。

キーワード 風力発電, 場所打ち杭, 時刻歴応答解析

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-6229-6733

表-1 事業概要

事業名称	ウインドファームつがる
所在地	青森県つがる市
建築主	グリーンパワーつがる合同会社
構造設計者	株式会社小堀鐸二研究所 ゼネラル・エレクトリック・インターナショナル・インク 鹿島建設株式会社
風力発電機	ゼネラルエレクトリック製
基数	38 基
定格出力	3,200 kW
合計出力	121.6 MW
ハブ高さ	97.3m または 84.0m
基礎構造	杭基礎 場所打ち杭 φ1500～φ2000

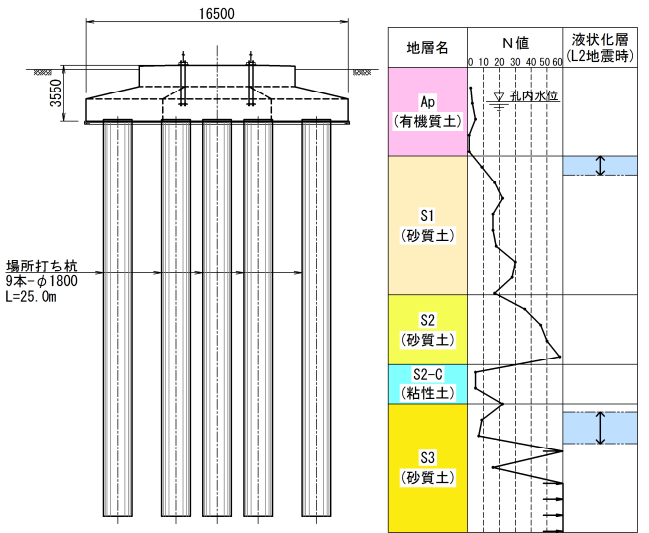


図-1 基礎構造・土層構成・液状化判定(例)

表-2 基礎作用荷重比較(暴風時)

	鉛直力 (kN)	水平力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
ウインドファームつがる 3.2MW(ハブ高さ 97.3m)	4,145	1,440	116,000
既往事例 1.67MW(ハブ高さ 70m)	2,423	840	47,000

3. 解析手法

各基礎において、土層構成、支持層深度、液状化等の地盤条件が大きく異なるため、基礎構造仕様のグループ化は行わず全38基それぞれに関して地震動に対する時刻歴応答解析を実施し個別に基礎の設計を行った。時刻歴応答解析は風車タワー、基礎・杭、地盤の一連の構造を一体として解くタワー-杭一体型モデル(図-2)を採用した。杭部においては基礎-地盤の動的相互作用を考慮して、群杭効果や液状化影響を評価した上で杭周地盤ばねを設定した。

4. 解析結果

レベル2地震動に対する時刻歴応答解析により得られた杭の発生曲げモーメント図、せん断力図の例としてそれぞれ図-3、4に示す。一様地盤であれば杭頭部で最大せん断力が発生するが、本構造においては、図-3、4で示す通り、粘性土(S2-c)の弱層や液状化層が介在していることによって土層間の地盤剛性比が大きくなるため、地中部で大きな曲げモーメント、せん断力が発生する結果となった。このような応答は弱層を有する他の基礎でも共通で見られた。

本事業では、各基礎において得られた断面力に対応して、構造成立性と経済性を両立させるべく、杭種設定の細分化を行っており、杭径はφ1500mm、1800mm、2000mmの3種、軸方向鉄筋やせん断補強鉄筋(フープ筋)は断面力分布に応じた鉄筋径、ピッチを個別に設定し採用した(図-5)。

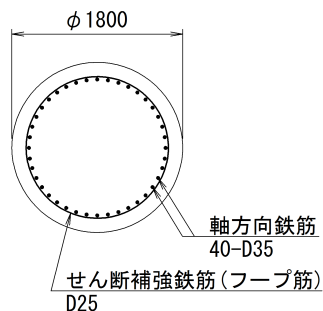


図-5 杭の配筋(例)

5. まとめ

既往の風車事業においては、本事業に比べて作用荷重が小さく、かつ基礎の支持が容易な硬質地盤が出現する山地などで建設が行われる案件が多かったが、本事業は風車の大型化と液状化地盤への対応が必要な事例であり、本稿ではその設計事例を報告した。

なお、本事業は電気事業法に基づく経済産業省および関東東北産業保安監督部東北支部への届け出、審査を経て、現在、建設工事が進められている。

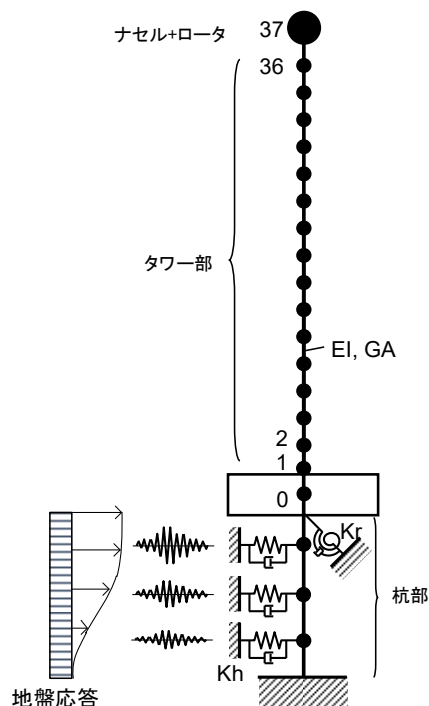


図-2 タワー-杭一体型モデル

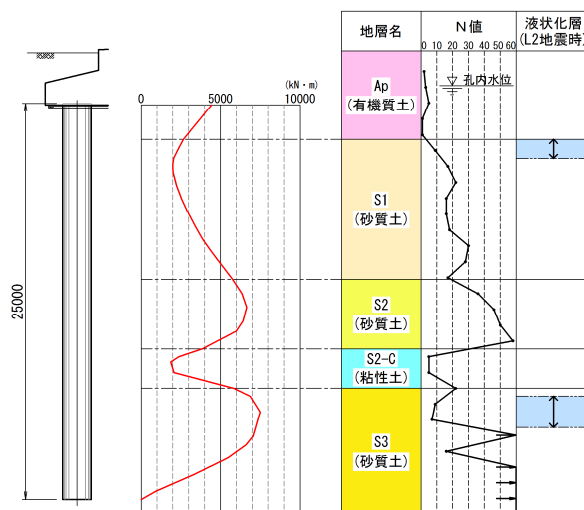


図-3 杭の発生曲げモーメント図(例)

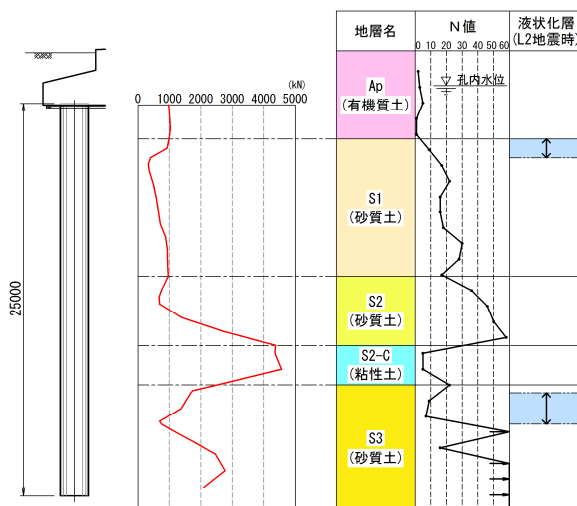


図-4 杭の発生せん断力図(例)