

洋上風力発電所モノパイル基礎の設計と施工について

(株)熊谷組 正会員 ○吉 田 健 治
 (株)熊谷組 牛 腸 明
 (株)熊谷組 正会員 大 本 晋士郎

1. はじめに

近年、持続可能な社会を実現するため、風力発電所の建設が盛んになってきているが、一方で騒音・振動による問題も発生している。洋上風力発電所は陸上に設置されるものに比較すると、環境面からも運転の安定性の面からも有利な点が多い。ただし、海外においては実例があるものの、これまで施工上の制約等から外洋に面した大規模風力発電施設は国内では建設されてこなかった。

今回、茨城県神栖市に2000kW級の風力発電所7基をモノパイル（大口径鋼管杭）形式の基礎にて施工したので、その設計・施工について報告する。

2. 工事概要

風車の仕様を表-1に示す。風車1基の重量は約200tであり、本工事はこの風車の基礎をモノパイル（大口径鋼管杭）形式で施工するものである。

建設地は鹿島港の南側に位置し、神栖市南浜の護岸から約40mの外洋上である。地盤は沖積砂層であるが、杭先端部は非常に密な砂層または砂礫層となっている。建設地の平均水深はDL-3.6mであり、DL-5～-10mはN値30以上（平均N値46）の細砂層であり、それ以深は平均N値50の砂層および礫層で構成されている。

3. モノパイル基礎の設計

モノパイル基礎の概要図を図-1に示す。基礎は直径3.5m、厚さ44mm、長さ24.5mの「モノパイル」とタワー本体と接続するための直径3.8～4.2m、厚さ28mm、長さ8.0mの「ジョイントスリーブ」によって構成されている。モノパイルとジョイントスリーブの接続方法は、グラウト接合としている。

海上に建設される特殊な建築物のため、設計は「建築基礎構造設計指針」等の建築基準に準拠するとともに、波力の算定については「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に従った。また、グラウト接合に関してはDNV-OS-J101“Design of Offshore Wind Turbine Structures” Oct. 2007に準拠した。（DNVはノルウェー・オスロに本部を置く自主独立財団。）

洋上施設として特有の荷重に波力があるが、建設予定地直近に全国

表-1 風車仕様

名称	ウインド・パワー・かみす風力発電所
事業主体	(株)ウインド・パワー・いばらき
事業地	茨城県神栖市南浜海上
事業目的	風力発電事業
建設基数	7基
機種名	SUBARU 80/2.0
ローター直径	80m
ハブ高さ	60m
定格出力	2,000kW
定格風速	13m/sec
運転開始風速	3m/sec
運転停止風速	25m/sec
耐風速	70m/sec

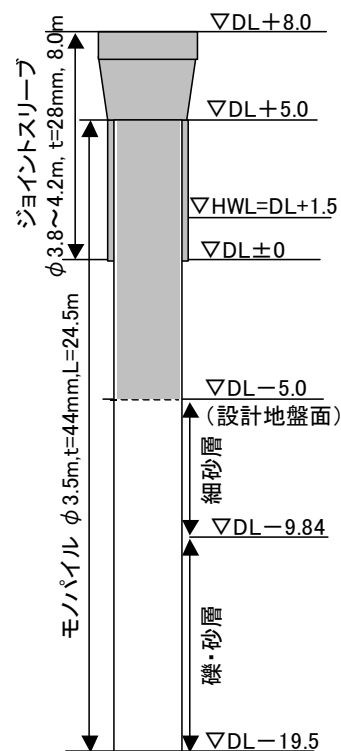


図-1 モノパイル基礎概要図

表-2 設計波

水深	最高波高 H_{max}	有義波高 $H_{1/3}$	最高（有義）波周期 $T_{1/3}$
H.W.L（水深 6.5m）	5.80m	4.50m	13.2 sec
L.W.L（水深 5.0m）	4.74m	3.68m	13.2 sec

キーワード 洋上風力、モノパイル基礎、鋼管杭、グラウト接合

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組土木事業本部土木設計部 TEL 03-3235-8622

港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)の観測地点(鹿島港)があったため、その波浪データを基に50年確率波を算定し、(財)日本水路協会発行の海図を用いて波浪変形計算を行い、建設予定地点(水深5m)の波高を求めた。表-2に設計波高・有義波周期を示す。

設計震度は建築基準と港湾基準を比較し、大きい方の0.13(港湾基準)を採用した。

また、モノパイルおよびジョイントスリーブ内部は振動抑制(疲労対策)の観点から、中詰めコンクリートを施工しているが、断面力算定時は中詰めコンクリートの剛性を考慮し、応力照査時は腐食代を考慮した鋼材断面のみで応力度を算定している。表-3に応力照査結果を示す。

4. モノパイル基礎の施工

当初計画時は海上施工も検討されたが、波浪の統計データから杭打設の施工可能日数が年間9日間程度しか期待できないことから、陸上施工とした。

モノパイル打設にあたっての最大の課題は、地盤中に存在するテトラポット片や玉石などの障害物により、打設不能・鉛直精度の確保が困難になることであった。H鋼を用いた事前の探針作業の結果、ほとんどの杭で地中障害物が確認されたため、障害物撤去工法としてダウンザホールハンマー工を採用した。撤去方法は、モノパイル打設範囲を6×6のグリッドに分割し、それぞれにφ600のダウンザホールハンマーを一定深度まで打設することによって破砕処理するものである。管理図の一例を図-2に示す。

モノパイル打設は、750tクローラークレーンを用いて500tf・m級の油圧ハンマーにて施工した。打設精度は管理値±1.5°に対して最大1.2°、平均0.6°であった。

モノパイル打設に続き、ジョイントスリーブの設置を行った。事前に測量した結果を基にモノパイルに仮受鋼材を設置し、ジョイントスリーブの高さ調整を行った結果、ジョイントスリーブの鉛直精度は1/1000以下を確保できた。

グラウト材の漏れ防止は、ジョイントスリーブ先端にゴム製のグラウトストップを設置することによって行った。グラウト材には水中不分離性高流動無収縮モルタル「マックスAZ」を使用した。

5. おわりに

ウィンド・パワー・かみす風力発電所は、国内初の外洋設置型風力発電施設であることから、今後の設計・施工に役立てるため、波高計・ひずみ計等の計測器を設置し、中長期的な波浪と風の影響を計測、検討する予定である。

本報告を執筆するに当たり、(株)ウィンド・パワー・いばらきの小松崎衛社長、東光電気(株)青木宏明部長、富士重工(株)吉田茂雄プロジェクトマネージャーをはじめ多くの方より、ご協力・ご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

本報告が今後の風力開発の参考になれば幸いです。

表-3 モノパイル応力照査結果

解析ケース	最大断面力			応力度			許容応力	
	モーメント kN・m	せん断力 kN	軸力 kN	σ_{sc} N/mm ²	σ_{st} N/mm ²	τ_s N/mm ²	σ_{sa} N/mm ²	τ_{sa} N/mm ²
定格運転時	29,007	3,209	5,460	73.5	72.3	0.33	175	100
暴風時 HWL	65,165	7,146	5,517	164.3	163.2	0.74	219	125
暴風時 LWL	58,496	6,384	5,517	147.5	146.4	0.66	219	125
地震時	67,235	7,462	5,517	169.5	168.4	0.78	263	150



写真-1 モノパイル打設状況

a1	a2	a3	a4	a5	a6
b1 4.75	b2 7.75	b3 6.95	b4	b5 6.65	b6
c1 4.85	c2 7.65	c3	c4	c5 6.75	c6
d1 4.75	d2	d3	d4 6.75	d5 6.85	d6
e1 4.75	e2 6.75	e3 5.75	e4 6.25	e5 6.75	e6
f1	f2 7.75	f3 5.95	f4 6.55	f5	f6

凡例

障害物なし

障害物有り撤去

※数字は障害物深度(DL-)を示す

図-2 支障物撤去工管理図例