

P C風力発電タワーの施工

鉄建建設 (株)	北陸支店	正会員	○矢野 敏彦
新潟県名立町	建設課		秦野 兵一
新潟県名立町	建設課		奥田 裕久
鉄建建設 (株)	エンジニアリング本部		梶原 勇二

1. はじめに

本風力発電所は、自然エネルギーの利用を通じて循環型社会の構築を目指す新潟県名立町が、その交流拠点施設「うみてらす名立」のシンボルとして計画したものである。風力発電タワーの構造としては、日本海に面した厳しい塩害環境に建設されることから、耐久性に優れ、景観的にも自然な美観が保たれるプレストレストコンクリート構造が採用された(写真-1参照)。

本稿では、国内初となるP C構造の風力発電タワー(以下、P C風車タワー)の施工について報告する。

2. タワーの概要

発注者	: 新潟県名立町
発電容量	: 600 kW×1基
ハブ高さ	: 50m
タワー構造	: プレストレストコンクリート構造
風車型式	: 水平軸プロペラ式可変翼型風車
回転数	: 10~34rpm
ローター直径	: 45m
発電機種類	: 永久磁石式多極同期発電機
設計・監理	: 鹿島建設
発電装置	: 三菱重工業
施工	: 鉄建建設

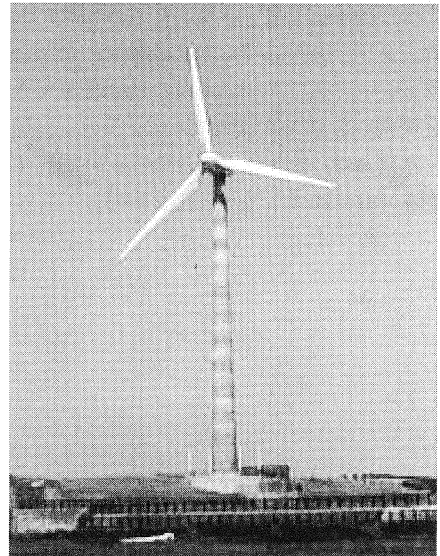


写真-1 P C風車タワー全景

3. 設計概要

風車タワーには、風荷重と地震荷重が作用するが、本構造物特有の設計上の重要なポイントとしては、風荷重の動的な繰り返し作用による共振と疲労がある。本P C風車タワーでは、これらの問題に対して以下の対策を講じて安全性の確保を図っている。

- 共振に対しては、タワーの一次固有振動数とローター(ブレード部)の回転に起因する周期性励起との共振を回避するようにタワーの剛性を調整している。
- 疲労に対しては、鉛直方向にP C鋼材を緊張し、タワー供用時の応力状態をフルプレストレス状態とすることで、疲労耐久性を高めている。

また、海岸に建設することに対する塩害対策としては、「JASS5 鉄筋コンクリート工事」の海水の作用を受けるコンクリートに関するかぶり厚さを適用し、設計かぶり厚さを70mmと設定した(表-1参照)。

なお、P C風車タワーは、煙突、広告塔等と同様に建築基準法における工作物に該当するため、タワーの設計は建築基準法に準じ、構造上の類似性から「煙突構造設計施工指針1982年(日本建築センター)」を主要適用基準としている。

4. タワーの構造

図-1に構造図, 表-2に主要材料を示す。

タワーの高さは, ナセル (発電機等の収納部分) 中心までが50mであり, 46.8mのPC構造タワー (3.9m×12ブロック) 上の鋼製セグメントアダプターを介してナセルが取り付けられる。また, タワーの断面形状は, 下端で外径4.0m (壁厚300mm) から上端で外径2.1m (壁厚250mm) まで変化し, 強風時でもタワーとブレードの間に安全な離隔距離が確保できる形状となっている。

PC鋼材は, PC鋼棒φ32mm (B種2号) をタワー断面内に16本配置し, 各ブロック打継ぎ部で接続してタワー頂部で一括緊張する。また, タワー頂部にはこのPC鋼棒とは別に, セグメントアダプター固定用のPC鋼棒 (同上, 非緊張) を16本配置している。

基礎には, 杭基礎 (PHC杭φ700mm, L=13m, n=20本) を施工している。

表-1 JASS5による最小かぶり厚さ (mm)

海水作用の区分	計画供用期間の級	水セメント比 (%)		
		45	50	55
A	一般	60	—	—
	標準	70	—	—
	長期	90	—	—
B	一般	50	50	—
	標準	60	70	—
	長期	70	80	—
C	一般	40	50	50
	標準	50	60	70
	長期	60	70	80

※ 設計かぶり厚さは, 最小かぶり厚さに施工精度による誤差として10mmを割増した値以上。

※ 海水作用の区分 C : 時おり波しぶきを受ける部分

※ 計画供用期間の級 標準: 大規模補修不要予定期間およそ65年、供用限界期間およそ100年

表-2 主要材料表

項目	仕様
コンクリート	設計基準強度 $\sigma_{ck} = 36\text{N/mm}^2$
PC鋼材	PC鋼棒φ32 (SBPR930/1180)
鉄筋	SD345
鋼製セグメントアダプター	SM400B

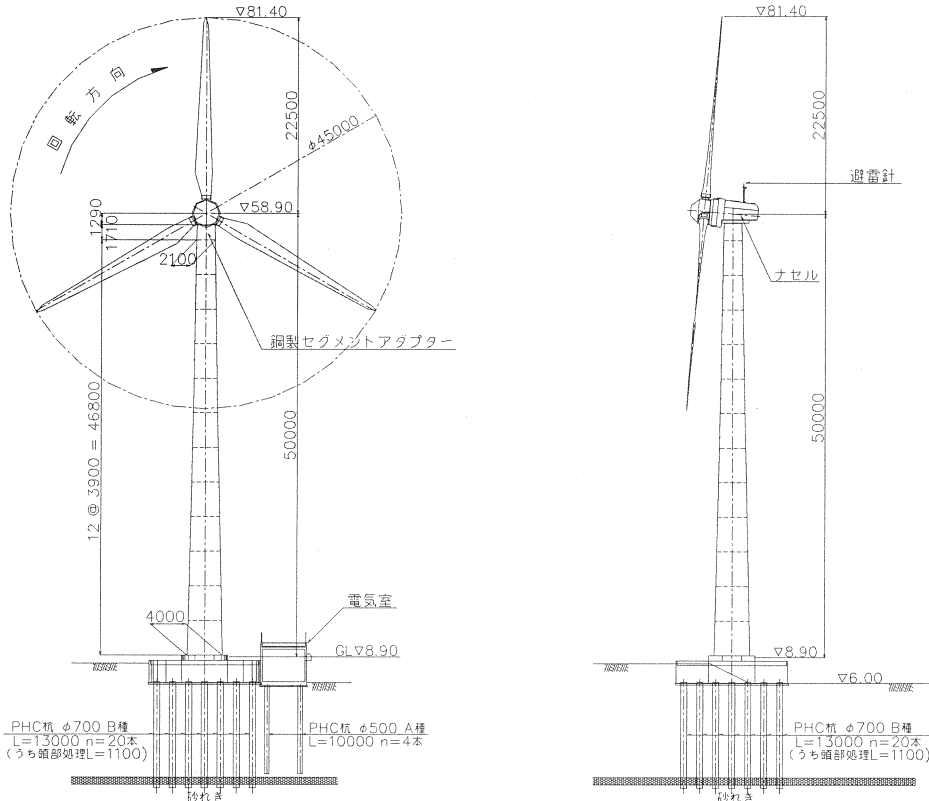


図-1 タワー構造図

5. PC風車タワーの施工

5-1. 施工方法の選定

タワー等の塔状構造物の施工には、総足場またはクライミング工法が用いられるが、本タワーの施工では、工期短縮、高所での安全性よりヨーロッパにおいて施工実績がある特殊型枠工法 (RSB工法) を採用した。

当工法は、型枠、鉄筋の組立といった作業を地上で行うため、高所での作業を削減することができ、また、移動足場を使用するため、タワーの外周足場が不要であること、内側型枠を数セット用意することで鉄筋の組立を先行してできるなどの特長があり、急速施工に適した工法である。

写真-2に外側移動足場 (プラットホーム) を示す。

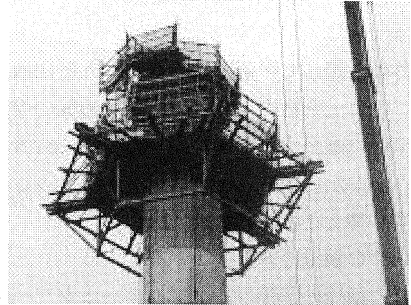


写真-2 外側プラットホーム

5-2. 特殊型枠工法の施工フロー

図-2に1ブロックの施工フロー、図-3に標準工程を示す。1ブロックの施工に要する日数は4日であった。

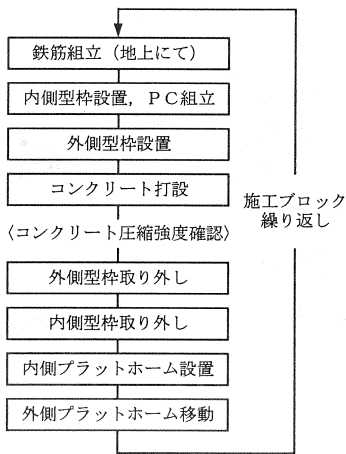


図-2 施工フロー

		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00		
1日目	NO.1	●			●			養生						
	NO.2							●		●			●	
2日目	NO.1	養生												
	NO.2	●												
3日目	NO.1	●			●		●		●				●	
	NO.2							●		●		●		●
4日目	NO.2	●			●			●						
	NO.3							●		●			●	

図-3 標準工程

5-3. タワー施工上の特徴

(1) 鉄筋, PC組立, 型枠の設置

鉄筋は、地上において円筒状の鋼製内側型枠と一体として組立て、クレーンを使用して内側型枠とともにタワーの所定の位置に吊り込む。このため、足場上での作業は鉄筋、PC鋼棒の接続部のみに限定され、高所作業の削減、工程短縮に非常に有効であった。外側型枠も地上においてブロック寸法に組立てた状態で吊り込めるため、高所での作業を削減させることができた。

型枠は、長方形と台形のエレメントを円周方向に組合せて、タワー断面の寸法変化に対応している。

(2) コンクリートの打設

本PC風車タワーは、壁厚が300mm~250mmと非常に薄く、また、鉄筋、PC鋼棒が密に配置され、打設用ホースが挿入できないため、材料分離、充填不良の発生が懸念された。このため、実施工に先立って壁厚250mmの試験体による施工性試験を行い、型枠天端からの投入による材料分離の有無、充填性、高さ方向の強度分布を確認し、打設方法を検討した。その結果、スランプを18cmとし、パイプレータを使用して締固めることにより材料分離を生じずに良好な充填性が確保できること、コア供試体による高さ方向の強度分布にも大きな差がないことを確認した。

養生期間は、「JASS5 コンクリート工事」の早強ポルトランドセメントを用いた厚さ18cm以上のコンクリート部材の場合に準じ、コンクリートの圧縮強度が $10\text{N}/\text{mm}^2$ を確保できる2日間とし、型枠取り外し後の乾燥収縮ひび割れの発生を防止するために、コンクリートに高性能収縮低減剤を添加した。

(3) 外側プラットホームの移動

外側プラットホームの移動は、クレーンにより行う。

移動に際して必要となるタワー外壁に取り付けたアンカー金物の取り外し、跡埋め等の作業は、安全性を確保するため、タワー先端に設置したブラケットからのPC鋼棒で、外側プラットホームを受け替えた状態で行った。

(4) PC鋼棒の緊張

PC鋼棒の緊張は、コンクリートタワーの先端に取り付けた鋼製セグメントアダプターの下フランジ部で行った。グラウトにはノンブリーディング・超低粘性タイプを使用し、鋼棒下端から中間注入なしに行った。

5-4. 発電装置の取り付け

ローターヘッドへのブレードの取り付けは、45Tクレーンによりタワーに隣接する作業ヤードで行い、45Tおよび650T油圧クレーンにより想定外の応力がブレードに作用しないように立て起し、650Tクレーンを使用してナセルに取り付けた。

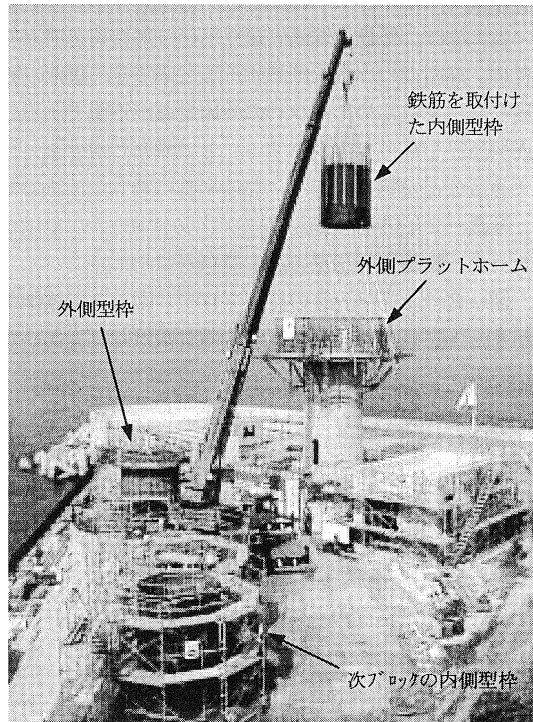


写真-2 PC風車タワー施工状況

6. 避雷対策

鋼製タワーでは、ナセル部に落雷した電流はタワー本体を流れるため、タワー下端においてアース線と接続して接地すれば良いが、PCタワーではコンクリートが絶縁体であるため、タワー内に別途アース線を配線してナセルと接続する必要がある。本タワーでは、コンクリート躯体内にアース線を配線してナセルに接続するとともに、タワー内に配置される電力ケーブルの支持具、昇降はしご等の金属物についてもコンクリート内の配筋に接続して接地し、タワー内を等電位とすることで落雷による被害を防止している。

7. おわりに

エネルギー自給率が約2割と低く、約5割を石油に依存している我が国にとって、自然エネルギーの導入・促進は急務の問題になっている。風力発電は、風向、風速の変動により電力の安定供給の点では難しさがあるが、風力エネルギーは、潜在的に資源が広範囲に存在するクリーンで無尽蔵な純国産エネルギーである。このため、今後は、日本の風況にあった風力発電機の開発とともに、発電出力の増大を目的とした風車の大型化、安定した風速を確保するための洋上発電への期待が益々高まるものと考えられる。

PC風車タワーは、塩害環境における優れた耐久性や発電施設の大型化にも柔軟に対応できる可能性を持った構造であり、今後より多くの採用が期待される。今回のPC風車タワーの施工実績が風力発電の発展の一助となれば幸いである。

最後に、本PC風車タワーの施工にあたり多大なご指導、ご協力をいただいた関係各位にこの場をお借りして感謝申し上げます。