

陸上風力発電用ハイブリッドタワー (円筒形PCセグメント構造の载荷試験)

技術紹介

はじめに

風力発電システムは、発電効率の向上のために風車の大型化やハイタワー化が進んでいますが、ハブ高100mを超えるハイタワーの実現には、鋼製モノポールタワーの外径の大型化を伴うため、陸上輸送が困難なサイズとなります。

そこで、部材分割が可能で現地組立が容易なプレストレストコンクリート製タワー（以下、PCタワー）を組み合わせたハイブリッドタワーとした陸上風力発電施設（図-1）の開発を進めています。海外では多くの実績があるものの、日本国内では実例がないことから、曲げ耐荷性、疲労耐久性を明らかにするため、実験的検討を行いました。

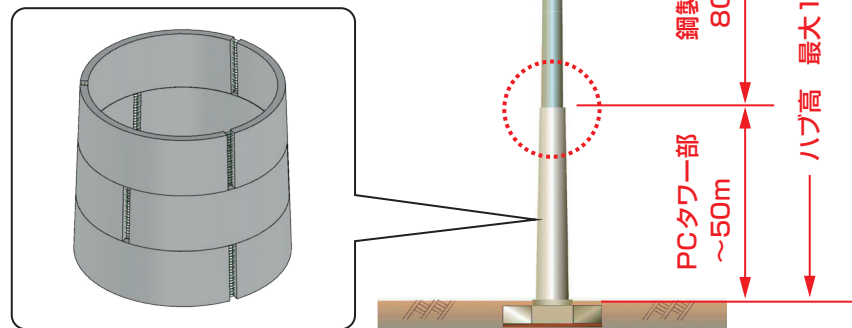


図-1 ハイブリッドタワー

技術の特徴

ハイブリッドタワーは、ハブ高さの約1/3をPCタワーとして、その上部に鋼製タワーを配した構造（図-2）であり、以下の特徴を有しています¹⁾。

- ハブ高140m（PCタワー部の高さ50m、鋼製タワー高さ90m）を想定
- PCタワー部はプレキャストセグメント構造
内ケーブル（アンボンド）および外ケーブルを併用してセグメントを一体化
- PCタワーに配したケーブルは基礎内のテンドンギャラリーに定着
- タワーの基部をプレキャストセグメント構造とすることで道路輸送制限をクリア
- プレキャスト工法とすることで場所打ち工法に比べて工期短縮が可能
- プレキャストセグメント（工場製品）は高品質・高強度化が可能
- 鋼製タワーとPCタワーの接続はボルト接合（従来の鋼製タワー風車のベDESTAL基礎の接続方法と同様）を採用するため風車本体の改良は最小限

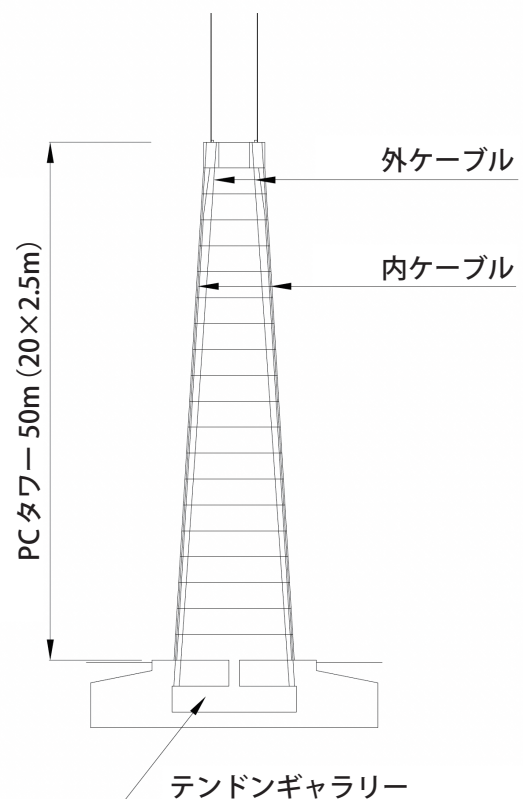


図-2 PCタワー部の構造例

曲げ載荷試験

PC 構造部分の曲げ性状の把握を目的として、縮小モデル試験体（試験設備の性能を考慮して 1/10 サイズに設定）を製作して載荷試験を実施した結果、ひび割れの発生位置および荷重（51.3kN）について、実測値と FEM 解析の結果は概ね一致することを確認できました。

また、PC タワー部は極稀地震時においてもひび割れを許容しない設計としています。破壊形態は基部の圧壊であり、終局荷重（103.5kN）は使用荷重（ひび割れ発生荷重）に対して約 2 倍の耐力があることを確認できました²⁾。



写真-1 曲げ載荷試験状況



図-3 ひび割れ図

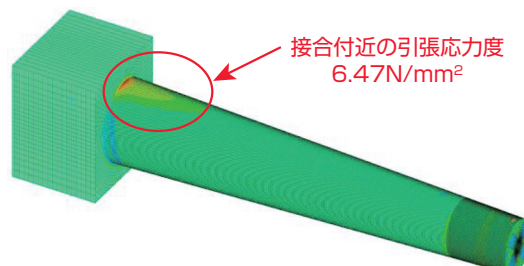


図-4 最大主応力コンター図（ひび割れ発生時）

疲労載荷試験

風力発電施設は一般的な構造物に比べて高い繰返し荷重を受けるため、疲労が問題視されます。PC タワー部の疲労耐久性の検証を目的として、基部付近（6 セグメント）をモデル化した縮小モデル試験体（外径寸法は試験設備の性能を考慮して 1/10 サイズ、部材厚はコンクリート配合とするため 1/5 に設定）を用いて疲労載荷試験を実施した結果、荷重-変位関係は試験前後で直線関係にあり、疲労耐久性の低下（剛性低下）は見られませんでした。また、疲労載荷後の静的載荷試験においても設計耐力を有していることを確認できました¹⁾³⁾。

（載荷 STEP）

- 高サイクル疲労載荷（200 万回）：長期荷重時の制限値（ $F_c/3$ ）上限に応力振幅 3N/mm² 程度
- 低サイクル疲労載荷（300 回）：短期および極稀地震時の制限値（ $2 \cdot F_c/3$ ）を上限に応力振幅 20N/mm² 程度

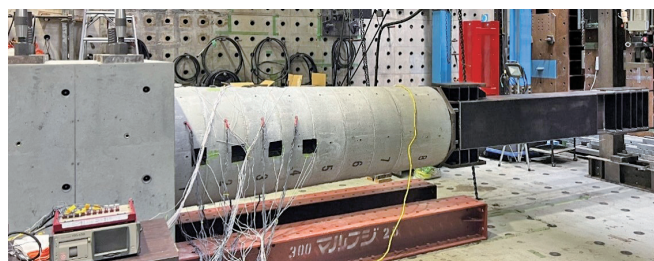


写真-2 疲労載荷試験状況

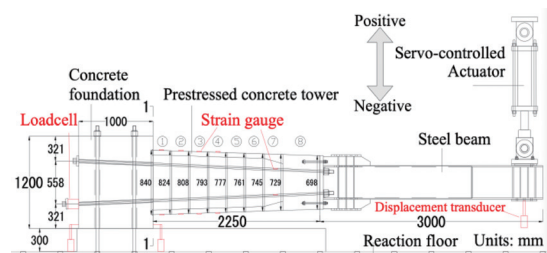


図-5 疲労載荷方法

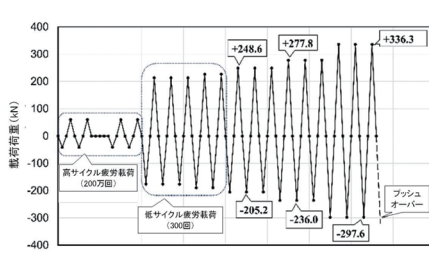


図-6 載荷ステップ

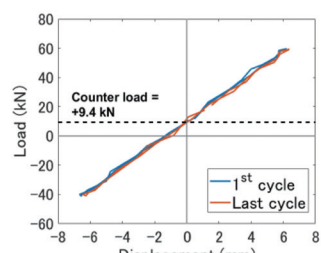


図-7 荷重-変位関係（高サイクル載荷）

【参考文献】

- 1) 岩崎, 萬膳, 吉次, 山口: 風力発電用ハイブリッドタワーの開発, 第 33 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp763-766, 2025.10
- 2) 吉次, 萬膳, 岩崎, 山口: 円筒型 PC セグメント構造の曲げ載荷試験, 第 33 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp35-40, 2024.10
- 3) ZHU Ziping, NISHIYAMA Minehiro, IWASAKI Asami, YAGINUMA Hiromi, YAMAGUCHI Mitsutoshi: High-cycle fatigue tests on 1/10-scale unbonded precast prestressed concrete wind tower, 日本建築学会大会学術講演会, pp723-724, 2025.9



株式会社富士ピー・エス 技術センター

〒136-0071 東京都江東区亀戸 2 丁目 26 番 10 号 (立花亀戸ビル)

URL <http://www.fujips.co.jp>

TEL: 03-5858-3161 FAX: 03-5858-3177