

北海道向け風力発電タワーの設計と施工

Design and Construction of Wind Turbine Tower for Hokkaido Project

山中 和夫	エコ・発電システム部 統括スタッフ	Kazuo Yamanaka
根本 大	エコ・発電システム部	Dai Nemoto
宮岡 十里	シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 室長	Juri Miyaoka
棚邊 隆	シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 主査	Takashi Tanabe
飯田 泰彦	シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 主査	Yasuhiko Iida
増田 博	シビルエンジニアリング部 土木建築設計室	Hiroshi Masuda

当社は 2001 年 4 月、北海道の江差町と幌延町で、それぞれ発電容量 21000kW (750kW × 28 基) の風力発電設備の現地工事に着手、2001 年 10 月に機器据付工事を完了し、2002 年 3 月の本格送電開始に向け試運転調整を鋭意進めている。この中で風力発電機用のタワーに関しては、発電機の発電量を上げるため、従来型よりその高さを増している。本稿では、当該タワーの基礎を含めた設計・施工方法について、その概要を述べるものとする。

21000kW wind farms are under construction at both Esashi and Horonobe in Hokkaido by NKK, and these will start to supply power in spring of 2002. In these projects, the tower is elevated in comparison with our previous type because the amount of wind turbine's generating to be increased. This report is especially stated about the design and construction of the tower including its foundation for LAGERWEY-LW50/750 wind turbine.

1. はじめに

当社は 1996 年 12 月にオランダの風車メーカー LAGERWEY (ラガウェイ) 社と提携、国内での独占販売権を取得し、風力発電分野に参入している。これまでの納入実績は LW18/80 (80kW 機) および LW30/250 (250kW 機) を 1 基ずつ、そして LW50/750 (750kW 機) を今回の北海道の江差町と幌延町向けを含めて 90 基ということになる。江差町と幌延町の地理的位置は Fig.1 を参照されたい。

ところで風力発電機用のタワーについては、当社ではその設計・調達機能を自社にて有しているが、他社、特に海外風車メーカーの日本代理店ではその機能を本体側に完全依存しているケースが多いようである。また商品の性質上、風力発電機本体に注目が集まり、その支持構造物であるタワーおよび基礎の設計・仕様がクローズアップされることは比較的少ない。

LAGERWEY 社による Eurocode ベースの疲労荷重(20年間の操業状態がシミュレートされたもので、当該現場の風況も考慮される)に対するタワー母材および溶接部の疲労耐力照査が行われる。最後に当社にてこの結果を照査した上で、鋼材強度クラス・板厚を決定することになる。

2.3 共振疲労と溶接部ディテール

従来のハブ高さ 50m のタワーでは、その形状に起因する固有振動数が発電機側のタワーに対して有害とされる固有振動数領域から完全に外れていたため、共振対策は不要となり、実際に既設のタワーで共振現象がクローズアップされるような問題は生じていない。一方、今回のハブ高さ 74m のタワーに関しては、LAGERWEY 社もほぼ同形状(ハブ高さ 75m, タワー基部外径 3.8m)のタワー設計・施工実績があり、基本的にはその設計手法を踏襲することとした。それはタワーが発電機の低速回転領域で共振することを許容するものである。

本件に関しては、社内にてその是非を十分に議論し、さらにオランダ・ドイツで実際に稼働しているものの振動測定を行い、その測定結果を照査した上で、本設計手法の採用を決定した。その際、当社独自にこの共振現象による繰り返し振幅・回数を設定し、それによりタワー各部に生じる繰り返し応力に対して疲労耐力上問題ないように、タワー母材板厚および溶接部ディテールなどを決定した。

この溶接部ディテールについては、先述した 20 年間に渡る操業上の疲労荷重に対しても寄与してくるものである。特にタワー母材と現場継手フランジの突き合わせ溶接部の疲労耐力がタワー母材側板厚の決定要素となる。よって単純に板厚を増すことにより疲労耐力の向上は図れるが、剛性・固有振動数の増加、しいては鋼材重量の増加を招くものとなり好ましくない。そこで今回は Fig.3 に示すように、突き合わせ溶接部止端および余盛のグラインダ仕上げ(応力方向)を施し、溶接部の疲労耐力を向上させることとした。

なお、LAGERWEY 社が当社設計タワーのレビューを行う際には、日本ベースの疲労耐力を採用するよう指示した。これは Fig.4, 5 に示すように、同じ溶接ディテールでも LAGERWEY 社が通常採用している Eurocode ベースより、日本ベース^{1),2)}の方が耐力を大きくとれるからである。

Fig.5 Comparison of S-N curves by weld categories (Vertical seam welding)

Fig.3 Detail of tower field joint flange (GL+48300)

2.5 タワーの柱脚部ディテール

先述しているように当該タワーは基本的に共振を許容する設計を行っているため、柱脚部に対してもその設計思想を踏襲する必要があった。これまで当社の 750kW 機（ハブ高さ 50m）については、そのタワーの根元を基礎ペDESTAL部分に埋め込み、さらに基礎フーチングにアンカーボルトで定着をとる形式を採用していた。しかし今回、柱脚部の応力伝達機構をより明確にするために、Photo 2, 3 に示す露出型アンカーボルト構造を採用することとした。これは基礎工事とタワー建方工事の取り合いを極力解消し、工期短縮を意図したのもでもあり、実際に有効であった。

アンカーボルトには 36 アンボンド PC 鋼棒（JIS G 3109）を採用、油圧ジャッキによる緊張力導入を行うことで、柱脚部の固定度を確保した。また基礎ペDESTAL断面が常時圧縮応力下となることから、当該部分のタワー共振による劣化が生じにくく、台風などの暴風時の転倒モーメントに対しても非常に安全な構造となっている。



ではその基数も多いことから、当社から SV を派遣して輸送も含めて品質・工程管理を行った。またタワー母材と現場継手フランジの突き合わせ溶接部で指定しているグラインダ仕上げについては、当社にてサンプルを作製・提示し、その仕上り具合を指示した。

当該タワーは、約 4m 高さに切り板から曲げ加工されたテーパ管状のものが連続接合されて成り立っており、輸送・建方上、分割される位置に現場継手フランジが挿入される形となっている。各業者とも製作手法・手順は必ずしも同一ではなく、たとえばタワー母材と現場継手フランジの突き合わせ溶接部については、半自動多層溶接であったり、SAW の一発仕上げであったりと、所有設備・技量によって差がある。ただし、いずれの業者も製缶・塔槽類を主体とした十分な製作実績があり、タワー本体の製品上の品質については差がないと言える。

製作されたタワーは各業者から海上輸送され、江差町向けは函館港で、幌延町向けは稚内港でそれぞれ水切り、そこから現地まで陸送された（Photo 4 参照）。タワーの陸送は交通量の少ない深夜に行われ、そのまま翌朝から現地での建方が開始できるような段取りとした。

Photo 4 Carrying of tower block into site (Horonobe)

3.2 基礎の設計および施工

江差町と幌延町はそれぞれ現地の地質条件も全く異なるため、基礎の仕様も異なっている。

江差町現地は背後に山岳地を控えたなだらかな丘陵地である。計画段階では概ね基礎床付けレベルには良好な岩盤が存在していると想定されたため、直接基礎にて設計を進

3. 750kW 風力発電タワーの施工

3.1 タワーの製作および輸送

今回はほぼ同時期に、江差町と幌延町向けにそれぞれ 28 基ずつ、計 56 基というこれまでにない大量のタワー製作発注となるため、製作コストのみならず、輸送を含めたコストダウンを図るべく業者選定がなされている。結果としては計 56 基のうち、その大部分を海外の重工メーカーに発注した。発注した業者の中にはこれまで当社設計のタワー製作実績のないところも含まれ、特に海外製作分につい

Photo 5 Construction of foundation w/RC pile (Esashi)

として、つばさ杭に短期許容引抜き 20t を設定した基礎の設計を行った。この許容引抜きについては、現地での載荷試験を通じて設定値を十分上回ることを確認した。Photo 6

参考文献

4. おわりに

北海道の江差町と幌延町向けの風力発電設備，その中でも特にタワーの設計と施工について，その概要を報告した。はじめに述べた課題についてまとめると以下ようになる。

(1) タワー形状（外径）については従来の製作・輸送条件を踏襲して決定し，発電機との共振を前提にその条件を設定し疲労設計を行った。

(2) 上記設計条件を満足するタワーの溶接ディテールを考案し，十分な品質管理を行った。

(3) 寒冷環境に対するタワーの構成鋼材の選定においては，JIS仕様鋼材に低温靱性能を付加したものを使用した。

(4) タワー柱脚部を露出型アンカーボルト構造とすることで，基礎工事との取り合いを極力解消し，工期短縮を実現した。

設計に関してはその設定条件の確認など，既設タワーも含めて別途調査・研究を進めており，近い将来，報告の場を設けたいと考えている。また製作に関しては，今後さらなるコストダウンのため，海外調達の方角に進むものと思われる，その品質管理がより重要になってくると思われる。

2002年度施工の新規プロジェクトもスタートしており，今回，特に紹介はしなかったが，細かい部分での改善点など，設計・管理手法へのフィードバックを続け，より品質の高いタワー設計・調達を進めていきたいと考えている。

- 1) LAGERWEY the Windmaster. "Tower Verification Report for NKK". (2000).
- 2) 日本鋼構造協会. "鋼構造の疲労設計指針・同解説". (1993).
- 3) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会. "北海道における鋼道路橋の設計および施工指針". (1989).
- 4) 柴村陽吉ほか. "久居榑原風力発電施設の概要". NKK 技報. No.168(1999).

<問い合わせ先>

エコ・発電システム部

Tel. 045 (505) 6535 根本 大

E-mail address : nemotodk@nkp.tsurumi.nkk.co.jp

シビルエンジニアリング部 土木建築設計室

Tel. 045 (505) 7722 増田 博

E-mail address : masudah@eng.tsurumi.nkk.co.jp