

風力発電タワー強度実験

竹之内博行・國廣卓夫

1. はじめに

施工技術総合研究所では、5万坪に及ぶ広大な敷地と、載荷設備や計測技術などの実験ノウハウの蓄積を活用して、これまで、本州四国連絡橋、東京湾横断道路、第二東名神高速道路などの大プロジェクトに関連した構造物やガスパイプラインのような基盤施設に関連した数多くの大型模型載荷実験を実施してきた。ここでは最近行った風力発電タワー強度実験について紹介する。

2. 実験の背景

近年、日本においても風力発電事業が急速に普及してきているが、その設備の多くは欧州メーカーの規格品となっている現況にある。この主要設備である発電タワーの機械的強度は、暴風時の風荷重・振動による繰返し荷重・変位抑制量（剛性）などから決定されていると推察されるが、台風、地震、雷、山岳地への建設など日本の気象条件や地形条件に適合されていない面が懸念される。このようなことから、現在風力発電事業を鋭意展開して

いる株式会社シーテックでは、日本の荷重条件に適合する風力発電用タワーの設計および製作面の改善を図ることを目的として、発電用タワーの実耐力強度の確認試験を実施することとした。今回の実験は株式会社シーテックの委託により、風力発電設備の設計製作を行うJFEエンジニアリングアリング株式会社とともに施工技術総合研究所で実証試験を行ったものである。

3. 供試体

本実験では、現行最大級の2.0MWクラス風力発電機用コニカルパイプタワー（ローター回転中心高さ約60m、写真-1）の終局耐力を正確に評価するために、幾何学的相似性や施工再現性を考慮して実機の全体および細部挙動を十分再現しうるハーフスケールモデルとした。

図-1に供試体の概要と載荷要領を示す。供試体タワー（高さ約30m）の断面外径は、最下部で2,015mm、最上部で1,157mm、径厚比D/tは110~180となっている。なお、供試体タワーは実物と同じく本試験用に構築された基礎に定着し、その頂部には風力発電機に相当するウェイト(35t)を搭載した。

4. 設計荷重

地震応答解析並びに暴風時風速・速度圧等の事前検討を通じて、実機についての設計として想定すべき最大荷重を、総水平力として100tf程度と設定した。これはハブ高さ（地上高60m）での10分間平均風速が40m/s以上となることを想定した荷重で、このうち、風力発電機部分（ブレード含む）に70%、タワー部分に30%が作用する形となる。これをハーフスケールモデルにて再現するため、供試体タワー用の換算設計荷重は、その相似性から実機の総水平力の1/4の25tfとした。

供試体タワーについては、その鋼材の実降伏強度を考慮に入れたFEM解析により、最大耐力から耐力低下後までの荷重-変位関係が予測されている（図-2）。

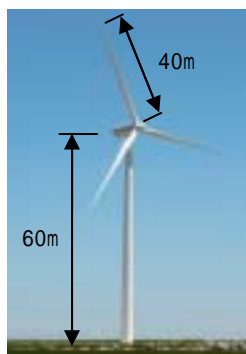


写真-1 G社クラス タイプ

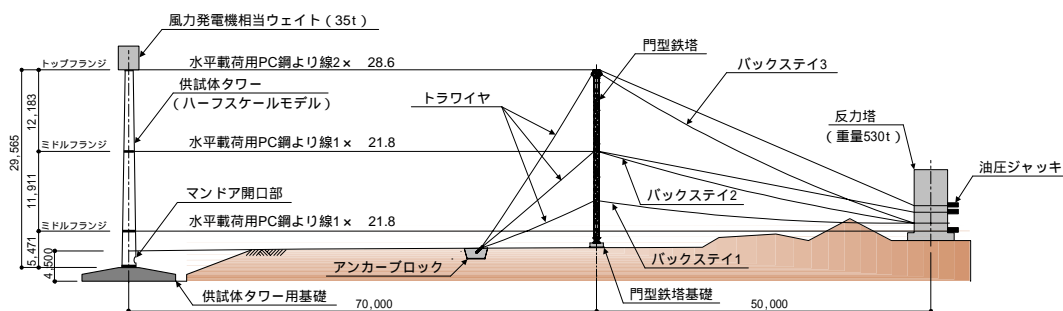


図-1 供試体概要および載荷要領図

FEM解析によると、破壊位置はマンドア開口部分の上方のシェル部分で、その部分の降伏・座屈が先行して最大耐力が現れ、その後、耐力低下に至る、という結果になっている(図3)。

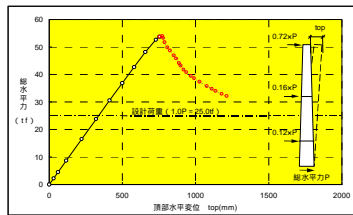


図 - 2 荷重～変位関係予測図

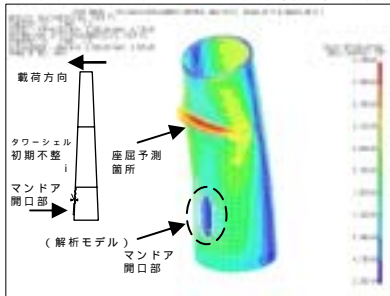


図 - 3 破壊箇所予測図

5. 荷重方法

写真2に設備全景を示す。

風荷重による水平力は、供試体タワー上・中・下段フランジ継手レベルの3箇所に集約した。それぞれの位置での荷重比率は、設計荷重に対応させて、上段72%、中段16%、下段12%とした。各レベルに取付けた荷重用ピースにロードセルを介してPC鋼より線を接続し、門型鉄塔を介してこのPC鋼より線を反力塔まで引通し、その背面に設置した油圧ジャッキによって引込むことで水平荷重を荷重した。

ジャッキ能力および台数は、上段荷重用として70tf×2台、中、下段用としてそれぞれ50tf×1台の合計4台であり、1台の油圧ポンプにより同時に作動させた。写真3に油圧ジャッキシステムを示す。これらのジャッキは、設定した荷重比率を維持したまま所定の荷重に合わせるように自動制御されるシステムとした。



写真 - 2 試験設備全景



写真 - 3 油圧ジャッキシステム

6. 試験方法

試験は、設計荷重(25t)までの荷重を3回繰返した後、供試体タワーが倒壊するまでの終局耐力確認試験を実施した。

これらの試験では、油圧ジャッキシステムにより所定荷重まで荷重し、供試体タワー各部に設置した約160箇所の測定センサーによる応力変動および変形量の測定を繰返した。測定センサーはひずみゲージ(一軸、二軸、三軸)、ボルトゲージおよび温度センサーなどで、タワー変位の計測には3次元自動追尾式変位計測システムを用いた。

7. 試験結果

終局耐力確認試験は公開試験とし、平成15年6月24日に関係諸機関からの百数十名の見学者が見守る中で実施した。供試体は事前の解析による予測と大方同様な経過を辿り、最終的には供試体タワー高さ中間部分で局所的な座屈が発生し(写真4)、その箇所で折れ曲がるように倒壊した(写真5)。



写真 - 4 座屈状況



写真 - 5 倒壊状況

8. おわりに

今回このような大規模な構造物破壊実験が、事故なく無事に終局状況の確認までできたことについて、この紙面をおかりして実験に携わったすべての関係者に感謝の意を表します。

[筆者紹介]

竹之内 博行(たけのうち ひろゆき)
社団法人日本建設機械化協会
施工技術総合研究所 技師長

國廣 卓夫(くにひろ たくお)
社団法人日本建設機械化協会
施工技術総合研究所 研究第二部 専門課長