

[投稿]

2003年台風14号による風力発電設備の被害とシミュレーションによる強風の推定

石原 孟

ISHIHARA Takeshi
正会員 工博
東京大学大学院助教 工学系研究科

山口 敦

YAMAGUCHI Atsushi
学生会員 工修
東京大学大学院工学系研究科博士課程

藤野陽三

FUJINO Yozo
フェロー会員 Ph.D.
東京大学大学院教授 工学系研究科

調査概要

2003年9月11日未明、台風14号は沖縄県宮古地方を直撃し、死者1人、負傷者84人、全壊(13棟)、半壊(45棟)、一部損壊の住宅139棟など大きな被害をもたらした¹⁾。象徴的な被害としては宮古島にある7基の風力発電用風車のうち3基が倒壊し、残る4基もブレードの折損などの被害を受けた(図-1)。近年日本各地で風力発電所の建設が急速に進んでおり、大型風車ではブレードの先端までの高さが100mにも達することを考えると、台風14号による風力発電設備の被害原因の究明は急務と言える。

災害発生後、筆者らは現地へ赴き、風車の被害調査ならびに宮古島地域における風観測データの収集などを行った。それに平行して、台風シミュレーションによる災害発生時の強風分布の推定を行った。以下、これらの調査資料に基づき、台風14号による風車の被害状況および災害発生時の強風特性について報告する。なお、台風14号による風車以外の構造物や建物の被害については日本風工学会誌97号の報告を参照されたい²⁾。

風車被害の概要

宮古島には、現在島の北端の平良市狩俣に4基、南東部の城辺町七又に2基、南部の上野村新里に1基の計7基の風力発電機が設置されている(図-2)。これらの風車は台風14号により倒壊または損害を受け、全て運転不能の状態となった。表-1には宮古島における風力発電設備の一覧とその被害状況を示す。7基の風車は製造元、制御方式、設置年月が異なり、風車の破損箇所もブレード、ナセル、タワー、基礎、制御機構と多岐にわたっている。

一般的に風車運転時には二つの制御機構が働く。一つは風車ローターの向きをコントロールする「ヨー制御」、もう一つは定格風速以上の風が吹いた時に風車の回転力を調節する



図-1 台風14号の強風で倒壊した風車(提供:朝日新聞社)

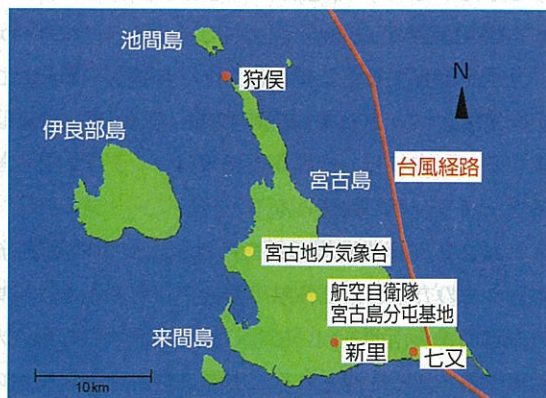


図-2 調査した風力発電施設と風観測地点の位置



図-3 各風車の位置、倒壊方向、ローターの方向および被害状況

制御であり、「ストール制御」もしくは「ピッチ制御」が採用されている。ピッチ制御の風車ではブレードのピッチ角を変化させること、ストール制御の風車ではブレードを失速状態にすることにより、発電量が一定となるように制御される。また平均風速が25 m/s以上になると、安全のために、風車は発電を停止する。この時にストール制御の風車はブレードを固定し、ローターを風向きに対して90度となるように停止する。一方、ピッチ制御の風車はブレードのピッチを変えてフェザリングの状態となる。

図-3には、各風車設置場所付近の地図、風車の倒壊方向、風車ローターの方向および各風車の被害状況を示す。風車の倒壊方向は南から南西を向いており、風車倒壊時の風向が北から北東であったと推測される。実際、宮古地方気象台の風観測記録によると、最大瞬間風速を記録するまでの風向は北

または北東であり、風車の倒壊方向は風向きに対応している。一方、風車ローターの方向は必ずしも風向きに対応しておらず、風車のヨー制御機構のフリクションブレーキがすべった可能性がある。以下、サイトごとに風車の被害状況を詳しく説明する。

まず狩俣の風車は図-3 (a) に示すように、北北西に突き出した半島上に建設されており、北から6号機、3号機、4号機、5号機となっている。3号から5号機は本体・タワー・基礎全て同じ設計のストール制御の風車であるが、破壊形態が異なる。3号機と5号機はタワーの出入口付近（基礎から約2mの高さ）から座屈し倒壊している。両者の倒壊方向はほぼ同じ（南南西）であるが、ローターの向きが異なる。3号機は倒壊後のローターが上向きになっていることから、倒壊前に3号機のローターは北北東を向いていたと推定

表-1 宮古島における風力発電設備の一覧と被害状況

	名称	狩俣風力発電				七又風力発電		宮古島土地改良事業
		3号機	4号機	5号機	6号機	1号機	2号機	
諸元	設置場所	平良市狩俣				城辺町七又		上野村新里
	設置年月	1995年12月				2003年3月	1998年8月	2000年10月
	製造者	NEG-Micon				Enercon	Enercon	Vestas
	定格出力	400 kW/100 kW				600 kW	500 kW	600 kW
	制御方式	ストール				ピッチ	ピッチ	ピッチ
	翼の枚数	3				3	3	3
	ブレード直径	31 m				44 m	40.3 m	42 m
	タワー高さ	36 m				46 m	44 m	35.3 m
被害状況*1	ブレード	-	○	-	折損/飛散	折損/飛散	折損/飛散	折損/飛散
	ヨー制御機構	△	△	△	-	-	△	△
	ナセル	-	カバー破損	-	○	-	○	○
	タワー	座屈/倒壊	-	座屈/倒壊	-	倒壊	-	-
	基礎	クラック	クラック	クラック	○	アンカーコーン破壊	○	○
	ローター/倒壊方向*2	37°/217°	55°/-	197°/197°	19°/-	7°/187°	159°/-	229°/-

*1 被害状況の凡例 ○：目視の範囲で異常が認められない △：状況により異常の疑いがある -：不明 *2 角度の定義：北を0°とし、時計周り

される。一方、5号機のローターは下向きになっていることから、5号機は倒壊前にローターが南南西を向いていたこととなる。当日台風接近時の風向がほぼ北であったことを考えると、ストール制御である3号と5号機のローターは東の方向を向いて、風を逃がす状態が自然である。3号～5号機のローターは北北東または南南西を向いて停止しているから、これらの風車のヨー制御機構に何らかの異常が発生していた可能性がある。

また4号機の被害としてはナセルを覆うカバーが開いて垂れ下がっていることが確認された。4号機は正面からまともに風荷重を受けたにも関わらず、目視の範囲ではブレードの損傷が認められなかった。タワーに関しては中に入れなかったため、残留ひずみなどの有無が確認できなかったが、今後詳細な調査が必要と思われる。

一方、6号機は今年の3月に運転開始した最新型のピッチ制御風車で、ナセル、タワー、基礎については目視した範囲では異常が認められなかったが、3本のブレードのうち2本が根本付近から折損しており、残る1本のブレードも中程で折損している。6号機はピッチ制御の風車であり、停止時にブレードが風から受ける抗力を最小とするように制御されているにも関わらず、ブレードが破損している。これは風車のブレードが抗力以外の力で破損する可能性のあることを意味し、揚力やねじれモーメントも重要であることを示唆している。また台風接近時に宮古島が停電になっていることから風車の制御ができなかったことも一因と思われる。

次に、上野村新里にある宮古土地改良事業のピッチ制御の風車は図-3 (b) に示すように、全てのブレードが中程で折損しており、一部のブレードは300 m 離れた地点まで飛散した²⁾。この風車は1枚のブレードが正常なピッチ角と正反対のピッチ角で停止している (写真を参照)。また、狩俣の5号機と同様に、風車のローターが南よりの方向で停止している。これらのことから風車のピッチ制御およびヨー制御機構

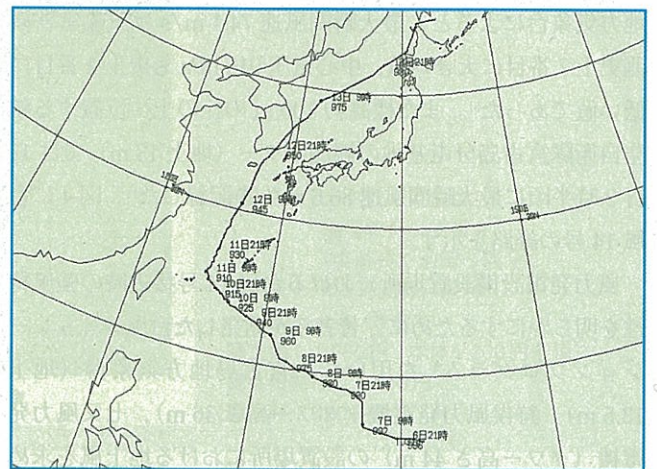


図-4 台風の経路図

に何らかの異常が発生していたことを示唆している。

最後に、城辺町七又の風車は図-3 (c) に示すように海岸沿いに2基が並んで設置されている。東側の2号機は新里の風車と同じタイプのピッチ制御の風車であり、ブレードが折損している。この風車も南よりの方向で停止しており、ヨー制御機構が被害を受けた可能性がある。2号機は目視の範囲ではブレード以外に破損が認められなかった。一方、1号機は写真からもわかるように、アンカーコーンが破壊し、タワーが倒壊している。タワーを基礎に固定するためのアンカー部分は丸ごと基礎から引き抜けた。上部基礎は台風のような転倒モーメントの大きい風荷重に対して十分な耐力がなかった可能性がある。

今回の調査は風車の被害状況の把握に重点を置いた。今後風車の倒壊折損の原因を解明するため、停電までの風車制御に関する記録、風車と基礎の構造諸元および材料特性などより詳細な調査を行い、最大風速の推定、風車空力特性の把握、タワー・基礎の強度検討、ブレード・制御機構の破損メカニズムの解明を行っていきたいと考えている。

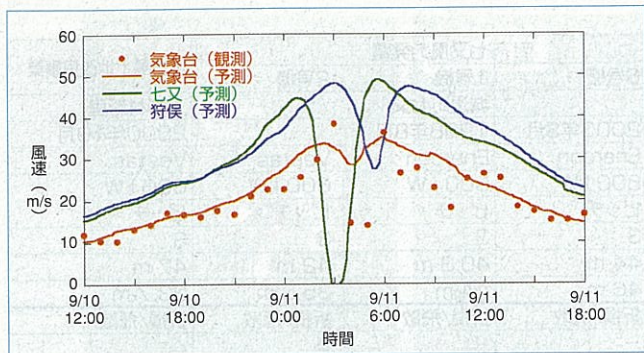


図-5 観測と台風シミュレーションによる風速の時間変化

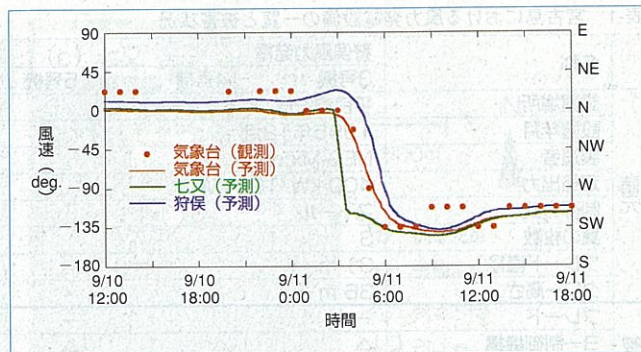


図-6 観測と台風シミュレーションによる風向の時間変化

台風14号の強風特性

今回の台風14号は歴史に残る観測値を記録した。宮古島地方気象台によると、最大瞬間風速74.1 m/sは気象官署観測史上7番目に大きい値、中心気圧912 hPaも史上4番目に低い値であった³⁾。また標高約100 mの丘の上に位置する航空自衛隊宮古島分屯基地の観測タワー（地上13 m）では11日2時半頃に最大瞬間風速86.6 m/sを記録した⁴⁾。図4に台風14号の経路を示す。

風力発電設備設置場所における台風14号接近時の強風特性を明らかにするために、著者らが開発した台風シミュレーションプログラム⁵⁾を用いて、宮古島地方気象台（地上13.5 m）、狩俣風力発電機（タワー高さ36 m）、七又風力発電機（タワー高さ44 m）の設置場所における地上風を求めた。台風シミュレーションに必要なパラメータは気象官署で観測された気圧データから非線形最小二乗法により同定した。各地点の風向別の地表面粗度は国土数値情報の100 mメッシュ土地利用データから上流側2 kmまでの土地利用を考慮して求めた。

図-5と図-6には台風シミュレーションにより得られた上記3地点での平均風速と風向の時間変化を示す。気象台では台風の接近に伴い風速が増大し、2時半を過ぎた時点でいったん減少し、その後再び増大している。また風向は台風接近時に北であったが、台風通過後に急激に南西に変化している。台風シミュレーションはこれらの傾向をよくとらえている。台風が通過した時刻は、七又では気象台より1時間ほど早く、狩俣では1時間半ほど遅れているが、台風の移動速度が遅かったため、この時間差が発生した。また観測データは10分平均値であるのに対し、台風シミュレーションの結果は1時間平均相当値であるため、観測された10分間平均の最大値をとらえられない。ここで、Ishizaki⁶⁾の方法により台風シミュレーションにより得られた1時間平均風速と乱れの強さから、10分平均最大風速と最大瞬間風速（0.25 s）を求めて表-2に示す。シミュレーションの結果は気象台での観測値をおおむね再現していることがわかる。また風車設置場

表-2 推定された10分平均最大風速および最大瞬間風速

	瞬間風速 (m/s)		10分間平均風速 (m/s)	
	観測	推定	観測	推定
気象台	74.1	73.0	38.4	42.1
七又	—	81.8	—	55.2
狩俣	—	80.7	—	54.3

所での最大瞬間風速は80 m/sを超えた。

まとめ

宮古島を直撃した台風14号の強風で、島内にある7基の風車が全て大きな被害を受けた。本稿では筆者らが行った風車被害調査の結果を報告するとともに、台風シミュレーションにより、災害発生時の強風分布を推定した。その結果、以下のことを明らかにした。

- 1) 今回の台風14号による風力発電設備の被害は風車のブレード、ナセル、タワー、基礎、制御機構などと多岐にわたっていることが明らかにされた。
- 2) 今回の調査で風車の倒壊または破損の原因がある程度明らかにされたが、不明な点も多く残されており、今後より詳細な調査と解析が必要である。
- 3) 台風シミュレーションにより宮古島地方気象台で観測された風速はおおむね再現できた。また風車設置地点での最大瞬間風速は80 m/sを超えることがわかった。

謝辞

本報告の作成にあたり、東京大学大学院修士2年のホ・タイ・ホーム氏に協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1-平成15年台風第14号による被害状況について（第9報）、内閣府、<http://www.bousai.go.jp/kinkyu/>
- 2-奥田泰雄ほか：2003年台風14号（マエミー）による宮古列島での強風被害、日本風工学会誌、No.97, pp.49-60, 2003
- 3-宮古島地方気象台観測資料、宮古島地方気象台、<http://www.okinawa-jma.go.jp/miyako/>
- 4-沖縄タイムス、2003年9月22日
- 5-石原 孟・松井正宏・日比一喜：中立時の大気境界層における強風の鉛直分布性質、その2、台風時の強風、日本風工学会誌、No.66, pp.3-14, 1996
- 6-Ishizaki, H.: Wind Profiles, Turbulence Intensities and Gust Factors for Design in Typhoon-prone Regions, J. Wind Eng. And Ind. Aerodyn., vol.13, pp.55-66, 1983

(2003年11月4日・受付)