九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

台風通過時での九州内山岳地送電線路周辺地域の強 風分布 : 周辺観測値の利用と気象モデルWRFによる 推定

竹村, 明人 九州大学人間環境学研究院都市·建築部門:受託研究員

田村, 直哉 九州大学大学院人間環境学府都市共生テザイン専攻:修士課程

友清, 衣利子 九州大学人間環境学研究院都市·建築学部門

前田, 潤滋

九州大学人間環境学研究院都市・建築学部門

https://doi.org/10.15017/1515765

出版情報:都市・建築学研究.26, pp.23-28, 2014-07-15.九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築 学部門 バージョン: 権利関係:

台風通過時での九州内山岳地送電線路周辺地域の強風分布 一周辺観測値の利用と気象モデルWRFによる推定一

Strong Wind around Transmission Lines in Kyushu Mountainous Terrains — Application of Wind Measured and Estimated using Meteorological Model WRF —

竹村明人*,田村直哉**,友清衣利子***,前田潤滋***

Akito TAKEMURA, Naoya TAMURA, Eriko TOMOKIYO and Junji MAEDA

The structural design of transmission line requires wind information related to severe wind load. However, wind data which were observed only over short periods at a transmission line in high altitude mountainous terrain is not sufficient. For the purpose of estimation of strong wind around transmission lines which are built straddling Miyazaki Prefecture and Oita Prefecture, We analyzed correlation between wind record observed at a line and at its nearby observation points, because of utilizing long-term wind record at the surrounding points effectively. As a result, we found that high correlation between wind at the transmission line and nearby points in case of specific wind speed and direction. In addition, we reproduced wind distribution around the transmission lines caused by Typhoon Usagi(0705) using the meso-scale atmospheric model WRF. The winds measured at several transmission lines corresponded well to estimated winds using the model.

Keyword: Wind Measurements, Transmission Tower, Topographic Effects, Uplift wind, WRF 風況分析、送電用鉄塔、地形因子、吹上風、WRF

1 はじめに

送電用鉄塔に作用する風荷重には、鉄塔自身への荷重の 他に送電線に作用する荷重がある。一般に送電線路は径間 長が一定でなく、水平角や送電線の支持点高低差を有する 場合が多い。このような線路に風荷重が作用すると、風向 や風の乱れ等により鉄塔の両側径間の風荷重分布が異なり 両側径間の送電線張力の差、すなわち不平均張力荷重が発 生する。この不平均張力荷重の大きさは鉄塔両側の径間長 や送電線の水平角、あるいは支持点高低差等の架線条件に より異なることが知られている¹⁾²³。さらに、高標高山岳 地を通過する送電線路(以下、高標高送電線路)では、送 電線の支持点高低差が非常に大きくなって、支持鉄塔に対 する厳しい架線条件が発生することが想定される。山岳地 で予想される送電線への吹上風の作用なども大きな不平均 張力荷重を発生させる⁴。

したがって、急峻な山岳地を通過し、架線条件の過酷な 高標高送電線路周辺における風況分析は送電線路を建設す る上で重要な課題となる。しかしながら、高標高送電線路 の建設予定地周辺での事前の気象観測を十分な期間で実施 することは困難であるため、近隣の気象官署等の長期にわ たる風観測記録や気象モデルを用いた風況シミュレーショ ンの利用が考えられるが、そのためには、現地観測地と近

*	都市・	建築学部門	受託研究員
---	-----	-------	-------

- ** 都市共生デザイン専攻 修士課程
- *** 都市・建築学部門

隣気象観測地との風状況の相関性やシミュレーション結果の検証が必要である。

1,000m を超える高標高かつ急峻な山岳地を通過する送電 線路は九州にも複数存在する。本論では九州内で建設が予 定されている宮崎県と大分県を跨がる高標高送電線路周 辺の風況把握と推定を目的に、山岳地の送電鉄塔に設置し た風観測システムによる観測記録と近隣観測地での記録と の相関性を分析するとともに、気象モデル WRF を用いて推 定した台風 0705 号(2007 年)通過時の強風分布と地上観測 値との比較検証を報告する。

2 高標高送電線路の概要と周辺の風観測システム

2.1 高標高送電線路の標高例

図1は上述の宮崎県と大分県を跨がる高標高送電線路で、 この送電線路は500mを超える箇所が線路全体に点在し、鉄 塔番号No273~No276は標高が約1,000mに達する。また、No. 269からNo273までの径間長の合計1,760mに対して、標高 差550mの斜面を上がっており、高標高かつ急峻な山岳地を 通過することが分かる。

2.2 風観測システムの概要

図1に示す高標高送電線路のうち最も標高の高い区間周辺の風況把握を目的に現地風観測システムを既設の小丸川 幹線№5鉄塔に設置し、3成分超音波風速計を用いて風速の 水平と鉛直成分を取得した。 以下では、同観測システムの観測記録から2011年9月~2012年9月までの約1年間のデータを風況分析の対象とする。ここでは、サンプリング周波数1Hzで測定した値の10分間平均値を用いた。

観測位置周辺の地形状況を図2に示す。建設予定の鉄塔 No.273~No.276 が走る標高約1,000mの最も標高の高い区 間と観測地(小丸川幹線No5)との距離は約4kmである。図 3に風速計の設置概要を示す。風速計設置標高は728mで、 周囲は樹木に囲まれた山岳地であるが、鉄塔主柱材の地上 高30mに設置されているため、周囲の樹木よりも十分高い。

3 観測結果と風況分析

3.1 小丸川幹線No.5 の観測結果

図4に小丸川幹線No5における水平と鉛直方向の10分間 平均風速の時刻歴波形(2011年9月~2012年9月)を示す。 図4(a)の水平方向の風速は年間を通して10m/sを超える場 合があるが、図4(b)の鉛直方向の風速の大きさは吹上・吹



図2 小丸川幹線No.5 周辺の鳥瞰図



図3小丸川幹線No.5の風速計設置概要図

下ともに風速 6m/s を超えることはなかった。

また、図4(a)と(b)の両図において2012年8月1日に、 水平と鉛直方向の風速がそれぞれ18m/sと5m/sを超え(図 中①)、他の日付の風速と比べて突出している。これは南九 州に接近した台風1210号による影響である。図4(b)より、 その時の鉛直方向の風速は吹下風よりも吹上風が顕著であ ることが分かる。

3.2 小丸川幹線№5の風向・風速別出現率

図5に2011年9月~2012年9月における10分間平均風 速の風向別の出現率を示す。図5(a)は5m/s毎の、図5(b) は1.5m/s毎の風向別風速出現率である。

図 5(a) より、風速 10~15 m/s と 15~20m/s では、北東~ 東北東の出現率が高く、風速 0~5m/s と 5~10m/s では、北 北東~北東に加えて反対方向の南南西~南西の出現率が高 いことが分かる。

図5(b)の鉛直方向風速でも、図5(a)と類似した傾向を示 し、風速3.0~4.5m/sと4.5~6.0m/sでは、北東~東北東 の出現率が高い。また、風速3.0m/s未満では、北東~東北 東に加えてその反対方向の南南西から南西間の出現率が高 い。図2の小丸川幹線No5の周辺地形では、北東から南西方 向にかけて走る尾根筋が上記の水平方向と鉛直吹上方向の 風速出現率に影響し、小丸川幹線No5での高風速の風は北東 ~東北東の尾根筋に沿っていると判断できる。

3.3 近隣観測地との相関

現地観測の小丸川幹線No.5 と近隣観測地の水平方向の風 向風速との相関関係を調査した。またここでは、小丸川幹 線No.5 から 4km 離れた杖木山に別途設置された観測用ポー ルの風車型風向風速計(地上高10m,標高1,001m)の記録も利 用する。図 6 に小丸川幹線No.5 を中心として、東西南北 4 方向における最寄りの気象観測所(気象庁) と NeWMeK(九州 電力㈱広域高密度風観測システム)⁵⁾および他点に比べて至



近距離の杖木山の風観測地の位置、またそれぞれの風速計の設置標高と地上高さを示す。小丸川幹線No.5から杖木山まで約4km、他4箇所まで16km~21kmの距離にある。

図7は小丸川幹線No5の観測風速と図6に示す近隣観測地 での風速との関係を示すもので、図8(a)は風速5m/s毎の小 丸川幹線No5の観測風速と近隣観測地の風速との2011年9 月~2012年9月での相関係数である。図7に示す全観測地 との関係において、5m/以下の小丸川幹線No5の風速との相 関は見られず、図8(a)に示す風速別の相関係数は0.2程度 と小さい。図7(b)の都農では、小丸川幹線No5の風速が7m/s 程度から大きくなるに伴い、都農の風速も大きくなってい る。図8(a)の相関係数は5~10m/sで他の観測地と比較して 最も大きく、0.4を超える。また、図7より風速15~20m/s の範囲では測定値個数は少なくなるが、図8(a)の相関係数 は、神門で0.6を超え、西都、西米良および杖木山では0.4 を超えており、風速が低い場合よりも相関が高いことが分 かる。

図 8(b)に小丸川幹線No.5 の観測風速と近隣観測地の風速 との相関係数を風向別に示す。図 8(b)より小丸川幹線No.5 での北と東北東方向の観測風速は都農との相関係数が 0.6 以上となり、最も高い値を示した。

以上のことから、高標高送電線路のうち最高標高区間周 辺の風況把握を目的とした小丸川幹線No.5鉄塔の観測はわ ずか数年の実施期間であるが、近隣観測点での観測記録か



(設置標高、設置高さ)
(18m、10.0m)
※1:気象庁気象観測所 ※2:NeWMeK ※3:高標高送電線路の風況把握用
図6 近隣観測地の位置図と風速計設置標高・高さ

ら最高標高区間周辺の一般的な風況を推定できると考えられる。



4 気象モデル WRF を用いた台風 0705 号通過時の風況推定 4.1 計算概要

台風による風況推定手法の一つに気象モデルを用いた風 速場の再現シミュレーションがあるが、台風を再現する有 カなツールとして気象モデル WRF⁶⁾ (Weather Research and Forecasting) が多用されている。WRF は米国国立大気研究 センターを中心に開発が進められているメソ気象モデルで、 大気境界層、積雲、雲微物理および放射過程等の大気や熱 力学における様々な物理過程を含んだ非静力学・完全圧縮 モデルである。以下では、WRF の計算結果の有効性を検証す るため、上述の宮崎県と大分県の高標高送電線建設予定地 を通過した台風 0705 号の NeWMeK5 記録と比較検証する。WRF の計算条件を表1に、計算領域を図9に示す。図9に示す ように、計算領域 d1 の水平格子間隔を 5km とし、台風が海 面からの熱エネルギーを受けて十分に発達するよう考慮し て、台風の進路となる南側を広範囲に設定した。また、計 算領域 d2 の水平格子間隔を 1km とし、風速を推定する九州 本土を覆う範囲に設定した。d1 と d2 の計算期間を台風が九 州を通過した時間帯を含んだ 66 時間と 24 時間とし、初期 値・境界値に NCEP (国立環境予測センター)の全球客観解析 データ(NCEP-FNL)を用いた。

4.2 計算結果の評価

(1) 台風中心進路

図9にWRF計算結果と気象庁が実測値等を元に精査した 最終解析結果(ベストトラック)の台風中心進路を示す。図9 では、九州本土に接近する前のWRF計算結果の進路はベス トトラックと若干差があるが、上陸前及び上陸後は差が小 さくなっている。また、8/2の18:00時点のWRF計算結果は 上陸直前であるのに対し、ベストトラックでは既に上陸し ており、WRFの台風の進行速度はベストトラックよりもやや 遅い。

図 10 は上陸前の地上 10m 相当の気圧面高さにおける WRF 計算結果の風向風速分布の例を表す。図 10 では台風の回転 性の強風場が形成され、海上や山岳地等で強風域が形成さ れている様子が分かる。

(2) NeWMeK による実測値との比較

図 11 に WRF 計算結果と比較した NeWMeK の観測位置を示 す。NeWMeK は九州全域に 123 観測点を有するが、故障等に よる欠測箇所を除いた 115 箇所を比較対象とした。NeWMeK の観測値には鉄塔頂部に設置された風車型風向風速計出力 をサンプリング周波数 4Hz で記録した値の 10 分間平均値を 用いた。115 箇所の風速計設置の平均地上高は 50m で周囲の 建物や人工物等の影響を受け難い。WRF の風向・風速は気圧 面高さ毎に算出される。このため、比較に用いた WRF 計算 結果の風向・風速は、対象とした NeWMeK の 115 箇所それぞ れの風向風速計設置高さに、至近の気圧面高さの風向・風 速値を線形補完した値とした。

115 箇所の内、台風 0705 号の進路と宮崎県と大分県の高 標高送電線路に近い箇所(図 11 の観測位置 L1~L4)の NeWMeK 実測値の 10 分間平均と WRF の風向・風速の 10 分毎 の計算値を時刻歴変化として図 12 に示す。風向の時間変化 では、図 12 の L1~L4 のいずれも WRF 計算結果は NeWMeK 観 測値に良く対応している。さらに山間部に位置する L1 やL2



図9 WRF 計算領域及び計算結果と気象庁ベストトラックの台風中心進路



およびL3の風速では、波形の時間的なずれや同時刻での値 に若干の差異はあるものの24時間内における計算結果は NeWMeK 観測風速の最大値をよく再現しており、表1に示す ように、1kmとした計算領域d2の水平格子間隔のWRFモデ ルが地形の影響を適切に評価できていると言える。一方、 海岸に近い位置L4の風速では、WRFの風速の最大値は NeWMeK 観測値に比べて小さい。本論では割愛しているが、 台風上陸地点から数+kmの範囲かつ海岸から5km以内の地 点では、L4と同様にWRFの風速の最大値はNeWMeK 観測値に 比べて小さくなる傾向がある。これは、1kmメッシュ内の陸 地と海上の境界での標高差や土地利用情報をもとに定めた 粗度区分が実際の急峻な変化を十分に捉えていないなどの 理由が考えられる。

図 13 に台風 0705 号の通過中に NeWMeK で観測された風 速の最大値と WRF の風速の最大値の関係を示す。図 13 で は、WRF の風速が 20m/s を超えるあたりから、NeWMeK の風 速の最大値がWRFより大きくなる傾向にあるものの、両者の相関係数は 0.63 で相関有りと判断でき、WRF モデルを用いた風速推定の有効性が検証できた。

4.3 台風通過時の高標高送電線路の強風推定

図 14 に台風 0705 号通過期間における高標高送電線路の 全鉄塔位置における WRF 計算結果の風速を示す。ただし、 前述のように WRF モデルでは指定した気圧面での風速が得 られるので、送電線路鉄塔の地上高 80mに近い気圧面高さ の風速を線形補完した。また、図中横軸の鉄塔番号は大分 県側のルート端をNo.1 とし、宮崎県側のルート端をNo.285 と 表記したものである。図 14 に示すように台風上陸(8/2 18:00)前に注目した高標高線路全域を通して比較的強い風 が吹き、特に鉄塔番号No.144、160、207、254 および 276 付 近で風速 20m/s 以上の強風が吹いたことが分かる。No.144 と No. 276 の風向・風速の時刻歴変化を図 15 に示す。図 15 (a) と(b)から分かるように、台風上陸の 8/2 18:00 以前に風速



20m/s を超える風が出現しており、特に標高1,007mのNo276 では、風速30m/s に近い強風となる。また、図15(a)と(b) において20m/sを超える風速の風向は北北東〜北東であり、 図2に示すようにNo276では尾根筋方向となることが分か る。

以上のように、気象モデル WRF を用いた風況計算は高標 高送電線路付近での強風を十分に再現できると考えられる。

5 まとめ

宮崎県と大分県を跨る建設予定の高標高送電線路のうち 最高標高区間周辺の風況把握を目的に、小丸川幹線No5鉄塔 に設置した風観測システムの風況と近隣観測地との相関を 分析するとともに、気象モデルWRFを用いて高標高送電線 路を通過した台風 0705 号通過時の風速推定を行った結果、 以下の所見が得られた。

- (1) 短期間の観測ではあるが、宮崎県の小丸川幹線№5 付近では、水平方向と鉛直吹上方向の風速が大き い風は、いずれも北東〜東北東方向の出現率が高 くなっており、海岸から尾根筋に沿って吹いてい ることがわかった。
- (2) 小丸川幹線No5を囲む21km 圏内の近隣の観測地との風速の相関について、風速の大きさ別では、15~20m/sの範囲で神門との相関係数が最も大きく、風向別では北〜東北東方向において、注目地点の風上に位置する都農との相関係数が最も大きく、風上観測点での観測記録から注目地点での風況が 推定できると考えられる。



- (3) 台風0705 号通過時におけるWRF 計算結果と実測値 を比較した結果、風向は良く対応した。風速最大 値の相関について調べた結果、WRF 計算結果は高風 速域でNeWMeK 実測値に比べて小さくなる傾向を示 したが、相関係数は0.63 と相関が有り、WRF モデ ルの風速推定の有効性が検証できた。
- (4) WRF 計算結果を用いて、台風 0705 号通過時の高標 高送電線路の鉄塔位置における強風推定を行った 結果、台風上陸前に風速 20m/s を超える箇所が複 数あった。特に標高 1,000m を超える鉄塔番号 276 においては、風速 30m/s に近い値を示し、高標高 送電線路における強風が再現された。

謝辞

本研究は、九州電力株式会社との共同研究「台風による局所的気象現象が 鉄塔強度に及ぼす影響に関する研究」において行われたものである。関係各 位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 本村禎浩、鶴則生、石田伸幸、森本康幸、前田潤滋:送電線張力の変 動特性に関する研究、都市・建築学研究「九州大学大学院人間環境学 研究院紀要第7号」、pp55-62、2005.1
- 2) 本田誠、森本康幸、池田健一郎、岡延夫、前田潤滋: 強風時不平均張 力に及ぼす送電懸架方式の影響について-耐張型および懸垂型送電鉄 塔に及ぼす風荷重特性について-、第16回風工学シンポジウム論文集、 pp471-476、2000.11
- 3) Yasuyuki Shuto, Takeshi Aoki, Junji Maeda, Liu Changda, Kazuhiro Otsubo : NON-BALANCED TENSION LOAD OF CONDUCTORS ACTING ON TRANSMISSION TOWERS RUNNING ALONG SUPPORTS OF DIFFERENT HEIGHT, The 19th Conference of the Electric Power Supply Industry, C548, October, 2012
- 4) 劉暢達、首藤康之、前田潤滋:送電鉄塔の電線不平均張力荷重に及ぼ す吹上風の影響、第22回風工学シンポジウム論文集、pp323-328、 2012.12
- 5) 前田潤滋、石田伸幸:広域高密度風観測システムによる強風分布特性 のモニタリング、第14回風工学シンポジウム論文集、pp1-6、1996.12

6) MMM-NCAR : ARW Version 3 Modeling System User's Guide July 2012.



の風向・風速時刻歴変化例(地上高 80m 補完値)

⁽受理:平成26年5月29日)