

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デザイン専攻：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 — 周辺観測値の利用と気象モデルWRFによる推定 —

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⁾²⁾³⁾。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

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No.273~No.276は標高が約1,000mに達する。また、No.269からNo.273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No.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。

* 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

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No.5)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、鉄塔支柱材の地上高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No.5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

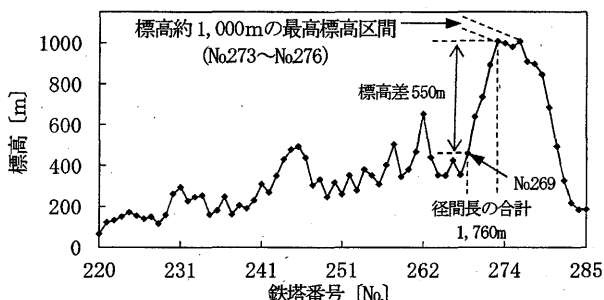


図1 高標高送電線路(建設予定)の標高

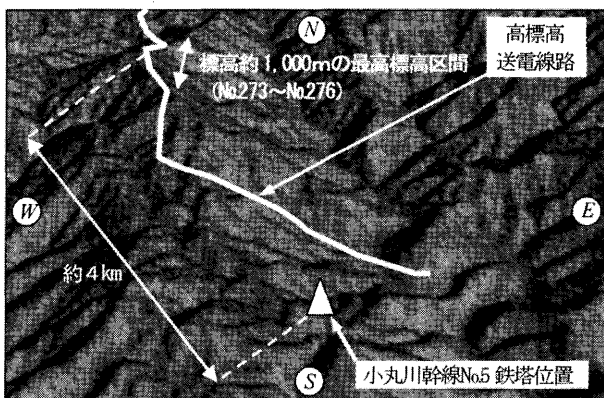


図2 小丸川幹線No.5周辺の鳥瞰図

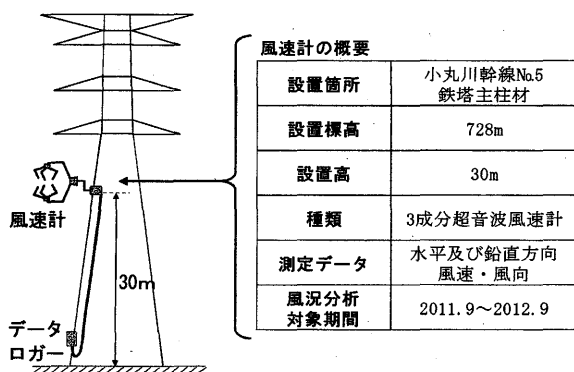


図3 小丸川幹線No.5の風速計設置概要図

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No.5の風向・風速別出現率

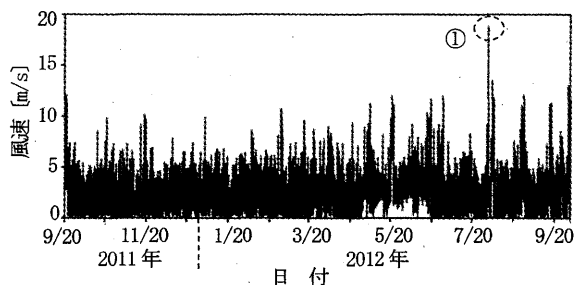
図5に2011年9月～2012年9月における10分間平均風速の風向別の出現率を示す。図5(a)は5m/s毎の、図5(b)は1.5m/s毎の風向別風速出現率である。

図5(a)より、風速10～15m/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。

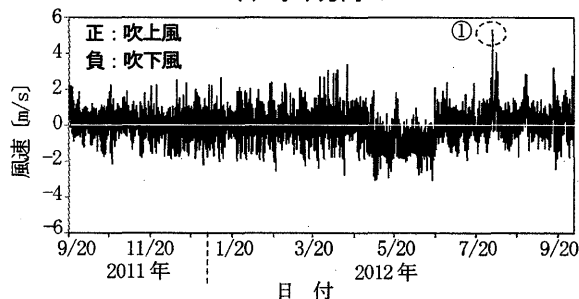
図5(b)の鉛直方向風速でも、図5(a)と類似した傾向を示し、風速3.0～4.5m/sと4.5～6.0m/sでは、北東～東北東の出現率が高い。また、風速3.0m/s未満では、北東～東北東に加えてその反対方向の南南西から南西間の出現率が高い。図2の小丸川幹線No.5の周辺地形では、北東から南西方向にかけて走る尾根筋が上記の水平方向と鉛直吹上方向の風速出現率に影響し、小丸川幹線No.5での高風速の風は北東～東北東の尾根筋に沿っていると判断できる。

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ボ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(九州電力株広域高密度風観測システム)⁵⁾および他点に比べて至



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図4 小丸川幹線No.5の10分間平均風速の時刻歴波形

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No.5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No.5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No.5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No.5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

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。

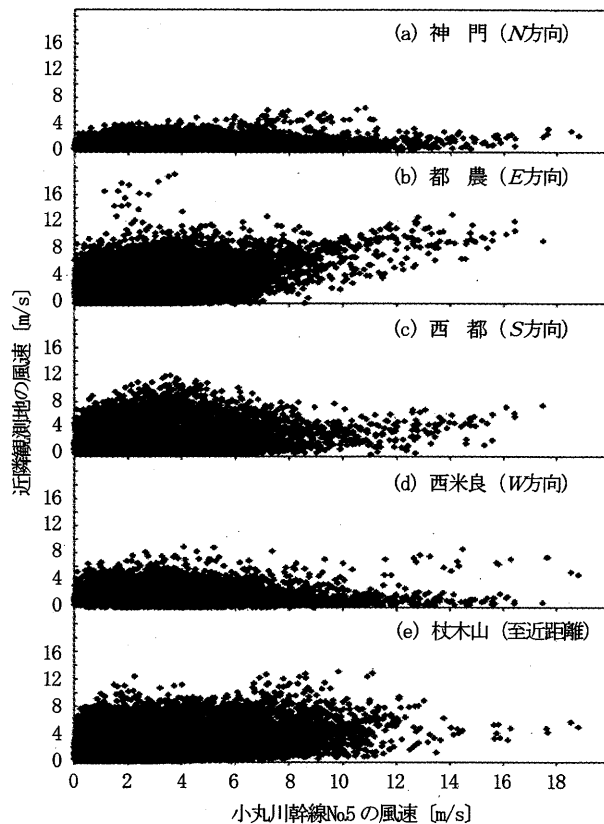


図7 小丸川幹線No.5と近隣観測地における風速の関係

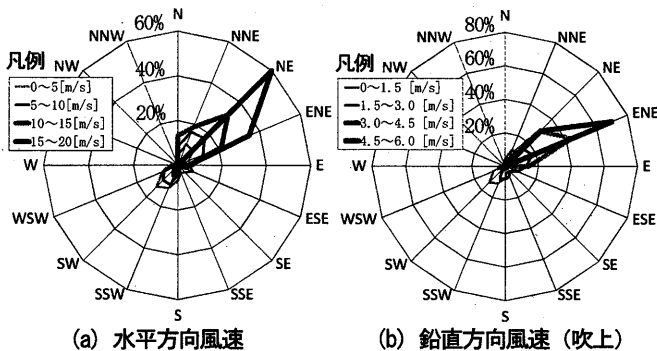
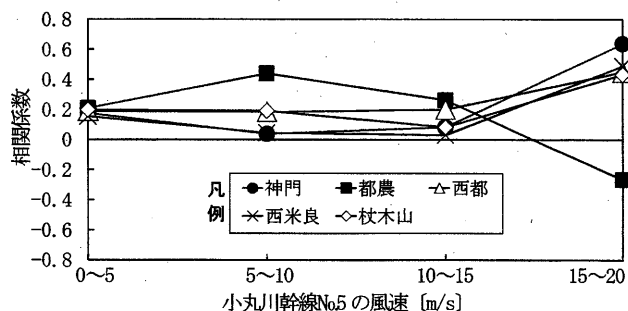
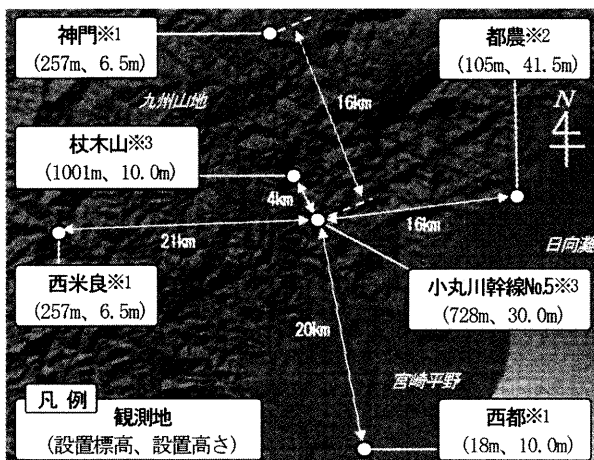


図5 水平及び鉛直方向風速の風向・風速別出現率

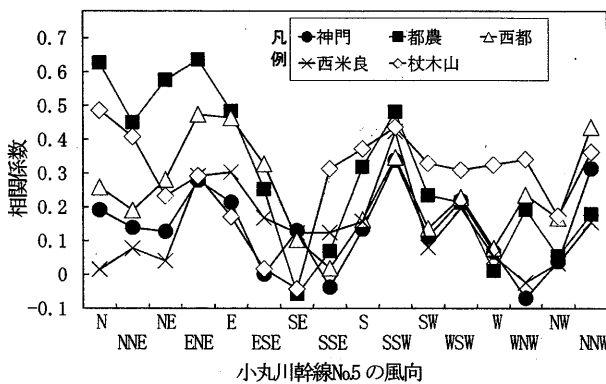


(a) 風速の大きさ別の風速相関係数



※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



(b) 風向別の風速相関係数

図8 小丸川幹線No.5と近隣観測地間の風速の相関係数

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、台風を再現する有力なツールとして気象モデル WRF⁹⁾ (Weather Research and Forecasting) が多用されている。WRF は米国国立気象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 NeWMeK⁹⁾ 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く設定した。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入陸しており、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、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

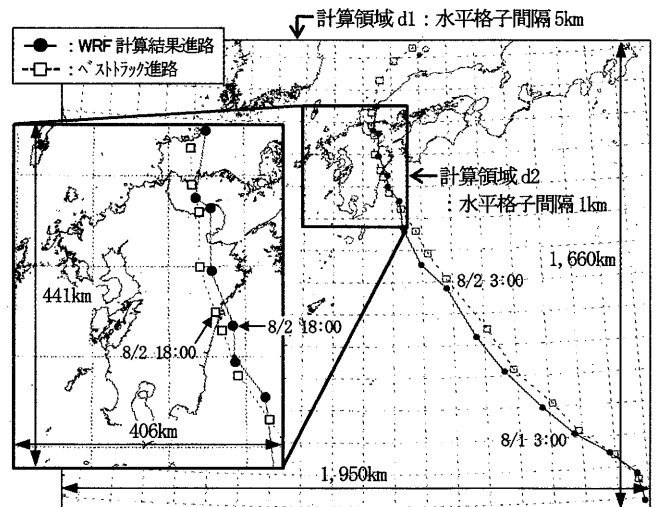


図 9 WRF 計算領域及び計算結果と気象庁ベストトラックの台風中心進路

表 1 WRF の計算条件

項目	計算条件
計算期間	d1: 2007/7/31 9:00 ~ 8/3 3:00 (66h) d2: 2007/8/2 3:00 ~ 8/3 3:00 (24h)
初期値・境界値	NCEP 全球客観解析データ (NCEP-FNL)
鉛直格子数	40 層
結果出力間隔	d1: 60 分, d2: 10 分
水平格子間隔	d1: 5km, d2: 1km
タイムステップ	30 秒
地形・標高・土地利用 (解像度)	d1: 約 19km, d2: 約 1km
大気境界層過程	Mellor-Yamada-Janjic
接地境界層過程	Monin-Obukhov
雲微物理過程	WRF Single-Moment 3 class
放射過程	RRTM (長波) / Dudhia (短波)
地表面過程	Noah LSM
積雲パラメータ化	Kain-Fritsch
ナッジング	有 (グリッドナッジング)

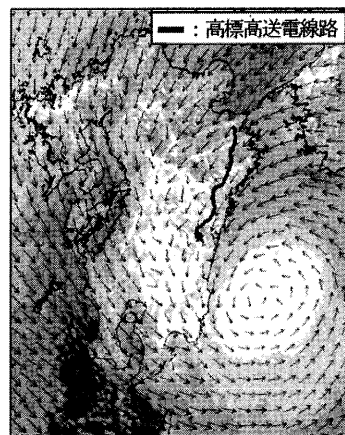


図 10 地上 10m 相当の気圧面高さにおける WRF 計算結果の風速と風速ベクトル例

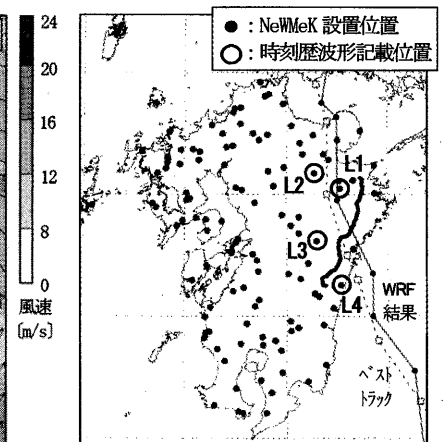


図 11 WRF 計算結果と比較した NeWMeK 設置位置 (115 箇所)

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十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で相関有りとは判断でき、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

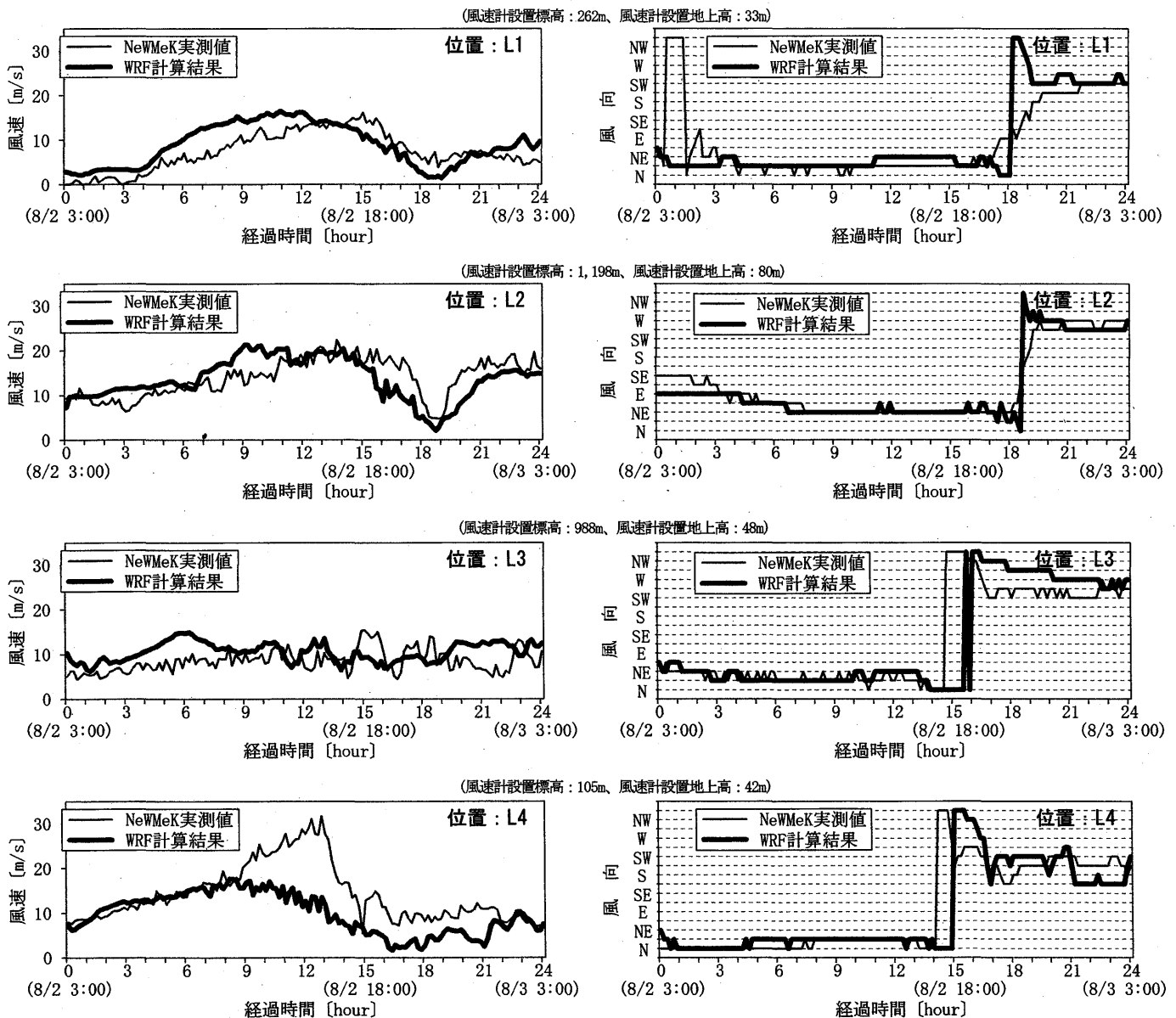


図12 位置L1~L4におけるNeWMeK実測値(10分間平均)及びWRF計算結果(10分毎の出力値)の風向・風速時刻歴変化例

20m/s を超える風が出現しており、特に標高 1,007m の No.276 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 No.276 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 No.5 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 No.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 No.5 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。

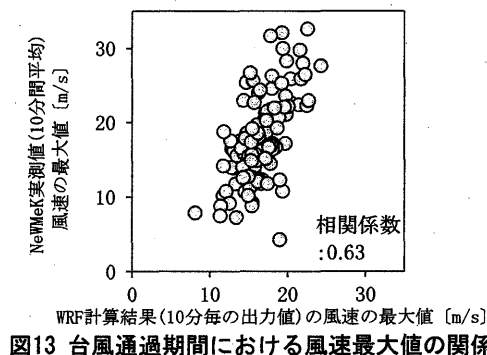


図13 台風通過期間における風速最大値の関係

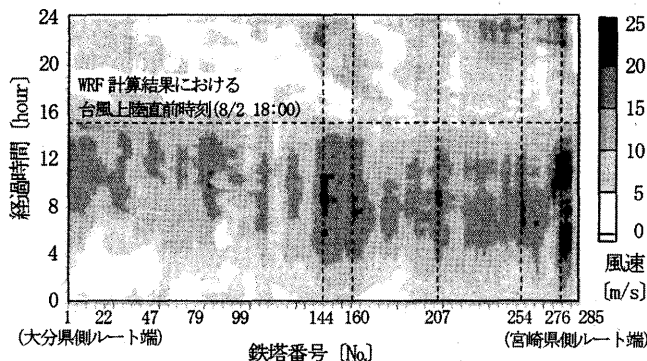


図14 高標高送電線路の各鉄塔位置における WRF 計算結果の風速 (地上高 80m 補完値)

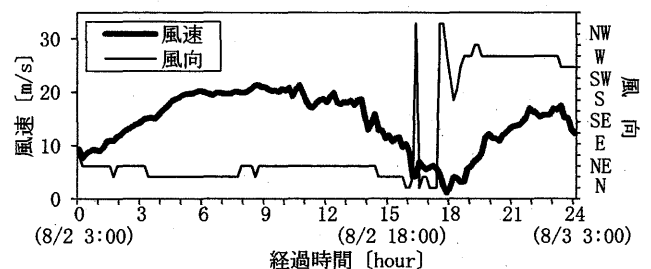
- (3) 台風 0705 号通過時における WRF 計算結果と実測値を比較した結果、風向は良く対応した。風速最大値の相関について調べた結果、WRF 計算結果は高風速域で NeWMeK 実測値に比べて小さくなる傾向を示したが、相関係数は 0.63 と相関が有り、WRF モデルの風速推定の有効性が検証できた。
- (4) WRF 計算結果を用いて、台風 0705 号通過時の高標高送電線路の鉄塔位置における強風推定を行った結果、台風上陸前に風速 20m/s を超える箇所が複数あった。特に標高 1,000m を超える鉄塔番号 276 においては、風速 30m/s に近い値を示し、高標高送電線路におけ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

謝辞

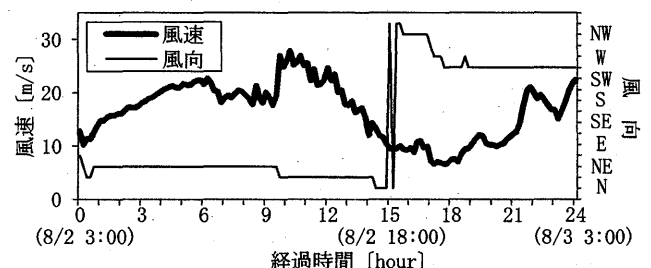
本研究は、九州電力株式会社との共同研究「台風による局所的気象現象が鉄塔強度に及ぼす影響に関する研究」において行われたものである。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 本村浩治、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) 劉賜達、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) MM5-NCAR : ARW Version 3 Modeling System User' s Guide July 2012.



(a) 鉄塔番号No.144 (地盤標高: 599m)



(b) 鉄塔番号No.276 (地盤標高: 1,007m)

図15 WRF 計算結果のうち高標高送電線路の強風発生箇所の風向・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)