

気象モデルWRFによる台風9918号通過時の送電鉄塔周辺の強風再現性

竹村, 明人
九州大学人間環境学研究院都市・建築学部門 : 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/10.15017/1560197>

出版情報 : 都市・建築学研究. 27, pp.37-42, 2015-01-15. 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 :

気象モデル WRF による台風9918号通過時の送電鉄塔周辺の強風再現性

Estimation of Strong Wind around Transmission Towers Caused by Typhoon BART using Meso-scale Atmospheric 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 wind load design of transmission lines requires the information of strong wind caused by a typhoon. The information in a mountainous area, where wind observation data are not sufficient, is to be made by a computational simulation. Although WRF, one of meso-scale atmospheric models, is said to be most useful for reproducing a wind distribution associated with a typhoon, it is known that the calculation conditions of WRF model affect strongly the accuracy of the wind estimation. This paper discussed the best parametric combination of WRF by comparing the model results with the track and central pressure of typhoon BART (No.18 in 1999) determined by Japan Meteorological Agency and the wind data observed by Network of Wind Measurement of Kyushu, NeWMeK.

Keyword: Typhoon Simulation, Transmission Tower, WRF, Topographic Effects

台風シミュレーション、送電用鉄塔、WRF、地形因子

1 はじめに

山岳地を通過する高圧送電線路では、送電線の支持点高低差や径間長差が大きくなることがある。この場合、風向や風の乱れ等により鉄塔の両側径間の風荷重の差に起因する両側径間の送電線張力の差（不平均張力荷重）が支持鉄塔に作用する^{1)~4)}。この不平均張力荷重によって支持鉄塔に厳しい架線条件が生じ得るため、送電線路の保守・建設には周辺の風況把握が不可欠である。また、送電鉄塔の損壊などをもたらした台風通過時の風速等の記録は保守保全や新規鉄塔設計への反映などに重要な役割を担うが、気象観測網が不十分な地域では、台風シミュレーション等による強風域の再現に頼らざるを得ない。有力なツールとして知られる WRF⁵⁾ (Weather Research and Forecasting) による台風再現の報告は多数あるが、計算条件がシミュレーションの再現精度に大きな影響を及ぼすことが指摘されている⁶⁾。しかしながら、再現された台風の強風値と実測値を比較した報告⁷⁾は限られているため、台風進路や中心気圧の再現精度の高い計算条件を見出して、気象モデルによる風向・風速を実測値と比較した強風の再現情報を蓄積していくことが求められている。

本報では、2007年の台風5号を対象に WRF モデルでの

風向風速を検討した前号⁸⁾に続いて、熊本県宇土市などで複数の鉄塔倒壊事故をもたらした1999年の台風18号(以下、台風9918号)を対象に、WRFモデルによる台風シミュレーションのパラメトリックスタディを実施し、台風の進路と中心気圧の再現精度に関する検討を行った。さらに、再現性の高かった計算条件については、九州エリアの水平格子間隔の分割解像度を上げるなどした、より詳細な分析で得られた風向風速を実測値と比較検証した。

2 台風進路と中心気圧の再現に関する検討

2.1 WRF の計算概要

2.1.1 計算期間と使用データ

表1に示すように、地形と標高および土地利用データに USGS (米国地質調査所) の24分類土地利用とそれに対応する地表面パラメータの10分データ(以下、usgs10min)を用いた。初期値と境界値には NCEP (米国環境予測センター) の6時間毎の客観解析データを与えたが、このデータは解像度が1°と粗いため、台風中心付近の大きな気圧勾配が十分には再現できず台風強度が弱まる場合がある。以下では鈴山ら⁹⁾の方法を参照し、台風として十分発達するように助走期間を2日間設け、計算期間を台風が低緯度に位置し発達段階であった時期から九州通過時期までの1999年9月21日9時~1999年9月24日9時(JST)の72時間とした。計算領域は九州地域を含む1950km×1650kmで、台風の進路

* 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

となる南側を広く囲む範囲とした(図1)。

2.1.2 計算条件の組み合わせ

本報では、水平格子間隔と Nudging³⁾の有無、および物理過程(雲微物理過程と積雲パラメタリゼーション)を組み合わせて計6ケースを設定し、各パラメータが台風進路と中心気圧(海面更正值)の再現に与える影響を調べた。本報における各ケースの計算条件を表2に示す。

2.2 気象庁最終報告との比較

2.2.1 台風進路

図2に、台風9918号の進路に関連する気象庁の最終報告(以下、気象庁ベストトラック)と各計算ケースで得られた台風進路を示す。各計算ケースでの進路結果は大きく異なっており、表2に示すCase1とCase2およびCase6では、進路は常に北側へ逸れていることが分かる。Case5では、上陸までの進路はよく一致しているが、その後北側へと進行方向がずれる。Case3の進路は気象庁ベストトラックに近いが、上陸後の移動速度が極端に速くなっており、実際とは異なる。結果として、積雲パラメタリゼーションにBMJスキームを用いたCase4の進路が比較的良好であった。表3(a)は、助走期間を除いた1日間(1999年9月23日9時~24日9時)の各ケースの計算結果と気象庁ベストトラックの

進路との二乗平均平方根誤差(RMSE)値を示しており、同表からもCase4の誤差が最も小さく、再現性が高いと判断した。

2.2.2 台風中心気圧の変化

図3に計算期間中の気象庁ベストトラックと各計算ケースでの台風中心気圧の時刻歴変化を示す。Case3では、助走期間中の変化がほとんどなく、ほぼ一定の値を推移しているのに対し、Case1とCase2およびCase6では、助走期間中に中心気圧が大きく低下した。特に水平格子間隔が5kmで、積雲パラメタリゼーションと雲微物理過程の組合せがKFとWSM3のCase2とWSM6のCase6は気象庁ベストトラッ

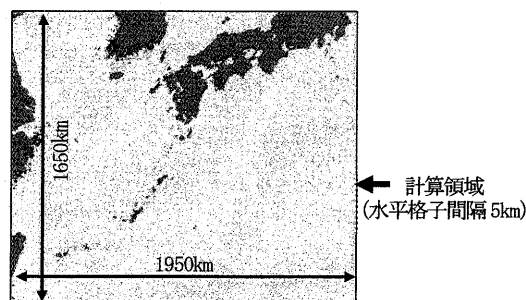


図1 計算領域

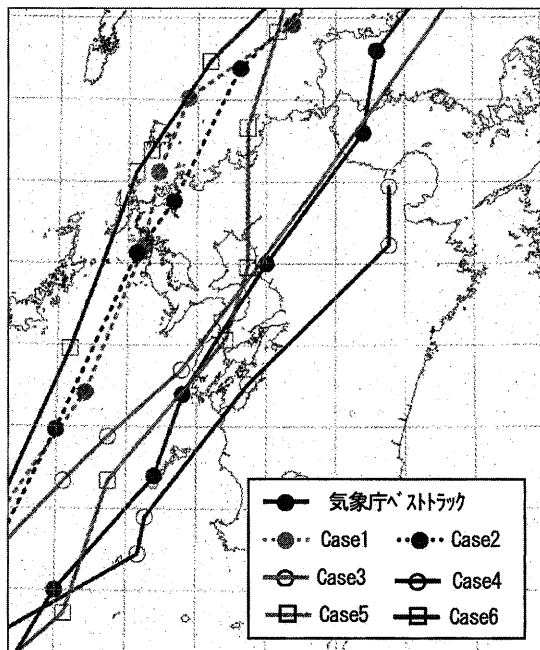


図2 九州周辺における気象庁ベストトラックと各計算ケースの台風進路

表3 気象庁ベストトラックに対する各計算ケースの誤差のRMSE値(23日9時~24日9時)

(a) 台風進路の誤差(単位:km)

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
RMSE	109.8	98.0	85.7	62.4	85.3	135.7

(b) 中心気圧の誤差(単位:hPa)

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
RMSE	15.2	7.2	48.6	29.2	36.1	5.0

表1 計算期間及び使用データ

計算期間	1999年9月21日9時~1999年9月24日9時(JST、72時間)
初期値・境界値	NCEP-FNL(NCEP)
地形・標高・土地利用データ	usgs10min(USGS)

表2 各ケースにおける計算条件

計算ケース	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
水平格子間隔	10km	5km				
水平格子数	195×165	390×330				
計算領域	1950km×1650km					
鉛直層数	40					
タイムステップ	水平格子間隔(km) × 6(sec/km)					
雲微物理過程	WSM3					WSM6
長波放射過程	RRTM scheme					
短波放射過程	Dudhia scheme					
接地層過程	Eta Similarity					
地表面過程	Noah Land Surface scheme					
大気境界層過程	MYJ					
積雲パラメタリゼーション	KF		BMJ		GD	KF
Nudging	なし		あり		なし	

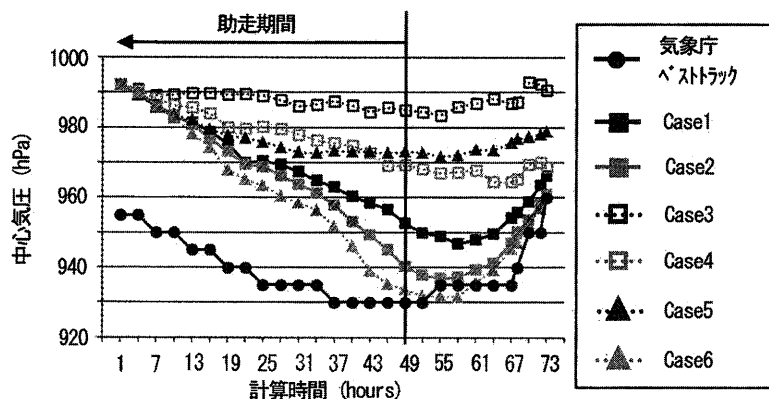


図3 気象庁ベストトラックと各計算ケースの中心気圧(海面更正值)の時刻歴変化

クに近い値となった。Case4 と Case5 でも台風の進行に伴う気圧の低下を再現しているが、気象庁ベストトラックとの差は大きい。表 3(b)は、同表(a)と同様に助走期間を除いた1日間の各ケースの計算結果と気象庁ベストトラックの中心気圧のRMSE 値を示しており、Case2 と Case6 の誤差が小さく、中心気圧の再現性が高いことが分かる。また、表 3(a)より両者の進路誤差は Case2 の方が小さい。

3 台風通過時の強風再現性の検証

本節では、台風 9918 号の進路の再現性が高かった計算条件 (Case4) と中心気圧の再現性が高かった計算条件 (Case2) について、九州エリアの水平格子間隔の分割解像度を上げて、WRF による計算で得られた風向と風速を実測値と比較検証する。

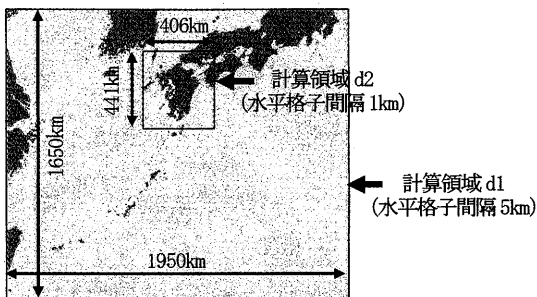


図4 計算領域

表4 WRF の計算条件等※1

項目	計算条件	
	Case4'	Case2'
計算期間	d1 : 1999/9/21 9:00 ~ 9/24 15:00 (78h) d2 : 1999/9/23 15:00 ~ 9/24 15:00 (24h)	
結果出力間隔	d1 : 60分、d2 : 10分	
水平格子間隔	d1 : 5km、d2 : 1km	
地形・標高・土地利用(解像度)	d1 : 約19km、d2 : 約1km	
積雲パラメトリゼーション	BMJ (d1のみ)	KF (d1のみ)

※1 上記以外の計算条件は、表1、表2と同様

3.1 WRF の計算概要

表4にWRFの計算条件を、図4に計算領域を示す。表2のCase4とCase2に対応する条件を改めてCase4'とCase2'と表記する。計算領域d1は前項2の図1と同様に水平格子間隔5kmであるが、本報では、ネスティング¹⁰⁾を用いて九州を覆う範囲で水平格子間隔1kmの計算領域d2を設定した。d1の計算開始日時は前項2と同じであるが、台風が九州に上陸してから十分に離れるまでの期間を考慮して計算期間を6時間長くした。d2の計算期間は、台風が九州に上陸する前から通過後を考慮して計算時間を24時間とした。領域d2において10分毎に出力したWRF計算結果をNeWMeK(九州広域風観測ネットワーク、後述)¹¹⁾による実測値と比較した。なお、表4に示す計算条件以外の条件は表2と同様である。

3.2 NeWMeK の概要

実測値 NeWMeK(九州風観測ネットワーク)による観測値を用いた。図5にNeWMeKの設置概要図を、図6にWRF計算結果と比較したNeWMeKの観測点位置を示す。NeWMeKの風向風速計は鉄塔頂部に設置されており(図5)、

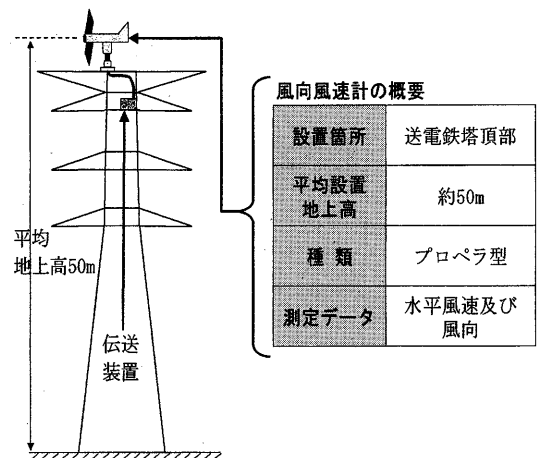


図5 NeWMeKの風向風速計設置概要図

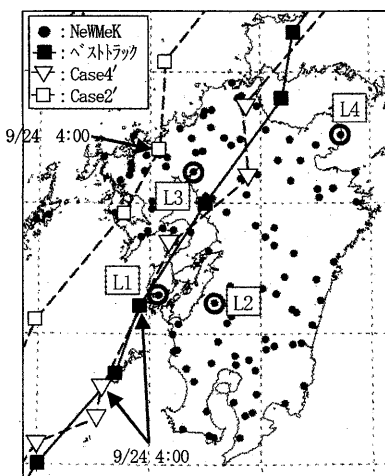


図6 WRF 計算結果と比較したNeWMeK設置位置(108箇所)及び台風の進路

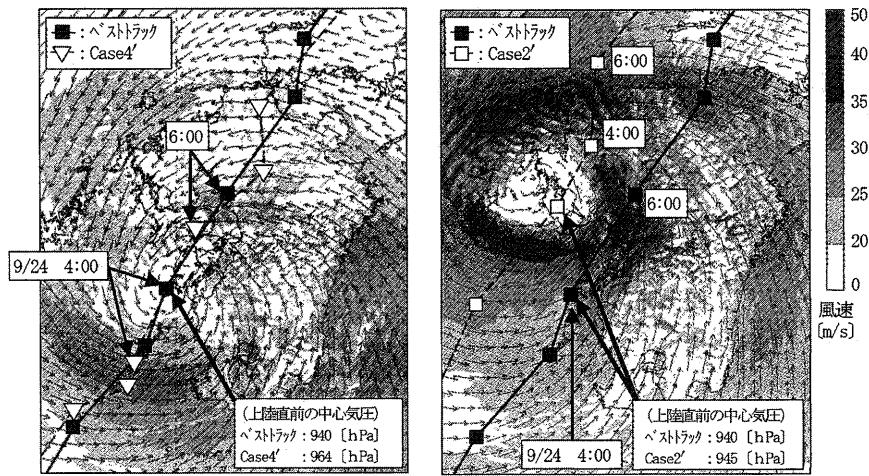


図7 地上10mにおけるWRF計算結果の風速と風速ベクトル(上陸前)

その平均地上高は 50m で周囲建物や樹木の影響を受け難く、台風襲来時の強風観測に有効である¹²⁾。NeWMeK は九州全域に 123 箇所の観測点を有するが、台風 9918 号通過時に有効であった 108 箇所の観測記録と比較した (図 6)。

3.3 強風再現の検証

3.3.1 風速場の評価

図 7 に Case4' と Case2' のそれぞれの地上 10m における WRF 計算結果の風速分布と風向ベクトルを示す。また、同

図には、気象庁ベストトラックと WRF 計算結果の進路を記載している。なお、WRF 計算結果の進路は気象庁ベストトラック進路と同時刻における最も気圧の低い位置をプロットしたものである。図 7(a) Case4' の WRF 計算結果の進路は前項 2 の Case4 と比べて気象庁ベストトラック進路により近くなった。水平格子間隔 5km の計算領域 d1 に加えて、ネスティング¹⁰⁾ による水平格子間隔 1km の計算領域 d2 を設定したことによって、風速場や気圧分布の再現が改善され

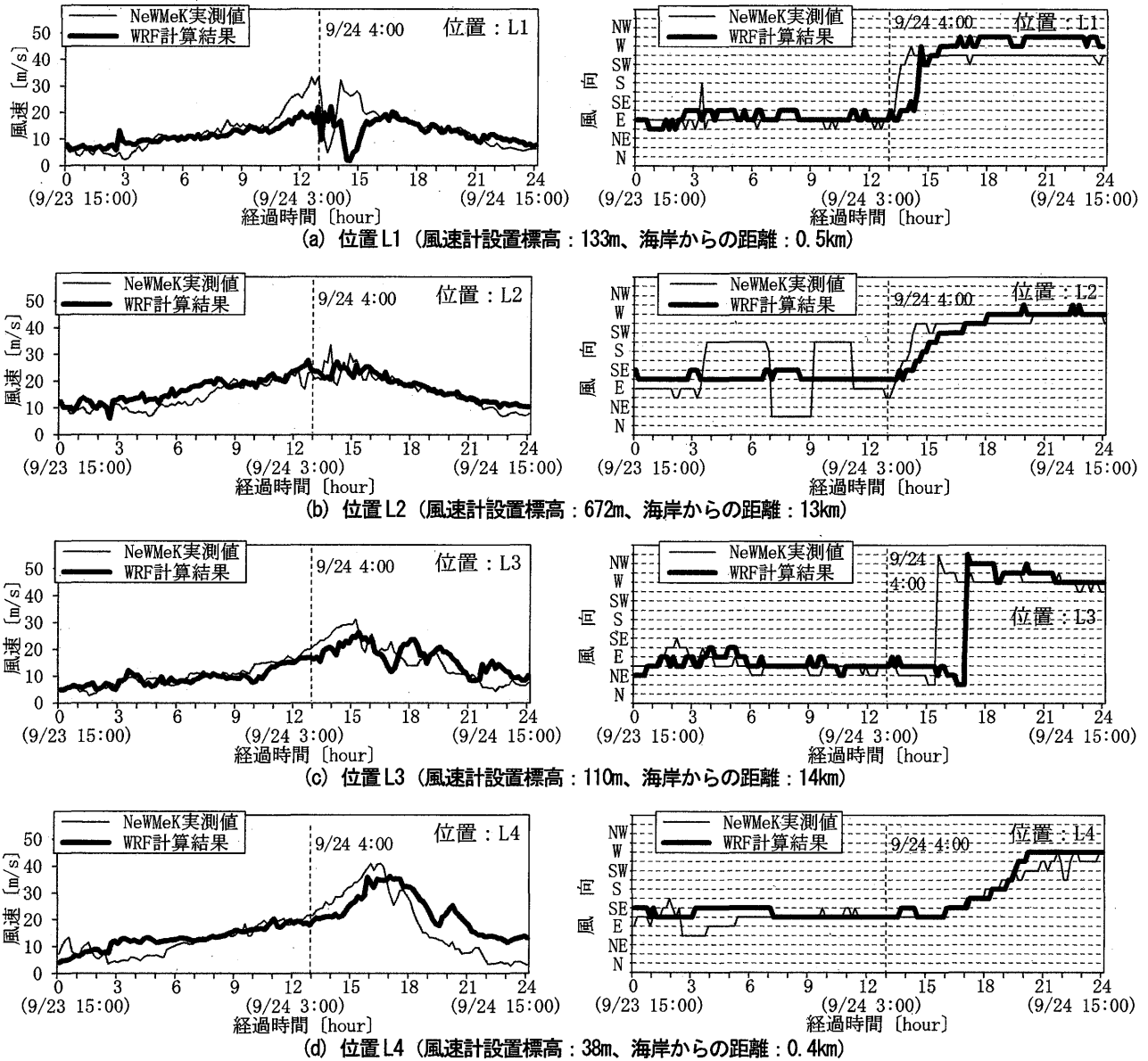


図 8 Case4' における NeWMeK 実測値 (10 分間平均) 及び WRF 計算結果 (10 分毎の出力値) の風向・風速時刻歴変化 (例)

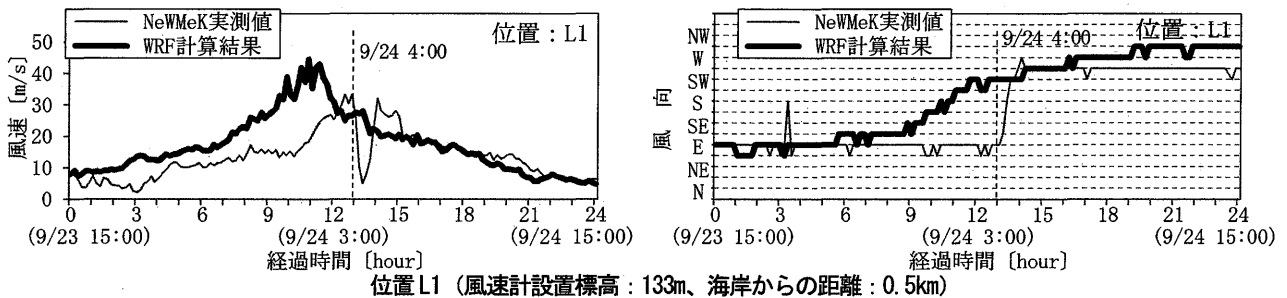


図 9 Case2' における NeWMeK 実測値 (10 分間平均) 及び WRF 計算結果 (10 分毎の出力値) の風向・風速時刻歴変化 (例)

たとえられる。上陸前の図 7(a)と図 7 (b)を比較すると、気象庁ベストトラック進路上に WRF の風速ベクトルの渦中心が位置する図 7(a)の Case4'では、渦中心付近では風速が小さくなっており、台風の風速場の様相が再現されていることが分かる。一方、図 7(b)の Case2'では、WRF 風速ベクトルの渦中心と WRF 計算結果の進路が一致せず、北西方向に風速ベクトルの渦中心が位置している。また、西九州に高い強風域が形成されており、その渦中心は気象庁ベストトラック進路から大きく離れており、実際の台風と比べて進路の再現性が低いと判断できる。さらに、図 7(b)では上陸直前の WRF 計算結果の中心気圧 945hPa は図 7(a)の 964hPa より低いため、図 7(b)の風速は図 7(a)に比べて全体的に高くなった。

3.3.2 NeWMeK による実測値との比較

WRF 計算結果と比較した NeWMeK の実測値はサンプリング周波数 4Hz で測定した値の 10 分間平均値を用いた。また、WRF 計算結果の風向・風速は比較対象とした NeWMeK108 箇所それぞれの風速計設置高さにて、直近の気圧面高さの風向・風速値により線形補完した値を用いた。

(1) 風向・風速の時刻歴変化

図 8 に図 6 の観測地点 L1~L4 における Case4' の NeWMeK の実測値および WRF 計算結果 (10 分毎の出力値) の風向・風速の時刻歴変化の例を示す。地点 L1~L4 の風向の時間変化を見ると、WRF 計算結果の風向は地点 L2 を除き、

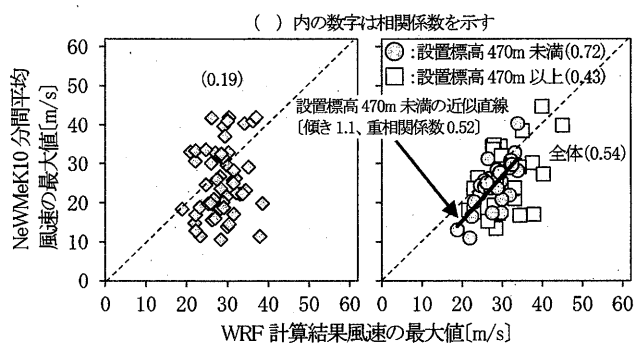
NeWMeK 実測値の風向と良く対応している。地点 L2 は標高が 640m の山間部に位置し、半径 500m 以内の高低差は約 230m と急峻な地形であるが、計算領域 d2 における水平格子間隔が 1km (地形・標高・土地利用の解像度約 1km)であることから、地点 L2 周辺の局所的な地形変化の影響が十分には反映されておらず、実際の風向に対応できなかったと考えられる。

図 8(a)の地点 L1 を見ると NeWMeK 実測値では 9 月 24 日 4 時~5 時に、WRF 計算結果では 5 時~6 時に風速が 10m/s 以下まで急激に下がっている。図 8 では、地点 L1 は気象庁ベストトラック及び WRF 計算結果の進路の至近に位置しているが、気象庁ベストトラック進路では 4 時~5 時にかけて台風中心が通過し、WRF 計算結果では 1 時間程度遅れた 5 時~6 時にかけて台風中心が地点 L1 を通過したことが分かる。図 8 より、4 時に気象庁ベストトラックの台風中心は上陸直前であるのに対し、WRF 計算結果の台風中心は、まだ海上にあることから、Case4'における WRF 計算結果の台風進行速度はやや遅いことが分かる。図 8(b)と図 8 (c)の地点 L2 と L3 の風速の最大値を比べると、NeWMeK 実測値が WRF 計算結果をやや上回るものの、その差は小さい¹³⁾。一方、図 8(a)と図 8 (d)を比べると、地点 L4 の風速最大値は NeWMeK と WRF 計算結果は近いものの、地点 L1 の WRF 計算結果が 10m/s 程度小さくなっている。地点 L1 と L4 は共に海岸に近く、海からの強風は地形の影響を受けにくいですが、最大風速の再現性には差が生じた。このことから、本報の計算条件では、海岸に近い陸地では、台風中心からの距離や位置関係により、風速の大きさの精度が低くなる可能性があると言える。

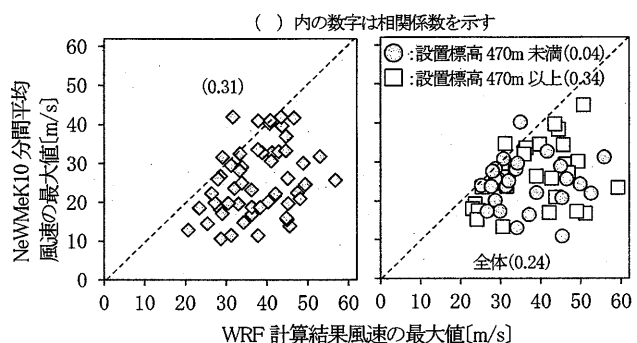
図 9 は Case2'における位置 L1 での NeWMeK 実測値と WRF 計算結果の風向・風速の時刻歴変化の例を示す。Case2'は、図 7(b)の説明で述べたように、風速場の渦中心が気象庁ベストトラック進路から離れていることに注意が必要である。図 9(a)の L1 の風速を見ると、WRF 計算結果では、台風中心の通過時における風速の急激な低下は出現せず、風向の急変も生じていない。また、WRF 計算結果の風速最大値は NeWMeK 実測値の風速最大値を大きく上回った。実際には L1 付近を台風中心が通過したが、WRF の計算では風速場の中心から少し離れた強風域が L1 付近を通過したため、風向風速の時刻歴変化は対応しなかった。

(2) 最大風速の相関関係

図 10(a)と図 10 (b)はそれぞれ Case4'と Case2'における台風通過期間に NeWMeK で観測された風速最大値と WRF 計算結果の風速最大値の関係を示す。前述のように海岸に近い NeWMeK の位置では、WRF 計算結果の風速の精度が落ちる可能性が示唆されたことから、図 10 に海岸からの距離 10km で分けた位置での両者の風速の相関を示した。さらに、海岸から 10km 以上離れた地域では、風向風速計の設置標高の最小値は 39m、最大値は 1,198m と差が大きい。設置標高



(i) 海岸から 10km 未満 (ii) 海岸から 10km 以上
(a) Case4'



(i) 海岸から 10km 未満 (ii) 海岸から 10km 以上
(b) Case2'

図 10 台風通過期間における風速最大値の関係

の低い箇所は、平野部または平野部に近い山間で、設置標高の高い箇所は急峻な山岳地であることが多いことから、地形の影響を確認するために風向風速計の設置標高の平均値 470m を境にして相関の違いを調べた。

図 10(a)の(i) と(ii)を比べると、海岸からの距離 10km 未満では、相関はほとんど見られず相関係数も 0.19 と小さいが、(ii) の海岸から 10km 以上では全体の相関係数は 0.54 と(i) に比べて明らかに大きい。特に風速計設置標高 470m 未満では、NeWMeK の風速の最大値が WRF より大きくなる場合があるものの⁸⁾、相関係数は 0.72 とより高くなり近似直線の傾きは 1.1 となった。このことから、本報における WRF 計算結果 Case4⁷⁾は海岸から離れた平野部または平野部に近い山間の強風の再現性が高いと考えられる。次に図 10(b)の(i)と(ii)を比べると、いずれの場合も相関は低いことから、台風進路誤差の大きい計算結果では強風の再現性は低いと言える。

4 まとめ

気象モデル WRF を用いて、水平格子間隔や雲微物理過程及び積雲パラメタリゼーション等の計算条件を様々に組合せて、得られた計算結果を気象庁ベストトラックの進路および中心気圧の変化と比較することで、台風 9918 号の再現性を検討した。また、台風の進路や中心気圧の再現性の高かった計算条件を用いて、水平格子間隔の解像度を上げることにより得られた WRF 計算結果の風向・風速を実測値と比較することで、送電鉄塔周辺の強風の再現性を検証した結果、以下の所見を得た。

- (1) WRF 計算条件の積雲パラメタリゼーションに BMJ スキームを用いた計算結果の進路誤差が最も小さい。
- (2) WRF 計算条件の積雲パラメタリゼーションと雲微物理過程の組合せが KF と WSM3 及び KF と WSM6 の 2 ケースの計算結果の中心気圧誤差は非常に小さく、両ケースのうち、進路誤差は KF と WSM3 の組合せの方が小さい。
- (3) NeWMeK の実測値と WRF 計算結果の風向と風速の時刻歴変化および風速の最大値の相関を比較した結果、気象庁ベストトラックと進路の近い計算条件（積雲パラメタリゼーションが BMJ）の再現性が高かった。
- (4) 上記 (3) の計算条件では、海岸から 10km 以上離れ、風向風速計の設置標高が 470m 未満の NeWMeK 観測点での実測値と WRF 計算結果の風速の最大値の相関が最も高かった。
- (5) 台風進路誤差の大きい計算条件（積雲パラメタリゼーションと雲微物理過程の組合せが KF と WSM3）は NeWMeK 実測値との相関は低く、強風の再現性は低い。

謝辞

本研究は、九州電力株式会社との共同研究である「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) 石田伸幸、前田潤滋、吉迫徹、野口博：丘陵地形に着目した九州地区内の強風時における増速域の特定に関する考察、第 15 回風工学シンポジウム論文集、pp.49-54、1998.12
- 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、pp.471-476、2000.12
- 3) 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、pp.323-328、2012.12
- 4) 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
- 5) MMM-NCAR : ARW Version 3 Modeling System User's Guide July 2012
- 6) 由宇弘樹、大澤輝夫、香西克俊、山口敦、石原孟、中野俊夫：WRF を用いた台風時強風再現シミュレーションにおける計算手法の検討、第 22 回風工学シンポジウム論文集、pp.383-388、2012.12
- 7) 丸山敬、前田潤滋、友清衣利子、中野満寿男、金田幸恵：メソスケール気象モデルにより再現された台風 0418 号の強風場、第 20 回風工学シンポジウム論文集、pp.37-42、2008.12
- 8) 竹村明人、田村直哉、友清衣利子、前田潤滋：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-、九州大学大学院人間環境学研究院紀要 第 26 号、pp.23-28、2014.7
- 9) 鈴山勝之、柴木秀之、尾形竹彦：WRF の計算特性に関する幾つかの検討、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.67, No.2, pp.426-430、2011
- 10) 竹下哲也：台風経路の違いによる風水害への影響について、京都大学防災研究所年報、第 56 号 B、pp.285-290、2013.6
- 11) 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、pp.1-6、1996.12
- 12) 前田久雄、前田潤滋、友清衣利子：台風中心からの距離に着目した台風通過時の九州における風速分布の検討、第 19 回風工学シンポジウム論文集、pp.13-18、2006.12
- 13) 内田孝紀、辰己賢一、川島泰史、荒屋亮：メソ気象モデル WRF-ARW を用いた複雑地形上の数値風況予測、九州大学応用力学研究所所報、第 144 号、pp.41-47、2013.3

(受理：平成26年11月13日)