

[投稿]

2002年台風21号による送電鉄塔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授 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

2002年10月1日の夜、台風21号は関東地方を直撃し(図-1)、死者5人、負傷者88人、全壊(7棟)、半壊(11棟)、一部損壊の住宅383棟、床上・床下浸水住宅1555棟など大きな被害をもたらしたが、象徴的な被害として茨城県潮来市にある送電鉄塔の倒壊があげられよう。

1991年の台風17号と19号、1993年の台風13号、また1999年の台風18号では、山岳部や海岸沿いの急傾斜地にある送電鉄塔が73基倒壊したが、今回のような平野部での風による鉄塔倒壊はきわめて稀なことである。

筆者らは、災害発生後数回現地へ赴き、茨城県潮来市の送電鉄塔の被害調査、鉄塔倒壊現場周辺の風観測データの収集などを行った。また、並行して、台風シミュレーションや三次元気流解析による災害発生時の強風分布の推定も行った。以下、これらの調査資料¹⁾に基づき、送電鉄塔の被害状況および鉄塔倒壊時の現場周辺の強風分布について報告する。

送電鉄塔被害の概要

写真-1は台風21号の強風で送電鉄塔が倒壊した現場を示す。倒壊した7基の鉄塔は潮来市延方丙から神栖町鱈川にかけての約2.5kmの間に位置する。手前の2基の鉄塔は香取線の20号鉄塔と湖南線の23号鉄塔であり、奥の5基は香取線の21号～25号鉄塔である。図-2には倒壊した送電鉄塔の位置関係と被害を受けた各鉄塔の状況を示す。写真-1と図-2からわかるように、香取線20号鉄塔～25号鉄塔(高さ58～94m)の中では22号鉄塔の倒壊の様子が明らかに他の鉄塔と異なっている。すなわち、22号鉄塔以外の5基は、鉄塔の中程(腕金の下の部分)から折れていたのに対して、22号鉄塔だけは根元から横倒しになっていた。なお、香取線22号鉄塔のみ、風上側の2脚の基礎が数10cm浮き上がっていた。このことから、1) 強い風荷重により、22号鉄塔の風上側の

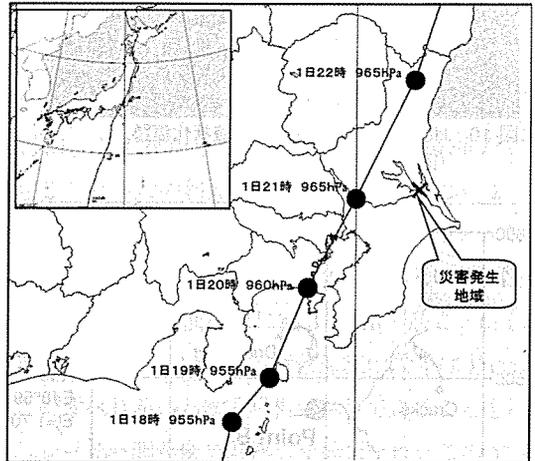


図-1 台風経路図



写真-1 台風21号の強風で倒壊した送電鉄塔

(提供: 共同通信社)

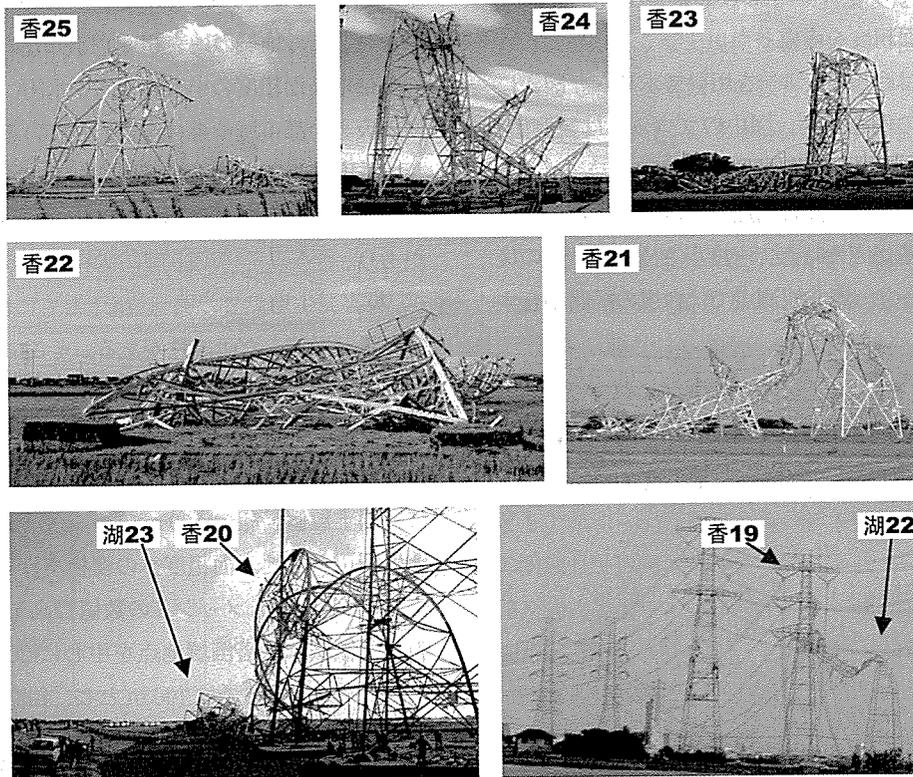
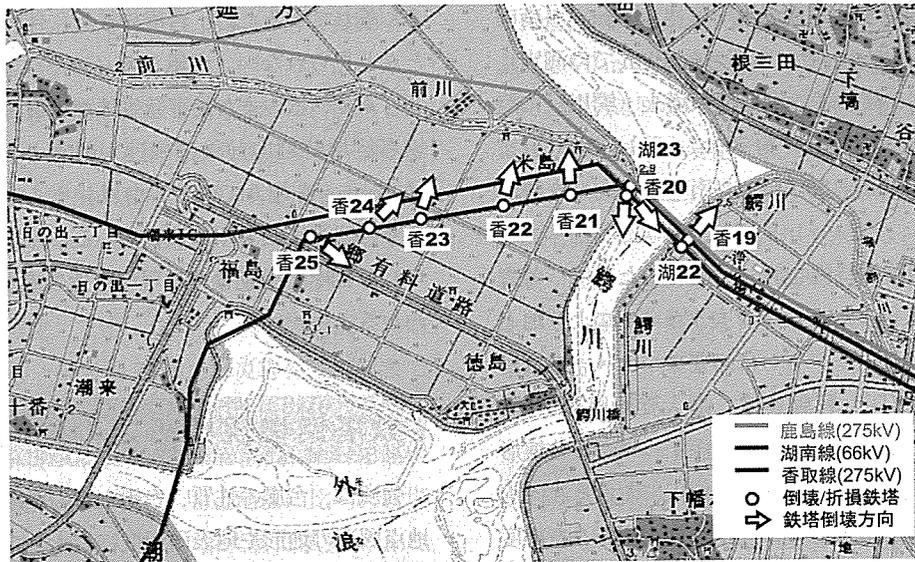


図-2 倒壊または折損した送電鉄塔の位置、転倒方向および各鉄塔の被害状況

基礎が引張力に耐え切れずに浮き上がり、それにより荷重が風上側の2脚に集中し、鉄塔基部の座屈により22号が倒壊した、2) 22号鉄塔の倒壊が送電線を介して香取線の他の5基の鉄塔を引張り倒した、3) 湖南線の23号鉄塔は香取線20号の倒壊に巻き込まれて倒壊したのではないかと推測されるが、詳しい原因は事故調査委員会(原子力安定・保安部会電力安全小委員会)の場で明らかにされるであろう。

台風21号の強風特性

台風21号は関東地方に上陸した台風として戦後最大級であり、しかも移動速度(関東地方では時速60~75km)が非

常に速かった。また今回の災害発生地点は台風進路の右側に位置し(図-1)、速い移動速度が上乘せされ、倒壊した鉄塔付近の風は非常に強かったと思われる。図-1の数字は日時と台風の中心気圧を表わす。送電鉄塔が倒壊した10月1日夜9時27分ごろには台風21号の中心は災害発生地点の左側に位置し、その約10分前に災害発生地点に最も接近していることがわかる。

国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦工事事務所の風観測データを調査した結果、鉄塔が倒壊したと見られる9時27分前後では現場付近の風が最も強かったことがわかった。例えば、北浦釜谷沖観測所(以下、地点は図-3を参照)では9時20分に10分間の平均風速29.5m/s(南南東風向)、霞ヶ浦湖

心観測所では9時40分に10分間の平均風速28.5 m/s（南南西風向）を観測している（いずれも高さ約10 mでの測定）。また香取線19号鉄塔の隣にある鹿島線鉄塔上（鱒川）に設置された東京電力の風速計（高さ約70 m）では9時20分までの10分間に最大瞬間風速56.7 m/s（南南東風向）を観測した。

台風21号接近時の強風特性を詳しく調べるために、著者が開発した台風シミュレーションプログラム²⁾により地上風を求めた。台風シミュレーションに必要なパラメータ（台風の中心位置、中心気圧、移動速度、最大旋衡風速半径、中心気圧差）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。また各観測地点における風向別粗度は国土数値情報の100 mメッシュ土地利用データを粗度長に変換し求めた。その際には観測地点を中心に半径8 kmまでの上流側の地表面粗度を考慮した。

台風に伴う風速場は台風モデル²⁾を用いて求めた。図4にはシミュレーションの例を示す。図中のプロットは観測値、実線はシミュレーション結果を表す。

まず台風の経路に近い掛馬沖観測点では台風の接近に伴い風速が増大し、21時を過ぎた時点で一度小さくなり、その後再び増大している。一方、湖心観測点では台風の経路からす

こし離れているため、台風の接近に伴う風速の急な減少はほとんど見られない。台風シミュレーションはこれらの傾向をとらえている。また災害発生地点に最も近い鱒川観測点では鉄塔倒壊時刻の前後に風速が最大となり、10分平均風速は37 m/sを超えている。台風シミュレーションの結果はここでも観測値とよく一致している。鉄塔が倒壊した時刻と見られる9時27分前後では現場付近の風が最も強かったことがわかる。

鉄塔倒壊現場周辺の強風分布の推定

強風は、台風の性質、台風からの距離だけではなく、当該地点周辺の地形や地表面粗度にも大きく影響される。鉄塔倒壊地点付近はきわめて平坦で、地形の影響はほとんど考えられない。この地域の地表粗度を示したのが図5であり、青い部分は地表面粗度の小さい水面や水田、赤い部分は地表面粗度の大きい都市域や森林を表わしている。図中の黒丸は倒壊した香取線6基の鉄塔の両端にある20号鉄塔と25号鉄塔を示す。この図からわかるように、鉄塔倒壊地点の南側には湖があり、さらにその風上側には利根川がある。周辺地域に比べ、災害発生地点での風上、風下ともに粗度は小さく、その影響で風が増速した可能性がある。そこで、地表粗度の強風への影響を図5の領域を対象に著者が開発した三次元風況予測プログラムMASCOT^{3), 4)}を用いて調べてみた。

災害発生地点を含む現場周辺の地表面粗度を求めるために、国土数値情報の100 mメッシュ土地利用データを用い、土地利用から地表面粗度への変換を行った¹⁾。また標高は国土地理院の50 mメッシュの数値標高データを用いた。解析の対象領域は鉄塔倒壊地点を中心に20 km四方の範囲とした。水平方向の格子は100 mとし、鉛直方向は地表面に最も

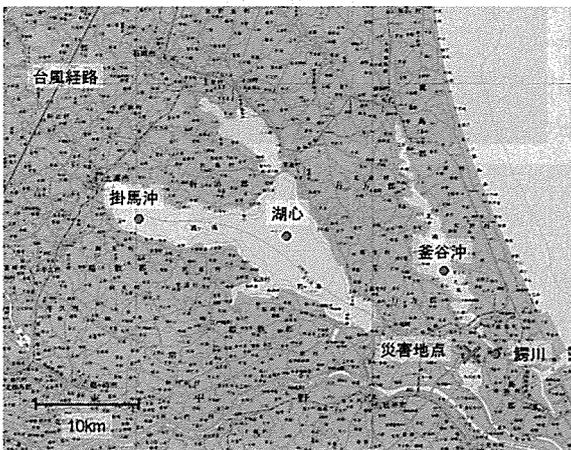


図-3 観測点の位置

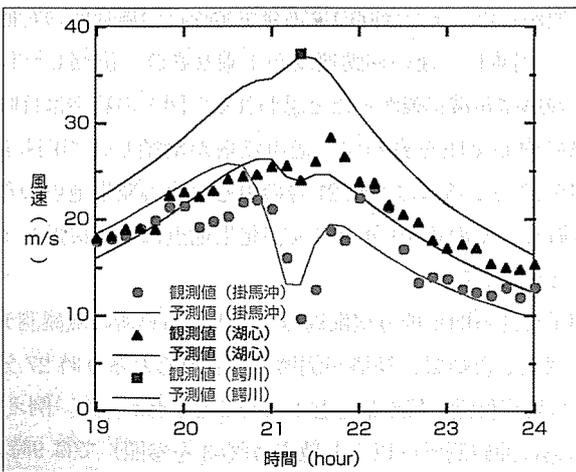


図-4 平均風速の観測値と予測値との比較

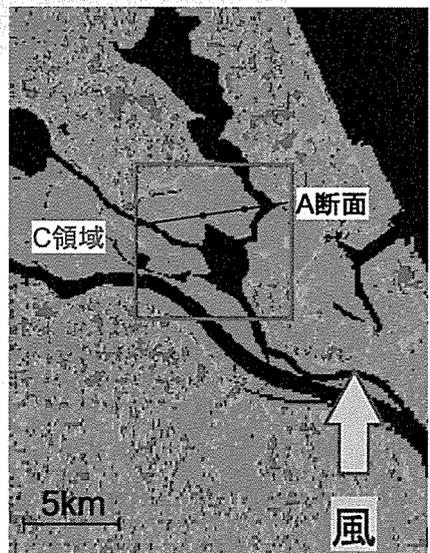


図-5 解析領域内の地表面粗度（黒丸は倒壊鉄塔位置を示す）

近い格子の高さを5mとし、それより上は1.1倍の拡大率をもつ不等間格子とした。

災害発生地点での風速分布を詳しく見るために、倒壊した鉄塔を含む断面内(図5の中のA断面)の風速分布を図6に示した。図中の風速は上空風の風速により無次元化されており、色が赤いほど風速が高い。周辺地域に比べ、鉄塔倒壊地点での風は、1割程度強くなっていることがわかる。

「台風21号の強風特性」で述べたように、現場付近にある鹿島線鉄塔上の風速計(高さ約70m)は災害発生直前までに最大瞬間風速56.7m/sを観測した。この風速値を参照値として、三次元気流解析から求められたA断面における高さ70mでの最大瞬間風速を図7示す。周辺地域に比べ、鉄塔倒壊地点では局所的に風速が大きく、最大瞬間風速60m/s近くに達したことがわかる。送電鉄塔の設計風速(瞬間値)が55~60m/sと言われており、ほぼそのレベルの風が吹いていたことになる。

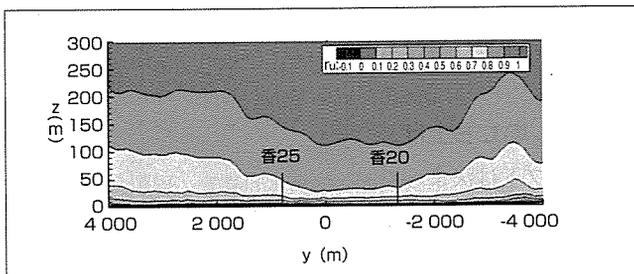


図-6 A断面内の平均風速の分布

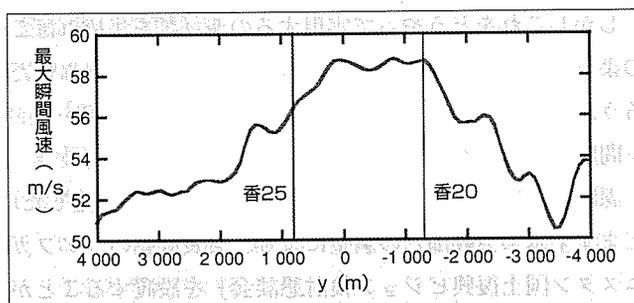


図-7 A断面内における高さ70mでの最大瞬間風速

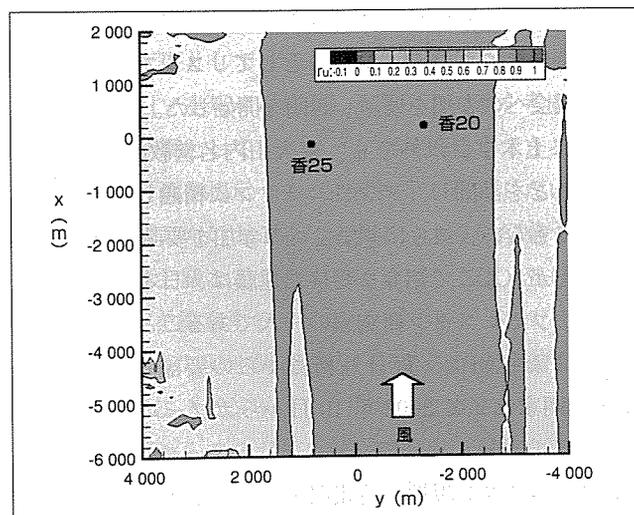


図-8 C領域内の高さ70mでの平均風速の平面分布

鉄塔倒壊地点付近での増速の様子を面的に見るために、地上高さ70mの面内における平均風速分布を求め、図8に示した。領域は図5の赤線の正方形で示したC領域に対応している。平均風速の変化は風方向には小さく、風直角方向に大きいことがわかる。図5からもわかるように、災害発生地点の風上側には湖のほか、河川や水田など地表粗度の小さい領域が広がっている。その結果、周辺地域に比べ、災害発生地点での風速が高くなり、風の通り道が形成されていると考えられる。

まとめ

関東地方に上陸した台風として戦後最大級と言われた台風21号により、送電鉄塔が9基倒壊または折損した。関東地方ではこのような大規模な大型鉄塔の倒壊は初めてである。

本稿では、送電鉄塔の被害を風という面から、最新の台風シミュレーション、数値流体解析技術を用いて検討を加えた。その結果、以下のことが明らかにされた。

- 1) 台風シミュレーションにより、茨城県霞ヶ浦付近一帯の強風推定がかなりの精度で可能である。
- 2) 三次元風況解析から、鉄塔倒壊地点付近では南風の場合、地点前後の水面や農業用地により地表粗度が低く、そのために局所的に風速が高かった。

今回は、災害に対する事後解析であるが、このようなシミュレーション技術を用いれば、どの地点に強い風が吹くかなどを予測する事前解析も可能である。災害に限らず、構造物の耐風設計、環境問題、風力エネルギー予測、列車運行・道路交通の管理など幅広い応用が可能である。

謝辞

本報告の作成にあたり、東京大学大学院修士2年の由田秀俊氏、修士1年のホ・タイ・ホーム氏と同工学部4年のファ・フック・バン氏に協力をいただいた。観測資料の収集にあたっては、清水建設(株)技術研究所嶋田健司氏にご協力をいただいた。また国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦工事事務所の村岡基晴氏には貴重な観測資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1-石原 孟・山口 敦・由田秀俊・藤野陽三：台風0221による送電鉄塔の被害と水郷地区の強風分布特性、日本風工学会誌、No.93、pp.23-34、2002
- 2-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
- 3-石原 孟：複雑地形における局所風況測定と数値予測、日本風工学会誌、No.91、pp.3-8、2002
- 4-石原 孟・山口 敦・藤野陽三：複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証、土木学会論文集、2002(掲載予定)

(2002年11月13日・受付)