特集

架空送電線の対風設計（その2．送電用鉄塔の耐風設計）

Design of Overhead Transmission Line against Wind (Part.2 Wind Resistant Design for Transmission Tower)

中村秀治*1

石川智巳*2

Hideharu NAKAMURA, Tomomi ISHIKAWA

1. はじめに

我が国における架空送電線路は、平成14年度末現在、亘長約83,000km（500kV送電線7,000km, 187～275kV送電線12,800km, 154kV以下送電線63,200km）で、これを支える送電鉄塔は240,000基以上の膨大な数を有しており¹⁾、これらは電力の安定供給の要といえる。送電鉄塔は、新規電源の遠隔化や用地取得事情も相まって、海岸部、山岳部など、地理、地形的に複雑な箇所に建設する場合が多い。このため、様々な地域特有の自然の脅威に曝され、電力供給支障の70%までもが自然現象に起因するものとなっている。このように、全国に亘って広がりを持ち、かつ地域、地理的特性がその安全性に大きく影響する送電設備では、地域の特徴に配慮したより合理的な設計方法が求められている。とりわけ、自然外力による送電鉄塔の設備損壊被害のうち、台風などの強風によるものが約4割を占めており、耐風対策が重要な課題となっている。

近年50年における強風による送電設備損壊被害としては、古くは、伊勢湾台風による156基、1961年の第2室戸台風による24基の鉄塔損壊が大きな被害事例として挙げられる²⁾。これらの被害では、250kV鉄塔を含む大型鉄塔の損壊のほか140kV以下の小型鉄塔が多数損壊した。その後、約30年は特に目立った被害はなかったものの、1991年の台風19号により、基幹送電線路を含む設備被害が発生した。この設備

被害を契機として、電気事業連合会では、1992年から全国大の「局地風対策推進委員会」³⁾、1999年から「耐風設計合理化委員会」⁴⁾を設置し、山岳部の風および鉄塔・架渉線連成系の風応答観測、風洞実験、理論的検討、解析技術の開発など、最新の風荷重評価手法の確立を目的として検討を進めてきた。その成果は、「送電鉄塔の風荷重指針（案）・同解説」としてまとめられている⁴⁾。

本報告では、文献4)に具体的に触れられていない情報、すなわち我が国における送電鉄塔の耐風設計の変遷、耐風設計法の現状、近年における台風による設備被害状況などの情報を提供するとともに、耐風設計合理化への取り組みとして実施した局地風対策研究、耐風設計合理化研究の概要を述べる。

2. 我が国における耐風設計の変遷

送電鉄塔の構造設計、施工、保守に関わる我が国の基規準とその変遷は次の通りである⁵⁾。

（1）電気設備に関する技術基準を定める省令

電気事業法（1964年法律第170号）の規定に基づいて、「電気設備に関する技術基準を定める省令」（電気設備技術基準、又は「電技」）が1965年に制定された。内容は送電用支持物設計標準（JEC127-1965）に準じたものであったが、その後、電気技術

*1 広島大学大学院 工学研究科 教授

Professor, Hiroshima University

*2 （財）電力中央研究所我孫子研究所 主任研究員

Research Engineer, Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko Research Laboratory

Table 1 我が国における耐風設計の変遷⁵⁾

西暦	電気設備に関する技術基準を定める省令(通産省、経産省)、および解釈	架空送電規程(日本電気協会電気技術基準調査委員会)	送電用支持物設計標準(電気学会電気規格調査会)	備考(送電鉄塔に被害を出した台風)
1926 1958 1959 1961 1965	通産省令第61号(制定)		制定 JEC127-1926 改訂 JEC127-1958 改訂 JEC127-1965	狩野川台風 伊勢湾台風 第2室戸台風
1969		制定 JEAC 6001-1969		
1979			改訂 JEC127-1979	
1991				台風9119号
1993		改訂 JEAC 6001-1993		台風9313号
1997	通産省令第52号(改正) 解釈(制定)			
1998				
1999		改訂 JEAC 6001-2000		台風9918号
2000				
2002				台風0221号

基準調査委員会((社)日本電気協会))からの改正意見を受けて、たびたび改正が行われてきている

(Table 1参照)。1997年の通産省令第52号による電気設備技術基準の改正は、必要な性能のみを基準で定める性能基準化を行い、具体的な材料の規格、数値、計算式等は、「電気設備の技術基準の解釈について」(略して「解釈」、規制ではない)を制定して、その多くを「解釈」に移した。なお、耐風設計法の技術的観点からの改正は、電技制定以降ほとんどなされずに今日に至っている。

(2) 架空送電規程

架空送電規程(JEAC 6001((社)日本電気協会))は、民間により定められた自主規定であり、1969年6月に初版が制定されて以降、電気技術の進歩と社会情勢の変遷などに対応して数度の改訂が行われてきており、架空送電線路の設計や施工、保守の際の民間の自主的な規範として広く関係方面に活用されてきた。法令の電気設備技術基準は電気設備の保安確保のために必要な最小限度の規定となっていることから、これを補完および詳細解説することにより、電気設備技術基準と表裏一体となって保安確保に万全を期することを目的としている。1991年9月の台風19号による送電設備への被害に対する対応策として、JEAC 6001-1993には、台風によ

る強風が局地的に強められる特殊地形に施設する鉄塔の強風時荷重の算定手法等について追加規定されており、送電用支持物設計標準(JEC127-1979)の基本的考え方を取り入れている。なお、現行のJEAC6001-2000では、電技との整合を図り、性能基準化に対応した。

(3) 送電用支持物設計標準

送電用支持物設計標準(JEC127(電気学会標準規格))は、1926年電気学会によって制定された学会基準であり、最新の学術的知見を反映したものとして、電気事業者の自主的判断のもと、主に大型の架空送電線路における補強設計用の資料として利用されている。制定以来JEC127-1958までに4回の改訂を重ねたが、1958年～1961年にわたり、相次いで来襲した狩野川・伊勢湾・第2室戸台風により、送電線路に相当の被害が生じたため、電気協同研究会に送電用大型鉄塔専門委員会が設けられ、1964年にこの研究が終了して、成果がJEC127-1965に反映された。

さらに、風や氷雪による荷重は、自然現象の実態把握に努め、合理的に地域区分し、また、実効最大荷重と降伏点応力度を対応させる方向に転換し、送電用鉄塔、鉄柱、コンクリート柱に関する設計標準を統合してJEC127-1979がまとめ上げられた。以後の改訂はなされていない。

3. 耐風設計法の現状

(1) 送電鉄塔の耐風設計に関わる我が国の基準

我が国で送電鉄塔を設計する場合は、電気設備技術基準の他に、架空送電規程、送電用支持物設計標準のいずれか、または両方が参照されるので、これらの関係をまとめると次のようになる (Table 2 参照) ⁵⁾。

a) 電気設備技術基準および解釈

- ・風速40m/sの風圧荷重、電線などによる引張荷重および通常想定される気象の変化などを考慮し、倒壊のおそれがないよう安全なものでなければならない。
- ・常時荷重(暴風のみ)は鉄塔部材の規格降伏点応力度の1/1.5に対応する。
- ・異常時荷重(暴風+架渉線断線を考慮)は、鉄塔部材の規格降伏点応力度に対応する。
- ・架渉線の安全率は、常時荷重に対して、硬銅線等で2.2、他は2.5以上とする。

b) 架空送電規程 (JEA6001-2000)

- ・電気設備技術基準の補足、および実運用面での詳細解説として制定。
- ・台風9119号の後、特殊地形における設計として JEC127-1979の適用を追加規定。

c) 送電用支持物設計標準 (JEC127-1979)

- ・最大実効想定荷重を規格降伏点応力度に対応。
- ・設計風速は地域毎に異なる風速(風速の地域区分 I ~ VI: 地上高10mにおける最大瞬間風速=40.8 ~ 63.2m/s)を設定。
- ・強風時荷重(最大瞬間風速、平均時間3~5秒)が、規格降伏点応力度に対応。
- ・自然風の上空遁増(最大瞬間風速に対し1/8のべき指数)を考慮。
- ・最大瞬間風速をベースにした静的設計法であるが架渉線風圧荷重は規模効果による低減を考慮。
- ・想定荷重条件下において、両側径間に生じる架渉線張力差(不平均張力)は、懸垂型鉄塔で3%、耐張型鉄塔で10%を全相に考慮。
- ・架渉線の安全率は、最大実効想定荷重に対して、硬銅線等で1.42(電線規格でいう最小引張荷重値の70%)、他は1.66(同60%)以上とする。

(2) 海外における耐風設計ガイドライン

送電鉄塔のみを対象とした諸外国の耐風設計ガイドラインとして代表的なものは、次の2つである。

- ① ASCE : Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading, 1991 (米国)

Table 2 我が国の基規準の関係 ⁵⁾

規定内容		電気設備に関する 技術基準を定める 省令(通産省、経産省)		電気設備の 技術基準の 解釈 (経産省)	架空送電規程 (日本電気協会、 電気技術基準調 査委員会)	送電用支持物設 計標準 (電気学会電気 規格調査会)	
		旧電技	現電技				
上部構造	荷重の種類 荷重の組み合わせ 風荷重 不平均張力等	第63条 第123条 第124条	第32条 支持物の倒壊 による危険の 防止を定めて いる	第57条 第112条 第113条 第114条	第6-1条	2.1.1,2.1.2 2.1.3 2.2 2.4	
	特殊地形	—		—		第6-2条	(2.2.3(説明14))
	着雪荷重	—		第115条		第6-3条	2.3
	斜風に対する検討 塔高に応じた風圧	—		—		第6-4条	2.2.8
	安全率	第69条 第119条 第122条 第131条		第112条 第123条 第152条	第6-7条	(4.1.2)	
	部材形状	第65条 第66条		第59条 第60条	第6-9条	4.1.1 5.1	
	許容応力度	第65条 第66条		第59条 第60条	第6-10条	4.1.2	
	基礎	荷重 安全率		第64条		第58条	第6-12条
支持力計算		—	—	第6-13条		6.6,6.7,6.8	
許容応力度		—	—	第6-14条		6.9	

ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 74 としてまとめられたもの。気象関連の荷重としては風、竜巻と着氷およびその重畳について記載されている。風荷重算定にはガスト影響係数を用いている。

- ② IEC : IEC-60826, Loading and Strength of Overhead Transmission Lines, 1991 (ヨーロッパ)
IEC-60826 は、世界の電気事業の標準化機関である IEC において、英国、フランスおよびイタリアでの長年の共同研究、およびその後の CIGRE (SC22) の研究に基づいて作成されたもので、架空送電線路の荷重と強度について記載している。気象関連の荷重としては風と着氷およびその重畳について記載されており、荷重および強度をともに確率論的に扱い、信頼性理論に基づく設計法の立場をとっている。なお、風荷重算定にはガスト影響係数を用いている。

(3) 風速算定で参考になっている基準類、資料集等
架空送電線路を設計するにあたって、風工学関連の記述があり、特に風速算定で参考になっている国内外の基準類、データ資料集としては、次のようなものが挙げられる。

- ① 建築物荷重指針 (日本建築学会, 1993)
第 6 章 風荷重 6.2 設計用速度圧
② 道路橋耐風設計便覧 (日本道路協会, 1991)
第 3 章 風荷重
第 4 章 設計に用いる風の特性値
③ 本四連絡橋耐風設計基準 (本州四国連絡橋公団, 1976, 1993 ; 特定の建設サイトを想定した風速、および吊橋に特化した風荷重算定法などを記載)
④ ASCE 7-02 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
⑤ British Standard : BS 8100, Part 1, 1986
⑥ Australian Standard : AS Loading Code, Part 2 :

Wind loads, AS 1190.2-1989

- ⑦ ECCS (European Committee of Construction Structure) : Eurocode 1: Basis of Design and Actions on Structures, Part 2.4 : Wind Actions (July 1994)
⑧ N. J. Cook : The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures, Part 1, BRE Report, 1985
Chap. 7 The Atmospheric Boundary Layer
Chap. 9 Design Wind Speed Data
⑨ ESDU シリーズ (イギリス Engineering Science Data Unit 社によるデータ資料集)

これらは、各々の国により、気象、地形、対象構造物、風観測、耐風設計の変遷などが異なっており、上記基準を直接活用することはないが、主として研究開発における設計風速算定法のフォロー、参照データに利用している。風の評価時間、地表面粗度、局所地形の考慮、基本風速の再現期間について比較すると、Table 3 の通りである。

4. 近年における送電用鉄塔の台風被害の概要

本章では、1991 年以降の台風による設備被害を概観する。

(1) 台風 9119 号⁶⁾

1991 年台風 19 号により、九州地方、中国地方、四国地方において、計 39 基の鉄塔損壊、61 条の電線断線および塩害によるがいし破損 48 箇所の被害が生じた。九州地方の鉄塔損壊は、長崎県・島原地区の半島部、福岡県大牟田地区の有明海に面した地域、福岡県・熊本県の山岳部で発生している。海岸近くで発生しているものは、湾に面して狭まった地形で風

Table 3 各々の基準類の比較⁵⁾

	風の評価時間	地表面粗度	局所地形の考慮	再現期間
JEC127-1979	3~5秒	なし	あり	標準50年, 重要度で補正
ASCE: Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading	最大風速が 1mile 吹き抜けるのに要する時間	カテゴリー-B,C,D	なし (参考文献として BRE Report)	50年, 100年, 200年, 400年
IEC-60826	10分	カテゴリー-A,B,C,D	なし	50年, 150年, 500年
建築物荷重指針	10分	カテゴリー I ~ V	崖	一般の建築物は100年
道路橋耐風設計便覧	10分	カテゴリー I ~ IV	なし	100年
ASCE7-02	3秒	カテゴリー-A,B,C,D	崖・尾根・丘	標準50年, 重要度で補正
British Standard	3秒, 60分	Country, Town	崖・尾根・丘	50年
Australian Standard	2~3秒, 60分	カテゴリー-1~4	崖・尾根・丘	標準50年, 重要度で補正
Eurocode	2~5秒	カテゴリー I ~ V	崖・尾根・丘	50年

が収束する地形、あるいは岬など海に突出した地形であり、山岳部のケースでは、福岡県の「みのさん風」と呼ばれる南よりの局地風が発生することが知られている地域、ならびに熊本県で阿蘇山の北方にある山地の稜線上に位置する箇所である。中国地方では、山口県防府・徳山地区と広島県佐伯地区の島嶼部における山の鞍部および海岸に近い斜面傾度の大きな山で、海からの風が強くなる箇所が発生している。また、山口県、広島県、岡山県、兵庫県瀬戸内海側の送電線において、塩害によるトリップ事故が発生し、がいに破損などの設備被害が生じている。さらに、四国地方では、愛媛県伊予三島地区における法皇山脈の尾根上で鉄塔損壊被害が生じている。ここは「やまじ風」と称せられる南よりの局地風の発生が知られている箇所であり、被害発生時、最大瞬間風速 73.2m/s が記録された。この台風による全国送電設備全体の被害総額(被害前の機能確保に要した費用)は、約 140 億円であった。

事故後の設備補強対策として、ルートの変更、設計風速見直し等が行われた。また塩害防止に関しては、がいに増結、耐塩がいにシロコン塗布が行われている。

(2) 台風 9918 号

台風 9918 号により、九州地方において 220kV (500kV 設計)送電線路 4 基(熊本県八代市から天草上島に伸びる宇土半島中央稜線部のやや南側東西に走行、南側海岸線から約 3km、標高約 300m)を含め、15 基の鉄塔損壊および電線断線(6 条)、がいに破損(12 基)の設備被害が生じた。基幹送電線路である 220kV (500kV 設計)送電線路の損壊は、台風による強風が局所的に強まる「海岸付近の特殊地形」に位置し、地形による増速および線路の走行も相まって設計を超える風圧荷重が作用したことが原因とされている。なお、本損壊地点近傍(約 7km 西側)の台風観測データにおいて、最大瞬間風速 71.5m/s (地上高 30m)、乱れの強さ約 20%を記録している。この台風による被害総額は、約 60 億円であった。

事故後の設備補強対策として、海岸からの距離、地形条件、線路走行により一層配慮して風荷重を精査し、必要に応じ部材および部材接合部の強度向上対策を実施した。

(3) 台風 0221 号⁷⁾

関東に上陸した戦後最大級といわれる台風 0221 号により、茨城県南部(潮来市)の 275kV および 66kV の東西に延びる 2 線路において、鉄塔 9 基の損壊、1 基の部材変形が生じた。当該地点は台風中心部進路

の東側約 50km に位置し、強風半径の近傍にあったこと、風上は粗度の小さい水田、湖であったこともあり、被災地点近傍の送電鉄塔頂部に設置された風速計で、最大瞬間風速 56.7m/s を記録している。

本損壊事故では、トリガー鉄塔とされる鉄塔基礎に大きな鉛直変位が生じており、この基礎の変位に伴う大きな二次応力(圧縮荷重)が片側の脚に集中し、部材が座屈したことから倒壊に至ったと考えられる。事故調査結果によれば、施工時に必要なグラウト材の充填が十分でなかったとされており、当初の設計を上回る風荷重により大きな損傷を受けた(1)、(2)の事例とは根本的に事象が異なる。なお、その他の設備被害は、強風に加えてトリガー鉄塔倒壊による電線張力の増加が重なった 2 次被害であった。

事故後の再発防止対策として、現存する井筒基礎について個別に引き上げ耐力評価を行い、必要に応じ新たに杭を追加するなどの補強措置を行っている。

5. 我が国にける耐風設計合理化への取組み

前章で述べたように、台風 9119 号は、その勢力の強さに加え、日本列島を縦断する進路となったため、とりわけ西日本地域において電力設備に著しい被害をもたらした。特に、送配電設備の被害は甚大であったため、資源エネルギー庁公益事業部内、および電気事業連合会内に特別委員会が設置され、台風被害の原因の究明および今後の対応策について検討がなされた。これらの検討結果は、「流通設備風害対策特別委員会報告書」⁸⁾にとりまとめられ、送電鉄塔の耐風性能として、『今回の台風では、台風の通過経路、現地の地形的な要因等で風速がさらに強められ、一部で想定風速を上回って設備被害に至った。しかし、広範囲にわたって強風にさらされた鉄塔のほとんどは健全なまま残ったことから、架空送電規程等に基づいて現行手法により設計された鉄塔は、今回設備被害が発生したような特殊な箇所への配慮を個々に適切に行えば、十分な耐風性能を有するものと考えられる。』と述べている⁹⁾。また、送電設備に被害のあった箇所の地形的特徴として、

① 山岳部の特殊箇所

従来から強い局地風の発生が知られる地域における稜線上の鞍部等、風が強くなる箇所。具体的には、標高 800m 以上の山岳部において、東西方向に伸びる稜線を稜線とほぼ平行に線路が走り、南に風の収束しやすい地形、北側に風の吹きおろす平野部があり、台風時の強風が局地的に強められる箇所。

② 海岸周辺の特殊箇所

主風向に沿って地形が狭まる湾の奥等の小高い丘陵部にあつて収束した風があたる箇所、あるいは、海岸近くで突出している斜面傾度の大きな山の頂部等、海からの風が強まる箇所。具体的には、南または南西側の海岸から4km程度以内で、傾斜度0.2以上の急傾斜地の頂部付近であつて、標高200m程度以上の箇所。

③ 岬・島嶼部の特殊箇所

岬・小さな島など、海を渡る風が吹き抜ける箇所。具体的には、主風向方向の陸地の幅が2km以内の岬または島嶼部にあつて、主として切り通し、または鞍部等の風が収束しやすい地形の箇所。を挙げている。

さらに、送電設備に対する社会の信頼を回復するためには、特殊地形を考慮したルートの選定や送電線の耐風設計の強化などを徹底し、適切に対処するとともに、局地風などに関する技術的検討をさらに深めることが重要であり、対応策の一つとして、下記の3課題に関して研究を実施することが提唱された⁶⁾。

- ① 台風に伴う地形影響による局地風の実態を、現地観測により把握し、その発生機構と時間・空間構造を解明する。
- ② 台風により著しく風の強まる特殊地形を対象に、風況を推定する実用的解析予測手法を確立する。
- ③ 現地観測・風応答解析により鉄塔・架渉線連成系の風荷重およびその応答特性を把握し、局地風に対する合理的な設計手法を確立する。

以上の結果を受けて、耐風設計合理化へ向けた研究プロジェクトが開始された。

(1) 局地風対策研究³⁾

上記の課題を解明するため、電力9社および電源開発、学識経験者、電力中央研究所により「局地風対策研究推進委員会（委員長：大熊武司神奈川大学教授）」（1992年10月～1999年3月）が設置され研究活動が行われた。

a) 局地風対策研究の基本的立場

局地風対策研究を進めるにあつての基本的立場は、以下の通りであつた。

- ① 国際化並びに技術環境におけるコンピューター化の進展に配慮する。
- ② 風荷重は確率・統計の手法に基づく等価静的荷重として評価するが、動的風応答解析により、直接、荷重効果を評価する手法も用意する。

③ 風荷重の定式化および定量化については、風観測結果および風洞実験結果等に基づき、実況を伝えることを旨として、不明確な数値の割増しや低減、あるいは無理な設定を避ける。

④ 設計風速の算定にあつては、今後の研究に待つところが大きい、数値流体解析手法によるアプローチも可能とする。

b) 「特殊地形における送電用鉄塔の風荷重試算」の特徴

本委員会の研究成果として、「特殊地形における送電用鉄塔の風荷重試算」がまとめられた。本風荷重試算は架空送電規程（JEAC6001-1993）を補完するものとして位置づけており、特殊地形と判断されない場合は、本風荷重試算によらなくてもよいものとしている。本風荷重試算の特徴は、次のようにまとめられる。

- ① 架空送電規程第6-2条解説に示された特殊地形の可能性のある地形（山岳部、海岸周辺部、岬・島嶼部）に対し、設計上十分配慮すべき地形かどうかを判断するための一つの指標として、地形影響（特に斜面）による風速の増速効果、気象学的要因による風速の増速効果、架渉線が谷をわたる場合の影響を定量的に考慮した特殊地形判定法を提示した。
- ② 設計風速の算定は、気流シミュレーションを行うことを原則とし、入口の風速条件を与えるための基本風速は、気象官署の再現期間50年の全風向季別10分間平均風速をもとにしたマップ（粗度区分Ⅱ）から読みとるものとした。
- ③ 設計用風荷重の算定には、ガスト影響係数法による等価静的風荷重を採用した。具体的には、鉄塔風圧荷重、架渉線風圧荷重、架渉線張力荷重、がいしおよび架線金具風圧荷重のガスト影響係数を示し、さらに変動成分に対して、その非同時性を考慮することで、これらの荷重の組み合わせを考慮した（Fig.1参照）。また、動的応答解析により設計応力度を定めてもよいものとした。

局地風対策研究で示された風荷重は、送電鉄塔関連の従来の基規準における静的設計法に比べて、考え方、評価手法が異なる。参考のため、Table 4 に JEC127-1979 の考え方との比較表を示しておく。

Fig.1 設計用風荷重の考え方 (風荷重試算, 風荷重指針 (案))

Table 4 従来法と等価静的風荷重との比較⁵⁾

従来法 (JEC127-1979)	等価静的風荷重
・風に関するパラメータ 最大瞬間風速 (3~5秒平均) 最大瞬間風速のべき指数 (粗度によらず一定: 1/8)	・風に関するパラメータ 10分間平均風速 (基準高さ位置) 平均風速のべき指数 乱れの強さ (基準高さ位置) 乱れのスケール (基準高さ位置) ディケイファクタ
・鉄塔および架渉線に関する構造パラメータ 受風面積 風力係数 径間長 架渉線初期張力 水平角 (構造規模による低減係数 (架渉線))	・鉄塔および架渉線に関する構造パラメータ 受風面積 風力係数 鉄塔1次固有振動数 鉄塔1次減衰定数 径間長 架渉線初期張力 水平角

(2) 耐風設計合理化研究

局地風対策研究の成果より、一般地形を対象に従来の耐風設計を合理化できる可能性が明らかになってきた。このため、引き続き同一メンバーにより「耐風設計合理化委員会（委員長：大熊武司神奈川大学教授）」（1999年4月～2002年3月）を設置し、既往の設計標準の見直しを視野に入れ、風向別設計風速の導入と設計用風荷重の精緻化を2本柱として研究開発を開始した。本研究では、耐風設計に加え既存鉄塔の安全性診断・補強等も重要な問題となりつつある現状に鑑み、荷重効果の実況の評価法の確立を意識して検討が進められた。

本研究成果は、特殊地形を含むすべての地域に対応できるものとして「送電用鉄塔の風荷重指針（案）・同解説」にまとめられた⁴⁾。本指針（案）については、本号に「研究報告」として掲載予定であるため、その内容については省略するが、「特殊地形における送電用鉄塔の風荷重試算」からの変更点を列記すると、以下の通りである。

- ① 風向別基本風速⁸⁾を採用した
- ② 設計風速の算定に、気流シミュレーションを利用して崖状地形に対する増速率データベースを作成し、簡易増速率算定法を提示した。
- ③ 等価静的風荷重の基本的考え方は、「特殊地形における送電用鉄塔の風荷重試算」に準じているが、架渉線風圧荷重および張力荷重のガスト影響係数を見直すとともに、変動成分の非同時性の補正方法について、理論的考察に基づき精緻化（一定値→風向毎に変更）した⁹⁾。
- ④ 2山地形周りの気流場に関する風洞実験、架渉線風応答に関する風洞実験、フィールド実験を実施し、気流解析コードや荷重評価法の精度を確認した。

6. むすび

以上、本報告では耐風設計に関連する基準類の変遷とその主な内容について、参考としている海外および他分野の基準類も交えて述べた。加えて、近年の我が国で生じた送電鉄塔の強風災害事例に触れた。また、学識経験者、全電力会社および電力中央研究所による局地風対策研究を契機とした耐風設計合理化研究については、世界的な潮流を見定めつつ、風向別風速および等価静的風荷重の導入、積極的なコンピュータ・シミュレーション技術の採用などを前提に検討を進めている状況を紹介した。

風向別基本風速や気流シミュレーションなど、今後とも精度向上のため十分な議論が必要であることはいうまでもないが、加えて、送電システムとしての安全性と経済性の調和が求められている。すなわち、鉄塔単品としての設計精度の向上による合理性と、規模や重要性を勘案した設備全体としての設計作業効率化による合理性を持って、最適な設備設計ができることが望ましい。今後は、これらについてどのように整合を図り、合理化を進めるか、実務的な観点からの検討が必要である。最後に、既設鉄塔の適切な維持・管理のための耐力評価技術も重要であり、新たな技術開発、評価精度の向上が求められていることを強調したい。

参考文献

- 1) <http://www.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi>
- 2) 七里義雄：送電用鉄塔の耐風設計、構造物の耐風性に関するシンポジウム論文集 Vol.1, pp.11-16, 1970.
- 3) 大熊武司，他：特殊地形における送電用鉄塔・架渉線連成系の耐風設計に関する研究（その1），日本風工学会論文集，No.82, pp.39-48, 2000,（その2），日本風工学論文集，No.82, pp.49-60, 2000,（その3）日本風工学論文集，No.83, pp.117-128, 2000,（その4），日本風工学会論文集，No.83, pp.129-140, 2000.
- 4) 大熊武司，中村秀治，石川智巳，本郷榮次郎，渡辺敏緒，篠田明秀，北嶋知樹：風向別風速を用いた送電鉄塔の耐風設計法に関する研究－「送電用鉄塔の風荷重指針（案）」の骨子－，日本風工学論文集，No.98, pp.137-150, 2004.
- 5) 日本風工学会風災害研究会：強風災害の変遷と教訓，2000.
- 6) 電気事業連合会：流通設備風害対策特別委員会報告書，1992.
- 7) <http://www.tepco.co.jp/cc/press/02112902-j.html>
- 8) 中村秀治，石川智巳，大熊武司，田村幸雄，田中伸和，北嶋知樹：風向別基本風速マップ作成の試み，日本風工学論文集，No.97, pp.121-136, 2003.
- 9) 石川智巳：送電鉄塔の動的効果を考慮した風荷重評価法に関する研究，土木学会論文集，No.738/I-64, pp.139-158, 2003.