

令和元年台風 15 号における
鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討
ワーキンググループ
＜中間報告書（案）＞

2019 年 12 月●日

令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故
調査検討ワーキンググループ

目 次

はじめに.....	1
第 1 章 台風 15 号、鉄塔及び電柱の損壊事故の概要	2
1. 台風 15 号の概要	2
2. 鉄塔及び電柱の損壊事故の概要.....	5
(1) 鉄塔の倒壊事故の概要	5
(2) 電柱の損壊事故の概要	6
第 2 章 鉄塔及び電柱の事故原因について	9
1. 鉄塔の倒壊事故の原因調査について.....	9
(1) 設計	9
(2) 巡視・点検	10
(3) 鉄塔の倒壊状況・メカニズム	12
2. 電柱の損壊事故の原因調査について.....	23
(1) 設計	23
(2) 巡視・点検	25
(3) 損壊事故の原因	25
3. 事故原因の現状分析結果について.....	30
(1) 鉄塔	30
(2) 電柱	32
4. 現地調査の実施について.....	32
5. 東京電力パワーグリッド株式会社による事故原因調査検討について.....	34
(1) 鉄塔	34
(2) 電柱	37
第 3 章 技術基準の適切性について	41
1. 現行の鉄塔・電柱に係る技術基準.....	41
(1) 電気事業法第 39 条に基づく電気設備の技術基準	41
(2) 鉄塔・電柱に係る風圧荷重の技術基準の変遷	42
(3) 送電用鉄塔設計標準 JEC-127 (1965)	43

(4) 技術基準における風速 40m/s の考え方	44
(5) 局地風に対する対応	45
2. 関連する国内外の技術基準ほか.....	47
(1) 我が国の他制度における地域風速の適用事例について	47
第4章 今後の対策について	51
1. 鉄塔	51
(1) 現行の技術基準の適切性	51
(2) 対応の方向	51
(3) 地域の実情を踏まえた基準風速（地域風速）の適用	52
(4) 今般の鉄塔の倒壊事故に係る特殊箇所について	52
(5) 鉄塔の強度対策について（建て替え、改修等）	53
(6) センサー等による風況・風向の把握について	58
2. 電柱	63
(1) 現行の技術基準の適切性	63
(2) 対応の方向	63
(3) 現行の技術基準の見直しについて	63
第5章 今後の本ワーキンググループの検討項目とスケジュールについて	67
おわりに.....	68

はじめに

令和元年（2019年）9月に関東地方に上陸した台風15号では、東京電力管内の鉄塔2基の倒壊事故や1,996本の電柱が倒壊・損傷する事故が生じた。

これらの事故により、千葉県を中心に最大停電戸数約93.5万軒の大規模停電が発生し、全面復旧まで約2週間を要するなど、長期にわたる大規模停電により国民生活や経済活動に甚大な影響を及ぼした。

こうした事態を踏まえ、電力の安定供給の確保の観点から、台風等の自然災害による送配電インフラの事故原因を究明し、一層強靱な送配電設備を構築していくことが求められる。

こうした中、2019年10月31日に行われた「総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会/産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 合同電力レジリエンスワーキンググループ」にて示された中間論点整理では、鉄塔・電柱の技術基準見直しについて、専門家による検討を実施することとなった。

このため、産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会の下に、「令和元年台風15号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ」（以下「本WG」という。）を設置し、今般の鉄塔や電柱の倒壊・損傷等の原因究明や現行の技術基準の適切性、再発防止策について、近年の自然災害を踏まえつつ、専門的な観点から調査検討を行った。

これまでの本WGにおける調査検討によって、鉄塔や電柱の損壊事故に係る事実関係の整理や事故原因の調査、事故原因を踏まえた現行の技術基準の適切性、更に今後の対策等について必要な議論が行われ、一定の方向性を得たことから、今般、中間報告書としてとりまとめることとした。

引き続き、必要な検討項目について、本WGにおいて議論を行っていく予定である。

第1章 台風15号、鉄塔及び電柱の損壊事故の概要

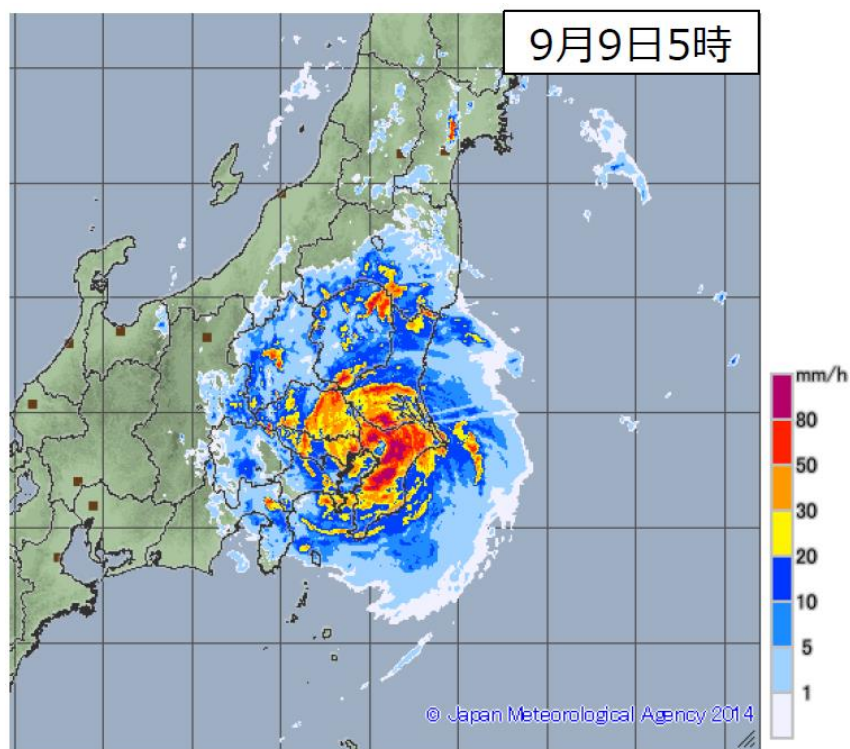
1. 台風15号の概要

令和元年（2019年）9月9日（月）に上陸した台風15号は、記録的な暴風となり、関東地方でも建物被害（全・半壊）やがけ崩れ等、甚大な被害が発生した。

台風15号の最大風速は、神津島村で43.4m/sを観測するなど伊豆諸島と関東地方南部の6地点で最大風速30 m/s以上の猛烈な風を観測し、関東地方を中心に19地点で最大風速の観測史上1位の記録を更新した。

最大瞬間風速は神津島村で、58.1 m/sを観測するなど伊豆諸島と関東地方南部の3地点で最大瞬間風速50 m/s以上を観測し、関東地方を中心に19地点で最大瞬間風速の観測史上1位の記録を更新した。

（参考）気象レーダー（上陸時）



(参考) 期間最大風速 (9月7日から9日)

順位	都道府県	市町村	地点	期間最大値			備考	風速計の高さ(m)
				m/s	風向	年月日 時分(まで)		
1	東京都	神津島村	神津島(コウヅシマ)	43.4	東南東	2019/09/08 21:13	観測史上1位の値を更新	10
2	東京都	新島村	新島(ニイシマ)	39.0	東南東	2019/09/08 21:59	観測史上1位の値を更新	10
3	東京都	三宅村	三宅坪田(ミヤケツボタ)	37.4	南	2019/09/08 21:27	観測史上1位の値を更新	6.5
4	千葉県	千葉市中央区	千葉(チバ)*	35.9	南東	2019/09/09 04:28	観測史上1位の値を更新	47.9
5	東京都	大田区	羽田(ハネダ)	32.4	東北東	2019/09/09 03:32	観測史上1位の値を更新	10
6	東京都	大島町	大島(オオシマ)*	30.2	西南西	2019/09/09 01:16		27.1
7	千葉県	成田市	成田(ナリタ)	29.6	南南東	2019/09/09 05:36	観測史上1位の値を更新	10
8	千葉県	勝浦市	勝浦(カツウラ)*	29.5	南	2019/09/09 03:35		15.2
9	千葉県	館山市	館山(タテヤマ)*	28.4	南	2019/09/09 02:14	観測史上1位の値を更新	21.8
10	静岡県	賀茂郡東伊豆町	稲取(イナトリ)	27.9	北北東	2019/09/08 23:21	観測史上1位の値を更新	8.5

(参考) 期間最大瞬間風速 (9月7日から9日)

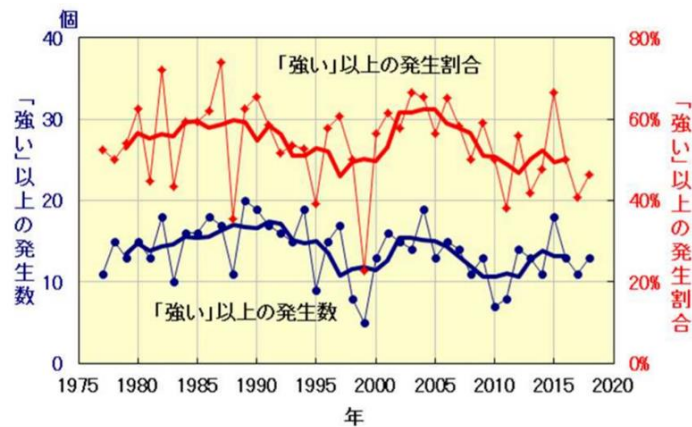
順位	都道府県	市町村	地点	期間最大値			備考	風速計の高さ(m)
				m/s	風向	年月日 時分(まで)		
1	東京都	神津島村	神津島(コウヅシマ)	58.1	東南東	2019/09/08 21:03	観測史上1位の値を更新	10
2	千葉県	千葉市中央区	千葉(チバ)*	57.5	南東	2019/09/09 04:28	観測史上1位の値を更新	47.9
3	東京都	新島村	新島(ニイシマ)	52.0	西	2019/09/08 23:38	観測史上1位の値を更新	10
4	千葉県	木更津市	木更津(キシラヅ)	49.0	東南東	2019/09/09 02:48	観測史上1位の値を更新	10.1
5	千葉県	館山市	館山(タテヤマ)*	48.8	南南西	2019/09/09 02:31	これまでの9月の1位の値以上	21.8
6	東京都	三宅村	三宅坪田(ミヤケツボタ)	48.4	南	2019/09/08 22:12	観測史上1位の値を更新	6.5
7	静岡県	賀茂郡東伊豆町	稲取(イナトリ)	48.3	北北東	2019/09/08 23:17	観測史上1位の値を更新	8.5
8	東京都	大島町	大島(オオシマ)*	47.1	西南西	2019/09/09 01:11		27.1
9	千葉県	成田市	成田(ナリタ)	45.8	南南東	2019/09/09 05:36	観測史上1位の値を更新	10
10	東京都	大田区	羽田(ハネダ)	43.7	東北東	2019/09/09 03:27	観測史上1位の値を更新	10

(参考) 台風のこれまでの変化と将来予測について

気象庁の統計では、「強い」以上の台風（最大風速が 33m/s 以上）の発生数に長期的な変化傾向は見られない。

一方で、IPCC 第 5 次報告書では、地球温暖化に伴い、今世紀末にかけて、世界全体における熱帯低気圧の最大風速や降水量の増加と、北西太平洋における強い台風の増加の可能性が示唆されている。

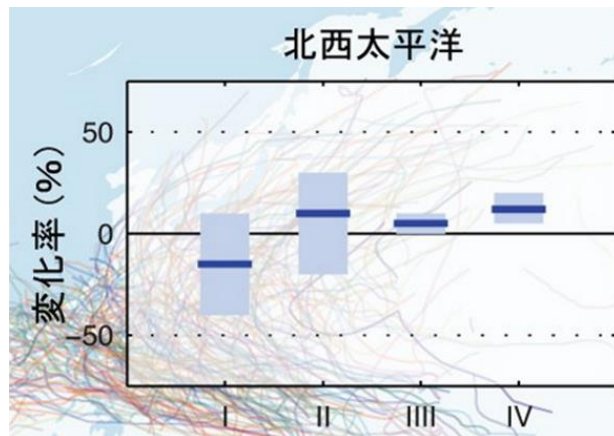
【1977 年以降の「強い」以上の台風の比較】



✓ 細い実線は、「強い」以上の勢力となった台風の発生数（青）と全台風に対する割合（赤）の経年変化。太い実線は、それぞれの 5 年移動平均。

(出所) 気象庁 気候変動監視レポート2018

【2000～2019 年と 2081～2100 年の予測平均値の変化率】



熱帯低気圧(TC)の指標
 I 全てのTCの発生頻度
 II カテゴリー4と5のTCの発生頻度
 III 寿命最大強度
 IV 降水量

✓ 青い実線は予測変化率の最良推定値、青い棒グラフはこの値に対する67%(可能性が高いに相当)信頼区間を示す

(出所) IPCC第5次評価報告書技術要約図TS.26

2. 鉄塔及び電柱の損壊事故の概要

(1) 鉄塔の倒壊事故の概要

令和元年（2019年）9月9日2時55分に、千葉県君津市にある東京電力パワーグリッド株式会社（以下、「東京電力PG」）の鉄塔2基が倒壊する事故が発生した。この事故により、内房線系統及び小糸線・木内線系統がルートダウンし、約11万軒の停電が発生した。

（参考）鉄塔の被害状況

事故発生場所	■千葉県君津市かずさ小糸、長石		
鉄塔被害状況	■鉄塔倒壊：2基（66kV 木内線 No78, No79） ■部材変形：1基（66kV 木内線 No80）		
事故系統	■内房線系	2019年9月9日22時38分	
仮復旧日時	■小糸川線・木内線系統	2019年9月10日16時17分	

送電設備				変電設備
鉄塔		電線	がいし	がいし
倒壊	腕金・部材変形	素線切れ	破損	破断
2基	2基	2条	1連	1相

（出所）東京電力パワーグリッド株式会社

倒壊した2基の鉄塔は、いずれも1972年に建設されたもので、電気設備に関する技術基準を定める省令に基づき、平均風速40m/sの風圧荷重で設計された。また、建設当初より6回線（6つの3相回路）を支持しており、今回の倒壊事故では、いずれの鉄塔も北北西の方向に倒壊した。

(参考) 66kV 木内線設備概要

鉄塔番号	鉄塔型	吊型	建設年月	製造者	鉄塔重量 (t)	鉄塔高さ (m)	標高 (m)	若番側鉄塔との高低差 (m)	基礎型	片腿脚寸法 (m)			
										a脚	b脚	c脚	d脚
77	6QCSUK	前張	1995	那須電機鉄工(株)	146.5	77.7	163.2	12.2	VI型	-	1.0	2.0	1.0
78	6B	前張	1972	三和鋼器(株)	21.0	45.0	163.5	0.3	甲	-	-	-	-
79	6G	前張	1972	那須電機鉄工(株)	38.0	57.0	154.4	-9.1	甲	-	2.0	3.0	2.0
80	6F	前張	1972	(株)サクラダ	27.5	57.0	165.6	11.2	甲	-	-	-	-

鉄塔番号	鉄塔型	吊型	建設年月	水平角度			径間長 (m)	電力線架線年 (内房線)	地線架線年	電力線	架空地線
				方向	度	分					
77	6QCSUK	前張	1995	R	45	6	159	1995	2016	(木内線) TACSR610mm ² 1条×3相 2回線	AC 70mm ² 2条
78	6B	前張	1972	L	10	25	357	1985 (1972)	2016	(小糸川線 併架) ACSR610mm ² 1条×3相 2回線	
79	6G	前張	1972	L	35	42	260	1985 (1972)	2016	(内房線 併架) ACSR610mm ² 1条×3相 2回線	
80	6F	前張	1972	L	17	52					

（出所）東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 倒壊した鉄塔の位置と倒壊方向



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 倒壊した鉄塔 (No. 78)



(2) 電柱の損壊事故の概要

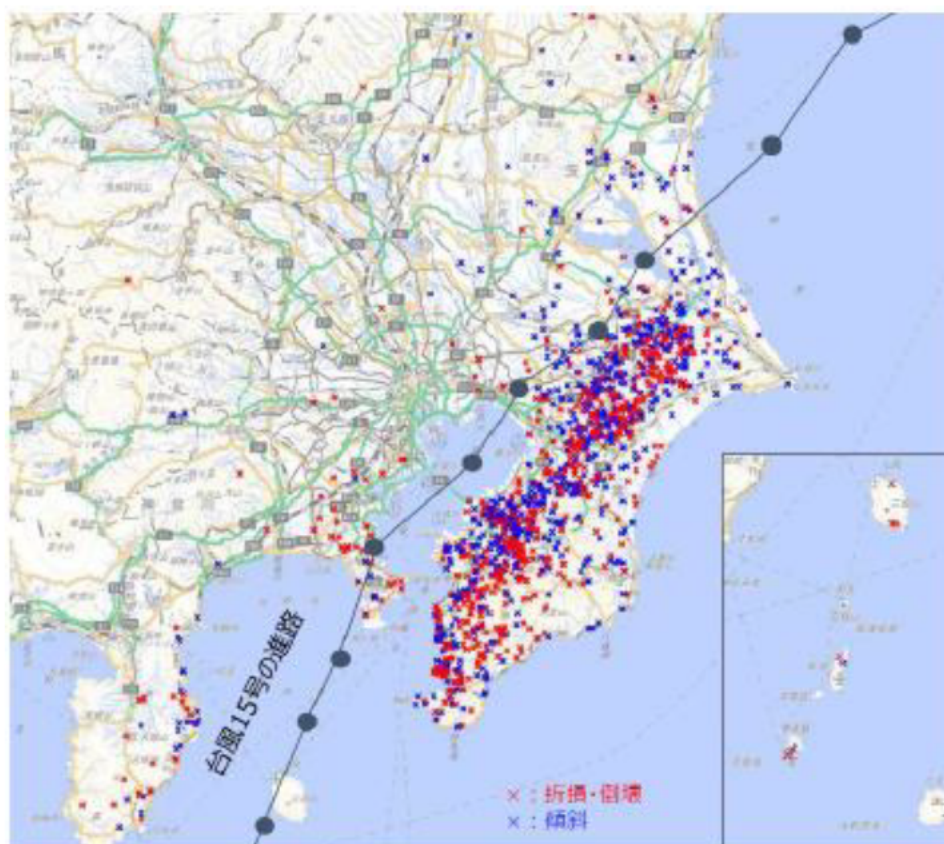
台風15号の影響により、東京電力管内で、計1,996本の電柱が折損・倒壊・傾斜等の被害を受けた(被害の多くは、台風の進路の東側の山林部に集中)。

(参考) 電柱の被害状況

架空線			地中線		
電柱 (折損・倒壊等)	電線 (断線・混戦等)	変圧器 (損傷・傾斜等)	地上機器 (浸水等)	地上機器 (損傷・傾斜等)	ケーブル (損傷等)
1,996 本	5,529 径間	431 台	0 台	1 台	0m

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 電柱の被害発生状況分布図



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 倒木・飛来物による電柱損壊現場の様子



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

第2章 鉄塔及び電柱の事故原因について

東京電力P Gによる事故原因の調査や解析作業、本WGにおける議論等を踏まえ、外部専門家の意見も聞きつつ、事故原因の調査を実施した。

電柱の倒壊原因など一部不明な点もあるため、引き続き、調査を行っていく。

1. 鉄塔の倒壊事故の原因調査について

倒壊した鉄塔に係る設計の妥当性及び巡視・点検の記録を確認するとともに、倒壊後の写真やシミュレーションデータ等を確認した。

(参考) 今回の鉄塔の倒壊事故の原因調査の調査項目と調査対象

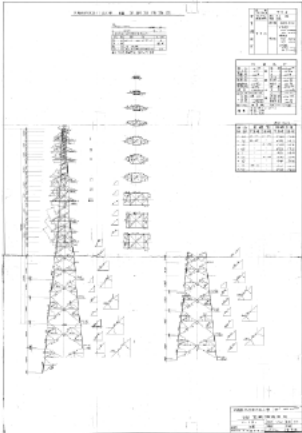
調査項目	調査対象
①設計	■設計図面・計算書
②巡視点検	■マニュアル・保安規程等 ■巡視・点検記録
③損壊状況、メカニズム	■鉄塔基礎、本体の損壊状況 ■架渉線の状況確認 ■鉄塔の倒壊方向と倒木の方向状況 ■風況シミュレーション ■倒壊メカニズムシミュレーション 等

(1) 設計

鉄塔の設計条件及び設計計算書を確認し、倒壊した鉄塔2基が建設された当時の技術基準及び民間規程（JEC-127-1965）に基づき、40m/s相当の設計風圧（鉄塔330（kgf/m²）、電線：100（kgf/m²））を設定し、各部材の応力計算値について十分な許容応力を満たすことを確認した。

(参考) 鉄塔設計条件・設計図面・設計計算書 (No. 78)

設計条件			
電圧	66 kV	種類	ACSR 610
国線数	6 002	自重	232 kg/m
荷重方向	300 m	外径	342 mm
水平角度	10°	断面積	691.8 mm ²
垂直角度	2.2°	最大径高	4080 mm
鉄塔風圧	330 N/m ²	用張力	低
架渉線風圧	100 N/m ²	種類	AS 70
排水	6 mm (自重排水)	自重	0.4377 kg/m
地盤	200 mm 砂子 2連	外径	10.0 mm
石敷	1連 810	断面積	67.35 mm ²
重量	255 kg/延尺	最大径高	1460 mm
風圧	200 N/m ²	用張力	低
設計方法	電算機	使用プログラム	T&B
備考	支持碁子 SL-0017-2 重量 = 60 kg 風圧 = 30 N/m ²		



STC	SF	STU	SF
3370	1.76	-5653	7.81
1232	*****	-3100	2.36
2750	*****	-4585	*****
1232	*****	-3100	41.09
1453	1.32	-4585	22.16

STC	SF	STU	SF
5570	1.73	-6520	4.44
1186	*****	-3100	1.60
3887	1.46	-7483	2.61
4170	*****	-8950	1.79

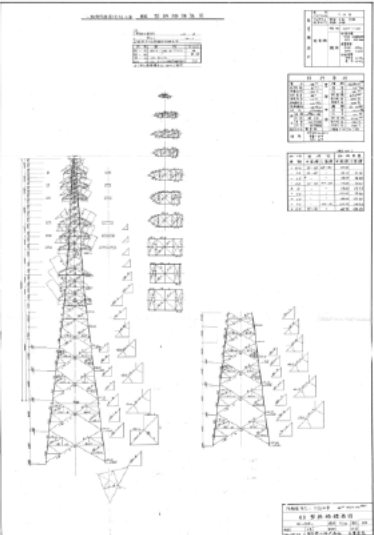
※全部材について安全率 (SF) 1.0 以上を確認

【*****】の表記は安全率 100 以上

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 鉄塔設計条件・設計図面・設計計算書 (No. 79)

設計条件			
電圧	66 kV	種類	ACSR 610
国線数	6 002	自重	232 kg/m
荷重方向	300 m	外径	342 mm
水平角度	10°	断面積	691.8 mm ²
垂直角度	2.2°	最大径高	4080 mm
鉄塔風圧	330 N/m ²	用張力	低
架渉線風圧	100 N/m ²	種類	AS 70
排水	6 mm (自重排水)	自重	0.4377 kg/m
地盤	200 mm 砂子 2連	外径	10.0 mm
石敷	1連 810	断面積	67.35 mm ²
重量	255 kg/延尺	最大径高	1460 mm
風圧	200 N/m ²	用張力	低
設計方法	電算機	使用プログラム	T&B
備考	支持碁子 SL-0017-2 重量 = 60 kg 風圧 = 30 N/m ²		



STC	SF	STU	SF
6085	1.76	-8225	5.37
2040	*****	-3100	1.25
2924	2.12	-4585	1.07
2040	1.44	-3100	*****
1014	2.69	-3100	9.22

STC	SF	STU	SF
6503	1.77	-9740	5.29
1077	*****	-3595	1.56
2835	1.00	-5653	2.01
5140	*****	-8960	1.79

※全部材について安全率 (SF) 1.0 以上を確認

【*****】の表記は安全率 100 以上

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(2) 巡視・点検

電気事業法第 107 条に基づく立入検査を実施し、倒壊した鉄塔 (No. 78、79) 及び隣接する鉄塔 (No. 77、80) の東京電力 PG による巡視・点検記録について、点検回数・点検内容・点検方法について確認し、保安規程に定められた手順で実施されていたことを確認した。

(参考) 保安規程

設備別	巡視		点検(検査を含む)				備考		
	機器設備	頻度	機器設備	項目	頻度				
送電	架空送電設備全般	1回/年 ^(*)	電線・支持物	外観点検	鉄塔・鉄柱線路・木柱・コン柱	1回/5年	(*) 次の条件を考慮し、必要により個々の設備毎に1回/年に加え、実施頻度を増加させる。 ①電気事故・設備異常の発生状況と発生件数の推移 ②重機接近が懸念される市街地などの地域特性、鳥獣が営巣する特定期間などの季節性・設備の重要度・設備の経年度合 (注)開閉所(監視を要するもの)については、変電設備に準ずる。		
				がいし	不良懸垂がいし検出			昭和24年以前取付けのがいし	1回/3年
								昭和25年以降取付けの280mm以下がいし	1回/30年
								昭和25年以降取付けの320mm以上がいし	1回/20年

(参考) 倒壊した No. 78、No. 79 の巡視点検記録

【木内線No.78】
住 所：千葉県木君津市長石96-3
建設年月：1972年 7月
損壊原因：調査中

巡視			点検		
No.	年月日	結果	No.	年月日	結果
①	2014年4月22日	良	①	2013年8月26日	良
②	2014年10月3日	良	②	2014年4月22日	良
③	2015年4月27日	良	③	2018年11月13日	良
④	2015年10月8日	良			
⑤	2016年4月19日	良			
⑥	2016年10月7日	良			
⑦	2017年4月4日	良			
⑧	2017年10月6日	良			
⑨	2018年4月3日	良			
⑩	2018年10月3日	良			
⑪	2019年4月3日	良			

【木内線No.79】
住 所：千葉県木君津市長石230-2
建設年月：1972年 7月
損壊原因：調査中

巡視			点検		
No.	年月日	結果	No.	年月日	結果
①	2014年4月22日	良	①	2013年8月26日	良
②	2014年10月3日	良	②	2014年4月22日	良
③	2015年4月27日	良	③	2018年11月13日	良
④	2015年10月8日	良			
⑤	2016年4月19日	良			
⑥	2016年10月7日	良			
⑦	2017年4月4日	良			
⑧	2017年10月6日	良			
⑨	2018年4月3日	良			
⑩	2018年10月3日	良			
⑪	2019年4月3日	良			

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) No. 77、No. 80 の巡視点検記録

【木内線No.77】

巡視		点検		
年月日	結果	年月日	対象	結果
2014年4月22日	良：巡視時の着眼点に基づき実施	2013年8月26日	電線(内房線)	良：点検時の着眼点に基づき実施
2014年10月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施	2014年4月22日	電線(木内線,小糸川線)・支持物	良：点検時の着眼点に基づき実施
2015年4月27日	良：巡視時の着眼点に基づき実施	2018年11月13日	電線(木内線,小糸川線,内房線)・支持物	良：点検時の着眼点に基づき実施
2015年10月15日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2016年4月19日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2016年10月20日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2017年4月4日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2017年10月27日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2018年4月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2018年10月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2019年4月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			

※過去5年以内において、保安規程で定めるがいし(不良懸垂がいし検出)点検の実施はなし。

【木内線No.80】

巡視		点検		
年月日	結果	年月日	対象	結果
2014年4月22日	良：巡視時の着眼点に基づき実施	2013年8月26日	電線(内房線)	良：点検時の着眼点に基づき実施
2014年10月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施	2014年4月22日	電線(木内線,小糸川線)・支持物	良：点検時の着眼点に基づき実施
2015年4月27日	良：巡視時の着眼点に基づき実施	2018年12月12日	電線(木内線,小糸川線,内房線)・支持物	良：点検時の着眼点に基づき実施
2015年10月15日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2016年4月19日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2016年10月20日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2017年4月4日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2017年10月27日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2018年4月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2018年10月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			
2019年4月3日	良：巡視時の着眼点に基づき実施			

※過去5年以内において、保安規程で定めるがいし(不良懸垂がいし検出)点検の実施はなし。

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(3) 鉄塔の倒壊状況・メカニズム

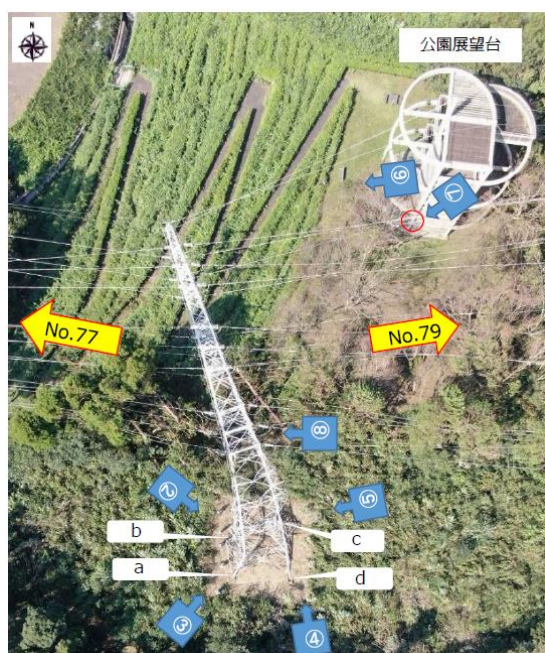
①鉄塔の倒壊状況

関連する図面・写真を確認し、倒壊した鉄塔下部の損傷形態から、No. 78、No. 79 の鉄塔下部の座屈が生じていることが確認された。

また、鉄塔全体の状態を確認したところ、ボルトの破断等の他の倒壊要因は確認されなかったことから、鉄塔下部の座屈が倒壊を引き起こした要因である可能性が高いことを確認した。

(参考) 鉄塔の倒壊の様子

No. 78 鉄塔

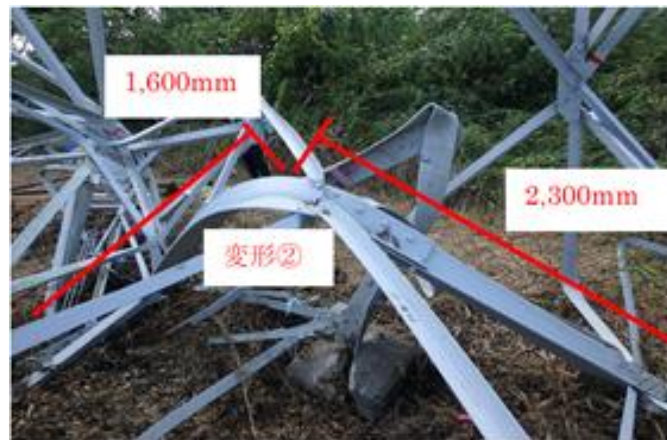


No. 79 鉄塔



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 倒壊した鉄塔下部の座屈状況 (No. 78 鉄塔)



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 倒壊した鉄塔下部の座屈状況 (No. 79 鉄塔)



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

②基礎部の状況

倒壊後の基礎部の写真を確認し、柱体部の浮き上がりが少ないこと、基礎底面のコンクリート及びいかり型ボルトが破損していないことから、倒壊した鉄塔の基礎が事故当時は健全であり、鉄塔倒壊を引き起こした要因ではない可能性が高いことを確認した。

(参考) 柱体部の損傷状況

No. 78 鉄塔

No. 79 鉄塔



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 基礎体・地中部の損傷状況



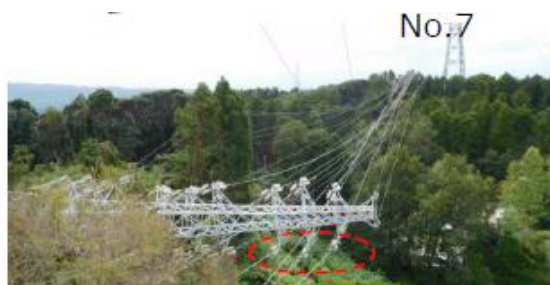
(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

③送電線の状況

倒壊後の送電線の写真を確認し、展望台との接触により No. 78 鉄塔の一部で切断が認められたものの、その他の送電線は事故当時、健全であったことを確認した。

(参考) 送電線の状況

No. 78 鉄塔



写真⑥ No.77側内房線2L 電線



写真⑦ 内房線2L上相 電線



写真⑧ 木内線2L 長幹支持がいし

No. 79 鉄塔



写真⑩ 小糸川線2L 本線がいし

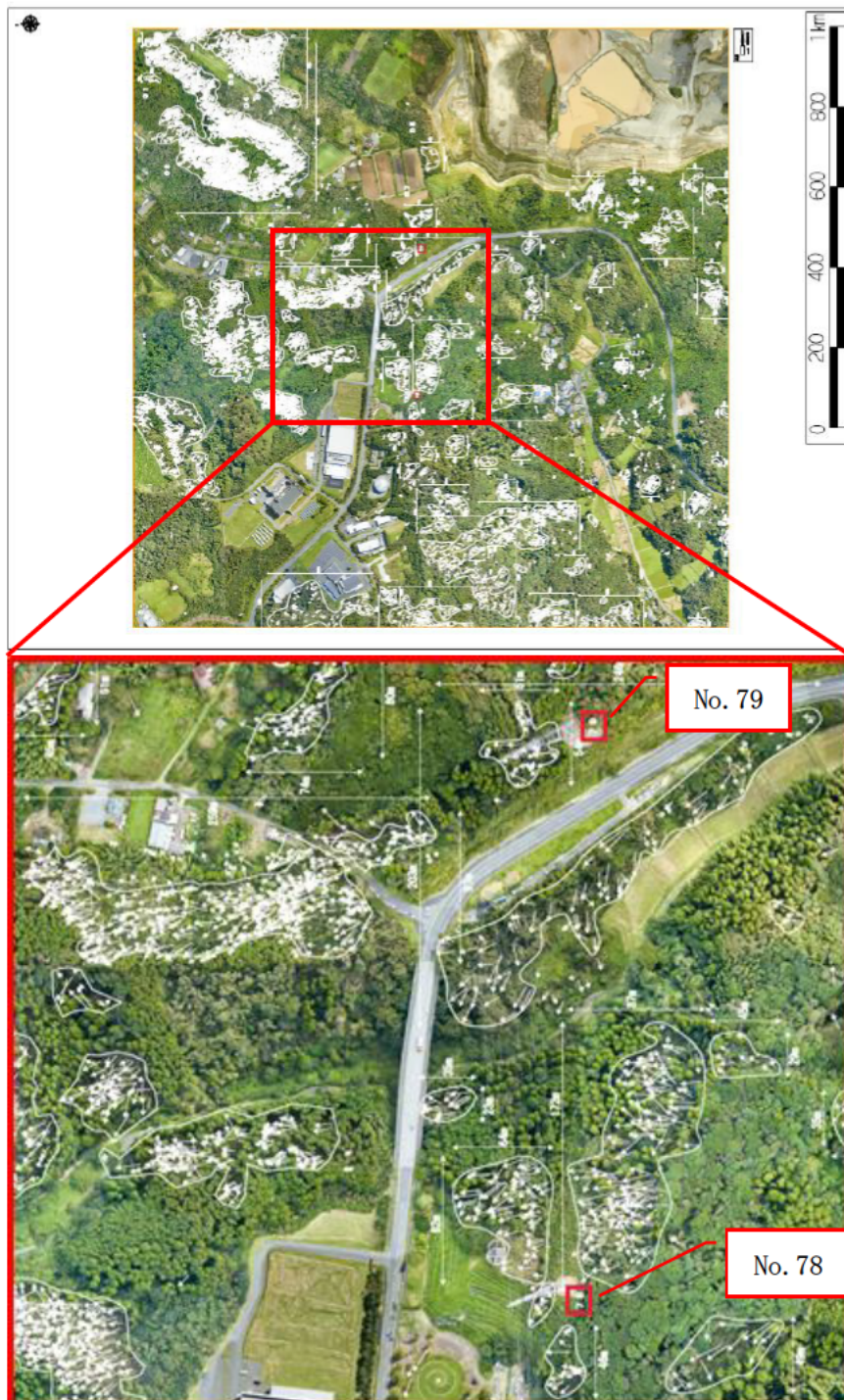


写真⑭ 木内線2L 長幹支持がいし

④周辺倒木の状況

航空写真を確認し、鉄塔の倒壊方向と周辺倒木の方向が一致していることから、鉄塔倒壊時に局所的な竜巻等の渦の痕跡は発生していないことを確認した。

(参考) 周辺の倒木の分布と方向



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

⑤風況シミュレーション

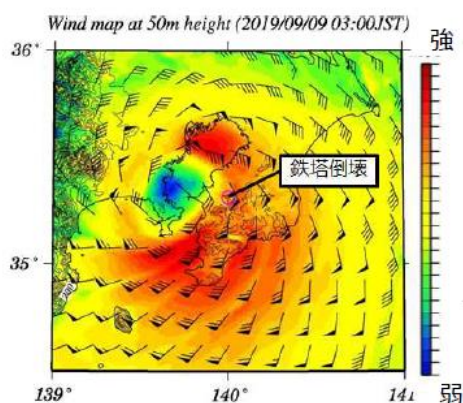
東京電力PGは、気象庁の数値予報モデルを活用した、台風15号の再現気象シミュレーションを実施し、更に倒壊場所から風上側6kmを領域とした気流シミュレーションを行い、局地的な地形の影響を計算した結果、南南東の風において鉄塔No.77~78付近で顕著な増速が発生することを確認した。

また、計算結果の再現について、鉄塔倒壊想定時刻付近で、勝浦ウィンドプロファイラの風向・風速の観測結果を再現していることを確認した。

(参考) 現地風速の推定

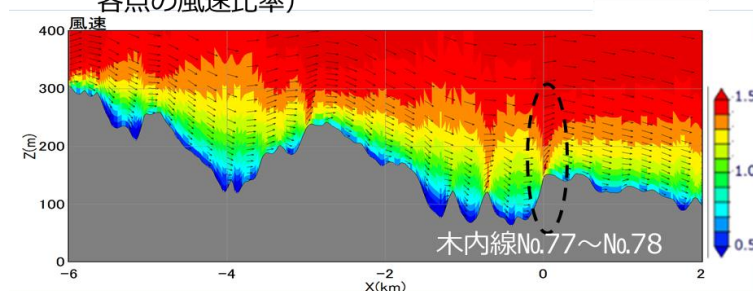
気象シミュレーション結果

9/9 3時の風向・風速分布図



気流シミュレーション結果

鉄塔倒壊箇所から南南東の風の鉛直分布図
(風上-8km、地上50mの流入風を1.0とした時の
各点の風速比率)



※ X=0はNo.77~No.78径間の中央、グレー部は断面地形
※ 前方7kmまでの領域を解析した結果、上記とほぼ同等の結果であった。

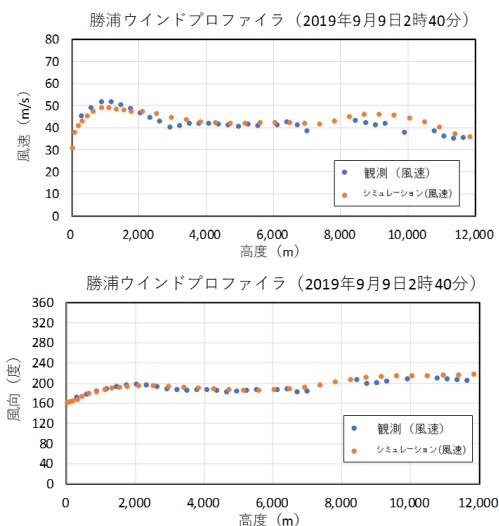
(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

※気象シミュレーションについては(1)、気流シミュレーションについては(2)(3)を参考したとのこと。
(1) 服部, 平口, Moeng, 石原他 WRF-LESによる中立大気接地層の乱流組織運動とメソ擾乱の干渉過程への洞察,

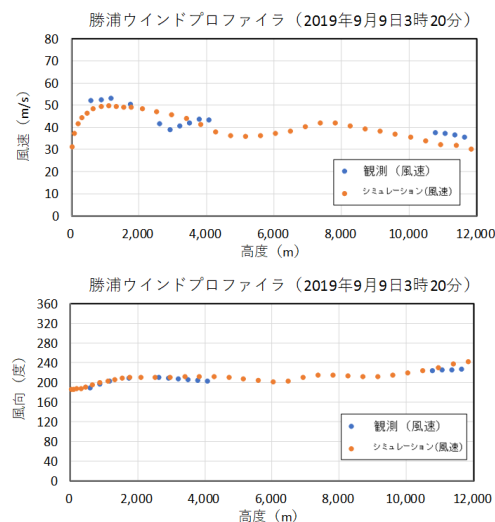
- ながれ 23, 2015
 (2) 木内・亀岡他, 風力発電所の建設・運用に関する局所風況予測, 日本風工学会誌 33-1, 2008
 (3) JEC-TR-00007-2015, 電気学会 電気規格調査会テクニカルレポート

(参考) 観測所における風速・風向の観測結果とシミュレーション結果の比較

2019.9.9 2時40分データ



2019.9.9 3時20分データ

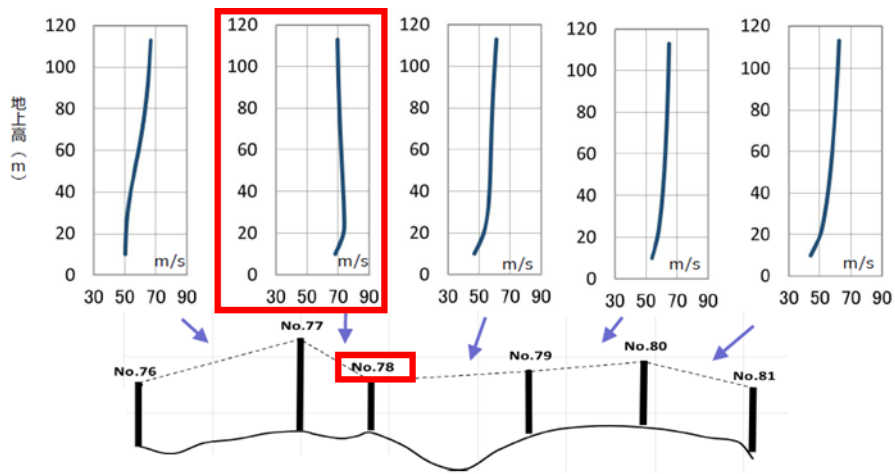


(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

また、気象シミュレーションで得られた結果を基に、流入境界条件として高さ方向に分布させた風速を設定し、気流シミュレーションを実施した。結果として、倒壊した No. 78 鉄塔付近で局地的に風が強められた可能性を示唆する結果となった。

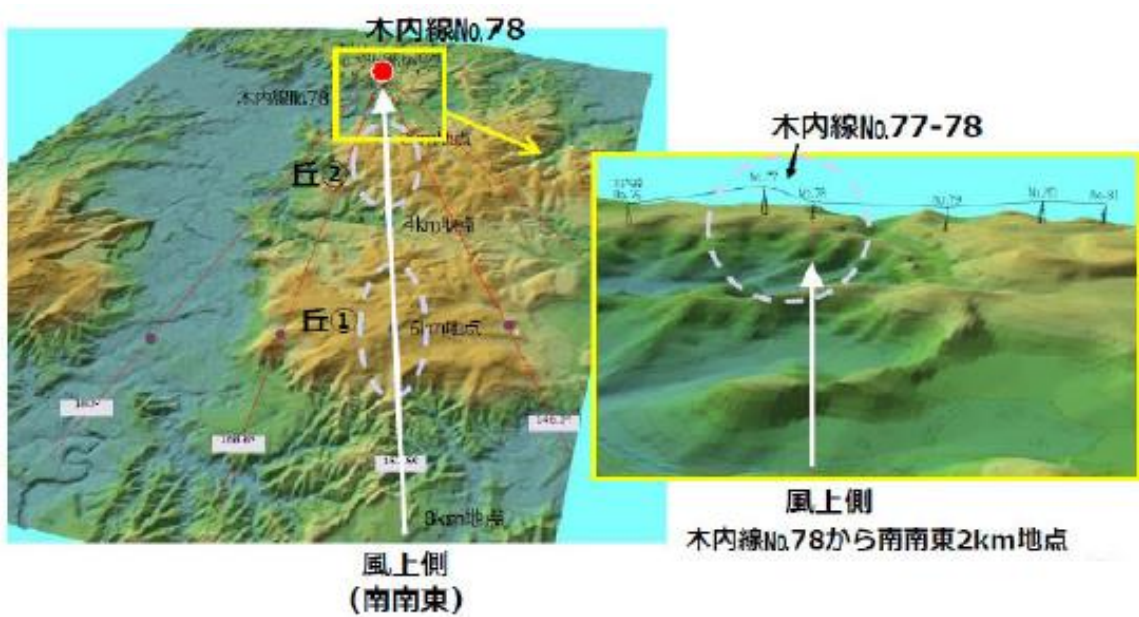
更に、倒壊した鉄塔の周辺の地形を分析した結果、台風による強い風が風上側にある標高の高い丘で増速され、送電線手前の急斜面により更に増速した可能性が指摘された。

(参考) 現地風速の推定結果



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 損壊事故現場周辺の地形



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

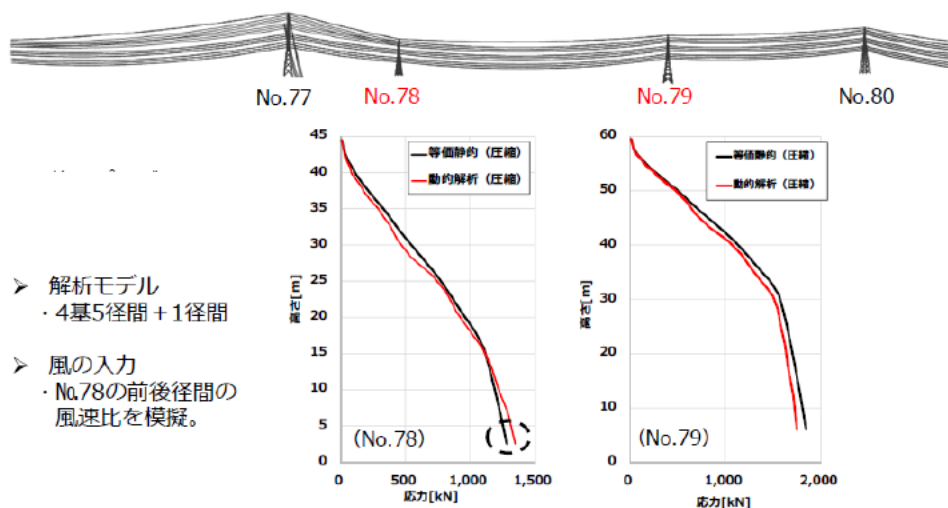
⑥倒壊メカニズム

倒壊メカニズムのシミュレーションに先立ち、送電線の動的な最大応答を静的に求める方法（等価静的解析）と動的解析との比較を東京電力PGが実施した。その結果、No. 79 鉄塔は、等価静的解析の応力が動的解析による応力とほ

ば同等で包含していること、No. 78 鉄塔下部の応力は、動的解析の方が等価静的解析より応力 5 %程度大きい結果となったことを確認した。

※等価静的解析については、「JEC-TR-00007-2015、電気学会 電気規格調査会テクニカルレポート」を参照。

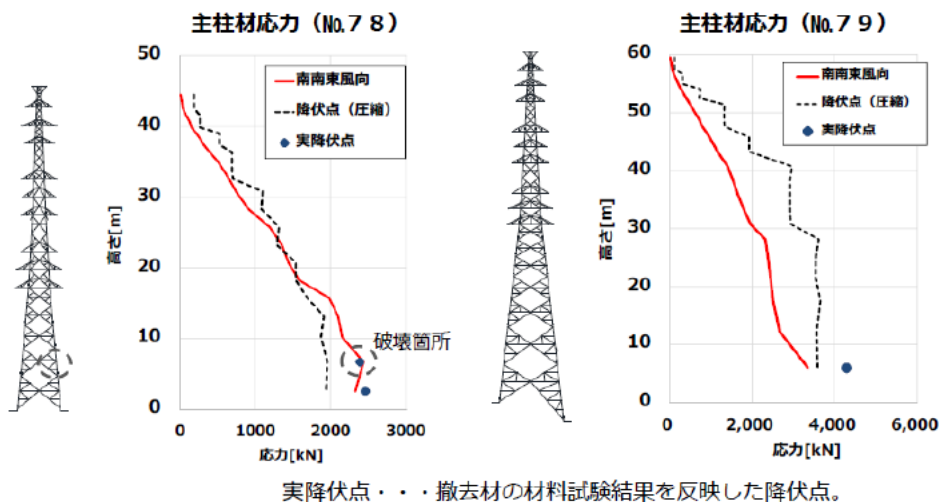
(参考) 動的解析と等価静的解析の比較



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

動的解析と等価静的解析の比較結果を踏まえ、No. 78 は動的解析結果を踏まえ応力を 5 %割増し、応力計算を実施している。No. 78 鉄塔の下部の支柱材について、圧縮脚応力と風向の変化との相関、更に実座屈強度との比較結果を確認した結果、風圧により下部の支柱材応力が降伏点を上回り、座屈が生じる可能性があることを確認した。

(参考) 鉄塔の応力シミュレーション



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

倒壊した鉄塔 2 基は、電気事業法に基づき、昭和 46 年（1971 年）10 月に工事計画届出、昭和 47 年（1972 年）7 月に使用前検査に合格した。令和元年（2019 年）9 月に倒壊鉄塔の設計並びに巡視・点検記録を確認した結果、鉄塔及び基礎ともに「電技」に基づく強度を満足している設計であり、また巡視・点検は保安規程で定めた頻度、方法で実施され、過去 5 年の記録で電気設備の技術基準に抵触する恐れのある異常は無かったことを確認した。

更に、損壊した鉄塔の材料調査は規格強度を満足する結果であった。加えて、基礎の試掘調査では、基礎体の損傷が起因となり鉄塔倒壊に至った痕跡は発見されなかった。

倒壊鉄塔近傍の気象・気流シミュレーションを行い現地風速を推定した結果、木内線 No.77～No.78 において南南東の風上地形の影響で著しい増速を確認した。この結果を用いて等価静的手法で算出した応力は No.78 において降伏点を上回る結果となった。

以上から、木内線 No.78 鉄塔は No.77～No.78 の急斜面で風が著しく増速したことにより、応力が降伏点を上回り部材が座屈し、その後 No. 79 を引き倒しながら倒壊したものと推定された。

(参考) 関東産業保安監督部による立入検査の実施 (鉄塔)

関東産業保安監督部は、東京電力 P G に対する電気事業法第 107 条に基づく立入検査を実施。巡視・点検記録等の書類の検査や鉄塔の倒壊現場の実地検査を行い、同社の自主保安体制や損壊した鉄塔の状況等を確認した。

併せて、鉄塔倒壊の原因究明・再発防止を指示。また、台風 19 号上陸の際には予め、倒壊した鉄塔の撤去等の安全確保に係る対策を確認・指導した。



2. 電柱の損壊事故の原因調査について

損壊等した電柱についても、設計の妥当性及び巡視・点検記録を確認するとともに、倒壊後の写真等のデータを確認した。

(参考) 電柱の損壊事故の原因調査の調査項目と調査対象

調査項目	調査対象
①設計	■設計図面・計算書
②巡視点検	■マニュアル・保安規程等 ■巡視・点検記録
③損壊状況、メカニズム	■改修工事に当たり作成した図面や写真 ■改修管理表 ■現場調査表

(1) 設計

東京電力PGでは、技術基準における規定の日本産業規格（JIS）準拠の電柱を使用する調達マニュアルを運用しており、納入業者に対して、必要の都度、品質管理の審査を実施。同マニュアルには以下が規定されており、従来よりマニュアルに則った運用が行われていることを確認した。

- ① 納入品の規格名を指定。
- ② 納入品サンプルに対して、日本産業規格準拠の強度試験を実施して規定の性能を満足していることを確認。

以上より、風荷重の設定方法、並びに根入れ、地盤の補強等の施工により、技術基準における規定の安全率を満たすように設計されていると推定される。

(参考) 強度計算の例 (千葉県千葉市若葉区川井町)

A [支持物の強度検討]

1. [電柱の柱体強度]

- ・電線に加わる風圧による曲げモーメント
- ・電線の不平均張力による曲げモーメント
- ・支持物に加わる風圧による曲げモーメント
- ・変圧器に加わる風圧による曲げモーメント
- ・架空地線支持金物に加わる風圧による曲げモーメント
- ・PHSアンテナに加わる風圧による曲げモーメント
- ・合成モーメント

Mw	=	6,573.8	[N-m]
Ms	=	0.0	[N-m]
Mc p	=	8,054.6	[N-m]
Mt	=	1,026.1	[N-m]
MAGP	=	0.0	[N-m]
MAPHS	=	0.0	[N-m]
M1	=	15,654.5	[N-m]

(判定) $M1 \leq M_{cr}$: 電柱の許容モーメント
 $15,654.5 \leq 84,035.0$

適

2. [電柱基礎の安全率]

- ・頂部集中換算の総合荷重
- ・支持物基礎の安全率

$P=M1/H1$	=	1,277.9	[N]
$f=F/P$	=	14.0	

(判定) $f \geq 2$
 $14.0 \geq 2$

適

3. [支線の強度検討]

- ・支線が分担する不平均張力による曲げモーメント
- ・支線に加わる応力

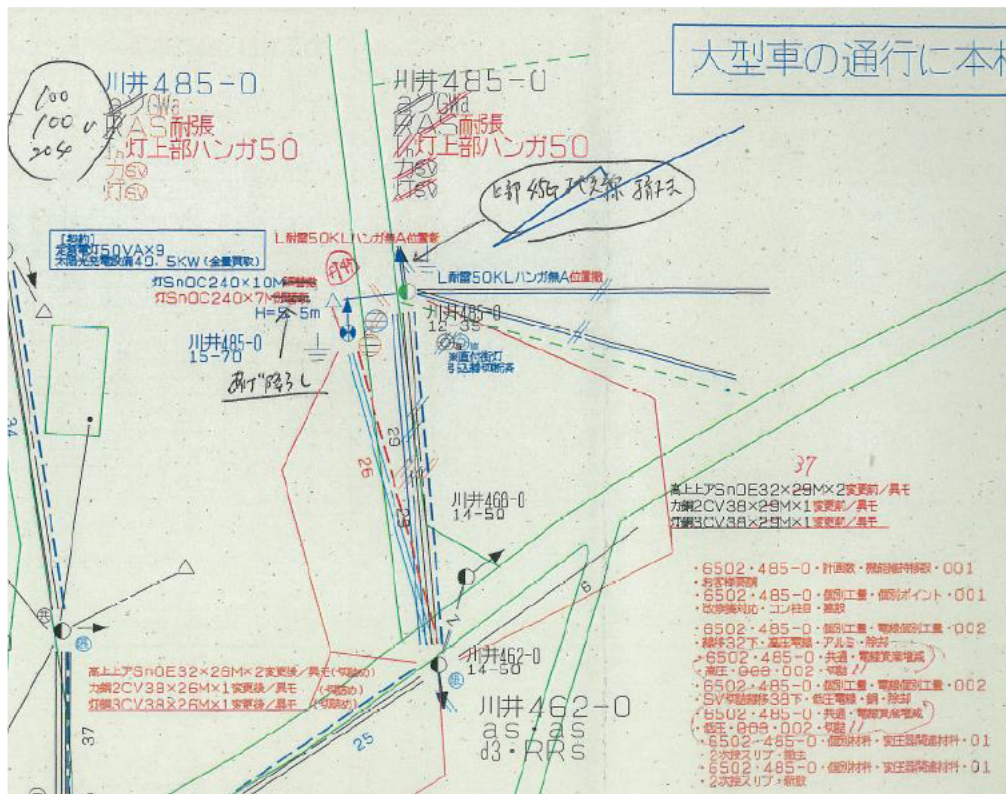
Mss	=	88,954.6	[N-m]
Ts	=	30,957.2	[N]

(判定) $1.7 \geq 1.5$

適

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 電柱配置図面の例 (千葉県千葉市若葉区川井町)



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(2) 巡視・点検

損壊した1,996本の電柱の巡視点検記録について、点検回数・点検内容・点検方法の妥当性を確認し、巡視・点検がマニュアル等に基づき実施されていることを確認した。

(参考) 保安規程

設備別	巡視		点検(検査を含む)			備考
	機器設備	頻度	機器設備	項目	頻度	
配電設備	配電設備全般	1回/5年 <small>(*1)</small>	接地装置	測定試験 B種接地抵抗	適宜 <small>(*2)</small>	<small>(*1)</small> 樹木接近箇所や市街地など施設環境変化が著しい場所に施設している設備は、1回/5年に加え、適宜実施する。 22kV架空設備のうち、6.6kV送電設備と併架している設備及び被覆線以外の設備は、架空送電設備による。 <small>(*2)</small> 施設状態・前回測定結果に応じて接地抵抗値の変動の恐れがある箇所は1回/5年とする。

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 電柱の巡視点検記録

No	都庁名	支社名	標識名	設備番号	施設年月	【保安規程】巡視記録			支持物点検		【保安規程】点検記録			支持物設置数
						前年度項目	当該年度 ※支持物設置	対応状況	点検日	対応状況	点検日	点検結果	測定値 (Ω)	
1	千葉	千葉総	北花輪	0280	197405	2017/10/6	良	-	-	-	2006年1月	良	27	≠1
2	千葉	千葉総	北花輪	0750	199909	2017/10/6	良	-	-	-	2002年4月	良	32	≠2
3	千葉	千葉総	北花輪	0590	199909	2017/10/6	良	-	-	-	2002年4月	良	16	≠3
4	千葉	千葉総	内山	1380	197512	2019/8/22	良	-	-	-	対象外	-	-	≠4
5	千葉	千葉総	内山	1440	197709	2019/8/22	良	-	-	-	対象外	-	-	≠5
6	千葉	千葉総	内山	1450	201903	2019/8/22	良	-	-	-	対象外	-	-	≠6
7	千葉	千葉総	こて中	3860	198511	2014/11/27	良	-	-	-	対象外	-	-	≠7
8	千葉	千葉総	中中	4270	198910	2017/7/25	良	-	-	-	2002年11月	良	22	≠8
9	千葉	千葉総	東天台	0420	197307	2017/1/10	良	-	-	-	2005年4月	良	23	≠9
10	千葉	千葉総	川井	4850	201901	-	-	-	-	-	2019年1月	良	240	≠10
11	千葉	千葉総	川井	4960	199606	2017/3/31	良	-	-	-	1996年6月	良	62	≠11
12	千葉	千葉総	大作	0540	197811	2019/9/2	良	-	-	-	対象外	-	-	≠12
13	千葉	千葉総	大作	0600	197108	2019/9/3	良	-	-	-	1999年5月	良	9	≠13
14	千葉	千葉総	西扶	0230	197112	2019/5/21	良	-	-	-	対象外	-	-	≠14
15	千葉	千葉総	本行寺	0350	197106	2017/11/16	良	-	-	-	対象外	-	-	≠15

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(3) 損壊事故の原因

① 損壊事故の原因調査

折損・倒壊等した電柱1,996本の被害原因について、1,579本については折損・倒壊時の図面・写真や改修管理表により事故原因(①風による倒木や建物倒壊に伴う二次被害、②飛来物による二次被害、③地盤の影響(崖崩れ等))を整理した。一方、残り417本については、事後的に現場調査を行い、周辺の状況(倒木の有無等)や、一部は地域住民へのインタビュー等を基に原因を推定しているものである。これらについて、損壊後の写真や図面等のデータを活用した損壊原因の分析を実施した。

(参考) 電柱の事故原因の判定の内訳

損壊原因の判定方法			判定の根拠としたもの
損壊した電柱の全数 1,996本	原因が明確なもの 1,579本	停電復旧や巡視等を実施した現地出向者が損壊の原因を判断	図面・写真 1,182本 改修管理表 89本 上記以外 308本 ・[千葉エリア以外]拠点で停電復旧対応にあたった部署から被害状況の報告を書面で受領(246本) ・[千葉エリア]停電復旧や巡視等を実施した現地出向者から口頭で聞き取り(62本)
	原因を推定したもの 417本	現地調査により、倒木や損壊した家屋の有無などの周辺状況から原因を推定(一部地域の方にインタビューした結果も含む)	現場調査結果 417本

改修工事にあたり作成した図面や写真を確認した結果、損壊原因が二次被害(下図は、倒木、飛来物の事例)であることを確認したものが1,976本あり、20本の電柱については、現存するエビデンスで原因が特定されていない、あるいは推定された原因が二次被害だと断言できるものではなかった。

(参考) 図面・写真の一例



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

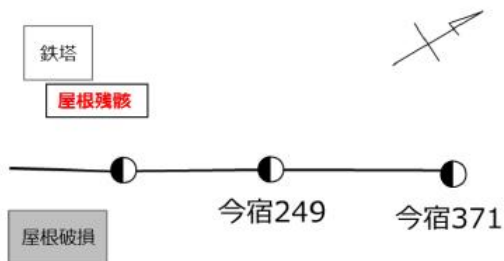
(参考) 改修管理表の一例

No.	エリア	改修要請受付		住所		標識	電柱 No.	電柱重複	標識	電柱 No.	電柱重複	設計No.	被害設備	
		月日	時間	市区町村	丁目番地								項目 (リスト選択)	状況詳細
2	松橋	9/9		6:34	船橋市飯山満	1-839	神明	76	～	大蔵	277	SJK0010A	電柱:折損/倒壊	ビニールハウス幾束4本折損
4	市瀬	9/9		8:50	市川市東菅野	4-18-18	市学	216	～			SJK0010A	電柱:折損/倒壊	飛来物により低圧柱折損
5	市瀬	9/9		9:34	市川市原木	2-1752-1	信篤	97	～			SJK0011A	電柱:折損/倒壊	地中電より道路 低圧柱折損 屋根が引っかかっている
61	習志野	9/10(現場発見)			八千代市尾崎	154	寺台	309	～				電柱:折損/倒壊	樹木倒木による低圧柱折損
76	松橋	9/26		10:00	船橋市鈴身町	51-57	サザミ	171	～			SHK0123A	電柱:折損/倒壊	架空ケーブルに倒木により倒木

(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 現場調査表の一例

<現場の簡略図>



<事後の現場状況>



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

(参考) 電柱の損壊事故で二次被害が原因と断定できない例

下の現場調査表については、隣接する家屋の屋根と壁の破損に由来する「飛来物による折損」とされている。一方、折損直後の写真では、電柱は根元から完全に破断している。折損の状態から、住宅間の隙間を通過する突風による折損の可能性を精査する必要があると考えられる。

【現場調査表 (原因：飛来物による折損)】

事業所	管理番号	住所	電柱番号		電柱種類	点検者	電柱の状態(調査結果)
			標識	ブロックNo. 番号			
東金	663	八街市大関 112-14	大関	7104 2240	本柱		飛来物による折損。

写真



(出所) 東京電力パワーグリッド株式会社

【折損直後の写真】



(参考) 沿岸部の電柱損壊率の評価

東京電力P Gは、風圧と電柱の折損の関係の評価するため、風の影響を直接的に受けやすいと考えられる沿岸部(海岸線から約 200m)と、千葉全域における電柱の折損数および折損率を農地や森林などの土地利用種別ごと(田、農地、荒地、公園緑地、河川湖沼等)に集計し、比較した。

その結果、沿岸部の折損率は0.17%、千葉県全域の折損率は0.11%と著しく低く、また有意な差は見られなかった。

風が強い沿岸部で折損率が顕著には高くないことから、電柱損壊の主な原因は強風による飛来物や倒木などの二次被害であると考えられている。

(参考) 関東産業保安監督部による立入検査の実施(電柱)

電柱の損壊事故原因究明のため、電気事業法第107条に基づく立入検査を東京電力P Gに対し実施した。点検記録・マニュアル等の書類を検査するとともに、同社による巡視点検に立会い、規程通りに巡視点検が行われており、千葉県内の電柱100万本の保安体制が確立されていることを確認した。

併せて、電柱の損壊原因の多くが倒木・飛来物等による二次被害の影響との報告を踏まえ、巡視点検時に二次被害発生リスクの評価、それを踏まえた樹木の事前伐採等被害低減のための取組を要請した。




② 損壊事故の原因が特定できなかった電柱の追加調査

損壊原因が確定できなかった20本の電柱について、東京電力P Gにより追加調査を実施した。その結果、現地調査や周辺住民からの情報収集により、18本の電柱について原因の確定に至った。

(参考) 再調査により原因の特定に至った例

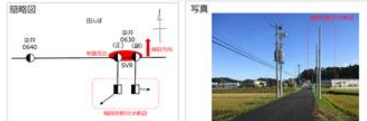
【再調査により原因の確定に至った例①】



■当初の推定原因
・500m程度離れた位置にある、破損したビニールハウスが由来のビニールシートによる折損と推定


■再調査に至った理由
・当該ビニールハウスが離れた位置にあり、電柱周辺にも飛来物の残骸がないため、原因の確定にいたらなかった

再調査を実施



■再調査踏まえた結果
・近隣住民から、雨の影響で、電柱の根本で土砂が田んぼ側に流出していた情報入手
・原因を「地盤の影響による傾斜」に修正


【再調査により原因の確定に至った例②】



■当初の推定原因
・倒木による折損と推定

■再調査に至った理由
・倒木位置が電柱から遠く原因の確定にいたらず

再調査を実施



■再調査踏まえた結果
・折損した電柱の道路向かい側に杉の木の倒木跡を確認
・周辺の樹木の高さから、16~17m級の杉の木が道路向かいの電柱にまで及び倒木し、折損したものと推定

(参考) 原因の特定に至っていない例

【原因の確定に至っていない電柱①】

■飛来物(隣接する家屋の屋根)が原因とされたものの、**電柱の衝突痕が屋根の反対側にあることや、電柱の傾斜状況を踏まえると、飛来物が原因と判断するのが困難**



【原因の確定に至っていない電柱②】

■飛来物(ビニールシート)の由来とされるビニールハウスと電柱の距離が**200m**も離れており、飛来物が原因と判断するのが困難



コメント 飛来物(ビニールハウス)による傾斜。

3. 事故原因の現状分析結果について

(1) 鉄塔

調査の結果、鉄塔で座屈が生じた原因は、基本的には強風が主要因であることが推察される。

一方で、現状は風況シミュレーション、倒壊メカニズムのシミュレーションの前提条件等が明確ではないことが有識者から指摘されている。

(参考) 風況シミュレーション結果における有識者からの指摘等

- ・ 気流シミュレーションの解析領域として、風上から6 kmであるが、十分な領域であるか。
- ・ 広域の数値解析からの流入風の特性として、風向の変化、風速の変化や乱れの特性は十分に考慮されているか。
- ・ 鉄塔・送電線に最大瞬間風速をどのように分布させて風荷重を評価しているのか（位相差、時間差の設定）。
- ・ 風洞実験等により、シミュレーション結果の実証を行うことが望まれる。

(参考) 倒壊メカニズムのシミュレーション結果における有識者からの指摘等

- ・ 前後径間で同様の風速条件としているが、どのような場合を想定したのか。
- ・ 乱れ強さが高さ方向にほぼ一定値（約0.15）であるが、これはどのように設定したのか。
- ・ 鉄塔両端の電線長に2倍の差があり、径間風荷重のアンバランスある可能性もあり、今後シミュレーション結果よりその影響を確認することが望まれる。
- ・ 動的応答を考慮した場合の風荷重は、等価静的計算に比べて、大きくなる場合と小さくなる場合があるようだが、これは、不確定性の一種と考えてよいのではないか。そうだとするならば、この不確定性が、どの程度の変動幅を有しているかを評価すべきではないか。今回の原因から動的応答の影響は除かれているが、要因の可能性としては入れておいても良いのではないか。
- ・ 一部の部材の座屈に起因して鉄塔が即座に構造体として倒壊するのか、あるいはある程度の余裕度があるのかを非線形解析を行い確認し、鉄塔の構造体としてのロバスト性・冗長性を確認する必要がある。

以上の指摘を踏まえ、今後は風況シミュレーションの専門家を交え、以下の課題を明確化し、さらなる原因調査を行うことが望まれる。

- ・ 今回、生じた強風は、どのような特徴を有するものか（乱れ強度、最大瞬間風速）。

- ・ なぜ、この地形において、このような強風が生じたのか。
- ・ 今後の技術基準の改訂を見据え、このような強風が生じる地形の類型化は可能なのか。

(2) 電柱

電柱の折損の原因は、倒木、飛来物、土砂の流出による傾斜等の二次被害が大半であると推定される。一方、2本の電柱については、現存するエビデンスで原因が特定されていない、あるいは、再調査の結果においても原因が確定できなかった。引き続き、外部専門家による調査を継続している。

4. 現地調査の実施について

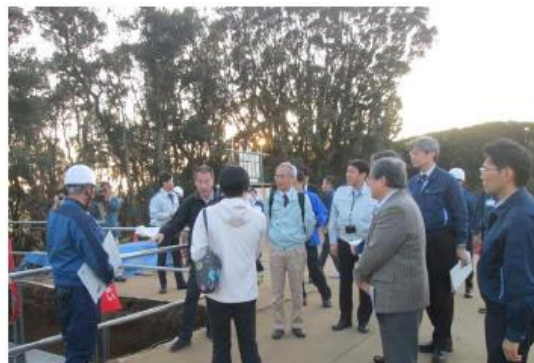
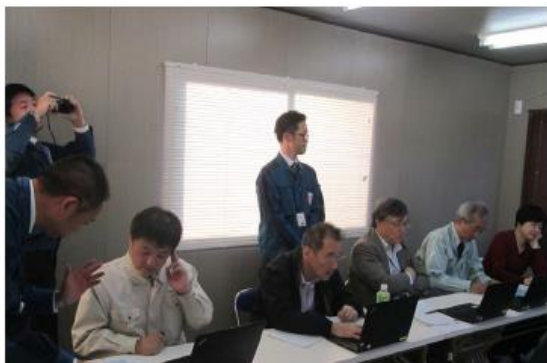
台風15号により倒壊した千葉県君津市にある東京電力PG木内線の鉄塔(No.78、79)の現場確認、鉄塔・電柱の保全・復旧工事等を行っている東京電力PGや工事業者へのヒアリング調査等を実施することにより、鉄塔・電柱の損壊事故の原因調査の深掘りを行った。

(参考) 現地調査概要

項目	内容
調査日時	令和元年(2019年)11月10日(日)13:45~16:30
参加者	横山座長、石川委員、木本委員、熊田委員、松井委員 ※事務局(経済産業省電力安全課長)、関東産業保安監督部長等が同行
先方対応者	東京電力パワーグリッド株式会社技監、工務部、配電部 株式会社TLCの現場責任者
調査内容	①鉄塔の倒壊事故の現場調査 ②保全・復旧工事等を行った東京電力パワーグリッド株式会社等へのヒアリング調査 ③鉄塔・電柱の損壊に関する写真・記録データの確認

現地調査の時点では、保全・復旧工事のため、倒壊した鉄塔及び送電線は除去されていたことから、東京電力PG及び関東産業保安監督部による鉄塔倒壊時の写真等を基にした説明を聴取した。現地調査では、局地的な風が吹いた可能性、鉄塔の基礎部分の施工状況等についても東京電力PGや工事会社等からヒアリングを実施した。

(参考) 現地調査の様子



(参考) 現地調査における委員からのご意見等 (鉄塔)

委員からは主に、鉄塔の設計内容や局地的な風速上昇の可能性に関する指摘があった。

項目	委員からのご意見等
鉄塔の倒壊について	<ul style="list-style-type: none">・鉄塔の上部構造に破損箇所や部材の腐食等はなかったのか。・No. 79 鉄塔の方が、送電線に角度がついており、張力も大きくなっているのではないか。・No. 78 鉄塔の下部部分の部材の損傷が激しい。また、No. 79 鉄塔も根本から大きく変形している。・倒壊した鉄塔付近では、樹木の損壊がひどく、大規模。樹木が倒れた向きの鉄塔の倒壊と同様の方向であり、付近で風がかなり加速されたおそれがある。

項目	委員からのご意見等
	<ul style="list-style-type: none"> 平成3年台風19号後に、各電力会社は鉄塔の特殊箇所を考慮した対策を講じるようになったが、今回倒壊した鉄塔について何らかチェックは行ったのか。
確認データ	<ul style="list-style-type: none"> 事故当時の鉄塔周辺の気象データ（アメダス等）はないのか。 設計書に基づき、各部材への負荷も含めた鉄塔の強度検証は行ったのか。

（参考）現地調査における委員からのご意見等（電柱）

委員からは、主に事故記録の保存・共有の方法や損壊原因について指摘があった。

項目	委員からのご意見等
設計諸元等	<ul style="list-style-type: none"> 電柱の強度設計で考慮すべき諸元を明確にすべき。 他社の通信線も含め電柱の強度設計は考慮しているのか。
損壊原因	<ul style="list-style-type: none"> 損壊した1,996本の事故原因のデータ、特に事故状況を記録した写真は全てそろっているのか。 損壊した1,996本のうち、現場の写真等がないものも存在。現時点で原因が明確ではないものもあるのではないのか。 （電線の近くに）飛来物が落ちていても、それが原因か分からないのではないのか。海から強い風が吹いて、電柱の損壊に影響がなかったか確認すべき。 1,996本の中には、倒木等で停電に直接影響を与えたもの以外に、保安上の観点から取替えを行ったものもあるのではないのか。
気象の影響	<ul style="list-style-type: none"> 気象条件が時々刻々変化する中、配電設備の損壊状況は時系列的に分からないのか。 一般的に風速が強い海岸付近で倒壊した電柱は少なく、山間部が多い印象。
停電の原因	<ul style="list-style-type: none"> 電線の断線や屋根等の飛来物が電線に接触し、短絡を起こして停電したものもあるのではないのか。

5. 東京電力パワーグリッド株式会社による事故原因調査検討について

（1）鉄塔

①検討体制

(a) 「66kV 木内線鉄塔倒壊事故調査検討委員会」並びに作業会の設置

台風 15 号による 66kV 木内線の鉄塔倒壊事故を受け、事故原因の解明及び再発防止対策を検討するために、東電 P G 内に同社技監を委員長とし、社外専門家を顧問とする「66kV 木内線鉄塔倒壊事故調査検討委員会」（以下、「東電委員会」）を設置している。

東電委員会では、事故原因等の検討内容に応じて、必要により更に委員以外の参加を求めることとしている。また、委員会下部組織として送電技術担当を主査とする作業会を設置している。

(b) 東電委員会の構成

顧問	大熊 武司 神奈川大学 名誉教授 加藤 央之 日本大学 文理学部地球科学科教授 高橋 徹 千葉大学 構造安全計画教育研究領域教授
委員長	東京電力パワーグリッド株式会社技監
委員	東京電力ホールディングス株式会社経営技術戦略研究所 東京電力パワーグリッド株式会社工務部長 東京電力パワーグリッド株式会社工務部送変電建設センター所長 東京電力パワーグリッド株式会社工務部 送電技術担当 東京電力パワーグリッド株式会社工務部 土木技術担当 東京電力パワーグリッド株式会社工務部送電グループ 送電設備保全担当
幹事	東京電力パワーグリッド株式会社木更津支社長 東京電力パワーグリッド株式会社工務部 送電グループマネージャー 東京電力パワーグリッド株式会社工務部 流通土木グループマネージャー

(c) 各開催状況・活動状況

東電委員会の開催状況は以下のとおりである。

(参考) 東電委員会の開催状況

回	開催日程	主な議題
1	2019 年 9 月 30 日 (月)	①事故当時の気象 ②事故概要 ③設備及び周辺の被害状況 ④被害鉄塔の施工及び保守管理の確認結果

回	開催日程	主な議題
		⑤倒壊鉄塔の既設計確認結果 ⑥倒壊鉄塔の耐風性能評価結果 ⑦倒壊鉄塔付近の風速推定結果
2	2019年10月29日(火)	・検討状況説明及び審議 ①台風15号と19号の気象比較結果 ②倒壊鉄塔付近の風速推定結果 ③推定風速による応力解析結果(鉄塔倒壊メカニズムの検討) ④基礎の試掘調査結果 ⑤電線損傷箇所調査結果
3	2019年11月11日(月)	①台風15号と過去の台風との比較 ②鉄塔倒壊メカニズムの解明 ③局所風をもたらした地形的な特徴に関する考察 ④再発防止対策の方向性検討状況
4	2019年11月29日(金)	①気流解析結果の追加報告 ②倒壊メカニズムの解明 ③鉄塔倒壊原因と対策(中間報告)
5	2019年12月13日(金)	①再発防止対策案 ②事故報告書案

②検討事項

東電委員会における調査検討事項は以下のとおりである。

(参考) 調査検討事項

項目	内容
事故状況の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事故当時の気象と事故概要 ・ 設備の被害 ・ 周辺の被害状況(倒木など) ・ 製作、施工及び保守管理状況 ・ 鉄塔の既設設計確認 ・ 基礎の既設設計確認
事故原因の解明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 倒壊鉄塔付近の風速の推定 ・ 推定風速による応力解析 ・ 基礎の試掘調査、評価

項目	内容
	・倒壊メカニズムの解明
再発防止対策の確立	・既設設備の対策方針作成 ・新設設備の対策方針作成

③各検討内容の詳細、結論

東電委員会における各調査検討により、今までに把握・判明された内容は、第1～3回本ワーキンググループにおいて説明されている。

(2) 電柱

①検討体制

(a) 「電柱損壊事故調査検討チーム」の設置

台風15号による東京電力管内で発生した電柱損壊事故を受け、事故原因の解明、損壊電柱の保全状況確認及び本ワーキンググループへの情報提供等を行うために、東京電力パワーグリッド株式会社配電部内に同社配電部長を主査とする「電柱損壊事故調査検討チーム」（以下、「調査検討チーム」）を設置している。

また、配電部内メンバーについては、適宜、調査検討チームの指示に基づき、検討調査に協働している。

(b) 調査検討チームの構成

主査	東京電力パワーグリッド株式会社配電部長
副主査	東京電力パワーグリッド株式会社配電部長代理
メンバー	東京電力パワーグリッド株式会社配電部 配電設計グループマネージャー
	東京電力パワーグリッド株式会社配電部 配電技術グループマネージャー
	東京電力パワーグリッド株式会社配電部 配電エンジニアリングセンター保全高度化グループマネージャー

(c) 各開催状況・活動状況

調査検討チームは、令和元年（2019年）10月1日に設置され、隔日で活動し、必要に応じ随時対応を行っている。

②検討事項

調査検討チームの実施項目及び内容は以下のとおりである。

(a) 損壊した電柱の保全記録確認

損壊した1,996本の電柱について、保安規程に定められている巡視の記録及び点検結果を集約し確認している。

(b) 損壊原因の記録に関する調査

各事業所から報告された損壊原因を確認するとともに、千葉県域の各事業所及び工事会社へ出向き、保管されている台風通過直後の巡視記録、図面、写真などの書類の確認及び収集を実施している。

(c) 現地調査

(b)で損壊原因が特定できなかった417本の電柱について、現地に出向き、残された痕跡に関する情報収集及びその情報に基づいた損壊原因を推定している。

(d) 現地出向者に対する損壊原因に関するヒアリング

(c)で損壊原因の推定をした417本の電柱について、各事業所に対してヒアリングを実施し、現地の被害状況を直接確認した社員から損壊原因に関する情報を収集している。

(e) 損壊状況及び原因に関する分析

電柱の損壊状況及び損壊原因に関する、以下の分析を行っている。詳細は③に示す。

- a. 施設年、エリア別の損壊状況の評価
- b. 倒木や飛来物が電柱に与える影響
- c. 損壊した撤去柱の調査

(f) 経営への報告

調査検討チームの活動内容及び調査結果については、経営層へ、適宜報告を実施している。

(g) その他

本ワーキンググループからの要請への対応を随時行っている。

③各検討内容の詳細、結論

(a) 損壊した電柱の保全記録確認

損壊した1,996本の電柱の保全履歴を確認したところ、保安規程に基づく保全が適切に実施されていたことを確認した。

(b) 損壊原因の記録に関する調査（台帳、設計図面等の確認）

各事業所から報告された損壊原因を確認するとともに、千葉県域については要員が各事業所及び工事会社へ出向き、停電復旧や巡視などを実施した。

現地出向者が判断した記録を確認、その結果、損壊原因が倒木・建物の損壊や飛来物、地盤の影響による二次被害であることを確認した。

(c) 現地調査

(b)で損壊原因が特定できなかった417本の電柱について、本社要員を後日現地へ派遣し、現場調査を実施した結果、二次被害であることを推定した。

(d) 現地出向者に対する損壊原因に関するヒアリング

(c)で損壊原因の推定をした417本の電柱について、各事業所の現地出向者に対してヒアリングを実施したところ、138本の電柱について損壊原因（二次被害）が判明した。

(e) 損壊状況及び原因に関する分析

a. 施設年、エリア別の損壊状況の評価

- ・ 損壊した電柱に特定の年代に集中するような特異性はなかった。
- ・ 沿岸部で損壊した電柱の周囲環境を調査した結果、近隣の同じ環境に施設された電柱には被害が見られなかった。
- ・ 風の影響を直接的に受けやすい沿岸部と他のエリアの折損率を比較した結果、双方ともに折損率は著しく低く、また有意な差は無かった。

b. 倒木や飛来物が電柱に与える影響

- ・ 倒木については、目通し50cmの樹木が電線に3本倒れ、かつ風速30m/sの風が加わると電柱が折損する恐れがあることがわかった。
- ・ 飛来物については、2.25m×15mの飛来物が電線にかかり、かつ風速30m/sの風が加わると電柱が折損する恐れがあることがわかった。

c. 損壊した撤去柱の調査

- ・ 損壊した電柱の調査において、鉄筋の錆により強度が低下していた電柱はなかった。

(a)～(e)の結果に基づき、東京電力P Gにおいては、損壊した1,996本の電柱は、倒木・建物の損壊や飛来物、地盤の影響による二次被害であると判断している。

第3章 技術基準の適切性について

1. 現行の鉄塔・電柱に係る技術基準

(1) 電気事業法第39条に基づく電気設備の技術基準

電気事業法第39条に基づく電気設備の技術基準（以下、「技術基準」という。）に基づき、架空電線路の支持物（鉄塔・電柱）の材料及び構造は、引張荷重や風圧荷重等を考慮し、倒壊のおそれがないよう安全なもの、であることを求めている。

（参考）電気設備の技術基準（抄）

【支持物の倒壊の防止】

第32条 架空電線路又は架空電車線路の支持物の材料及び構造（支線を施設する場合は、当該支線に係るものを含む。）は、その支持物が支持する電線等による引張荷重、風速四十メートル毎秒の風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される気象の変化、振動、衝撃その他の外部環境の影響を考慮し、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。ただし、人家が多く連なっている場所に施設する架空電線路にあつては、その施設場所を考慮して施設する場合は、風速四十メートル毎秒の風圧荷重の二分の一の風圧荷重を考慮して施設することができる。

2 特別高圧架空電線路の支持物は、構造上安全なものとする等により連鎖的に倒壊のおそれがないように施設しなければならない。

（参考）電気設備の技術基準の解釈（抄）

【架空電線路の強度検討に用いる荷重】（省令第32条第1項）

第58条 架空電線路の強度検討に用いる荷重は、次の各号によること。

一 風圧荷重 架空電線路の構成材に加わる風圧による荷重であつて、次の規定によるもの

イ 風圧荷重の種類は、次によること。

（イ）甲種風圧荷重 58-1表に規定する構成材の垂直投影面に加わる圧力を基礎として計算したもの、又は風速40m/s以上を想定した風洞実験に基づく値より計算したもの（例、鉄塔2,840Pa等）

（略）

五 常時想定荷重 架渉線の切断を考慮しない場合の荷重であつて、風圧が電線路に直角の方向に加わる場合と電線路に平行な方法に加わる場合とについて、それぞれ58-4表に示す組合せによる荷重が同時に加わるも

のとして荷重を計算し、各部材について、その部材に大きい応力を生じさせる方の荷重

(参考) 電気設備の技術基準の解釈における風圧荷重の例

58-1表

風圧を受けるものの区分		構成材の垂直投影面に加わる圧力		
支持物	木柱	780Pa		
	鉄筋コンクリート柱	丸形のもの	780Pa	
		その他のもの	1,180Pa	
	鉄柱	丸形のもの	780Pa	
		三角形又はひし形のもの	1,860Pa	
		鋼管により構成される四角形のもの	1,470Pa	
		その他のもの	腹材が前後面で重なる場合	2,160Pa
			その他の場合	2,350Pa
	鉄塔	単柱	丸形のもの 六角形又は八角形のもの	780Pa 1,470Pa
		鋼管により構成されるもの(単柱を除く。)	1,670Pa	
その他のもの(腕金類を含む。)		2,840Pa		
架渉線	多導体(構成する電線が2条ごとに水平に配列され、かつ、当該電線相互間の距離が電線の外径の20倍以下のものに限る。以下この条において同じ。)を構成する電線	880Pa		
	その他のもの	980Pa		
	がいし装置(特別高圧電線路用のものに限る。)	1,370Pa		
腕金類(木柱、鉄筋コンクリート柱及び鉄柱(丸形のものに限る。)に取り付けるものであって、特別高圧電線路用のものに限る。)		単一材として使用する場合 1,570Pa その他の場合 2,160Pa		

(参考) 電気設備の技術基準の解釈における組合せによる荷重の例

58-4表

荷重の種類	風圧の方向	垂直荷重				水平積荷重			水平線間重			
		架渉線重量	がいし装置重量	支持物材重量	雷閃誘起重量	鉄塔重量	風圧荷重	水平積荷重	ねじり力荷重	風圧荷重	水平線間重	ねじり力荷重
常時想定荷重	電線路に直角	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	電線路に平行	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
異常時想定荷重	電線路に直角	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	電線路に平行	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
異常雷撃時想定荷重	電線路に直角	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	電線路に平行	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

□ : 架渉線(電線、地線、がいし等)の荷重
○ : 鉄塔の荷重

(2) 鉄塔・電柱に係る風圧荷重の技術基準の変遷

鉄塔・電柱に係る風圧荷重の技術基準に関しては、明治44年(1911年)に制定された電気工事規程において、「風圧荷重」の概念が初めて導入された。

その後、昭和7年（1932年）に改正された電気工作物規程の解説において、風速について、「基準風速を40m/秒」と定めている記載が確認されている。

その後、昭和40年（1965年）の電気事業法の制定と同時に、電気設備の技術基準（省令）の解説の策定時に、当時の民間規程（JEC-127（1965））を参考に「40m/秒の風圧荷重」を規定したと推察される。

更に、平成9年（1997年）の電気設備の技術基準（省令）の改正において、「風速40m/秒の風圧荷重」が技術基準の本体に明記された。

（参考）鉄塔・電柱に係る風圧荷重の技術基準の変遷

年	1911年 (明治44年)	1919年 (大正8年)	1932年 (昭和7年)	1965年 (昭和40年)	1997年 (平成9年)
規程名	電気工事規程	電気工作物規程	電気工作物規程	電気設備の技術基準	電気設備の技術基準
主な改正内容	鉄塔風圧の規定	着氷荷重の規定等	鉄塔種類の規定 鉄塔風圧の増加	風圧荷重の種別と適用JEC127(1965)の改訂に伴い改正	技術基準の性能規定化(省令で風速40m/sと規定)
鉄塔風圧(山形鋼・高温季)	4貫800匁/平方尺 (196.02kg/m ²)	40ポンド/平方尺 (197.6kg/m ²)	300kg/m ²	290kg/m ²	2,840Pa
風速の規定の詳細	—	—	規程の解説に「風圧荷重(基準風速を40m/秒とした場合の値)」と記載	基準の解説に「風速40m/秒の風があるものと仮定した場合に生ずる荷重」と記載	技術基準に「風速40m/秒の風圧荷重」と記載

(注) 1928年（昭和3年）11月、我が国初の耐風構造に関する規則が警視庁令第27条（強度計算に適用する風圧力）として発布された。
[資料] 経済産業省調べ

（3）送電用鉄塔設計標準 JEC-127（1965）

鉄塔の耐用年数から考えて、再現期間¹を50年に設定し、4～11月（高温季）、12月～3月（低温季）に分けて、地上15mにおける各地の風速の等値線をもって図示した風速分布図を参照し、一般地域の基準風速を40m/sと定めた。

¹ 一定の強度をもった自然現象（台風・豪雨など）が再び発生するまでの期間。

(参考) 風速分布図 (4月～11月 (高温季))



(出所) 平成 16 年技術基準適合評価委員会 報告書より引用 (社団法人日本電気協会適合評価委員会)

(4) 技術基準における風速 40m/s の考え方

技術基準の設計風速、鋼材の許容応力度は、電気学会の標準規格 (JEC-127-1965) 「送電用鉄塔設計標準」に基づいている。

JEC-127-1965 「送電用鉄塔設計標準」では、10 分間最大平均風速と鉄塔の構造安全率を採用することで、最大瞬間風速の荷重に対応している。

(参考) 技術基準の解釈 57 条解説

本条の規定は、鋼材の許容応力、細長比などについては、電気学会電気規格調査会標準規格 JEC-128-1965 「送電用鉄柱設計標準」及び電気学会電気規格調査会標準規格 JEC-127-1965 「送電用鉄塔設計標準」に基づくものである。

(参考) 電気学会電気規格調査会標準規格 JEC-127-1965 「送電用鉄塔設計標準」説明書

18. 設計風速

ある規模をもつ構造物に対して、最大の荷重を与える瞬間風速は、どの程度の継続時間をもつものであるか、いいかえれば何秒間の平均風速に相当する

ものであるかは、なお明らかでない。したがって、鉄塔の設計風速としては、わが国の気象観測記録より、最も長い歴史をもち、データの豊富な **10分間最大平均風速** に相当するものを取り、現段階では判然としない **最大瞬間風速の荷重の増加には、鉄塔の構造安全率で対応** させることとした。

31. 鋼材の許容応力度

諸外国の規定あるいは、国内他学会の動向も参照して、常時設計応力に対して **安全率を 1.5 に定めた**。～略～ここでいう安全率の値は、鋼材の下限降伏点をもった個材の降伏点応力度ないし座屈応力度に対して許容応力度が有すべき安全率の値を示すものであり、大半の部材の降伏点がその下限規格値を大幅に上まわり（一般構造用鋼材では 20%程度）、しかも、骨組みとして構成された鉄塔の構造安全率は、ここで定めた安全率の値よりかなり大きいことが期待され、JEC-127 によって設計された鉄塔について、これまでに実施された **実大実験の結果では、その破壊荷重は、常時設計荷重の 1.8～2.0 倍またはそれ以上を示している**。

(5) 局地風に対する対応

鉄塔について、台風の襲来頻度が多い地域では個別の基準風速を設定、若しくは地形的な条件により風速が増加する特殊箇所においては、JEAC6001 (JESC E0008) 「架空送電規程」に基づき、局地風況シミュレーションや観測データを用いた解析による強風設計を実施。

(参考) 基準風速の個別設定 (鉄塔)

電力	対応内容	基準風速への反映 ※平均風速
沖縄	台風の襲来頻度が多いことから、基準風速を個別設定。	全エリアで風速60m/s※
九州	JEC-127(1965)における再現期間50年の全年最大平均風速(m/s)を参考にして、基準風速を個別設定。その後、1993年台風13号での設備被害を受けて、基準風速を個別設定。(再設定)	大隅半島北部ならびに薩摩半島北部:風速45m/s※ 大隅半島南部ならびに薩摩半島南部:風速50m/s※ 北緯30°以南(奄美大島など):風速55m/s※
四国	JEC-127(1965)における再現期間50年の全年最大平均風速(m/s)を参考にして、基準風速を個別設定。	室戸岬:50m/s※ 足摺岬:45m/s※

(出所) 電気事業連合会

(参考) JEAC6001(JESC E0008)「架空送電規程」(抄)

第6-2条解説

台風の襲来ひん度が多く、強風が発生する地域において、電線路のルート選定を行うに当たっては、地元における経験や気象関係の知見を参考として、地形的な条件により風速が増加する特殊な地形箇所の把握に努め、極力このような箇所を回避するよう努めることが望ましい。特に以下のような特殊地形箇所において、慎重な配慮が必要である。参考として、平成3年9月の台風19号による被害箇所の特徴を別表17に示す。

- ア. 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(山岳部の特殊箇所)
- イ. 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当たる箇所(海岸周辺の特殊箇所)
- ウ. 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(海岸周辺の特殊箇所)
- エ. 岬・小さい島等、海を渡る風が吹き抜ける箇所(岬・島しょ部の特殊箇所)

(略)

別表17 平成3年9月の台風19号による被害箇所の特徴

台風による強風が局地的に強められる特殊箇所に施設する鉄塔の強風時荷重等、第6-2条解説に記載した平成3年9月の台風19号による被害箇所では以下のような特徴が認められるので、特に留意する必要がある。

(1) 山岳部の特殊箇所

標高800m程度以上の山岳部において、東西方向にのびる稜線上を稜線とほぼ平行に線路が走行し、南に風の収束しやすい地形、北側に風の吹き下ろす平野部があり、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

南又は南西側の海岸から4km程度以内で、傾斜度0.2程度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

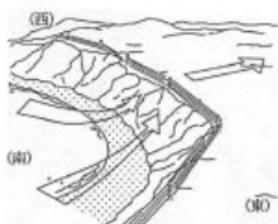
(3) 岬・島しょ部の特殊箇所

主風向方向の陸地の幅が2km程度以内の岬又は島しょ部にあつて、主として切り通し又は鞍部等の風が収束しやすい地形の箇所

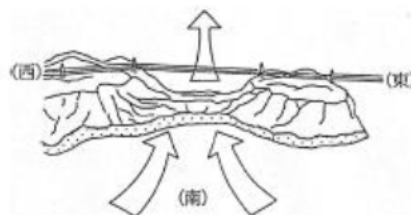
(参考) 強風が局地的に強められる特殊箇所



(山岳部の特殊箇所)



(海岸部の特殊箇所)



(岬・島嶼部の特殊箇所)

(出所) 電気事業連合会

また、電柱については支持物（電柱）の連鎖倒壊防止のための支線の設置（民間規格（配電規程）に基づく）や過去の台風による被害を踏まえた設計風速を個別に設定。

(参考) 連鎖倒壊防止対策（支線の設置）や基準風速の個別設定（電柱）

電力	対応内容	備考
全国	「配電規程（JEAC7001-2017）第2章 第210節 2.支線の取付が望ましい支持物」に基づき、 連鎖倒壊防止として支線を設置 。 ^{※2}	電柱の連鎖倒壊を防止するため、設備施設環境や支線施設可否を考慮し直線部が連続する線路は十数径間毎に電線路方向両縦支線を極力取付し、数径間毎に線路直角方向にその両側に振留支線（支柱）を極力取付けている。
九州	JEC-127(1965)における再現期間50年の全年最大平均風速(m/s)を参考にして、基本風速を見直し。その後、1985年の台風13号、1991年の台風19号による甚大な被害を踏まえ、一部地域の基準風速を個別設定。	<ul style="list-style-type: none"> 九州南部離島、鹿児島南部一部地域：風速50m/s^{※1} 九州の西海岸、山岳部一部地域：風速45m/s^{※1}
中国	1991年の台風19号による甚大な被害を踏まえ、一部地域の基準風速を個別設定。	<ul style="list-style-type: none"> 地形的特徴により強風が吹きやすい以下の一部地域：風速45m/s^{※1} <ul style="list-style-type: none"> a. 湾、入江等で両側に高い山や島のある地域 b. 山の尾根付近 c. 海から風が吹き上げる場所
沖縄	2003年の台風14号による一部離島における連鎖倒壊被害を踏まえ、JEC-127(1965)における再現期間50年の全年最大平均風速(m/s)を参考にして、基本風速を個別設定。	<ul style="list-style-type: none"> 宮古島列島の一部地域：風速50m/s^{※1}

※1 平均風速

※2 使用電圧が35,000Vを超える特別高圧架空電線路については、電気設備の技術基準解釈第92条で規定されている内容だが、低圧及び高圧の架空電線路では規定されておらず、配電規程に基づき自主的に実施しているもの。

(出所) 電気事業連合会

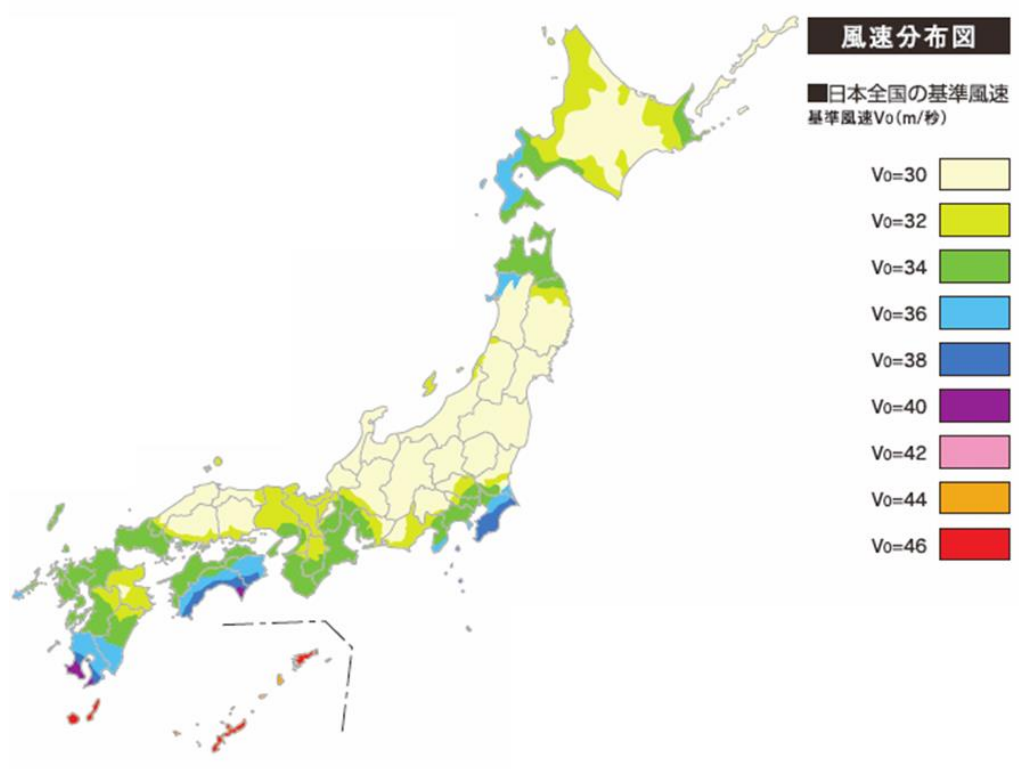
2. 関連する国内外の技術基準ほか

(1) 我が国の他制度における地域風速の適用事例について

「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説（平成30年3月版）」においては、「基準風速は、平坦で地表面粗度区分Ⅱの地上高さ10mにおける再現期間50年の10分間平均風速とし、平成12年建設省告示第1454号に示す市

町村別の基準風速を用いる。」と定められており、地域の実態に応じた風の強さを考慮している。

(参考) 市町村別の基準風速マップ (平成 12 年建設省告示第 1454 号)



(出所) 一般社団法人・日本エクステリア工業会ホームページ

(参考) 諸外国の規格における設計風速 (鉄塔) について

諸外国では、鉄塔の基準風速の設定に当たり地域別の基準風速や観測値を適用している。

対象国/規格	規格NO/発行	タイトル	基準風速の設定方法	再現期間/地形の考慮	安全率※
米国	ASCE/2009/米国土木学会(連邦法で引用) ※基準風速は2005年に制定	Guidelines for Electrical Transmission Loading	地域別の基準風速を適用 ➢ 3秒瞬間風速で規定 ➢ 特にメキシコ湾～フロリダ～東海岸ではハリケーンの影響が考慮され、フロリダ半島先端で最大瞬間風速67m/sである。 ➢ 最小風速:内陸部で最大瞬間風速38m/s	50年/地形の考慮なし	1.0
オーストラリア	AS 3995/1994/オーストラリア標準(建築基準法に準拠)	Design of steel lattice towers and masts	地域別の基準風速を適用 ➢ 最大瞬間風速で規定 ➢ 最大風速:インド洋側で最大瞬間風速85m/s(海岸線約100～200kmの地域で基準風速が高い) ➢ 最小風速:内陸部で最大瞬間風速50m/s	50年/崖・尾根・丘	1.1
台湾	PG9502-0782/2006/内政部建築研究所	建物附属施設及臨時構造物耐風設計準則之探討	地域別の基準風速を適用 ➢ 10分平均風速から最大瞬間風速に換算 ➢ 最大風速:島嶼部で10分平均65m/s ➢ 最小風速:内陸部で10分平均22.5m/s	50年/地形の考慮なし	1.1
フィリピン	NSCP-2001/2001/フィリピンの構造エンジニア協会(国家建築コードに相当)	National Structure Code Of The Philippines	地域別の基準風速を適用 ➢ 3秒瞬間風速で規定 ➢ 最大風速:東海岸で70m/s ➢ 最小風速:西海岸で35m/s	50年/崖・尾根・丘	1.0
国際規格	IEC 60826/2017	Design criteria of overhead transmission lines	地域別の基準風速を適用 ➢ 観測値(10分平均)から最大瞬間風速に換算 ➢ 通常は気象観測所のデータを用いる	50年、150年、500年 ※50年以上の場合は、荷重係数の割増あり	1.0
日本	電気事業法	電気設備の技術基準を定める省令/技術基準の解釈	一律:40m/s ➢ 10分平均風速で規定	定義なし	1.5

※諸外国では、最大瞬間風速から風圧を算定し、安全率約1.0で設計を行うことが一般的(基準風速が10分平均で求められている場合においても、最大瞬間風速に換算後、風圧に換算)。日本では、最大瞬間風速に対する安全性については、安全率を1.5で包含している。

(参考) 諸外国の規格における設計風速 (電柱) について

諸外国では、電柱については、地域別の基準風圧を適用している。また、諸外国では、木柱も多く存在するが、その安全率はコンクリート柱や鉄柱より高く設定している事例が多い。

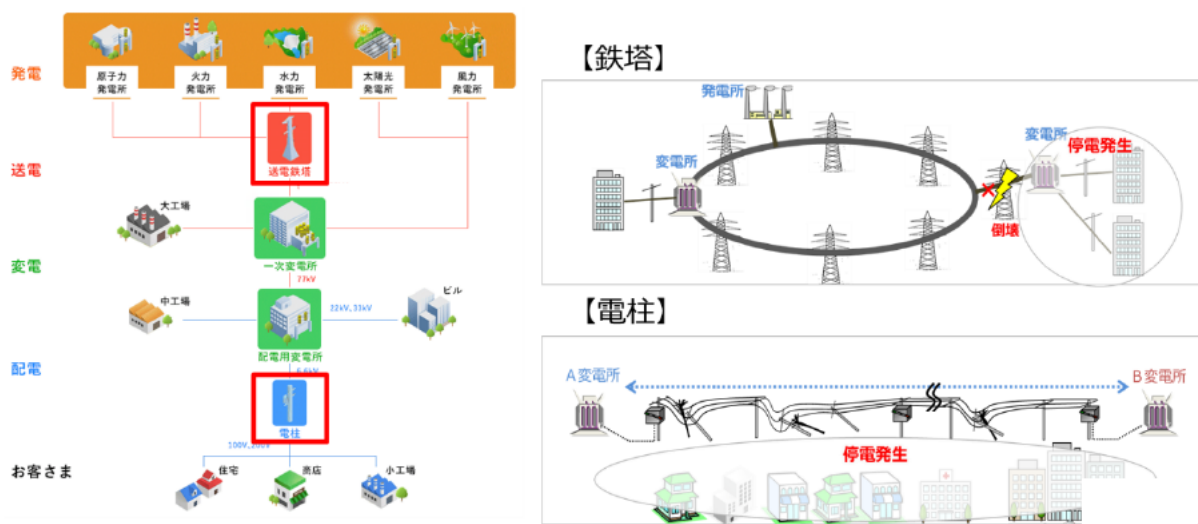
対象国	規格NO/発行	タイトル	基準風圧の設定方法	荷重係数	安全率※
米国	IEEE/2009/米国土木学会(連邦法で引用) ※基準風速は2005年に制定	National Electrical Safety Code	気温/着氷を考慮し、6つの地域の基準風圧を適用 標準: Light、基準風圧: 430Pa ※気温が0度を超える地域を想定 ハリケーンが想定される基準風速が高いメキシコ湾～フロリダ州～東海岸沿いのExtremeクラス、基準風圧を適用し、風圧に換算(パラメータあり)	Grade B: 高速道路へのアクセス 水平風圧: 2.5 送電線: 1.65 Grade C: 交差点付近 水平風圧: 2.2 送電線: 1.3 Grade C: その他 水平風圧: 1.75 送電線: 1.3 Grade B: 水平風圧: 1.0 送電線: 1.0 Grade C: 水平風圧: 0.87 送電線: 1.0	鉄柱、プレストレスト・コンクリート: 1.0 木柱、鉄筋コンクリート: 1.53 鉄柱、プレストレスト・コンクリート: 1.0 木柱、鉄筋コンクリート: 1.17 鉄柱、プレストレスト・コンクリート: 1.0 木柱、鉄筋コンクリート: 1.33
オーストラリア	AS 4676/2000/オーストラリア標準	Structural design requirements for utility services poles	地域別の基準風圧を適用 標準: A、基準風圧: 1,500Pa	周辺構造物係数: 0.56～1.25 地形係数: 1.0～2.0 抵抗係数: 0.6～1.9(円柱は1.2) ※電柱高さ等によって異なる	標準: 1.0
台湾	電業法	電業供電線路装置規則	地域別の基準風圧を適用 標準 鉄柱: 240kgf/m ² (2,352Pa) 木柱、プレストレスト・コンクリート: 80kgf/m ² (784Pa)	標準: 1.0	鉄柱: 1.33または1.65 プレストレスト・コンクリート: 1.33または2.0 木柱: 1.33または2.0 ※支持物の等級によって異なる
フィリピン	NSCP-2001/2001/フィリピンの構造エンジニア協会	National Structure Code Of The Philippines	地域別の基準風圧を適用 ※最大風速: 東海岸で風速70m/s相当 ※最小風速: 西海岸で風速35m/s相当	周辺構造物係数: 0.32～1.89 抵抗係数: 0.5～2.0(円柱は1.2) ※電柱高さ等によって異なる	標準: 1.0

(参考) 送配電設備の損壊による停電の影響について

今回の鉄塔の倒壊事故により約 11 万軒で停電が発生したが、翌日には他のネットワークから送電を完了。一方で、鉄塔の建て替えなど本復旧までには半年程度を要する予定である。なお、鉄塔の平均的な建設費用は約 4,261 万円/基 (66/77kV) である。

一方、複数の電柱の損壊事故等により、変電所間の配電線が複数損傷し、1 配電線あたり (東京電力管内での平均で) 約 1,300 軒の停電が発生した。なお、電柱の平均的な建設費用は約 38 万円/本である。

(参考) 送配電設備の損壊による停電の影響



(出所) 関西電力

第4章 今後の対策について

1. 鉄塔

(1) 現行の技術基準の適切性

現行の技術基準について、本WGにおいて、

- ① 風速 40m/s の考え方について、風速が、(最大瞬間風速ではなく) 10 分間平均であることは民間規程に明記されているが、重要な定義なので、技術基準に明記すべき
- ② また、地域における気象条件の違いによりすでに、地域毎で個別風速を民間規程で定めていることから、これを基準化すべき、との指摘があった。

また、台風 15 号により倒壊した鉄塔 2 基は、現行の技術基準で求められる風圧荷重 40m/s (10 分間平均風速) を満たすよう設計されていたものの、特殊な地形による突風 (最大瞬間風速約 70m/s、10 分間平均風速約 50m/s と推定) により、当初の設計強度を大きく上まわる荷重が発生し、先に No. 78 鉄塔が倒壊し、それに引っ張られる形で No. 79 鉄塔が倒壊したと推定され、こうした特殊な地形についてしっかり技術基準に定めるよう議論があったところ。

(2) 対応の方向

こうした本WGの議論を踏まえ、現行の技術基準について、以下の3点を規定する形で見直しを検討する。

- ① 現行の基準風速 40m/s を維持するとともに、40m/s について「10 分間平均」を明確化
 - ② 地域の実情を踏まえた基準風速を適用すること
 - ③ 特殊箇所を考慮すること (JEAC6001 (JESC E0008) 「架空送電規程」に記載の従来の3類型に加え、今回の類型を追加)
- ※①を基本としつつ、②③を考慮した風圧荷重が①を超える場合はそちらを適用。

更に、鉄塔周辺の風況・風向等について、より精緻に把握するためのセンサーの設置や様々な気象データの収集等について検討する。

(3) 地域の実情を踏まえた基準風速（地域風速）の適用

地域の実情を踏まえた基準風速（地域風速）を技術基準に適用するため、まずは各地域の地域風速の設定が必要であり、今後、本WGにおいて具体的に検討していく予定である。地域風速の設定の検討に当たっては、最新の知見や技術等を適切に反映することが重要である。

<検討のポイント>

- ・ 設定する地域の粒度（市町村別、メッシュ、鉄塔ごと 等）
- ・ 再現期間（50年、100年、等）
- ・ データ集計数
- ・ 基準高さ（10m、15m、等）
- ・ 風速の風圧荷重への変換係数（安全率、ガスト影響係数）
- ・ 更新頻度

(参考) 技術基準と建築基準法の風荷重の考え方

技術基準では、基準風速を10分間平均40m/sと定め風圧荷重に換算しているが、突風等による瞬間的な応力の影響は、安全率（1.5）を高く設定して対応するという考え方を採用している。

一方で、地域風速を適用している建築基準法等においては、基準風速として地域別風速を10分間平均で定めた上で、突風等による影響はガスト影響係数（高さ40mで1.8～2.3）を採用している。今後、技術基準に地域風速を取り入れる場合には、安全率とガスト影響係数の整理が必要である。

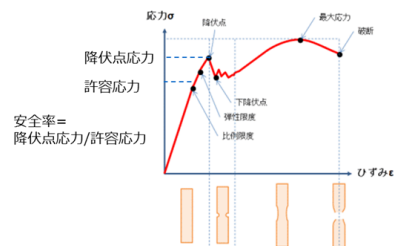
	基準風速	突風率 (最大瞬間風速)	安全率	その他
電気設備の技術基準	全国一律40m/s (高さ15m、10分間平均)	—	○ (1.5)	風圧荷重の算定に風力係数、上空増を考慮。
建築基準法	地域基準風速 (高さ10m、10分間平均)	○ (ガスト影響係数)	—	風圧荷重の算定に風力係数、鉛直分布係数など。

※その他、建設省告示第2464号「鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件」においては、建築基準法施行令各条に定める鋼材の規準強度は、各条で定める値の1.1倍以下の数値とすることができる。また安全率は鉄塔に作用する荷重の自重成分にも掛け合わされており、風圧荷重に対してはより大きな裕度を有している。

<ガスト影響係数について>

地表面粗度区分	説明	ガスト影響係数		
		① H ≤ 10m	② 10m < H < 40m	③ H ≥ 40m
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める区域	2.0	①と③の数値を直線補間	1.8
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分Iの区域以外の区域(建築物の高さが13m以下の場合を除く。) 又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分IVの区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線までの距離が500m以内の地域(ただし、建築物の高さが13m以下の場合を除く。)	2.2		2.0
III	地表面粗度区分I、II又はIV以外の区域	2.5		2.1
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	3.1		2.3

<安全率のイメージ>



(4) 今般の鉄塔の倒壊事故に係る特殊箇所について

東京電力PGによる今般の鉄塔倒壊事故の要因となった地形の分析結果では、台風による強い風が風上側にある標高の高い丘で増速され、送電線手前の急斜

面により更に増速した可能性が指摘されている。このような地形は、現行の民間規程でも「特殊箇所」として類型化されていないため、今般判明した新たな特殊箇所についても類型化・定義化に向けた検討が必要である。

また、既存の鉄塔の設計においては、今般の鉄塔の倒壊事故の要因となった「特殊箇所」の影響は考慮されていないことから、全国の電力会社の鉄塔について、今般の鉄塔の倒壊事故の要因となったものと同様の「特殊箇所」の影響の有無について改めて確認し、仮に鉄塔の強度等に問題があれば必要な補強工事等の対策が必要と考えられる。

したがって、「特殊箇所」の類型化・定義化の作業を速やかに行い、完了次第、経済産業省から各電力会社に総点検の指示を出すことも考えられる。

(参考) 東京電力 P G による特殊箇所 (案)

- 台風の主風向となる風上側 8km 以内に傾斜度 0.2 程度以上かつ標高差 200m 以上の山等があつて、かつ直近に傾斜度 0.2 程度以上かつ標高差 50m 以上の急斜面の頂部付近である箇所

(5) 鉄塔の強度対策について (建て替え、改修等)

鉄塔の総点検の結果、鉄塔の補強等の対策が必要となった場合、鉄塔の建て替えは長期間の送電停止に伴う供給信頼度の低下、費用や用地の確保等が課題となるため、短期間で低コストな補強等の工法についても検討が必要である。また、部材の耐久応力だけでなく、最新の設計技術も取り入れ、構造設計の観点から倒壊を防ぐような設計を行うことが重要となる。

(参考) 鉄塔の強度対策（建て替え、改修等）と課題等

分類	工法	対象鉄塔	概要	工期	コスト	備考
建て替え	①建て替え	小～大	<ul style="list-style-type: none"> ● 設計風速の変更に対応が可能 ● 用地を確保することにより、既存の系統に影響なく長期施工が可能 	長	高	用地取得及び基礎工事に時間を要する可能性あり
鉄塔の補強	②主柱材の部分取替	小～大	<ul style="list-style-type: none"> ● 裕度向上を目指した部位のみ交換が可能であり、効率的 ● 1～2日程度で1部分の取替えが可能 	短～長	中	実績は少ないが、確実に裕度向上が可能
	③主柱材の補強	小～大	<ul style="list-style-type: none"> ● 鋼管材、アングル材それぞれに対応 ● 溶接、ボルト削孔を必要としない ● 通信鉄塔で実績あり 	短～中	低	
	④腹材の補強	小～大	<ul style="list-style-type: none"> ● 主柱材の曲がり易さを抑制。腐食等の取り換え実績が多く、施工方法が確率している ● 溶接、ボルト削孔を必要としない ● 通信鉄塔で実績あり 	短	低	
	⑤支線による補強	小～中	<ul style="list-style-type: none"> ● 支線を張ることにより、鉄塔にかかる荷重を分散 	短	低	技術基準の解釈133条（解説）において、やむを得ない場合に6ヶ月以内の使用を認めている
基礎の補強	⑥基礎部の補強	小～中	<ul style="list-style-type: none"> ● 基礎部を補強し、鉄塔全体の変形を抑制する工法 ● 基礎部の劣化や部材のたわみ等の補強に効果的 	短～中	低～中	
地盤の補強	⑦地盤改良	小～大	<ul style="list-style-type: none"> ● 地盤を改良し、鉄塔の経年的な変形を抑制する工法 ● 地滑りが生じた箇所、地盤が軟弱化した箇所に適用 	短～中	低～中	

- ※ 主柱材：鉄塔を構成する4本の主要な柱
 ※ 腹材：主柱材間を結ぶ斜めの柱
 ※ アングル材：2辺の長さが同じ山形の鋼材。主柱材に用いられる。

(出所) 経済産業省調べ

(参考) 鉄塔の強度対策 (建て替え)

鉄塔の建て替え工法としては、既設鉄塔の隣地等に用地を確保し、新たに鉄塔を建設する工法に加えて、既設鉄塔を包み込むように新たな鉄塔を建設する工法も出始めてきている。

【建て替え工法の事例①】

- 既設鉄塔の隣地等に用地を確保し、新たな鉄塔を建設
- 既存の系統に影響なく施工が可能
- 新設工事と同様であり、新たな基準を踏まえた設計が可能

(鉄塔建替え工事の様子)



(出所) 資源エネルギー庁

【建て替え工法の事例②】

- 既設送電線を包み込むように、新たな鉄塔を建設
- 建て替えに係る十分な用地を確保できない場合に適用
- 用地取得は必要ないが、送電を停止する必要

(包み込み工法の様子)



(出所) 電気事業連合会

(参考) 鉄塔の強度対策 (支柱材の取り替え・補強、腹材の補強)

鉄塔の改修工法としては、鉄塔を構成する主要な部材である支柱材の取り替えや補強を行う工法や、支柱材間を結ぶ腹材を補強する工法もある。

【改修工法の事例①：支柱材の部分取替え】

- 支柱材を部分的に取り替える工法
- 1～2日程度で1部分の取替えが可能
- 裕度不足が懸念される部位の交換に効果的

(部分取替え工事の様子)

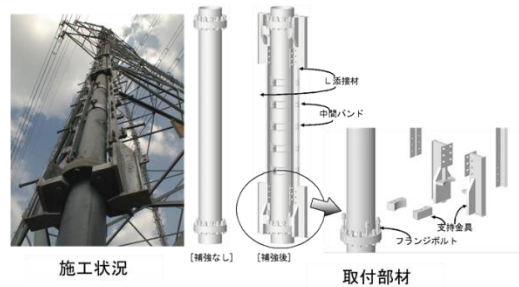


(出所) 愛知金属工業ホームページ

【改修工法の事例②：支柱材の補強】

- 支柱材 (中空鋼管) を補強するための工法
- 支柱材に沿って補強材を取り付けることで、支柱材の断面積を増やし、鉄塔全体の耐荷重を向上
- 国内電力会社で導入実績あり
- 鉄塔の裕度を向上させるための補強に活用され、鉄塔の耐荷重が45%向上した事例あり

(補強工事の様子 (支柱材L添接材工法))



(出所) 日本鉄塔工業

【改修工法の事例③：支柱材の補強 (IMB工法)】

- 支柱材 (アングル材) 及び腹材に適用可能な補強工法
- 部材に対して、溶接やボルト取付け等の加工をせずに補強する工法であり、支柱材の断面積を増やすことで、鉄塔全体の耐力を向上
- 通信用鉄塔に導入実績あり
- 鉄塔の耐荷重が40%程度向上した事例あり

(支柱材の補強工事の状況 (IMB工法))

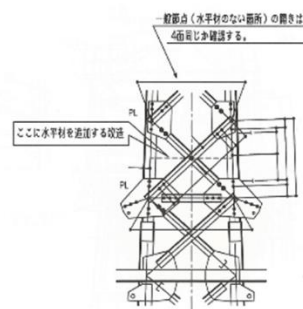


(出所) アイ・ティ・シ・コンサルティングホームページ

【改修工法の事例④：腹材の補強】

- 部材を追加し支柱材や腹材の固定箇所を増やすことにより、支柱材や腹材をより曲がりにくくする効果が期待
- 施工実績が多く、工期・コスト面で優れている
- 腹材のほか、ボルト交換も同時に実施し、鉄塔の耐荷重が30%向上した事例あり
- (今回の事故原因でもある) 支柱材の座屈に対する補強効果が大きいことが期待される

(腹材の補強工事について)



(出所) 合理的な鉄塔改造事例集 (平成22年 日本鉄塔協会)

(参考) 鉄塔の強度対策 (腹材の補強、支線による補強、基礎部の補強、地盤改良)

主柱材・腹材といった部材の取り替え・補強の他、支線を外付けし、強度を分散させる工法や基礎部の補強や地盤改良に係る工法が存在しており、それぞれの特徴に応じ適用・組み合わせる必要がある。

【改修工法の事例⑤：腹材の補強 (IMB工法)】

- 部材に対して、溶接やボルト取付け等の加工をせずに補強する工法であり、主柱材の断面積を増やすことで、鉄塔全体の耐力を向上
- 通信用鉄塔に導入実績あり

(腹材の補強工事について (IMB工法))



(出所) アイ・ティ・シ・コンサルティングホームページ

【改修工法の事例⑥：支線による補強】

- 鉄塔に支線を張り強度を分散させる工法
- 基礎の補強工事での活用事例が多く、コスト面で優れている

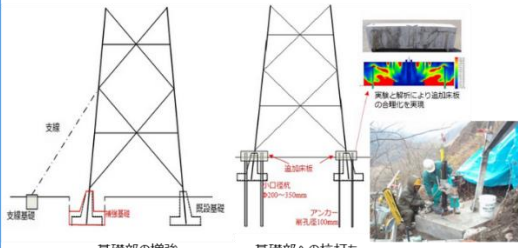
(支線による補強の状況※赤枠内に支線を張っている)



(出所) 東京電力PG(株)

【改修工法の事例⑦：基礎部の補強】

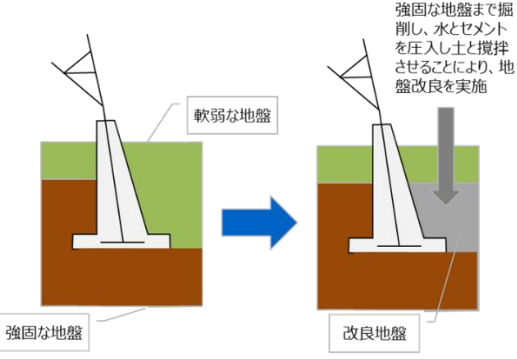
- 鉄塔上部の荷重増加に伴う基礎の耐力不足を補う対策として有効
- 既設の基礎部分を掘り出し増強する方法の他、基礎部分に杭を打つ方法等が存在



(出所) 東京電力ホールディングスホームページ

【改修工法の事例⑧：地盤改良】

- 鉄塔基礎付近に軟弱な地盤が存在する場合、地盤改良により、基礎を安定させる工法が有効であり、変位抑制効果が期待される。



(出所) 経済産業省調べ

(参考) 事故時の状況を想定した補強の可能性について

今般の鉄塔倒壊事故をはじめ、これまでに発生した鉄塔倒壊事故においても、補強による改修が有効な可能性がある。

事故事例
【例：木内線No.78鉄塔】
■鉄塔について ・当該鉄塔の部材はアングル材で構成。
■事故状況について ・事故発生時は特殊な地形により発生した突風により、鉄塔の座屈によって倒壊した可能性。
■事故発生時の風圧荷重について ・事故時には約50m/s（10分間平均）の突風が発生。 ⇒設計風速（40m/s（10分間平均））と比較して約1.25倍の風速（約1.6倍の風圧荷重）が生じた可能性。



事例を踏まえた対応
■補強による事故時の突風への対応について ・鉄塔の補強を行う工法のうち、当該鉄塔の部材で用いられるアングル材への補強に関して以下を検討することで、事故発生時の風圧荷重への対応が期待できる。
①主柱材の補強により耐荷重の約1.4倍の向上実績がある工法を活用
②座屈に対する補強効果が大きく、かつ耐荷重の約1.3倍の向上実績がある腹材の補強工法を活用
③上記と併せて、詳細な部材検討により耐荷重の向上

【改修工法の事例①：主柱材の補強（IMB工法）】

- 主柱材（アングル材）及び腹材に適用可能な補強工法
- 部材に対して、溶接やボルト取付等の加工をせずに補強する工法であり、主柱材の断面積を増やすことで、鉄塔全体の耐力を向上
- 運用用鉄塔に導入実績あり
- 鉄塔の耐荷重が40%程度向上した事例あり

（主柱材の補強工事の様子（IMB工法））

（出所）アイティン・システムズ（株）/アイティン

【腹材の補強工事について】

- 部材を追加し、主柱材や腹材の固定箇所を増やすことにより、主柱材や腹材もより曲がりにくくなる効果が期待
- 施工量が多く、工期・コスト面で優れている
- 腹材のほか、ボルト交換も同時に実施し、鉄塔の耐荷重が30%向上した事例あり
- （今回の事故原因でもある）主柱材の座屈に対する補強効果が大きいことが期待される

（腹材の補強工事の様子）

（出所）自衛隊中央防衛研究所 防衛研究所 日本鉄塔協会

(出所) 事業者ヒアリング等を基に事務局作成

(6) センサー等による風況・風向の把握について

今回の鉄塔の倒壊事故や近年の自然災害の頻発化・激甚化を踏まえ、鉄塔周辺の風況・風向等の気象状況に関する情報をより精緻に把握することが重要である。そのために、既存の気象情報の活用に加えて、鉄塔への計測機器の設置等による高度な気象情報の収集・解析が必要と考えられる。特に今後、特殊箇所の分析を行うにあたり、センサー等により鉄塔周辺の風速、風向き、風の分布等の観測を行い、局地風対策設計のための基礎資料を整備することは重要となってくる。

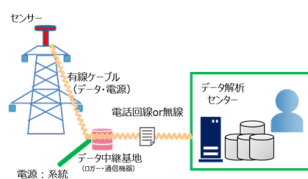
(参考) 既存の風速計の事例

風速計の種類	測定可能項目	価格	備考
風杯型風速計	・風速(水平方向)	約5~20万円程度	・風向が計測できないため、別に風向計を設置する必要あり
プロベラ式風速計	・風速(水平方向) ・風向	約20~50万円	
超音波式風速計	・風速(水平方向及び上下方向) ・風向	約50~60万円	・風向・風速の変化に対する追従性がよい ・価格:20年間で約1/20のコストダウン

※送電鉄塔には電源がなく、電源確保のために電源線やソーラーパネルの設置が必要であり、別途これらの設置・メンテナンス費用が発生

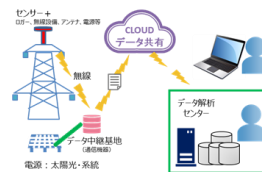
【これまでの通信方式 (過去の実施例)】

- 鉄塔に設置したセンサーで得た情報は、有線ケーブルを通じ、鉄塔近傍のデータ中継基地 (屋内) で受信
- 各種電源は、系統から受電
- データ中継基地から、データ解析センターへは、電話回線を活用し送信



【今後、想定される通信方式】

- 鉄塔に設置したセンサーで得た情報は、無線通信を通じ、データ中継基地を介し、クラウド上で集約
- クラウドに集約することにより、データ管理を効率的に実施



(出所) 事業者ヒアリング等を基に事務局作成

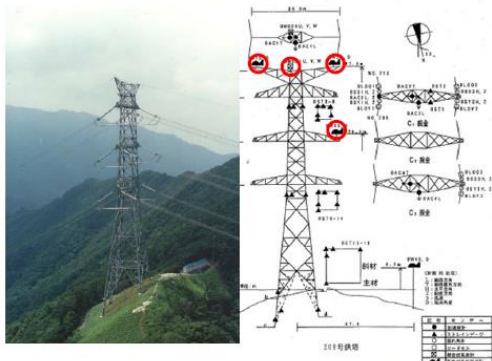
(参考) センサー等による風況・風向の把握 (鉄塔)

風況・風向の測定に関しては、気象観測所では測定しきれない箇所 (山岳地等) の風速を測定し、風況シミュレーションの精度を向上させることや、台風通過後の巡視点検の実施可否の判断等を目的として、風速計を設置するような事例が存在する。

【事例①：山岳地における計測事例】

- 尾根で増速する強風を測定するため、山梨県 笹子峠の山頂にある送電鉄塔に風速計を設置し、風況・風速の測定を、1991年に東京電力とメーカーが共同実施
- 測定したデータにより、風況シミュレーションの精度が向上

(観測用の鉄塔 (鉄塔頂部に風速計を設置))

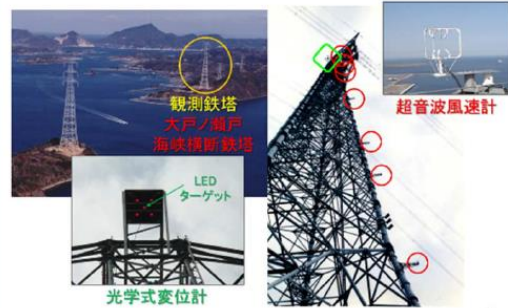


(出所) バコーポレーション

【事例②：海峡における計測事例】

- 台風の観測を目的として、大戸ノ瀬戸の海峡横断鉄塔に風速計を設置し、風況・風速の測定を、1995年に九州電力とメーカーが共同実施
- 測定したデータについては、風況シミュレーションに精度向上に活用

(観測用の鉄塔 (縦方向に風速計を設置し、風の吹き上げ等を計測))



(出所) 日本鉄塔工業 (株)

【事例③：風観測システム】

- 1991年台風17号、19号による鉄塔倒壊を踏まえ、特殊地形における局地風推定の精度向上、原因究明データの蓄積等を目的とし、九州全域122箇所の送電鉄塔頂部に風向風速計を設置。
- 測定したデータについては、台風通過後の巡視点検の実施可否の判断等に活用

(観測用の鉄塔 (鉄塔頂部に風速計を設置))

【鉄塔の風速データ】




(出所) 九州電力 (株) 提供資料

(参考) センサー等による風況・風向の把握 (鉄道、橋梁、建築物、風力発電)
 鉄道、橋梁等の他分野においても、安全の確保を目的とし、風速計等を設置し、風況観測や常時監視を実施している。

【事例①：JR東日本における強風対策の取組】

- 平成17年12月のJR東日本羽越線列車脱線事故を受け、強風対策のため、強風観測エリアを選定
- 選定されたエリアには風速計を設置し、風速監視 (瞬間風速を計測) をリアルタイムで実施
- 規制値以上の風速を検知し、運転停止・再開の判断に活用

(羽越本線での風速計の設置状況)

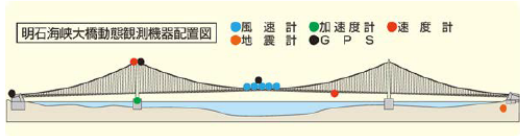


(出典) JR EAST Technical Review-No.45

【事例②：明石海峡大橋での計測】

- 橋梁は台風や地震の影響を受けやすい構造物であることから、日常的な動態観測をリアルタイムで実施
- 具体的には、風向風速計9台の他、加速度計、変位系、地震計、GPS観測機を設置
- 風速25m/s (10分間平均) が測定された場合には、通行止めを実施している

(明石海峡大橋におけるセンサーの概要)



明石海峡大橋動態観測機器配置図

- 風速計
- 加速度計
- 変位計
- 地震計
- GPS

(出所) 本州四国連絡高速道路HP

【事例③：高層ビル上空の風況に関する研究】

- 東急建設技術研究所において、東京都世田谷にある高さ124mの高層建物の屋上で風況測定を実施
- 市街地上空における通常時、台風時の風況について研究
- 当該地域の平均風速と最大瞬間風速の比が、約2.5であることを算出し、東京上空の風況の傾向を把握

(風向・風速計の設置位置) (風向・風速計の設置状況)




(出所) 栗田ら、東京都内上空風の実測、東急建設技術研究所報

【事例④：風力発電所における風況観測】

- 太鼓山風力発電所 (京都府与謝郡) にて直角方向及び鉛直方向における乱流強度がIECの規準を超えていたことから、当該発電所における詳細な風況観測を実施。
- 観測にあたり、高さ60mのトラス式タワーに超音波式風向風速計等を取付けて計測。

(観測機器の設置写真)



(出所) 京都市ホームページ

(参考) 技術基準の見直しを想定した風況・風向データの活用

特殊箇所を考慮した鉄塔の設計・改修に当たっては、該当箇所に既存の気象情報が存在しない場合に、鉄塔周辺の気象情報の収集・活用が特に有効となる可能性がある。

特殊箇所の考慮に係る風況・風向データの活用

【検討事例：木内線No.78鉄塔】

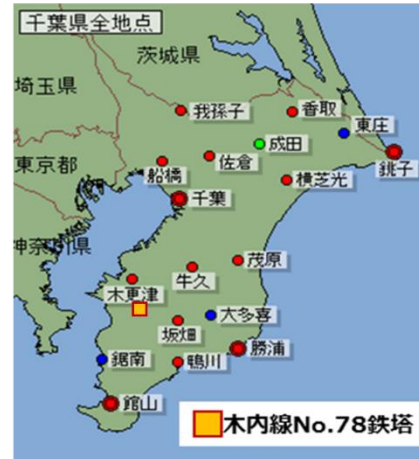
■当該鉄塔の設置場所には気象庁の観測点が存在せず、周辺の観測点の風況情報を基に風速等をシミュレーションし、事故調査を実施。

■今後、特殊地形を考慮した鉄塔の設計・改修に当たり、当該箇所のより正確な実測値を把握することが必要。

※「電力設備台風被害対策検討委員会（平成4年2月）」報告書では、特殊箇所に鉄塔を建設する場合の方針として以下を記載

- 設計風速は、当該地域の地形上況等を十分に勘案して適切に定めること
- 今後の検討課題として、強風が予測される地点にある既設送電線等を活用して、各種地形条件における風速、風向、風の分布等の観測を行い、信頼性の高い局地風対策設計のための基礎的資料を整備すること

(木内線No78鉄塔及び観測点)



(出所) 気象庁ホームページを一部加工

2. 電柱

(1) 現行の技術基準の適切性

今回の台風で損壊した電柱1,996本については、倒木や建物の倒壊(約74%)、看板等の飛来物(約14%)、土砂崩れ等の地盤影響(約12%)による二次被害が原因と推定されるものが大半であった。

(2) 対応の方向

電柱の技術基準の見直しについては、損壊原因のさらなる究明、鉄塔に関する技術基準の方向性等を踏まえ、対応する。

また、損壊原因の大半は二次被害によるものと考えられるため、二次被害対策を強力に進める。

- ① 電力会社と自治体・自衛隊との連携を通じた倒木処理・伐採の迅速化、自治体と連携した事前伐採の推進
- ② 飛来物の飛散防止に関する注意喚起の徹底
- ③ 無電柱化の推進

(参考) 各電力会社による二次被害対策

各電力会社では、二次被害対策に取り組んでいるものの、取組内容に違いがあるため、好事例を水平展開し、取組を広げていることが重要と考えられる。

		北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄	課題
二次被害防止	伐採		○		○	○						・自治体との協定締結、費用負担調整 ・樹木所有者との交渉難航
	飛散防止			○	○		○	○	○	○	○	・費用、一方向の情報発信
			○			○	○	○	○	○	○	・スマートフォン等を所有していない高齢層への情報発信
	その他	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	・適切なルート確保のための立地上の制約
設備対策		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	・支線設置スペースの確保

(3) 現行の技術基準の見直しについて




台風15号による電柱の損壊等事故が広範囲にわたったこと、また鉄塔に関する技術基準の見直しの方向性(地域風速の適用など)、台風が頻繁に来襲する地域の電力会社の取組等に鑑み、電柱の技術基準についても以下の対応により、今後の台風等による電柱の被害低減に向けた検討が必要である。

- ・ 鉄塔と同様に、鉄柱にも地域別の基準風速（地域風速）を適用
- ・ 電柱の中で損壊率が高い木柱の安全率をコンクリート柱並に引き上げ（1.2～1.5から2.0へ）
- ・ 損壊等原因を更に調査した結果、連鎖倒壊が約200本（全体の約1割）発生していたことが判明したため、民間の配電規程で定められている「電柱の連鎖倒壊防止」対策を技術基準で規定

① 電柱の技術基準の見直しについて

電柱には、主にコンクリート柱、鉄柱、木柱の3種類が存在し、現在電力会社で主に使用されるものはコンクリート柱であるが、場所等により鉄柱や木柱も一定数存在する。

（参考）コンクリート柱、鉄柱、木柱について

	コンクリート柱	鉄柱	木柱
			
本数	約2,097万本	約62万本	約12万本
シェア	約96%	約3%	約1%
安全率	2.0 (JISにより規定)	1.5*	1.2～1.5 (電圧により設定)
その他	・ 架空配電線路の施設において一般的に活用。	・ 架空配電線路の施設において、コンクリート柱の搬入・施設が困難な箇所へ活用。配電線だけでなく送電線にも活用。	・ 1950年代までは架空配電線路の支持物として主に活用されていた。

※一部で2.0で設計されている製品もある。

鉄塔への地域風速の適用を踏まえ、鉄柱についても、地域基準風速の適用を図ることが考えられる。ただし、鉄柱への地域風速の適用に当たっては、各構造物の特徴（構造物の高さ等）を踏まえた風速の設定方法や、風圧荷重の計算

方法等に留意する必要がある（コンクリート柱については、現状においてその安全率により突風対策を取っていることから、地域風速を適用することはしない。）。

また、台風 15 号で倒壊した電柱の種類と倒壊の割合を分析すると、コンクリート柱及び鉄柱が全体の約 0.03%程度であったのに対し、木柱は約 0.3%と 10 倍の差があった。

それぞれの電柱の技術基準上の「安全率」は、コンクリート柱は 2.0、鉄柱は 1.5、木柱は 1.2～1.5 であることから、木柱の「安全率」をコンクリート柱並の 2.0 に引き上げ、損壊事故防止に向けた底上げを図ることが望ましい。

（参考）台風 15 号による各電柱の損壊状況

	安全率	倒壊電柱(本) (東電管内割合)		東電管内の電柱(本)		全国の電柱(本)	
		倒壊電柱(本)	割合	倒壊電柱(本)	割合	倒壊電柱(本)	割合
コンクリート柱	2	1,929 (0.033%)	96.6%	5,824,380	98.0%	20,968,409	96.6%
鉄柱	1.5*	32 (0.029%)	1.6%	109,701	1.8%	616,507	2.8%
木柱	1.2～1.5	35 (0.305%)	1.8%	11,475	0.2%	120,892	0.6%
計		1,996 (0.034%)	100.0%	5,945,556	100.0%	21,705,808	100.0%

※一部で 2.0 で設計されている製品もある。

②電柱の技術基準の見直しについて（連鎖倒壊防止）

台風 15 号による電柱の倒壊等事故でも、倒木や飛来物の影響により倒壊した電柱が、他の電柱を引っ張ることで連鎖的に倒壊する現象が約 200 本（全体の約 10%）確認された（2018 年の台風 21 号及び 24 号でも連鎖倒壊が発生）。

電力会社では、連鎖倒壊を防止するため、民間の配電規程に基づき、支線の設置を個別に行っているが、今回の電柱の損壊事故現場では設置されていない箇所もあった。

現行の技術基準では、鉄塔（特別高圧架空電線路）においては、連鎖倒壊防止に関する規定があるところ、電柱についても同様に技術基準に連鎖倒壊防止を規定することが考えられる。

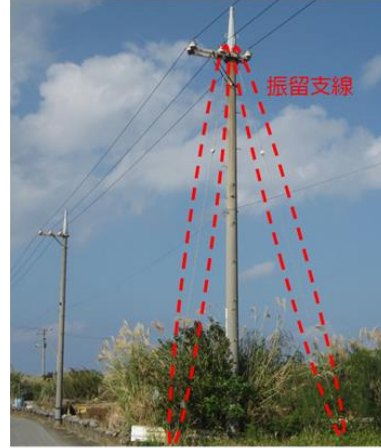
(参考) 電柱の連鎖倒壊と支線の事例

<連鎖倒壊の様子>



(出所) 国土交通省ホームページ

<支線事例 (沖縄電力)>



粟国 (アグニ) 島

(参考) 電気設備の技術基準 (抄)

【支持物の倒壊の防止】

第 32 条 架空電線路又は架空電車線路の支持物の材料及び構造 (支線を施設する場合は、当該支線に係るものを含む。) は、その支持物が支持する電線等による引張荷重、風速四十メートル毎秒の風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される気象の変化、振動、衝撃その他の外部環境の影響を考慮し、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。ただし、人家が多く連なっている場所に施設する架空電線路にあつては、その施設場所を考慮して施設する場合は、風速四十メートル毎秒の風圧荷重の二分の一の風圧荷重を考慮して施設することができる。

2 **特別高圧架空電線路の支持物**は、構造上安全なものとする等により**連鎖的に倒壊のおそれがないように施設しなければならない。**

第5章 今後の本ワーキンググループの検討項目とスケジュールについて

今回取りまとめられた鉄塔及び電柱の損壊事故の調査検討結果や、この結果を踏まえた地域の実情を踏まえた基準風速（地域風速）の適用、特殊箇所の考慮等、今後の対策については、12月を目途に開催される総合資源エネルギー調査会 産業構造審議会 合同 電力レジリエンスワーキンググループで報告し、本WGにおいても、引き続き、必要な検討項目について議論を行う予定である。

おわりに

本 WG では、一連の自然災害から得られた反省と教訓を最大限に活かし、今後の鉄塔及び電柱の技術基準のあり方を含めた対応を検討するため、調査検討を行った。具体的には、なぜ鉄塔及び電柱は損壊したのかという原因の調査検討から、国内外の関連する規格等の調査、技術基準のあり方、対策の方向性のとりまとめを行った。

今後の対策の検討については、関連する審議会等において検討されている内容とも整合性を確保しつつ、議論を深めていくことが重要である。

産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会
令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ
委員等名簿

※五十音順、敬称略 ◎は座長

(委員)

石川 智巳 電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員
木本 昌秀 東京大学 大気海洋研究所 教授
熊田 亜紀子 東京大学大学院 工学系研究科 教授
友清 衣利子 熊本大学大学院 先端科学研究部 准教授
中村 光 名古屋大学大学院 工学研究科 教授
松井 正宏 東京工芸大学 工学部 教授
◎横山 明彦 東京大学大学院 工学系研究科 教授

(オブザーバー)

一般社団法人コンクリートパイル・ポール協会
一般社団法人送電線建設技術研究会
一般社団法人日本鉄塔協会
気象庁予報部業務課気象防災情報調整室
総務省電気通信技術システム課安全・信頼性対策室

産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会
令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ
開催実績

第 1 回ワーキンググループ（令和元年（2019 年）11 月 5 日（火））

- ①近年の自然災害に伴う送配電設備の被害状況について
- ②鉄塔・電柱に係る技術基準をめぐる現状について

現地調査（令和元年（2019 年）11 月 10 日（日））

- ①鉄塔の倒壊事故の現場調査
- ②保全・復旧工事等を行った東京電力 PG 等へのヒアリング調査
- ③鉄塔・電柱の損壊に関する写真・記録データの確認

第 2 回ワーキンググループ（令和元年（2019 年）11 月 14 日（木））

- ①台風 15 号における鉄塔・電柱の損壊事故の原因調査について
- ②損壊事故を踏まえた今後の対策の方向性について

第 3 回ワーキンググループ（令和元年（2019 年）11 月 29 日（金））

- ①台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故の原因調査について
- ②事故原因を踏まえた現行の技術基準の適切性について
- ③中間整理（案）について

中間整理の公表（令和元年（2019 年）12 月 4 日（水））

第 4 回ワーキンググループ（令和元年（2019 年）12 月 17 日（火））

- ①台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故の原因調査、今後の対応について
- ②中間報告書（案）について