

鉄塔及び電柱の損壊事故の原因調査について

令和元年11月29日

経 済 産 業 省

産業保安グループ

1. 本WGにおける鉄塔及び電柱の損壊事故の原因調査について

- 東京電力PGによる事故原因の調査や解析作業、これまでの本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。
- 電柱の倒壊原因など一部不明な点もあるため、引き続き、調査を行う。

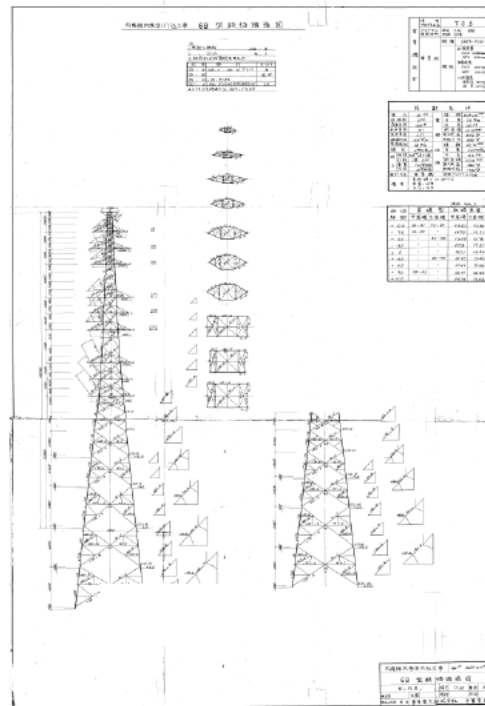
調査項目	鉄塔	電柱
①設計	■設計図面・計算書	■設計図面・計算書
②巡視点検	■マニュアル・保安規程 ■巡視点検記録	■マニュアル・保安規程 ■巡視点検記録
③損壊状況、メカニズム	■鉄塔基礎、本体の損壊状況 ■架渉線の状況確認 ■鉄塔の倒壊方向と倒木の方向状況 ■風況シミュレーション ■倒壊メカニズムシミュレーション 等	■改修工事に当たり作成した図面や写真 ■改修管理表 ■現場調査表

2-1. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（設計条件等）

- 鉄塔の設計条件及び設計計算書について、鉄塔が建設された当時の技術基準及び 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。

<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	電 線	種 類	ACSR 610 ^{mm²}	
回線数	6 ckt		自 重	232 ^{kg/m}	
荷重至向	300 m		外 至	34.2 ^{mm}	
水平角度	10°		断面積	691.8 ^{mm²}	
垂直角度	0.2°		最大使用張力	4390 ^{kg} 低 5000 ^{kg}	
鉄塔風圧	330 ^{kg/m²}	地 線	種 類	AS 70 ^{mm²}	
架渉線風圧	100 ^{kg/m}		自 重	0.4377 ^{kg/m}	
板 水	6 mm (比量29)		外 至	10.5 ^{mm}	
碇 子	種 類		250 mm 碇子2連	断面積	67.35 ^{mm²}
	口 数		1連 8口	最大使用張力	1460 ^{kg} 高 1750 ^{kg} 低
	重量		255 ^{kg/支持}		
風 圧	80 ^{kg/支持}				
設計方法	電 算 機	使用プログラム TSB			
備 考	支持 碇子 SL-8017.2				
	重量 = 60 ^{kg}				
	風 圧 = 30 ^{kg}				



STC	SF	STU	SF
5370	1.76	-5653	7.81
1232	*****	-3100	2.36
2750	*****	-4585	*****
1232	*****	-3100	41.09
1453	1.02	-4585	22.16

STC	SF	STU	SF
5570	1.23	-6520	4.44
1106	*****	-3100	1.60
3887	1.46	-7483	2.81
4170	*****	-8950	1.79

（出典）東京電力PGより提供

※全部材について安全率1.0以上を確認
【*****】の表記は安全率100以上

2-2. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（巡視点検①）

- 倒壊した鉄塔（No.78,79）の巡視点検記録について、点検回数・点検内容・点検方法が、保安規程で定められた手順で実施されていたことを確認。

<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) 1回/年	電線・支持物	外観点検	鉄塔・鉄柱線路・木柱・コン柱 パンザ線路	1回/5年	(*1) 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	

<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			対 象
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	電線（内房線）
②	2014年10月 3日	良	②	2014年 4月22日	良	電線（木内線、小糸川線）・支持物
③	2015年 4月27日	良	③	2018年11月13日	良	電線（木内線、小糸川線、内房線）・支持物
④	2015年10月15日	良				
⑤	2016年 4月19日	良				
⑥	2016年10月20日	良				
⑦	2017年 4月 4日	良				
⑧	2017年10月27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			対 象
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	電線（内房線）
②	2014年10月 3日	良	②	2014年 4月22日	良	電線（木内線、小糸川線）・支持物
③	2015年 4月27日	良	③	2018年11月13日	良	電線（木内線、小糸川線、内房線）・支持物
④	2015年10月15日	良				
⑤	2016年 4月19日	良				
⑥	2016年10月20日	良				
⑦	2017年 4月 4日	良				
⑧	2017年10月27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				

2-2. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（巡視点検②）

- 倒壊した鉄塔に隣接する2基の鉄塔（No.77,80）についても、点検回数・点検内容・点検方法を確認し、保安規程に定められた手順で巡視点検が実施されていたことを確認。

<No.77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。

<No.80の巡視点検記録>

【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。

2-3. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（鉄塔下部の状況）

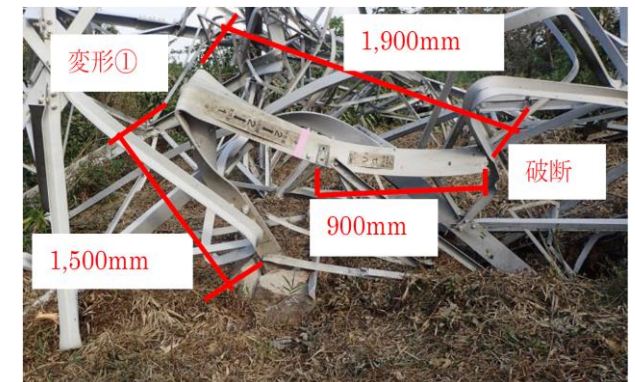
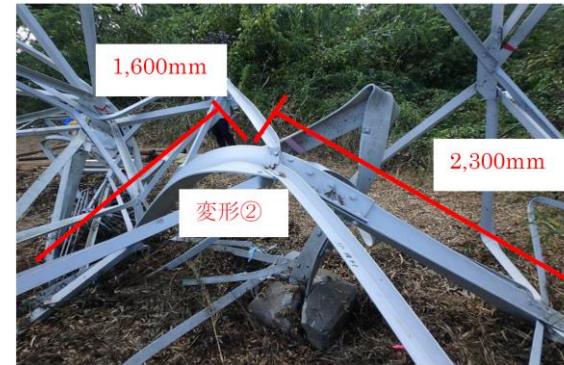
- 倒壊した鉄塔下部の損傷形態から、No.78の鉄塔下部に座屈が生じていることを確認。
- 鉄塔全体の状態を確認したところ、ボルトの破断等の想定され得る倒壊要因は確認されなかったことから、座屈により倒壊が引き起こされた可能性が高いことを確認。

＜設備および周辺の被害状況＞

設備 鉄塔No.	鉄 塔	基 礎	がいし	電 線 架空地線
No.77	-	-	・長幹支持がいし全45本中1本が折損	-
No.78	北北西の方向へ 倒壊	全脚の基礎柱体上部 が破壊	・長幹支持がいし全12本中9本が折損	内房線2Lの電線が 素線切れ
No.79	北北西の方向へ 倒壊	全脚の基礎柱体上部 が破壊	・小糸川線2L中相老側本線がいしが断連 ・長幹支持がいし全24本中23本が折損	-
No.80	b脚支柱材、および 下から3rd 補目の腹 材が部材変形	d脚周辺が地盤変状	-	-

（出典）東京電力PGより提供

＜倒壊鉄塔下部の座屈状況（No.78鉄塔）＞



2-4. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（基礎部の状況）

- 倒壊後の基礎部の写真により、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かったことを踏まえ、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。

＜柱体部の破壊状況（水平力の作用）＞

木内線
No.78



木内線
No.79



＜基礎体・地中部の損傷状況＞



No.78



いかり材ボルト



No.79

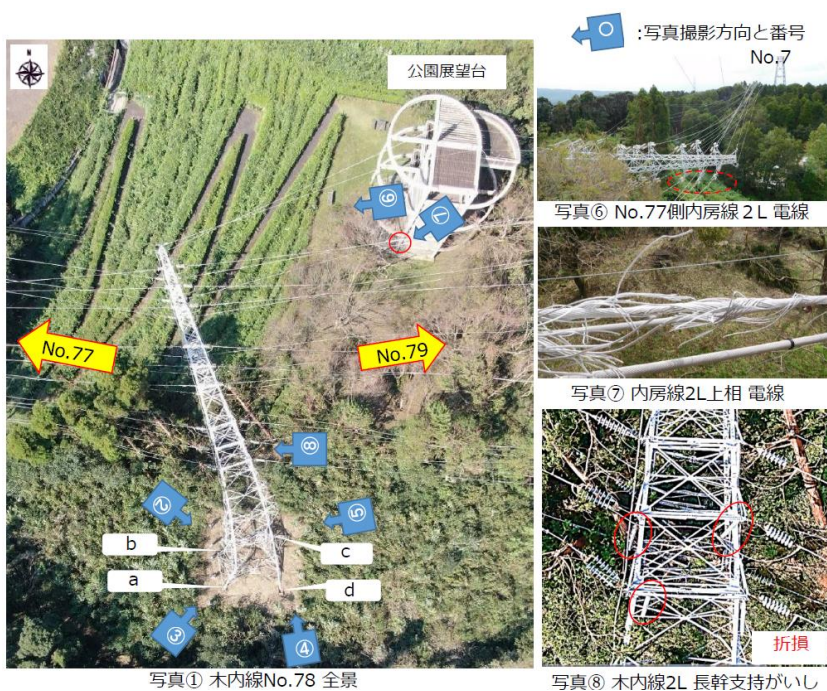


（出典）東京電力PGより提供

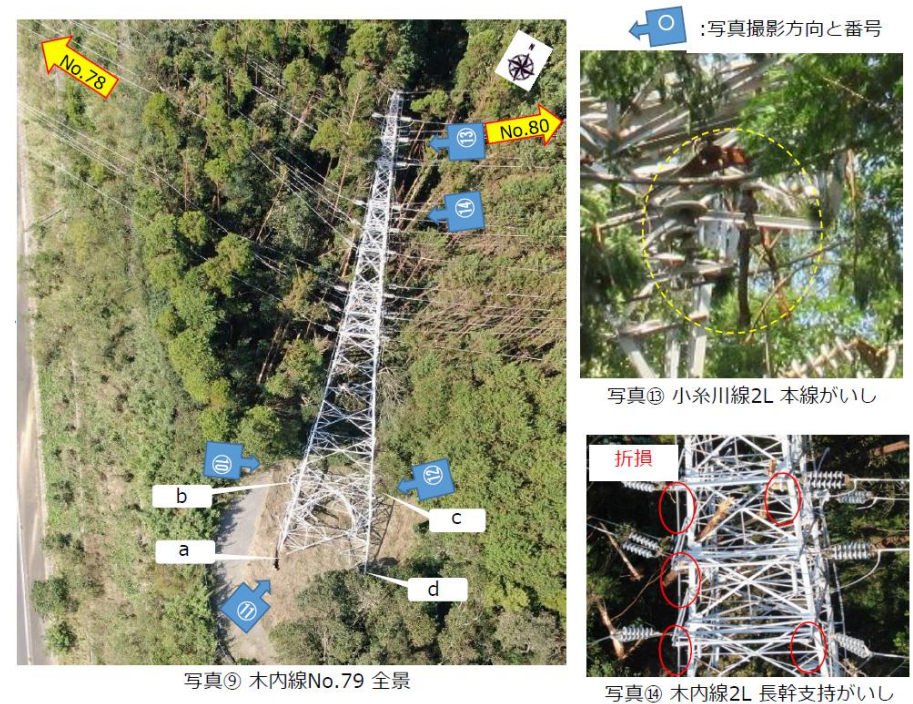
2-5. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（送電線の状況）

- 倒壊後の送電線の写真により、展望台との接触により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。
- 鉄塔両端の電線長に2倍の差があり、径間風荷重の不均衡（アンバランス）が発生しているため、今後、シミュレーションで確認を実施。

＜No.78鉄塔の架渉線の様子＞



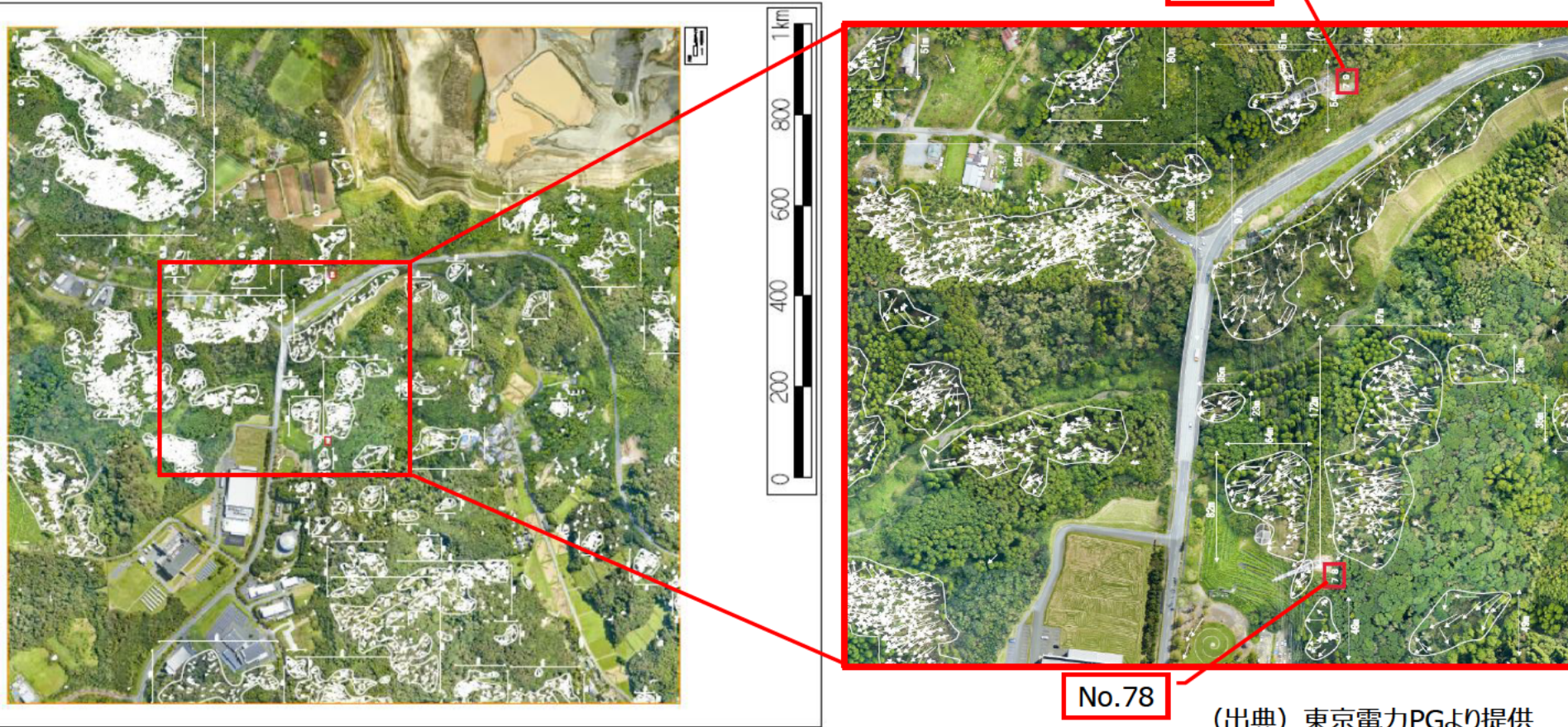
＜No.79鉄塔の架渉線の様子＞



2-6. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（周辺倒木の状況）

- 航空写真において、鉄塔の倒壊方向と周辺倒木の方法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は発生していない**、可能性が高い。

＜倒木の方法（矢印）、倒木の発生した範囲＞

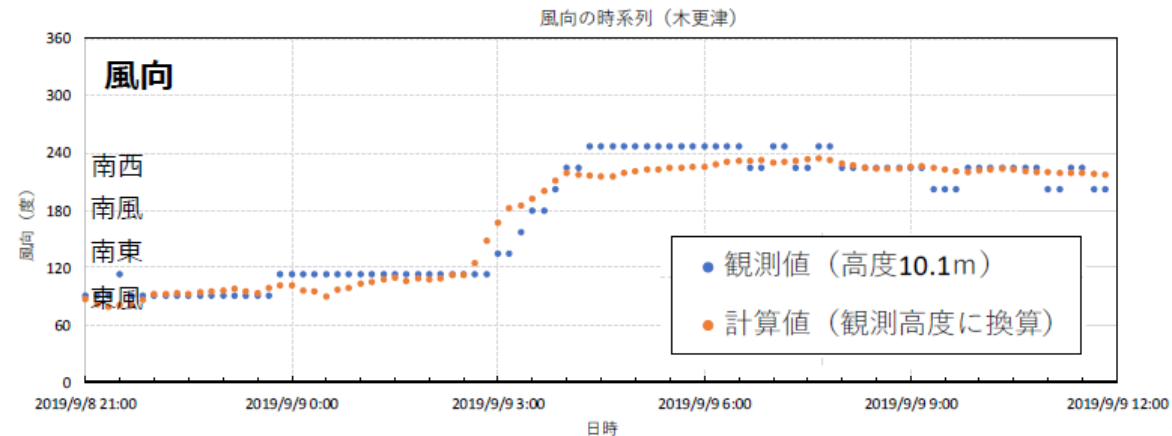
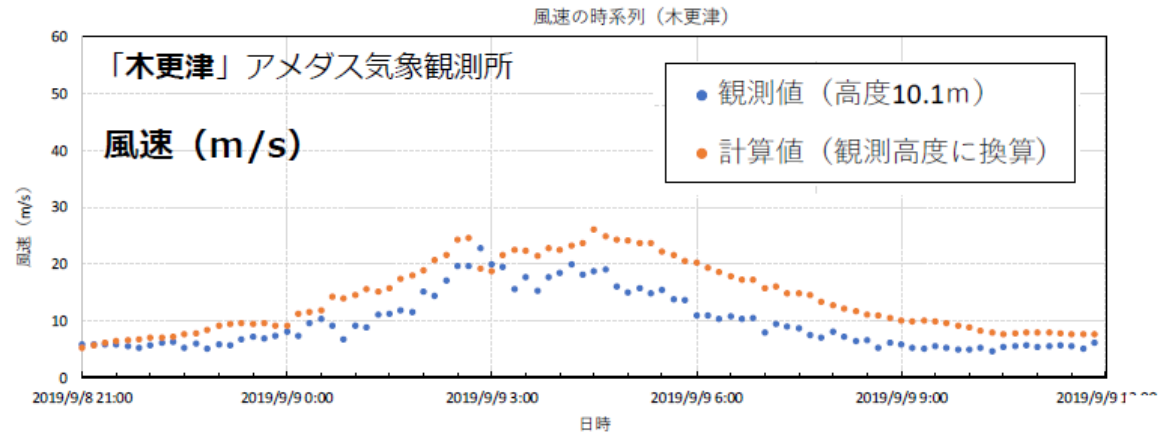


（出典）東京電力PGより提供

2-7. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（広域風況シミュレーション）

- 東京電力PGが活用した、台風15号の再現広域風況シミュレーションの計算条件及び計算結果を確認。

<観測所におけるアメダスの結果とシミュレーション結果の比較>



2-8. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（倒壊メカニズム）

- 曲げモーメント等を考慮した座屈強度を反映した倒壊メカニズム解析結果を確認。
- **No.78鉄塔の下部の主柱材について、圧縮脚応力と風向の変化との相関、さらに実座屈強度との比較結果を確認した結果、70m/sの風速が生じた場合、風速により座屈が生じる可能性があることを確認。**
- 今後、局所風況シミュレーションの再評価を行い、送電線のアンバランス性も考慮し、再評価を行うことが必要ではないか。

＜曲げモーメント等を考慮した座屈強度を反映した風向の変化と発生軸力・実強度の相関＞

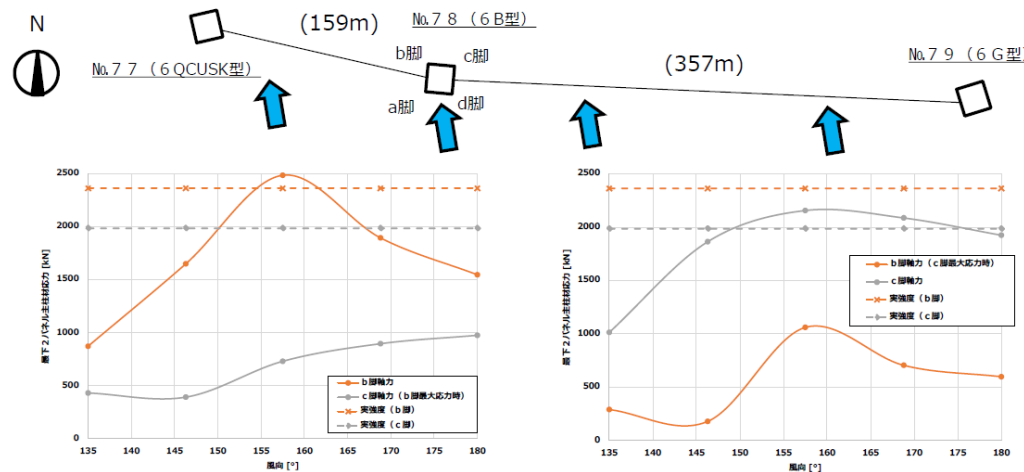


図5 風向別変化（b脚応力最大時）

図6 風向別変化（c脚応力最大時）

（出典）東京電力PGより提供

2-9. 鉄塔の損壊事故の原因調査について（現状分析結果）

- 鉄塔の倒壊のトリガーは、鉄塔下部の座屈が原因であり、基礎の破損、設計・施工等の問題ではないことが判明。
- 鉄塔の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、局所風況シミュレーションの前提条件が明確でないため、今後は風況シミュレーションの専門家を交えた原因調査が必要。

【風況シミュレーションに関する外部有識者の主な指摘】

- 局所風況シミュレーションの解析領域として、風上から6km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、風速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）。

【風況シミュレーション結果を踏まえた鉄塔倒壊シミュレーションへの条件設定に関する有識者の主な疑問点等】

- 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。

【上記の指摘を踏まえた風況シミュレーションの検討を行い、以下の点について明確化が必要】

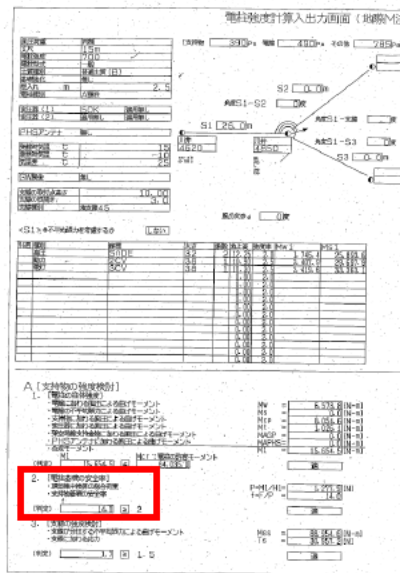
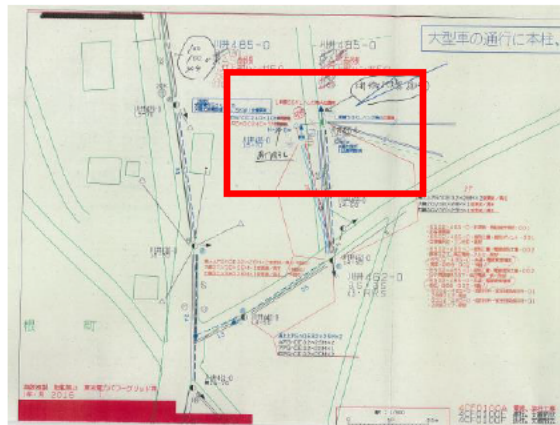
- 今回、生じた強風は、どのような特徴を有するものか（乱れ強度、最大瞬間風速）。
- なぜ、この地形において、このような強風が生じたのか。
- 今後の技術基準の見直しを見据え、このような強風が生じる地形の類型化は可能なのか。

鉄塔の倒壊原因の明確化

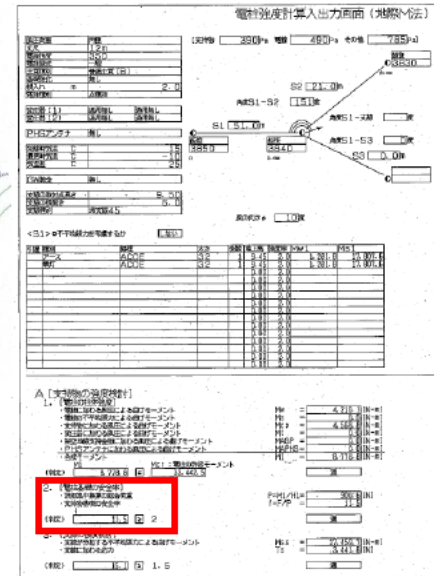
3-1. 電柱の損壊事故の原因調査について（設計条件）

- 電柱についても、設計条件及び施工に関する資料を確認。
- 風荷重の設定方法において、安全率2.0を満たすように設計されており、根入れ、地盤の補強等の施工方法を確認。

<電柱配置図面、強度計算（No.10・千葉県千葉市若葉区川井町）>



<電柱配置図面、強度計算（No.511・千葉県香取郡多古町飯笹）>



3-2. 電柱の損壊事故の原因調査について（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は、全データを対象に、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。

＜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) 1回／5年	接地装置	測定試験	B種接地抵抗	(※2) 適宜	(※1) 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、66kV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。
						(※2) 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。	

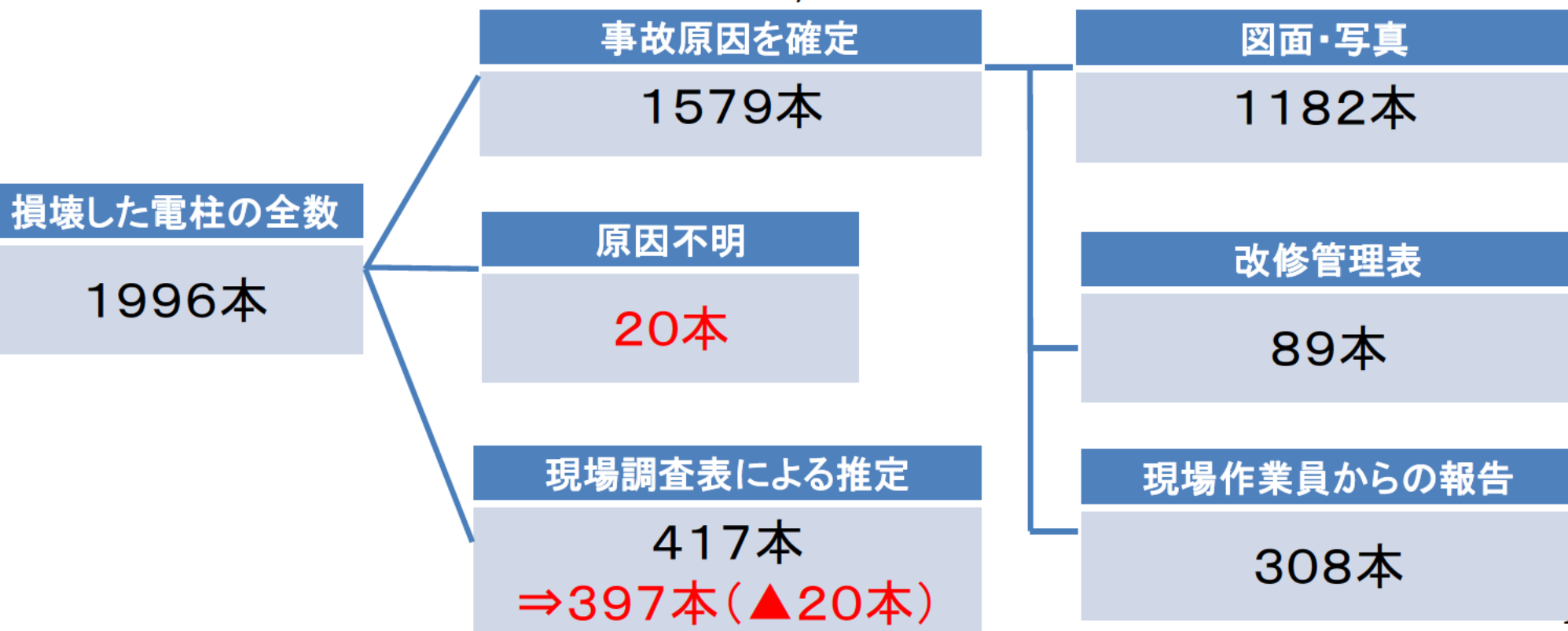
＜電柱の巡視点検記録＞

No	都県名	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			支持物調査表
						前回巡視日	巡視結果 ※支持物調査	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	千1
2	千葉	千葉総	北花輪	0750	199909	2017/10/6	良	-	-	-	2002年4月	良	32	千2
3	千葉	千葉総	北花輪	0590	199909	2017/10/6	良	-	-	-	2002年4月	良	16	千3
4	千葉	千葉総	内山	1380	197512	2019/8/22	良	-	-	-	対象外	-	-	千4
5	千葉	千葉総	内山	1440	197709	2019/8/22	良	-	-	-	対象外	-	-	千5
6	千葉	千葉総	内山	1450	201903	2019/8/22	良	-	-	-	対象外	-	-	千6
7	千葉	千葉総	こて中	3860	198511	2014/11/27	良	-	-	-	対象外	-	-	千7
8	千葉	千葉総	千中	4270	198910	2017/7/25	良	-	-	-	2002年11月	良	22	千8
9	千葉	千葉総	南天台	0420	197307	2017/1/10	良	-	-	-	2005年4月	良	23	千9
10	千葉	千葉総	川井	4850	201901	-	-	-	-	-	2019年1月	良	240	千10
11	千葉	千葉総	川井	4960	199606	2017/3/31	良	-	-	-	1996年6月	良	62	千11
12	千葉	千葉総	大作	0540	197811	2019/9/2	良	-	-	-	対象外	-	-	千12
13	千葉	千葉総	大作	0600	197108	2019/9/3	良	-	-	-	1999年5月	良	9	千13
14	千葉	千葉総	西鉄	0230	197112	2018/5/21	良	-	-	-	対象外	-	-	千14
15	千葉	千葉総	本行寺	0350	197106	2017/11/16	良	-	-	-	対象外	-	-	千15

3. 電柱の損壊事故の原因調査について（③被害原因）

- 折損・倒壊等した電柱1,996本の被害原因について、東京電力PGから全て2次被害と推定されると報告を受けた内容について、改めて全て精査を行った。
- その結果、**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、根拠において**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**。

＜折損・倒壊等した電柱1,996本の被害原因＞



(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。

<現場調査票（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



<折損直後の写真>



折損直後に撮影された写真では、飛来物の衝突や電線への付着といった形跡が見られず、単独で根元が完全に破断している

(参考) 関東産業保安監督部による立入検査の実施 (鉄塔)

- 倒壊した鉄塔に関して、電気事業法第107条に基づき、立入検査を東京電力PGに対して実施。専門的な知識を有する国の職員により、巡視点検記録等の書類を検査するとともに、実地検査を実施。東京電力PGの保安体制を把握すると共に、損壊した鉄塔の状況等を確認。
- 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。



(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PGに対し実施。専門的な知識を有する国の職員により、点検記録・マニュアル等の書類を検査すると共に、東京電力PG職員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。
- 併せて、電柱の損壊原因の多くが倒木・飛来物等による2次被害の影響との報告を踏まえ、巡視点検時に2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。



(再掲) 現地調査について

- 台風15号により倒壊した鉄塔の現場確認、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。

項目	内容
調査日時	令和元年 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PG(株) 塩川技監、工務部、配電部 (株)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

(参考) 現地調査における委員からの主な指摘事項 (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	委員からの主なご意見等
鉄塔の倒壊について	・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破壊が激しい。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。 ・平成3年台風19号後に、各電力会社は鉄塔の特殊地形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	・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主な指摘事項 (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	委員からの主なご意見等
設計諸元等	・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	・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かな。 ・(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かな。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かな。
気象の影響	・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	・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かな。