

電気設備自然災害等対策WG

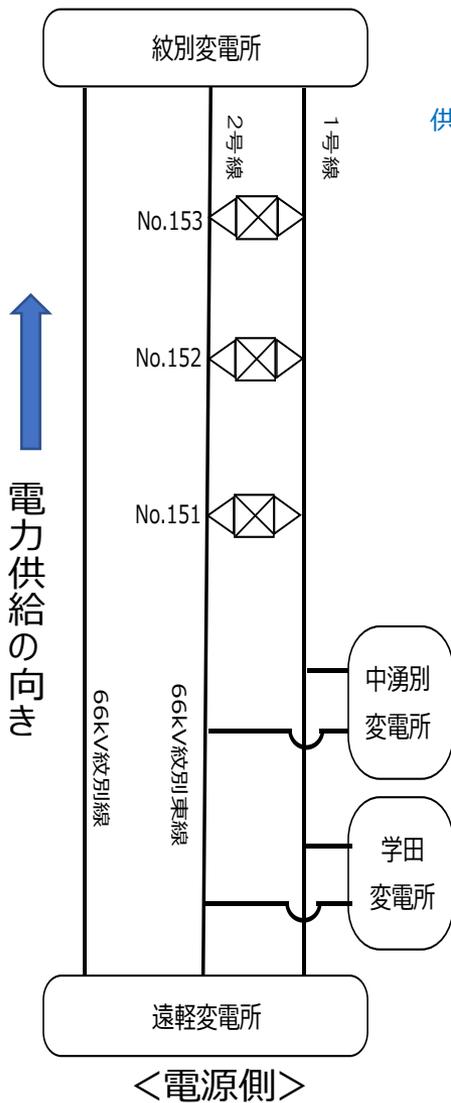
66kV紋別東線 鉄塔倒壊原因と再発防止対策について

2023年6月5日
北海道電力ネットワーク株式会社

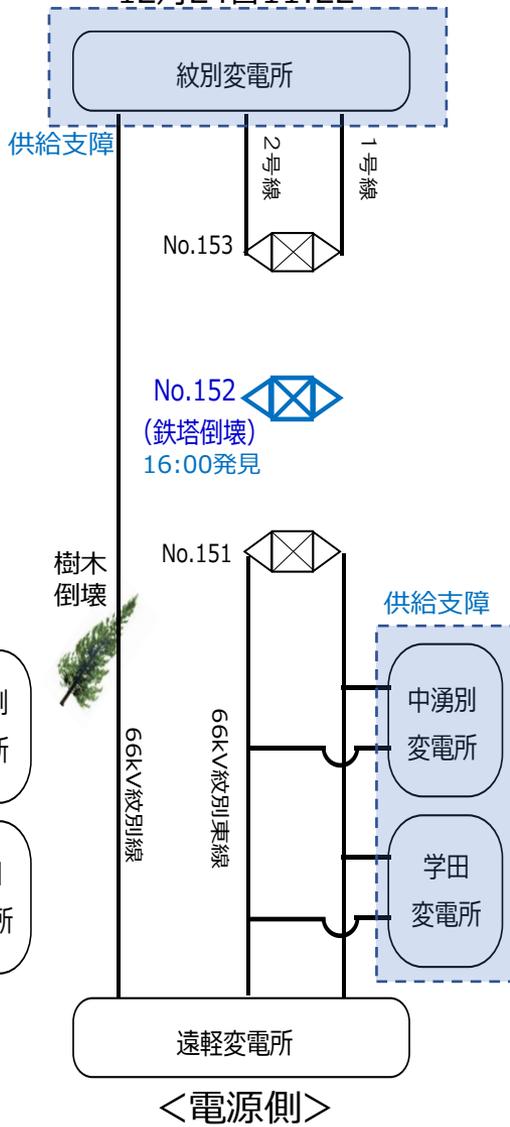
- 北海道の紋別地方では、2022年12月22日から24日にかけて湿った重い雪が降り続き、猛吹雪となった。
- 66kV紋別東線は23日2時46分から15時32分までに、暴風雪による送電線の短絡事故等を繰り返し、9時41分に2号線、15時32分に1号線が再送電不良により停止した。
- 紋別変電所へ供給するもう一つの送電ルートである66kV紋別線は、23日7時31分に雪の重みで倒壊した樹木が送電線にかかり送電停止していたことから、紋別東線2回線と紋別線1回線の計3回線が送電停止となり紋別変電所他が供給支障となった。
- その後、**23日16時頃にNo.152鉄塔の倒壊を確認した。**（No.152：鉄塔倒壊1基）

月日	経緯	備考
12/23	2:46 紋別東線1号線 短絡事故 7:31 紋別線 短絡事故（再送電不良により停止） 9:41 紋別東線2号線 短絡事故（再送電不良により停止） 15:32 紋別東線1号線 地短絡事故（再送電不良により停止） 16:00 紋別東線No.152鉄塔倒壊を確認	2:46以降、紋別東線および紋別線で事故が繰り返し発生 （経緯には主な事故のみ記載） 15:32 供給支障発生 （停電戸数：約28.1千戸、19時間50分）
12/24	9:24 紋別線 復旧により線路加圧	11:22 最終変電所加圧により供給支障解消
12/28	23:28 紋別東線1号線の仮復旧工事完了	紋別東線の1回線復旧
3/10	12:42 紋別東線No.152鉄塔倒壊箇所の本復旧工事完了	紋別東線の2回線復旧

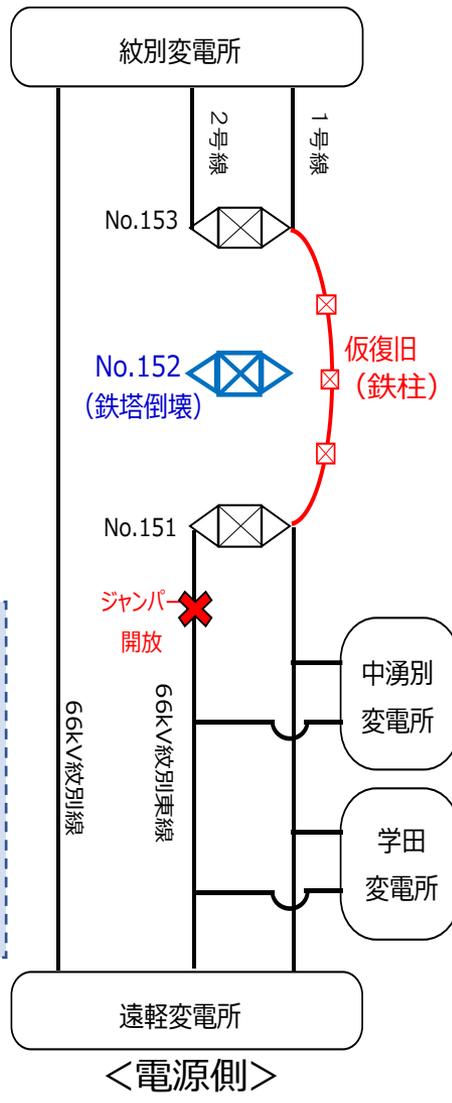
<事故発生前>
~2022年12月23日



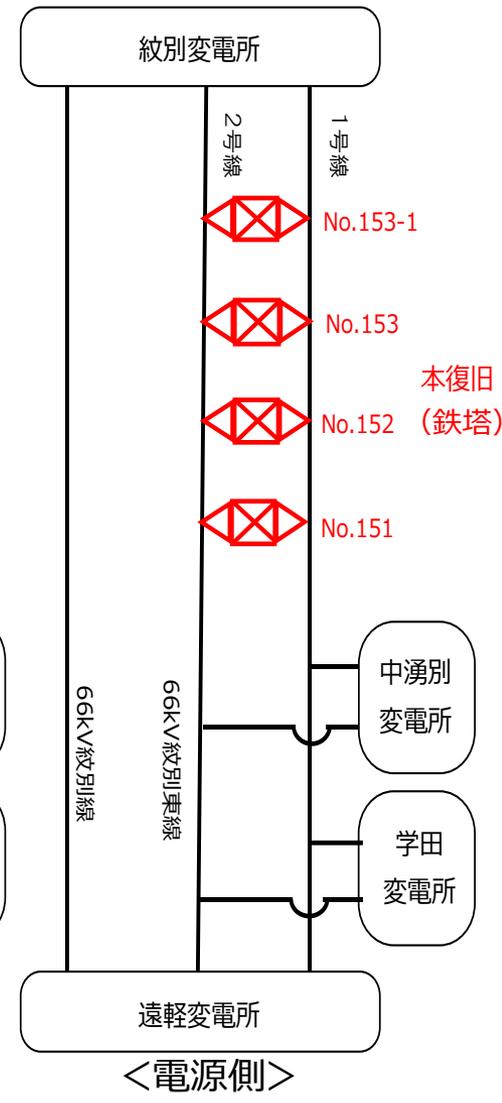
<供給支障発生後>
12月23日15:32
~12月24日11:22

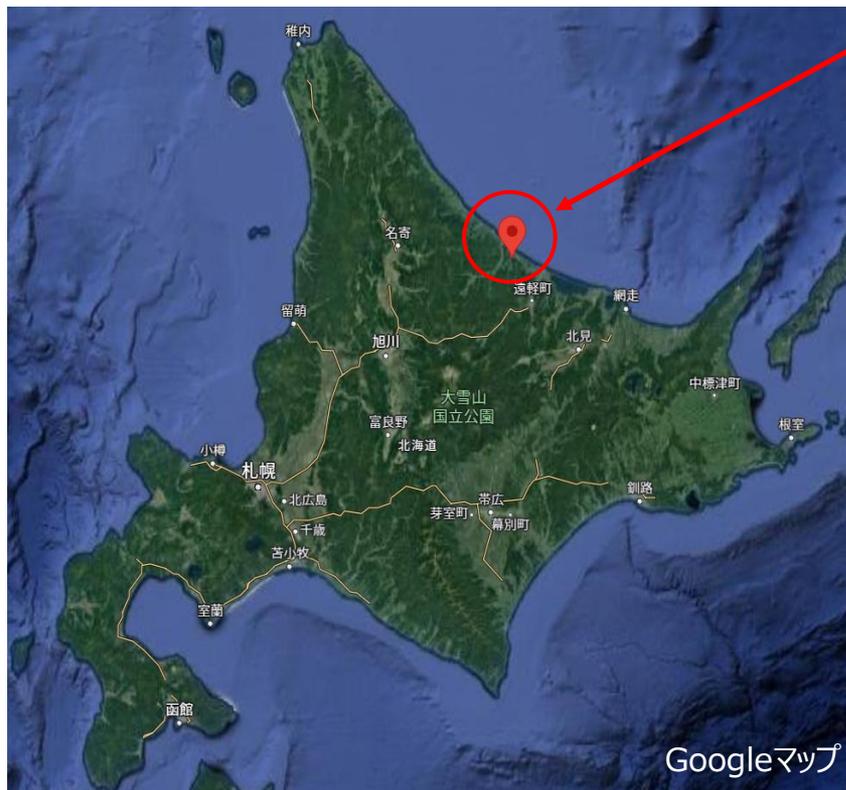


<仮復旧後>
12月28日~3月10日



<本復旧後>
2023年3月10日~現在

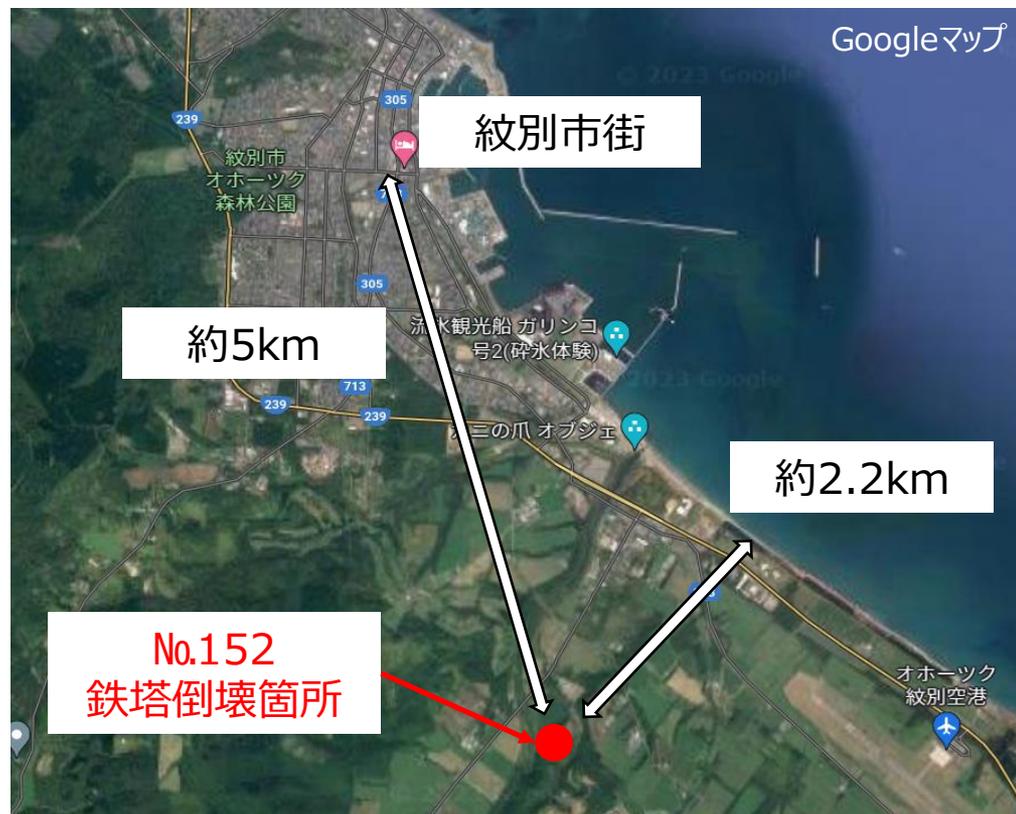




位置図

66kV 紋別東線No.152
(北海道紋別市元紋別)

紋別市は北海道のオホーツク海沿岸のほぼ中央に位置し、一帯の土地は内陸へ徐々に高さを増し、西部は南北に連なる北見山地に、南部は東西に起伏する千島山系に囲まれている。



倒壊したNo.152鉄塔は、紋別市の市街地から約5km南側に位置し、沿岸からの距離約2.2kmである。

紋別市街との位置関係

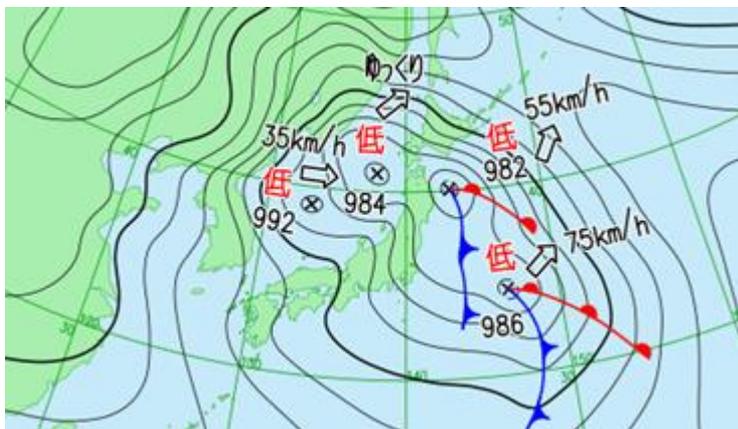
- 損傷した鉄塔部材の状況から、No.152鉄塔は、①最初にC脚が座屈しNo.153方向へ倒れ始めた。
- ②その後、No.151側と電線がつながっている影響でNo.153側へ倒れるのが止まったが、既に構造物として成り立っていないNo.152鉄塔は、電線の水平角度がついているBC面側（山側：左側）に引っ張られて、完全に倒壊した。
- なお、当該鉄塔は計画に基づき巡視・点検を実施しており、異常は認められていない。また、著しい腐食等も無く、鉄塔部材やボルトは引張試験等の結果、規定する機械的性質を満足していた。



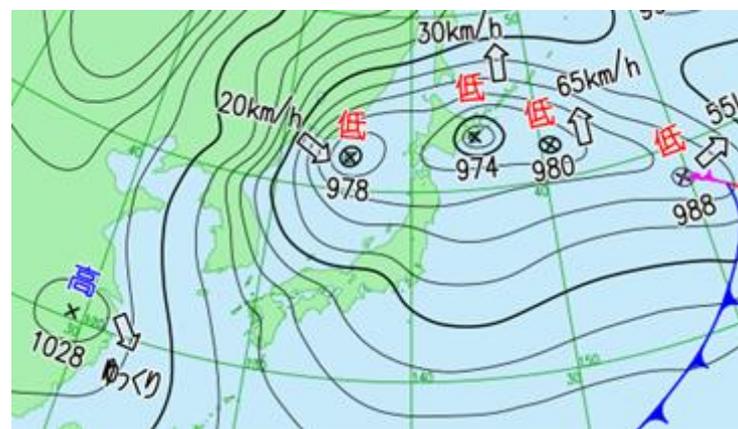
区分		損傷状況	
鉄塔	上部・全体	損傷無し・BC脚（山側）側に倒壊	
	中間 ～ 下部	A脚	倒壊に伴い支柱材が引っ張られ変形
		B脚	13パネル下端部からC脚側に傾斜，13パネル上端部から山側へ傾斜
		C脚	13パネル下端部は折れ曲がるように塔体外へ変形し，B脚側へ傾斜した後に13パネル上端部から山側へ傾斜
		D脚	倒壊に伴い支柱材が引っ張られ変形
地線・電線・がいし		断線・アーク痕なし	

- 12月22日夜から23日にかけて、日本海北部と三陸沖の低気圧が発達しながら北海道に接近し、23日には複数の低気圧が北海道の日本海側からオホーツク海側にかけて長く停滞していた。
- 北海道地方は、気圧の傾きが大きくなり非常に強い風が吹き、海は大しけとなった。日高地方のえりも岬では猛烈な風も観測され、日本海側北部やオホーツク海側北部では猛吹雪となり、オホーツク海側や太平洋側を中心に湿った雪が降り続き大雪となった。紋別地方の白滝では、24日17時までの48時間降雪量が119センチに達するなど、**観測史上1位の降雪量と日最深積雪**を更新した。

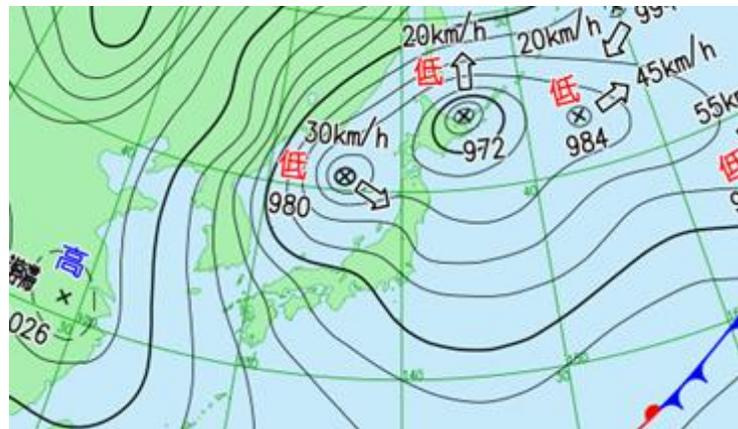
①12月22日 18時



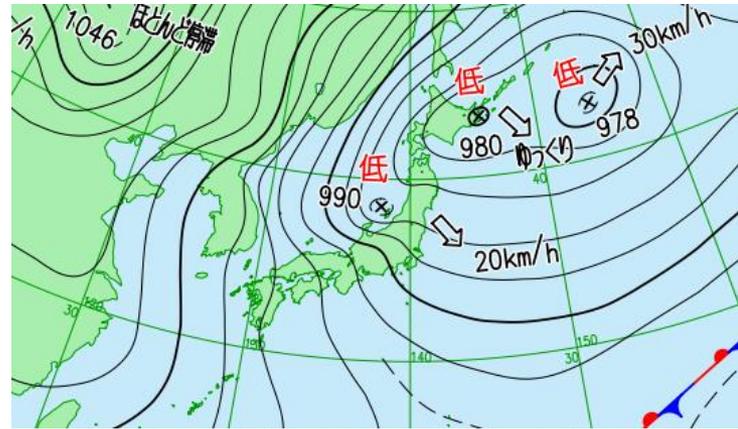
②12月23日 9時



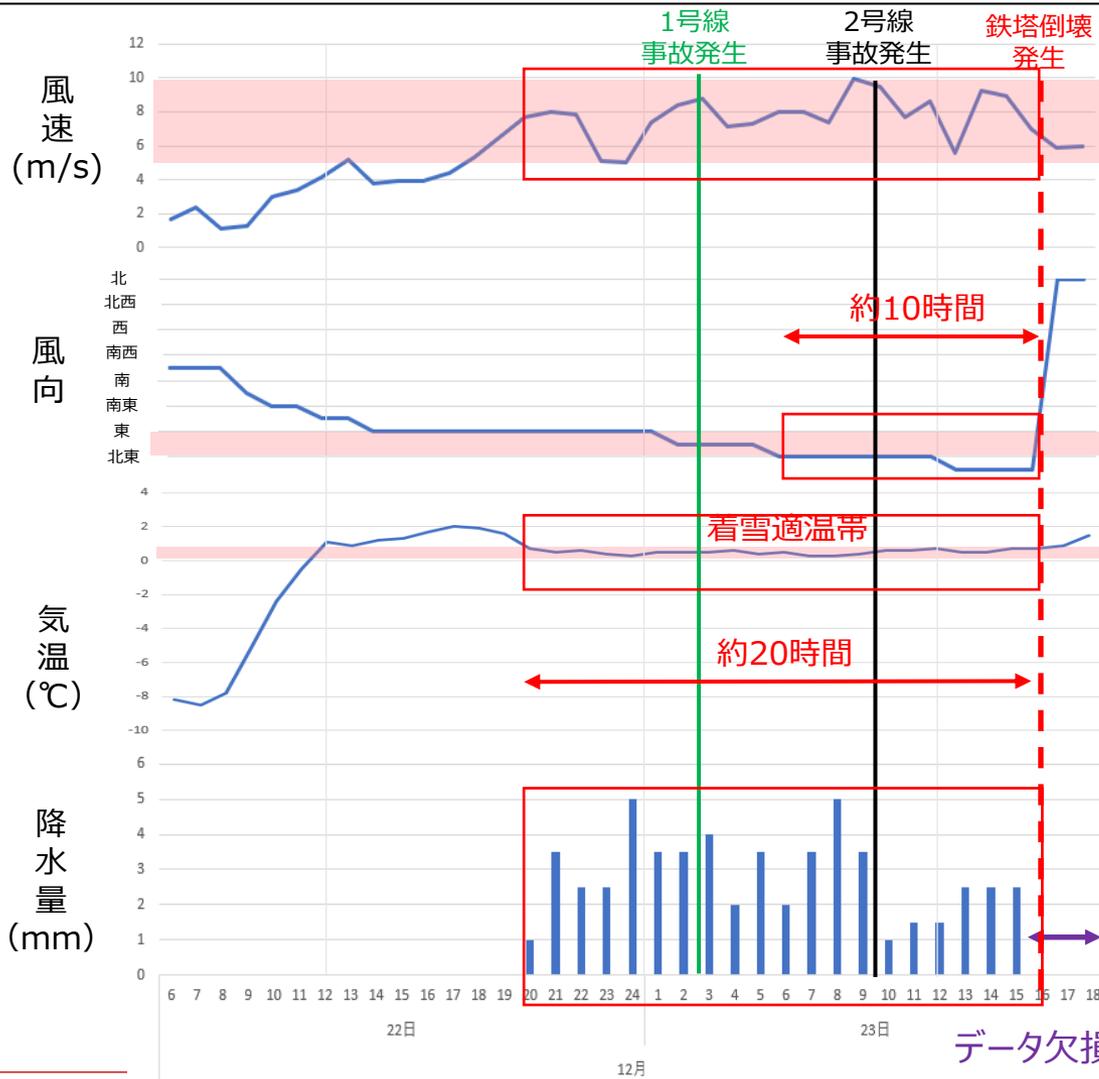
③12月23日 15時



④12月24日 3時



➤ 22日20時頃から「風速」「気温」「降水量」において電線着雪が発達しやすい湿型着雪の条件が継続し、23日6時頃からは「風向」が線路直角方向となる北東の風となり、**電線着雪が発達する条件が全てそろった**。紋別エリアにおいてはこの条件が鉄塔倒壊に至る16時頃まで**約10時間ほど継続する稀な気象状態**であった。



○風速

・着雪適温帯での降水発生時は5~10m/s程度の風速となり、**湿型着雪の発達条件を維持**

○風向

・東→北東に変化
 ・**紋別東線の線路直角方向を維持**

○気温

・22日20時~23日15時まで**着雪適温帯 (0~1°C) が長時間継続**

○降水量

・22日20時以降、鉄塔倒壊時まで**着雪適温帯 (0~1°C) での降水が継続**

※1: 観測点は倒壊箇所から北北西4.4km

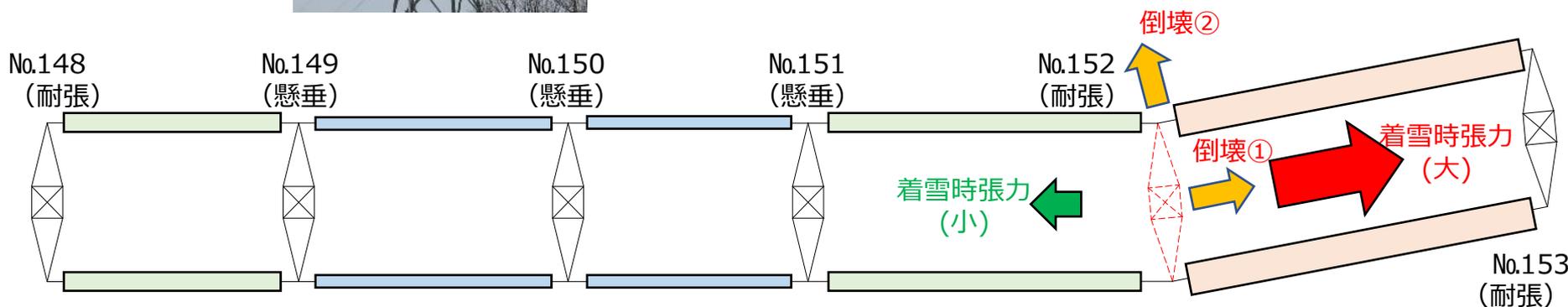
※2: 23日発生 of 初回事故のみ記載

※3: 停電のため16時以降の降水量はデータ欠損

- 着雪適温帯の気温や降水が長時間継続したことにより、送電線には大きな着雪が発達したが、電線着雪量にはバラつきがあり、No.152鉄塔では、**前後の着雪量のアンバランスにより不平均張力が発生した。**
- No.152鉄塔は、この過大な不平均張力により、①始めにNo.153方向へ倒れ始め、その後②山側へ完全倒壊した。

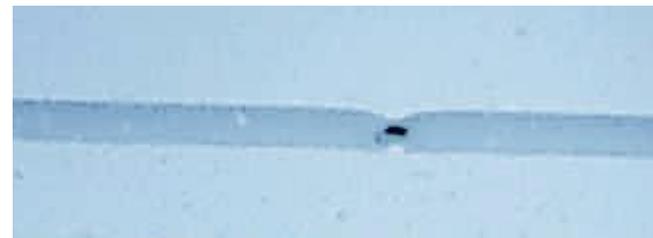


鉄塔に不平均張力荷重が作用する

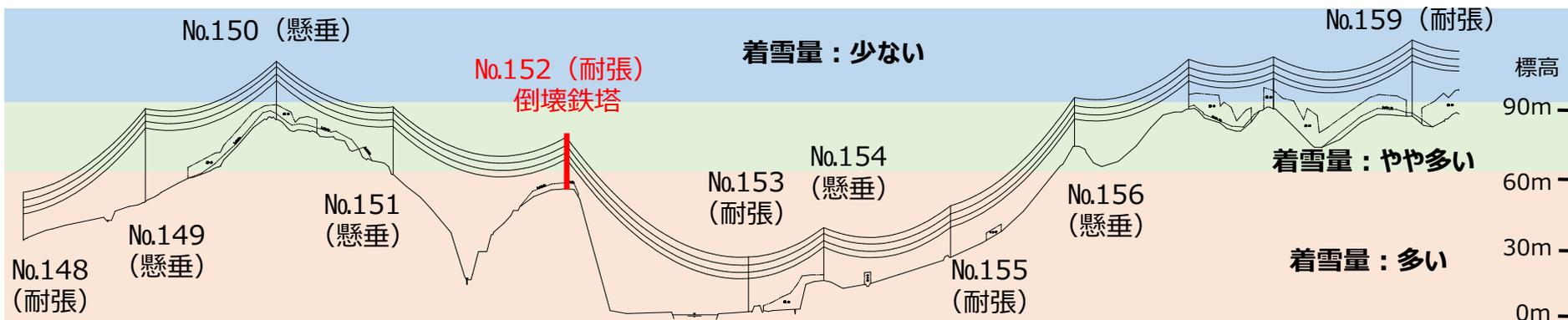


※鉄塔倒壊は、まず①方向に倒れた後に②方向に倒れた

- 現地の着雪観測状況をもとに実施した着雪シミュレーションの結果、電線着雪量は径間毎に大きく異なっていた。
- これは標高差により生じる気温差によって電線着雪量に差が生まれたものであり、高標高帯（下図の青色）は気温が低く着雪適温帯から外れて電線着雪量が少なかったもの。
- 特に今回は**気温減率**（※参考1スライド参照）が**大きな値であったことから、着雪量の差が顕著に現われた。**



No.154～155着雪状況



区間	No.148	No.149	No.150	No.151	No.152	No.153	No.154	No.155	No.156	No.157	No.158	No.159
標高		67.6m	95.2m	95.6m	79.3m	47.8m	29.6m	40.1m	66.6m	96.8m	105.2m	109.2m
着雪量		やや多	少ない		やや多	多い				少ない		

- 日本海上の非常に動きが遅い低気圧からのびる前線上に低気圧が多発したことにより、紋別付近では「風速」「気温」「降水量」「風向」の全てにおいて、電線着雪が発達しやすい湿型着雪の条件がそろい、この状況が鉄塔倒壊に至る23日16時頃まで約10時間ほど継続し、最大で**電線1mあたり5kgを超える着雪量となる異常な気象であった。**
- さらに**気温減率**が、降雨・降雪時に良く使用される「0.6℃/100m」よりも大きな「0.8～1.0℃/100m」と顕著であったことから、標高差36m程度でも**着雪量のアンバランス**が大きくなり、**電線着雪が発達しやすい条件の中でも、とりわけ特異な状況であった。**

原因①

大きな着雪が発達する気象条件

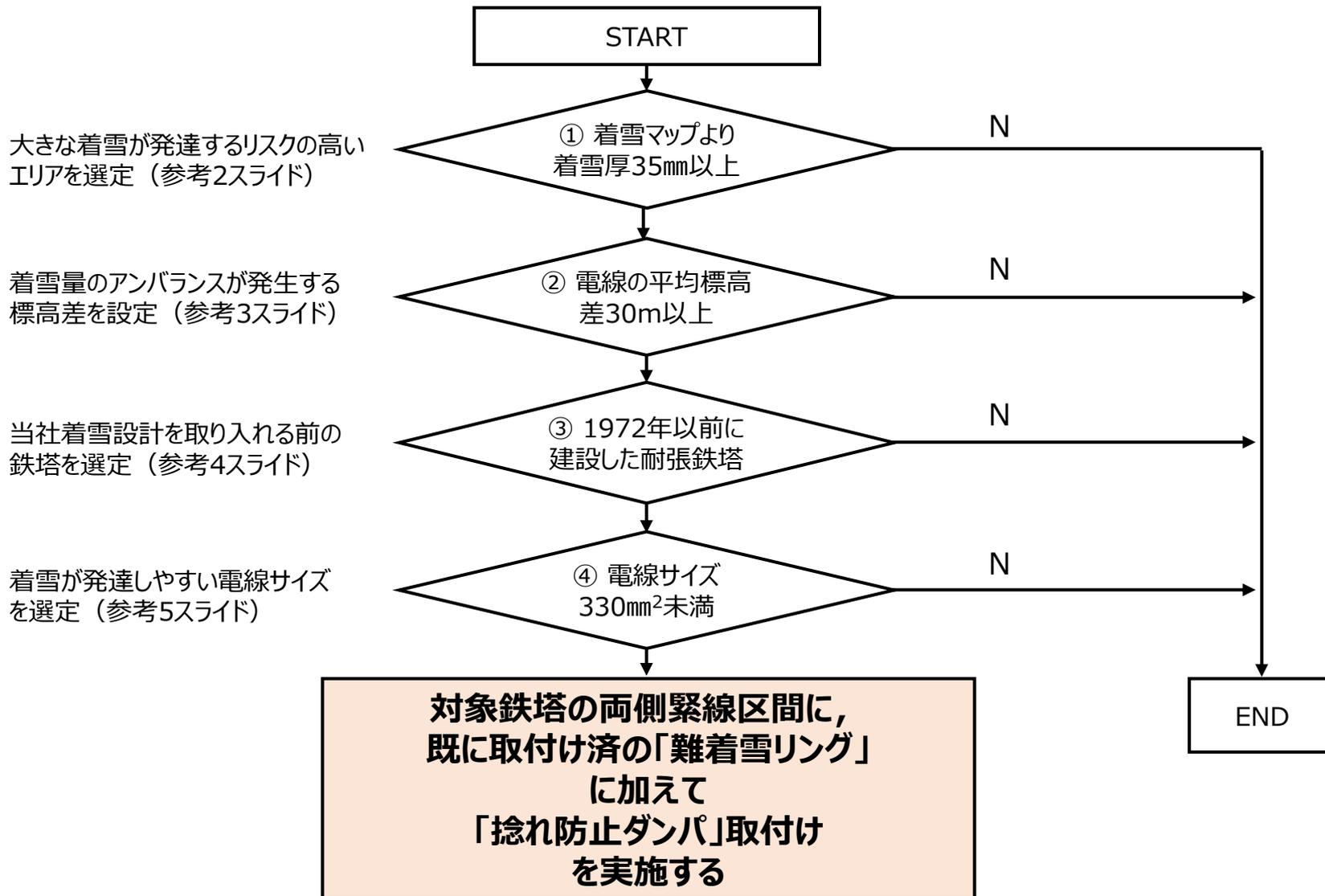
原因②

気温減率が高い値
(標高差による電線着雪差)

倒壊鉄塔の前後で電線着雪量の大きな差異が発生
(過大な張力差)

鉄塔倒壊

➤ 全道の送電鉄塔において、以下の条件で選定した鉄塔に対し、難着雪効果の高い「捻れ防止ダンパ」の取付けを実施する。



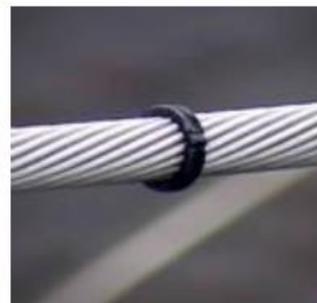
- 再発防止対策箇所を選定した結果、**全道で65基（125径間）**。
- 対策工事は冬期前の2023年11月を目途として、可能な限り早期に完了させることで計画する。

対 策		2022年度	2023年度			
		4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
鉄塔 倒壊 箇所	本復旧	完了 				
	捻れ防止 ダンパ取付	完了 				
その他 箇所	捻れ防止 ダンパ取付					完了

難着雪対策：

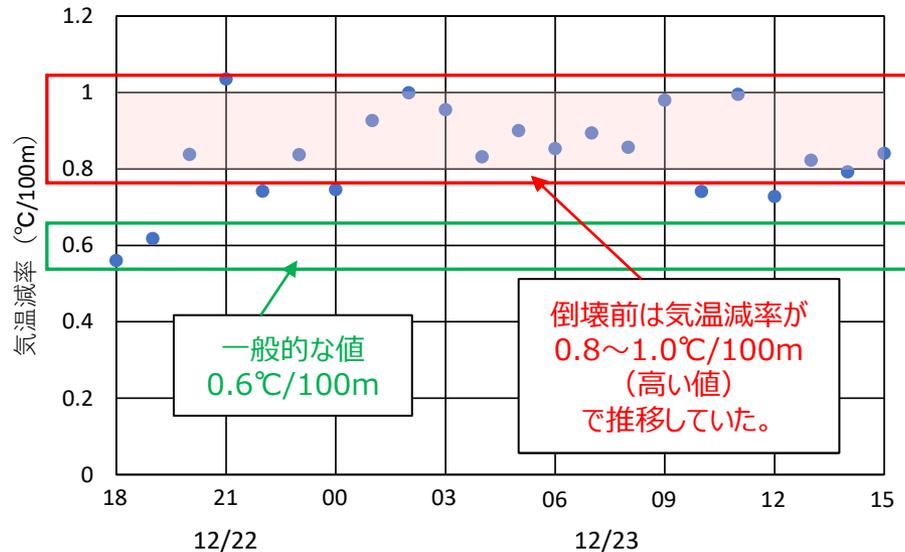
選定箇所については、電線に既に取付け済の「難着雪リング」に加えて、今回、「捻れ防止ダンパ」を取付け、電線着雪量を軽減する対策を実施する。

難着雪リング + 捻れ防止ダンパ

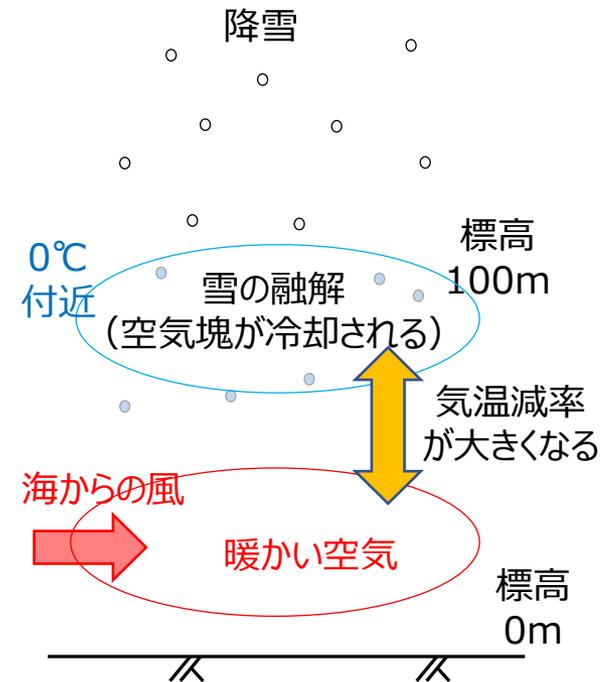


(参 考 資 料)

- 気温減率とは、標高の上昇に従って大気気温が下がる割合。一般的に、降雨・降雪時には、標高が100m上昇すると0.6℃低くなる (0.6℃/100m) とみなすことが多い。
- 紋別エリアでは、オホーツク海の海上で暖められた空気塊が紋別市周辺に流入していた、一方で、雪雲の中では雪粒子が融解しながら落下するとともに、雲水・水滴が蒸発することにより周辺空気が冷やされた。
- その結果、標高100mまでの狭い帯域において、**気温の変化率 (気温減率) が、降雨・降雪時に良く使用される値 (0.6℃/100m) に比べて高い値 (0.8℃~1.0℃/100m) となった。**

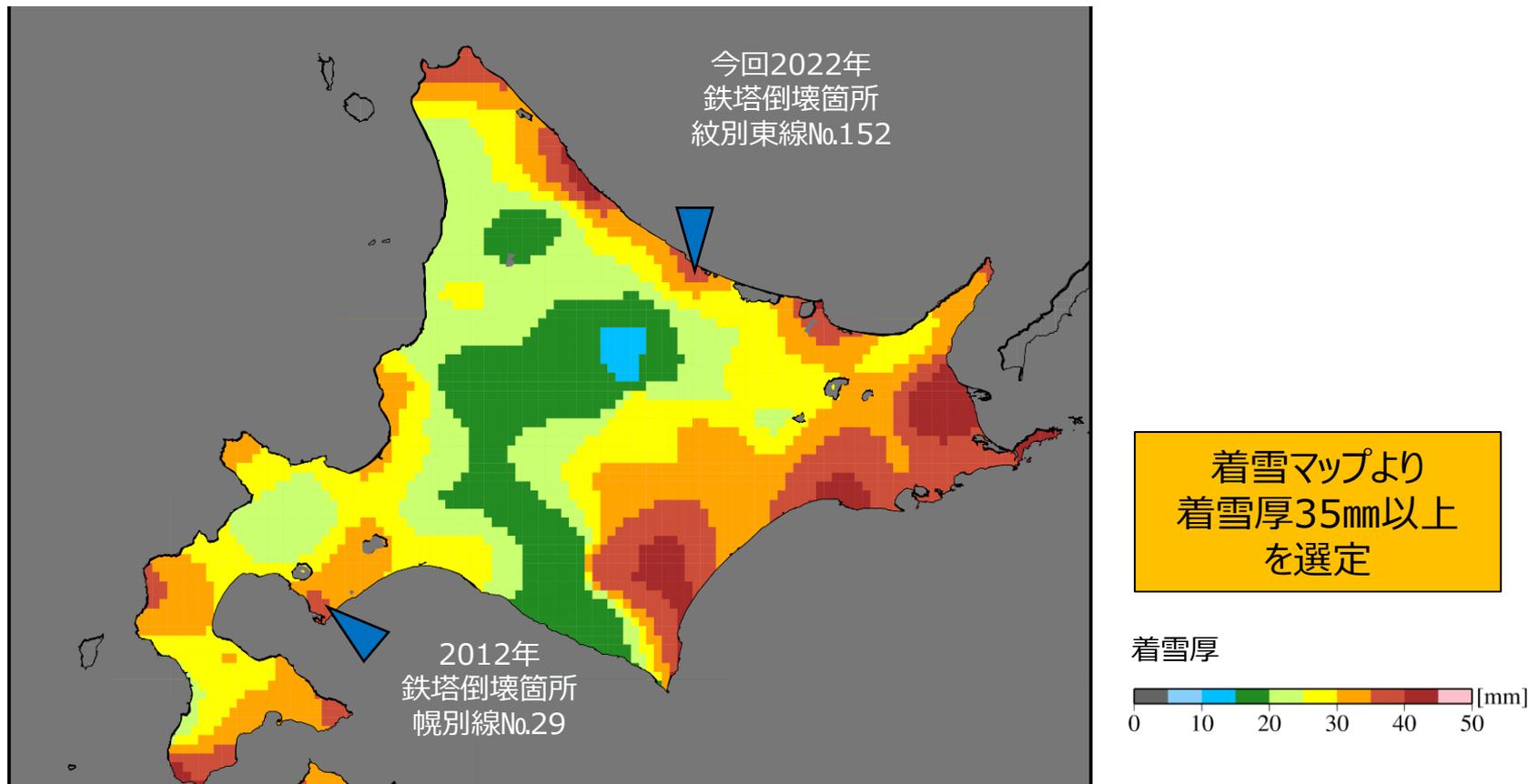


鉄塔倒壊前の気温減率



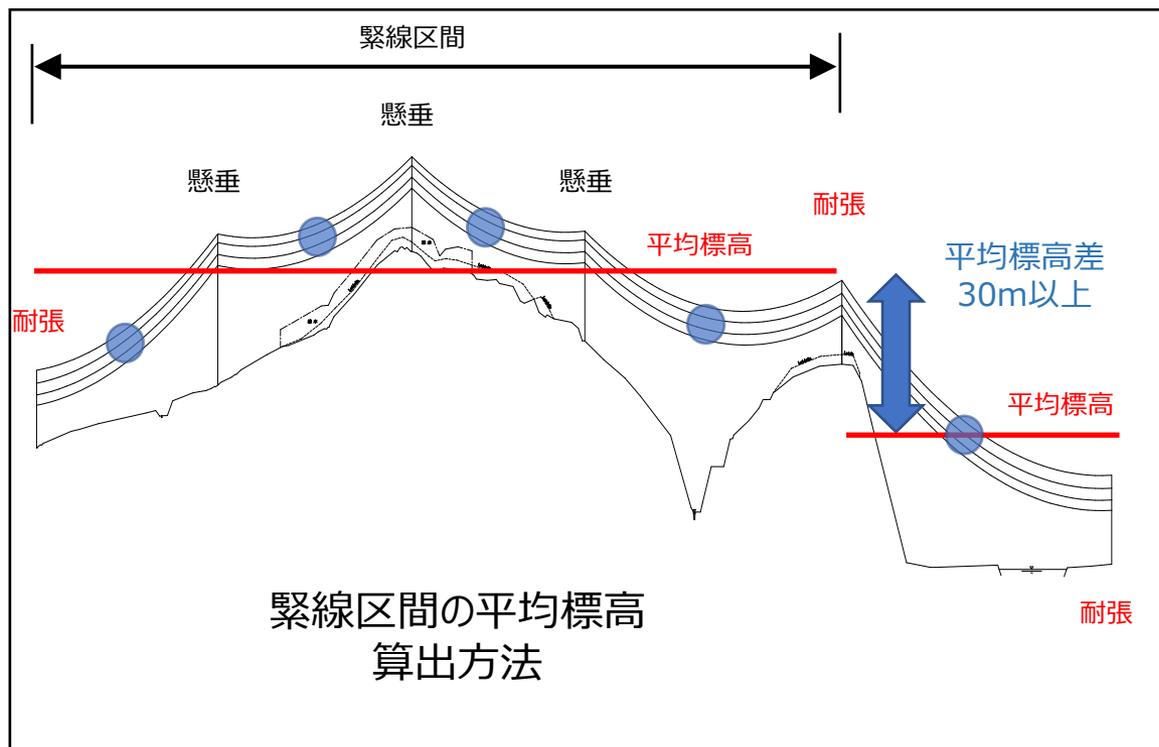
※気温減率の値は、ヨーロッパ中期予報センターERA5の大気解析値等を初期・境界条件として気象モデルWRFを用いて詳細解析した値を基に算出したもの。

- 原因①「大きな着雪が発達する稀な気象」に対する再発防止対策として、電力中央研究所において作成した最新の着雪マップ（電中研報告SS21006_2022年3月）により、電線着雪が発達する可能性が高いエリアを抽出する。
- 今回鉄塔倒壊箇所は着雪厚35mm以上のエリアに該当する。北海道において35mm以上の電線着雪が生じるエリアは、道東地域、室蘭地方などが該当し、過去の着雪事故箇所ともほぼ合致している。
- 対象エリアとしては**着雪厚35mm以上のエリアを対象とする。**



- 原因②「気温減率が高い値 (標高差による電線着雪差)」に対する再発防止対策として、鉄塔前後で大きな標高差がある箇所を選定する。
- 今回は、気温減率が高い値であったことから標高差36m程度でも着雪量のアンバランスが大きくなったものであり、再発防止対策の選定においては、安全側の選定となるよう**緊線区間の平均標高差30m以上**を条件に抽出する。

※緊線区間…隣接する耐張鉄塔に挟まれた区間



電線の平均標高差
30m以上
を選定

- これまで当社は、1972年に稚内で発生した電線着雪による鉄塔倒壊を踏まえ、自主保安として「着雪を考慮した設計」(以下、当社着雪設計)を取り入れ、1973年以降の鉄塔設計に反映してきた。
- 今回倒壊した鉄塔は1970年建設であり、当社着雪設計を取り入れる前の鉄塔(以下、旧規格鉄塔)であることから、**対象支持物は1972年以前の旧規格鉄塔の耐張鉄塔とする。**

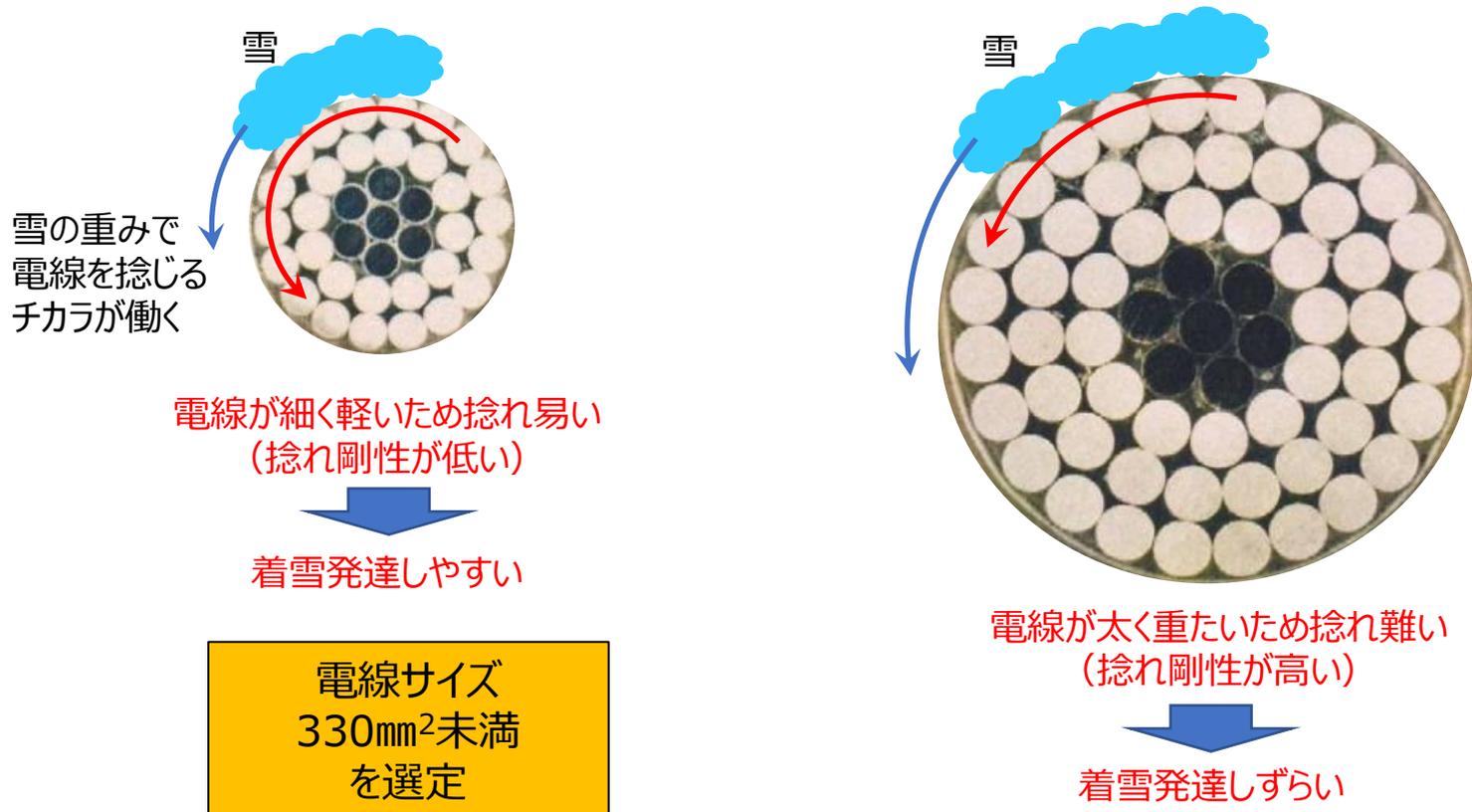
【耐張鉄塔】



1972年以前に
建設した耐張鉄塔
を選定

- 電線への着雪は、電線が細い (捻れ剛性が低い) 方が電線が捻れ易く、筒雪に発達しやすい、一方で、電線が太い (捻れ剛性が高い) 方が電線が捻れ難く、筒雪に発達しづらい。
- 過去の重着雪事故実績を踏まえ、**電線サイズ330mm²未満**とする。

(小) ← 電線サイズ → (大)



以上