

別紙

275 kV美浜線 No. 21 鉄塔建替工事における
鉄塔損壊事故による協力会社作業員死傷事故報告書

関西電力株式会社

平成23年10月

目 次

はじめに

1. 検討方針と体制

- 1. 1 検討方針
- 1. 2 検討体制

2. 事故状況

- 2. 1 事故発生状況
- 2. 2 被災状況ならびに設備損壊状況
- 2. 3 事故による電氣的影響
- 2. 4 工事実施状況

3. 鉄塔損壊の直接原因推定

- 3. 1 調査実施内容
- 3. 2 部材損傷状況
- 3. 3 記録の確認、調査状況
- 3. 4 部材補修
- 3. 5 材料性能
- 3. 6 鉄塔設計
- 3. 7 工事施工
- 3. 8 その他要因
- 3. 9 まとめ

4. 損壊メカニズムの推定

- 4. 1 立体解析
- 4. 2 損壊ステップの推定
- 4. 3 既 No. 2 1 鉄塔第 5 パネル腹材の耐力評価
- 4. 4 まとめ

5. 業務プロセスの分析と背景要因の検討

- 5. 1 要因分析の進め方
- 5. 2 鉄塔建替工事の業務プロセス
- 5. 3 事実の確認
- 5. 4 要因分析
- 5. 5 まとめ

6. 再発防止対策の策定と定着に向けた取組み

- 6. 1 再発防止対策の策定
- 6. 2 リスク評価の観点からの再発防止対策の整理
- 6. 3 定着に向けた今後の取組みについて

おわりに

はじめに

当社は平成20年9月15日の11時25分頃、美浜線 No. 21 鉄塔の損壊事故を発生させました。この事故により2名の方が尊いお命を亡くされ、2名の方が負傷されました。亡くなられた2名の方のご冥福を心からお祈り申し上げますとともに、被災者、ご遺族、ご家族の皆様にご改めて深くお詫びを申し上げます。また、負傷された2名の方の一日も早いご本復をお祈り申し上げます。

また、日頃から送電設備の維持運営にご協力いただいている送電工事会社の皆様や、地元にお住まいの皆様、美浜町はじめ地元の自治体、福井県、隣接の府県の皆様、さらには国をはじめ各方面の皆様にご大変なご迷惑をおかけするとともに、広く国民の皆様にご不安を与え、ご心配をおかけしたことを、改めて深くお詫び申し上げます。

当社は去る平成16年8月9日、美浜発電所3号機において2次系配管の破損事故を発生させ、5名の方が尊いお命を亡くされ、6名の方が重傷を負われました。この事故以降、当社では、全従業員一丸となって「安全最優先」の経営方針のもと、安全文化の再構築に取り組んで参りましたが、本事象の発生で改めて見つめ直しますと、残念ながら道半ばと言わざるを得ません。

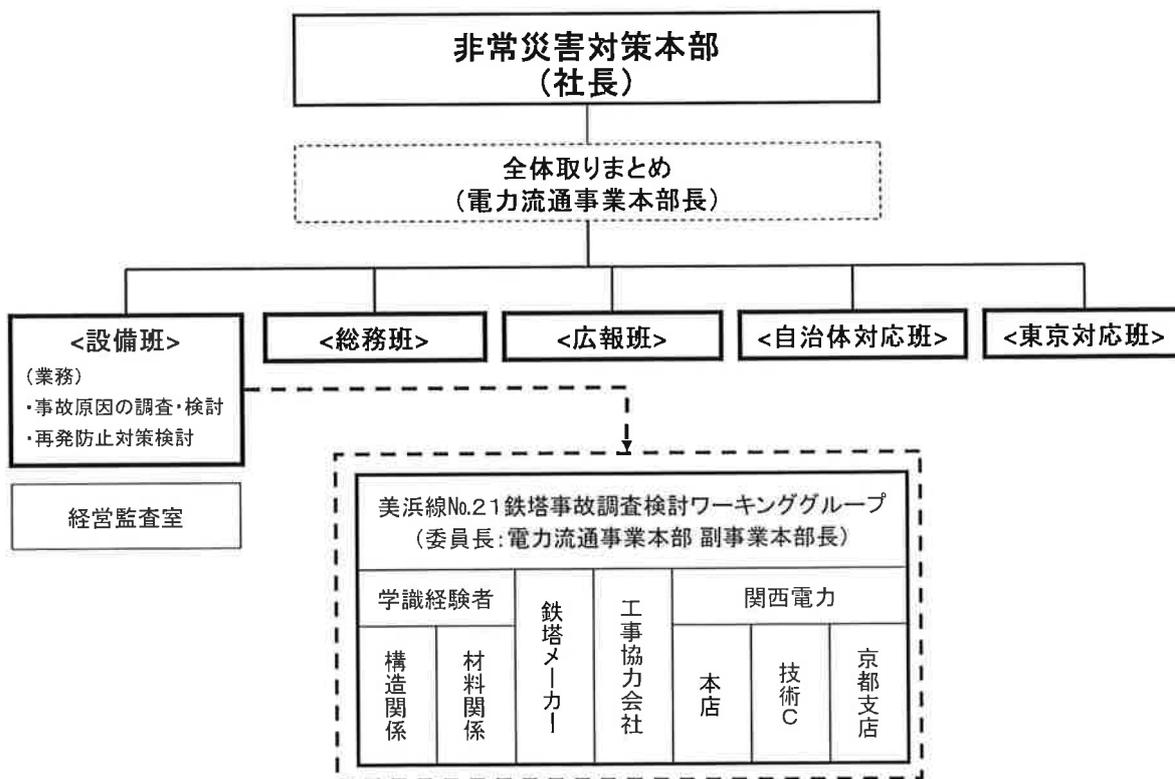
今回の事故に対しては、事故直後、社長から「事故原因を徹底究明し、再発防止策を確立し実行することはもとより、すべての部門においてリスクを見直す等、不断の努力により、安全の実績を着実に積み上げ、ゆるぎのない安全文化を構築する。」とのメッセージを発し、全役員・従業員が一丸となって、信頼回復に向けて取り組んで参りました。

事故原因の究明については、当社として事故発生時以降、可能な範囲で過去の保全記録の調査、材料性能調査、構造解析を含め、あらゆる観点から取り組んで参りました。

加えて、今回の事故に関する公判で明らかになった事実を踏まえ、ここにその調査・検討結果および同種事故の再発防止対策について、ご報告申し上げます。

1. 検討方針と体制

当社では事故発生後、直ちに非常災害対策本部を立ち上げ、下図のとおり事故原因の検討体制を発足させた。なお、事故原因の調査・検討および再発防止対策については設備班が中心となって実施した。



1. 1 検討方針

同種事故の再発防止対策の策定のため、事故の調査・検討にあたっては、多面的にアプローチすることとし、当該鉄塔の保全業務実績、今回の工事に関する設計・施工に関する業務プロセス、鉄塔材料に関するデータや気象等の外部環境について調査した。

1. 2 検討体制

鉄塔損壊の原因の調査・検討にあたっては、専門的見地からアドバイスを頂けるよう、学識経験者や鉄塔メーカーおよび送電工事会社にも参加していただき、「美浜線 No. 21 鉄塔事故調査検討ワーキンググループ」を設置した。

なお、設計・施工に関する業務プロセスの検証に必要な関係者に対する聴き取りについては、経営監査室が主体となって実施し、その分析および再発防止対策策定については、電力流通事業本部が主体となって実施した。

下記に美浜線 No. 21 鉄塔事故調査検討ワーキンググループの活動記録を示す。

第1回 平成20年10月 9日

- 1) 美浜線 No. 2 1 鉄塔事故概要
- 2) 現地状況
- 3) 直接原因の推定方法
- 4) 直接原因推定のスケジュール

第2回 平成20年11月 5日

- 1) 直接原因の推定状況
- 2) 事故発生時の施工状況
- 3) 材料性能調査状況
- 4) 立体解析ならびに部材耐力評価
- 5) 損壊メカニズム推定
- 6) トリガ荷重

第3回 平成20年11月26日

- 1) 直接原因の推定状況
- 2) 損壊メカニズムの推定
- 3) 報告書全体まとめ
- 4) 業務プロセスの分析結果と事故再発防止対策の検討

第3回以降、試験項目として、一部残っていたコンクリート強度試験等については、試験結果を各委員に確認の後、最終報告書のとりまとめを行った。

2. 事故状況

2. 1 事故発生状況

2. 1. 1 事故の経過

美浜線 No. 21 鉄塔（以下、「既 No. 21 鉄塔」という。）を建替えるため、9月10日から美浜線2号線（以下、「2L」という。）を上、中、下相の順で既 No. 21 鉄塔から仮鉄塔（以下、「仮 No. 21 鉄塔」という。）へ移線作業を開始し、9月14日に移線作業を完了した。

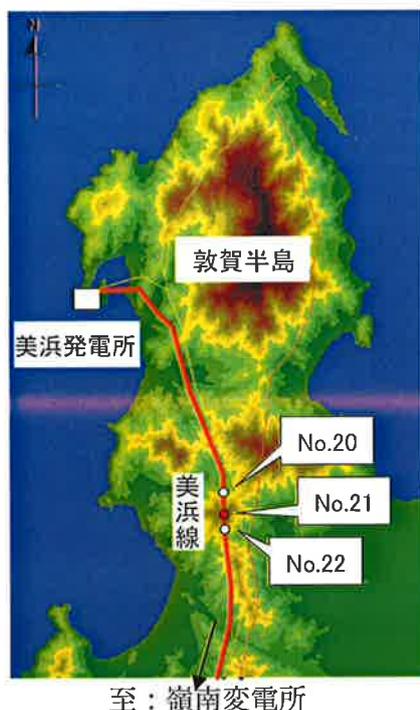
事故当日の9月15日、午前7時50分から作業現場において当日の作業内容等の打合わせを行うとともに安全確認を実施し、午前9時5分から2L下相のがいし装置撤去を開始した。

下相のがいし装置を10時5分、中相のがいし装置を11時5分にそれぞれ撤去し、その後、11時25分に上相のがいし装置の撤去準備作業中に、既 No. 21 鉄塔が損壊し、美浜線1号線（以下、「1L」という。）に地絡事故が発生、塔上で作業を行っていた作業員4名が、鉄塔上部とともに地上に墜落した。

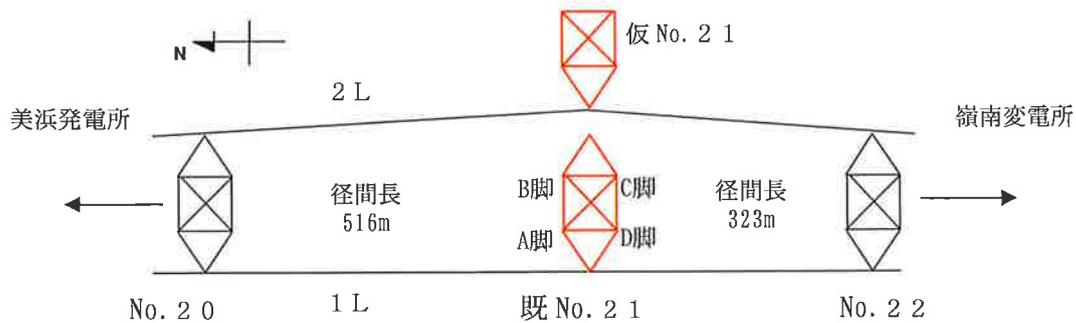
2. 1. 2 既 No. 21 鉄塔の概要

既 No. 21 鉄塔の位置を第2-1-1図、鉄塔設置状況を第2-1-2図に示す。なお、同図に示した径間長は、今回の工事前に測量した値である。

なお、位置図、実測平面図、縦断図は添付資料1-1、1-2、1-3に示す。



第2-1-1図 既 No. 21 鉄塔位置の概要



第2-1-2図 鉄塔設置状況

既 No. 21 鉄塔の設備概要は以下のとおりである。なお、鉄塔構造図、電線諸元、がいし装置図は添付資料 1-4、1-5、1-6 に示す。

〔送電線路の名称および区間〕

- ・名 称：美浜線
- ・区 間：(自) 美浜発電所 (至) 嶺南変電所

〔送電線路の電圧〕

- ・電 圧：275,000ボルト

〔電線路〕

- ・送電線の種類：架空
- ・こ う 長：19.19km
- ・電 気 方 式：交流3相3線式
- ・中性点接地方式：直接接地方式
- ・回 線 数：2回線
- ・再 閉 路 方 式：高速度单相再閉路および低速度3相再閉路方式

〔支持物の種類〕

- ・種 類：コンクリート充てん鋼管鉄塔

〔電線〕

- ・種 類：アルモウエルド心アルミより線 (ACSR/AW)
- ・太 さ：28.5mm
- ・条 数：24条 (4導体)

〔架空地線〕

(1 L)

- ・種 類：光ファイバ複合架空地線 (U-OP-KTACSR/AC)
- ・太 さ：18.5mm
- ・条 数：1条

(2 L)

- ・種 類：アルモウエルド心イ号アルミ合金より線（IACSR/AW）
- ・太 さ：17.5mm
- ・条 数：1条

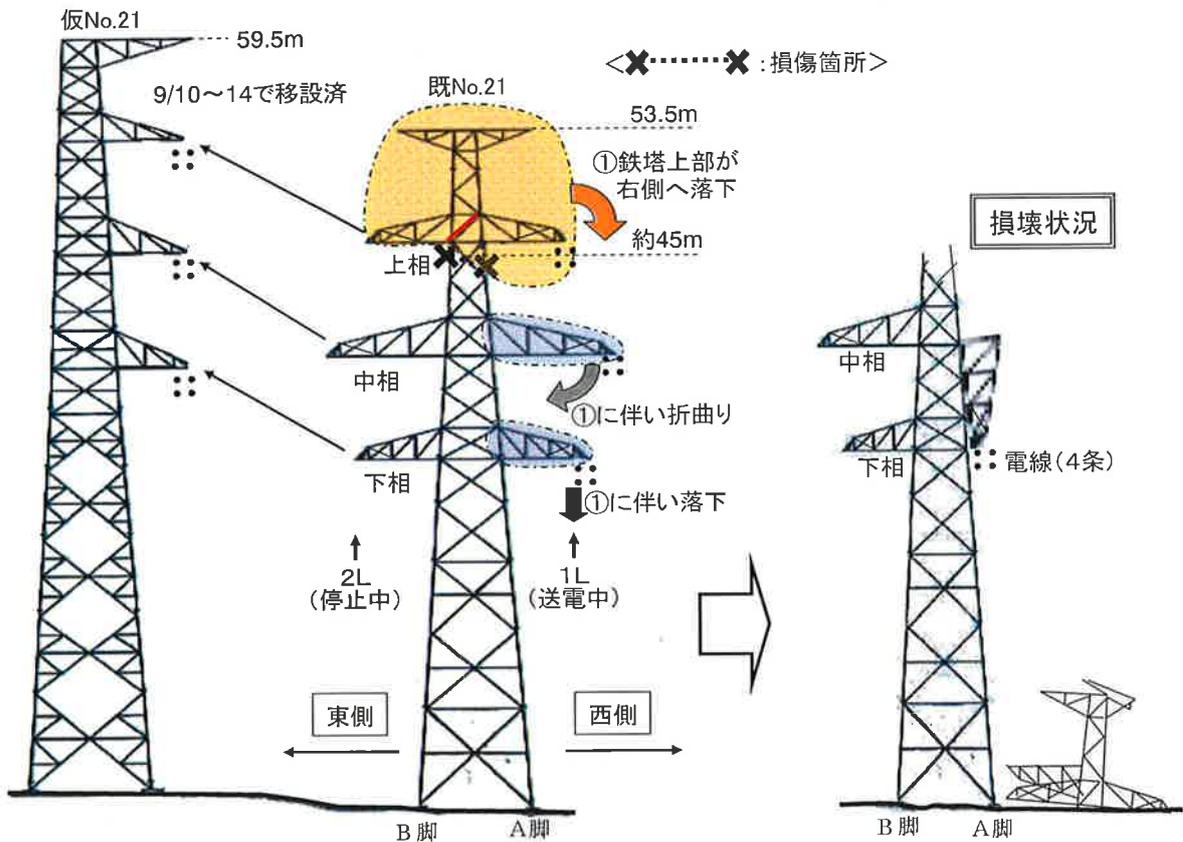
[がいし]

- ・種 類：耐塩用懸垂がいし
- ・直 径 × 高 さ：320mm × 170mm
- ・個 数 × 連：18個 × 3連

2.2 被災状況ならびに設備損壊状況

既 No. 21 鉄塔上で作業をしていた作業員4名の内、墜落により2名が死亡し、2名が重傷（うち、1名は右下腿開放骨折他、1名は右頬骨骨折他）を負った。

設備の損壊状況については、上相腕金より上部は部材損傷により落下し、1L中相腕金は主材の根元から折れ曲がっていた。また、1L下相腕金は主材の根元から損傷し落下していた。設備損壊状況を第2-2-1図に示す。

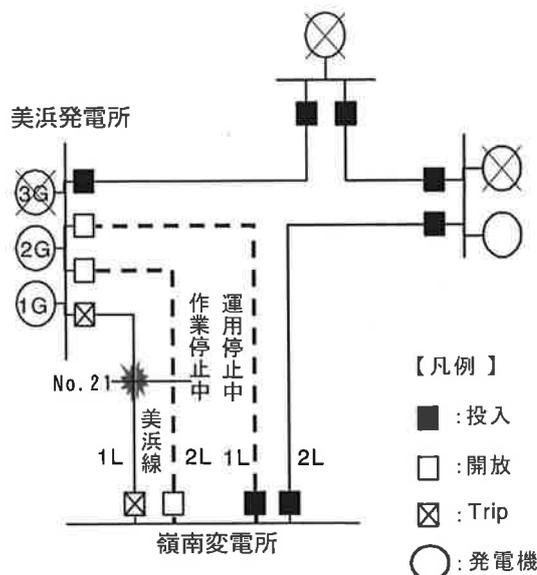


第2-2-1図 設備損壊状況
(北側から見た図)

2. 3 事故による電氣的影響

11時25分に美浜線1Lの地絡事故が発生し、11時26分に美浜線1Lの自動再閉路に失敗したが、美浜発電所での発生電力は、他系統に振り替えて送電した。

なお、事故に伴う火災、供給支障はなかった。事故時の系統を第2-3-1図に示す。



第2-3-1図 事故時の系統

2. 4 工事実施状況

2. 4. 1 工事概要

(1) 工事件名

美浜線 No. 20～22 改良工事ならびにこれに伴う除却工事

(2) 経緯

平成17年12月～平成18年2月の雪害(以下、「平成18年豪雪」という。)後、同雪害を踏まえた同種事故防止対策として、平成18年7月、既 No. 21 鉄塔の上相腕金補強を実施中に、同腕金のわずかなねじれを発見した。

これを受け、平成18年8月に同鉄塔の第5パネルの溶接部について磁粉探傷点検(以下、「MT点検」という。)を実施し、上相の腕金主材取付プレートおよび、ガセットプレートの上相溶接部にわずかな亀裂を発見した。また、同時に目視により、第5パネル支柱材のわずかな曲りを見つけた。そのため、平成18年9月に、それぞれ、サドルプレートおよび補強プレートの溶接により補修した(3.4.1参照)。

<参考> MT点検(磁粉探傷点検)

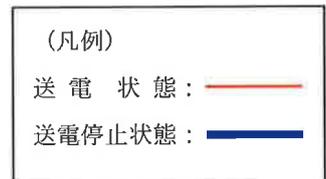
試験体を磁化することにより、内部に磁束を発生させ、表面に漏洩した磁束に磁粉を吸着させることで欠陥を検出する方法。

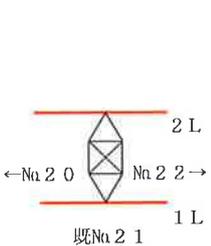
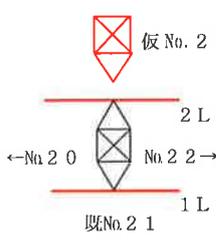
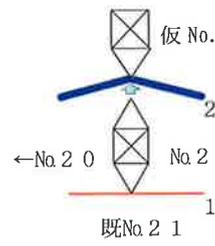
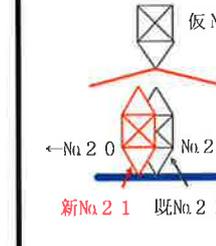
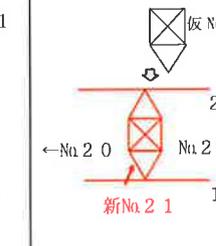
(3) 工事の目的

当該送電線は美浜発電所から京阪神に電気を送る重要幹線であることから、長期的信頼性確保の観点から建替工事を実施することにした。

(4) 工事方法

当該工事は、美浜線 1 回線の送電を継続した状態でほぼ同じ位置に鉄塔を建替えるために、仮 No. 2 1 鉄塔を建設、一時的に 1 回線分 (2 L) の電線を移動した上で送電する。その後、1 L は送電を停止させ、新 No. 2 1 鉄塔を建設し、仮 No. 2 1 鉄塔から新 No. 2 1 鉄塔に電線を移動させる予定であった。工事手順を第 2-4-1 図に示す。

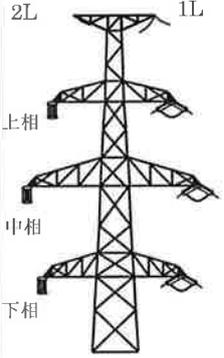
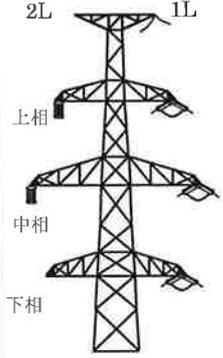
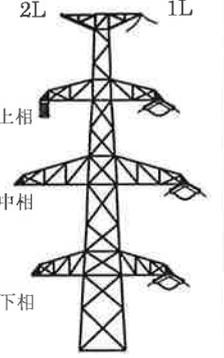
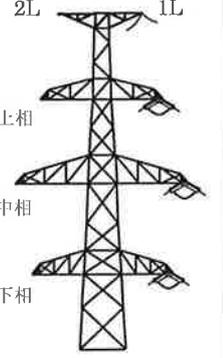


ステップ 1	ステップ 2	ステップ 3	ステップ 4	ステップ 5
施工前	仮 No. 2 1 建設	移線 (事故発生時)	新 No. 2 1 建設	既 No. 2 1 除却
				

第 2-4-1 図 工事手順

2. 4. 2 事故発生当日の作業ステップ

事故発生当日は、2L のがいし装置を下相、中相、上相の順に取り外す予定であったが、上相がいし装置の取り外し準備作業（ステップⅢ）で事故が発生した。当日の作業ステップを第2-4-2図に示す。

作業ステップ	ステップⅠ 2L 下相がいし装置取外し	ステップⅡ 2L 中相がいし装置取外し	ステップⅢ 2L 上相がいし装置取外し	ステップⅣ 完了
時刻	9月15日 10:05完了	9月15日 11:05完了	9月15日 11:25頃 事故発生時	—
概要図				

第2-4-2図 当日の作業ステップ

3. 鉄塔損壊の直接原因推定

3.1 調査実施内容

既 No. 2 1 鉄塔が損壊した直接原因を推定するため、以下の観点から調査した。

記録の確認、調査 : 巡視・点検・設備異常管理状況が適切であったかを記録および報告書から調査した。

部材補修 : 平成18年豪雪後の補強設計方法、施工状況が適切であったかを設計、施工記録から調査した。

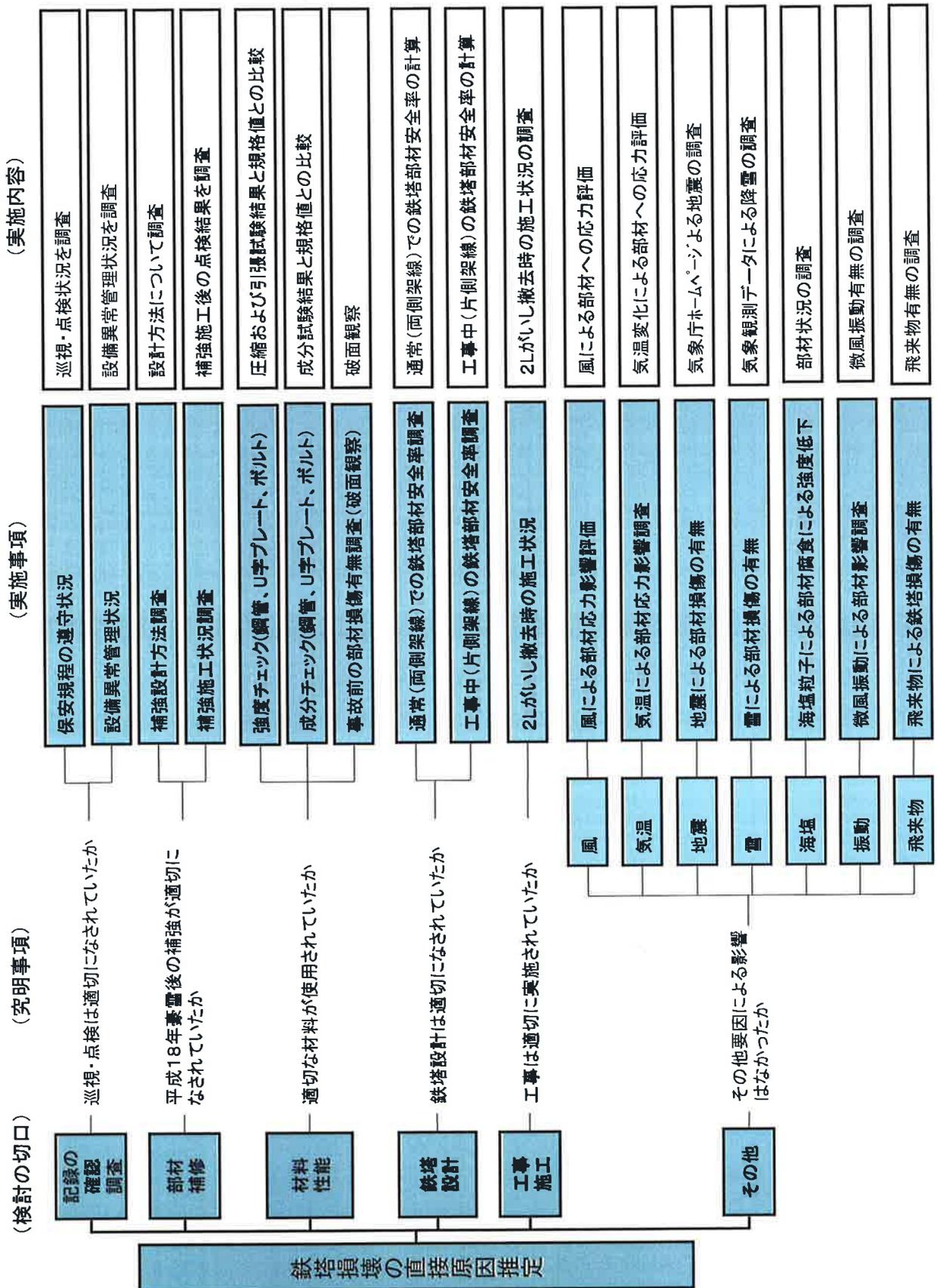
材料性能 : 事故鉄塔の部材（当該鉄塔の第5パネルの部材を除く）や、同時期に建設された同型鉄塔の部材の強度が適切であったかを調査した。

鉄塔設計 : 通常（両側架線）と工事中（片側架線）双方に対する鉄塔部材の安全率が確保されていたかを調査した。

工事施工 : 事故発生当日の施工状況が適切であったかを調査した。

その他 : 事故時の気象状況他を調査した。

鉄塔損壊の直接原因推定の実施内容を第3-1-1図に示す。



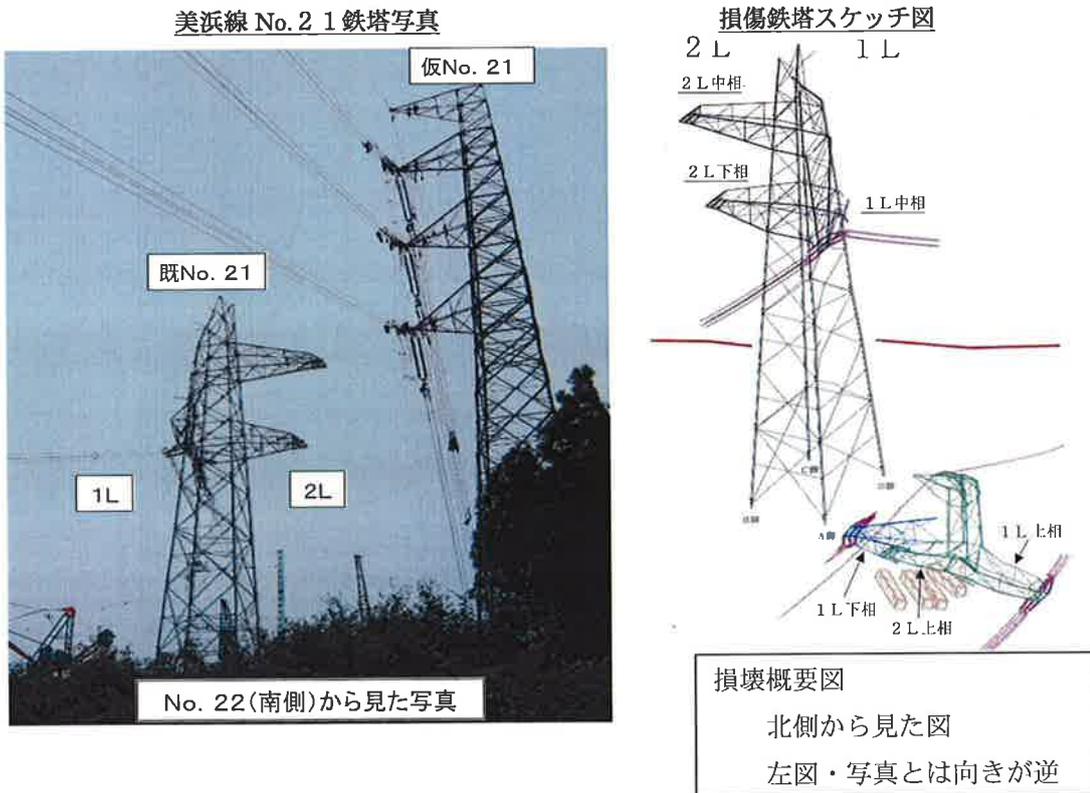
第3-1-1図 鉄塔損壊の直接原因推定の実施内容

3. 2 部材損傷状況

既No. 2 1 鉄塔の設備損壊状況を第3-2-1図に示す。また、事故前の既No. 2 1 鉄塔の状況を第3-2-2図に示す。

(1) 落下部材(第6パネルより上部)

第6パネルの一部を含む上部材については、鉄塔頂部を上にした状態で、既No. 2 1 鉄塔のA-D面側に落下していた。1 L側地線腕金は大きく変形し、上相腕金は変形しているものの腕金の形状を留めていた。1 L下相腕金は塔体付け根から破断し、腕金の形状を留めた状態で落下していた。

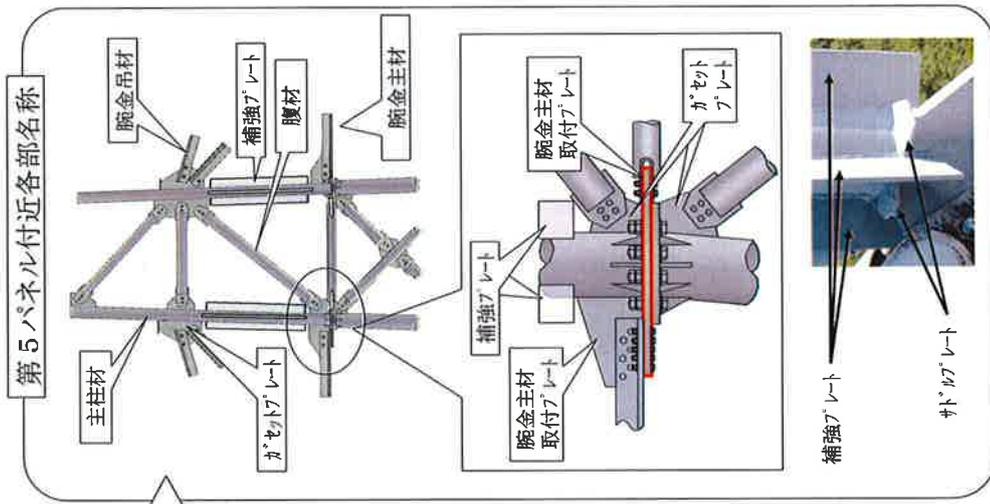
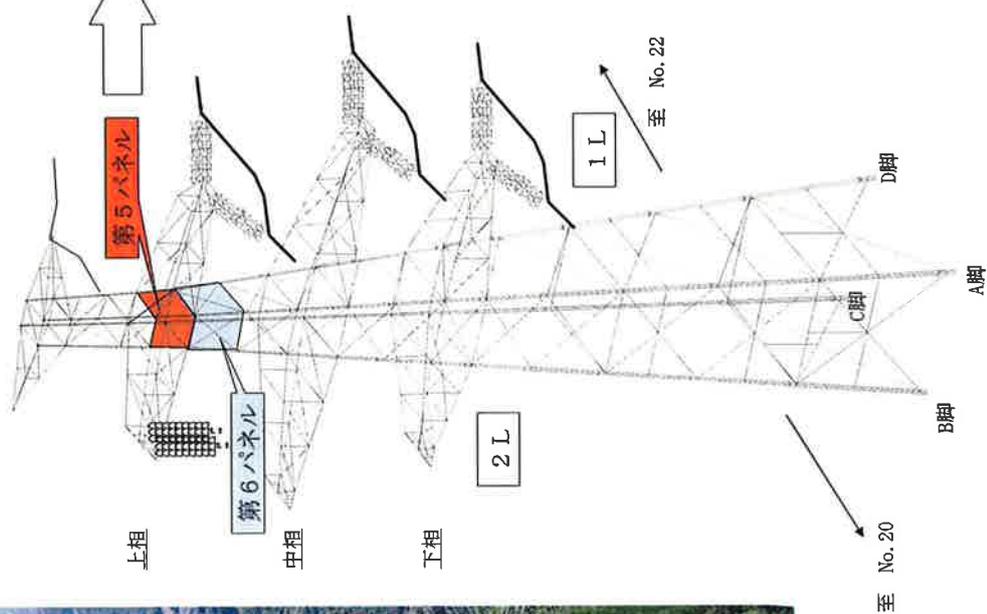


第3-2-1図 既No. 2 1 鉄塔 損壊状況



既No. 21事故前写真

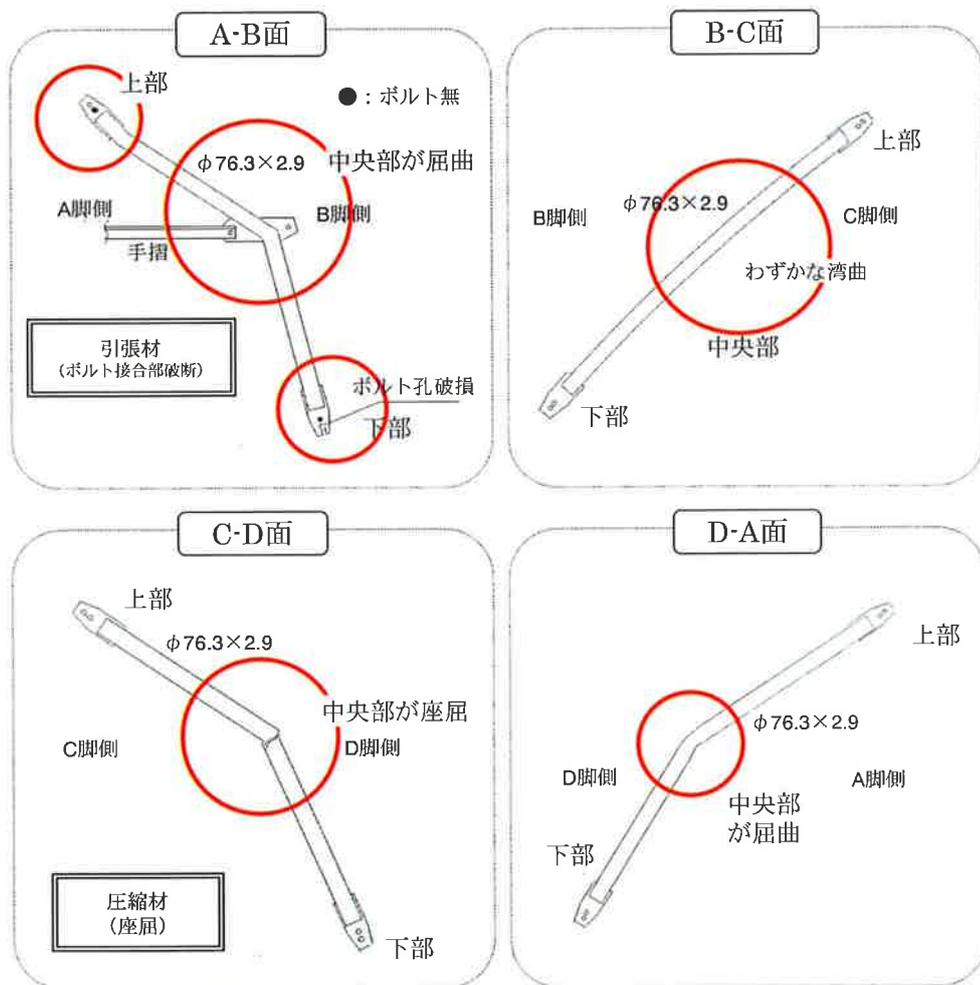
既No. 21工事中概要図



第3-2-2図 既No. 21の事故前の状況

(a) 第5パネル腹材

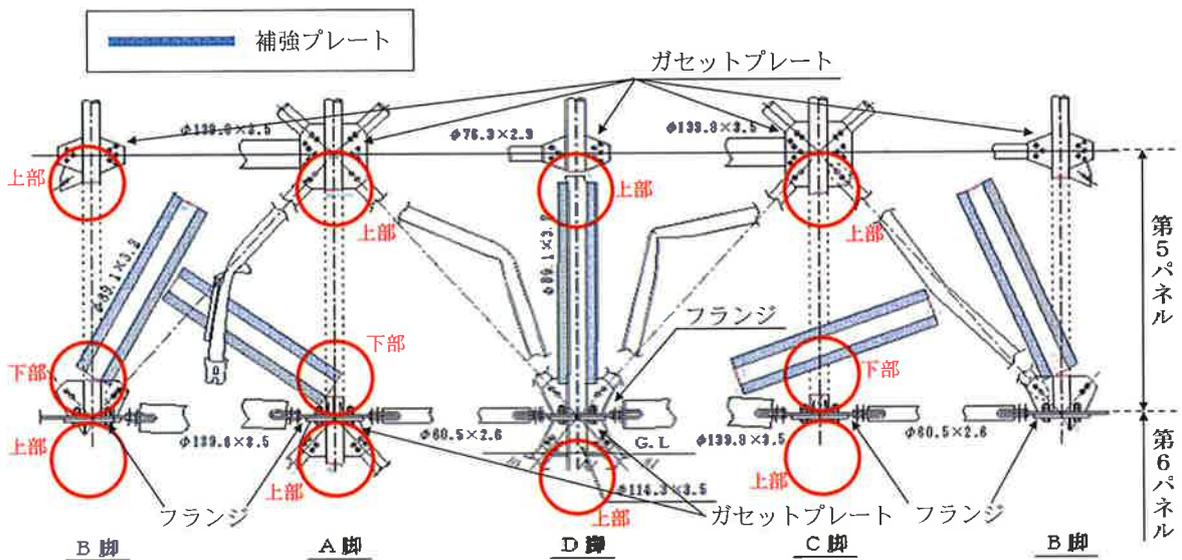
第5パネルA B面（引張材）は腹材上部のボルト接合部でボルト1本がせん断し、腹材下部のボルト接合部で1本がせん断、1本が端抜けし、引張荷重による破断の様相であった。また、腹材中央部の屈曲は、手摺部材の影響と思われる。B C面は腹材中央部でわずかに湾曲していた。C D面（圧縮材）は腹材中央部で屈曲しており、座屈破壊の様相であった。D A面は腹材中央部で屈曲していた。なお、第5パネル腹材の損傷状況を第3-2-3図に示す。



第3-2-3図 第5パネル腹材部材損傷状況

(b) 第5パネル支柱材

上部については、A～Dいずれの脚も、ガセットプレートと補強プレート
の間で破断していた。下部については、A、B脚は、鋼管の一部を残し破断し
ていた（一部は繋がった状態）。C脚については完全に破断していた。D脚は
損傷することなく残っていた。また、第5、第6パネル間のフランジについ
ては、A脚上部の一部に変形があるのみで、他に損傷は見られなかった。なお、
この様子を第3-2-4図に示す。



第3-2-4図 第5パネル支柱材の損傷状況

(c) 第6パネル支柱材

上部については、A～Dいずれの脚も、第5、6パネル間のガセットプレート
（あるいはフランジ）際で破断していた。また、A脚は、第6パネル下部で
も破断し、地上に落ちていた。なお、B脚支柱材はA脚側にわずかに傾斜、C
脚支柱材はA脚側へ傾斜、D脚支柱材はA脚側へ大きく傾斜していた。

(2) 第7パネルより下部

第6パネルの一部、および第7パネルより下部は、1L下相腕金を除き塔体
に残存していた。1L中相腕金は吊材部が破断、腕金主材取付プレートが屈曲、
電線、がいし装置が取り付けられた状態で塔体にぶら下がっていた。この状況を第
3-2-5図に示す。

(3) 架空地線

1L側の架空地線は、地線腕金と繋がった状態で地上に落下していた。

(4) 電線

1 L 中相の電線は中相腕金にがいし装置を介してつながった状態であった。

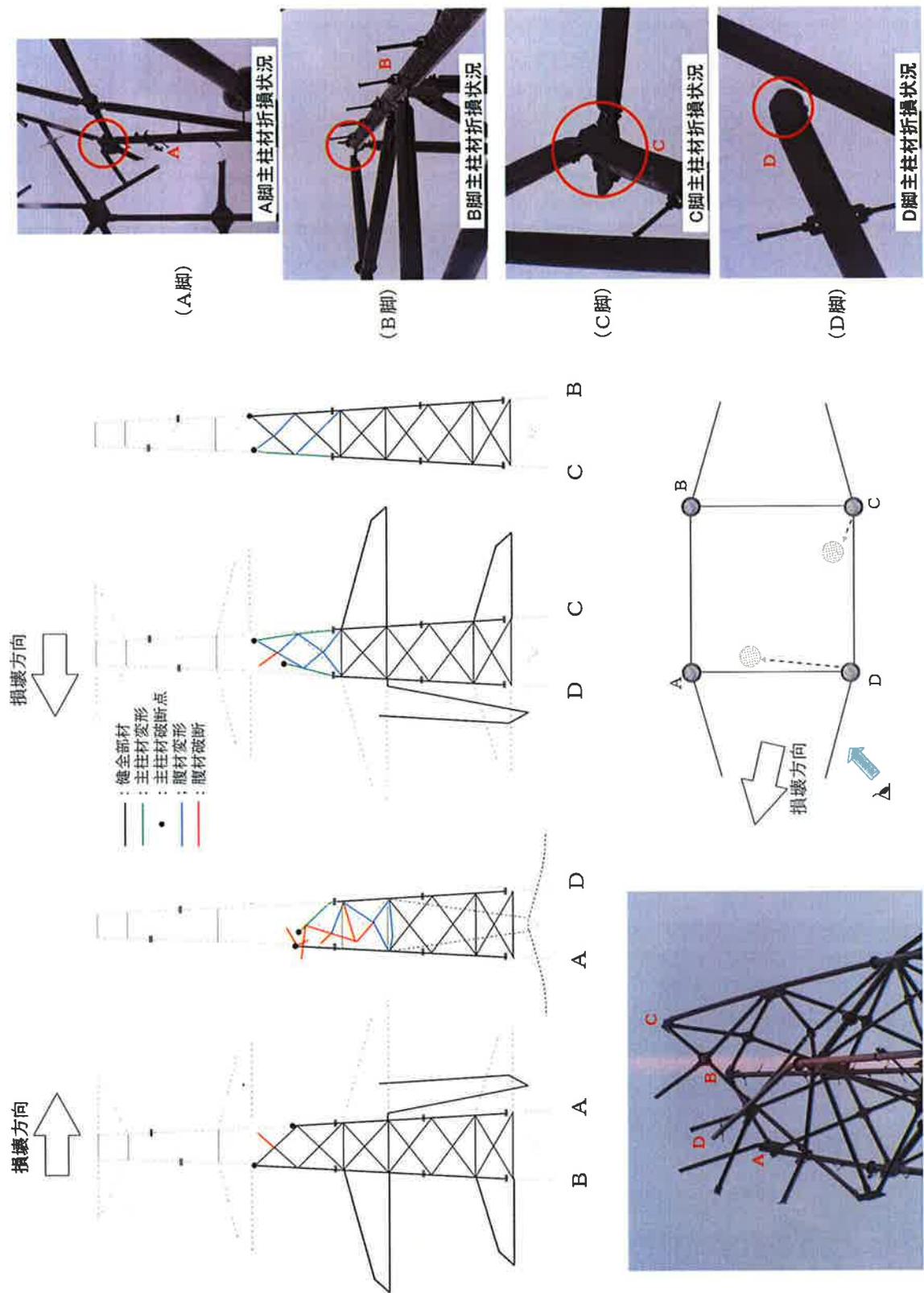
1 L 上相、下相の電線は、地上に落下していた。

(5) がいし・架線金具

1 L 側上・下相のがいしは、地上に落下しほとんどが破損していたが、架線金具は連結金具にて腕金とボルトで繋がっており、大きな変形は見られなかった。また、1 L 側中相のがいしは、電線と共に中相腕金に吊られた状態であった。

2 L 側上相のがいしは、地上に落下しほとんど破損していたが、架線金具については連結金具にて腕金とボルトで繋がった状態であった。

また、がいし取り外し用のロープ（ナイロンスリング）が掛かった状態で落下していた。なお、2 L 中相・下相のがいしについては、当日、事故発生までに取り外されていた。



第3-2-5図 部材損傷状況 (第6パネルより下部)

3. 3 記録の確認、調査状況

3. 3. 1 巡視・点検実施状況

至近に実施した巡視（平成20年8月8日）および、支持物・電線点検（平成19年12月25日）ならびに、不良がいし検出（1L：平成14年5月25日、2L：平成19年4月6日）においては、著しい異常がなかったことを確認した。

なお、上記以前の巡視状況ならびに点検状況についても遡って調査した結果、保安規程に基づき適切に実施していた。また、著しい設備の異常はなく、発見した設備の異常は適切に処理されていた。

第3-3-1表に既No. 21鉄塔の巡視実施状況、第3-3-2表に既No. 21鉄塔点検実施状況を示す。

第3-3-1表 既No. 21鉄塔巡視実施状況

	実施年月日	方法	結果
平成17年度	4.8	普通巡視(徒歩)	異常なし
	5.12	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	8.11	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	11.10	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	12.15	臨時巡視(ヘリ)	異常なし
	2.13	普通巡視(ヘリ)	異常なし
平成18年度	5.9	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	5.19	普通巡視(徒歩)	異常なし
	8.24	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	11.9	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	2.8	普通巡視(ヘリ)	異常なし
平成19年度	4.10	普通巡視(徒歩)	異常なし
	5.9	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	8.9	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	11.8	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	2.19	普通巡視(ヘリ)	異常なし
平成20年度	4.22	普通巡視(徒歩)	異常なし
	5.8	普通巡視(ヘリ)	異常なし
	8.8	普通巡視(ヘリ)	異常なし

第3-3-2表 既No. 21 鉄塔点検実施状況

実施年月日	対象	結果	設備異常ランク(※1)	設備異常への対応
H9.8.23	支持物・電線	異常なし		
H10.5.21	がいし(1L)	異常なし		
H14.5.25	がいし(2L)	異常なし		
H14.6.3	電線(2L)	異常なし		
H14.6.10	電線(1L)	異常なし		
H14.7.8	支持物	内面腐食による部材穴あき ・上相:BC面水平材 ・下相:BC面水平材	B	取替済み
H18.7.20 (※2)	支持物	腕金のねじれ	判定前に対応	発見時に補修済み
H18.8.31	支持物	腕金主材取付プレート溶接部の亀裂	A	サドルプレート溶接補修済み
		第5パネル支柱材の曲がり	C	プレート溶接補修済み
H19.4.6	がいし(1L)	異常なし		
H19.12.25	支持物・電線	A脚中相アーム吊材ボルト取付不良	B	美浜線No.20~21改良工事により処理予定

※1：設備異常ランクとは設備異常状態に応じて管理ランクを定めたもの。

Aランク：直ちにまたは台風など悪気象条件期に設備事故に結びつくもの
(即時、または台風など悪気象条件期までに改修)

Bランク：放置すれば設備事故に結びつくもの。
(異常進展状況の確認を踏まえ、計画的に改修)

Cランク：Bランクに至らないもの。(継続監視)

※2：平成18年豪雪を踏まえた同種事故防止対策として、平成18年7月2日に既No. 21鉄塔の上相腕金補強工事中、同腕金のわずかなねじれを発見し、同工事の実施に合わせて補修を実施。

3. 4 部材補修

既 No. 2 1 鉄塔の第5パネル支柱材の曲がり他に対する補強方法および施工状況について調査した。

3. 4. 1 平成18年豪雪後の鉄塔補強状況

平成18年豪雪後、既 No. 2 1 鉄塔の想定電線着雪質量を2 kg/mから3 kg/mに見直し、平成18年7月に腕金を補強した。その際、①「腕金のねじれ」を発見した。さらに平成18年8月に第5パネルのプレート5箇所 MT点検を実施した結果、②「上相腕金主材取付プレート他の溶接部の亀裂」を発見した。また、同時に目視により、③「第5パネル支柱材の曲がり」を発見した。各異常の様相および処置を以下に整理する。

①「上相腕金のねじれ」

様相：腕金が電線方向に少し引っ張られ、僅かにねじれていた。

処置：平成18年7月に実施した腕金補強（部材の追加・取替）時に、ねじれについても合わせて補修した。

評価：目視により異常（ねじれ）がないことを確認するとともに、トルクレンチにより各部材のボルトが規定どおり締め付けられていることを確認した。

②「上相腕金主材取付プレート他溶接部の亀裂」

様相：C脚の腕金主材取付プレートおよび、B、D脚のガセットプレートの溶接部（計3箇所）に亀裂（幅1 mm程度、長さ12 mmから29 mm程度）があった。

C脚の亀裂の様子を第3-4-1図に示す。

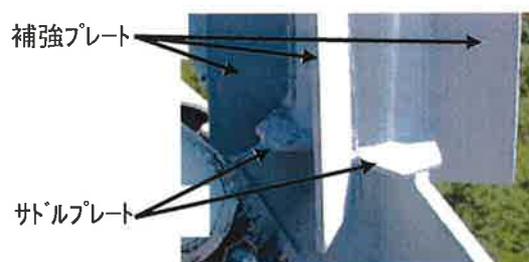
処置：平成18年9月に、腕金主材取付プレート、ガセットプレートに、サドルプレートを溶接し補修した。

C脚の補修状況を第3-4-2図に示す。

評価：溶接部のMT点検を実施し、良好であることを確認した。



第3-4-1図 C脚腕金主材取付プレート
溶接部の亀裂



第3-4-2図 C脚の補修状況

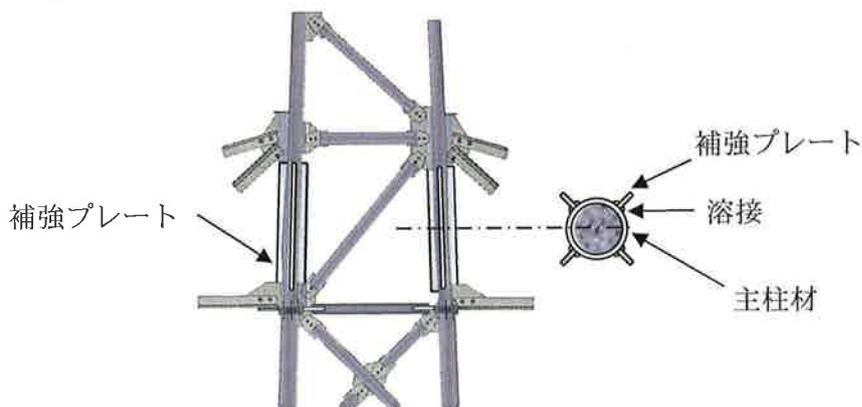
③「第5パネル支柱材の曲がり」

様相：A～D脚の全てが、わずかに湾曲（最大1cm程度）していた。

処置：平成18年9月、4枚の補強プレートを各脚に溶接し、必要な強度を確保した（3.4.2参照）。補強プレートの概要を以下に示し、図を第3-4-3図に示す。

- ・材質 SS400
- ・サイズ AB脚：厚さ6mm×幅50mm×長さ1.8m
CD脚：厚さ6mm×幅65mm×長さ1.8m

評価：目視により、溶接部の外観点検（ビードの凸凹、ビード幅の不整、ピット、余盛不足および過大、表面割れ）を実施し、適切に施工されていることを確認した。また、MT点検により、溶接部の亀裂がないことを確認した。



第3-4-3図 補強プレートの概要

3.4.2 第5パネル支柱材の曲がりに対する検討

支柱材の最大応力は、“支柱材の圧縮応力（軸力）”に、“支柱材の曲がりにより発生する曲げモーメントを軸力に換算した値”を加算し、算出した。そのうえで、支柱材の最大応力が部材の許容耐力以下となるように、補強プレートの断面積を決定した（補強プレートにより支柱材の断面積を増加）。以下に、設計に用いた式、および概要図を示す。

○曲がりにより発生するモーメント

$$M = N_c \cdot e$$

○最大応力（軸力+曲げモーメントを軸力に換算した値）

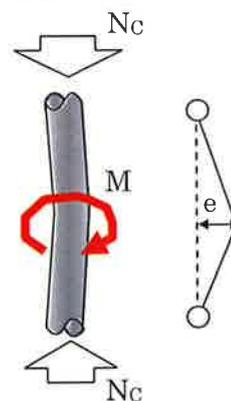
$$\sigma = \frac{\omega \times N_c}{A} + \frac{M}{Z}$$

圧縮応力 モーメントによる軸力

○安全率

$$s.f = \sigma_a / \sigma$$

（今回の補強後の最小値は1.62）



第3-4-4図 概要図

ここで、

N_c : 圧縮力

e : 曲がり量

ω : 座屈係数 (部材長さ、部材径から定まる係数)

A : 断面積

Z : 断面係数 (曲げへの抵抗力を表す係数・形状より求める)

σ_a : 部材許容応力度

3. 5 材料性能

既 No. 2 1 部材の強度劣化の有無、実耐力、材料成分およびコンクリート強度の確認などを目的として、材料試験を実施した。

3. 5. 1 試験内容

既 No. 2 1 鉄塔の損傷箇所は、第 5 パネル腹材の中空鋼管、U 字プレート、ボルトおよび、第 5、第 6 パネル支柱材のコンクリート充てん鋼管である。しかし、当該部材が入手できない状況であるため、第 5 パネル腹材の中空鋼管、U 字プレートについては、同一線路で同時期に建設され、かつ同型の鉄塔から取外した同部位 (同サイズ) の部材を使用して試験を行い、ボルトは、既 No. 2 1 鉄塔と同じロットのボルトを使用して試験を行った。また、コンクリート試験については、既 No. 2 1 鉄塔の第 4、第 8 パネルの支柱材を使用して試験を行った。

なお、試験項目、試験試料および試験数量を第 3 - 5 - 1 表に示す。

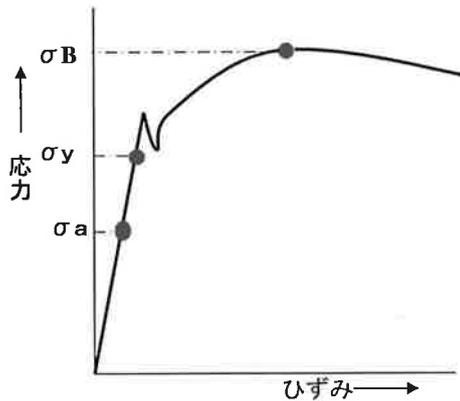
第3-5-1表 試験項目、試験試料および試験数量

No.	鉄塔構成材	試験区分		実体・試験片 区分	試験試料 (試験対象部材)	試料数	試料内訳
1	鋼管 (腹材)	外観	外観・寸法	実体	既No.21同型鉄塔 (No.11,12,15) 5番パネル腹材 サイズ： φ76.3×2.9 長さ：292 cm	3本	1本/基×3基 = 3本
2		強度	引張強度	試験片		9試料	3試料/1本×1本/基 ×3基 = 9試料
3			座屈強度	実体		3本	1本/基×3基 = 3本
4			引張強度	実体		3本	1本/基×3基 = 3本
5		成分	鋼材成分	試験片		3試料	1試料/1本×1本/基 ×3基 = 3試料
6	U字プレート	強度	引張強度	試験片	既No.21同型鉄塔 (No.11,12,15) 5番パネル腹材 U字プレート	9試料	3試料/1枚×1枚/基 ×3基 = 9試料
7		成分	鋼材成分	試験片		3試料	1試料/1枚×1枚/基 ×3基 = 3試料
8		外観	外観・寸法	実体		3本	3本/基
9	ボルト	強度	引張強度	実体	既No.21 5番パネル腹材と同一 ロットのボルト サイズ：M16 (No.38)	3本	3本/基
10			せん断試験	実体		3本	3本/基
11		成分	鋼材成分	試験片		1本	1本/基
12	鋼管 (主柱材)	外観	鋼材破面観察	実体	既No.21主柱材(6番パネル)	既No.21主柱材(6番パネル)を現地で観察	
13	コンクリート	強度	コンクリート圧縮強度試験	試験片	既No.21 4番・8番パネル 主柱材	12試料	3試料/本×4本/基 ×1基 = 12試料
14		外観	コンクリート充てん確認	実体		4本	4本/基×1基 = 4本

3. 5. 2 試験結果

材料試験に関する結果を以下に示し、第3-5-2表に同試験結果総括表を示す。

鋼管鋼材引張試験およびU字プレート鋼材引張試験の規格値は、建設当時のMKS単位系の値を示す。なお、() 内にSI単位系へ換算した値を示す。参考に部材における応力とひずみの関係を第3-5-1図に示す。



<解説> 部材の応力-ひずみ線図

σ_y : 降伏点応力

降伏点までは応力とひずみが正比例する。

σ_a : 許容応力

上述の降伏点応力 σ_y に対して、安全率1.5を見込んだもの。

σ_B : 引張強さ

材料の降伏点応力を超えると応力はほとんど上昇せず、ひずみ(伸び)だけが上昇し、 σ_B を過ぎると応力は減少し、破壊に至る。

※実物の試験については、引張強さが引張破断耐力に、降伏点耐力が圧縮座屈耐力に、それぞれ対応する。

第3-5-1図 部材の応力-ひずみ線図

(1) 鋼管(腹材) 外観観察・内面観察・寸法測定

(a) 鋼管(腹材) 外観観察・内面観察

鋼管の外観を目視により観察した。その結果、曲がり、へこみ、および傷はなかった。内面については、一部に白錆の発生、赤錆も見られたが、著しい腐食状況ではなかった。また、U字プレートには、発錆、および腐食は見られなかった。なお、鋼管外観観察・内面観察状況を第3-5-2図に示す。



No. 1 1 AB面・AD面腹材の外観状況



No. 1 1 AB面腹材の内面状況



No. 1 2 AB面・AD面腹材の外観状況



No. 1 2 AB面腹材の内面状況



No. 1 5 AB面・AD面腹材の外観状況



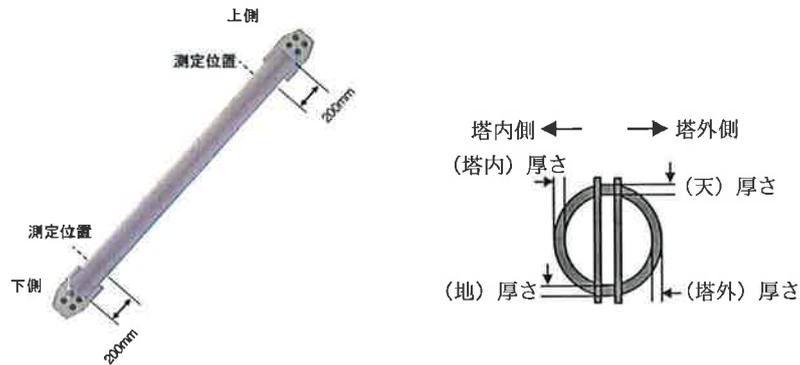
No. 1 5 AB面腹材の内面状況

各写真の湾曲は写真合成上生じたものであり、実際に湾曲はない

第3-5-2図 鋼管（腹材）外面観察・内面観察状況

(b) 鋼管（腹材）寸法測定

鋼管の部材厚さは、超音波厚さ計で計測した外寸厚さから、電磁膜厚計で計測しためっき厚および塗膜厚を差し引いて求めた。その結果、部材厚さは最小値2.9mm、最大値3.1mm、平均値3.0mmであり、規格値2.9±0.6mmを満足していた。なお、鋼管寸法測定箇所を第3-5-3図に示す。

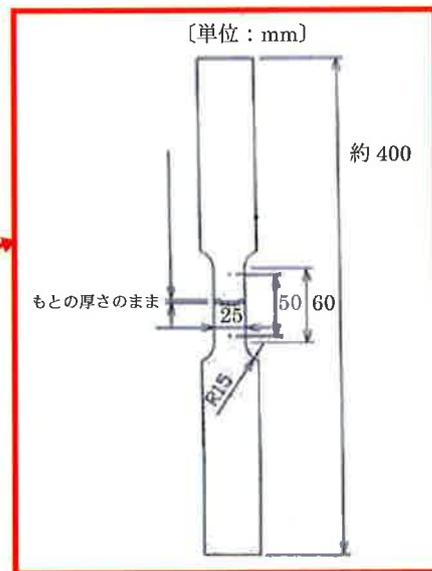
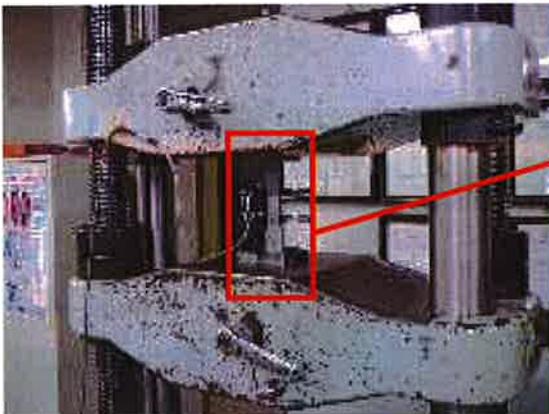


第3-5-3図 鋼管寸法測定箇所

(2) 鋼管（腹材）鋼材引張試験（試験片）

鋼管より切り出し、加工したJIS Z 2201 12B号試験片を軸方向に破断するまで荷重を加え、降伏時および破断するまでの荷重を測定した。

その結果、降伏点応力は最小値390N/mm²、最大値453N/mm²、平均値431N/mm²であり、規格値24kgf/mm²(235N/mm²)以上を満足していた。また、引張強さは最小値462N/mm²、最大値513N/mm²、平均値497N/mm²であり、規格値41kgf/mm²(400N/mm²)以上を満足していた。なお、鋼管鋼材引張試験（試験片）状況を第3-5-4図に示す。



鋼管鋼材引張試験状況写真

JIS Z 2201 12B号 試験片

第3-5-4図 鋼管鋼材引張試験（試験片）状況

(3) 鋼管（腹材）座屈強度試験

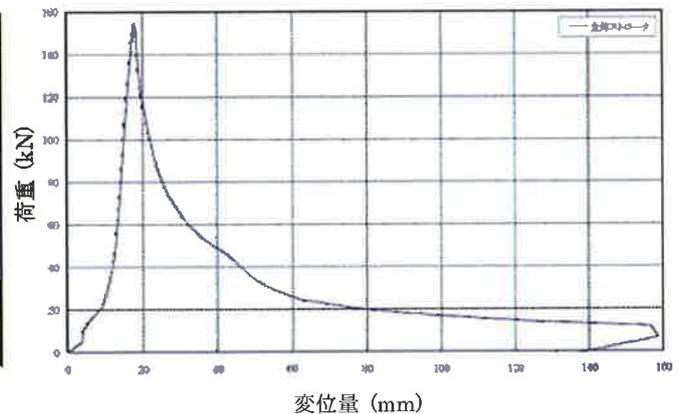
部材が鉄塔に取り付けられた状態（U字プレートを通じてフランジに接続された状態）を模擬するために、治具を介した鋼管の座屈試験を行った。その結果、圧縮座屈耐力は最小値151.5 kN、最大値154.8 kN、平均値153.6 kNであり、規格値89.6 kN以上を満足していた。なお、鋼管座屈強度試験の状況を3-5-5図に示す。



試験状況



試験体と治具の上側固定状況



座屈状況と荷重—変位図（美浜線 No. 15 鉄塔の例）

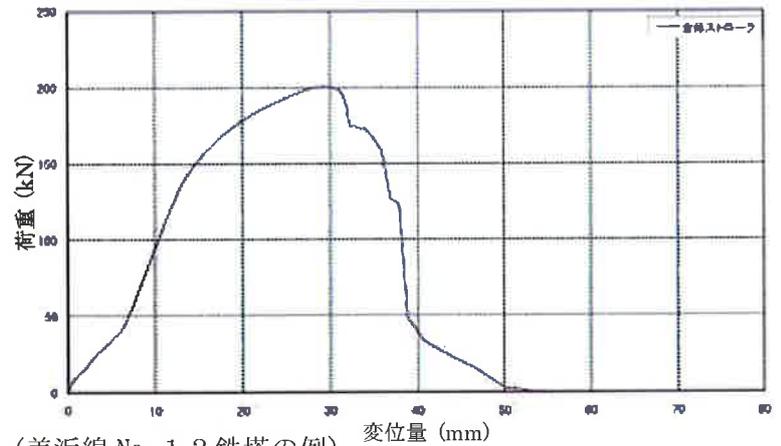
第3-5-5図 鋼管座屈強度試験状況

(4) 鋼管（腹材）引張強度試験

部材が鉄塔に取り付けられた状態（U字プレートを通じてフランジに接続された状態）を模擬するために、治具を介した鋼管の引張試験を行った。その結果、引張破断耐力は最小値186.7 kN、最大値202.3 kN、平均値196.6 kNであり、規格値102.3 kN以上を満足していた。なお、鋼管引張強度試験状況を第3-5-6図に示す。



試験状況



破断状況と荷重—変位図 (美浜線 No. 1 2 鉄塔の例)

第 3 - 5 - 6 図 鋼管引張強度試験状況

(5) 鋼管 (腹材) 鋼材成分調査

鋼管について鋼材の成分量を分析した結果、炭素 (C) 含有量は最小値 0. 1 7 %、最大値 0. 1 9 %、平均値 0. 1 8 % であり、規格値 0. 2 5 % 以下を満足していた。リン (P) 含有量は最小値 0. 0 1 5 %、最大値 0. 0 2 2 %、

平均値 0.019% であり、規格値 0.040% 以下を満足していた。硫黄 (S) 含有量は最小値 0.015%、最大値 0.024%、平均値 0.020% であり、規格値 0.040% 以下を満足していた。

(6) U字プレート鋼材引張試験 (試験片)

鋼管に取り付けられていたU字プレート部材からは、J I S Z 2 2 0 1 で規定されている大きさの定形試験片が採取できないため、J I S 試験片と同一形状で、平行部径を4mmとした縮小サイズの試験片を作成し、軸方向に破断するまで荷重を加え、降伏時および破断するまでの荷重を測定した。その結果、降伏点応力は最小値 288 N/mm²、最大値 382 N/mm²、平均値 332 N/mm² であり、規格値 25 kgf/mm² (245 N/mm²) 以上を満足していた。なお、使用した縮小サイズの試験片であるが「J I S Z 2 2 0 1 4号試験片 備考2.」に基づき大きさを決定した。

一方、引張強さは、最小値 333 N/mm²、最大値 562 N/mm²、平均値 430 N/mm² であり、規格値 41~52 kgf/mm² (400~510 N/mm²) を満足しなかったが、鉄塔設計では部材耐力として、降伏点から求める許容耐力値を用いる (引張強さは用いない。) ため、必要な鉄塔強度は確保されていた。

(7) U字プレート鋼材成分調査

U字プレートの成分量を分析した結果、リン (P) 含有量は最小値 0.004%、最大値 0.024%、平均値 0.017% であり、規格値 0.050% 以下を満足していた。硫黄 (S) 含有量は最小値 0.007%、最大値 0.032%、平均値 0.019% であり、規格値 0.050% 以下を満足していた。

(8) ボルト外観観察・ボルト寸法測定

(a) ボルト外観観察

ボルトを目視により観察した結果、少量の白錆があり灰白色であったが、軸部の亜鉛めっきは金属光沢を有しており、傷、曲りはなかった。

(b) ボルト寸法測定

ボルトについては、めっき皮膜を除去した上で形状、寸法を測定した。その結果、軸径は3本とも 15.95mm であり、規格値 15.1~16.2 mm を満足していた。首下長さは最小値 49.60mm、最大値 49.65mm、平均値 49.62mm であり、規格値 49~51mm を満足していた。高さは最小値 10.00mm、最大値 10.05mm、平均値 10.02mm であり、規格値 9.2~10.8mm を満足していた。

(9) ボルト引張試験

ボルトを軸方向に破断するまで荷重を加え、引張強さを測定した。その結果、引張強さは最小値 589 N/mm²、最大値 602 N/mm²、平均値 596 N/mm²であり、規格値 520 N/mm²以上を満足していた。

(10) ボルトせん断試験

ボルト軸に対して、直角方向に破断するまで荷重を加え、せん断強さを測定した。その結果、ボルトのせん断強さは最小値 385 N/mm²、最大値 398 N/mm²、平均値 393 N/mm²であり、規格値 300 N/mm²以上を満足していた。

(11) ボルト成分調査

ボルト成分量を分析した結果、炭素 (C) 含有量は 0.14% であり、規格値 0.55% 以下を満足していた。リン (P) 含有量は 0.011% であり、規格値 0.050% 以下を満足していた。硫黄 (S) 含有量は 0.011% であり、規格値 0.060% 以下を満足していた。ホウ素 (B) 含有量は 0.001% であり、規格値 0.003% 以下を満足していた。

(12) 鋼管 (支柱材) 鋼材破面観察 (既 No. 21 鉄塔の第6パネル支柱材)

本来、破面は、走査型電子顕微鏡で確認するところではあるものの、肉眼で観察した結果は、以下のとおりである。

支柱材の各地側破面 (残存側) をマクロ観察した結果、全脚においてディンプル破面形態であり、延性破面であった。また、疲労破断の様子も見られなかった。一方、約1ヶ月程度屋外に曝露されていたにもかかわらず、破面にさびは少なかった。なお、B脚など、部分的にうす茶色にさびている箇所があるものの、長年にわたってさびが形成された形態がないことから、さびは事故後に発生したと考えられる。

(13) コンクリート圧縮強度試験

既 No. 21 鉄塔の第4パネルおよび第8パネルの支柱材のコンクリートを加圧し、圧縮強度を測定した。その結果、圧縮強度は最小値 42.7 N/mm²、最大値 70.6 N/mm²、平均値 58.6 N/mm² であり、社内規格値 39.3 N/mm² 以上を満足していた。

(14) コンクリート充てん確認

既 No. 21 鉄塔の第4パネルおよび第8パネルの支柱材のコンクリート充てん状況を確認した。その結果、コンクリートは空隙なく充てんされていた。

第3-5-2表 試験結果総括表

No.	鉄塔構成材	試験区分		試験片区分	試験片(試験対象部材)	試験数	試験内訳	規格値引用元	規格値	試験結果(平均値)	試験結果総括
		外観・寸法	強度								
1	鋼管(覆材)	外観・寸法	鋼管外観観察 鋼管内面観察 鋼管寸法測定	実体	既No.21同型鉄塔 (No.11,12,15) 5番ハネル覆材 サイズ: φ76.3×2.9 長さ: 292 cm	3本	1本/基×3基=3本	JIS G 3444 一般構造用炭素鋼管	鋼管厚さ 2.9±0.6 mm	鋼管厚さ 2.9~3.1mm (3.02mm)	3本とも規格値を満足していた。
強度		鋼管引張試験 (試験片)	試験片	3試験片/1本×1基×3基=9試験片		JIS G 3444 一般構造用炭素鋼管	降伏応力: 24kgf/mm ² (235N/mm ²)以上 引張強さ: 41kgf/mm ² (400N/mm ²)以上	降伏応力: 390~453N/mm ² (431N/mm ²) 引張強さ: 462~513N/mm ² (497N/mm ²)	9試験片とも規格値を満足していた。		
強度		鋼管圧縮強度試験	実体	1本/基×3基=3本		計算式:電柱設計 第59条 材料:JIS G 3444 一般構造用炭素鋼管	部材耐力 89.6kN	圧縮座屈耐力 151.5~154.6kN (153.6kN)	3本とも規格値を満足していた。		
強度		鋼管引張強度試験	実体	1本/基×3基=3本		JIS G 3444 一般構造用炭素鋼管	部材耐力 102.3kN	降伏引張耐力 186.7~202.3kN (196.6kN)	3本とも規格値を満足していた。		
5	U字プレート	成分	鋼管鋼材成分調査	試験片	既No.21同型鉄塔 (No.11,12,15) 5番ハネル覆材 U字プレート	3試験片	1試験片/1本×1基×3基=3試験片	JIS G 3444 一般構造用炭素鋼管	C : 0.25 %以下 P : 0.04%以下 S : 0.04%以下	G : 0.17~0.19% (0.18%) P : 0.015~0.022% (0.019%) S : 0.015~0.024% (0.020%)	3試験片とも規格値を満足していた。
強度		U字プレート 鋼材引張試験 (試験片)	試験片	3試験片/1本×1基×3基=9試験片		JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材	降伏耐力: 25kgf/mm ² (245N/mm ²)以上 引張強さ: 41~52kgf/mm ² (400~510N/mm ²)	降伏応力: 288~382N/mm ² (332N/mm ²) 引張強さ: 333~562N/mm ² (430N/mm ²)	9試験片とも降伏耐力は規格値を満足していた。 引張強さは、規格値を満足しなかった。		
7	U字プレート	成分	U字プレート 鋼材成分調査	試験片	既No.21同型鉄塔 (No.38) 5番ハネル覆材 U字プレート	3試験片	1試験片/1本×1基×3基=3試験片	JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材	P : 0.050%以下 S : 0.050%以下	P : 0.004~0.024% (0.017%) S : 0.007~0.032% (0.019%)	3試験片とも規格値を満足していた。
強度		ボルト外観観察 寸法測定	実体	3本/基		日本鉄塔協会 鉄塔用ボルトナット規格	軸径 15.1~16.2 mm 首下長さ 49~51mm 高さ 9.2~10.8 mm	軸径 15.95~15.95mm(15.95mm) 首下長さ 49.60~49.65mm(49.62mm) 高さ 10.00~10.05mm(10.02mm)	3本とも規格値を満足していた。		
9	ボルト	強度	ボルト引張試験	実体	既No.21同型鉄塔 (No.38) 5番ハネル覆材と同じロットのボルトサイズ: M16	3本	3本/基	JIS B 1051 炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質 日本鉄塔協会 鉄塔用ボルトナット規格	引張強さ: 520N/mm ² 以上	引張強さ: 589~602N/mm ² (596N/mm ²)	3本とも規格値を満足していた。
強度		ボルトせん断試験	実体	3本/基		日本鉄塔協会 鉄塔用ボルトナット規格	せん断強さ: 300N/mm ² 以上	せん断強さ: 395~398N/mm ² (393N/mm ²)	3本とも規格値を満足していた。		
11	鋼管(主柱材)	成分	ボルト成分調査	試験片	既No.21同型鉄塔 (No.38) 5番ハネル覆材と同じロットのボルトサイズ: M16	1本	1本/基	JIS B 1051 炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質 日本鉄塔協会 鉄塔用ボルトナット規格	C : 0.85 %以下 P : 0.060 %以下 S : 0.060 %以下 B : 0.003%以下	C : 0.14 % P : 0.011% S : 0.011% B : 0.000%	規格値を満足していた。
強度		鋼管断面観察	実体	3試験片/本×4本/基×1基=12試験片		既No.21の第6ハネル主柱材の断面を現場で確認した結果、異常は認められなかった。					
13	コンクリート	強度	コンクリート圧縮強度試験	試験片	既No.21 4番-8番ハネル主柱材	4本	4本/基×1基=4本			42.7~70.6N/mm ² (58.6N/mm ²)	12試験片とも社内規格値(39.3N/mm ²)を満足していた。
外観		コンクリート劣らん確認	実体	4本					コンクリートは空疎なく劣らんしていた		

3. 6 鉄塔設計

3. 6. 1 鉄塔設計条件

既 No. 2 1 鉄塔の建設時（昭和 4 4 年）、および、平成 1 8 年豪雪後の補強時（電線着雪量を 2 kg/m から 3 kg/m に見直し）の鉄塔設計条件は第 3 - 6 - 1 表のとおりであった。

第 3 - 6 - 1 表 既 No. 2 1 鉄塔の鉄塔設計条件

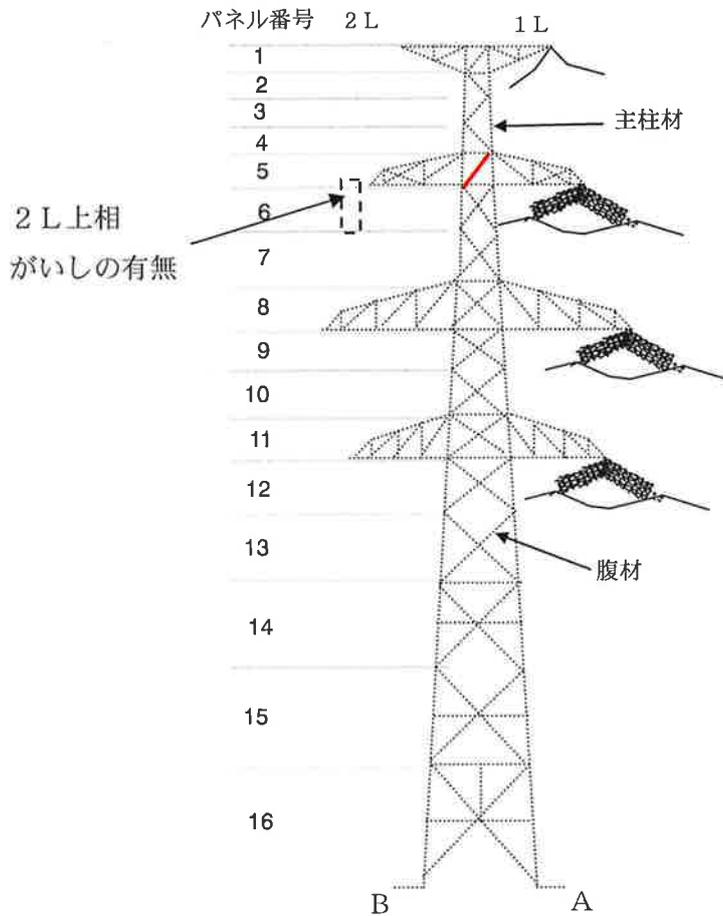
		鉄塔建設時	平成 1 8 年豪雪後の補強時	
鉄塔高さ		53.5m	53.5m	
荷重径間長		300m	420m	
水平角度		8 度	0 度	
垂直角度 ($\sum \tan \delta$)		+0.2	+0.584	
地線	条数	2	2	
	種類	IACSR/AW 120 mm ²	IACSR/AW 120 mm ²	U-OP-KTACSR/AC
	導体数	1	1	1
	外径	17.5 mm	17.5 mm	18.5 mm
	質量	0.846 kg/m・条	0.846 kg/m・条	0.821 kg/m・条
	最大使用張力	32,361 N/条	32,361 N/条	32,361 N/条
	被氷厚さ (比重)	6 mm (0.9)	6 mm (0.9)	
	着雪量	2 kg/m	3 kg/m	
電力線	回線数	2	2	
	種類	ACSR/AW 410 mm ²	ACSR/AW 410 mm ²	
	導体数	4	4	
	外径	28.5 mm	28.5 mm	
	質量	1.591 kg/m・条	1.591 kg/m・条	
	最大使用張力	44,130 N/条	44,130 N/条	
	被氷厚さ (比重)	6 mm (0.9)	6 mm (0.9)	
	着雪量	2 kg/m	3 kg/m	

3. 6. 2 通常の架線状態における強度計算結果

平成 1 8 年豪雪後に補強した既 No. 2 1 鉄塔について、通常の架線状態において、電気設備の技術基準の解釈に規定されている甲種荷重条件、および乙種荷重条件（6 mm スリート）に、電線着雪量 3 kg/m を付加した条件で、それぞれに対し強度計算した結果、いずれの条件においても、全ての部材が規格値の許容耐力に対して所要の安全率を有していることを確認した。応力表を添付資料 2 - 1 に示す。

3. 6. 3 工事中の荷重

既 No. 2 1 鉄塔の事故発生時の作業状況は第 3-6-1 図に示すとおり、2 L 側上相のがいし装置取り外し準備中であった。そこで、同がいし装置が取り付けいていた状態と、取り外された状態、それぞれの安全率を計算した。この結果、第 3-6-2 表に示すとおり、いずれの場合も第 5 パネル腹材および接合部（ボルト）が、強度不足になることが明らかとなった。なお、2 L 上相がいしが“無”の場合の応力表を添付資料 2-2 に示す。



第 3-6-1 図 事故発生時の作業状況

第 3-6-2 表 第 5 パネル腹材および接合部（ボルト）の片側架線時の安全率

2L上相がいし の有無	部材・接合部（ボルト）強度						
	部材サイズ	圧縮		引張		接合部（ボルト）	
		強度U2	U2/U1	強度U3	U3/U1	強度U4	U4/U1
無	φ76.3×2.9	89.6	0.53	156.5	0.93	102.3	0.61
有	φ76.3×2.9	89.6	0.68	156.5	1.20	102.3	0.78

※U1は発生応力、U2、U3、U4は部材、ボルトの降伏点耐力

3. 7 工事施工

3. 7. 1 工事施工計画

協力会社から提出された工事施工計画書に記載されている工事ステップ（電線を移線する手順）が、当社の指示（当社の工事仕様書）どおりであることを確認した。

3. 7. 2 事故当日の作業状況

事故当日は、2L側のがいし装置を下相、中相、上相の順に撤去する予定であった。事故当時（午前11時25分頃）の作業状況は、現地の状況から、下相・中相のがいし装置はすでに撤去完了しており、上相のがいし装置の撤去準備中であつた。なお、がいし装置の取外しの際の支持点は、下相、中相、上相のいずれの場合も、地線腕金に金車を取付け、ワイヤにてナイロンスリングを介してがいし連を吊下げ、取外すこととしていた。当日の作業手順を第3-7-1図に示す。

作業内容	下相がいし装置撤去	中相がいし装置撤去	上相がいし装置撤去 (準備中に事故発生)
作業時間	10時5分頃撤去完了	11時5分頃撤去完了	11時25分事故発生
概要図			

第3-7-1図 2Lがいし装置の撤去手順（9月15日）

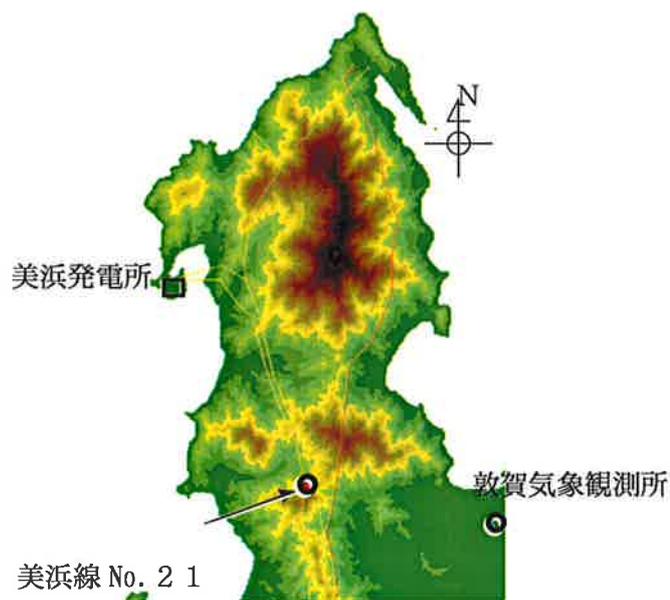
事故発生時は、塔上に4名の作業員がいたが、個々の作業員の位置は特定できなかった。

3. 8 その他要因

その他要因として、風、気温、地震、雪、海塩、振動、飛来物による鉄塔への影響を調査した。

3. 8. 1 風（風速・風向）

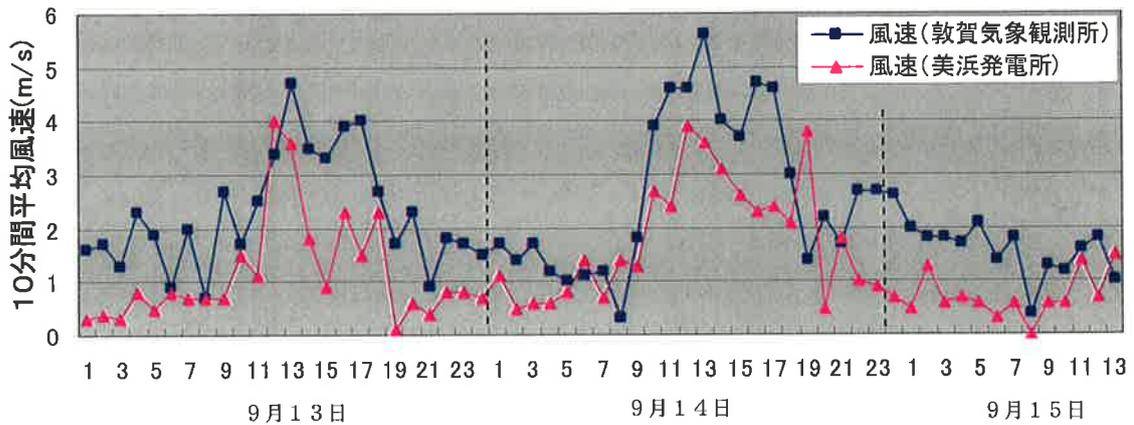
風の調査期間は、事故発生2日前から事故発生時（電線の移線に着手した9月13日の0時から9月15日午前11時25分）までとし、敦賀気象観測所と美浜発電所の気象データを収集した。なお、既 No. 2 1 鉄塔と各気象観測所との位置関係を第3-8-1図に示す。



第3-8-1図 既 No. 2 1 鉄塔と気象観測所の位置

(1) 風速

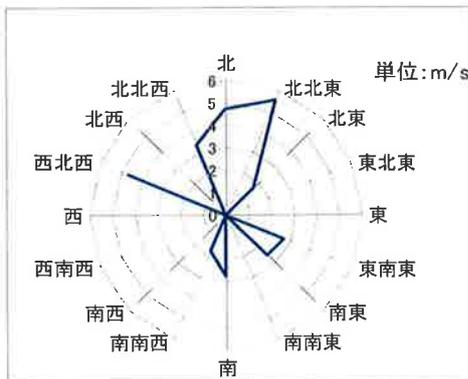
敦賀気象観測所の10分間平均風速は0.3 m/s～5.6 m/sであった。また、美浜発電所の10分間平均風速は0 m/s～4.0 m/sであった。各観測地点において観測された風速を第3-8-2図に示す。



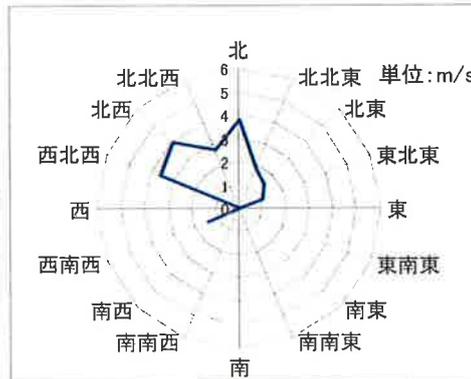
第3-8-2図 各観測地点における風速（10分間平均風速）

(2) 風向

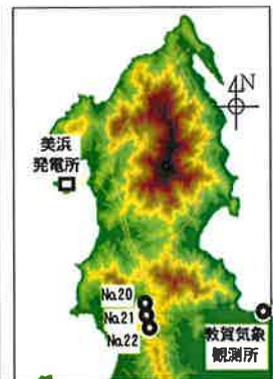
敦賀気象観測所の主風向は北北西から北北東、美浜発電所の主風向は西北西から北であった。敦賀気象観測所および美浜発電所で観測された風向と風速を第3-8-3図、第3-8-4図に示す。



第3-8-3図 風向-風速
(敦賀気象観測所)



第3-8-4図 風向-風速
(美浜発電所)



(3) 風速、風向の変化に伴う電線張力の変動による影響

風による既 No. 21 鉄塔の第5パネル腹材に対する影響を評価するために用いる風速値は、敦賀気象観測所の最大値 5.6 m/s を切り上げた 6 m/s を採用した。

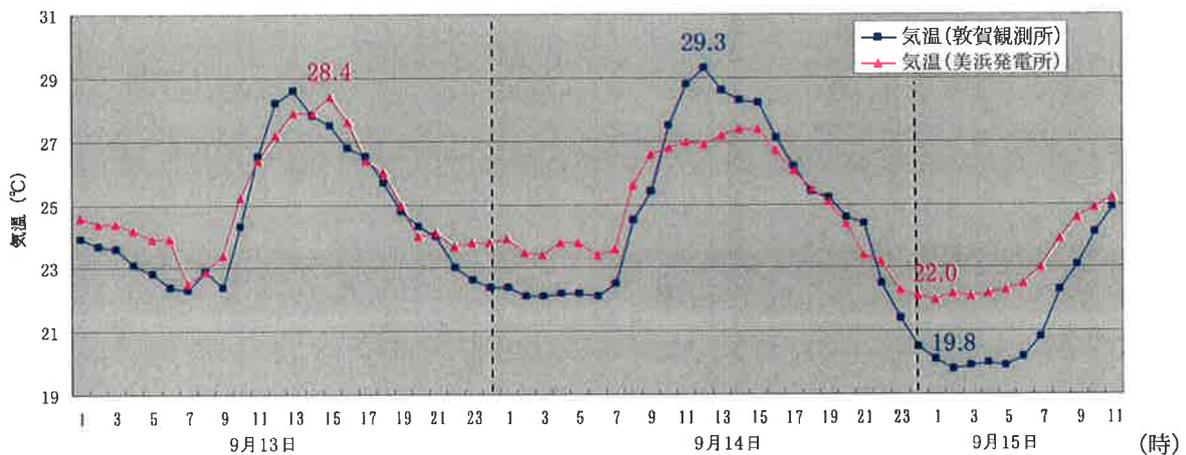
この結果、美浜線 No. 20 から No. 22 鉄塔間に、北西から 6 m/s の風が吹いたときに、最も応力が増加したものの、その時の第5パネル腹材応力の増分は 1 kN 未満であり、第5パネル腹材の降伏点耐力 89.6 kN に比べ軽微であった。

以上のことから、今回事故への風の影響は、ほとんどなかったといえる。

3. 8. 2 気温

気温の調査期間は、風と同様、事故発生2日前から事故発生時までとし、敦賀気象観測所と美浜発電所の気象データを収集した。

敦賀気象観測所の気温は19.8℃～29.3℃、美浜発電所の気温は22.0℃～28.4℃であった。敦賀気象観測所および美浜発電所で観測された気温を第3-8-5図に示す。



第3-8-5図 観測地点における気温

(1) 気温の変化に伴う電線張力の変動による影響

既 No. 21 鉄塔は比較的内陸部に位置していることから、同様に内陸部にあり気温変化の大きい敦賀気象観測所の気温を用い、電線張力が変化することによる、第5パネル腹材への影響を調査した。

検討期間中の敦賀気象観測所の気温差は9.5℃(19.8℃～29.3℃)であった。これによる第5パネル腹材の応力増分は、3.0kNであり、降伏点耐力89.6kNに比べ軽微であった。よって、気温変動による影響はほとんど無かったといえる。

3. 8. 3 地震

福井県において、有感地震は観測されていない。

3. 8. 4 雪

福井県において雪は観測されていない。

3. 8. 5 海塩

鋼管の部材外面、内面および破面調査の結果、著しい腐食は見つからなかった。

3. 8. 6 振動

今回損傷した第5、6パネルの部材は、カルマン振動の発生条件に比し十分短いため、微風振動等はほとんど発生していなかったと考えられる。

3. 8. 7 飛来物

飛来物に関する目撃情報はない。

3. 9 まとめ

事故の直接原因の調査・検討を進めた結果、以下のことがいえる。

記録の確認、調査： 巡視状況ならびに点検状況を調査した結果、保安規程の頻度に基づき適切に実施しており、著しい設備の異常はなく、発見された設備の異常については、適切に処理していた。

部 材 補 修： 平成18年豪雪後の雪害補強状態での強度計算結果および、施工状況を調査した結果、設計については所要の安全率を有していた。また施工についてもその検査結果は良好であり、適切に実施していた。

材 料 性 能： 鋼管（腹材）・U字プレート・ボルトの強度、成分を調査した結果、性能の低下および成分の変化はなかった。

第6パネル支柱材の各破面をマクロ観察した結果、第6パネル支柱材に欠陥は見られなかった。また、破面観察ができなかった第5パネル支柱材については、MT点検を含めた点検において、問題ないことを確認していた。

鉄 塔 設 計： 通常（両側架線）の架線状態における強度計算の結果、全ての部材が所要の安全率を有していた。一方、工事中（片側架線）に対する強度計算の結果、2L側の地線、電線、がいし装置を外した片側架線状態では、第5パネル腹材および接合部（ボルト）にて所要の安全率が確保できないことが判明した。

工 事 施 工： 事故発生に至るまでの施工ステップは、当社が指示したとおりであることを確認した。ただし、事故当日の2L上相のがいし吊り上げ状態、塔上作業員の位置関係については、確認できなかった。

そ の 他： 事故の原因となるものはなく、問題ない。