

4. 損壊メカニズムの推定

4. 1 立体解析

「3. 6. 3 工事中の荷重」において、工事中の片側架線状態において第5パネル腹材および接合部（ボルト）の安全率が1.0を下回ることを確認した。ここでは、第5パネル腹材の損傷と鉄塔損壊の因果関係（損壊メカニズム）を推定すべく、立体解析を行った。なお、鉄塔の各部材に発生する応力は、平面解析により求めるのが一般的であるが、今回は不安定な構造を取扱う必要があることから、立体解析によりこれら応力を求めた。

<参考>平面解析と立体解析

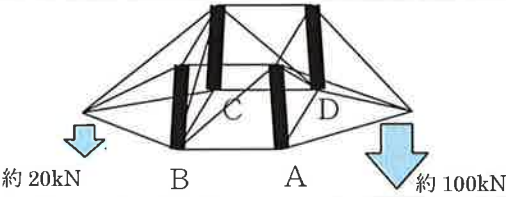
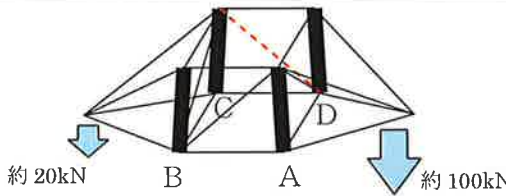
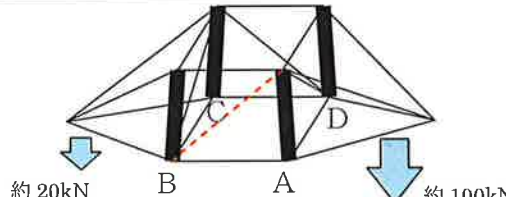
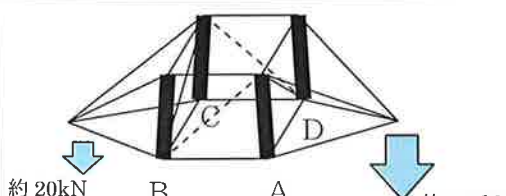
構造物の種類には、部材の接合点をピン（ヒンジ）接合とするトラス構造と、接合部（隅角部）を剛接合とするラーメン構造とがある。

一般に鉄塔の応力算定に用いられる平面解析は、鉄塔の水平方向の断面が変形しないものとして、正面、側面の各面ごとにトラス構造として平面的に解析するものである。一方、立体解析は鉄塔の水平方向の断面の変形（変位）も考慮して、平面ではなく立体的な骨組として解析を実施するものであり、これはラーメン構造に対しても適用できる。

4. 1. 1 解析ケース

“ケース1”として、第5パネルの全ての腹材が健全な場合に、各部に発生する応力を計算する。次に片側架線状態を想定した平面解析で、安全率が1.0を下回った第5パネルC-D面腹材“ケース2-1”、A-B面腹材“ケース2-2”の各々が損傷（欠損）した場合について計算する。さらに、A-B面腹材、C-D面腹材の両方が損傷した場合について計算する。

立体解析検討ケースを第4-1-1図に示す。

ケース	概要図 (第5パネル)	目的
ケース 1 (全ての腹材が健全な状態)		通常状態において、各部に発生する応力の解析を行う。
ケース 2-1 (C-D面腹材が座屈し、なくなった状態)		C-D面腹材が圧縮により破損し、C-D面のみがラーメン構造になった場合の解析を行う。
ケース 2-2 (A-B面腹材が破断し、なくなった状態)		A-B面腹材が引張により破損し、A-B面のみがラーメン構造になった場合の解析を行う
ケース 3 (A-B・C-D面腹材が座屈・破断し、なくなった状態)		C-D面・A-B面腹材がともに破損し、ラーメン構造になった場合の解析を行う。

第4-1-1図 立体解析検討ケース

4. 1. 2 解析条件

立体解析を行うためのモデル化に当たっては、主柱材をビーム要素、その他の腹材をトラス要素とし、主柱材の要素端は剛接合、その他はすべてピン接合とした。立体解析モデルを第4-1-2図に示し、入力荷重条件を第4-1-1表に示す。



第4-1-2図 立体解析モデル

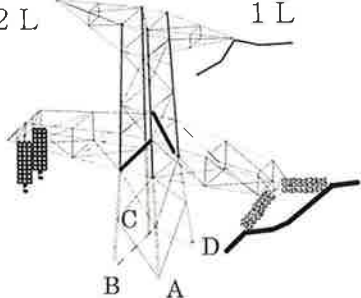
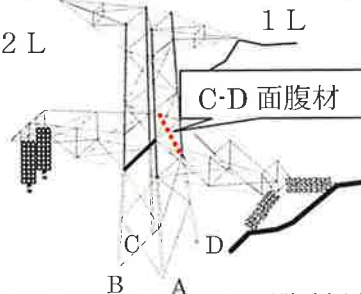
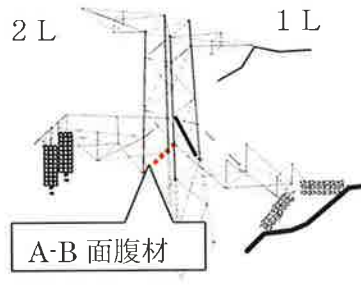
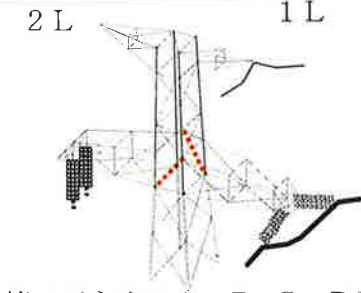
第4-1-1表 入力荷重条件

径間長	(No. 2 0側) 516m (No. 2 2側) 323m	
水平角度	0度	
垂直角度 ($\Sigma \tan \delta$)	+0.584	
風速	無風	
地線	種類	U-OP-KTACSR/AC 120mm ² ×1条
	外径	18.5mm
	質量	0.821kg/m・条
	張力	(No. 2 0側) 13,484N (No. 2 1側) 12,415N
電力線	種類	ACSR/AW410mm ² ×4条
	外径	28.5mm
	質量	1.591kg/m・条
	がいし 質量	2,153kg/支持点
	張力	(No. 2 0側) 22,173N (No. 2 2側) 21,212N

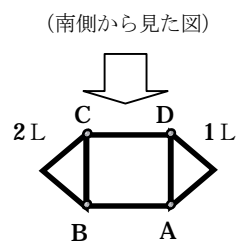
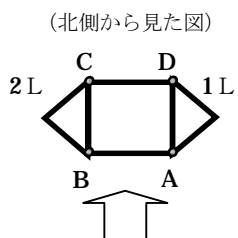
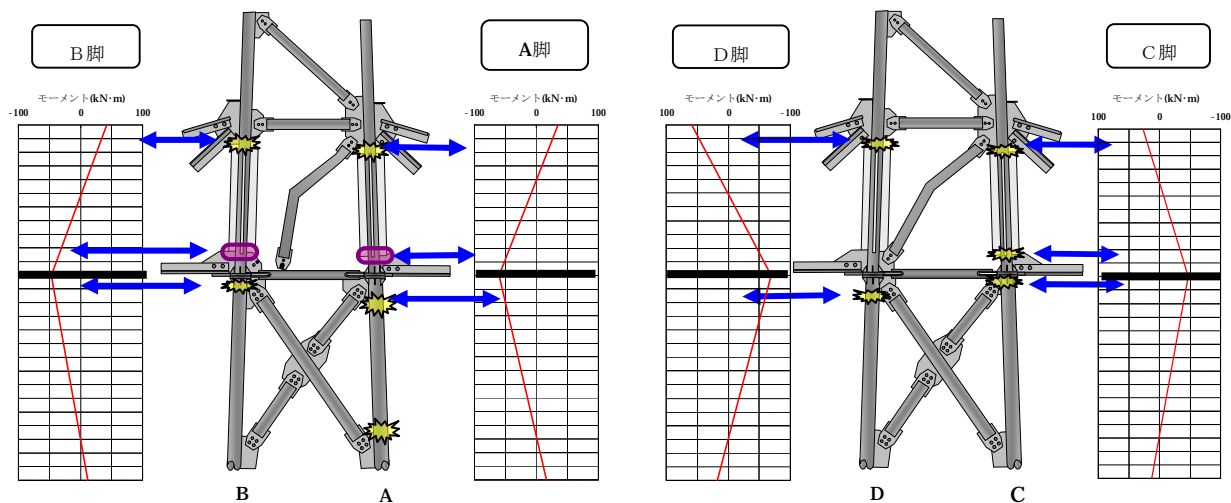
4. 1. 3 立体解析実施結果


立体解析による応力算出結果を第4-1-2表に示す。また、現地の損壊状況と立体解析結果（ケース3）の比較を第4-1-3図に示す。


第4-1-2表 立体解析による応力算出結果


ケース	概要図	耐力評価											
		パネルNo.	部位	脚/面	発生応力(kN)		部材サイズ	部材耐力(kN)			安全率		
圧縮	引張				圧縮	引張		接合部					
1	 <p>全ての腹材が健全な状態</p>	5	主柱材	A	186.74	0.00	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	3.03		
				B	20.16	0.00	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	28.09		
				C	0.00	82.12	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	6.91		
				D	80.67	0.00	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	8.02		
			腹材	A-B		126.68	φ76.3×2.9	89.6	156.5	102.3	0.81		
				C-D	133.13		φ76.3×2.9	89.6	156.5	102.3	0.67		
		6	主柱材	A	172.78	0.00	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	2.23		
				B	0.00	62.55	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	4.18		
				C	0.00	68.56	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	3.81		
				D	165.15	0.00	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	2.33		
			腹材	A-B	24.91	9.53	φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	6.30		
				C-D	10.01	1.70	φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	15.67		
2-1	 <p>第5パネルのC-D面腹材が座屈し、なくなった状態</p>	5	主柱材	A	239.33	0.00	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	2.37		
				B	40.67	0.00	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	13.93		
				C	0.00	27.39	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	20.71		
				D	103.46	0.00	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	6.25		
			腹材	A-B		254.45	φ76.3×2.9	89.6	156.5	102.3	0.40		
				C-D									
		6	主柱材	A	212.60	0.00	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	1.81		
				B	0.00	100.45	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	2.60		
				C	0.00	30.51	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	8.56		
				D	123.78	0.00	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	3.11		
			腹材	A-B	33.45	17.31	φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	4.69		
				C-D	3.71	0.00	φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	42.29		
2-2	 <p>第5パネルのA-B面腹材が破断し、なくなった状態</p>	5	主柱材	A	134.52	0.00	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	4.21		
				B	0.00	1.03	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	471.20		
				C	0.00	132.25	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	4.29		
				D	60.89	0.00	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	10.62		
			腹材	A-B									
				C-D	254.85		φ76.3×2.9	89.6	156.5	102.3	0.35		
		6	主柱材	A	133.90	0.00	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	2.88		
				B	0.00	25.70	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	10.17		
				C	0.00	104.35	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	2.50		
				D	203.63	0.00	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	1.89		
			腹材	A-B	15.28	0.47	φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	10.27		
				C-D	14.61	12.61	φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	10.74		
3	 <p>第5パネルのA-B・C-D面腹材が破断、座屈し、なくなった状態</p>	5	主柱材	A	132.29	0.00	60.8	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	5.9	0.10
				B	0.00	22.22	46.5	φ89.1×3.2	566.4	483.0	—	5.9	0.13
				C	0.00	29.42	47.5	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	5.9	0.12
				D	130.99	0.00	68.9	φ89.1×3.2	646.6	567.2	—	5.9	0.09
			腹材	A-B									
				C-D									
		6	主柱材	A	149.01	0.00	60.8	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	9.8	0.16
				B	0.00	43.81	46.5	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	9.8	0.21
				C	0.00	56.60	47.5	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	9.8	0.21
				D	140.45	0.00	68.9	φ114.3×3.2	385.1	261.3	—	9.8	0.14
			腹材	A-B	32.87	13.82		φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	4.77	
				C-D	47.45	26.27		φ89.1×2.9	156.9	183.8	204.8	3.31	

※接合部とはボルトならびに接合部のことをさす



 : 折損位置

 : 切れているが一部でつながっている箇所

 : 立体解析結果 (ケース3のモーメントのピーク)
と現地 (破断箇所) とがよく一致する箇所

第4-1-3図 損壊状況と立体解析結果 (ケース3)

4. 2 損壊ステップの推定

4. 2. 1 最初に損壊した部位の推定

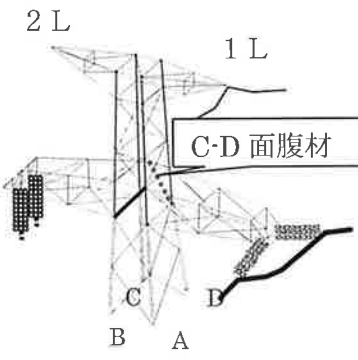

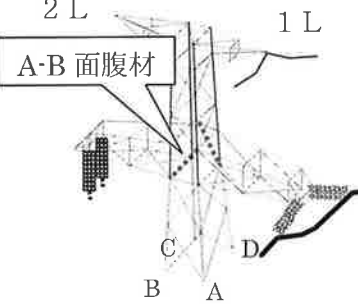
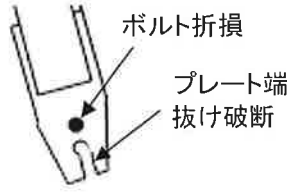
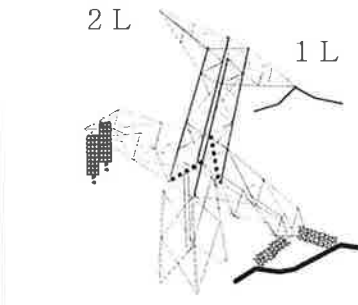
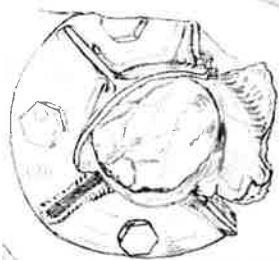
立体解析におけるケース1において、C-D面腹材（圧縮）の安全率がA-B面腹材（引張）の安全率に比べ低いことから、以下のとおり損壊が進んだものと推測される。

○ステップ1：第5パネルC-D面腹材が座屈（ケース1）

○ステップ2：第5パネルA-B面腹材の接合部が引張で破断（ケース2-1）

○ステップ3：第5パネル、第6パネル支柱材がモーメントにより損傷（ケース3）

支柱材損傷までのステップを第4-2-1図に示す。

No.	概要図	現地状況	解析結果
1	 <p>第5パネルのC-D面腹材が座屈</p>	<p>第5パネルのC-D面腹材が座屈した形跡がある。</p>  <p>C-D面腹材座屈状況(圧縮)</p>	<p>①平面解析・立体解析結果のいずれでも、C-D面腹材は最も安全率が低い箇所である。</p> <p>②最大耐力での評価では、C-D面腹材の圧縮耐力は、A-B面腹材の引張耐力より低く、まず初めにC-D面腹材が圧縮で座屈した可能性が高い。</p>
2	 <p>第5パネルC-D面腹材応力がA-B面へ移行し、第5パネルA-B面腹材がボルト接合部で破断</p>	<p>①第5パネルのA-B面腹材のボルト折損・プレート端抜け破断(引張荷重によるもの)が起きている。</p>  <p>A-B面腹材破断状況(引張)</p>	<p>①C-D面腹材が破損した場合、A-B面腹材の引張応力は約2倍になり、安全率は非常に低くなる。</p>
3	 <p>第5・6パネル支柱材が損傷し、第6パネル支柱材が折損、上部が落下(第6パネルの損傷順序は、B、C、AもしくはD脚の順序)</p>	<p>①事故後の第5パネル・第6パネルの支柱材は端部で損傷を受けていた。</p>  <p>第6パネル B脚破断箇所</p> <p>②破断面に鍍層の厚い部分などは見られず、材料面での欠陥とは考えにくい。</p>	<p>①第5パネルA-B、C-D面の腹材が損傷すれば、第5パネルがラーメン構造となり、第5、6パネル支柱材を折損させるのに十分なモーメントが発生する。</p> <p>②モーメントによる影響が大きな部分で折損が発生しており、計算とほぼ合致する。</p>

第4-2-1図 損壊ステップの推定(支柱材損傷まで)

4. 2. 2 支柱材の破断順序

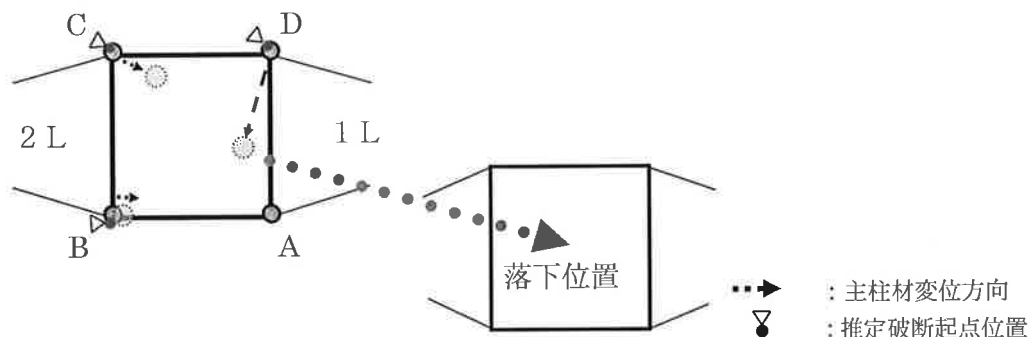
第5パネルのC-D、A-B面腹材が両方共損傷した場合、第5、第6パネルの支柱材の安全率は0.09～0.21と極めて小さくなる(立体解析、第4-1-2表参照)。したがって、安全率の大小からは、支柱材の破断順序(パネル別、脚別)を判断できないため、現地に残存している部材状況から推測した。

(1) パネル別の順序

第5パネル残材は、変形が比較的少なく、腕金や支柱材が散乱せず、ほぼ同じ場所に落下していた。仮に、第5パネル支柱材が先に破断した場合は、上相腕金にかなり大きな変形が起こっていたと考えられる。よって第5パネル支柱材は落下時に破断したものと推測する。

(2) 第6パネルにおける脚別の破断順序

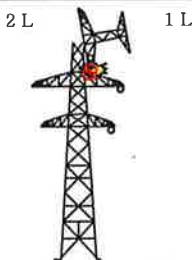










- ・ 破断が遅いほど、変形を受けやすいと考え、第6パネルB脚支柱材が最も変形が少なく、ほぼ真っ直ぐに残っていることから、先ず破断したと考えられる。
- ・ B脚の次に変形が少ないC脚が2番目に破断したと推測される。
- ・ 次に、A脚下部、D脚上部において支柱材が破断し、鉄塔上部が落下したと推定される。
- ・ A脚の一部は地上に突き刺さっていた状態であることから、上部での破断は落下時の衝撃による可能性も考えられる。
- ・ 第6パネルの支柱材変位方向を第4-2-2図に示す。



第4-2-2図 第6パネル支柱材変位方向(上空から見た図)

(3) 第6パネルの支柱材破断以降の損壊ステップ

- ・ 第6パネルの支柱材破断以降の損壊ステップを第4-2-3図の通り推定した。

No.	概要図	現地状況
4	 <p data-bbox="303 638 742 728">落下した上部の1L上相腕金先端が、1L中相腕金吊材に接触、1L中相腕金吊材が破断し、1L中相腕金が折損</p>	<p data-bbox="774 380 1332 436">1L上相腕金先端が損傷 1L中相腕金吊材が損傷、破断して腕金が折損</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="790 470 1077 683"> <p data-bbox="861 470 1005 492">上相腕金先端状況</p>  </div> <div data-bbox="1109 470 1332 716"> <p data-bbox="1173 470 1284 492">塔体損傷状況</p>  </div> </div>
5	 <p data-bbox="303 996 742 1086">落下した上部と折損した1L中相腕金が1L下相腕金に接触し、1L下相腕金が破断して、上部と共に落下</p>	<p data-bbox="774 739 1332 795">1L地線腕金が変形 1L下相腕金が破断</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="774 828 1061 1041"> <p data-bbox="774 828 1061 851">下相腕金吊材（塔体側）破断状況</p>  </div> <div data-bbox="1077 828 1342 1019"> <p data-bbox="1133 828 1292 851">地線腕金 変形状況</p>  </div> </div>
6	 <p data-bbox="303 1355 742 1411">落下した1L下相腕金が塔体に接触し、塔体が損傷</p>	<p data-bbox="774 1097 1125 1120">塔体側面 A・D 面側の腹材が損傷</p> <div style="text-align: center;"> <p data-bbox="941 1131 1157 1153">A・D面下部塔体損壊状況</p>  </div>
7	 <p data-bbox="303 1713 742 1792">落下した上部が地面に衝突、2L側上相腕金先端が損傷、また、第6パネルA脚支柱材が折損</p>	<p data-bbox="774 1422 1077 1478">2L側上相腕金先端が損傷 第6パネルA脚支柱材が折損</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="790 1534 1061 1736"> <p data-bbox="821 1534 1029 1556">2L上相腕金先端変形状況</p>  </div> <div data-bbox="1077 1534 1342 1657"> <p data-bbox="1141 1534 1268 1556">A脚支柱材折損</p>  </div> </div>

第4-2-3図 損壊ステップの推定（支柱材損傷以降）

4. 3 既 No. 2 1 鉄塔第 5 パネル腹材の耐力評価

4. 3. 1 第 5 パネル腹材の耐力範囲の推定

これまでの解析では、立体解析結果から求めた応力と規格上の降伏耐力を比較してきた。一方、「3. 5. 2 (2) 鋼管鋼材引張試験」に示したとおり、最初に損傷したと想定される第 5 パネル C-D 面腹材の材料試験では、実耐力値は規格値を上回っていた。

一般的に、実験室における材料試験結果が、理想的な状態の下で得られているのに対し、実際の構造物は、初期不整、不可避な偏心、非対称応力等の影響を受ける。そのため、現地における耐力は、実験室で得られる材料試験結果より低くなる。

ここでは、「3. 5. 2 (2) 鋼管鋼材引張試験」によって得られた結果を用い、第 5 パネル腹材の現地における耐力の範囲について推定した。

理想的な状態の下での耐力推定にあたっては、以下に示す日本建築学会「鋼構造設計規準」に掲載されている圧縮に対する耐力の評価式から安全率に関する項を除いた式を用いた。また、初期不整などを勘案した耐力推定にあたっては、以下に示す日本建築学会「鋼構造限界状態設計指針」に掲載されている曲げ圧縮に対する耐力の評価式を用いた。この結果、第 5 パネル腹材の耐力の範囲は、123.6～148.3kN と推定した。

圧縮に対する耐力の評価式①（「鋼構造設計規準」日本建築学会より※）

圧縮耐力(短柱域 $\lambda \leq \Lambda$)	圧縮耐力(長柱域 $\lambda > \Lambda$)	限界細長比 Λ
$N_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} N_y$	$N_c = 0.6 \frac{\Lambda^2}{\lambda^2} N_y$	$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 \sigma_y}}$

N_c : 圧縮耐力

λ : 細長比 (座屈長 / 部材断面の回転半径 = 95.5)

N_y : 降伏軸力 (σ_y [kN/cm²] × 断面積 6.687 [cm²])

E : 鋼の弾性係数 = 20500 [kN/cm²]

※ 安全率に関する項は除外している。

圧縮に対する耐力の評価式②：（「限界状態設計指針」日本建築学会より）

圧縮耐力 $\lambda_c \leq p \lambda_c$	圧縮耐力 $p \lambda_c < \lambda_c \leq e \lambda_c$	圧縮耐力 $e \lambda_c < \lambda_c$
$N_c = N_y$	$N_c = \left\{ 1.0 - 0.5 \frac{(\lambda_c - p \lambda_c)}{(e \lambda_c - p \lambda_c)} \right\} N_y$	$N_c = \frac{1}{1.2 \lambda_c^2} N_y$

Nc : 圧縮耐力

Ny : 降伏軸力 (σ_y [kN/cm²]×断面積 6.687 [cm²])

pλc : 塑性限界細長比=0.15

eλc : 弾性限界細長比=1/√0.6

λc : 曲げ座屈細長比

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{\sigma_y}{\pi^2 E}} \cdot \lambda$$

4. 3. 2 第5パネル腹材の推定耐力範囲と応力との比較

第4-3-1図に、平面解析により算出した、各作業ステップにおける第5パネルC-D面腹材の発生応力を示す。同図より、①2L側の電線を外した状態（がいし装置が腕金にある状態）における第5パネルC-D面腹材にかかる応力は134kNと推定され、前述の推定耐力範囲内である。このことは、2L側の電線を外した9月14日以降、既No.21鉄塔は、いつ損壊してもおかしくない状態であったことを意味している。その後、②9月15日11時05分から上相のがいし取外しに着手し（作業員+工具が塔上）、③今回の事故が発生しなければ、同日中にその取外しが完了する予定であった。

なお、2L側の電線を外してから2日後に既No.21鉄塔が損壊に至った理由としては、a) 第5パネルC-D面腹材は9月14日に電線を外したときに、既に局部的に座屈が始まっており、その後徐々に進行し、9月15日、11時25分に、一気に破壊に至ったという可能性がある。また、b) 9月15日に、作業に伴う何らかの荷重変動が生じたという可能性も考えられる。さらに、c) これら2つの事象に、気象に伴う電線張力の変動が重畳したという可能性も考えられる。

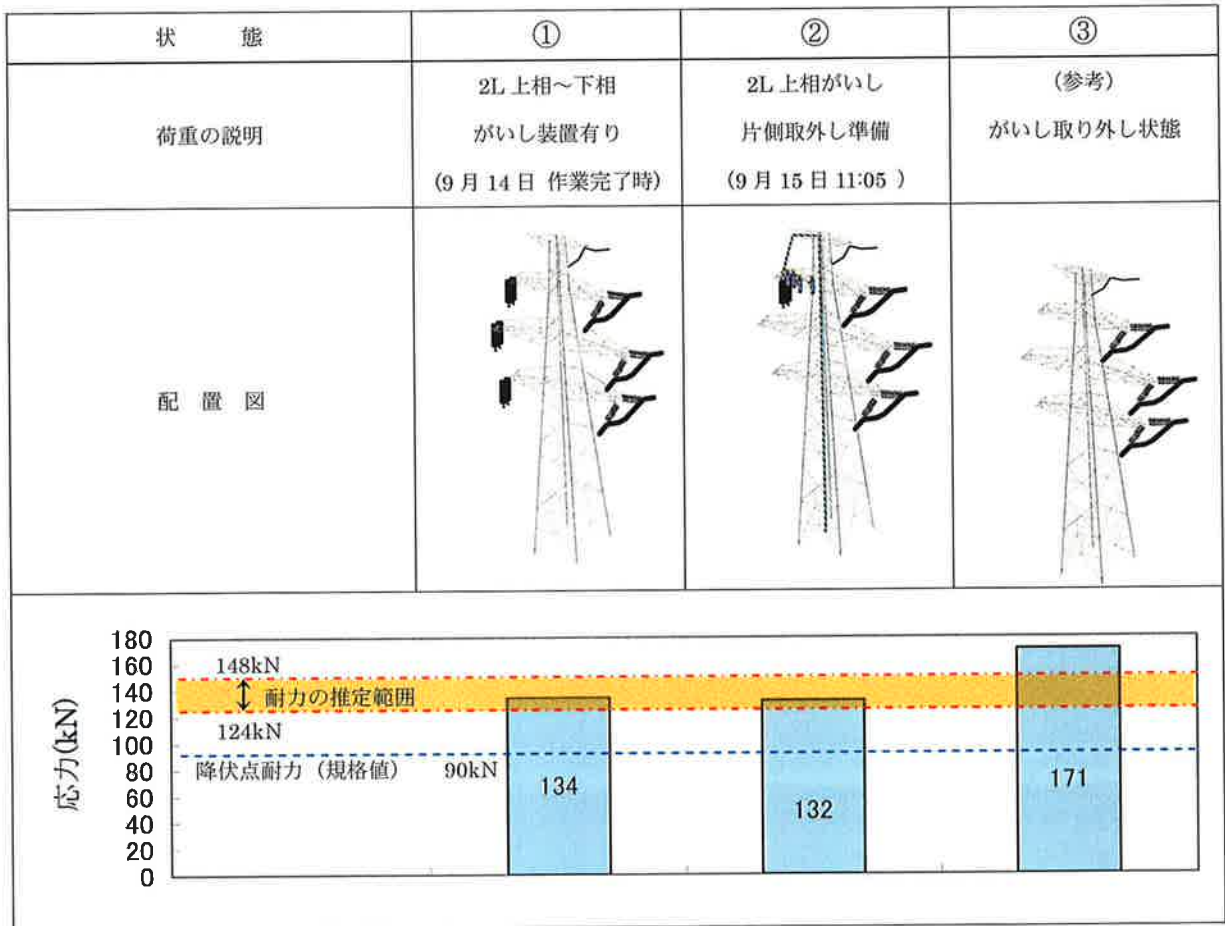


図4-3-1 図 平面解析による各作業ステップごとの第5パネル C-D 面腹材発生応力

4. 4 まとめ

立体解析による発生応力の計算結果、現地部材損傷状況の確認、実耐力の評価結果から、以下のステップにより損壊に至ったと推定した。

(9月14日)

①2L側の電線を外したことで、既 No.21 鉄塔の第5パネルC-D面腹材は、いつ座屈してもおかしくない状況となった。

(9月15日11時25分)

②第5パネルのC-D面腹材が座屈した。理由としては、

- a) 9月14日以降、徐々に進行していた座屈が、この時に一気に破壊まで至った。
- b) 9月15日の作業に伴う何らかの荷重変動が生じた。
- c) 上記2つの事象に、気象に伴う電線張力の変動が重畳した。

という可能性が考えられる。

③第5パネルC-D面腹材応力がA-B面に移行し、第5パネルA-B面腹材が破断した。

④第5・6パネル支柱材が、曲げモーメントにより損傷し、鉄塔上部が落下した。

5. 業務プロセスの分析と背景要因の検討

前章までの調査結果から、工事中の片側架線時における当該鉄塔の強度計算を実施しなかったことにより、部材の強度不足が発生していることを認識せず、対策をとらなかったため鉄塔の損壊につながったものと推定した。ここでは、鉄塔建替工事の業務プロセス上の要因について検討を行う。

5. 1 要因分析の進め方

(1) 事実の確認

年度工事計画～実施りん議～鉄塔設計発注～工事発注までの各業務プロセスにおける、本工事の業務処理状況を工事業務運営ルールと比較した。また、社内の第三者的立場である経営監査室において、関係者に事実の聴き取りを実施した。

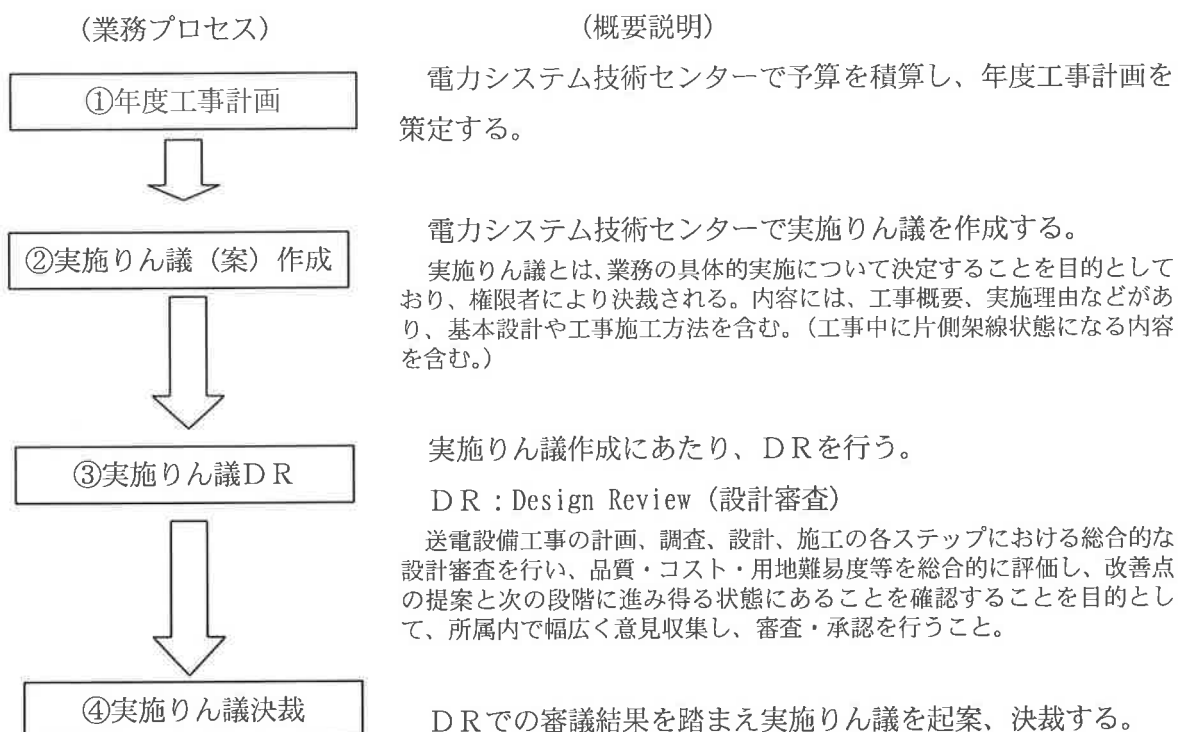
また、今回、平成23年8月の公判の中で明らかになった事実を加えた。

(2) 要因分析

事実の確認結果から事故に結びついたと思われる事象について、当事者の行動心理、動機を含めた直接要因を抽出し、さらに特性要因図を用い、「人」「設備」「環境」「管理」の背景要因について分析した。

5. 2 鉄塔建替工事の業務プロセス

鉄塔建替工事の一般的な業務プロセスの概要について以下に述べる。





5. 3 事実の確認

5. 3. 1 業務処理状況と工事業務運営ルールと比較

本工事の年度工事計画～実施りん議～鉄塔設計発注～工事発注までの各業務プロセスにおける業務処理状況を工事業務運営ルールと比較した結果、ルール違反はなかった。詳細内容は第5-3-1表に示す。

5. 3. 2 鉄塔建替工事の業務プロセスにおける鉄塔設計の実態

一般的な鉄塔建替工事において想定荷重は、第5-3-1図に示すとおり、「鉄塔設計発注」までに決定する。本工事においても新No.21鉄塔および仮No.21鉄塔は鉄塔設計発注までに想定荷重を決定し強度計算を実施していたが、既No.21鉄塔の強度計算は実施していなかった。

また、今回の公判の中で、着工打合せ以降で鉄塔強度の概算計算を実施していた事が判明。

○:決定 ■:検討

		(一般的な工事)				(今回工事の想定荷重)		
		設計項目				新No.21	仮No.21	既No.21
		基本設計条件	基本寸法 (高さ、アーム幅 etc)	想定荷重 (片側架線含む)	鉄塔構造・ 部材サイズ			
鉄塔建替工事の業務プロセス	①年度工事計画	■	—	—	—	—	—	—
	②実施りん議(案)作成	■	■	■	—	■	■	—
	③実施りん議DR	■	■	■	—	■	■	—
	④実施りん議決裁	○	■	■	—	■	■	—
	⑤調査・測量	—	■	■	—	■	■	—
	⑥鉄塔設計発注	—	○	○	—	○	○	計算実施せず
	⑦鉄塔設計承認	—	—	—	○	—	—	—
	⑧工事発注DR	—	—	—	—	—	—	—
	⑨工事発注	—	—	—	—	—	—	—
	⑩施工計画書確認	—	—	—	—	—	—	—
	⑪工事着工打合せ	—	—	—	—	—	—	—
	⑫工事着工	—	—	—	—	—	—	△ 概算計算

第5-3-1図 鉄塔建替工事の業務プロセスにおける鉄塔設計の実態

(説明)

一般的な鉄塔設計プロセス

i. 基本設計条件設定

電圧、回線数、電線種類、断面積、導体数、鉄塔種類、汚損区分、風荷重、耐冰雪荷重等から基本的な設計条件を設定する。

ii. 基本寸法設定

現地の調査測量結果および電線相互間隔、絶縁間隔、必要地上高、線下の工作物、樹木等との必要離隔距離等から、鉄塔位置、鉄塔高さ、腕金幅、塔体幅等鉄塔の基本寸法を設定する。

iii. 想定荷重設定

現地の調査測量結果、基本寸法、工事ステップから鉄塔設計に考慮すべき荷重を設定する。

iv. 鉄塔構造および部材サイズ決定

上記 i ～ iii で設定した条件により、強度計算を行い、鉄塔構造および個別部材のサイズを決定する。

5. 4 要因分析

5. 3. 2 で「既 No. 2 1 鉄塔の強度計算を実施しなかった」という事象が明らかになった。この事象に至った要因を推定するため、想定荷重の検討・決定時期である「実施りん議（案）作成」から「工事着工」の段階について、当事者の行動心理、動機付けを含めた直接的な要因を抽出し、さらには、それらの背景要因を分析した。

5. 4. 1 直接的な要因の抽出

(1) 実施りん議（案）作成

電力システム技術センター送電グループ（当時）において、工事業務に関するルールに基づき実施設計を行い、基本設計事項、工事概要、新鉄塔の規模、総予算および予算明細等について案を作成した。この時点において、仮鉄塔を用いた工事計画としたが、既 No. 2 1 鉄塔が片側架線状態になることについて特に意識していなかったため、既 No. 2 1 鉄塔の強度計算を実施項目として設定しなかった。

(2) 実施りん議DR

電力システム技術センター送電グループ（当時）において、実施りん議（案）について工事業務に関するルールに基づきDRを行った。工事担当者は工事概要・理由、基本設計条件（絶縁設計、電線サイズ）、法令規制、工事工程（工程、停電時期）、工事施工（運搬）、工事費（妥当性、創意工夫）のほか、特に雪害を考慮した新 No. 2 1 鉄塔の荷重条件について説明し議論した。しかし、既 No. 2 1 鉄塔が片側架線状態になることの意識はなく、強度計算の必要性も感じていなかったため、工事概要・実測平面図・縦断図（添付資料 1-1、1-3 参照）、架線工法のステップ図（第 2-4-1 図参照）は配布していたものの説明は行わなかった。また、参加者の中には、既 No. 2 1 鉄塔の工事中荷重に対する強度検討は別途、行われていると思う者もいた。結果として既 No. 2 1 鉄塔の強度検討についての審議がされなかった。

(3) 実施りん議決裁

電力システム技術センター送電グループ（当時）において実施りん議を起案し、工事業務に関するルールに基づき所長が決裁した。所長は、DRの審議内容の実施りん議への反映状況を確認するとともに、新 No. 2 1 鉄塔の雪に対する強度検討を十分行うよう指導した。また、上司は、新 No. 2 1 鉄塔および仮 No. 2 1 鉄塔の設計条件を確認したが、既 No. 2 1 鉄塔の片側架線時の強度については特に問題ないという認識であったため、強度計算の必要性について工事担当者への問いかけを行わなかった。結果として強度計算が実施項目として設定されていない。

(4) 鉄塔設計発注

電力システム技術センター送電グループ（当時）において、新 No. 2 1 鉄塔および仮 No. 2 1 鉄塔に関する鉄塔設計仕様書を作成し、上司が個別審査を実施のうえ鉄塔メーカーへ発注した。上司は、新 No. 2 1 鉄塔に対する雪を考慮した荷重条件の設定、新 No. 2 1 鉄塔組立時において既 No. 2 1 鉄塔が支障とならないかの確認、航空法に関する指導および隣接鉄塔の強度チェックの指示などを行ったが、実施りん議時点から架線工法およびステップに変更がないことから強度計算の必要性を認識していなかった。また、設計担当者は、既 No. 2 1 鉄塔は平成 1 8 年に雪害対策として部材補強を行っているため強度に余裕があると判断し既 No. 2 1 鉄塔の強度計算を発注しなかった。

(5) 仮設基礎着工打合せ

仮設・基礎の工事着工打合せ時において、協力会社から架線工事が台風時期にかかることから、鉄塔がもつかどうか、不安があり、片側架線状態での既設鉄塔の強度検討の必要性について指摘があったが、本人は過去の豊富な経験から鉄塔の部材に余裕があると思い仕事を進めた。

(6) 工事着工前

設計担当者は、既設鉄塔の概算強度検討を実施し、工事中に一部部材の強度が安全率を下回るため、強度計算発注の必要性を指摘したが、上司は現地条件無風で安全率をわずかに下回るという結果から数メートル程度の風であれば安全率を大きく低下させることはないと考え、仕事を進めた。

以上のことから、

- ・ 「実施りん議（案）作成」から「鉄塔設計発注」の各段階において （a）既 No. 2 1 鉄塔の強度計算を実施項目として設定しなかった。
- ・ （b）実施りん議DRにおいて、既 No. 2 1 鉄塔の強度検討についての審議がなされなかった。
- ・ （c）協力会社から片側架線状態での既設鉄塔の部材の強度検討の必要性について指摘があったにもかかわらず、適切な対応をとらなかった。

を直接的な要因とした。

5. 4. 2 背景要因の分析

5. 4. 1 で抽出した直接要因について背景要因の分析を行った。

- (1) 「(a) 既 No. 2 1 鉄塔の強度計算を実施項目として設定しなかった。」ことの背景要因

工事設計に関するルール（架空送電線路設計要綱）において、鉄塔設計時に「偏心荷重を考慮する」との規定はあるが、この規定が工事中の片側架線時に適用されるとは読みとりにくく、具体的に強度計算が必要とは記載されていない。

また、過去の工事において片側架線時における設備損壊事故はなく、強度計算の結果から部材補強を必要とするケースも少なかったことから、特に計算することをルール化するまでは必要ないと言う考え方が一般的であった。

このように、ルールの不備がもたらすリスクの大きさに気付かなかったため、結果として今日までルールの改善がされていない。

- (2) 「(b) 実施りん議DRにおいて、既 No. 2 1 鉄塔の強度検討についての審議がなされなかった。」ことの背景要因

DRに関するルール（架空送電工事の設計審査DR（デザインレビュー）に関する業務運営）として、審議項目、審議実施時期、参加者など定めているが、DRに関する業務運営ルールが明確でない。具体的には、以下のとおりである。

まず、鉄塔設計に関する審議項目としては、上記ルールにおいて、敷地条件、荷重条件、鉄塔装柱、保守ニーズの4項目が設定されているが、新鉄塔、既設鉄塔、仮鉄塔という設備毎の分類まではされておらず、本工事においては、新鉄塔の議論はされたが既設鉄塔の議論には至らなかった。また、議論に至らなかったことについてのチェックもかからなかった。

次に、審議実施時期については、上記ルールにおいて、審議項目毎の実施時期が定まっていないことから、本工事における既 No. 21 鉄塔の鉄塔設計に関しては、実施前 DR の段階で審議対象とせず、かつ、調査工事完了以降、鉄塔設計発注までに DR にて審議する機会を設定しなかった。

さらに参加者の面では、上記ルールにおいて、専門の見地から適切なアドバイスを期待できる電力システム技術センター送電グループ（当時）（技術班）が「必要に応じて参加」となっており、本工事では業務上の都合で参加できなかった。また、多くの設計者が DR に参加していたが、既 No. 21 の工事中荷重に対する強度検討について、議論・指摘を行わなかった。

- (3) 「(c) 協力会社から片側架線状態での既設鉄塔の部材の強度検討の必要性について指摘があったにもかかわらず、適切な対応をとらなかった。」ことの背景要因

工事設計に関するルール（架空送電線路設計要綱）において、鉄塔設計時に「偏心荷重を考慮する」との規定はあるが、この規定が工事中の片側架線時に適用されるとは読みとりにくく、具体的に強度計算が必要とは記載されていない。

また、過去の豊富な経験から鉄塔の部材に裕度があると思いついたことから、協力会社の意見をフィードバックできなかった。

上記 (1) (2) (3) に共通して言えることは、近年、大型工事の減少や、設計者の年齢構成のひずみにより、職場に経験豊富な技術者が少なくなり、日常的に技術的な相談やアドバイスの機会が減少したことでも背景要因として挙げられる。

5. 5 まとめ

5. 4. 2 (1) (2) (3) より、安全に直接重大な影響を与えるもの、共通性・潜在性のあるものを重要要因として抽出した。

- ①工事設計に関するルールにおいて強度計算が必要とは記載されていない。
- ②社内ルール不備がもたらすリスクの大きさに気付いていない。
- ③DR に関する業務運営ルール（審議項目、実施時期、参加者）が明確でない。
- ④協力会社の意見をフィードバックする仕組みがない。
- ⑤職場に経験豊富な技術者が少なくなった。

なお、背景要因の分析の詳細は、第 5-4-1 表「事実の確認と要因分析」に示す。

第5-4-1表 事実の確認と要因分析

日付	工事工程	審議項目	関係者・関係者	事象	行動心理	動機付け要因		結果	
						人	事象	原因	結果
H19.7.19 ～10.25	実施設計 (製作)	工事概要・理由 基本設計条件(総括設計、電線サイズ) ルート検討(鉄塔位置、高さ) 法令規制 工事工程(工程、停電時期) 工事設計(設備) 工事費(安否性、制電工夫)	【関係者】 ・課長(PJ) ・副課長(PJ班) ・担当者名(P-J班)	工事担当者、工事概要を決定した際、既設鉄塔の強度計算を 実施項目として設定しなかった 。	(工事担当者) 工事概要について特に意識していなかった。			①工事設計に関するルールにおいて片側線構築の強度の計算が必要とは認識されていなかった。 ②ルール不備がもたらすリスクの大きさに気が付いていない。	③身近な熟練技術者が、現場から少なくなっていた。
H19.10.25	実施設計 DR	工事概要・理由 基本設計条件(総括設計、電線サイズ) ルート検討(鉄塔位置、高さ) 法令規制 工事工程(工程、停電時期) 工事設計(設備) 工事費(安否性、制電工夫)	【関係者】 ・課長(PJ) 【関係者】 ・次長 ・副課長(総括) ・副課長名(PJ班) ・設計班C ・担当14名(P-J班、設計班A、設計班B、設計班C、技術班)	DRにおいて、既設鉄塔の強度項目についての 設定がなされた 。 ・工事担当者は、強健工法に関する説明はしなかった。 ・参加者は、既No.21の工事中所置に対する強度検討について議論・指摘を行わなかった。	(工事担当者) は、強度計算の必要性を感ぜず、強度計算の必要性を感ぜない。 (課長) 架線(專業)工程は新しいステップではなく、一般的な通常の工程なので特に議論にならなかった。	既No.21工区の基本設計資料ほかの審議事項に意識が高かった。		③ルール不備がもたらすリスクの大きさに気が付いていない。	④身近な熟練技術者が、現場から少なくなっていた。
H19.11.9	実施設計 決裁	工事概要・理由 基本設計条件(総括設計、電線サイズ) 法令規制 工事工程(工程、停電時期) 工事設計(設備、用地) 工事費(安否性、停電、用地) 工事施工(安否性、停電、用地)	【関係者】 ・所長 【関係者】 ・次長 ・課長(総括)、課長(PJ) ・副課長(PJ班) ・担当者名(P-J班)	決裁者は、既設鉄塔の強度は 実施項目として設定されていない 人請を表現した。	(所長) 片側線構築の強度計算の必要性を感ぜない。 (課長) 片側線構築における強度計算の必要性を感ぜない。 (副課長) 片側線構築の強度計算については特に感ぜない。 強度計算は、指示なくも(担当者)がやっており、既設鉄塔についても指示していない。	DRで議論・指摘等もなかったため、反映事項はなかった。		①工事設計に関するルールにおいて片側線構築の強度の計算が必要とは認識されていなかった。 ②ルール不備がもたらすリスクの大きさに気が付いていない。	④身近な熟練技術者が、現場から少なくなっていた。
H19.12.16	設計設計の 発生	設計条件(基本手法、想定荷重、鉄塔位置、部材サイズ)	【関係者】 ・課長(PJ) 【関係者】 ・副課長(PJ班) ・担当者名(P-J班)	工事担当者から「 設計担当者から既設鉄塔の強度計算を設計項目として設定しなかった 」。	(工事担当者) は、既設鉄塔の強度計算を設計項目として設定しなかった。 (設計担当者) 強度の支持点高位置(高さ)が大きいことについて不安を感じず、既設の片側線構築の強度設計の必要性を感じなかった。	既設鉄塔は40度も超過していることと、また警備対策で超過していることで、強度が不足している。		①工事設計に関するルールにおいて片側線構築の強度の計算が必要とは認識されていなかった。 ②ルール不備がもたらすリスクの大きさに気が付いていない。	④身近な熟練技術者が、現場から少なくなっていた。

【公判で明らかになった事実】

日付	工事工程	審議項目	関係者・関係者	事象	行動心理	動機付け要因		結果	
						人	事象	原因	結果
H20.5	既設・新規 構工打合せ			電力会社から「 既設鉄塔の強度計算を設計項目として設定しなかった 」。	(電力会社) 片側線構築の強度計算は、設計項目として設定しなかった。 (電力会社) 片側線構築の強度計算は、設計項目として設定しなかった。	過去の調査記録から既設の部材に裕度がある事を知っていた。		①工事設計に関するルールにおいて片側線構築の強度の計算が必要とは認識されていなかった。 ②ルール不備がもたらすリスクの大きさに気が付いていない。	④身近な熟練技術者が、現場から少なくなっていた。
H20.8	工事着工前			既設鉄塔の調査の強度検討を実施した担当者は「 設計担当者から、工事の既設鉄塔の強度計算を設計項目として設定しなかった 」。	(課長) 現場条件を調査で検討し、安全率1.0をわずかに下回る結果から既No.21の強度が安全率を下回るための強度計算を設計項目として設定しなかった。 (副課長) 強度計算は、設計項目として設定しなかった。	過去の調査記録から既設の部材に裕度がある事を知っていた。		①工事設計に関するルールにおいて片側線構築の強度の計算が必要とは認識されていなかった。 ②ルール不備がもたらすリスクの大きさに気が付いていない。	④身近な熟練技術者が、現場から少なくなっていた。

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

前章で抽出した重要要因に対する再発防止対策を、直接的な事故防止のための「社内ルールの改正」、潜在的類似事故防止のための「コミュニケーションの充実」、業務全体の質を高めるための「技術力向上」の観点から策定した。詳細を第6-2-1図に示す。

【社内ルールの改正】

重要要因①（工事設計に関するルールにおいて強度計算が必要とは記載されていない。）に対しては、支持物強度に影響を与える場合、全て強度計算することをルール化する。

重要要因③（DRに関する業務運営ルール（審議項目、実施時期、参加者）が明確でない。）に対しては、適切な時期に確実に検討項目が審査・承認されるように運営方法を見直す。

■強度計算の実施：平成21年2月ルール改正

- a. 片側架線時、電線張替時など、支持物強度に影響を与える場合を明確にし、強度計算を実施する旨、工事設計に関するルール（架空送電線路設計要綱）に規定する。

■DRの確実な実施：平成20年12月

- b. DRの目的として、設計・施工の安全性の評価確認を行うことを、「架空送電工事の設計審査DR（デザインレビュー）に関する業務運営」に明記したうえで所則として制定し、DRの運営方法である審議項目、実施時期を明確にする。

なお、審議項目については、新設、既設、仮鉄塔のそれぞれについて確実にチェックできるよう、チェックリストの内容を細分化し、全ての項目についてDRで審査する。また、実施時期については、従来実施りん議段階で行っていた審議項目を分割し、一部を鉄塔設計発注前に審査・承認する。あわせて関係社内ルール類についても鉄塔の解体・建替等を行う工事に関する安全対策について明確にする。

第6-1-1表 DRの審議項目

審議項目	実施時期	
	従来	今後
基本設計事項、工事概要、総予算	実施りん議	実施りん議
設計荷重、強度計算事項		鉄塔設計
施工時の安全に関する事項	工事発注	工事発注

- c. 電力システム技術センター架空送電グループ（当時）に送電設計専任の課長（以下、「専任課長」という。）を配置するとともに、日々の工事設計業務およびDRにおいて、指導・助言を行う旨、工事業務に関するルール（送電線路工事業務要綱）に規定する。

今回配置する専任課長は、電力システム技術センター送電グループ（当時）実施の全ての工事に加え、必要に応じて各支店・支社実施工事のDRにも出席し、高度な専門的知識から指導・助言を行う。

また、後述のとおり、専任課長は、全社の送電線工事の設計に関する不具合事象（ルール不備、業務手順誤り等）とその対策内容および改善結果を一元的に集約・分析し、必要に応じて全社展開を行う。さらに、架空送電部門の工事設計に関わる熟練技術者の養成を行う。

これら一連の活動を通じて、各所の電気主任技術者と連携し、全社の送電線工事における事故災害の未然防止・設計技術力の向上を図る。

【コミュニケーション充実とリスク低減活動】

重要要因②（社内ルール不備がもたらすリスクの大きさに気付いていない。）および重要要因④（協力会社の意見をフィードバックする仕組みがない。）については、送電設備工事の業務（文書を含む）を評価し、改善するプロセスと体制を構築するとともに、協力会社との双方向コミュニケーションにより、現場条件、施工方法等を考慮した多面的な潜在リスクの抽出および低減活動を実施していくこととする。

■双方向コミュニケーションの実施

- d. 各工事を進める上で、着工打合せ、工事反省会など、当社と協力会社が会合する機会を都度、活用して双方向コミュニケーションの更なる充実を図る。
- e. 当社と協力会社の間で、架空送電工事全般におけるリスクに関するコミュニケーションを毎年実施し、リスクを共有化した上で対策について協議、決定する。

■作業・工事（文書を含む）における潜在的なリスクの低減

- f. 当社および協力会社のそれぞれが潜在リスクの抽出を行い協業により対策を検討する。また、g. で得られた分析結果を含めリスクに関して全社で評価、改善活動を継続的に実施する。
- g. 専任課長は、e.、f. で抽出された工事設計に関するリスクを一元管理するとともに、工事業務遂行における不具合事象とその改善結果を集約し、改善状況の確認・分析を行う。

【技術力向上】

重要要因⑤（職場に経験豊富な技術者が少なくなった。）については、送電工事設計者の技術力向上を図る。

■送電工事設計者の技術力向上

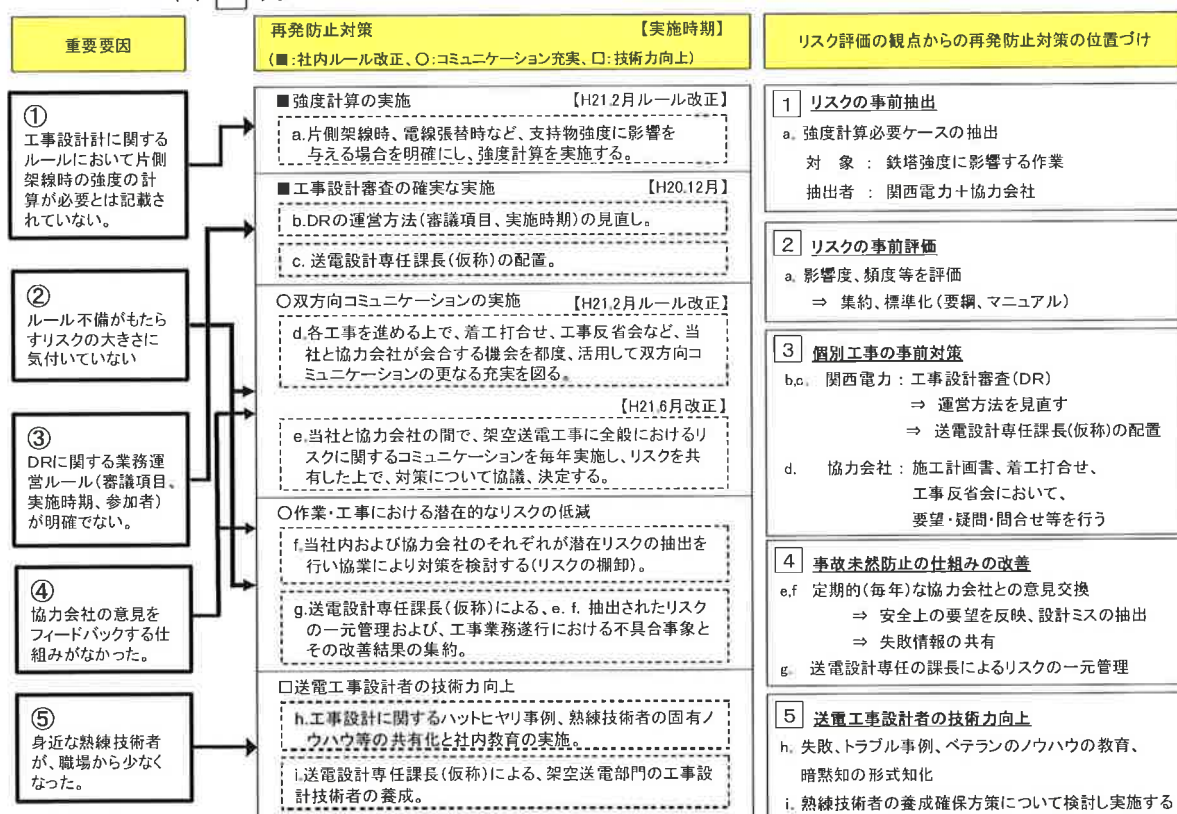
- h. 今まで社内で共有化されていなかった工事設計に関するハットヒヤリ事例および熟練技術者の固有ノウハウを集約して共有するとともに、社内教育のカリキュラムも見直し充実化を図る。
- i. 専任課長が指導者となり、架空送電部門の工事設計技術者の養成を行う。

6. 2 リスク評価の観点からの再発防止対策の整理

立案した再発防止対策について、リスク評価の観点から改めて整理を行った。

対策について総括すると、鉄塔解体・建替時の工事の安全対策に係る手続きを明確化するとともに、協力会社の協力も得て、工事の実施において強度計算が必要なケースを抽出し、ルール化していく（第6-2-1図 ①、②）。また、片側架線状態以外にも工事設計上の潜在的リスクの洗い出しと必要な対策の検討を継続的に実施する仕組みとして、DRの充実と協力会社とのコミュニケーションの充実を図る（第6-2-1図 ③）。

さらに、送電設備工事の業務（文書を含む）を評価し、改善するプロセスと体制を構築するとともに、技術センターのみならず、各支店・支社や協力会社等の社内外との意見交換により得られた工事設計上のリスク情報を全社一元的に管理する仕組みを構築することにより（第6-2-1図 ④）、確実かつ継続的に改善活動が実施されることとなる。なお、これらの活動を支える工事設計技術力を維持・向上するための失敗・トラブル事例の共有やノウハウのDB化を行い教育の充実を図っていく（第6-2-1図 ⑤）。



第6-2-1図 重要要因と再発防止対策

6. 3 定着に向けた今後の取り組みについて

6. 2で記載した再発防止対策については、平成20年12月以降、すべて社内ルールに落とし込んでおり、既に実施中である。今後も継続し、着実に実施していくこととする。

また、今回、新たに判明した要因については、本店が、社内外の関係箇所十分に説明するとともに、各工事所管箇所は速やかに、かつ、積極的これらを実施していくこととする。

さらに、双方向コミュニケーション等で抽出される潜在リスクについても確実に集約、評価し、適切に対策を打っていくことにより、架空送電部門の工事設計の全体的な改善を継続的に実施していく。

おわりに

本報告書においては、私どもが発生させましたこの度の重大な事故の原因の調査・検討、再発防止対策の内容について、ご報告を申し上げます。

改めて、この事故を深く反省し、二度とこのような事故を起こさないとの決意を新たに、より安全で安心していただける設備・設計を目指し、ご報告申し上げた対策を着実に実施して参ります。また、今回の事故を踏まえ、保安規程に基づく自主保安活動の更なる充実を図るべく必要な改善を行っていくとともに、今回の事故に係る対策について部門横断的な水平展開を図って参ります。合わせて、社員一人一人が行うべきことや出来ることがないか、あるいは隠れたリスクのある設備はないかなど、もう一度真摯に考え、それぞれの業務を遂行していくとともに、全社大で順次導入しているQMS（品質マネジメントシステム）の考え方に基づく仕組みを定着させることで自主保安活動の質的向上を図って参ります。

当社は、これまで「安全最優先」の事業活動を徹底し、安全文化の再構築に向けて取り組んで参りました。今後は、ご報告申し上げた再発防止対策を着実かつ継続して実施することで、安全の実績を着実に積み上げ、ゆるぎない安全文化を構築して参ります。

位置図

縮尺: 1/50,000

美浜発電所

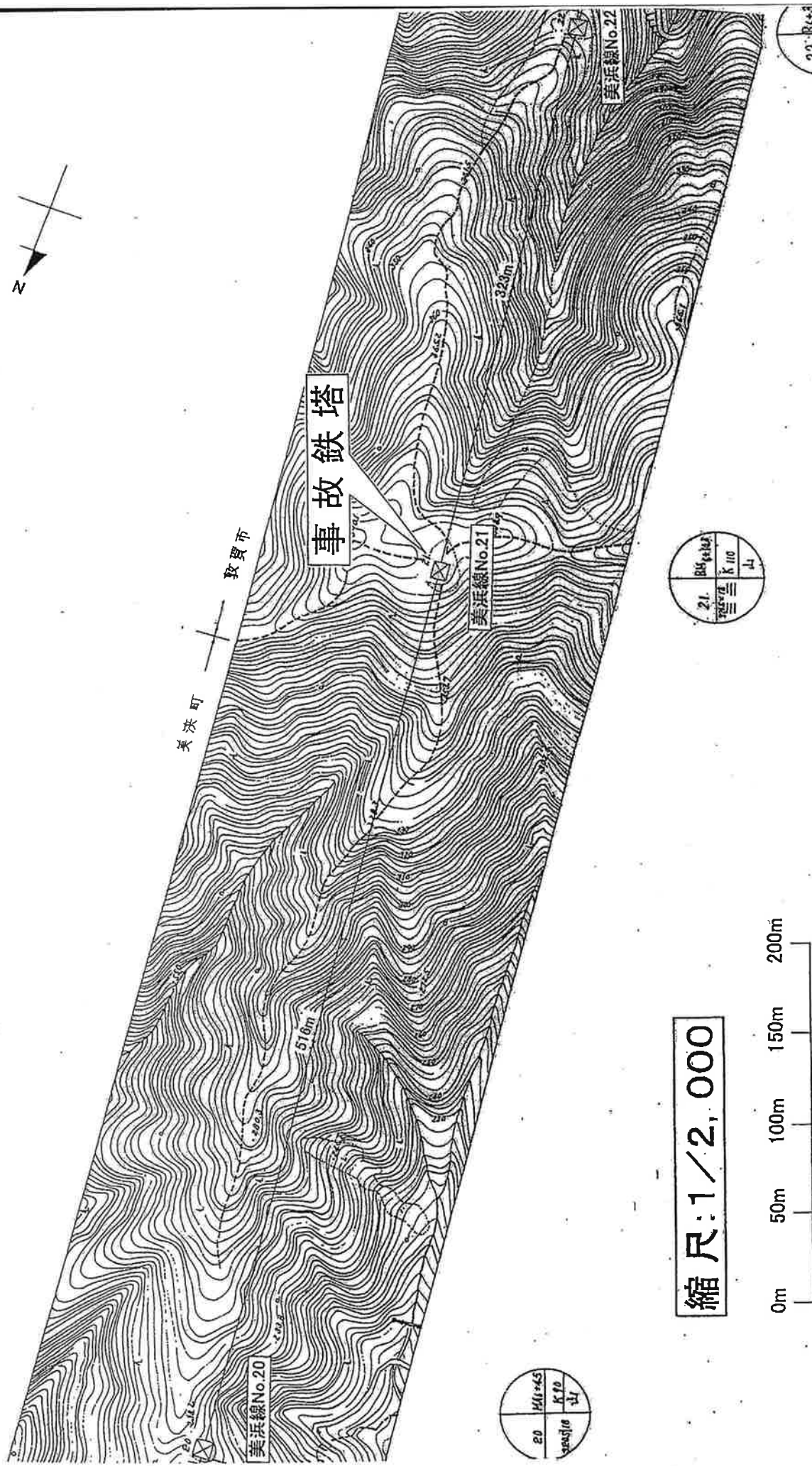
敦賀特別地域
気象観測所

事故鉄塔

No.20
No.21
No.22

この地図は、国土地理院長の承認を得て、国土地理院長の承認を得て、国土地理院の地図5000(地図画像)及び数値地図25000(地名・公共施設)を複製したものである。(承認番号 平19特復、第1100号)

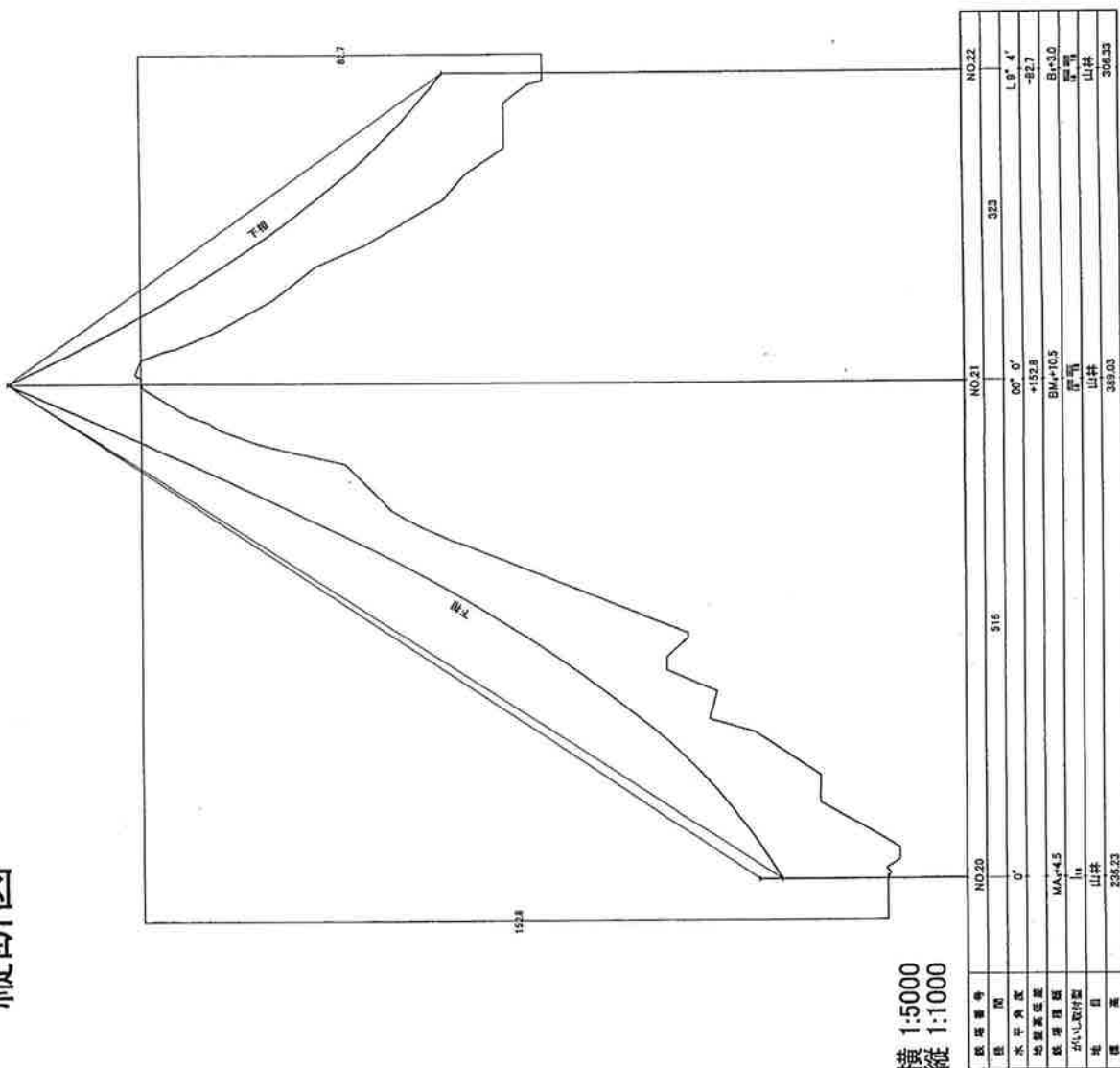
実測平面図



縮尺: 1/2,000

縦断面図

美浜線 No. 20 ~ 22 間

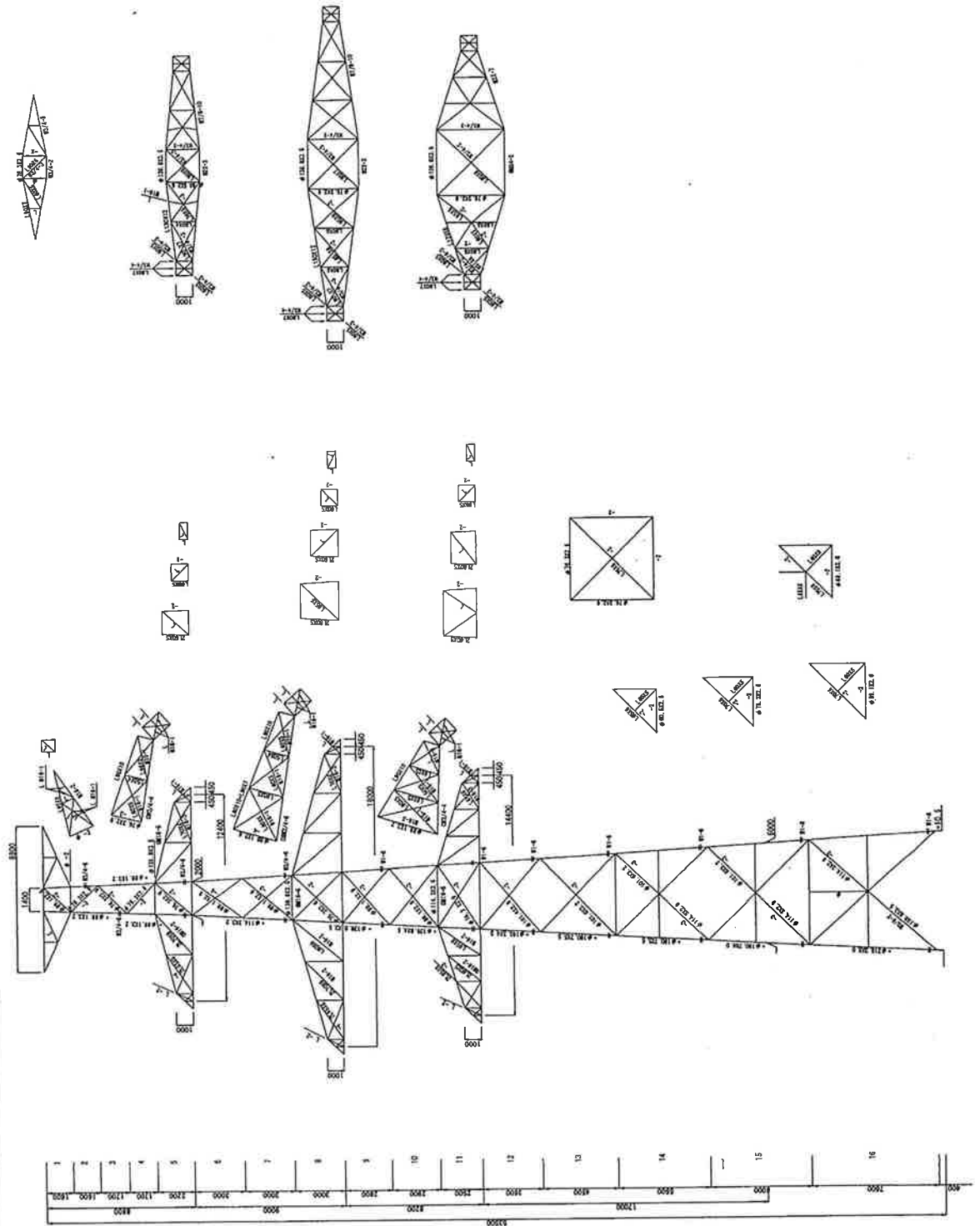


縮尺 横 1:5000
縦 1:1000

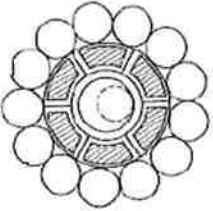
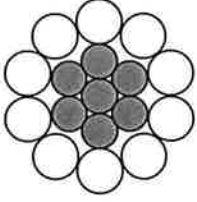
駅番号	NO.20	NO.21	NO.22
区間	516	323	
水平角	0°	00° 0'	1 9° 4'
地面高低差		+152.8	-82.7
築上高さ	MA+4.5	BM+10.5	B+3.0
築上形状	山	山	山
地目	山林	山林	山林
標高	228.23	389.03	306.33

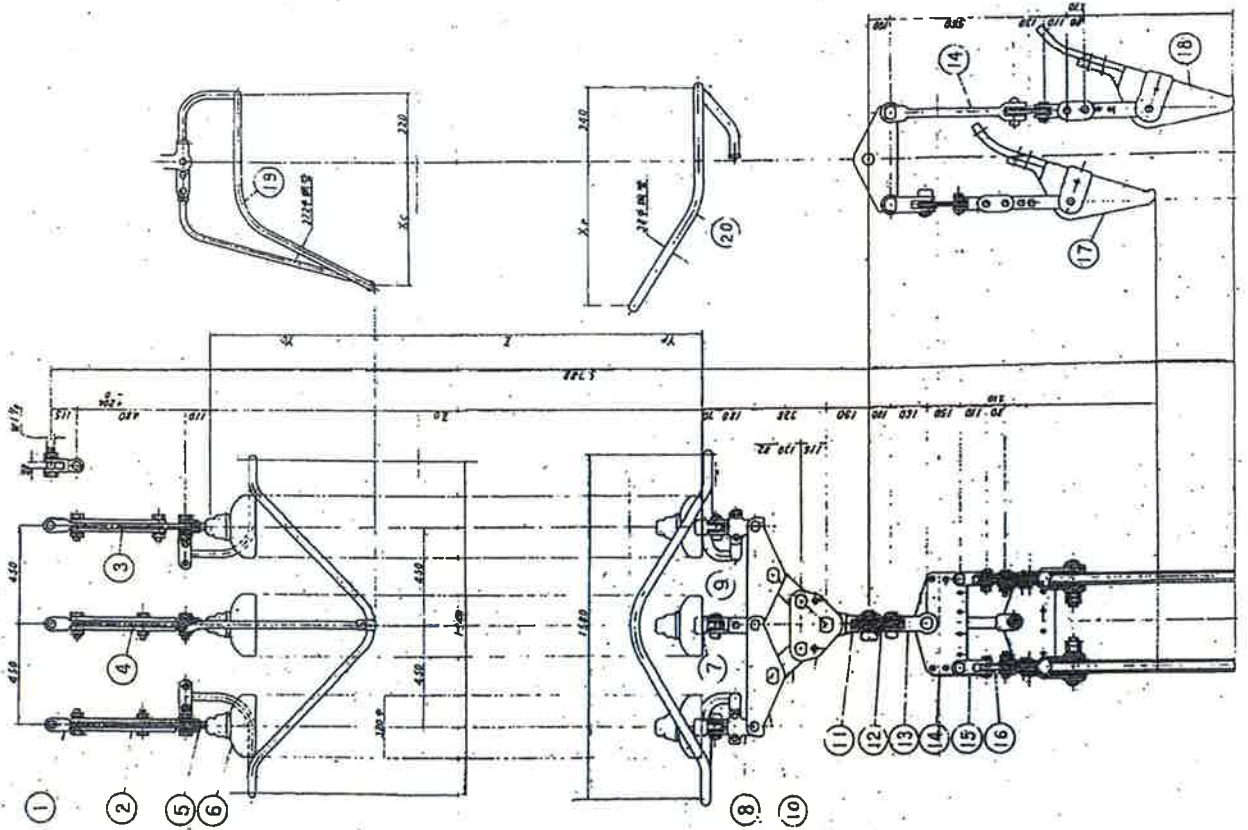
既 No.21 鉄塔構造図

縮尺：1/250



電線諸元

線種	U-OP-KTACSR/AC 120 mm ²	IACSR/AW 120mm ²	ACSR/AW 410mm ²
適用箇所	架空地線(1L側)	架空地線(2L側)	電力線(1, 2L)
より線構成 素線数/素線 径 本/mm	構造		
	外層	KTA ϕ 13/3.5	IA ϕ 12/3.5
	内層	23AC 6/3.86	AW 7/3.5
	OPユニット	OP 1/6.0(シリコン24心)	—
最小引張荷重	kN	110.5	137.7
計算断面積	mm ²	182.9	480.8
質量	kg/km	763.6	1,591
外形	mm	17.5	28.5
弾性係数	Gpa	99.8	75.8
線膨張係数	1/°C	17.3×10^{-6}	20.0×10^{-6}



がいし種別	品名	巻数	座					
			Zp	Yc	Yp	Zc	Xp	
18m3	RTC-431A3L RTP-431A3L	絶縁盤	3060	1770	940	350	630	730
18m3	RTC-431B3H RTP-431B3H	寄越具	3060	2570	380	110	630	730
18m3	RTC-431C3S RTP-431C3S	取草 足座	3060	1970	800	290	630	730

がいし装置質量(支持点当り) (kg)

No.	品名	単位質量	個数	合計
①	架線金具	428.4	1	428.4
②	ストッがいし	12.0	54	648
③	(接電質量)		①+②	1,076
④	(支持点質量)		③×2	2,153

20	腕側座絶縁	別表ニ示す	1	
19	吊掛用取具	別表ニ示す	1	
18	架線耐張ワイヤ		2	
17	四脚耐張ワイヤ		2	
16	OP架線金具	L-158D	4	
15	直角クレーン	CR-1150 JKC	4	
14	二連ワイヤ	Y-306D KA	2	
13	直角クレーン	CR-13000BRC	2	
12	二連ワイヤ	Y-5D&D K	1	
11	直角クレーン	CLR-16000FC	1	
10	3連ワイヤ	ZBY-5D&S DKT	1	B=20"
9	腕側クレーン	CLR-12101BC	1	
8	腕側クレーン	CLR-12101AC	2	
7	5径ワイヤ	SIP-2100	3	
6	絶縁ワイヤ	320絶縁ワイヤ	18×3	
5	ポールワイヤ	BC-12101	3	
4	引掛耐張金具	DEL-12100	1	
3	引掛耐張金具	DLL-12100LR	1	
2	引掛耐張金具	DEL-12100PL	1	
1	腕側クレーン	CLR-12103 H	3	
備考	品名	品番	巻数	油

防絡具試験用がいし装置

平面解析結果 既 No.2 1 鉄塔 応力表 (両側架線時)

(凡例)

□ : 安全率最低箇所

部材 符号	力 (kN)				材 質 強 度 (kN)				部 材 強 度 (kN)				水 上 ト 強 度 (kN)				部 材 符号				
	高 温 季		低 温 季		最大 圧縮力 U1	最大 引張力 U2	L	LK R	LK R	U3	U3/U1	係 数	強 度 U4	U4/U2	巻 本 数 厚	強 度 U5		U5 U1.U2			
	圧 縮 引 張	引 張 引 張	圧 縮 引 張	引 張 引 張																	
1	24.9	14.2	25.7	13.5	22.4	25.7	14.2	160	145	55	210.1	8.17		134.7	9.48			1			
2	39.8	28.4	40.2	27.2	26.3	40.2	28.4	330	300	113	111.7	2.77		134.7	4.74	M16	6	237.9	8.37	2	
3	53.9	41.6	53.8	40.0	30.0	53.9	41.6	340	310	117	104.2	1.93		134.7	3.23	M16	6	237.9	5.71	3	
4	66.4	53.5	65.7	51.2	33.2	66.4	53.5	170	155	59	205.6	3.09		134.7	2.51					4	
5	132.9	50.0	135.2	43.2	122.8	135.2	50.0	220	200	76	183.5	1.35		134.7	2.69	M16	6	237.9	4.75	5	
6	170.2	75.5	157.4	61.4	136.6	170.2	75.5	301	275	82	256.7	1.50		174.2	2.30					6	
7	233.6	121.0	200.9	94.1	159.5	233.6	121.0	301	275	82	256.7	1.09		174.2	1.43	M16	6	237.9	1.96	7	
8	344.3	142.1	322.7	110.4	245.6	344.3	142.1	301	275	63	950.0	1.50		353.7	2.32					8	
9	426.3	207.8	344.8	153.8	287.2	426.3	207.8	280	255	43	580.1	1.36		353.7	1.70	M24	6	889.5	4.28	9	
10	497.9	266.6	413.3	197.8	312.1	497.9	266.6	290	265	64	638.6	1.28		451.4	1.69					10	
11	632.6	296.3	536.0	212.3	417.9	632.6	296.3	250	225	55	693.2	1.09		451.4	1.52	M24	6	889.5	3.00	11	
12	711.0	359.2	589.6	253.2	445.4	711.0	359.2	381	325	68	794.7	1.11		536.1	1.51	M24	6	889.5	2.51	12	
13	817.1	434.9	661.8	305.9	482.4	817.1	434.9	451	410	73	1021.1	1.24		755.2	1.73	M24	8	1186.0	2.72	13	
14	927.9	529.5	737.8	357.6	520.9	927.9	529.5	292	265	48	1294.3	1.26		755.2	1.42	M24	8	1186.0	1.23	14	
15	1034.1	618.7	810.0	405.2	556.9	1034.1	618.7	318	290	52	1307.5	1.26		821.7	1.32	M24	8	1186.0	1.21	15	
16	1142.5	698.7	885.1	446.1	593.9	1142.5	698.7	400	360	57	1530.1	1.33		935.5	1.33	M24	8	1186.0	1.69	16	
1	61.2	61.2	65.1	65.1	5.6	65.1	65.1	216	195	64	91.9	1.41		110.2	1.69	M16	3	9	102.3	1.57	1
2	56.0	56.0	58.9	58.9	5.0	58.9	58.9	224	205	79	77.9	1.32		104.3	1.77	M16	3	9	102.3	1.73	2
3	52.6	52.6	55.0	55.0	4.7	55.0	55.0	239	220	85	73.8	1.34		104.3	1.89	M16	2	9	68.2	1.24	3
4	48.1	48.1	50.1	50.1	4.3	50.1	50.1	247	225	87	65.1	1.29		93.9	1.87	M16	2	9	68.2	1.36	4
5	53.6	53.6	53.5	53.5	4.4	53.6	53.6	292	265	102	59.7	1.11		104.3	1.94	M16	2	9	68.2	1.27	5
6	98.7	98.7	99.2	99.2	15.6	99.2	99.2	200	180	60	104.6	1.05		122.5	1.23	M16	4	9	136.5	1.37	6
7	78.2	78.2	78.3	78.3	12.2	78.3	78.3	210	190	63	92.4	1.18		110.2	1.40	M16	3	9	102.3	1.30	7
8	66.7	66.7	65.1	65.1	9.8	66.7	66.7	221	200	77	71.3	1.06		93.9	1.40	M16	2	9	68.2	1.02	8
9	90.0	90.0	80.0	80.0	19.3	90.0	90.0	224	205	68	99.5	1.10		122.5	1.36	M16	3	9	102.3	1.13	9
10	80.6	80.6	71.4	71.4	17.1	80.6	80.6	240	220	72	87.1	1.08		110.2	1.36	M16	3	9	102.3	1.26	10
11	68.6	68.6	60.4	60.4	14.5	68.6	68.6	239	220	85	73.8	1.07		104.3	1.52	M16	3	9	102.3	1.49	11
12	90.9	90.9	75.8	75.8	25.8	90.9	90.9	291	265	76	107.5	1.18		140.2	1.54	M16	3	9	102.3	1.12	12
13	87.2	87.2	72.3	72.3	24.4	87.2	87.2	343	310	90	103.7	1.18		154.3	1.76	M16	3	9	102.3	1.17	13
上	82.3	82.3	67.6	67.6	22.6	82.3	82.3	358	325	94	99.2	1.20		154.3	1.87	M16	3	9	102.3	1.24	上
下	82.3	82.3	67.6	67.6	22.6	82.3	82.3	304	365	93	103.0	1.25		158.3	1.92	M16	3	9	102.3	1.24	下
上	73.9	73.9	60.1	60.1	19.8	73.9	73.9	398	360	104	84.9	1.14		154.3	2.08	M16	3	9	102.3	1.38	上
下	73.9	73.9	60.1	60.1	19.8	73.9	73.9	448	405	103	88.9	1.20		158.3	2.14	M16	3	9	102.3	1.38	下
上	71.4	71.4	57.1	57.1	18.4	71.4	71.4	471	425	108	80.6	1.13		158.3	2.21	M16	3	9	102.3	1.43	上
下	71.4	71.4	57.1	57.1	18.4	71.4	71.4	537	485	101	136.5	1.91		353.7	4.95	M16	2	12	112.4	1.57	下

(設計条件補足)

普番補強後の装柱、両側架線状態、高温季、低温季 (6mm x 1-1)、全相番 (軽型 8kg/m)、常時不平均張力考慮なし

