

【システム解説】

送電用山形鋼大型鉄塔設計システム

Design System of Transmission Angle Steel Large Tower

薮 勉*
Tsutomu YABU宮 本 佳 典**
Yoshinori MIYAMOTO長 井 常 満***
Tsunemitsu NAGAI宮 本 隆 三****
Ryuzou MIYAMOTO工 藤 裕****
Yutaka KUDO片 山 義 孝****
Yoshitaka KATAYAMA

1. まえがき

近年のコンピューター技術の進歩には目ざましいものがある。特にパーソナルコンピューターにおける記憶容量、演算速度、出力速度等の高性能化と低価格化は利用者にとって、身近で使用しやすいものとなっている。

川田工業ではパソコン使用による送電用山形鋼鉄塔設計プログラム（川田技報Vol.3発表）を154kv以下の鉄塔設計に使用してきているが、大型電子計算機と比較すると、対話形式による入力操作の簡易性、漢字使用による人間工学的に見やすい出力、使用時間帯の制限が無い等に優位性が有り、その有効性を認識してきた。

そのような経過を踏まえて、275kv向けの送電用山形鋼大型鉄塔設計システムを開発し、実際の送電用鉄塔設計に使用し、十分にその効果があつたので、その概要を紹介させていただく。

2. システムの概要

本システムは、パソコンの特徴であるプログラム開発の容易性、対話形式による操作の簡便性等を利用し、送電用鉄塔の設計を行い、構造図、応力図を描画する送電用鉄塔設計のトータルシステムです。当設計システムは、JEC-127(1965)「送電用鉄塔設計標準」、JEC-127(1979)「送電用支持物設計標準」に基づき、日本鉄塔協会「送電用鉄塔設計仕様」に準じた手設計様式を採用して、出力の漢字処理により見易い設計計算書が得られ、また、XYプロッタと接続することにより、各種の図面を描画させることが可能であり、合理的な設計が迅速にしかも低廉に行なうことが出来る特長を持っている。

3. システムの機器構成

使用機器の構成は表-1に示す。

表-1 システムの機器構成

機 器 名	型 名	備 考
CPU	PC-9801E	メモリ：640KB
8 インチフロッピー ディスクユニット	PC-9881K	8 インチ標準フロッピー 2MB, 2 ドライブ
漢字プリンタ	NM-9400	24ピン, 136桁
ディスプレイ	PC-8853N	14インチカラー 640×400ドット
XYプロッタ	GP9001	使用サイズ：A ₀ ～A ₃ 距離精度：移動距離の ±0.3%以下



写真-1 システムの使用状況

4. システムの内容

(1) 全体システム構成

本システムは図-1に示す5ブロックに分割して構成

*川田工業(株)前・富山本社技術部開発課課長 **川田工業(株)富山本社技術部開発課課長 ***川田工業(株)富山本社技術部開発課係長
****川田工業(株)富山本社技術部開発課

されている。各ブロックは1～2枚のディスクの中に設計プログラムが各項目毎に細かく分割されている。設計実行にあたっては、腕金設計、塔体設計、片継脚設計の3枚のデータ用ディスクにデータファイルが作成される。

本システムはすべてこのデータファイルを介してリンクされており、任意のプログラムから再開始あるいは続行することが可能である。

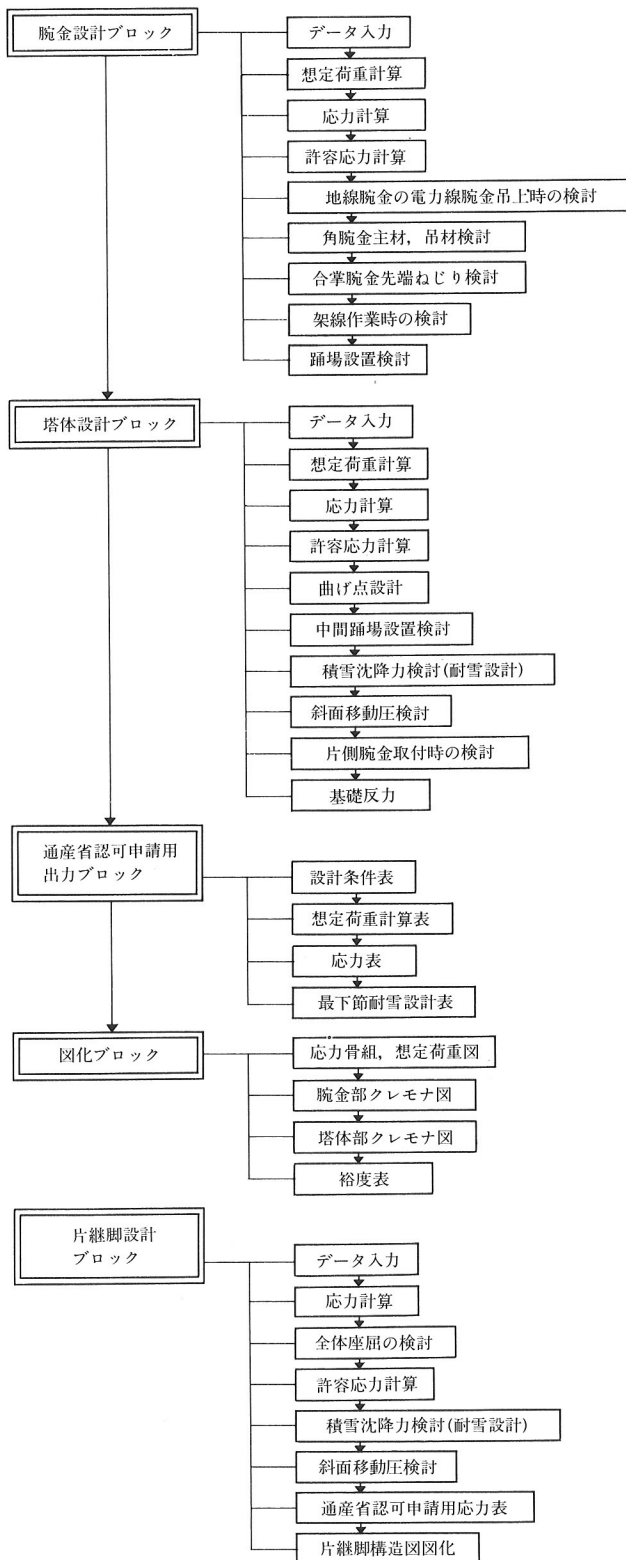


図-1 全体システム構成

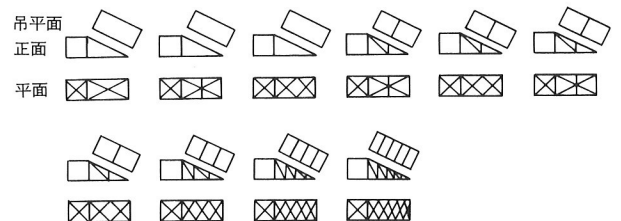
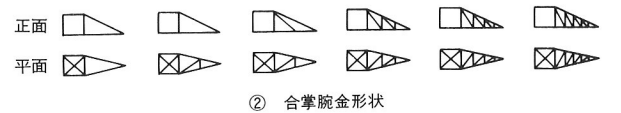
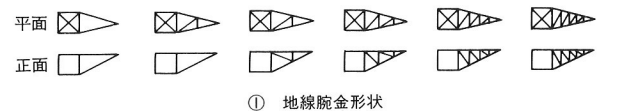
(2) 適用範囲

送電線用鉄塔のうち一般的な形式である山形鋼使用の四角鉄塔で下記にあげる地線2条の2回線鉄塔について適用する。

a) 鉄塔型

- ① 直線鉄塔
- ② 角度鉄塔
- ③ 耐張鉄塔
- ④ 引留鉄塔

b) 腕金形状



注) 吊平面は各腕金について、シングル、ダブルの選択が可能である。

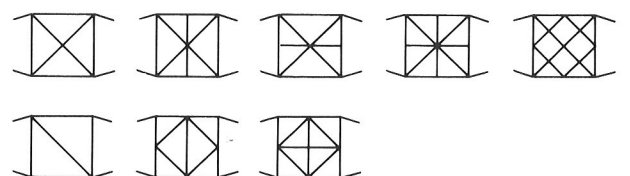
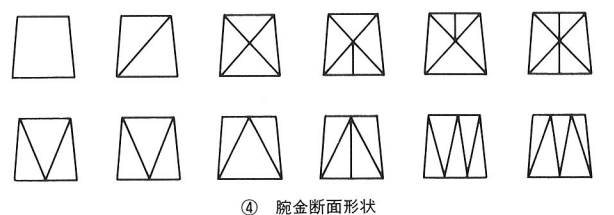


図-2 腕金形状

c) 塔体結構形状

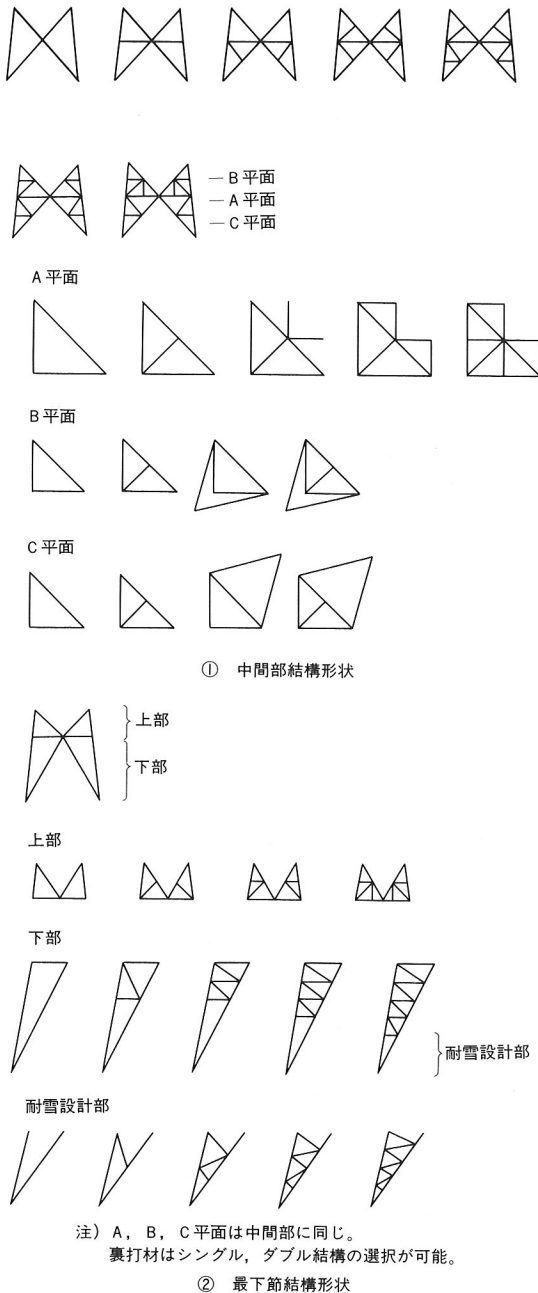


図-3 塔体結構形状

d) 制限事項

- パネル数：最大100パネル
 系統数：最大3系統
 四脚継：最大50
 アクセサリー：足すり, 手すり, 踊場
 墜落防止用垂直レール
 角腕金先端足場材

5. 検討設計

(1) 補強設計

設計は「電気設備に関する技術基準」送電用鉄塔設計 (JEC-127-1965) に基づく基本設計条件によるほか, 「送電用支持物設計標準 (JEC-127-1979)」に準拠した検討条

件を考慮している。

検討条件は強風時荷重, 乾型着雪時荷重, 湿型着雪時荷重を考慮する。各検討ケースのデータは全て任意に数値入力ができ, その項目は以下のとおりである。部材決定は全設計ケースの集計最大応力で設計し, 申請用設計図書はJEC-127-1965に基づいて作成する。

- 鉄塔風圧
- 架渉線風圧
- がいし装置風圧
- 架渉線張力
- 不平均張力
- 全相, 任意相
- 着雪径, 比重, 着雪重量
- 腕金冠雪荷重
- 積雪沈降力
- 積雪深さ, 積雪密度
- 斜風

(2) 地線腕金の電力線腕金吊上げ時の検討

図-4 に示す地線腕金で, 電力線腕金を吊上げた場合, F_1 の荷重が前後面に, F_2 の荷重が前面あるいは後面に加わるものとする。吊平面の太線部の部材に $2 F_1$ の圧縮力が同時に加わるものとする。

$$F_1 = W_2 \cos \frac{90^\circ - \theta}{2} + \frac{W_0}{2} \quad (1)$$

$$F_2 = 2 W_2 \cos \frac{90^\circ + \theta}{2} \quad (2)$$

ただし

F_1 : 地線腕金支材付根より第2節点に加わる荷重

F_2 : 地線腕金支材付根に加わる荷重

W_2 : 中腕金重量 $\times 1.5$

θ : 腕金主材と支材のなす角度

W_0 : 地線腕金重量

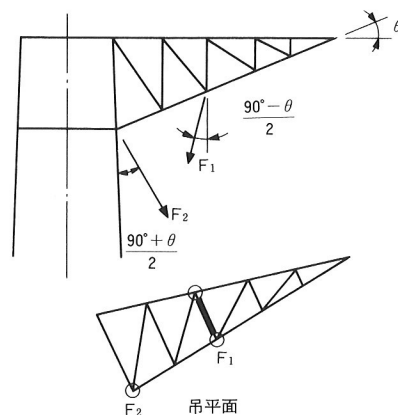


図-4 地線腕金

(3) 角腕金の主材, 吊材検討

a) 垂直荷重

$$W = Wc' \times Sm + T \cdot \tan \delta \quad (3)$$

ただし

$$Wc' : Wc + Wi$$

Wc : 電線単位長重量(kg/m)

Wi : 電線着氷雪単位長重量(kg/m)

Sm : 片側最大荷重径間の1/2(m)

T : 最大使用張力×条数(kg)

tanδ : tanδの最大値

b) 水平荷重

$$H = Hc + Ha \quad (4)$$

ただし

Hc : 架渉線風圧(kg/支時点×1/2)

Ha : 水平角度荷重(")

注, 最大使用張力時

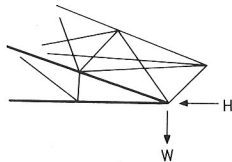


図-5 荷重状態図

(4) 合掌腕金先端ねじり検討

電力線腕金に耐張型のがいしが取付く場合に検討する

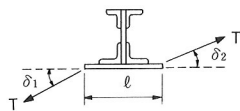


図-6 合掌腕金先端のねじり検討

$$M = T (|\tan \delta_1| + |\tan \delta_2|) \cdot l / 2 \quad (5)$$

ただし

M : 腕金先端に働くねじりモーメント

T : 最大使用張力×条数

δ₁ : 若番側垂直角δ₂ : 老番側垂直角

l : 耐張装置取付金具寸法

腕金平面, 側面, 吊平面に, ねじり補強材を挿入する。

(図-7 太線部) 対応強度は常時許容応力対応とする。

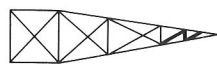


図-7 合掌腕金先端のねじり補強材

(5) 架線作業時の検討

耐張型のがいしが取付く鉄塔に対し, 架線用金車取付時の強度検討を行う。垂直荷重Pは次式による。

① 地線腕金の場合

$$Pg = (K \cdot Tg + 2 \cdot Tw) \cdot \Sigma \tan \delta + (Wg + 2 \cdot Ww) \cdot S + C \quad (6)$$

ただし

K : 最大使用張力に対する架線作業時の張力比

Tg : 地線の最大使用張力

Tw : ワイヤー延線張力

Wg : 地線単位重量

Ww : ワイヤー単位重量

S : 設計荷重径間

Σtanδ : 垂直角

C : 金車重量

② 電力線腕金の場合

$$P = (K \cdot T \cdot \Sigma \tan \delta + Wc \cdot S) + C \quad (7)$$

ただし

T : 電線の最大使用張力

Wc : 電線の単位重量

C : 金車重量

その他は地線腕金の場合と同じ

図-8に組合せ荷重を示す。地線腕金はPgのみとし, 電力線腕金は, 隣接2点のPの組合せで決まる最大荷重に耐えるものとする。

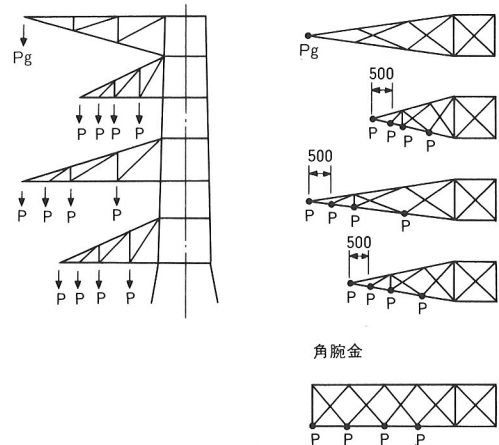


図-8 架線作業時の組合せ荷重

(6) 斜面移動圧検討

地表面より最大積雪深以下の支柱材に対して, 斜面上に推積した雪の移動圧による強度検討を行う。

積雪荷重

$$Hw = H \cdot P \quad (8)$$

ただし H : 最大積雪深(m)

P : 積雪全層平均密度(t/m³)

全移動圧

$$P = 4 Hw^2 \quad (9)$$

単位当り移動圧

$$W = P / H \quad (10)$$

曲げモーメント

$$M = \frac{Wl^2}{10} \quad (11)$$

ただし, l : 支柱材の部材長

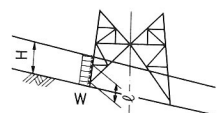


図-9 斜面移動圧

(7) 片側腕金取付時の検討

電力線腕金が片側のみに取付いた状態での偏心荷重に対する検討である。荷重点は塔体外腕金の中心とする。

検討荷重条件は以下の通り

W_1 : 上腕金重量 (塔体外片側) $\times 1.5$

W_2 : 中 " "

W_3 : 下 " "

垂直荷重: 鉄塔自重のみ

風圧荷重: 風速30m/sとし等価風圧(高温季)
 $\times (30/40)^2$

対応強度は常時許容応力対応とする。

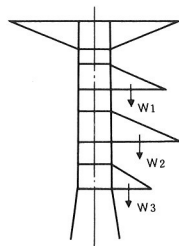


図-10 片側腕金取付時の腕金重量

6. 片継脚設計

本システムは基本結構と設計荷重及び片継脚の組合せを入力すると、プログラム内で自動結構、自動部材決定するシステムである。

a) 基本結構

最下節の基本結構はブライヒ結構、変形ブライヒ結構とする。

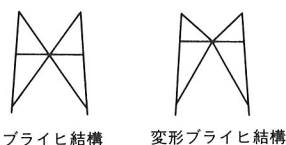


図-11 基本結構

b) 割込数の決定

片継脚ゼロの場合の基準脚を基本とし、基準脚の座屈長さを超過させないことを原則として、継脚が伸びるにしがたい割込数を増やす。

c) 通し水平材

ブライヒ交点水平材より数えて第1番目の水平補助材の位置に挿入する。さらに水平補助材が続く場合、ブライヒ交点より奇数番目の水平補助材位置に通し水平材を挿入する。ただし、通し水平材が最大積雪深の中にある場合は通し水平材は設けない。

d) 振止め材

1面内で相隣れる片継脚の差が3m以上ある時、最下の通し水平材から数えて、短脚側は1番目の水平材位置と、長脚側は2番目の水平材位置とを結ぶ振止め材を挿入する。振止め材のL/R低減のため、経済性を考慮し、

長大なものには、振止め材の1/2の点に振止め補助材を入れる。

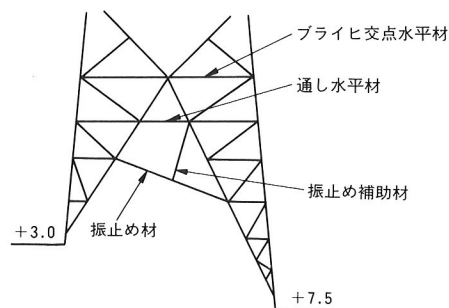


図-12 振止め材

e) 応力算定

各片継脚の主柱材応力は平脚の場合の応力に各片継脚の増加重量を加算する。(ただし引揚力には考慮しない。) 腹材応力は、一面内で相隣れる片継脚の応力が最大となる組合せで、図-13の様な解法で算定する。主柱材の細長比低減のための補助材(図-13 太線部分)の応力は、上記で求めた主柱材応力の2%で決定する。

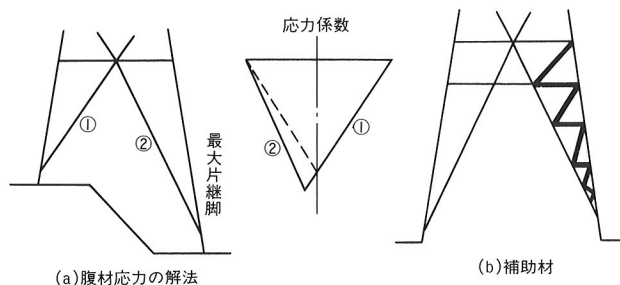


図-13 片継脚の応力算定

f) 全体座屈の検討

エネルギー法による全体座屈の理論解析および模型実験の結果に基づき検討する。検討フローを図-14に示す。

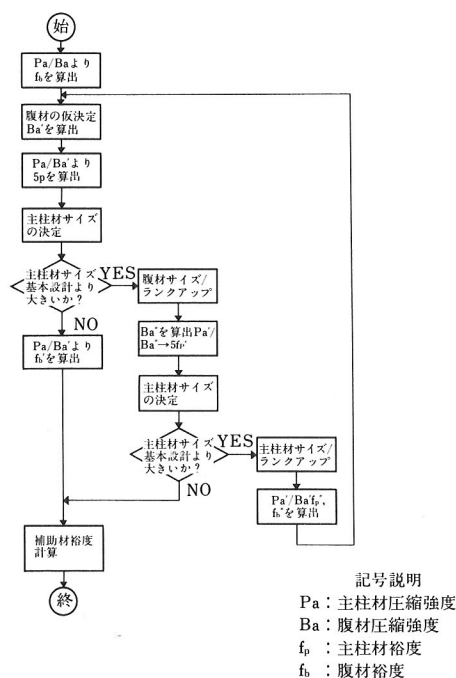


図-14 全体座屈の検討フロー

水平単位荷重による腕金応力係数

AY 1cm=0.4

7. 設計出力例

表-2 設計条件の出力例

設 計 条 件	
項 目	単 位
公 称 電 圧	kV
回 線 数	
荷 重 径 間	m
水 平 角 度	度
垂 直 角 の 影 響	+0.3
種 類	ACSR 610mm ² ×2
材 質	Al 54/3.8+St 7/3.8
外 径	mm
自 重	kg/m
最大使用力	kg/条
力 低 温	kg/条
種 類	OPGW 110mm ²
材 質	AS 12/3.6+AS 9/SB+OP 1/6.0
外 径	mm
自 重	kg/m
最大使用力	kg
力 低 温	kg/条
種 類	280mm ² -コンタクト型けんすいがいし
個 数	個/道
重 量	kg/道
風 圧	kg/道
鉄 塔	kg/m ²
骨 力	kg/m ²
架 装	kg/m ²
水 (比 重)	mm
重 量 (1 間)	kg/m
風 重	kg/面
場 重	kg/間
場 風	kg/間
設 計 深 さ	m
雪 降 深 さ	m
設 計 風 速	kg/m

1) 設計風速および700に風圧は点凍害の
 場合、低風速は1/2とする。

2) 付加風荷重

a. すずり(風側) FB 50×9
 b. すずり(地盤側) 1.65×6
 c. すずり(風側)サード+1材
 1.65×6 M16-1

3) 風食先端荷重

a. 風食断面積 500kg
 b. 地盤断面積 250kg

4) 覆雪厚は、280mmのコンタクト型
 けんすいがいし、1階層1.2m

考

表-3 想定荷重表の出力例

想定作業量(kg)										
積算重量	架設機重量	垂直方向重量	積算重量	枕金重量	枕金重量	水平方向重量	貫索時重量	貫索時重量	貫索時重量	貫索時重量
Wt	Wc	+ Va	Ht	Hta	He	Ha	P ₁	q ₁		
1 冊	1 冊	1 冊	1 冊	1 冊	1 冊	1 冊	1 冊	1 冊	1 冊	1 冊
	194	428	186	767	788	149	1,425	5,904	90	
630	471	518	311	684		299	181	1,725	7,146	98
1,240	1,444	1,380	445	537	3,140	482	2,760	7,749		
1,376	2,189	1,500			2,299	524	3,000	8,423		
1,500			255							
			269							
1,650			411	566						
2,850	1,440	1,380	598	1,067	3,140	482	2,760	9,934		
3,050	2,189	1,500	350		2,299	524	3,000	10,737		
3,270			468	283						
4,110	1,444	1,380	775	554	3,140	482	2,760	5,627		
	2,189	1,500			2,299	524	3,000	8,333		
4,500			725	817	768					
4,960		5,010	854							
	5,090		1,045		932					
5,550		5,700	1,040		(1,570)	1,119				

(注) 1) 1段・高温季荷重
2) 1段・低温季荷重
3) 付帯設備の重量・風圧はWt・Htに含む。
4) Wt・Htの()は載下側の重量を示す。

表-4 塔体応力表の出力例

部材 番号		応力係数						高温季応力																									
								σ ₁ の方向による										σ ₂ の方向による															
		Wt						We				Va				Hs				Hc				Hx				Ht					
		G	C1	C2	C3	ΣC	Ex	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C				
																		Y X1.0		Y X0.2		G X0.2		Hs X0.5		Hc X0.5		Hx X0.5		Ht X0.5			
																		0.838		3.140													
1	0.35						1.72	0.43	0.19		0.43		0.20	0.42		0.43		0.36		0.31	0.22												
2	1.59						3.72	1.24	0.19	0.44	0.138	0.45	1.57	0.31	1.25		0.74		0.74	0.74													
3	2.47	0.47					4.74	1.37	0.19	0.44	0.138	0.45	1.12	0.31	1.55	1.48	1.79	1.58	1.46	1.46	1.11												
4	3.23	1.35					1.35	1.26	0.59	0.144	0.138	0.027	6.17	0.95	2.55	2.44	3.27	2.39	1.91	2.18													
5	0.91	2.13					2.13	1.39	1.65	0.149	0.143	0.005	6.21	1.24	3.68	6.49	4.88	2.31	2.71	5.02													
6	4.62	2.94					2.94	2.91	2.85	0.128	0.285	0.476	4.71	7.68	1.69	2.04	4.13	7.15	3.99	2.73	6.92												
7	5.27	3.98	0.38				4.07	2.74	3.65	0.248	0.476	0.218	6.16	10.11	2.44	4.13	12.78	9.86	5.31	2.11	9.98												
8	4.76	4.85	1.10	0.59			2.94	2.37	0.248	0.476	0.278	7.55	7.29	10.11	2.44	4.13	12.78	9.86	5.31	2.11	9.98												
9	5.46	4.81	1.02	0.64			2.43	1.91	0.248	0.476	0.278	7.55	7.29	10.11	2.44	4.13	12.78	9.86	5.31	2.11	9.98												
10	6.47	5.19	2.50	0.50	0.89		3.29	2.25	0.450	0.476	0.476	0.476	16.72	3.34	5.34	25.72	19.96	6.86	3.83	19.29													
11	6.43	5.35	3.08	1.20	0.92		1.88	1.46	0.476	0.476	0.476	0.476	14.18	4.17	3.67	5.07	30.83	23.19	9.10	6.89	23.21												
12	6.39	5.47	3.55	2.11	1.13	1.60	5.55	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.04	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21												
13	6.36	5.58	2.94	2.73	1.23	1.35	6.36	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.47	26.43	10.42	7.36	28.45											
14	6.36	5.58	4.29	3.25	1.30	1.15	7.47	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
15	6.31	5.75	3.57	3.69	1.60	1.18	5.83	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
16	6.42	5.36	2.14	1.48	1.59	1.46	5.69	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
17	6.38	5.53	3.40	2.34	1.54	1.51	5.93	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
18	6.32	5.63	4.31	3.00	1.27	1.24	7.25	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
19	6.35	5.72	4.47	3.54	1.33	1.34	6.81	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
20	6.30	5.79	4.73	3.94	1.46	1.48	6.88	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
21	6.42	5.55	2.10	1.43	0.86	1.16	5.79	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
22	6.33	5.49	2.60	2.00	1.129	1.15	5.79	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
23	6.35	5.40	2.82	2.04	1.10	1.10	6.40	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											
24	6.33	5.70	3.47	3.38	1.45	1.11	5.79	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	14.17	17.09	3.94	5.07	35.45	27.09	9.85	7.86	26.21											

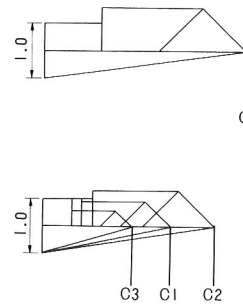


図-15 腕金クレモナ図の出力例

表-5 腕金応力表の出力例

部 材 名	腕金 番号	応 力 係 数			高 温 季 応 力										
		AY	AX	AZ	We		Va		Hc		Ha		P2		
					G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	
主 材	材	G	3.68	0.50	1.53	0.59		1.31		0.39		0.07		10.49	
		C1	2.36	0.51	1.16		3.35		3.20		1.60		0.25		13.03
		C2	3.14	0.51	1.49		4.30		4.11		1.60		0.25		17.33
		C3	1.69	0.52	1.10		3.18		3.04		1.63		0.25		9.33
吊 材	材	G			1.61	0.62		1.38							
		C1			1.26		3.64		3.48						
		C2			1.57		4.53		4.33						
		C3			1.20		3.47		3.31						
対 角 材		G	1.11											3.16	
		C1	0.64												3.53
		C2	0.92												5.08
		C3	0.39												2.15
塔体内腕金主材		G	1.82		1.51	0.59		1.29					5.19		
		C1	1.15		1.13		3.26		3.12						6.35
		C2	1.55		1.47		4.25		4.06						8.56
		C3	0.81		1.05		3.03		2.90						4.47
腕金側面水平材		G	0.79	0.07	0.21	0.08		0.18		0.06		0.01		2.25	
		C1	0.45	0.11	0.25		0.72		0.69		0.35		0.05		2.48
		C2	0.65	0.08	0.24		0.69		0.66		0.25		0.04		3.59
		C3	0.28	0.16	0.33		0.95		0.91		0.50		0.08		1.55
吊材正面水平材		G			1.51	0.59		1.29							
		C1			1.13		3.26		3.12						
		C2			1.47		4.25		4.06						
		C3			1.05		3.03		2.90						
吊材側面水平材		G			0.23	0.09		0.20							
		C1			0.23		0.66		0.63						
		C2			0.22		0.64		0.61						
		C3			0.31		0.90		0.86						

8. あとがき

本システムは北陸電力㈱の275kvの越前線に適用し、関係各位から御好評を戴いた。本文は誌面の制約もあり、川田技報Vol.3の報告と共通事項は省略した。

なお、本システムの開発にあたり送電用鉄塔の設計手法ならびにプログラムの作成全般に渡り御指導を賜りました北陸電力㈱福井基幹送電線建設所送電課の皆様には、御礼を申し上げます。又、プログラム作成に当っては、㈱システムエンジニアリングの松原誠氏に協力を得た。

参考文献

- 1) 電気学会：送電用支持物設計標準JEC-127-1979，電気書院，1979。
- 2) 電気学会：送電用鉄塔設計標準JEC-127-1965，電気書院，1965。
- 3) 北陸電力㈱：架空送電線路設計標準，1979。
- 4) 日本鉄塔協会：送電用鉄塔設計仕様，1969。
- 5) 北陸電力㈱：送電用鉄塔片継脚設計要領，1985。