

【プログラム紹介】

パソコンによる 送電用山形鋼鉄塔設計プログラム

Program of Steel Transmission Tower by Personal-Computer

藪 勉 *
Tsutomu YABU
 宮本 隆三 **
Ryuzo MIYAMOTO

1. まえがき

パソコン・コンピューターの略語であるパソコンは、近年の半導体技術の進歩により低価格化、高性能化が進み、本格的な機能を備えたコンピュータとして身近なものとなった現在、このパソコンの持つプログラム開発の容易さ、手軽な対話形式で使用できること等の操作性の特徴を利用し、NECのPC-8000による架空送電線路を支持する鉄塔、つまり送電用鉄塔の合理的な設計システムの開発に着手した。

当設計システムはJEC-127「送電用鉄塔設計標準」に基づき、日本鉄塔協会「送電用鉄塔設計仕様」による手計算スタイルの出力形式を採用し、鉄塔の応力特性が一見して判断できるということに主眼をおいた。現在パソコンをPC-8800にレベルアップを行ない、さらに多様な鉄塔設計システムの開発及び漢字ROMの使用による見やすい出力にと計画中である。

今回、開発の途中段階として一般的な山形鋼の直線鉄塔、及び角度鉄塔の設計システムを完成させたので、以下当システムについて、その概要を紹介させていただく。

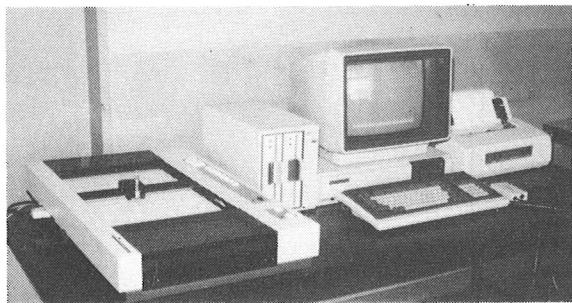


写真-1 パソコンのシステム構成

2. 送電用鉄塔

2-1 鉄塔の種類

鉄塔は一般に4角鉄塔と方形鉄塔に大別され、4角鉄塔とは4面同一強度で設計された断面正方形のもので、方形鉄塔とは電線路方向の両面と直角方向の両面が異なる

る強度で設計された断面長方形のものである。特別の場合を除き、各主柱それぞれ単独の基礎を有する。

2-1-1 標準鉄塔

標準鉄塔とは、その電線路の標準径間に対して設計されるもので、次の4種類がある。

1) 直線鉄塔

電線路の直線部分に使用されるものをいい、電線路にわずかの水平角度がある箇所にも使用するため、水平角度を3度として設計するもの。

2) 角度鉄塔

電線路に水平角度がある箇所に使用されるもの。

3) 引留鉄塔

架空地線および電力線の全架渉線を引留める箇所に使用されるもの。

4) 耐張鉄塔

電線路を補強するために使用されるもの。

2-1-2 特殊鉄塔

特殊鉄塔とは、川越・谷越などの長径間箇所に使用するもの、その他特殊の箇所で、標準鉄塔を使用することができない箇所に適用するような特殊の設計によるもの。

2-2 鉄塔の形状

鉄塔の形状は一般に公称電圧、回線数、径間長、水平角度、架空地線及び電力線の種類、がいしの種類、荷重の大きさ、地形、地質等各種の条件によって定まる。

3. 適用鉄塔

3-1 鉄塔の種類

前節に述べた鉄塔の種類において、一般的な4角鉄塔の標準鉄塔について適用できるものとした。

3-2 鉄塔の構造

塔体部について、日本鉄塔協会「送電用鉄塔設計仕様」

* 川田工業株富山本社鉄塔プロジェクトチーム係長 ** 川田工業株富山工場鉄塔プロジェクトチーム

による側面及び平面補助材の組み方による。また、変形ブライヒ構造および鉄塔脚部の積雪による耐雪構造をも考慮する。

腕金部は合掌腕金形状とし、電線路が直角など複雑な構造については適用できないものとした。

3-3 設計条件

奇数回線による非対称腕金について考慮し、垂直偏心荷重応力の計算ができる。超高压および154KV4回線以上の鉄塔の直線および角度鉄塔ならびに塔高50m以上の鉄塔についても斜風に対する検討を行う。また、積雪による鉄塔脚部の耐雪設計も行う事とした。

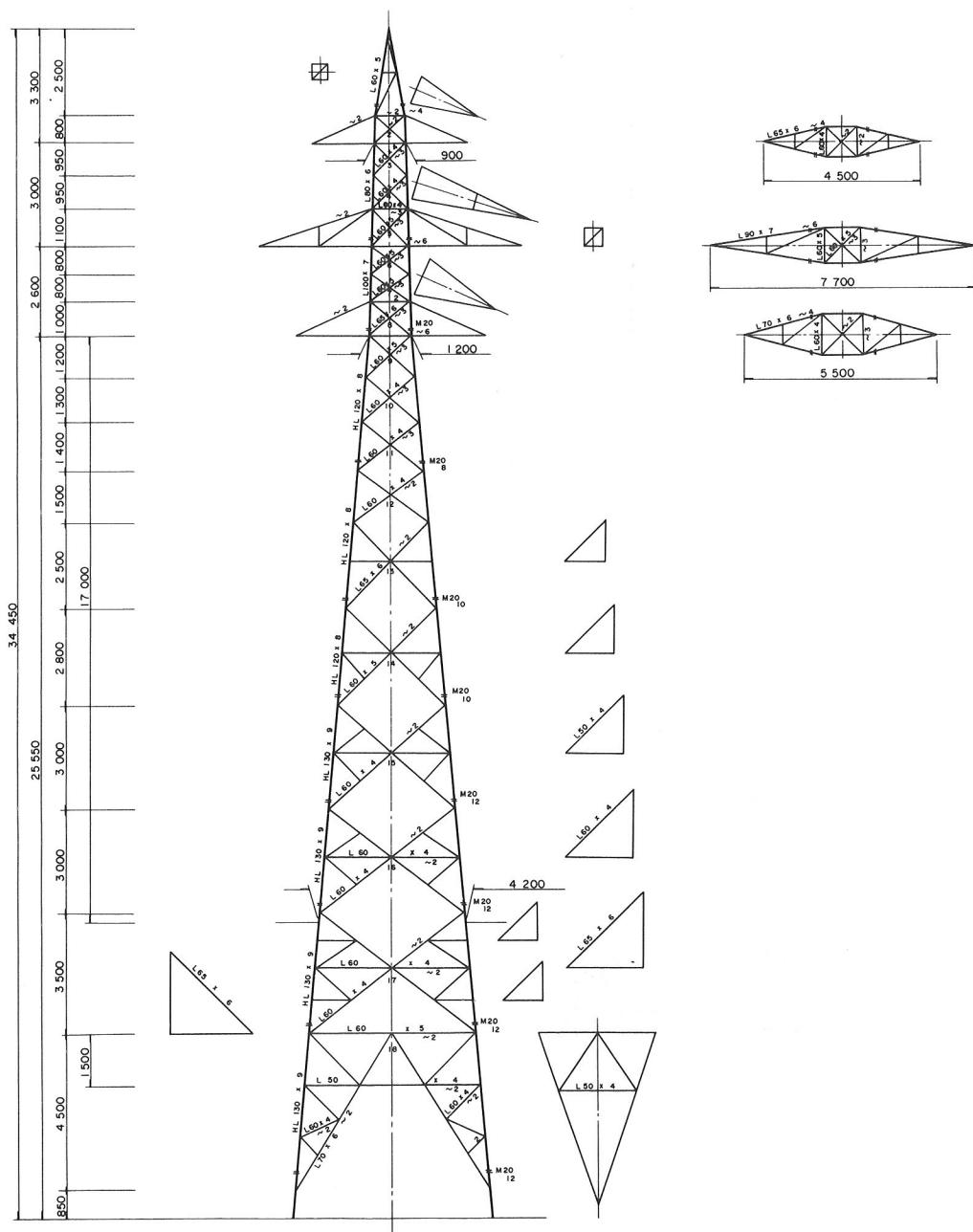


図-1 鉄塔構造図

4. システムの概略

本システムの流れは、図-2に示す様な各項目のプログラムにより構成されている。パソコンの使用により、処理能力の関係上、各項目の計算は細かく分割され、個々の項目プログラムごとにデータ・ファイルが作成される。したがって本システムは全てデータ・ファイルを介しチーン化されている。

流れとして大別すると

- 1) 入力
 - 2) 想定荷重計算
 - 3) 応力計算
 - 4) 許容応力計算
 - 5) 耐雪設計
 - 6) 出力
- の各部分により構成される。

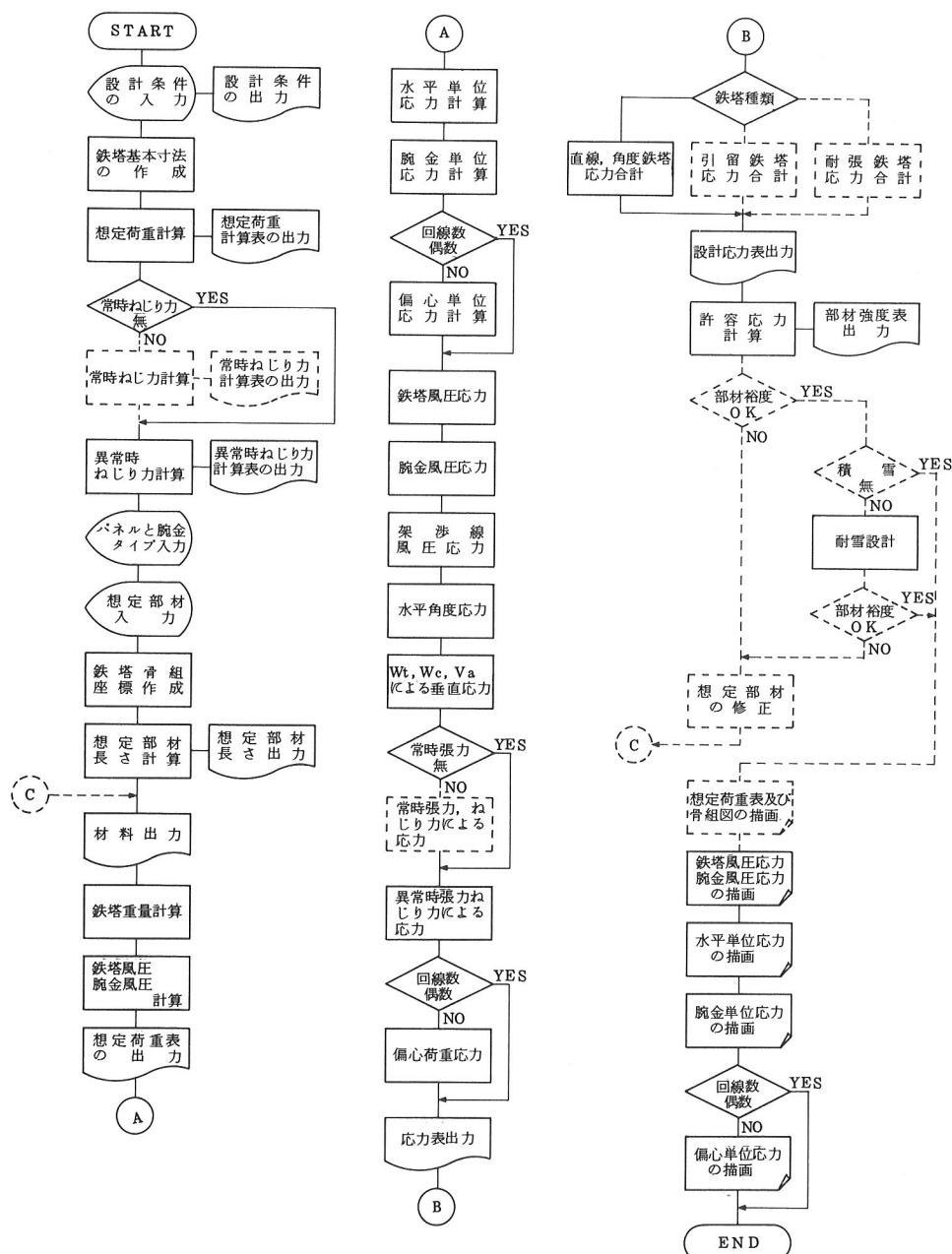


図-2 鉄塔設計フローチャート

4-1 入力

設計条件、鉄塔基本寸法及びあらかじめ想定した部材断面の入力を行う。入力部はパソコンの特徴を最大限に発揮する部分で、パソコンとのコミュニケーションにより入力データが目で確認できる。

4-2 想定荷重計算

1) 鉄塔重量

部材の形鋼重量と鋼板およびボルト重量との和とする。鋼板及びボルト重量は形鋼重量に対する比率とし、昇格レール及び踊り場等がある場合これを加算する。

2) 鉄塔及び腕金風圧荷重

鉄塔を構成する骨組面の傾斜を無視し、骨組1面のみの垂直投影面積に標準風圧値を乗じ、各節点に上下節点間の $\frac{1}{2}$ が作用するものとする。

3) 架渉線風圧荷重

垂直投影面積をとり、架渉線に被氷がある場合、被氷厚さにより架渉線の直径が増大したものとする。

4) その他

電線路に水平角及び垂直角がある場合の各分力、架渉線の切断によるねじり力及び架渉線の不平均張力等による荷重計算を行う。

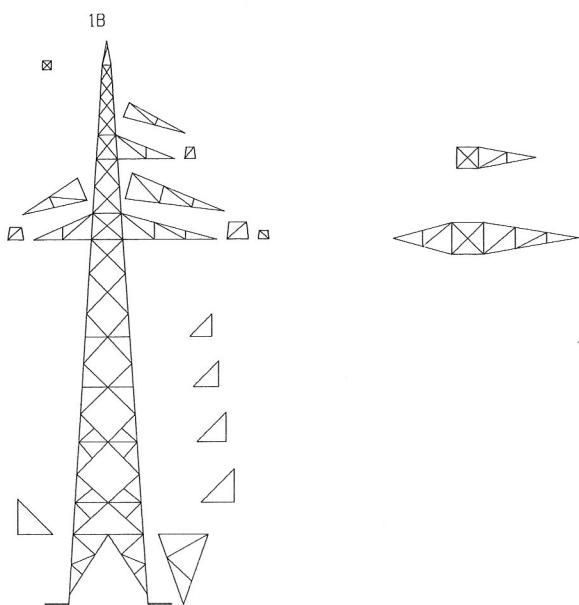


図-3 鉄塔骨組図

4-3 応力計算

部材の接合部はピン接合とし、応力算定に用いる構面は傾斜を無視し、鉛直面あるいは水平面に投影した面を用い平面トラスにおきかえて設計する。また応力の解法はクレモナ図法にて求める。

鉄塔風圧及び腕金風圧は想定荷重そのものを用いて設計し、その他のものは単位荷重に想定荷重を乗じる。

超高压および154KV4回線以上の鉄塔の直線および角度鉄塔ならびに塔高50m以上の鉄塔について斜風による強度検討を行い、主柱材には

- 1) 鉄塔風圧によるもの 90°風向時の1.6倍
- 2) 腕金風圧によるもの 0°風向時の0.5倍
- 3) 架渉線風圧によるもの 90°風向時の0.75倍

の応力を考慮し、腹材に対して影響を考慮しない。

以上の各応力の組合せにより、設計応力は高温季及び低温季のそれぞれについて、常時応力と断線による異常時応力の67%とを比較し、その最大値をとる。ただし腕金については常時応力と異常時応力の100%とを比較し大なる方をもって設計応力とする。

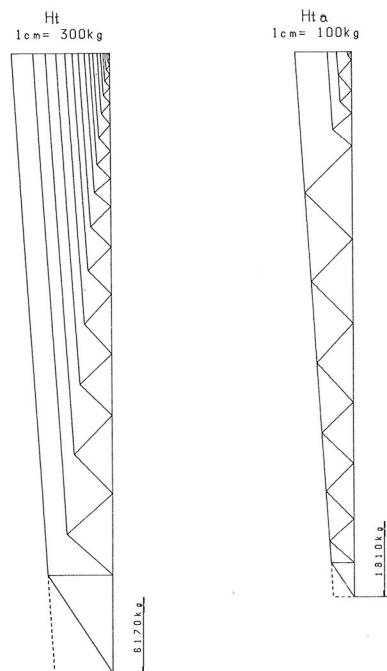


図-4 鉄塔風圧、腕金風圧応力図

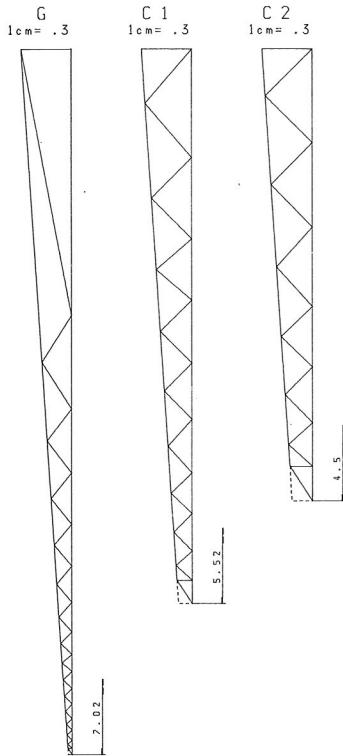


図-5 水平単位応力図

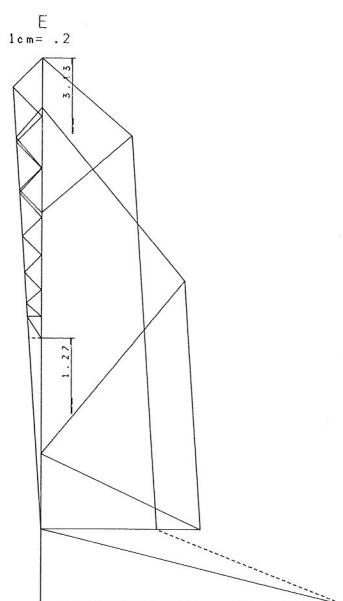


図-7 偏心単位応力図

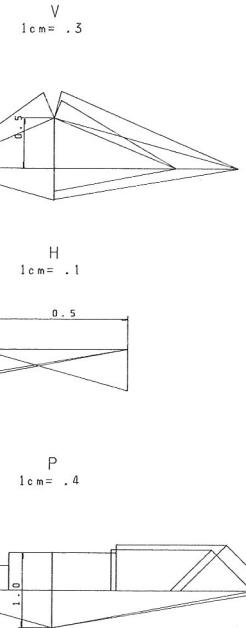


図-6 腕金単位応力図

No.	Ht Side	Hta Front	Hc G	p C	q C	Ha G	Va C	Wa C	Wt E
-----	------------	--------------	---------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

1	0.04		0.43		2.15		0.75		0.12 0.03 0.02	
2	0.08		0.49		2.48		0.86		0.12 0.03 0.04	
3	0.16		0.62		3.11		1.08		0.12 0.03 0.06	
4	0.28		0.71		3.56		1.24		0.12 0.03 0.08	
5	0.42		0.78		3.94		1.37		0.12 0.03 0.11	
6	0.60	0.01	0.84		4.24		1.47		0.27 0.13 0.19 0.93	
7	0.84	0.08	0.89	0.17	4.50		1.56	0.19	0.27 0.13 0.23 1.50	
8	1.11	0.17	0.93	0.47	4.71		1.63	0.53	0.27 0.13 0.28 1.30	
9	1.39	0.26	0.95	0.97	4.87		1.69	0.78	0.58 0.33 0.47 1.43	
10	1.73	0.47	0.89	1.18	5.00		1.74	1.34	0.58 0.33 0.52 1.55	
11	2.17	0.76	0.15	1.02	5.13		1.78	2.18	0.58 0.33 0.58 1.36	
12	2.70	1.04	0.21	1.04	5.25		1.82	2.95	0.58 0.33 0.67 1.18	
13	3.31	1.27	0.25	1.06	5.35		1.86	3.62	0.58 0.33 0.76 1.03	
14	4.01	1.46	0.29	1.08	5.44		1.89	4.17	0.58 0.33 0.87 0.90	
15	4.80	1.63	0.33	1.09	4.08	5.51		1.91	4.65	0.58 0.33 1.01 0.80
16 K	5.20	1.70	0.34	1.10	4.26	5.54		1.92	4.85	0.58 0.33 1.18 0.75

1	0.04		0.09		0.44		0.15		
2	0.06		0.06		0.32		0.11		
3	0.08		0.05		0.26		0.09		
4	0.10		0.04		0.21		0.07		
5	0.14	0.02	0.00	0.04	0.18		0.06		0.88
6	0.18	0.07	0.01	0.03	0.22	0.73	2.31	0.06	0.25
7	0.19	0.05	0.01	0.03	0.18	0.58	1.85	0.04	0.20
8	0.22	0.08	0.02	0.02	0.15	0.48	1.53	0.04	0.17
9	0.28	0.22	0.04	0.02	0.55	0.68	2.33	0.03	0.63
10	0.33	0.20	0.04	0.02	0.49	0.60	2.08	0.03	0.56
11	0.40	0.18	0.04	0.02	0.44	0.54	1.87	0.03	0.51
12	0.44	0.14	0.03	0.01	0.36	0.44	1.51	0.02	0.41
13	0.54	0.13	0.03	0.01	0.33	0.40	1.37	0.02	0.37
14	0.60	0.11	0.02	0.01	0.27	0.33	1.13	0.02	0.31
15	0.64	0.08	0.02	0.01	0.19	0.24	0.81	0.01	0.22
16 H	0.64	0.08	0.02	0.01	0.19	0.24	0.81	0.01	0.22
K	1.17	0.14	0.03	0.01	0.34	0.42	1.44	0.02	0.39

A C1		0.32	5.58		0.36	0.77	0.50						
A C2R		0.32	6.11		0.36	1.15	0.75						
A C2L		0.33	3.85		0.37	0.73	0.48						
T C1					0.82	0.54							
T C2R						1.19	0.77						
T C2L						0.79	0.51						
D C1					1.58								
D C2					1.76								
CT	6.17	1.81	0.36	1.11	4.54	5.66		1.94	5.17	0.58	0.33	1.18	0.67
G	0.98	0.19	0.04	0.08	0.47	0.51	1.76	0.14	0.53				
BB	0.64	0.08	0.02	0.01	0.17	0.21	0.70	0.01	0.19				0.05

図-8 応力出力例(高温季応力)

4-4 許容応力

4-4-1 訸容座屈応力

圧縮部材の有効座屈長さ l_k は一般に部材支持点間長さ l の 0.9 倍とし、許容座屈応力度はその有効細長比に応じて次式で計算する。

$$0 < \lambda_k < A \quad \sigma_{ka} = \frac{\sigma_Y}{1.5} \left[k_0 - k_1 \left(\frac{\lambda_k}{\pi \sqrt{E/\sigma_Y}} \right) - k_2 \left(\frac{\lambda_k}{\pi \sqrt{E/\sigma_Y}} \right)^2 \right]$$

$$A \leq \lambda_k \quad \sigma_{ka} = \frac{1}{2.2} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_k^2}$$

$$\text{ただし } A = \pi \sqrt{\frac{1.5 E}{2.2 k \cdot \sigma_Y}}$$

ここに σ_Y : 材料の降伏点応力度 (kg/cm^2)

σ_{ka} : 許容座屈応力度 (kg/cm^2)

λ_k : 有効細長比 $\lambda_k = l_k/r$

l_k : 部材の座屈長さ (cm)

r : 部材断面の回転半径 (cm)

E : ヤング率 $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

A : λ_k の境界値

k, k_0, k_1, k_2 : 構造および部材の断面形状

によってきまる係数

4-4-2 訸容引張応力

許容引張応力はボルト孔を控除した断面積に許容引張応力度を乗じたものであり、次式で計算する。

両フランジ接合 $(A - n \cdot d \cdot t) \sigma_t$

片フランジ接合 $(0.75 A - n \cdot d \cdot t) \sigma_t$

ここに σ_t : 材料の許容引張応力度 (kg/cm^2)

A : 部材の断面積 (cm^2)

n : ボルトの控除本数

d : ボルトの控除孔径 (cm)

ボルト径 + 2.5 mm とする。

t : 部材の厚さ (cm)

4-4-3 ボルトの許容応力

1) 訸容せん断応力

ボルトのねじの有効径による断面積に許容せん断応力度を乗じたもの。

2) 訸容引張応力

ボルトのねじの有効径と谷径の平均値による断面積に

許容引張応力度を乗じたもの。

3) 訸容支圧応力

ボルトのねじの有効径による支圧面積にボルト及び部材の許容支圧応力度を乗じたもの。

4-5 耐雪設計

沈降力は垂直方向に等分布荷重として部材に作用するものと考え、等分布荷重による曲げ材としての検討を行う。沈降力による最大曲げモーメントの計算式は

$$M = \frac{W l^2 \cos^2 \theta}{k}$$

ここで M : 最大曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)

W : 沈降力 (7 kg/cm)

l : 部材長さ (cm)

θ : 部材の傾斜角

k : 部材の支持条件によって定まる係数

圧縮力と曲げモーメントとが同時に作用する場合の断面算定式は

$$\frac{\sigma_{ca}}{\sigma_{ka}} \cdot \frac{N}{A} + \frac{M}{Z} \leq \sigma_Y$$

ここで σ_{ca} : 訸容圧縮応力度 (kg/cm^2)

σ_{ka} : 訸容座屈応力度 (kg/cm^2)

N : 圧縮力 (kg)

A : 部材断面積 (cm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)

Z : 部材断面係数 (cm^3)

σ_Y : 部材の降伏点応力度 (kg/cm^2)

4-6 出力

出力形式は日本鉄塔協会「送電用鉄塔設計仕様」に基づき

1) 設計条件

2) 想定荷重計算表

3) ねじり力換算表

4) 想定荷重表

5) 応力表

6) 設計応力表

7) 部材強度表

をプリンタにて出力させ、そしてプロッタにて骨組図と鉄塔及び腕金風圧応力図そして各単位応力図を描画させる。

5. システムの特徴

44年7月。

まえがきにも述べたように、本システムの最大の特徴はパソコンの特徴を生かしたことである。したがってパソコンの利点を上げれば

- 1) 陳腐化に対する危険度が小さい。
 - 2) プログラム開発が容易に行える。
 - 3) ユーザーの手元に置いて対話形式で使える。
 - 4) 多彩な周辺機器が安価に接続できる。
 - 5) 設置場所による制約がほとんどない。
 - 6) 故障が少なく、ほとんどメンテナンスの必要がない。
- 等が考えられ、短所である処理能力の制約がかえって細分割されたプログラムの独立性を生み、他のプログラムの制約を受けずに修正でき、また単独に計算することも可能である。

また鉄塔設計の面について述べると

- 1) 技術力の蓄積がはかれる。
- 2) 鉄塔の応力特性が一見して判断できる。
- 3) 手計算スタイルの出力の為、チェック業務が容易である。
- 4) チェック機構の分散がはかれる。
- 5) 将来、設計標準、基準の改正に対し対応が容易に行える。

の以上が挙げられる。

6. あとがき

まえがきにも述べたように、現在直線及び角度鉄塔について完成しており、今後引留及び耐張鉄塔についてもトータル的に完成を目指している。また別システムとして特殊鉄塔、さらに鋼管鉄塔の設計システムを考えて行きたい。今後の開発状況については次の機会に報告したいと考えている。

なお、本システムの開発にあたり送電用鉄塔の設計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㈱工務部運営担当課長の瀬川栄一氏、同富山支店送電担当片山隆修氏ならびに関係各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) J E C - 1 2 7 (1 9 6 5),
電気学会、「電気規格調査会標準規格：
送電用鉄塔設計標準。」
- 2) 日本鉄塔協会：「送電用鉄塔設計仕様」，昭和