

九州大学 工学部 正員 小 坪 清 貞
 九州工業大学 正員 〇 高 西 照 彦
 九州大学 工学部 正員 園 田 敏 矢
 九州工業大学 今 田 久 仁 生

1. まえがき

近年、我国においては、電力の需要はますます増加する傾向にあり、特に、大きな都市においては一層それが著しいようである。一方、発電所の建設場所についてみると、火力発電所においてはその公害防止の点から、原子力発電所においてはその安全性の点から、それらを都市からはるかに遠く離れた所に選ばなければならなくなっている。このような事情から、大容量の電力を遠隔地に送電することが必要になり、そのため、送電鉄塔はますます大型化しつつある。しかし、現在までに、この種の鉄塔に対して、その耐風及び耐震安全性に関する検討はあまりなされていないのが現状である。本論は、超高速電鉄塔の合理的な耐震設計法に関する基礎的資料を得ることを目的として、南九州幹線鉄塔群の一つであるNO.240鉄塔を選び、まずその振動特性の解析を行い、つぎに、地震応答解析を行って、この種の鉄塔の動的モデル化並びにその耐震性について検討を加えたものである。

2. 振動特性の解析理論

2.1. 送電鉄塔の概要 解析の対象とした鉄塔を図-1に示す。鉄塔は懸垂型で、高さは100m、送電電圧は500KVである。基礎は平坦ではなく、CD柱はAB柱より1.5m長い。

2.2. 解析上の仮定及び境界条件 本鉄塔の動的解析に際して採用した仮定は、次の通りである。(i)鉄塔をトラス構造と考える。(ii)ボルト、ガセットプレート等の重量及び踊場などの付帯設備の重量は、いずれも近接のトラス構成部材の重量に加算する。(iii)各部材の重量はその1/2を両節点に集中させる。(iv)鉄塔の3次元解析に際しては、立体トラスとして不安定な構成部材はすべて取除く。(v)鉄塔の4つの支点はx, y, zの3方向の変位を拘束する。

2.3. 解析方法 本論においては、図-1に示す送電鉄塔を(i)立体トラスとして3次元解析し、その結果を(ii)架線にそれぞれ平行及び直角な構面に対して、これを平面トラスとして2次元解析した場合のそれと比較し、種々の検討を行った。図-1に示すような鉄塔を立体

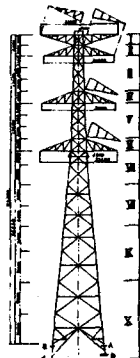


図-1 送電鉄塔

トラスとして厳密に3次元動的解析を行うことは、取扱う未知変数の多さ(約1000)のため、現在的大型計算機を用いるとしても非常に困難である。したがって本解析においては、部分構造法⁽¹⁾を利用して解析を行うことにした。本方法によれば、非常に少い未知変数を用いて比較的精度の高い解析を行うことができる。

2.4. 地震応答計算法 前節に述べた部分構造法を用いて、図-1に示す送電鉄塔に対する非減衰自由振動の振動方程式を導き、これを解いて固有円振動数 n_s 、振動型 U_{xis} が得られれば、この鉄塔が地震を受けたときの各節点の変位応答 U_{xi} は、次式によって求めることができる。

$$U_{xi} = \sum_{s=1}^N U_{xis} \xi_s, \quad (x = x, y, z, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad N: \text{節点変位の総数}) \quad (1)$$

$$\ddot{\xi}_s + 2h_s n_s \dot{\xi}_s + n_s^2 \xi_s = -\beta_{xs} \ddot{\phi}_x - \beta_{ys} \ddot{\phi}_y - \beta_{zs} \ddot{\phi}_z \quad (2)$$

ここに、 h_s は ϕ S次の減衰定数、 $\ddot{\phi}_x$ は入力地震波のx成分、 β_{xs} は $\ddot{\phi}_x$ に対するS次の刺激係数である。刻々の $\ddot{\phi}_x$, $\ddot{\phi}_y$, $\ddot{\phi}_z$ が与えられれば、式(2)の振動方程式を解いて ξ_s を求めることができる。 ξ_s が得られれば、式(1)より鉄塔の各節点の変位 U_{xi} を算出することができる。ところで、上述のような直接積分法による応答計算はその精度は高いが、この方法に従うと変位応答などの最大値を得るための計算量が非常に多くなり、それがこの計算法の欠点の1つである。これに反して、応答スペクトル法に従えば、各種応答の置大値の確率論的な平均値を非常に簡単な計算によって求めることができる。したがって、本論では応答スペクトル法によって図-1に示す送電鉄塔の地震応答計算を行った。

※S次の振動に対する加速度応答スペクトルを S_{as} とすれば、例えば鉄塔がX方向に地震波を受けたとき、節点iにおけるX方向の応答変位及び絶対加速度の最大値は、 $(U_{xi})_{\max}^x = \sqrt{\sum_{s=1}^S (\beta_{xs} U_{xis} S_{as} / n_s^2)^2}$ ----- (3)

$$(\ddot{U}_{xi} + \ddot{\phi}_x)_{\max}^x = \sqrt{\sum_{s=1}^S (\beta_{xs} U_{xis} S_{as})^2}$$
 ----- (4)

により与えられる。同様にして、部材Mの最大応答値は ----- (5)

$$(\sigma_M)_{\max}^x = \sqrt{\sum_{s=1}^S (\beta_{xs} \sigma_{Ms} S_{as} / n_s^2)^2}$$

ここに、 σ_{Ms} ：部材Mの応力モード。

3. 数値計算

解析は鉄塔に架線が張られていない場合について行った。鉄塔モデルは、図-7に示すように10個の部分構造に分割した。各部材の縦弾性係数はすべて等しく $2.1 \times 10^3 \text{ t/m}^2$ とした。地震応答の計算は、強さ100 galの地震波が架線方向(X方向)に入力する場合と架線直角方向に入力する場合について行った。なお、節点総数は264、部材総数は738であった。

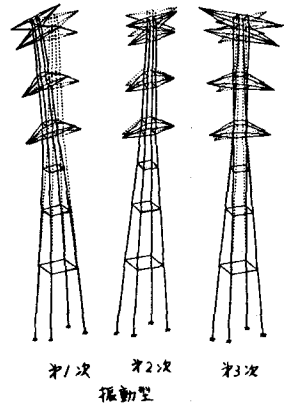
2次元及び3次元解析に対する鉄塔の固有振動数を表-7に示す。同表には常時微動の測定によって得られた実測値をも記している。3者の結果はよく一致しているといえる。図-2に3次元解析により得られた鉄塔の振動型を示した。図-3は2次元及び3次元解析によって得られた振動型と実測によって得られたそれとを比較して示した。実測値と計算結果はいずれもよく一致しているといえる。

2次元及び3次元解析のそれぞれの場合に対して、応答スペクトル法による地震応答解析を行った。応答スペクトルとしては新耐震設計法(案)(建設省土木研究所昭和52年)中の加速度応答スペクトル曲線を用いた。応答計算に際して採用した固有振動次数は、3次元解析の場合オ1次～オ8次、2次元解析の場合オ1～オ3次である。減衰定数は3次元の場合オ1次～オ3次が0.01、オ4次以上は0.005、2次元の場合オ1次が0.01、オ2次以上は0.005とした。結果の一例を図-4、5に示す。図-4は架線直角方向入力に対する架線直角方向の変位の最大応答値を表わしている。図-5は架線方向入力に対する支柱材の応力の最大応答値を表わしている。いずれの場合も2次元解析の結果と3次元解析の結果とはよく一致しているといえる。以上の結果から、動的解析についても、2次元解析の有用さの1例が示されたことになる。

(1) 小坪・高面・鳥野・松下：高橋脚3スパン連続トラス橋の地震応答特性，土木学会論文報告集NO.266, 1977.10.

表-1 鉄塔NO.240の固有振動数(Hz)

NO.	(a) 3次元解析 節点自由度	(b) 2次元解析 架線直角方向	(c) 2次元解析 架線方向	(d) 実測値	(e) 3次元解析 ラニマン	(f) 備考
1	1.079			1.14	1.119	架線直角方向1次
2	1.087	1.090		1.12	1.107	架線直角方向2次
3	2.179			2.06	2.210	オオ北1次
4	2.153		2.966	2.91	3.035	架線直角方向2次
5	3.175	3.192		3.20	3.252	架線方向1次
6	4.731			4.34	4.994	オオ北2次
7	5.561		5.551	4.95	5.494	架線直角方向3次
8	6.472	6.493		6.20	6.898	架線方向2次
9	7.472			—	7.757	オオ北3次



架線直角方向 1次元

架線直角方向 2次元

架線直角方向 3次元

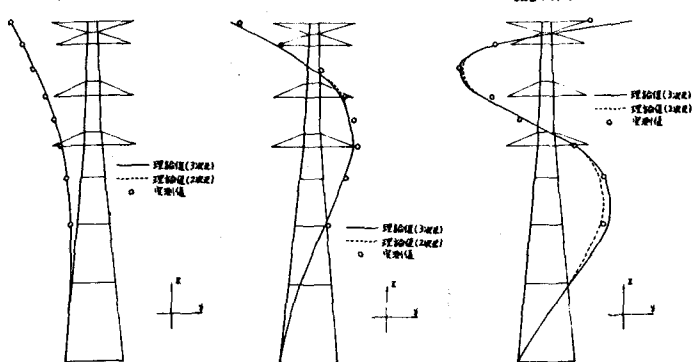


図-3 振動型(実測値と理論値との比較)



図-4 変位応答値

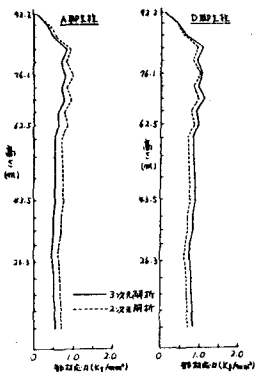


図-5 部材の応力応答値