

名古屋大学 工学部 正会員 鈴木 壽
 名古屋大学 工学部 学生員 ○菅井 径世
 名古屋大学 工学部 正会員 松尾 稔

1. はじめに 通常、鉄塔基礎に作用する荷重は、基礎が完全に動かない条件、すなわち固定支承条件下で計算される。しかし、大型現場実験の実測データからも明らかなように、荷重レベルが低いときでも、各脚にはそれぞれの荷重に相当する変位が生じている。したがって、厳密に言うならば、鉄塔基礎に作用する荷重の算定には、各脚の荷重～変位関係によって生じる荷重の再配分を考慮しなければならないはずである。この上部構造と下部構造の荷重と変位との斉合性を計った解析をここでは、上・下部構造一体解析システムと呼び、以下にその具体的な手法について述べる。

2. 基礎の荷重～変位関係について 文献1)では、道路公団および東京電力で実施された大型現場載荷試験データを整理し、水平、引き揚げ、圧縮荷重～変位関係のいずれもが次式のような指数関数式で表現できることを示した。

$$y = 1.0 - \exp(-B_i x) \quad (i = h, v, c) \quad (1)$$

ここに、 y は極限支持力に対する荷重 P_i の比 (P_i/R_i) であり、 x は変位 δ_i と根入れ深さの比 (δ_i/D_f) でいずれも無次元量である。また、同文献では の算定方法についても述べている。

3. 上・下部構造一体解析システム 図-1は斜面上に建設された懸垂型鉄塔の一部を示したものである。本来ならば鉄塔全体を立体トラスとした解析を行うべきであるが、図に示した以外の部分は解析結果に余り影響しないので地上から3パネルまでの構造体を想定した。風荷重はJEC-127に従って算定しており、図中のa')～d')の節点に作用する風荷重の値は表-1に示している。鉄塔を立体トラスと考えるならば次式のような剛性方程式が成立する。

$$\{F\} = [K] \{\Delta\} \quad (2)$$

ここに $\{F\}$, $[K]$, $\{\Delta\}$ はそれぞれ、節点力、剛性マトリックス、及び節点変位である。立体トラスの境界条件に注目すると、鉄塔4脚の基礎の変位はその基礎にある荷重が作用したときは式(1)のような関係があるので既知変位とみなすことができ、また、その時の上部構造の各部材の節点には未知変位が生じている。この条件を用いて式(2)を未知変位と既知変位に関する部分マトリックスに分割すると次式となる。

$$\begin{Bmatrix} F_\alpha \\ F_\beta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{\alpha\alpha} & K_{\alpha\beta} \\ K_{\beta\alpha} & K_{\beta\beta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta_\alpha \\ \Delta_\beta \end{Bmatrix} \quad (3)$$

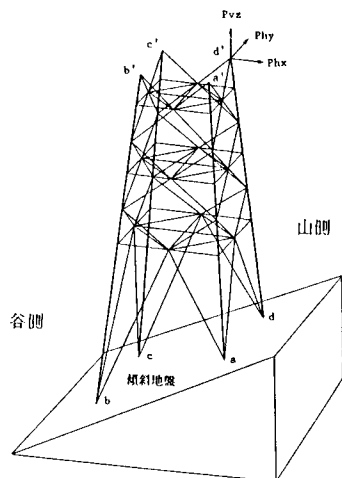


図-1 鉄塔の形状と作用荷重

ここに、 $\{F_{\alpha}\}, \{\Delta_{\alpha}\}$ はそれぞれ、

表-1 鉄塔に作用する荷重

既知な外力項（風荷重）と未知な変位項（基礎以外の節点変位）

正面向 水平荷重 $P_{hx} (t)$	側面向 水平荷重 $P_{hy} (t)$	鉛直荷重 a脚 (t)	鉛直荷重 b脚 (t)	鉛直荷重 c脚 (t)	鉛直荷重 d脚 (t)
42.42	14.98	377.9	-347.6	-167.6	557.4

を、また、 $\{F_{\beta}\}, \{\Delta_{\beta}\}$ はそれぞれ

未知な節点反力（基礎に作用する荷重）と既知な変位項（基礎の変位）を示している。通常の立体トラス解析では、鉄塔基礎を固定支承とするので $\{\Delta_{\beta}\}=0$ とすれば、 $\{F_{\beta}\}$ が容易に算定される。しかし、基礎に $\{F_{\beta}\}$ が作用するときには式（1）に相当する変位が生じているはずなので、このように基礎を固定支承と仮定するのは不合理である。したがって、以下に示すような計算を行う。つまり、 $\{F_{\beta}\}_i$ を式（1）に代入して $\{\Delta_{\beta}\}_i$ を算定し、その値を式（3）に代入して $\{F_{\beta}\}_{i+1}$ を求め、 $\{F_{\beta}\}_i = \{F_{\beta}\}_{i+1}$ であるかどうかを判定させる。もし、この条件を満たさない場合には、その誤差が許容範囲内になるまでこの計算を繰り返す。ここで算出される $\{F_{\beta}\}, \{\Delta_{\beta}\}$ はそれぞれ式（1）、式（3）を同時に満たしており、上・下部構造の荷重と変位の斉合性を計った解析結果となっている。

4. 数値計算例

図-2 は数値計算に用いた地盤条件と基礎体の形状を示している。地盤条件は実際の UHV ルートにおけるものを想定しており、また基礎体は直径 3.0m の拡底基礎とした。a～d 脚における地盤条件はすべて同一とし、根入れ深さ Df も 4 脚ともすべて等しい場合の計算を行った。図-3 は上・下部構造一体解析システムから得られた各脚に作用する荷重（反力）を示したものである。図中の表は鉄塔基礎を固定支承とした場合の計算結果である。図から、この解析システムによって計算された各脚の荷重は Df が大きくなるとともに基礎を固定支承として計算された値に近づいていくことがわかる。しかし、最もこれらの差が大きい Df=6.5m の場合には、a、b 脚で 55.9ton、c、d 脚で 54.3ton のような有意な差が生じることも確認される。

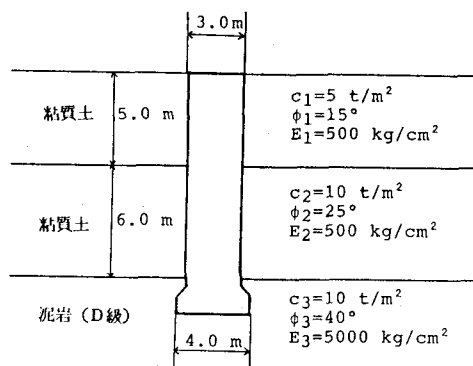


図-2 地盤条件と基礎体形状

	a脚	b脚	c脚	d脚
基礎を固定支承とした場合	R_c -514.07	R_y 259.40	R_y 326.95	R_c -492.31

ただし、引掛け荷重を正とする

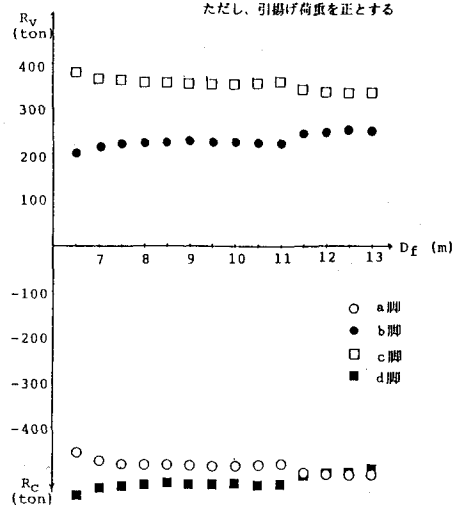


図-3 上・下部構造一体解析システムによる数値計算結果

5. おわりに 本報告では計算を簡略化するため地盤を図-2 に示すような水平地盤としたが、実際の UHV ルートにおける傾斜地盤ではもっと基礎が変形しやすい状況もあり得るので、この上・下部構造一体解析システムが必要となるケースも考えられる。

参考文献 1) 鈴木、菅井、松尾：深層基礎の荷重～変位関係について。第 41 回年次学術講演会概要集 第 3 部 pp117～118 2) 送電用支持物設計標準 (JEC-127-1979)。電気書院。昭和 54 年