

送電鉄塔基礎の挙動について—上下部構造一体設計の観点から—

名古屋大学 正員 松尾 統

名古屋大学 学生員 O 大山 耕二

1. はじめに: 「上下部構造のバランスのとれた設計」ということがよく言われる。ただし, 具体的な方法論としてではなく, 抽象的な表現としてである。本研究は, この重要な命題を具体的に解明するための最初の試みである。ここでは送電用鉄塔を具体例として取り上げ検討する。

2. 基本的な考え方: 上下部構造のバランスのとれた設計は, 上, 下部構造をそれぞれ別々に設計する従来法では達成されえない。両者を一体として, システム的に考えなければならぬ。その方法として基本的に次のように考える。まず上, 下部構造をつなぐ共通の尺度として不同変位を考える。図1に示すように, もし大きな不同変位を許し得るとするならば, 下部構造の建設費は小さくすむ(例えば小さな基礎で済む)。これに対し, 上部構造ではより大きな二次応力に耐える必要から, その建設費は高くなる(例えば断面積の増大)。したがって, 構造物全体に関する費用曲線は下に凸となり, いま仮に費用最小の評価基準を用いるならば「費用最小点」として上下部構造のバランス設計が具現化される。なお, 具体的には以下に示すように破壊確率の概念が導入される。

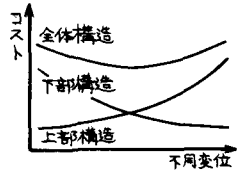
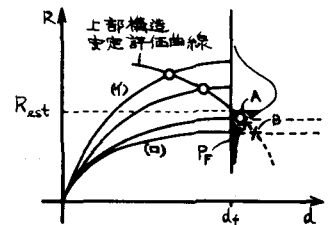


図1. 基本概念図

3. 送電用鉄塔の上下部構造一体設計: まず次の仮説を設ける。i) 上部構造の挙動は確率的に, 下部構造(基礎)の挙動は確率的に表わせる。(前者は後者に対して変位や強度のばらつきが程度が大幅に小さいから), ii) 基礎の引揚げ抵抗力を R , 対応する引揚げ量を d とすると, $R \sim d$ 関係は双曲線に近似できる(4-1参照), ただし, ある引揚げ量 d_f に対応する最大抵抗力 R_{max} が存在し, $d > d_f$ では $R = R_{max} = \text{一定}$ とする, iii) 4脚の基礎は同一形状, 同一寸法で, かつ平均的にみて同一の地盤に埋設されていると考え, 同一の $R \sim d$ 曲線と有するとする。仮説i) より, 鉄塔全体の破壊確率は結局基礎の破壊確率 P_f に等しくなるから, 以下に P_f の求め方を検討する。

図2. P_f の求め方

基礎の形状や寸法が定, たとしても, 埋戻し土の強度や変形特性が現実にはばらつくから, その $R \sim d$ 曲線は種々想定される(図2参照)。例えば, 一定の荷重に対し曲線(a)は(b)に比べて変位ははるかに小さい。したがって, 基礎が曲線(a)に従, て挙動したならば上部構造は破壊しない場合でも, もし(b)の挙動が現実に出現したならば, 上部構造は破壊することが起こりうる。いまある変位量で上, 下部構造が釣り合い, 上部構造が安定状態を保, た場合, その点を図2の $R \sim d$ 曲線上にO印で示す。い, ばう, 変形が大きくなって上部構造がついに破壊する場合の点をX印で示す。このようにすると, これらの点を結んだ線は図2のように右下りの連続した曲線となる。この曲線を上部構造安定評価曲線(実線が非破壊部分, 点線が破壊部分)と呼ぶことにする。さて, $R \sim d$ 曲線の変化にもかかわらず, R_{max} に対応する変位 d_f は一定と仮定する。このようにすると, 上部構造安定評価曲線と $d = d_f$ 線との交点以下に R_{max} を有する基礎は, 上部構造がまだ破壊していない場合(例えば図の点A), 破壊してしまっている場合(図点B)のい

れにかかわらず、すでに破壊してしまっていることになる。仮説1)より基礎の破壊前に上部構造が破壊してはならない。そこで、鉄塔全体の一体設計の観点からすれば、上部構造安定評価曲線の非破壊部分が $d=d_f$ 線と交わるような上下部構造の組合せを考え、そしてその交点以下に R_{max} を有する基礎の破壊確率 P_R と鉄塔全体の破壊確率とすればよいことになる。

4 送電用鉄塔基礎の挙動：すでに述べたことからわかるように、本設計法では基礎の破壊特性と究明することが基本となるので、以下においてはこの点に主眼を置いて考察する。上下部構造一体とした解析を行なう場合、下部構造において必要な事項は、i) $R-d$ 関係の法則性の発見、ii) R_{max} と d_f に関する法則性の発見とである。さらに設計という観点からは、設計変数である基礎床板幅 B 、基礎の埋設深さ D 、および条件変数である土の粘着力 C 、せん断抵抗角 φ 、単位体積重量 γ と、上記i) ii)との関係も必要である。

4-1, $R \sim d$ の関係： $R \sim d$ の関係を見つめるため、過去に行われた多くの現場実験を再整理した。その結果図3のように $R \sim d$ 関係は双曲線関数 $\frac{d/D}{R/BD} = a + b \times d/b$ で近似できることがわかった。また双曲線関数を規定するパラメーター a 、 b と土質諸係数 C 、 φ 、 γ との相関は認められなかった。

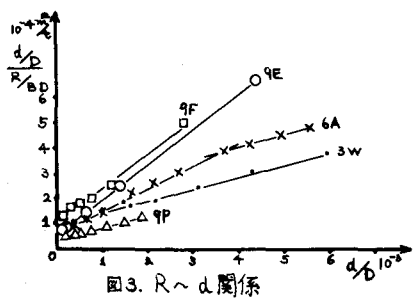


図3. $R \sim d$ 関係

4-2, R_{max} と d_f ： R_{max} については松尾の式がある。そこでこの式を用い、設計変数 B 、 D 、条件変数 C 、 φ 、 γ に関して次のように感度分析を行なった。 C 、 γ は独立、 $\tan \varphi$ と γ は $\tan \varphi = A \gamma + B$ の関係があるとして、土質諸係数の分布形をそれぞれ固定（松尾論文⁶⁾中のSoil 2）した場合 B 、 D を変化させて、 R_{max} の分布形を調べた。また d_f については過去における現場実験を整理した。得られた

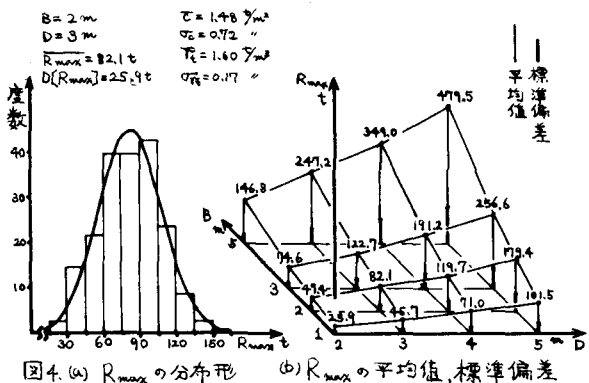


図4. (a) R_{max} の分布形 (b) R_{max} の平均値、標準偏差

結果を結論的に列挙すると以下のとおりである。
i) R_{max} は正規分布に従う（図4(a)）、ii) R_{max} の平均値は B 、 D の増大につれて大きくなる（図4(b)）、iii) R_{max} の変動係数は B の増大につれて小さくなるが、 D に関してはあまり変うなかった、iv) d_f については、 φ の限定された範囲で D と d_f が線形の関係にあることが予想される

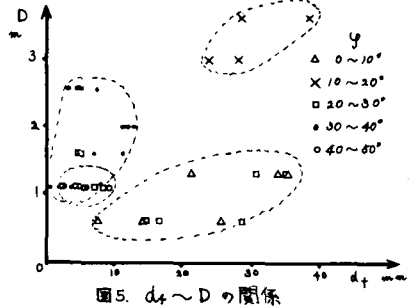


図5. $d_f \sim D$ の関係

他の分析結果や上部構造安定評価曲線については、講演時に報告する。

参考文献 1) 松尾：最新土質実験；森北出版，P 108 2) 6) 松尾，黒田；土木学会論文集，208号，PP 63～73 3) 青木，福本；土木学会論文集，201号，P 39 4) 星谷：確率論的手法による構造解析；鹿島出版，PP 128～144 5) 電気学会：送電鉄塔設計標準；電気書院，PP 58～60