

第 18 話 電柱はどこから折れるだろうか

2008 年 4 月 24 日 作成

萩原芳彦

写真 1 は拙宅の前の電柱である。見てわかるように左にしまっている。これは左の方にある隣の電柱から引っ張られ、右側には引っ張るべき電柱がないためである。写真 2、3 のように、電柱の表面にいくつもの亀裂ができています。危ないのではないかと思います、2 年ほど前に東京電力に電話をしたら、写真 4 の様な補強がなされた。果たしてこれで安全なのだろうか。



写真 1 左にしまっている電柱

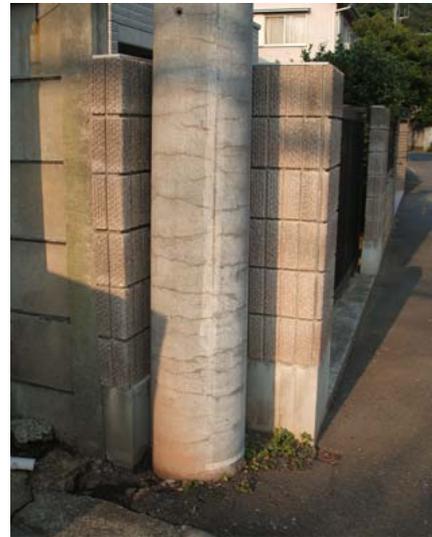


写真 2 引張り側には亀裂が多数ある



写真 3 圧縮側には亀裂はない

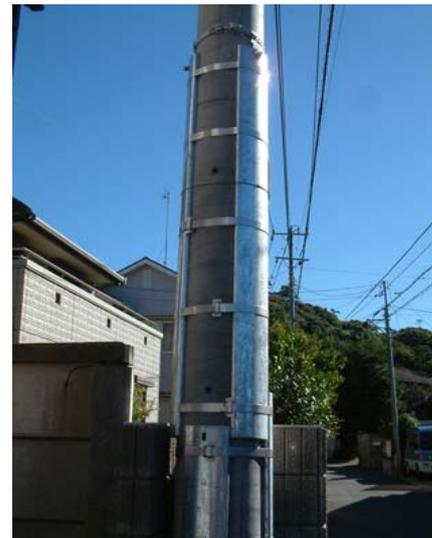


写真 4 補強された電柱

電柱は地面に近い方が太く、先端に近づくほど細くなっている。これは、図 1(a)のように電柱が電線やワイヤーによって隣の電柱から力 P で引っ張られ、曲げを受け、片持ちばりの状態になる場合を想定してのことであろう。例えば、片持ちばりに集中力が作用した場合の曲げモーメントは集中力の作用位置 A からの距離に比例して増加し、図 1(b)のように分布する。地面での固定部分 B では電柱の高さを l とすれば $M = Pl$ なる曲げモーメントを生ずることになる。このようなことなどを考慮し、曲げモーメントが大きくなる、電柱の下端部ほど直径を太くしてあるのであろう。

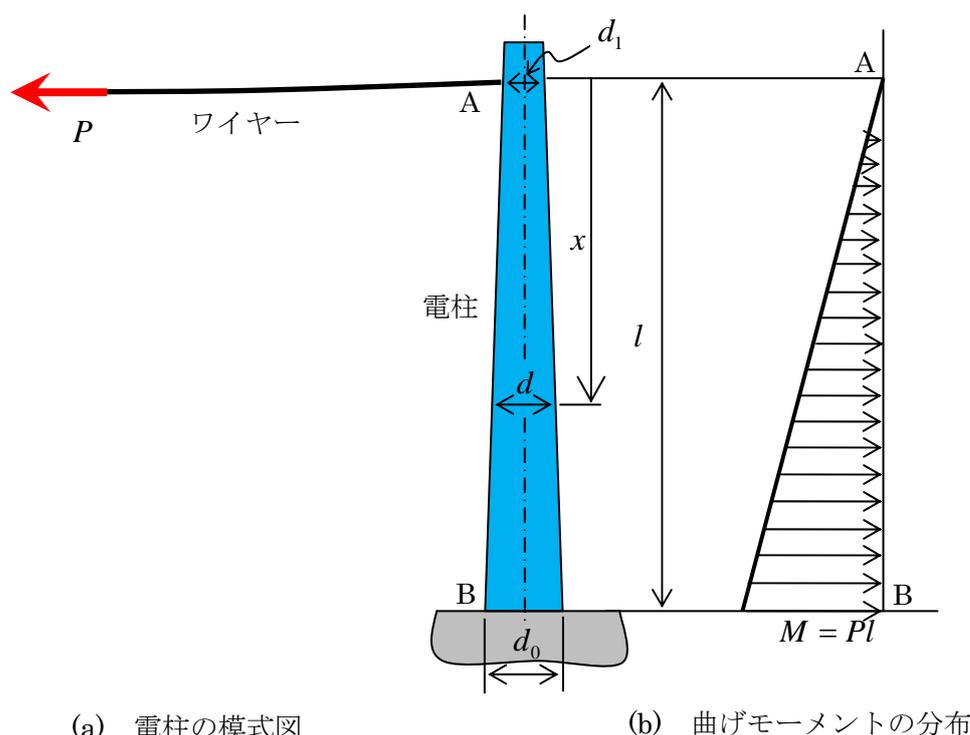


図 1

では、電柱の太さはどのように変化していればよいのであろうか。電柱の自重の影響も厳密にはあるが、曲げ応力についてのみ考えてみよう。

はりの最大曲げ応力 σ は、

$$\sigma = \frac{M}{Z} \tag{1}$$

で表わされ、曲げモーメント M に比例し、断面係数 Z に反比例する。そこで曲げモーメント M に合わせて断面係数 Z を上手に変化させ、はりのどの場所でも最大曲げ応力が同じになるようにする方法が考えられる。このようにして設計されるものが**平等強さのはり**である。平等強さのはりの形状は荷重条件や支持条件が異なれば様々に変化する。その数例は「よくわかる材料力学」においても 68 ページや演習問題に示してある。

図 1a の電柱を円形断面とし、平等強さのはりとして、どのような形状であればよいかを求めてみよう。その要点は以下のようになる。

下端 B の電柱の直径を d_0 、集中力 P が作用している場所 A から x の位置における直径を d 、許容応力を σ_a とすれば、どこでも最大曲げ応力が許容応力に等しくなるためには式(1)において、

$$\sigma_a = \frac{Pl}{Z_0} = \frac{Px}{Z_x} \quad (2)$$

が成り立たなければならない。電柱を円形断面とすれば、電柱の下端ならびに x における断面係数 Z_0 、 Z_x は、それぞれ、 $Z_0 = \frac{\pi d_0^3}{32}$ 、 $Z_x = \frac{\pi d^3}{32}$ となるので、式(2)に代入すれば、

$$d = d_0 \sqrt[3]{\frac{x}{l}} \quad (3)$$

が求まる。

また、最下端での直径 d_0 は

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{32Pl}{\pi\sigma_a}} \quad (4)$$

となる。

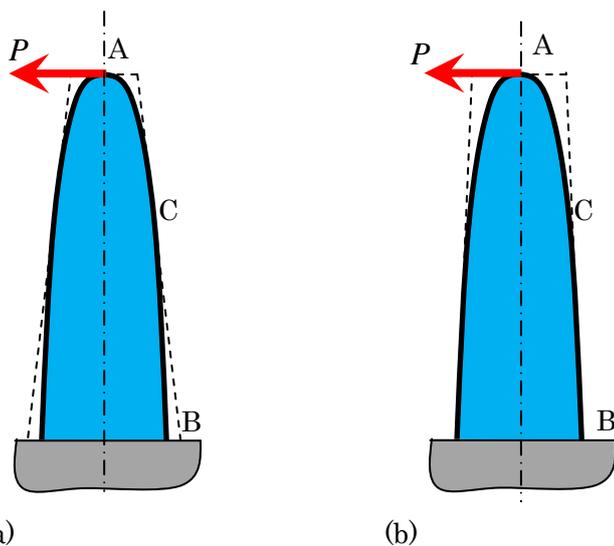


図 2

式(3)は直径 d が荷重点 A からの距離 x の 3 乗根に比例して変化することを示しており、概略の形状は図 2(a),(b)の実線のようになる。このような形状で電柱を製造すれば、電柱のどの場所でも最大曲げ応力は同じになる。しかし、このような製造は厄介であるので、図 2(a),(b)に点線で示した直線状に変化させて製造が普通は行われるであろう。このように直線近似で製造すれば、図 2(a)の場合には電柱の中間 C の近傍が一番弱くなり、図 2(b)の場合には下端に近いほど弱くなる。最悪の場合をどの位置に設定するかなどは設計者の判断によるであろう。もちろん実際の電柱は図 1 のように一つの荷重しかかからない状態で使われるとは限らないであろう。写真 2, 3 の亀裂は、見たところ下端から 2m ほどの区間において、ほぼ均等に入っているようにも思われるので、図 2(b)の状態に近いようである。

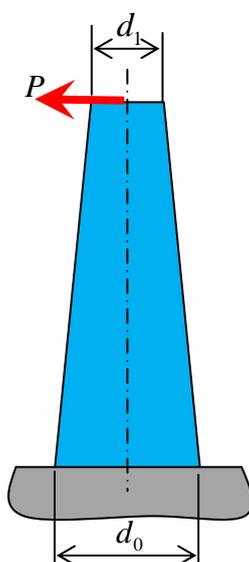


図 3

そこで、電柱の直径が図 3 のように、直線変化するものと仮定し、応力計算を行った。電柱の高さを 10m、負荷荷重 P を 1kN、最下端の直径を 300mm、荷重のかかる最上端（自由端）の直径を 300、250、200、150、100mm と変えた場合の最大曲げ応力の分布を求めたものが図 4 である。この図からわかるように、最上端の直径が 200mm（赤線）、すなわち最下端の 3 分の 2 程度以下となると、最大の曲げ応力は最下端よりも上の方に移行する。なお、ここでは負荷荷重やそれにより計算された最大曲げ応力が実際の電柱にとって適切な値であるか否かは問題にしておらず、どの位置で最大曲げ応力が大きくなるかのみを考えている。おそらく、東電ではより厳密な計算がなされているのであろう。

図 5 は目で見えてわかりやすくするため、有限要素法による解析結果の一例を示したもので、赤色に近いほど高い応力状態となっていることを表しており、最大応力がどのあたりに生ずるかを一目で判断することができる。

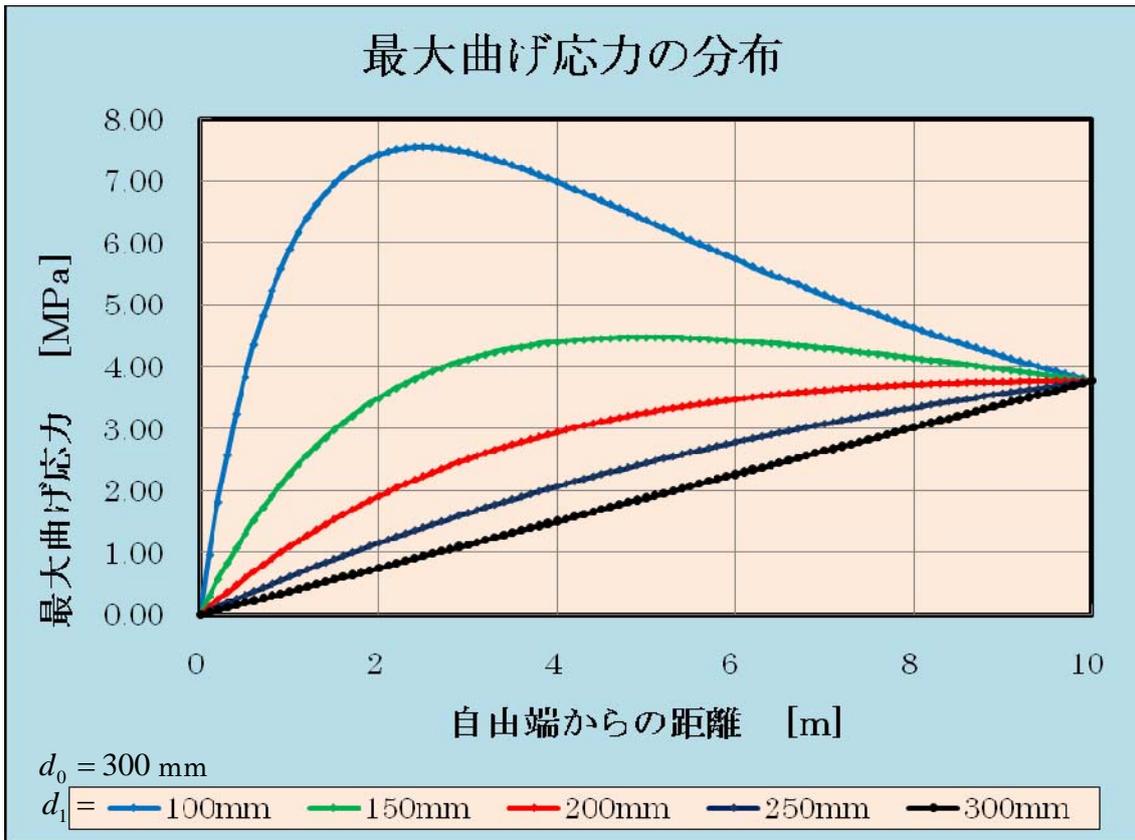


図 4

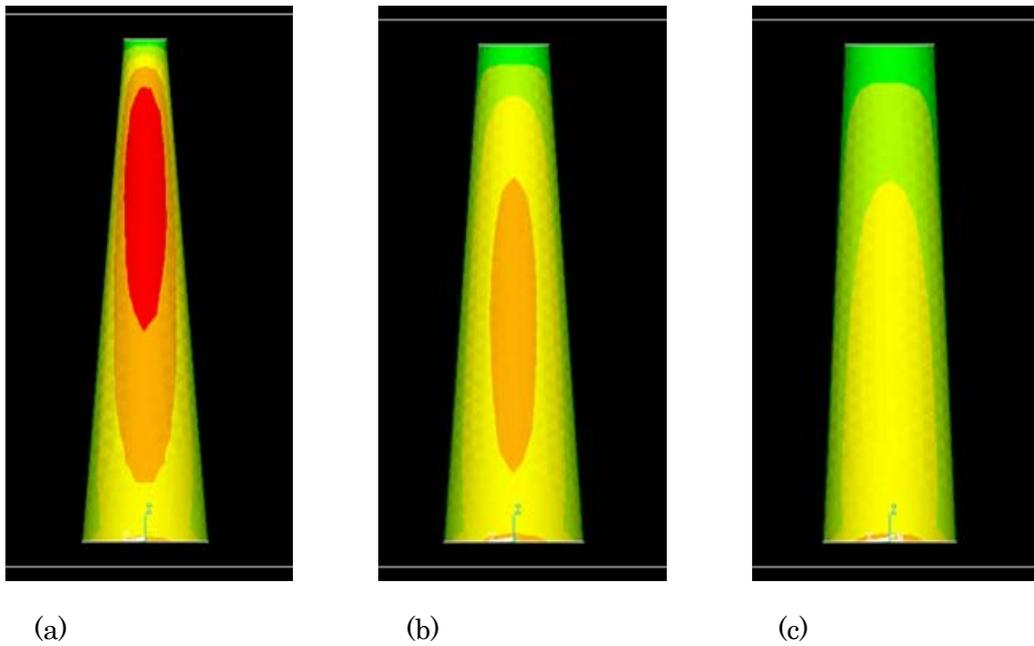


図 5 頂点（荷重負荷点）の直径を、(a)100mm (b)150mm (c)200mm とし、
 下端の直径はいずれも 300mm とした場合の有限要素法解析例

以上が、概略の計算結果であるが、図 1 から分かるように、曲げモーメントは接地位置で最大となり、写真 2,3 に示す電柱の亀裂の状況から、接地場所に近いところが最大の曲げ応力を受けていることは明らかである。実際の電柱は図 1 のように地面に固定されているのではなく地中に埋め込まれており、支持方法は図 1 と同じではない。また、地中にある部分の方が太いであろうから、地中部分で破壊することはないであろう。地表に出ている部分を観察する必要がある。

亀裂は開いていないため、内部の鉄筋がきいているのであろうが、不安は残る。なお、このことに気づいて後、電柱の地上から 1.5m のところでの塀との距離がやや変化しているようにも見受けられる。ほかの場所でもこのような補強がなされているのであろうか、あまり見かけない。図 5b のように最大の曲げ応力位置が電柱の途中になるように設計がなされており、ちょうど補強材の位置と一致しているのであれば補強効果はあるかもしれないが、2m 強ある亀裂部分全体を 1 枚の補強板で覆っているわけでもなく、微妙である。東電の人は折れても地上まで倒れないようなことも話していたが、塀の破損などの被害は出るのではないだろうか。心配である。