

多層地盤を考慮した大型送電用鉄塔基礎の引揚げ抵抗力算定法

名古屋大学 工学部 正会員 松尾 稔
名古屋大学 工学部 正会員 鈴木 壽

1. はじめに これまでの引揚げ抵抗力 R の算定には、松尾が提案した対数らせん法が用いられてきた。^(1,2)しかし、大型鉄塔基礎では鉄塔の規模からしても、かなり埋設深さ D_f が深くなると予想される。従って、 D_f が小の時には問題となっていなかった多層地盤において有効となる R の算定法が必要となる。そこで、次の二つの仮定を設けて、多層地盤における引揚げ抵抗力算定式を誘導する。1) 基礎体は軸対称構造物であり、水平地盤に埋設され偏心の無い鉛直引揚げ荷重を受ける。2) すべり面は円弧で地表面とすべり線とのなす交角を $(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2})$ とし、各層の境界面では連続であるとする。

2. 円弧すべり面による引揚げ抵抗力算定法

引揚げ抵抗力 R は基礎体重量 G 、すべり土塊の重量 W 、すべり面上に作用するせん断抵抗力応力の鉛直成分 R_t 、および床版側面と地盤の隆伏せん断抵抗力 R_f の和として求められる。すなわち、 $R = G + W + R_t + R_f \dots (1)$ である。この場合、 G と R_f は基礎体の形状によりただちに求まる値である。従って、引揚げ抵抗力算定法の誘導は W と R_t を求めることに帰着する。図-1 を参照にして以下この W と R_t を算定する。

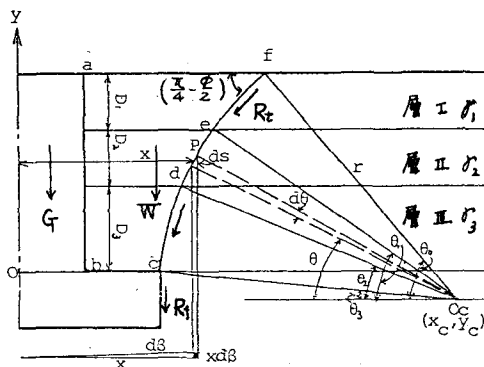


図-1 円弧すべり法による引揚げ抵抗力算定法

1) すべり土塊の重量 W の算定 すべり土塊の重量 W はすべり土塊の体積を求めれば算定できる。すべり土塊の体積 V はすべり面 $cdef$ を母線とし、 y 軸を回転軸とした回転体の体積を V_1 、基礎体柱体部の体積を V_2 とすれば $V = V_1 - V_2 \dots (2)$ である。 V_2 は基礎体の形状からただちに求まるので、 V_1 を求める。円弧で表わしたすべり線の式は、任意点 P の座標を (x, y) とすると、 $x = x_c - r \cos \theta$ 、 $y = y_c - r \sin \theta \dots (3)$ である。この式(3)を用いて V_1 を求めると次式となる。

$$V_1 = \pi \int_0^{D_2} x^2 dy + \pi \int_{D_2}^{D_2+D_3} x^2 dy + \pi \int_{D_2+D_3}^P x^2 dy = V_{13} + V_{12} + V_{11} \dots (4) \quad V_{13}, V_{12}, V_{11} \text{ はそれぞれ層 I, II, III 部分の体積である。}$$

$$V_{11} = x_c^2 r (\sin \theta_{i-1} - \sin \theta_i) - 2 x_c r^2 \left\{ \frac{\theta_{i-1} - \theta_i}{2} + \frac{1}{4} (\sin 2\theta_{i-1} - \sin 2\theta_i) \right\} + \frac{r^3}{4} \left\{ \frac{1}{3} (\sin 3\theta_{i-1} - \sin 3\theta_i) + 3 (\sin \theta_{i-1} - \sin \theta_i) \right\} \quad (i=1, 2, 3)$$

従って、基礎体柱体部の層 I, II, III に対応する体積をそれぞれ V_{21}, V_{22}, V_{23} とすれば、 W は次式で求められる。 $W = \delta_1 (V_{11} - V_{21}) + \delta_2 (V_{12} - V_{22}) + \delta_3 (V_{13} - V_{23}) \dots (5)$

2) せん断抵抗力応力の鉛直成分

力 R_t の算定 R_t を算定するにあ

って、簡単のために粘着力 $c=0$ の場合と粘着力 c のみの場合に分けて考えることにする。1) 粘着力 $c=0$ の場合 (R_{t1})

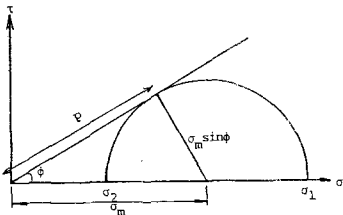


図-2 モールの応力円

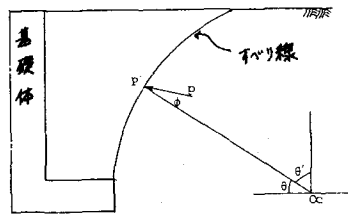


図-3 合力の作用する方向

塑性平衡状態において、平均主応力 σ_m とすべり線 α 方向を求めるKötterの方程式は次式のように導び

$$\begin{aligned} \cos\phi \frac{\partial \sigma_m}{\partial s_1} - 2\sigma_m \sin\phi \frac{\partial \theta}{\partial s_1} &= -\sigma \cos(\theta - \phi) & \text{ここに } \sigma_m \text{ は} \\ \cos\phi \frac{\partial \sigma_m}{\partial s_2} + 2\sigma_m \sin\phi \frac{\partial \theta}{\partial s_2} &= \sigma \sin\theta & \sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \quad \phi \text{ 内部摩擦角} \end{aligned} \quad (6)$$

図-2に微小要素 α の応力状態に関するMohrの応力円を示す。この図よりせん断抵抗力 P と σ_m の間には $\sigma_m \cos\phi = P$ なる関係が認められる。従って、式(6)は $\partial P / \partial s + 2P \tan\phi (\partial \theta / \partial s) = \sigma \sin\theta \dots (7)$

のように書き換えられる。すべり面上の微小区間の α の長さは図-1より、 $ds = r d\theta \dots (8)$ である

から、式(7)は $\partial P / \partial \theta + 2P \tan\phi = \sigma r \sin\theta \dots (9)$ となる。すべり面に働くせん断抵抗力 P は

すべり面に垂直な方向から中へ付傾いているから、円弧の中心 O_c を通る鉛直線と線 $O_c P$ と α なす角を θ' (図-3参照)とすれば、鉛直分力 P' は下向きを正として $P \cos(\theta' + \phi) = -P' \dots (10)$ となるので

これを式(9)に用いると、 $\frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \frac{P'}{\cos(\theta' + \phi)} \right\} + 2P' \tan\phi' / \cos(\theta' + \phi) = -\sigma r \sin\theta' \dots (11)$ となり、こ

の微分方程式を解けば、 $P' = F_1(\theta, \phi) \cos\phi' \cos(\theta' + \phi) + F_2(\theta, \phi) \sin\phi' \cos(\theta' + \phi) + F_3 e^{-2 \tan\phi - \theta'} \cos(\theta' + \phi) \dots (12)$ と

して P' が求まる。ここに、 $F_1(\theta, \phi) = \frac{1}{2} \sigma r / (4 \tan^2 \phi + 1)$ 、 $F_2(\theta, \phi) = -\left\{ \frac{1}{2} \sigma r / (4 \tan^2 \phi + 1) \right\} \cdot \tan\phi \dots (13)$ で

ある。また、 F_3 は各層の境界面で P' の大きさが連続であり、地表面で $P' = 0$ という境界条件より求め

$$\begin{aligned} F_3 &= -\exp(2 \tan\phi - \theta'_0) \{ F_1(\theta_1, \phi_1) \cos\theta'_0 + F_2(\theta_1, \phi_1) \sin\theta'_0 \} \\ F_3 &= \exp(2 \tan\phi - \theta'_1) \{ F_1(\theta_1, \phi_1) \cos\theta'_1 + F_2(\theta_1, \phi_1) \sin\theta'_1 + F_3 \exp(-2 \tan\phi - \theta'_1) - F_1(\theta_2, \phi_2) \cos\theta'_1 - F_2(\theta_2, \phi_2) \sin\theta'_1 \} \\ F_3 &= \exp(2 \tan\phi - \theta'_2) \{ F_1(\theta_2, \phi_2) \cos\theta'_2 + F_2(\theta_2, \phi_2) \sin\theta'_2 + F_3 \exp(-2 \tan\phi - \theta'_2) - F_1(\theta_3, \phi_3) \cos\theta'_2 - F_2(\theta_3, \phi_3) \sin\theta'_2 \} \end{aligned} \quad (14)$$

式(12)~式(14)で、せん断抵抗力 P の鉛直分力が求まる。これを、 R_{t1} は次式によって得られる。

$$R_{t1} = \int_0^{2\pi} d\theta \cdot r \left(\int_{\theta'_0}^{\theta'_1} P' x d\theta' + \int_{\theta'_1}^{\theta'_2} P' x d\theta' + \int_{\theta'_2}^{\theta'_3} P' x d\theta' \right) \dots (14)$$

ii) 粘着力 C のみの場合 すべり面上の微小線要素 ds 上に作用する粘着力は $C \cdot ds$ であるから、その鉛直成分は $C \cdot ds \cdot \cos\theta$ である。従って、粘着力による抵抗力の鉛直分力 R_{t2} はi)と同様にして次式で計算できる。

$$R_{t2} = \int_0^{2\pi} d\theta \left(\int_{\theta'_0}^{\theta'_1} C_1 ds \cos\theta \cdot x + \int_{\theta'_1}^{\theta'_2} C_2 ds \cos\theta \cdot x + \int_{\theta'_2}^{\theta'_3} C_3 ds \cos\theta \cdot x \right) \dots (15)$$

$$= R_{t21} + R_{t22} + R_{t23}$$

$$R_{t2i} = 2\pi \left\{ C_i x_c r (\sin\theta_{c,i-1} - \sin\theta_{c,i}) - C_i r^2 \left(\frac{\theta_{c,i-1} - \theta_{c,i}}{2} + \frac{\sin 2\theta_{c,i-1} - \sin 2\theta_{c,i}}{4} \right) \right\} \dots (16)$$

($i=1, 2, 3$)

i), ii)より、すべり土壌の重量 W がすべてすべり面上に作用するせん断抵抗力 P の鉛直分力 $R_t (= R_{t1} + R_{t2})$ が計算できる。これを Q と R_t を加えれば多層地盤での引揚げ抵抗力 R が計算可能となる。

3. おわりに 以上のように多層地盤における引揚げ抵抗力算定式を誘導したが、この式を検証するため図-4中にあるような2層地盤で対数らせん法と比較した。ただし、この対数らせん法に用いた強度は層厚 D_1, D_2 で重みをつけた平均値とした。この図から、上層が比較的強度の低い場合には両解法にはあまり差異がみられなかった。その他の計算結果は数値の都合上当日発表する。

4. 参考文献 1) 電通学会、送電用鉄塔基礎設計標準、JEC-127-1979, pp.122~126 2) 松尾 稔、送電用鉄塔基礎の引揚げ抵抗力について、土木学会論文報告集 第105号 昭和39年5月 pp.9~10.

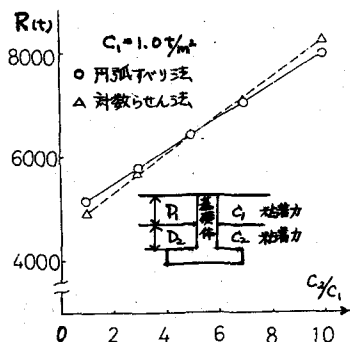


図-4 $C/c_1 \sim R$ 関係