

Ⅲ-A457

弱層を有する岩盤に定着する引張り型アンカーの弾性理論解と数値実験による支持力検討

中部電力㈱ 正会員 ○河村精一、上田稔
久野武紀、池田誠太
東海大学 正会員 オメル・アイトン

1. はじめに

近年、送電鉄塔建設のコストダウンへの要請から、岩盤斜面上にロックアンカー基礎を用いることが検討されている。著者らは、これに対して設計手法を提案し具体的に建設も行ってきた。しかし、現場ニーズとして定着する岩盤の表層が風化したり、途中に弱層（破碎帯など）がある場合、どのように扱ってよいのか迷うケースがある。

そこで、著者の一人が提案した単層モデルの弾性理論解¹⁾を2層モデルに拡張するとともに、表層が風化した岩盤に対して考察を行った。²⁾本論文では、弱層を有する岩盤を念頭に、3層モデルへ拡張したものを提案するとともに、数値実験により、従来の単層モデルで提案したアンカー支持力と3層モデルの支持力の関係について考察する。

2. 3層地盤に対するアンカーの弾性理論解導出

弾性理論解導出のためのモデルを図-1に示す。モデルは、軸対象として扱っている。

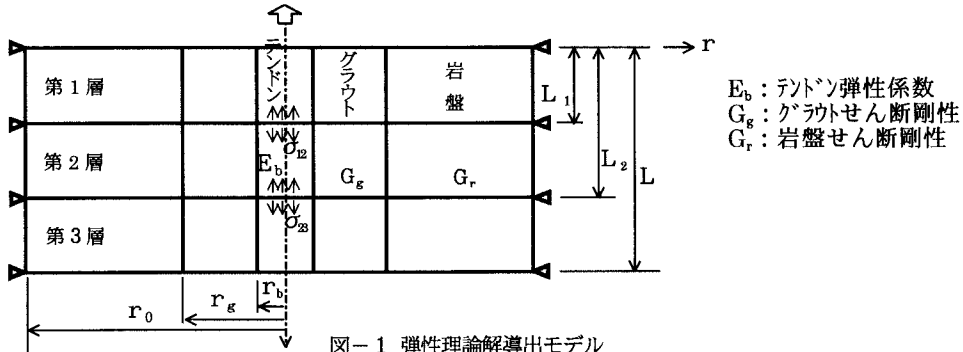


図-1 弾性理論解導出モデル

単層の場合の tendon において、

$$\text{釣合い式: } \frac{d\sigma_z}{dZ} + \frac{2\tau_b}{r_b} = 0 \quad \text{一般解: } \sigma_z = -\alpha E_b (c_1 e^{\alpha Z} - c_2 e^{-\alpha Z})$$

とあらわされる。ここに、

$$\alpha = \sqrt{\frac{2Kg}{E_b r_b}}, \quad Kg = \frac{G_g}{r_b \ln(r_g / r_b)} \left(\frac{\chi - 1}{\chi} \right), \quad \chi = \frac{G_r \ln(r_g / r_b)}{G_g \ln(r_o / r_g)} + 1$$

である。

この積分定数 C_1, C_2 は次の境界条件より求められる。

$$\begin{array}{lll} \text{第1層} & \sigma_z = \sigma_0 \quad \text{at } Z=0 & \text{第2層} \quad \sigma_z = \sigma_{12} \quad \text{at } Z=L_1 \\ & \sigma_z = \sigma_{12} \quad \text{at } Z=L_1 & \text{第3層} \quad \sigma_z = \sigma_{23} \quad \text{at } Z=L_2 \\ & & \sigma_z = 0 \quad \text{at } Z=L \end{array}$$

従って、C の右肩数字を層の番号として、

$$\begin{aligned} C_1^1 &= \frac{1}{\alpha_1 E_b} \cdot \frac{\sigma_0 e^{-\alpha_1 L_1} - \sigma_{12}}{e^{\alpha_1 L_1} - e^{-\alpha_1 L_1}} & C_1^2 &= \frac{1}{\alpha_2 E_b} \cdot \frac{\sigma_{12} e^{-\alpha_2 L_2} - \sigma_{23}}{e^{\alpha_2 (L_2 - L_1)} - e^{-\alpha_2 (L_2 - L_1)}} & C_1^3 &= \frac{1}{\alpha_3 E_b} \cdot \frac{\sigma_{23} e^{-\alpha_3 L}}{e^{\alpha_3 (L - L_2)} - e^{-\alpha_3 (L - L_2)}} \\ C_2^1 &= \frac{1}{\alpha_1 E_b} \cdot \frac{\sigma_0 e^{\alpha_1 L_1} - \sigma_{12}}{e^{\alpha_1 L_1} - e^{-\alpha_1 L_1}} & C_2^2 &= \frac{1}{\alpha_2 E_b} \cdot \frac{\sigma_{12} e^{\alpha_2 L_2} - \sigma_{23}}{e^{\alpha_2 (L_2 - L_1)} - e^{-\alpha_2 (L_2 - L_1)}} & C_2^3 &= \frac{1}{\alpha_3 E_b} \cdot \frac{\sigma_{23} e^{\alpha_3 L}}{e^{\alpha_3 (L - L_2)} - e^{-\alpha_3 (L - L_2)}} \end{aligned}$$

求められた積分定数には、未知数 σ_{12}, σ_{23} を含んでいる。ここで未知数 σ_{12} 及び σ_{23} は、1～2層境界及び2～3層境界において tendon 変位が連続であることから、

キーワード：ロックアンカー、岩盤、支持力、弾性理論、応力分布

〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1 中部電力㈱電力技術研究所構築 G Tel 052-621-6101

$$\sigma_{12} = \frac{A_{11}(A_{31} + A_{22})}{(A_{22} + A_{12})(A_{31} + A_{22}) - A_{21}^2} \sigma_0 \quad \sigma_{23} = \frac{A_{11}A_{21}}{(A_{22} + A_{12})(A_{31} + A_{22}) - A_{21}^2} \sigma_0 \quad \text{ここに、}$$

$$A_{11} = \frac{1}{\alpha_1 E_b} \cdot \frac{2}{e^{\alpha_1 L_1} - e^{-\alpha_1 L_1}} \quad A_{22} = \frac{1}{\alpha_2 E_b} \cdot \frac{e^{\alpha_2(L_2-L_1)} + e^{-\alpha_2(L_2-L_1)}}{e^{\alpha_2(L_2-L_1)} - e^{-\alpha_2(L_2-L_1)}} \quad A_{31} = \frac{1}{\alpha_3 E_b} \cdot \frac{e^{\alpha_3(L-L_2)} + e^{-\alpha_3(L-L_2)}}{e^{\alpha_3(L-L_2)} - e^{-\alpha_3(L-L_2)}}$$

$$A_{12} = \frac{1}{\alpha_1 E_b} \cdot \frac{e^{\alpha_1 L_1} + e^{-\alpha_1 L_1}}{e^{\alpha_1 L_1} - e^{-\alpha_1 L_1}} \quad A_{21} = \frac{1}{\alpha_2 E_b} \cdot \frac{2}{e^{\alpha_2(L_2-L_1)} - e^{-\alpha_2(L_2-L_1)}}$$

と求められる。従ってテンドン周面せん断応力は、各層毎に次式で計算できる。

$$\tau_b(Z) = Kg \cdot (C_1 e^{\alpha Z} + C_2 e^{-\alpha Z})$$

3. 中間に弱層がある場合と弱層なしの場合（単層モデル）の数値実験

導出した3層地盤の場合の弾性理論解を用いて、アンカー定着岩盤をC_L～D級及びC_M級岩盤とし、弱層が25cm及び50cm 中間に存在する場合について、弱層の位置や岩盤の変形係数を変化させるとともに、弱層のない場合（単層モデル）との対比を含め数値実験を行った。弱層の位置は、設定した弱層厚づつ表層からずらして設定した。岩盤の剛性は、変形係数でC_L～D級岩盤について100～500MPa、C_M級岩盤について500～2000MPaの範囲で設定し、³⁾弱層は変形係数で10MPaとした。載荷した荷重は、C_L～D級岩盤におけるアンカー引き抜き試験を整理して求めたアンカー降伏荷重P=32tを一律に載荷した。アンカーの諸元は、定着長3m、アンカー径120mm、テンドン径36mmで、入力物性はテンドンがE_b=2.1×10⁵ MPa、グラウトがG_g=3200 MPaである。図-2に深度方向テンドン周面せん断応力分布の計算結果の一例を示す。岩盤のせん断剛性はC_L～D級岩盤のうち弱層との剛性コントラストが最も大きい500MPa、弱層厚さは25cmのものである。行った数値実験に共通して、弱層の位置を変化させた場合、単層の場合のせん断応力分布と比べ定着長上端部に応力集中する傾向が強く、弱層が定着長上端部付近に近いほどよりこの傾向が強くなる。定着部上端の最大せん断応力を単層モデルと比較すると、C_L～D級岩盤で0.5 MPa程度、C_M級岩盤で1 MPa程度となり、C_L～D級岩盤では弱層厚さにあまり影響されず、C_M級岩盤では弱層厚25cmのほうが50cmのものより大きい傾向にある。ただし、いずれのケースも弱層が定着部上端から1m以上になると、ほぼ最大せん断応力が単層の場合の値に収束する傾向があり、弱層が存在する場合、アンカー定着長を1m余分にとっておき、定着長3mの単層モデルによる設計値を用いることが対応策の一つとして考えられる。これにより、弱層が定着部上端1m内にあり応力集中によって塑性化しても、定着長3mのアンカーとして十分機能するからである。また、弾性理論解を用いて設計する場合、定着部上端のせん断強度 τ_w を各岩級区分の中である程度裕度をもって設定しておくことも対応策として考えられる。

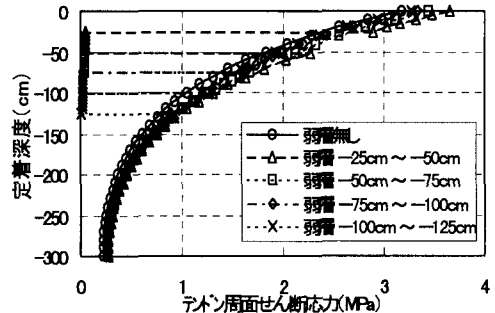


図-2 数値実験の例

4. まとめ

以上により、3層状態の場合のアンカー弾性理論解を導くとともに、送電鉄塔基礎サイトで比較的遭遇する機会のある岩盤のケーススタディを実施することで、弱層を含む岩盤にロックアンカーを定着する場合の特徴について考察した。その結果、弱層が存在する場合、よりアンカー定着部上端にせん断応力が集中する傾向を示すが、弱層位置がある深度以下では単層の場合の最大せん断応力とあまり変わらなくなり、アンカー定着長を幾分多めにとっておくことやせん断強度にある程度裕度を持たせることで十分対処可能であることが示された。

送電用鉄塔基礎の特徴として、建設地点が点在し1基あたりに多くの調査費用をかけられないため、あまり厳密なモデル化を要求するような設計体系は成り立たない。今後、調査手法とのバランスを考慮し、複雑な岩盤に対する設計手法の検討をしてゆく予定である。

参考文献

- 1) Ömer AYDAN : The Stabilisation of Rock Engineering Structures by Rockbolts, Nagoya University 1989
- 2) 河村、上田、久野、池田、メ-ル : 表層が風化した岩盤に用いる引張り型アンカーの弾性理論解と数値実験による支持力評価、第34回地盤工学研究発表会、平成11年7月
- 3) 吉中、桜井、菊池 : 岩盤分類とその適用、土木工学社、p48～51