

大型送電鉄塔の泥岩岩盤のロングアンカー基礎の引抜き耐荷力に関する現地試験と数値解析

電力中央研究所土木技術研究所 ○北原義浩 伊藤洋 徳江俊秀 本島陸

1 目的

北陸電力株式会社が計画中の送電用能登幹線（設計電圧 500kV，亘長約 6.2 km，鉄塔基数 146 基）の経過する地域の地盤は，大別すると粘性土（ヘドロ），砂質土および砂岩・泥岩を主体とする風化岩盤の三種である。これら地盤に対応して，それぞれ，杭ないしマットと杭を複合した基礎，標準型の逆 T 字型の基礎およびロングアンカー基礎の三種の基礎型式が用いられる予定である。

ロングアンカー基礎型式は，従来から風化岩盤地帯で用いられて来た基礎の型式であり，岩盤中に約 15 cm のボーリング孔を穿孔し，直径約 30 mm の異形鋼棒を挿入し，モルタルにより周囲を填充し，岩盤・モルタル・鋼棒三者の粘着抵抗力を期待した基礎である。

従来この基礎型式は，弾性波速度約 1,000 m/sec（縦波）の地盤での実績が多かったが，ここで対象となる地盤には，約 500/sec という比較的遅い弾性波速度値の風化泥岩の地盤が存在することが分かっている。本報告ではこのように比較的脆弱な岩盤について，ロングアンカーの引抜き耐荷力を正確に評価する目的で以下の項目を検討することとした。

- (1) ロングアンカーの埋め込み深さと引抜き耐荷力の関係の評価を目的とした原位置試験の実施
- (2) 数値解析の手法の検証を目的とした，原位置試験のシミュレーション
- (3) 地盤の弾性波速度値にもとづいて耐荷力を推定することを目的とした数値解析
- (4) 逆 T 字型基礎にロングアンカー 4 本を碇着して用いた場合の耐荷力を推定することを目的とした数値解析

2 原位置の引抜き試験

試験箇所として計画幹線の泥岩岩盤地帯を選定し，埋め込み深さを 2 m，4 m，6 m としたロングアンカーをそれぞれ 3 本ずつ合計 9 本作り，引き抜き装置（図 1）を用いて原位置試験を行なった。その結果，(1) ロングアンカーの埋め込み深さ 2 m，4 m および 6 m に対し，引抜き耐荷力は，極限ではそれぞれ約 20 ton，75 ton および 90 ton が得られた。これらの値は，設計耐荷力として浮上り変位量を 20 mm と規制してもほぼ同じ値となる（図 2）。

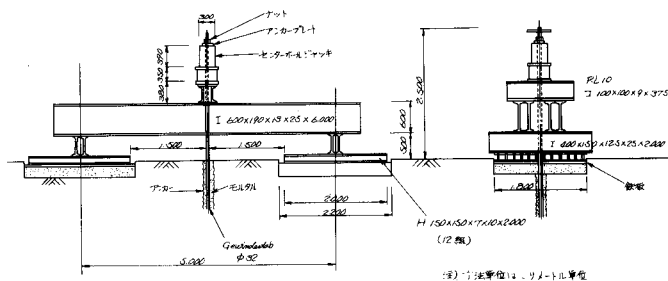


図 1 引抜き装置一般図

(2) 現地で採取したボーリングコアによって行なった諸材料試験で得た力学特性（弾性波速度 V_p ，一軸圧縮強度 q_u ，変形係数 D_{50} ，初期変形係数 D_0 ，粘着力 C ，内部摩擦角 ϕ ）と地盤の深さとの関係が，それぞれ得られた（図 3）。

(3) 得られた地盤の力学的諸常数の内，後の数値解析に用いる準備として，特に弾性波速度 V_p と一軸圧縮強度 q_u との相関（図 4），および q_u と一軸圧縮試験の相関（図 3 にその一部を示してある）を，当地点の

みでなく一般の泥岩についてのデータを含めて検討して求めた。

3 原位置試験のシミュレーション

電力中央研究所で開発した軸対称回転体の有限要素法により、材料非線形の逐次解析（荷重漸増法）を行なった。対象とした原位置の試験は埋込み深さ4 m、6 mの場合とした。

(1) 数値解析により得られる引抜き荷重と浮上り変位量との関係と、対象とした原位置試験で得られている実測値としての同様の関係とを検討の上、両者の引抜き耐荷力を比較した。

埋込み深さ4 m、6 mに対し、数値解析では、それぞれ約50 ton、80 tonであり、対応する実測値は約70 ton、90 tonであった（図5）。

(2) 本数値解析で仮定した地盤のモデル（図6）、排線形な応力・ひずみ関係（図7）の精度や、先に示した諸材料試験結果のばらつきを考慮すれば、用いた解析手法の信頼性はかなり高いと考える。

(3) なお同様な考え方で材料非線形を表現して、粘性土についての引抜き耐荷力や盛土の沈下を予測した場合についても実測値との比較検討を行なって、手法の信頼性の向上にその都度努めて来た。

4 地盤の弾性波速度の値と引抜き耐荷力との関係

先に得られた $V_p - q_u$ 、 $q_u - D_0$ の関係を基に、 V_p が 400 m/sec、1200 m/sec、1900 m/sec の三つの場合に対し、地盤の強度・変形性を推定し、前述の検証を経た解法により、埋め込み深さを6 m、一様な地盤の場合について引抜き耐荷力を推定して以下の結果を得た。

(1) V_p 400 m/sec、1200 m/sec および 1900 m/sec の地盤に対し、ロングア

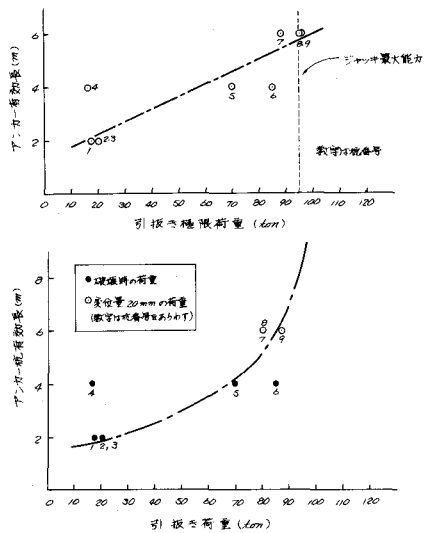


図2 アンカー杭有効長と耐荷力

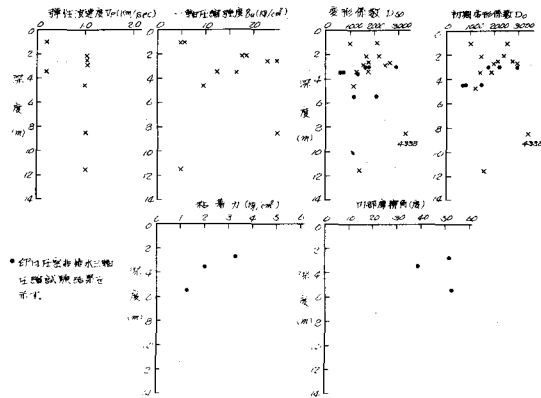


図3 地盤の諸物性 (主に引抜き試験現場)

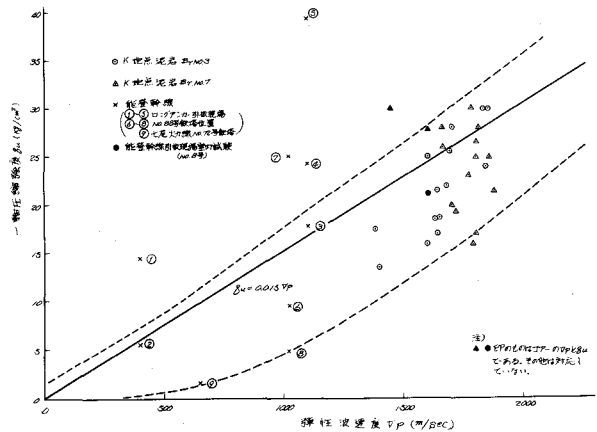


図4 弾性波速度と一軸圧縮強度

ンカーの引抜き耐荷力は、それぞれ約40ton, 70tonおよび70tonと得られた(図8)。

(2)逐次解析で仮定した上記の地盤での平均せん断強度は約30ton/m²である。ロングアンカーの引抜き耐荷力を、ボーリング孔周辺の地盤のせん断抵抗から計算する簡便式(式…(1))から試算すると、

$$P_t = \pi \cdot D_e \cdot L \cdot \tau_p \dots\dots (1)$$

ここで

De: ロングアンカーの有効直径(ボーリング孔周辺のひび割れた岩盤中へ

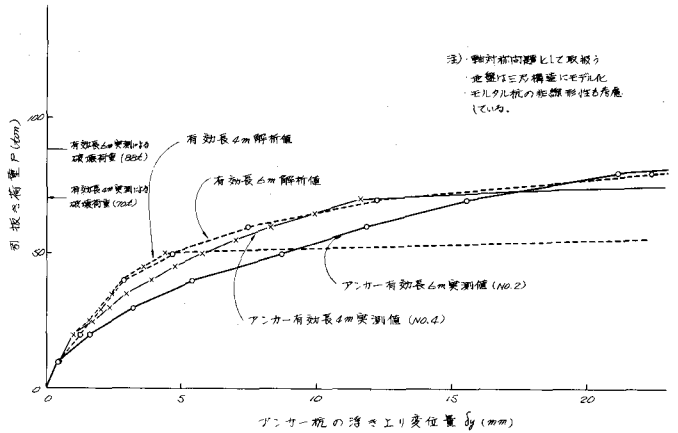


図5 実験結果と数値計算結果との比較

(のモルタルの注入効果を考慮した値)

L: ロングアンカーの埋め込み長さ

τp: 周辺地盤のせん断強度

約100tonとなる。

一方、本数値解析で得られる引抜き耐荷力は平均値で約60tonであり、簡便法で計算された値の約60%であった。

(3)(1), (2)での結果は、例えばVp=1,900m/secの場合では、ロングアンカー周辺の地盤の破壊の進展の様相に、応力が剛性の高い鋼棒周辺に片寄ることや、破壊領域が地表面近くに片寄などの現象が明らかに示さ

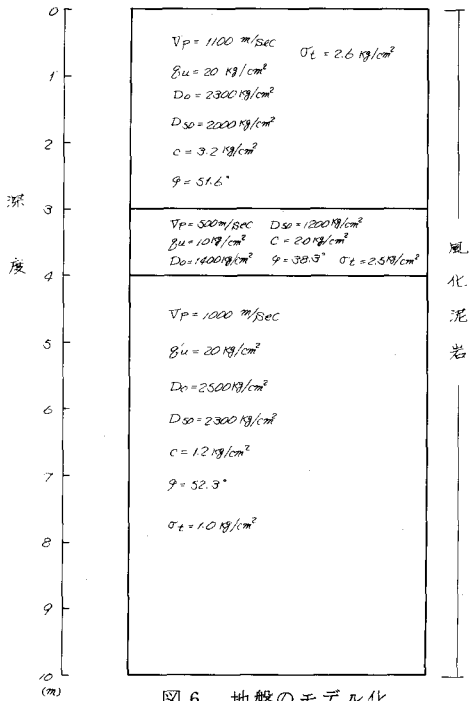


図6 地盤のモデル化

れているが、このような逐次破壊の現象が簡便法では考慮し得ないことを示していると思われる。

4 逆T型基礎にロングアンカー4本を礎着して用いた場合の耐荷力

三次元連続体の有限要素法により、材料非線形の逐次解析を行なった。対象としたのは逆T字型基礎にロングアンカー4本を配した計画幹線で実際に用いられる基礎型式である。

地盤の物性はVp=1,900m/sec、アンカー深さは6mである。

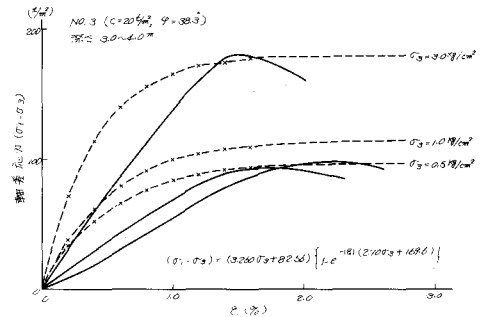
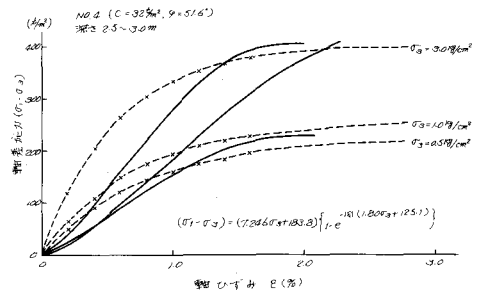


図7 非線型を応力・ひずみの関係

数値解析して以下の結果を得た。

(1)引抜き耐力は約280tonと予想され、その値は単一ロングアンカー基礎の引抜き耐力約70tonの丁度4倍に相当する(図9)。

(2)ロングアンカーの中心間隔は約110cmであり、ロングアンカーの周辺地盤の破壊の領域が、深さ3mより下ではお互いに干渉しないため(図10)、単一のロングアンカーの4倍の強さが期待出来る結果を得たと考える。

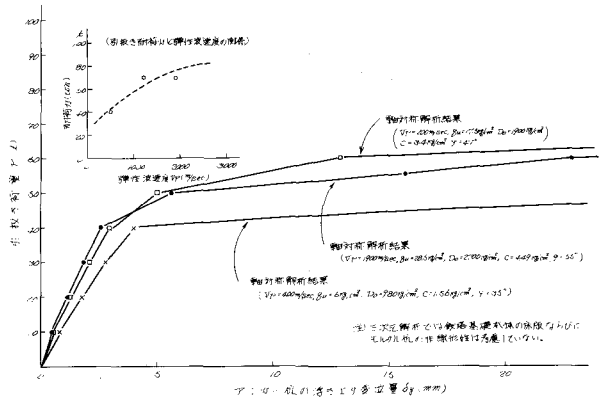


図8 均一地盤モデルとしての単一アンカーの耐力の評価

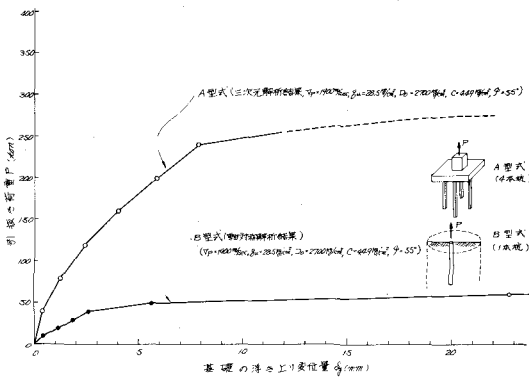


図9 単一ロングアンカーと、床版と組み合せた場合の耐力の評価

参考文献

- 1) 北原義浩他：“地盤の非線型な変形を考慮した送電用鉄塔基礎の引抜き耐力の解析—実測値との対比、不同変位が塔体部材力に及ぼす影響— 電力中央研究所技術第二研究所報告，研究報告72017，昭和48年5月
- 2) 北原義浩他：“大型鉄塔周辺の盛土による地盤の変形が基礎の力学的安定性に及ぼす影響”，電力中央研究所報告，研究報告377005，昭和52年9月

謝 辞

本解析の遂行に当たり、特に原位置試験について、北陸電力株式会社工務部建設担当の諸氏に多大の御協力を戴いたことを記し、深謝の意を表する。

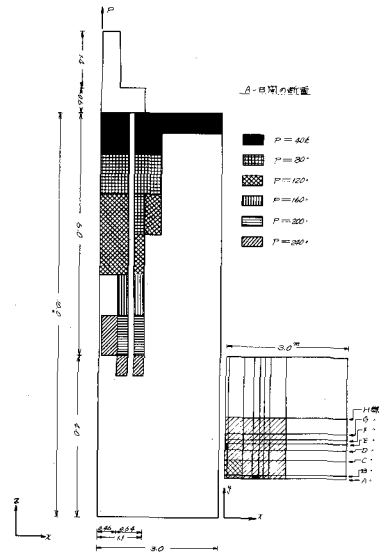


図10 床版下の地盤中の塑性化領域の進行

Experimental and Numerical Investigation on The Pulling-out Resistance
of Transmission Tower Footing (Long-Anchor Type)

by KITAHARA Y., ITO H., TOKUE T., MOTOJIMA M.

Civil Engineering Laboratory, Central Research Institute of Electric
Power Industry, 1646 Abiko Abiko-City CHIBA JAPAN

Synopsis

In order to estimate the pulling-out resistance of long-anchor type
transmission tower footing, field test and numerical analysis were carried out.

It is concluded as follows.

- (1) From the field tests, the uplift resistances are found to be 20 tons, 70 tons and 80 tons, which correspond to their anchorage length, 2 meters, 4 meters and 6 meters respectively.
- (2) The relation between the displacement and the pulling-out load, obtained from the test, can be well explained from the result of numerical analysis in which the non-linearity of the mechanical property of mud stone is taken into consideration.
- (3) The pulling-out resistances in case of mud stone ground through which elastic wave propagates with the velocity of 400 meters per second and 1900 meters per second are analytically expected to be about 40 tons and 70 tons respectively.
- (4) Conventional method based on the ultimate strength theory has a inclination to overestimate the pulling-out resistance of long-anchor, because of the impossibility of introducing successive failure.
- (5) The actual transmission tower footing in connection with four long-anchor steel bars, is analytically expected to have the pulling-out resistance of 240 tons which corresponds exactly four times of that of single long-anchor bar.