

IV-15

鉄塔基礎の引揚げ模型試験

九州大学 工学部 正会員 徳光善治
九州電力総合研究所 正会員 赤司六哉
九州電力総合研究所 正会員 永津忠治
九州大学 工学部 学生員 〇平田登基男

1. まえがき

送電用鉄塔基礎は、近來、大容量多回線建設(220 KV, 500 KV など)の必要が多くなり、とくに、その合理的設計と経済的施工法の採用とが望まれるようになった。しかも、この趨勢に呼応して、鉄塔基礎の設計を左右する要因、すなわち圧縮耐力、引揚げ耐力および水平耐力などのうち、引揚げ耐力をとりあげこれに種々検討を加えることは、基礎の設計を遂行するうえに極めて大きな比重を占めるということが再認識され、各電力会社あるいは大学などで、引揚げ抵抗に関する研究があらゆる各度から進められているのが現状である。鉄塔基礎の引揚げ抵抗計算の考え方には、送電用鉄塔設計標準(JEC-127)で採用しているアース

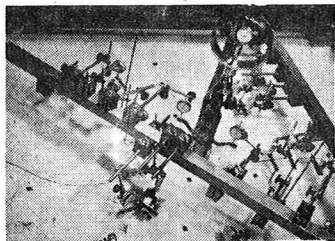


写真-1. 引揚げ試験測定状況

コーン法、松尾稔氏の方法(対数ラ線)あるいはアースプレッシャー法、セリ断法およびフレリッヒ・メイヤー法などがある。ところが、現地に施工される基礎は鉛直掘り(第3図参照)によるものが過半数を占め、しかも、これらの災害状況あるいは現地試験などからの考察によれば、その破壊面は掘さく面に沿って起ることが判明している。

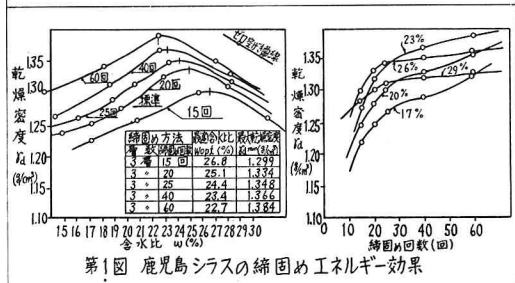
ここに、この研究報告は、九州電力鹿児島幹線の建設に呼応して実施した、鹿児島シラスを用いた模型の引揚げ抵抗試験結果をまとめたもので、鉛直掘り面に作用する土圧分布などを測り、セリ断法の理論を実験的考察から展開しようとしたものである。なお、この引揚げ抵抗に関する研究は、当報告のシラスのほか、マサおよびその他の土についても引き続き実験する予定で今回のみで完了したのではなく、以下の論文中には推論上の仮定が散見されることになるが、これらの諸仮定は実験の進行にともなって逐次解明されてゆくものである。

2. 試験に使用したシラスの諸性質

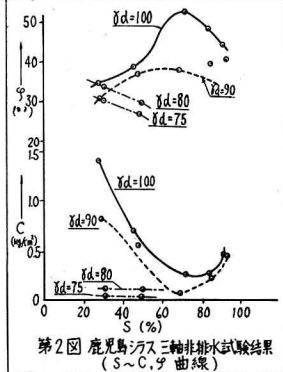
模型試験に使用した土は、鹿児島市近郊に産する薄い褐色のシラス(やや風化の進んだもの)で、このシラスの土質工学的性質を室内試験に

試料名	真比重	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	同方比	飽和度 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数 (%)	粒 度 分 析					実測の試験		
									4.75mm 以下 (%)	7.5mm 以下 (%)	15mm 以下 (%)	25mm 以下 (%)	三軸圧縮試験結果	圧縮係数		
鹿児島地区風化シラス	2.46	—	—	—	—	(N.P.)	15.0	57.0	19.0	9.0	64.6	33.0	3.3	25.0 (標準)	244	1384

第1表 鹿児島シラスの土質試験結果



第1図 鹿児島シラスの締固めエネルギー効果



第2図 鹿児島シラス三軸排水試験結果 (S-C, g 曲線)

より求めた結果を第1表、第1図、第2図に示してある。これらは、模型試験時および考察時につぎのように利用した。

① 第1図は、実験槽ヘリラスを詰込実際の締固めエネルギーと含水比の調整に利用した。もちろん鉄塔模型埋込み後の埋戻し土締固めエネルギーの調整にも十分参考になった。

② 第2図は、後記の試験結果の考察に際して、 ρ と S の種々な組合せに対する C 、 ϕ を直ちに図上で求められるよう作成したものであるが、この ρ をパラメーターにした $S \sim (C, \phi)$ 曲線は、乱したシラスのせん断強度特性（非排水試験による）として極めて興味あるものが見られるようであるから、この問題け別の機会にとりあげ、改めて論じたいと思う。

3. 引揚げ模型試験

3. 1. 試験計画について、

当試験研究は、鉄塔基礎引揚げ抵抗力の模型試験による考察を主目的にしたものであるから、試験をつぎの2段階にわけて実施した。その計画の概要はつぎのとおりである。

3. 1. 1. 予備引揚げ試験

模型試験槽（ $2^m \times 2^m \times 1.5^m$ 、側面の1つに $1^m \times 1^m$ の強化ガラス窓を持つ）を利用し、下記の要領で、都合12回の予備引揚げ試験を実施した。

① 引揚げ用の模型基礎は、第4図に示すとおり鋼製角型（ $60^m \times 60^m$ ）のものを使用し、測定計器は一切埋設しないで、地表面の引揚げ量のみをダイヤルゲージで測定する。

② 引揚げ試験は、模型基礎の埋込み深さ D と埋戻し土の密度 ρ とを種々変化させて12回の組合せを作る。

$D = 60^m, 80^m, 100^m$ の3種

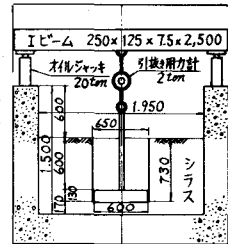
$\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ から4種

③ 載荷装置および載荷要領は、下記本試験と全く同様であるから、つぎの項で詳述する。

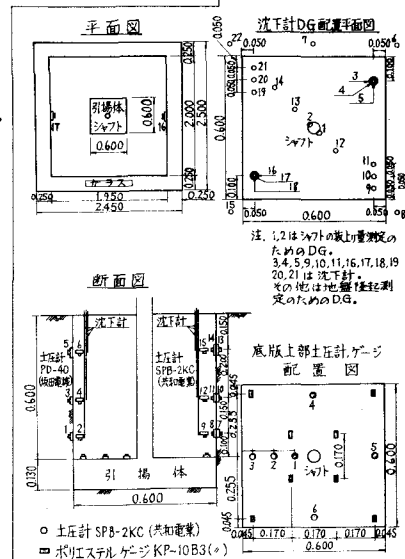
3. 1. 2. 引揚げ本試験

模型試験槽の強化ガラス面に模型基礎を密着させ、ガラス面を透しての視察ができるようにした場合と強化ガラス面を利用しないで試験槽中央へ模型を戻した場合と2つのケースを本試験として実施したが、その載荷装置、試験要領などはつぎのとおりである。

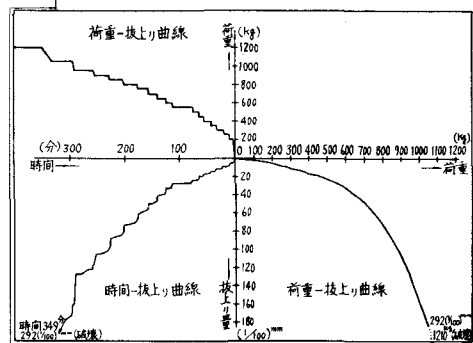
① 模型基礎は、予備試験のものと同様、鋼製角型（ $60^m \times 60^m$ ）を用いその埋込み深さを 60^m とし、鉛直掘さく面と床盤面の土圧分布、各負の抜上り量およ



第3図 引揚げ装置



第4図 土圧計はか諸計器配置図



第5図 引揚げ試験記録図

び引揚げ抵抗力を測定するとともに、床盤の剛性をチェックするためのヒズミ測定も行なった。(第4図参照)

② 載荷装置は、第3図に示すとおりである。

20 ton ジャッキ 2台

2 ton テンションメーター 1個

③ 諸計器類の設置は第4図に示すとおりである。

土圧計 SPB-2KC (共和) 15個

PD-40 (坂田) 6個

ポリエステルゲージ KP-10B3 8枚

ダイヤルゲージ (1/100mm) 22個

沈下計 (6mm ステンレスパイプ) 12個

④ 載荷要領は、土質工学会編「土質調査法」に準拠するのを原則とするが、その主な内容はつぎのとおりである。

各荷重段階の増し分: 50 kgf.

引揚げ量の測定: 各段階荷重とも、0.

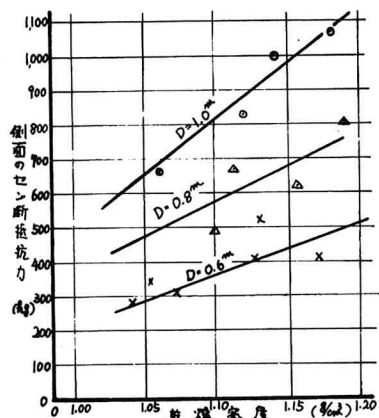
1, 4, 9, 16, 25, 36,

49, …… (分) とする。

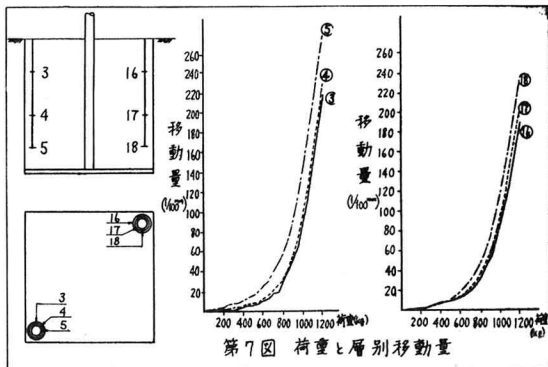
埋設計器の測定: 各段階ごとの荷重増加

終了時より1分後と当

段階荷重載荷終了1分前の2回とす。



第6図 埋戻し密度と引揚げ抵抗力



第7図 荷重と層別移動量

3. 2. 試験結果とその考察

3. 2. 1. 試験結果

前記の試験計画にもとづいて、予定どおりの室内模型試験を終了したわけであるが、本稿では、期日の関係から、必要最小限のデータ解析とその考察を行なうことにしたので、予備試験結果の一部と本試験結果のうち強化ガラス面を利用しないうちの場合(2種の土圧計による測定結果の比較は割愛)のものをとりあげ、ほかのすべての測定事項は省略した。第5図~第9図と写真-2, 3とは試験結果を図示したものである。

3. 2. 2. 試験結果の考察

第5図から第9図を参照し、これらを比較検討しながら順を追って考察してみる。

① 荷重と沈下量の関係から、 $S - \log t$ 法、 $P - 4S/\log t$ 法、 $\log P - \log S$ 法、 $P - S$ 法(荷重沈下曲線)により降伏値を各々算出し、その平均をとると725 kgf(側面せん断抵抗力 = 305.9 kgf)が求められた。

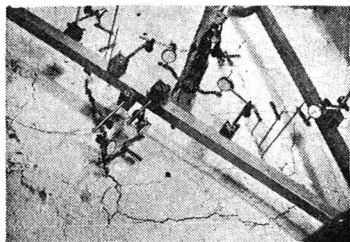


写真-2 地表面の破壊状況

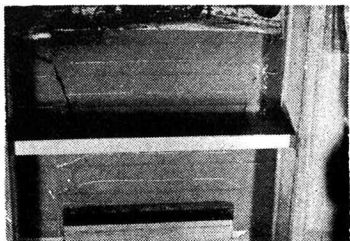


写真-3 側面の破壊状況

② 第8図の α および ϕ 曲線の破壊値からモールの応力円を描き、側面の平均せん断強度係数(C, ϕ)を求めてみると、 $C = 10.3 \text{ g/cm}^2$ 、 $\phi = 13^\circ 29'$ が得られた。この係数を用いて、第9図の降伏値における水平土圧分布から側面せん断抵抗力 F を試算してみると、

$$F = 4BDC + 4B\sigma_0 \tan \phi \quad \text{----- (1)}$$

の式から、 $F = 360.4 \text{ kg}$ が求められた。この値は①項に示した降伏値 305.9 と比較すると大きな値を示しているが、これに使った強度係数は破壊値から求めたものをそのまま用いたことによるものと考えられ、つぎの考察からわかるように土圧計の側定値は正しい値を示しているものと考えてよからう。

③ 予備試験結果すなわち第8図を利用し、第9図に示すような水平土圧分布(等値三角形分布)を仮定し、 α の変化による C, ϕ の変化を算出してみるとつぎのとおりである。上のように水平土圧分布を等値三角形におきかえると、側面せん断抵抗力 F はつぎのように示される。

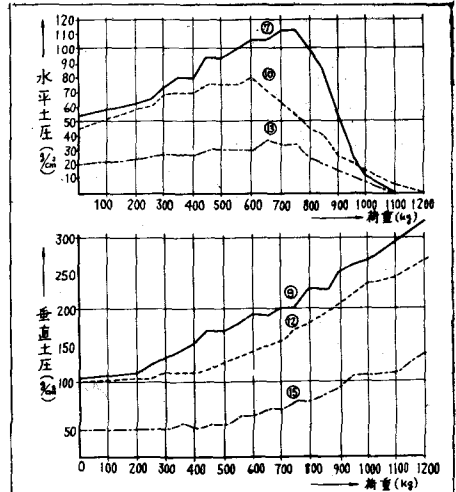
$$F = 4BDC + 2BD^2 \sigma_0 \tan \phi \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 σ_0 は $1.5 \sim 1.6$ 程度の値を示すようであるが、土の種類によって異なった係数が測定される若て、今後のマサ土などによる実験などから実測値を求めてゆく予定である。つぎに、第8図からある α に対するせん断力 F (3種の D に相当するもの)を求め、この値を(2)式に代入して三連の連立方程式を立て、最小二乗法によりせん断強度係数(C, ϕ)を算出してみると第2表のとおりになる。

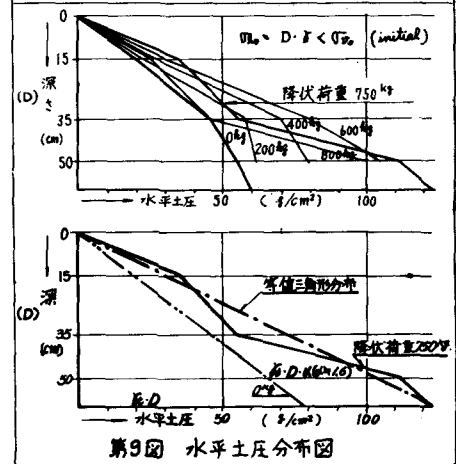
④ 第2表から α の増加すなわち埋戻し土の締固めエネルギーを増加させることによって、相当量の C, ϕ の増加が認められる。このことは、埋戻し施工法の管理の重要性を物語るものであろう。つぎに、このシラスによる試験結果からだけで判定するのは早計に過ぎるのかも知れぬが、第2図と第2表とを較べてみると、引抜抵抗値の算定に使用する C, ϕ の値は、埋戻し土の室内せん断試験結果の $1/2 \sim 1/3$ 程度のものを使用すれば良さそうである。

4. おわりに

今回の試験結果から、鉄塔基礎の引抜抵抗時の土圧分布は、ほとんど三角形分布と考えてよいことがわかり、(2)式のような算定式を誘導した。この土圧分布については、今後各種の土(たとえばマサ土など)による模型実験を実施し、その解析検討によって、より正確なより現地に合致するものに変化させてゆきたいと考えている。



第8図 荷重の変化による土圧計の動き



第9図 水平土圧分布図

α (g/cm²)	1.048	1.072	1.100	1.140	1.180
C (g/cm²)	8.2	10.8	11.5	13.9	18.6
ϕ (°)	10°45'	10°45'	11°57'	13°01'	13°09'

第2表 破壊強度とせん断強度係数