

九州大学 工学部 正会員 徳光善治
 学生員 ○古賀省二郎
 九州電力 総合研究所 正会員 赤司六哉
 “ 永津忠治
 “ 山本繁登

1. まえがき

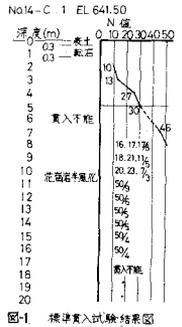
グイは、圧縮力を受け持つものに使用されているのが主であり、その実験式、理論式は多くのの人々によって発表されているし、現地実験も各所で実施されているが、引抜き力が作用するグイについては前者に比べて、全ての面で立ち遅れているのが現状である。

従来、送電用鉄塔、テレビ塔、ロープウェイ等の引抜き力が作用する基礎については、基礎体の自重や、上部上載土重量等で抵抗させるとい考え方で設計されていたが、最近、構造物の大型化に伴い引抜き力の一部をグイに負担させようという考え方が現われている。このためグイの引抜き抵抗力に関する実用公式を提供することが急務と考える。

本論は、マサ土に打設された、送電用鉄塔基礎のアースアンカーグイの引抜き抵抗力の算定式を、マサツグイの理論とサイロ理論を採用して実験値から誘導したものである。

2. 地盤の概要

現地実験の場所は、佐賀県佐賀郡富士町であり、いわゆる強風化花崗岩地帯であるが、地下10数mまで風化が進み、いわゆるマサ土の性状を示している。その柱状図を図-1



に示す。

真比重	自然含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	間隙率 (%)	飽和度 (%)	粒度分析					平均粒径 (mm)	標準偏差 (mm)	締め固め試験		三軸圧縮試験	
						最大	60%	30%	10%	最大乾燥密度 (g/cm ³)			最適含水比 (%)	粘着力 (kg/cm ²)	内部摩擦角 (°)	
2.71	24.9	1.60	1.28	1.12	60.3	19.1	0.85	0.16	0.016	53.1	1.9	1.769	15.1	0.10	34°50'	

表-1は、テストピットにより地

表-1 土質試験結果表

下3mの位置で採集した土の、土質工学的性質を室内試験により求めた値を示すが、N値10前後のマサ土の平均的な性質と考えてもよい。

3. アースアンカーグイの引抜き実験

グイは、仮に命名したNP(ボゾリス添加), NPD(電化CSA添加), PM(電化CSA+加圧)の3種類で、その各々について長さ10mと15mの2本(計6本)を施工した。掘削は、普通のボーリング機械を使って、径20cmで清水掘進し、底部は、さらに2mの深さまで特殊ビットにより、30cmに拡張した。挿入した鋼棒は24mm3種のPC鋼棒5本で、底板にナットで締め付けた。填充モルタルは2mmフルイを通過した砂で、流下時間は15±2秒とした。グイの形状(15m長のもの)とゲージの貼付状況は図-2に示すが、グイ断面が小さいので、ゲージは鋼棒1本にのみ貼り、なま鋼棒とコンクリートの付着力の低下を防ぐため、ジョンドは別に準備した6mmの鉄筋に沿わせた。載荷装置を図-3に示す。

4. 実験結果とその考察

実験結果を図-4~6と、表-2に示す。

長さ10mと15mのワイの軸力は、10mの深さまで軸力ほとんど差がなかったため15mの

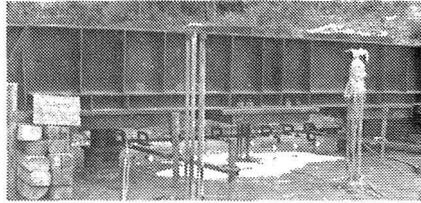


図-3 載荷装置図

ワイの平均値で考察することにする。図-5に平均軸力図を示しているが、各荷重の軸力はある深さにおいて、勾配の急折角のあることがわかる。すなわち、ワイのマサツカの急折点は、荷重が大きくなるに従い、徐々に深くなっており、また、荷重の平均81%は急折点の上部のマサツカで、残りの19%は急折点より深い部分のワイのマサツカと拡幅効果である。しかし、ここでは急折点より上部のマサツカについて論ずることとし、下部の抵抗力は省略することにした。

N値が既知であれば、Meyerhofの式より圧縮抵抗力が求まることはよく知られている。

$$R_a = 40N A_p + \left(\frac{\sqrt{s} L_s}{5} + \frac{\sqrt{e} L_e}{2} \right) \phi_p \text{-----(1)}$$

ここに R_a =短期許容支持力(t)

(1)式より引抜抵抗力を求めるために先端支持力の項と粘土質分のマサツカの項を除き計算すると、実験値の半分の値以下になり、計算値と実験値の誤差はかなり大きく、不正確である。

そこで、今回の実験をもとに、マサ土におけるアンカーワイの引抜き抵抗力に関して、以下のような考え方を進めてみたが、その結果は、実験値とよく合ったので仮の抵抗力算定式を誘導し、実際に施工される鉄塔基礎の設計に採用されることになった。

今、ワイの破壊機構として、図-7のような高さD、底面半径Sの倒立円錐体の破断面を考えると、この円錐体の引抜き抵抗力は円錐体内

の土の重量と粘着力と内部マサツ角による周面抵抗力である。

ここで、当然のこととして、考える破壊面に作用する土圧分布が問題となる。まず、ワイの長さ全長にかかる三角形分布のランキン土圧を考慮して試算してみたが、ワイのある深さ以上では実験値との差が



図-2 ワイの形状およびゲージ貼付図

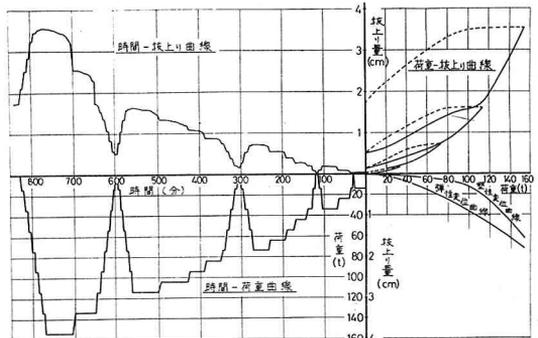


図-4 NPアンカーワイ (l=15m) 実位量曲線図

ワイ名称	ワイ長さ(m)	使用鋼材	添付材	試験体	試験体寸法	試験体重量(t)	試験体容積(m³)	試験体密度(t/m³)	試験体強度(t)											
NP	15	φ24mm PC鋼棒	ボリス	232	61	1.32x10³	70	68	77	74	72	6.5	154	以上						
NP	10	-	-	34.4	67	1.69x10³	82	68	-	64	71	7.0	144	-						
NPD	15	-	φ24mm PC鋼棒	186	60	1.33x10³	55	62	-	64	60.3	4.4	104	-						
NPD	10	-	-	188	54	1.38x10³	51	54	61	64	57.5	2.6	104	-						
PM	15	-	-	208	79	1.87x10³	50	58	-	64	57.3	4.1	104	-						
PM	10	-	-	215	64	1.64x10³	42	52	50	54	49.5	1.95	94	-						

表-2 試験結果表

著しかった。そこでサイロ効果現象にみられるような土圧分布(図-7)を、クイの引抜きの場合にも応用してみた。すなわち、図-7に示すように考えるクイの深さをD、倒立円錐体の底面半径をS=1.2m。なお、土圧分布のうち三角形分布を示す部分の深さをHとし、つぎの引抜き算定式を用いてDおよびHをそれぞれ1mずつ変化させながら10mまで(2)式により試算した。この引抜き力とクイの深さDをパラメーターにしたHとの関係を図化したものが図-8である。

$$F = W \left[C \cdot M + \frac{1}{2} \gamma_s \cdot D^2 \cdot r_r \cdot K \cdot \tan \phi + \frac{1}{2} \gamma_s \cdot D \cdot K \cdot (D-H) \tan \phi \cdot \gamma_f \cdot \cos \alpha \right] \quad (2)$$

ここに

F = 引抜き抵抗力 (t)

W = 破壊面より上部の土の重さ (t)

C = 土の粘着力 (t/m^2)

M = 破壊面の面積 (m^2)

γ_s = 土の単位体積重量 (t/m^3)

D = 深さ (m)

r_r = 土圧が三角形分布をしている範囲の水平土圧のかかる位置の周面長 (m)

K = 土圧係数

α = クイと破壊面とをなす角 ($^\circ \sim'$)

ϕ = 土の内部マサツ角 ($^\circ \sim'$)

H = 土圧が三角形分布をしている深さ (m)

$d r_r'$ = (D-H)区間の水平土圧のかかる位置の周面長 (m)

図-8のなかの●印は図-5の右下にあるクイ長Dとマサツカとの関係をプロットしてみたものであるが、その点がH=4mの線上に順序よく並んでいることがわかる。このことは、クイの引抜き破壊に対する現象

を考える場合、三角形のランキン土圧が考える深さ全般にあたって分布するのではなく、ある深さ以上になれば、前述のサイロ効果形の土圧分布に移行してゆくという考え方を正当化するものであり、さらに、当該の問題としては、径20cmのクイに対しては、三角形分布を示す深さは4mであるということを物語っている。ただし、この検討では、倒立円錐体の底面半径を実測値より $s = 1.2m$ として試算したものであるから、つぎにこの倒立円錐体の抜がりの問題について論じてみる。

Bierbaumerは、クイ先端地盤の沈下を求める方法を、マサツグイとして先端抵抗を無視してマサツカのみについて論じている。この理論を引抜きグイに置き変えてみる。すなわち、図-9において、Pは

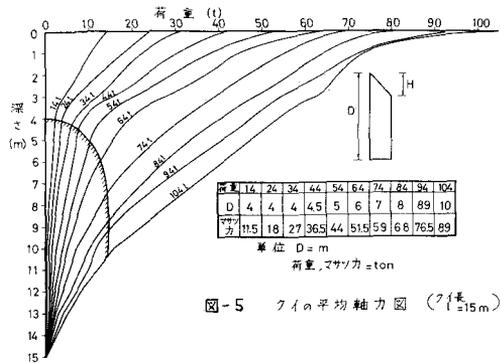


図-5 クイの平均軸力図 (クイ長15m)

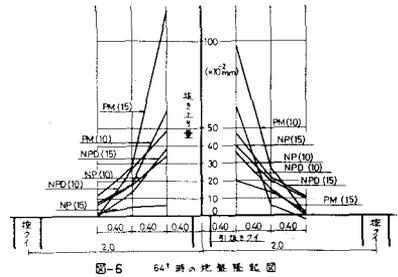


図-6 64φの地盤圧力図

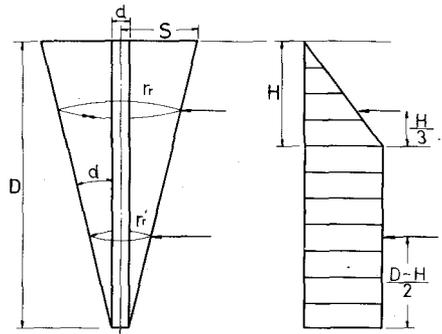


図-7 説明図

ワイの全長 l に一様に分布するものと仮定し、 α の角度でワイの下端面まで広がるものとする。この時の支持円の直径は $d + 2x \tan \alpha$ とする。そしてこの圧力分布を回転物体と仮定すればその体積は $P/l \cdot dx$ とする。これより

$$d:p_{max} = \frac{2P}{l\pi} \cdot \frac{dx}{(\frac{d}{2} + x \cdot \tan \alpha)^2} \text{ を得る}$$

これを、 l の長さ全体について積分し、先端に生じる最大圧力を求めると次のようになる。

$$p_{max} = \int_0^l d:p_{max} = \frac{2P}{\pi \cdot l} \int_0^l \frac{dx}{(\frac{d}{2} + x \cdot \tan \alpha)^2} = \frac{4P}{\pi d \cdot l \cdot \tan \alpha} \text{ ---- (3)}$$

Bierbaumer は $\alpha = 30^\circ$ とおいた。さらにまた、図中の釣鐘状の分布を示す回転体を図-9の右部の破線のよう、同じ体積で高さ等しい回転物体とおきかえると(4)・(5)式が成立する。

$$R = \sqrt{\frac{d \cdot l \cdot \tan \alpha}{2}} \text{ ---- (4)} \quad \tan \beta = \sqrt{\frac{d \cdot \tan \alpha}{2l}} \text{ ---- (5)}$$

いま、実験したワイ長 $l = 10m$ 、ワイ径 $d = 0.2m$ と、 α を仮定どおり 30° とすると、 $R = 0.76m$ 、 $\beta = 32^\circ 49'$ となり、実験値の半径 $1.2m$ とあわない。また逆に、実験値どおり $R = 1.2m$ とし、逆算してみると、 $\alpha = 55^\circ 14'$ となり、 $\beta = 7^\circ 34'$ とする。以上により、Bierbaumer の方法によって倒立円錐体の広がりを求めても、実験値とかなり離れた値になることがわかる。これは、Bierbaumer が仮定した、 $\alpha = 30^\circ$ に問題があり、マサ土のような粘土分を含んだ砂質土に対しては、 $\alpha = 55^\circ$ をとらなければならぬと考える。

5. まとめ

以上において、今回の実験の目的であるマサ土に施工したアースアンカーワイの引抜き抵抗力に関する実験式が誘導出来たわけであるが、土圧分布に関するサイロ効果的現象、破壊面の形状、そのメカニズム等については、さらに今後の検討が必要であろう。

なお枚数の都合に依り、ワイ底部の振幅効果についての考察は割愛したが、今後実施予定の室内模型実験結果との総合検討により、別の機会に登表したいと考えている。

参考文献：H.Kastner「Statik des Tunnel- und Stollenbaues」 auf der Grundlage geomechanischer Erkenntnisse.

：日本建築学会「建築鋼骨基礎設計施工規準同解説」

：徳光善治「杭の支持力について」

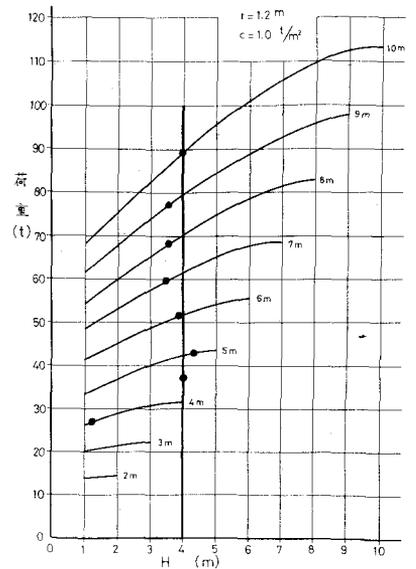


図-8 ワイのマサ土計算図

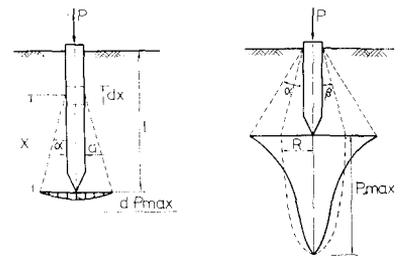


図-9 Bierbaumer の説明図