

九州産業大学工学部

正員 石 堂 稔

学生員 〇高橋清昭

〃 〃 古城静雄

1. はじめに、開端鋼管杭の真の先端抵抗は、純粋な先端抵抗と管内土の壁面摩擦による抵抗とかう成るが、その大部分は後者の管内土の抵抗によるところが大きい。また開端杭の先端抵抗は開端杭の値と比較して表わされるが、その度合は、杭の諸元、管内土の状態、変位などによって支配されることは周知の通りである。この開き効果または先端抵抗についてはすでに多くの検討がなされているが、それらの結果を用いた場合、実測値と合致しないことも多い。したがって管内土がどのような機構によって抵抗するかを正確に把握する必要性を感じる。ここでは極限抵抗状態のみにしほって考えることとし、理論的に得られた先端抵抗を、パイプに砂を充填して行なった室内実験値によって検討したものである。

2. 管内土の極限先端抵抗

土が充填されているパイプの先端から鉛直上方向へ土を押し上げるときの抵抗力は、パイプの内周壁面と土との摩擦力および付着力によって生ずるものである。壁面の単位面積当りの抵抗を f とすれば、任意の深さ Z においては

$$f = C + \mu \sigma_n = C + \mu K P \quad (1)$$

(C = 付着力、 μ = 摩擦係数、 K = 土圧係数、 P = 鉛直圧力)と表わされる。 f は P の増加と共に増大するが、 dZ 下方の水平面では自重のほかに f によって生じた応力が附加され、その結果 f は附加応力分だけ大きな値となる。これを深さと共に累積される。これを分りやすく、理論的に考えるために、パイプの一部を切り出してモデル化すると図-1のよう

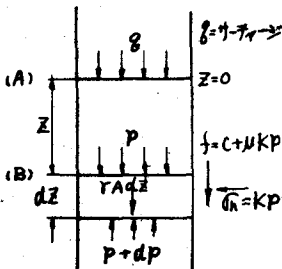


図 - 1

うになる。土の表面からある深さの面(A)を考えて $Z=0$ とする。(A)面にはそれより上方の自重および壁面抵抗による応力 σ がサーチヤージとして加わっているものとする。(A)面より下方 Z の深さにおける微小部分に図-1のような力が作用していると仮定して、微小部分の力の釣合を考えると次のようになる。

$$(p+dp)A = AP + rAdZ + fUdZ \quad \text{-----(2)}$$

$$dp \left[(r + \frac{CU}{A}) + (K\mu U/A) \right] P = dZ \quad \text{-----(3)}$$

これを積分すれば

$$Z = (A/K\mu U) \ln \left(r + \frac{CU}{A} + K\mu \frac{U}{A} P \right) + C_1 \quad \text{-----(4)}$$

いま $Z=0$ のとき $P=\sigma$ を代入すれば、 C_1 が得られるので(4)式に C_1 を代入して整理すれば、

$$P = \frac{A}{K\mu U} \left(r + \frac{CU}{A} \right) e^{\frac{K\mu U}{A} Z} - 1 + \sigma e^{\frac{K\mu U}{A} Z} \quad \text{-----(5)}$$

を得る。特に砂については $C=0$ とあって

$$P = \frac{Ar}{K\mu U} \left(e^{\frac{K\mu U}{A} Z} - 1 \right) + \sigma e^{\frac{K\mu U}{A} Z} \quad \text{-----(6)}$$

また $\mu=0$ とあけるような粘土では(3)式から

$$P = (r + \frac{CU}{A}) Z + \sigma \quad \text{-----(7)}$$

となる。

パイプ先端から土を押し上げるとき、充填長さ L がパイプ内径 D に比較して短いときは抵抗は非常に小さく L/D が大きくなると極度に増して来ることが上式で分るが、 L/D のいかにかわらず、管内土の上端では表面にフラッシュを生じ、下端では硬くして栓のようになることが観察される。これはパイプ内の土の位置によって鉛直応力が異なることだけでなく、土圧の発生状態が異なっていると考えられる。

すなわち上端ではサーチャージはなく、内周面における下向きの摩擦力のために、土に引張りを生じるので、土圧としては主動的なものが考えられる。反面下端付近では、土を押し上げるので境界面に連続した上向きの土のフサビを形成し、フサビ周辺の土はパイプ壁面に向って強く圧縮され逆アーチの作用をなす。したがって土圧としては受動的であるといえる。 L/D が大きくなると、パイプの中間には両者の中間的な領域があり、土圧は静止土圧が予想される。これを模式的に示せば図-2 のようになる。

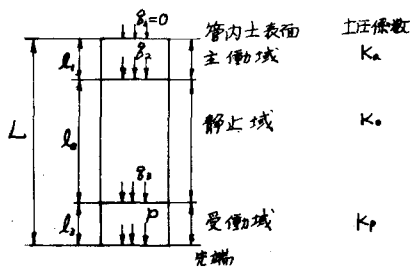


図-2

上図の各領域のうち、主動域および受動域の長さは、パイプの内径と土の内部摩擦角の関数として求めることができる。

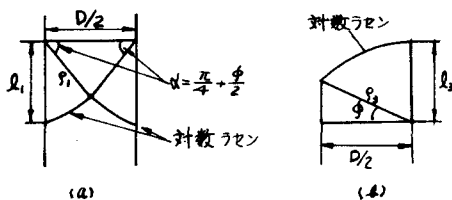


図-3

主動域の長さ l_1 は、図-3(a)に示すように主動すべり面の過度領域の考えを適用することにより

$$l_1 = \frac{D}{4} \frac{\exp\left\{\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \tan \phi\right\}}{\cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} \quad \text{----(8)}$$

が得られる。また受動域の長さ l_2 は図-3(b)に示すようにフーチングを組む基礎と考えたときの対数ラセンすべり面の考えから

$$l_2 = \frac{D}{2} \frac{\exp\left\{\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \tan \phi\right\}}{\cos \phi} \quad \text{----(9)}$$

で与えられる(8)(9)式はパイプ内径と土の内部摩擦角が定まれば常数となるので、土の充填長さ L が長くなれば静止領域 l_0 が長くなる。逆に L が短くなれば l_0 は短くなって、ついに

$$l_0 = L - (l_1 + l_2) < 0 \quad \text{----(10)}$$

となる。その場合は主動域、受動域が干渉してしまうので、 $L = l_1 + l_2$ を境界にして抵抗が急激に減少することを示すものである。また(6)式と合わせ考えれば L/D が小さいときは管内土抵抗の低減がさらに大きくなることが分る。(6)式を求める際に、土の表面からのある深さを $Z=0$ として γ なるサーチャージを考えなが、その深さを図-2の各領域の境界面とすれば、 γ はそれぞれ $\gamma_1=0$, γ_2 , γ_3 となり、 l は l_1 , l_2 , l_3 とおくことができる。これらの値を(6)式に代入すれば次のようになる。

$$\gamma_1 = \frac{A(\gamma + C/A)}{\sigma \mu K_a} (e^{\frac{\sigma \mu K_a}{A} l_1} - 1) \quad \text{----(11)}$$

$$\gamma_2 = \frac{A(\gamma + C/A)}{\sigma \mu K_0} (e^{\frac{\sigma \mu K_0}{A} l_2} - 1) + \gamma_1 e^{\frac{\sigma \mu K_0}{A} l_2} \quad \text{----(12)}$$

$$P = \frac{A(\gamma + C/A)}{\sigma \mu K_f} (e^{\frac{\sigma \mu K_f}{A} l_3} - 1) + \gamma_2 e^{\frac{\sigma \mu K_f}{A} l_3} \quad \text{----(13)}$$

砂のときは上式中 $C=0$ として求められるが、粘土では(7)式より

$$P = (\gamma + C/A) L$$

が得られる。上式より粘土にくらべて ϕ が 0 のときは土の充填長さの影響がきわめて大きいことが分る。

管内土による極限先端抵抗を R とすれば

$$R = pA \quad (15)$$

で表わすことが出来る。 $A = \pi D^2/4$ 、 $U = \pi D$ として

(11), (12), (13), 式から(15)式を求めて整理すると次のようになる。

$$\frac{R}{\gamma V + cUL} = \frac{D}{L} \frac{e^{4\mu K_p \frac{L}{D}} - 1}{4\mu K_p} \times \quad (16)$$

$$\left[1 + \frac{K_p}{K_a} (e^{4\mu K_p \frac{L}{D}} - 1) + \frac{K_p}{K_a} e^{4\mu K_p \frac{L}{D}} (e^{4\mu K_p \frac{L}{D}} - 1) \right]$$

$$\left. \begin{aligned} L/D &= (l_1 + l_2 + l_3)/D \\ l_1/D &= L/D - (l_2 + l_3)/D \\ K_a &= (1 - \sin \phi)/(1 + \sin \phi) \\ K_p &= 1/K_a \quad K_0 = 0.5 \\ \mu &= \beta \tan \phi \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

とすれば(16)式の右辺は L/D と ϕ の関数となり

$$R/(\gamma V + cUL) = G(L/D, \phi) \quad (18)$$

を得る。すなわち ϕ と L/D が与えられれば D 、密度、附着力の値には無関係に一定値を示す。また粘土では $G(L/D, \phi) = 1$ となる。

$G(L/D, \phi)$ を種々の L/D 、 ϕ について求めると図-4 のようになる。ただし $K_0 = 0.5$ の場合、この図を用いれば、土の種類、密度、附着力の異なる充填土に対しても極限先端抵抗力 R は(18)式によって容易に求める事ができる。ただ問題点は、摩擦係数 μ が土の種類、壁面の粗滑によって異なることがある。すなわち $\mu = \beta \tan \phi$ の β の値が変ってくる。 β に $\pm 5\%$ の誤差があれば $G(L/D, \phi)$ の値は $\pm 5\%$ の割合で結果に影響するので、その決定は十分慎重に行なわなければならない。従来よく用いられる傾向としては同一壁面に対しても、密度、飽和度などによって β が異なることが報告されているが、Smooth Steel に対しては、密度が中位以下のときは、 $\beta \approx 1/3$ に近づくと考えてよい。また著者の実測例からも同様の結果が得られたことから、ここでは Smooth Steel に対応する例として $\beta = 1/3$ を用いて計算した値を示した。

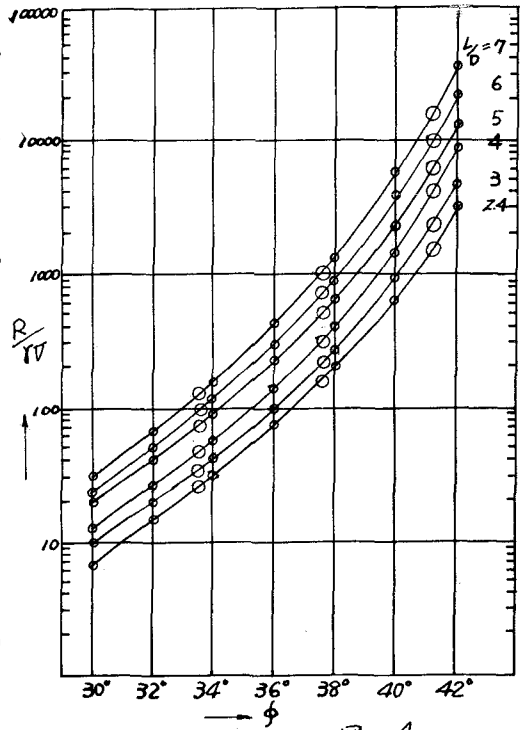


図-4

3. 実験および考察

(A) パイプは真鍮パイプを切断したものを用い、次の4種の仕様のものである。

全長 = 400 mm

$\left\{ \begin{array}{l} \text{厚さ } t = 2.15 \text{ mm} \\ \text{内径 } D = 15 \text{ mm} \end{array} \right\}$
 $\left\{ \begin{array}{l} t = 2.15 \text{ mm} \\ D = 27.5 \text{ mm} \end{array} \right\}$
 $\left\{ \begin{array}{l} t = 3.35 \text{ mm} \\ D = 44.5 \text{ mm} \end{array} \right\}$
 $\left\{ \begin{array}{l} t = 3.35 \text{ mm} \\ D = 69.8 \text{ mm} \end{array} \right\}$

(B) 底板 パイプの各内径に対して $D = (D - 1) \text{ mm}$

$h = 50 \text{ mm}$ の大きさに steel を加工し、その上に口紙を

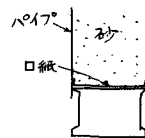


図-5

(C) 管内土、福岡三苦の海砂で、自然乾燥砂の三軸圧縮試験結果、 $e - \phi$ 関係は表-1 のようなものである

γ	1.5	1.55	1.6	1.65	1.7
e	0.765	0.708	0.652	0.592	0.560
ϕ	33.5°	35.6°	37.6°	39.8°	41.2°

表-1

(d) 実験、 $\gamma = 15 \sim 17$ の範囲で5種の密度でパイプ内に充填し、それぞれに対して、 L/D を変えた、 $0.5 \frac{mm}{min}$ の速度で管内土を押し上げ、極限状態に至るまで変位と抵抗を測定した。以上の方法によって得られた実測値の一部を示せば、図-6, 7のようになる。これらの値は先に理論的に考えた(16)式によって求められる計算結果の傾向と近似するが、計算値は L/D が大きくなるといかに実測値より小さくなって来る、これはとくに先端付近の砂の圧縮による密度および、内部マサツ角の増加と静止土圧係数の採用値の誤差によるものであろう。いさばりに土圧係数を全長にわたって一定として R をもとめてみると、ある D , γ , について μ , K , を種々に組み合せれば、一部分では合致することもあるが、その時の常数に何ら根拠がなく、また全面的に実測値と合致させるためには、せん断試験で得られる常数は何ら意味もなさない。

4. 結び、土圧係数は管内土の位置によって K_a , K_0 , K_p , となり、任意の点の壁面摩擦にもとづく応力がそのすぐ下の点の附加圧力となって、深さと共に累加され、先端では大きな力となることガ分る。

参考文献: Terzaghi: Theoretical Soil Mechanics.

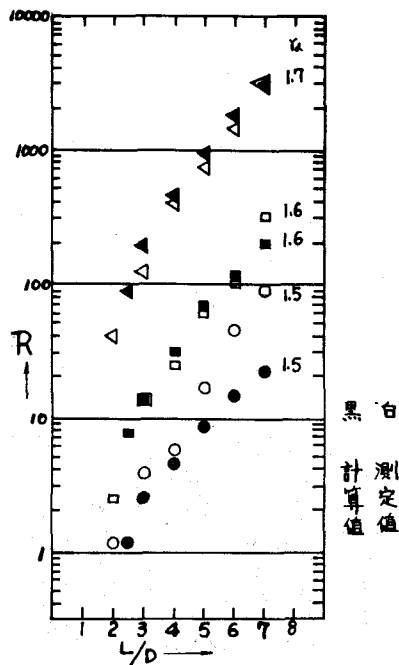


図-6

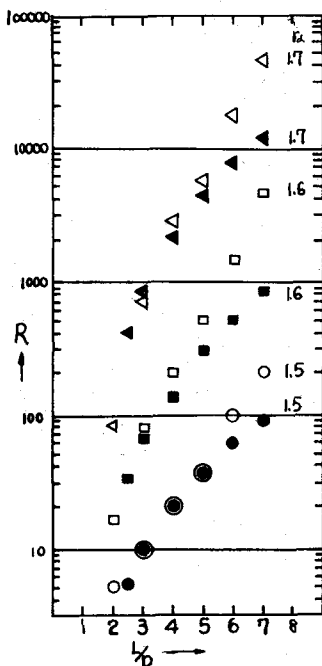


図-7