

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 ○有岡良祐
 日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 宮本 泰
 日本電信電話公社 中央電気通信学園 嶋木隆博

1. まえがき

無排土地中穿孔方式の研究では、貫入抵抗の小さい先端部形状および支持力の大きい推進反力受形状を解明することが最大の課題である。この目的のために、代表的な土質として砂とロームを対象とし、先端形状および貫入条件をパラメータに実験を行い、貫入特性を把握した。この結果については前回報告した。本報告では、これらの実験を進め推進反力受形状と支持力の関係を見いだすとともに、貫入抵抗・支持力を先端形状・反力受形状と土の物理的状態量とで推定するため、土を完全塑性体とみなし、すべり線場法による2次元問題として解析を加えたので、その結果について述べる。

2. 支持力特性

(1) 実験方法および実験条件 油圧ジャッキのピストンロッドに測定具を装着して土中に押込み、押込み力をしだいに増して釣合(ジャッキの伸びが土の抵抗をうけて停止している状態)が破れる(ジャッキが土の抵抗に打勝って伸び始める状態)までの力を油圧変換器で測定し、釣合力の最大値を測定具の支持力とした。実験条件は、反力受板形状(測定具)、土質をとった。測定具は図-1、表-1に示す形状、寸法である。実験土質は、砂と関東ロームであり、粒度分布、強度等については省略する。

(2) 実験結果および考察 受圧面積の影響については図-2に示すとおりであり、支持力 Y は受圧面積 A (受板傾斜角が 0° の場合は A である)に比例することと判明した。これは、支持力が、土の強度と受圧面積の積および土の強度と受圧面積の平方根、板厚の積との和に比例するとしているMeyerhofの公式の妥当性を裏づけるものである。したがって、支持力値としては板厚が小さい場合、受圧面積と土の強度の積に比例すると考えて差しつかえないと思われる。受板傾斜角の影響は、図-3に示すように、関東ロームでは傾斜角を増すことは支持力の増大に寄与することになった。これは傾斜角を増せば図-1の反力受面が増加し、これと接する土の面積も大きくなること、および反力受面の傾斜角が変化しても傾斜面に作用する圧力分布は一定であること¹⁾から両者の積に比例する支持力は増大すると考えられる。しかし、砂では、傾斜角が $0^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ のときの支持力が、傾斜角 $15^\circ \sim 45^\circ$ のときの支持力より大きい傾向がある。この傾向について説明すると、傾斜角を増せば反力受面が増加し支持力は増大するが、一方で本実験の砂のようなゆるい土質の場合には、傾斜のため反力受面に沿って土砂が移動し、前面への締固めが十分行われないので土の強度の増加(締固めにより系地盤の強度が増加)割合は、傾斜角が大きくなるとともに減少する、すなわち、支持力は低下する。このようにゆるい砂地盤では、傾斜角の増加は支持力の増大に対し相反する現象を伴うのが原因であろう。

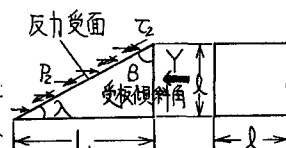


図-1 反力受板形状

表-1 反力受板寸法

測定具No.	l(mm)	β (度)	L(mm)
1	80	0	9
2	100	0	9
3	100	15	26
4	100	30	57
5	100	45	100
6	100	60	173
7	100	75	373
8	150	0	9
9	200	0	9

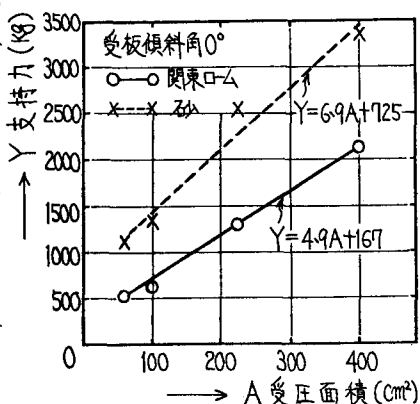


図-2 受圧面積と支持力

3. 貫入抵抗・支持力の解析

(1) 先端部の土中貫入抵抗 先端部が土中に貫入しはじめた時、先端部に作用する応力、せん断力を図4のように定める。図でDを先端部直径、2λを先端角とし、αをすべり面のくさび角にすれば△AOG、扇形領域BOC、△COEの各領域の応力場を検討し加え合えれば、領域AOEの場が求まる。ここで各領域において弾性変形が塑性変形に比べて無視できるほど小さいと仮定し、かつ領域のすべての点において応力の釣合方程式が成立するとすれば図5から釣合方程式は $\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0$, $\frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} = 0$ であり、頂点Oで無限大にならないためには $\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = 0$, $\frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} = 0$ である。また、くさびの部分では最大せん断応力Kを超えることができない (Trescaの降伏条件) ので $\frac{1}{2}(\sigma_r - \tau_{\theta z}) + \tau_{\theta z} \leq K$ となる。この解を $\tau_{\theta z} = K \sin 2\phi$ ($-\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$) とおく (φはθの関数である)。くさびの表面に作用する力は図5より、θ=0で $\sigma_\theta = -P_1$, $\tau_{\theta z} = T_1$, θ=αで $\sigma_\theta = -P_2$, $\tau_{\theta z} = T_2$ であるから、境界での値は、 $T_1 = K \sin 2\phi_1$, $T_2 = K \sin 2\phi_2$ 。また、 $\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -2\tau_{\theta z}$ であるので境界を考慮すれば $\frac{R-P}{2K} = \int_0^{\phi} \sin 2\phi d\phi$ となる。そこで各領域について積分を行えば $\frac{R-P}{2K} = \frac{1}{2}(\cos 2\phi_1 + \cos 2\phi_2) + (\alpha + \phi_1 + \phi_2 - \frac{\pi}{2}) \dots (1)$ を得る。ここでOO'面に作用する貫入圧力fは $f = P_2 + T_2 \cot \lambda$ であるが、先端部と土との摩擦(μ)も考慮すると、μ=0の時 $P_2 = 0$, $T_2 = 0$ (φ₁=0, φ₂=0) と考えられ $P_2 = 2(1+\lambda)K$ 。同様にμ=1の時 $P_2 = 2(\lambda + \frac{\pi}{2})K$ となる。したがって、一般的には $0 \leq \mu \leq 1$ であるから $f = [2(1+\lambda) + \mu(\pi - 2 + \cot \lambda)]K + P_1 \dots (2)$ となる。P₁は△AOGがランキンの受働状態であると仮定してAO面に作用する応力、 $P_1 = 2C \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}) + \gamma H \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2})$ である。式(2)は平面での解であり、EE'線で回転して先端角2λ、先端径Dの円錐状物体先端部の貫入抵抗F₁を得る。さらに平行部での摩擦による抵抗F₂を加えると円錐体の全貫入抵抗Fとなる。すなわち、 $F = F_1 + F_2 = \{2(1+\lambda) + \mu(\pi - 2 + \cot \lambda)\} \frac{\pi D^2}{4} + \pi D L C_a$ である。この式の第一項に着目すると先端部と土との摩擦状態、先端角の変化で貫入抵抗の変化する様子がわかる。すなわち、μ=0の時、先端角(ラジアン)に比例して貫入抵抗は増大していくが、摩擦が生じてくるとcotλの項が効いて先端角が小さくなるほど貫入抵抗は増大する。そしてμ=1の時、cotλが最大に効く(図は省略)。この解析は先端部に作用する圧力分布が一定であることが条件なので、関東ロームに適用できる。つぎに計算値を実験値と比較する。計算では、 $C \gg \gamma H$ よりγHの項も無視し、 $C = C_a = 1.13 \text{ cm}$, $\phi = 20^\circ$, $D = 10 \text{ cm}$, $L = 5 \text{ cm}$ とすれば、図6のように実験値(非回転)に対してよい近似を与えている。また、参考に実験値(回転)を示したが計算値(μ=0)とほぼ一致している。

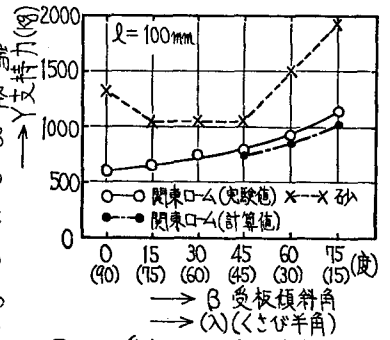


図-3 受板傾斜角と支持力

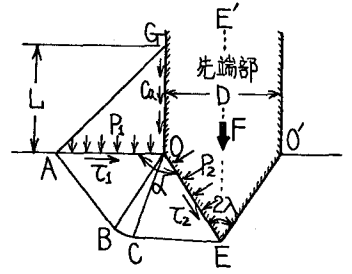


図-4 先端部に作用する応力、せん断力

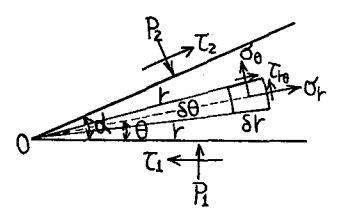


図-5 くさび近傍の応力状態と表面作用力

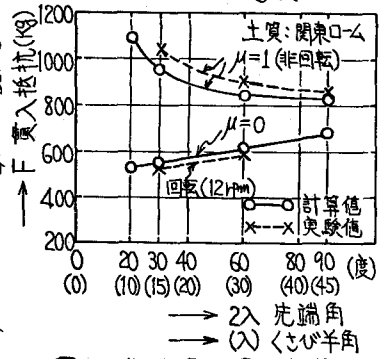


図-6 先端角と貫入抵抗

(2) 支持力 土中にさし込まれた反力受板の寸法と作用する圧力・支持力は図1のとおりである。解析は貫入抵抗の場合と同様であり、傾斜部以外の面での摩擦がないと仮定すれば、支持力は、 $Y = [2(1 + \frac{\pi}{2} - \beta) + \mu(\pi - 2 + \cot \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}) + 2 \tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2})] C_a^2$ となる。ただし、くさび半角入はブッドメタルの生じない0°~45°で、土質は関東ロームに適用できる。図3に入を变化させた計算値と実験値とを比較する。この図によれば実験値は計算値よりやや大きくでているが、ほぼよい近似を与えていることが判明した。実験値と計算値との差が生じるのは、実験値が傾斜部側面の摩擦を含んでいるためであり、受板傾斜角の大きいものほどその差が大きくなっていることでもわかる。

参考文献 1) 有岡,他 「各種形状による土中貫入特性の一考察」 第32回土木学会学術講演会 (1977)