

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 ○有岡良祐

〃 〃 〃 野村由司彦
〃 〃 〃 森 純男

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課題である。ロームについては、前々回の講演¹⁾で先端形状と貫入抵抗との関係の実験結果を報告し、前回の講演²⁾でその解析結果を報告した。本報告では、これらをさらに進めて、粘土の貫入特性について二次元模型による実験を行い、すべり線場法により解析を行ったものである。

2. 実験装置・方法および試料 実験装置は写真1に示すものであり、試料箱は水平に保持してある。貫入体は7種類(先端角 2λ はそれぞれ 15° 、 30° 、 60° 、 75° 、 90° 、 120° 、 180°)を用いたが、図1には 60° についての形状を示す。また、実験に供した試料は(その3)³⁾で説明した油粘土である。くさび面の圧力は圧力センサで2~4点、推力(貫入抵抗)はロードに取り付けたロードセルで、貫入長はポテンシオメータで測定した。実験は温度 $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$ の条件で行った。

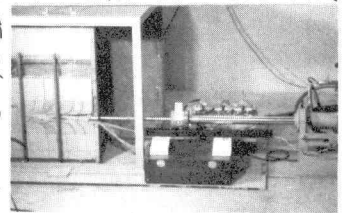


写真1 実験装置

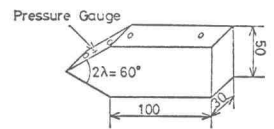


図1 貫入体

3. 実験結果 図2は、実験から得た定常状態(25cm貫入時)の推力を、軸方向の投影断面積(15cm^2)と $2k$ (k は降伏せん断応力であり(その3)から 0.4kg/cm^2)で除して基準化推力とし、この値を先端角に対してプロットした。さらに図3は、くさび面上の2~4点で測定した圧力が各先端角に対してほぼ一定であるので、それぞれの平均をとって $2k$ で除して基準化圧力とし、この値を先端角に対してプロットした。また、写真2~8は、先端部近傍での変形の状態が、先端角に対して変化していく様子を示している。一連の写真から、先端角が $0^\circ \sim 90^\circ$ までは粘土はくさび面とすべりを生じており、 120° 、 180° では粘土はくさび面に付着し半円状のデッドゾーンを形成しているのが観察される。さらに、平行部の上下を比べてみると先端角が小さくなるにつれて、ひずみ量も小さくなっていることがわかる。つぎに、推力については、先端角が大きくなるにつれて、上昇する傾向があり、前々回に報告したロームの結果と比べて逆の傾向となっている。

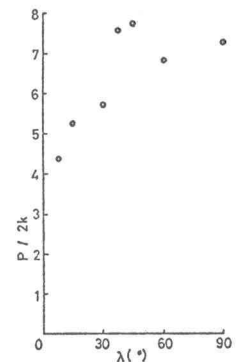


図2 基準化推力

4. 解析と考察 半無限体表面への楔形ポンチの押込みについてのすべり線場解は得られている⁴⁾。本報告ではこのすべり線場の一部を条件により、図4~6のように区分けし、加工硬化の影響を考慮して解析を行った。

4.1 すべり線場解 μ (貫入体と粘土との摩擦係数) および入りが十分小さいときは図4のようになる。図で θ は、 $\mu=0$ のときは $\pi/4$ であり、 P_1 (斜面0-1に沿う圧力)が k に達するまでは $\mu=P_1/2k$ なる条件で定まり、 $P_1=k$ のときは $\pi/2$ となる(P_2 は斜面0-1に垂直な圧力)。さらに、図4、図5のいずれの場合も入りが $\pi/4$ 以上になる

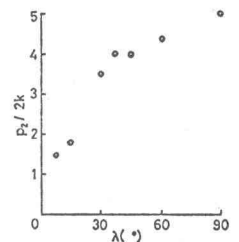


図3 基準化圧力

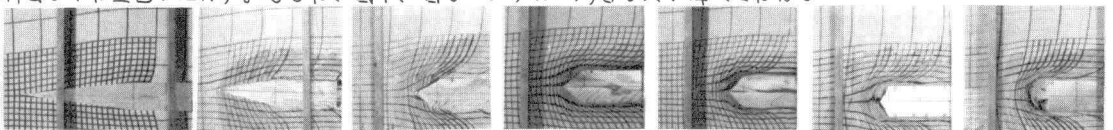


写真2 $2\lambda=15^\circ$ 写真3 $2\lambda=30^\circ$ 写真4 $2\lambda=60^\circ$ 写真5 $2\lambda=75^\circ$ 写真6 $2\lambda=90^\circ$ 写真7 $2\lambda=120^\circ$ 写真8 $2\lambda=180^\circ$

と、 μ の大きさによっては $\angle 2-0-2' < \pi/2$ となり、点0の両側の平均垂直応力は等しいので、すべり線2-0-2'に挟まれた下の領域では応力が降伏条件を越えることになる。したがって、この部分は非変形域ではあり得ず、図6のようなすべり線場が正しく、領域1-2-1'-0はデッドゾーンとなる。

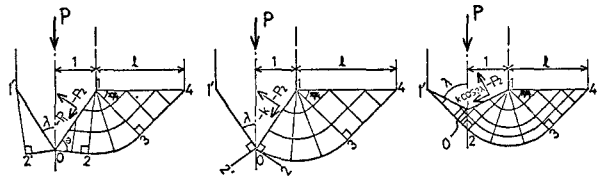


図4 すべり線場($\mu < \lambda$) 図5 すべり線場($R=k$) 図6 すべり線場($\lambda > \pi/2$)

つぎに、それぞれの場合について $P/2k$ 、 $B/2k$ を示し、あわせて図7、図8に先端角に対してプロットする。図4： $P/2k = \cos 2\theta (1 + \mu \cot \lambda) / 2\mu$ ----(1) $B/2k = (1 + \sin 2\theta + 2\lambda - \frac{\pi}{2} + 2\theta) / 2$ ----(2) 図5： $P/2k = (1 + \frac{\pi}{2} + 2\lambda + \cot \lambda) / 2$ ----(3) $B/2k = (1 + \frac{\pi}{2} + 2\lambda) / 2$ ----(4) 図6： $P/2k = \{1 + \pi + \sin 2(\lambda - \frac{\pi}{4}) + \cos 2(\lambda - \frac{\pi}{4}) \cot \lambda\} / 2$ ----(5) $B/2k = \{1 + \pi + \sin 2(\lambda - \frac{\pi}{4})\} / 2$ ----(6) である。

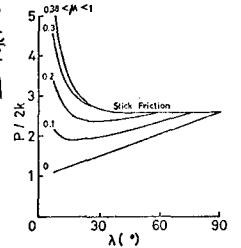


図7 $P/2k$ と λ の関係

4.2 加工硬化の補正 油粘土は加工硬化性の材料であり、すべり線場理論の剛塑性体との仮定からややはずれている。このため、以下の方法で、加工硬化の補正を行った。簡単のため、すべり摩擦がなく、図4から図6における λ の領域だけが均一な塑性ひずみを受けていると仮定する。このとき、 $\int d\epsilon$ を相当ひずみとすると、ひずみ硬化のない材料に対して、単位体積当りの仕事は $\gamma \int d\epsilon$ となる(γ は圧縮降伏応力)。また、上述の仮定から、変形部における単位体積当りの仕事は P/ℓ とも表わされるので、 $\int d\epsilon$ は次のようになる。

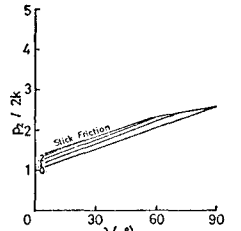


図8 $B/2k$ と λ の関係

$\int d\epsilon = P/(\gamma \ell) = (P/2k) \cdot 2/(\sqrt{3} \ell)$ ----(7) ここで、単位体積当りの平均仕事は、相当応力-ひずみ曲線(圧縮における真応力-真ひずみ曲線)で囲まれる面積を $\int d\epsilon$ まで積分したものに等しくなり、これを第1近似として補正後の推力 P' を求めれば次のようになる。

$P'/2k = \ell \cdot \int_0^{\sqrt{3} \ell} \sigma d\epsilon / 2k$ ----(8) 図9、図10には、 $\mu=0.2$ 、 $\sigma=1.42 \epsilon^{0.45}$ など油粘土の実験結果を用いて補正した推力 $P'/2k$ とくさび面圧力 $B/2k$ を示す。

4.3 考察 図2、図3の実験結果は、図7、図8における $\mu=0.2$ のときの計算値より、加工硬化も考慮した図9、図10の計算値に対してよく一致している。先端角が小さいほど実験値が計算値より小さくなるのは、先端角が小さいほど、変形領域 λ が大きくなり、半無限体への押込みという条件からややはずれることによるものと考えられる。さらに、 $\mu=0.2$ のときは、4.1節の検討結果から、先端角が 110° まではくさび面と試料との間にすべりが生じ、それ以上ではデッドゾーンが形成されることになるが、写真2~8に示すように本実験結果はこれによく一致している。

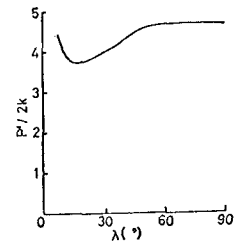


図9 補正後の推力

また、 $\alpha-\mu$ については、 k の設定に問題のあること、および実験が三次元であること、から定量的な比較はできないが、定性的には(その3)で得られた $\mu=0.07$ の結果から、図7に示す $0.38 < \mu < 1$ の曲線と図11に示す $\alpha-\mu$ 貫入時の推力とを比べると、両者の傾向はよい一致を示している。

上記実験結果および解析から、粘土の貫入抵抗(貫入体の推力)は、材料自体の降伏強度、加工硬化特性、および貫入体と材料との摩擦係数が支配的な要因であると考えられる。

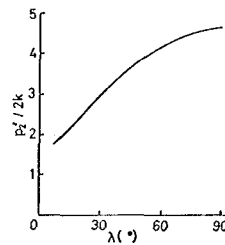
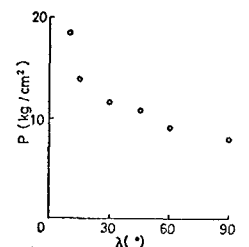


図10 補正後の圧力



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回土木学会講演会、 2) 有岡他「各種形状による土中貫入特性の一考察(その2)」第33回土木学会講演会、 3) 野村他「地中穿孔体の土中貫入特性の一考察(その3)」第34回土木学会講演会、 4) 工藤「塑性学」P159~P162 森北出版