

早稲田大学理工学部土木学科 正員 ○ 森 麟
同 上 同 赤木 寛一
西松建設(株) 同 栗原和夫

1. まえがき

推進工法は比較的小口径の管路敷設に利用され、全断面を開口部とする普通推進工法や切羽を泥水圧で押さえて取込み土量を管理する泥水加圧式のものあるいは切羽を密閉して無排土式に推進体を圧入するものなど、さまざまなタイプがある。推進工法は一般に口径がシールドより小さく、トルボドが構造上必ずしもないために、推進工事に伴う地盤変形量とその影響範囲はシールド工事に比較して小規模であるが、粘土地盤では推進体の圧入に伴う地盤変形が生じた粘土の乱れに基づいて圧密沈下が発生するので十分な配慮が必要である。本研究は粘土地盤中を小口径の推進体が圧入される場合を想定し、模型実験と有限要素法による解析結果をもとに推進体圧入時の取込み土量の大小あるいは有無により、乱れに基づく圧密沈下を含めた地盤変形挙動にどのような差が生じるかについて調査したものである。

2. 小口径推進体の圧入に伴う地盤変形挙動に関する模型実験

実験は図1に示すような前面が透明なアクリル板である模型土槽を用いて、土槽内に作成した粘土地盤中に直径50mmの縦割り半断面の推進体を圧入した場合の土の動きを観察した。実験に用いた粘土はカオリンとベントナイトを混合し約80%程度の含水比で十分に練り返したものであり、土槽の透明板側の土の面上に縦横にほぼ25mm間隔の黒線を引いた。推進に伴う土の動きはこの黒線上の格子点の動きを推進前後に重ね撮りした写真上で実測して求めた。

推進体としては先端部を密閉して無排土式に圧入させるものと圧入時にある程度土を取込むことが出来るように先端部を開放したものの2種類を用いた。後者の場合、推進体の圧入に伴う取込み土量は土槽上部に作用させる空気圧の大きさを変えることにより調節した。なお取込み土量は推進体横に対して44.6, 68.5, 86.9%の3種類であった。

図2はこの実験で先端部を密閉した推進体を無排土式に圧入させた場合の土の動きと格子点の変位ベクトルとして示したものである。推進体の圧入に伴って周辺部の土は大きく隆起し、推進体先端部が通過した後はほぼ定常的な状態に到達することがわかる。なお、推進体の先端形状を三角錐にした場合の実験も行ったが、推進に伴う土の動きにはあまり違いはなかった。

3. 小口径推進体の圧入で生じた粘土の乱れに基づく圧密沈下

小口径推進体の圧入に伴って地盤は変形し、軟弱な粘土地盤ではこの時の粘土の乱れに基づいて圧密沈下が発生する。

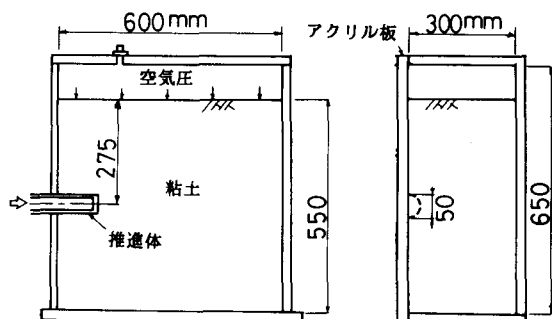


図1 実験土槽

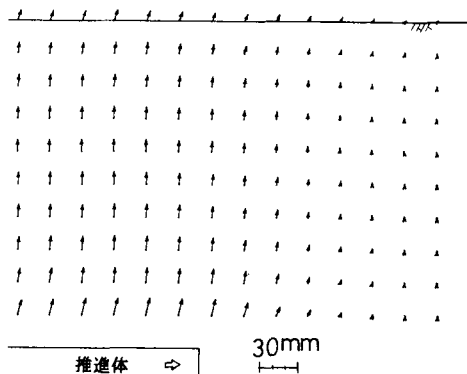


図2 模型実験の無排土推進に伴う土の動き

この乱れに伴う圧密による体積収縮率 α は土の圧縮指数 C_c 、鋭敏比 S_e 、塑性指数 I_p が決すれば次式のようにせん断ひずみ $\gamma(\%)$ の関数として求めることが出来る。⁽¹⁾

$$\alpha = \{0.3 \cdot C_c / (1 + e_0) \cdot \log \{ (0.33 \cdot I_p \cdot \log S_e) \cdot \gamma + 1 \} \} \quad (1)$$

推進体が通過した後のトンネル横断方向断面の変形状況を図3の解析モデルを用いて求め、その結果をもとに推進体圧入で生じた粘土の乱れに基づく圧密沈下量を算定した。まず、推進体圧入に伴う土の動きが定常状態に到達した場合のトンネル横断方向断面の変形状況を求める。その場合にトンネル中心を通る鉛直線上節点の動きは前記の模型実験の実測結果があるのでそれを使うこととし、さらにトンネル周辺部の節点は放射方向に動くものと仮定し図4のように推定した。

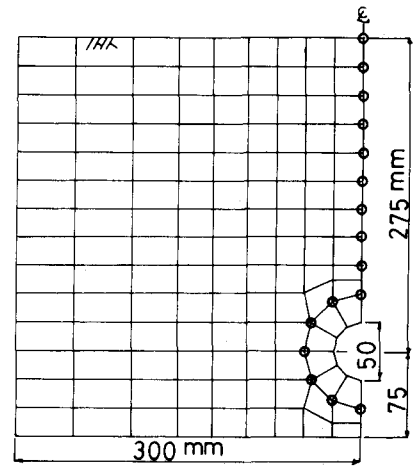


図3 解析モデル

以上のようにして決めた各節点（O印）の動きを図3の解析モデルに強制変位として与え、それに伴う地盤内各要素のせん断ひずみの大きさを求め、(1)式を利用して乱れに基づく圧密沈下量を計算した。なお、粘土層の土質としては乱れに伴う圧密収縮の発生し易さの度合いが異なる2種類の粘土Ⅱ、Ⅳを想定した。（参考文献(2)参照）

図5は図2に示した無排土推進に伴う土の動きをもとにして、トンネル横断方向地表面の変動状況を示したものである。推進体の無排土推進によって押し出された土がそのまゝ地表面の隆起となって表われ、その後時間の経過とともに乱れに基づく圧密沈下が発生し、元の地表面と同じかそれ以下に沈下している。

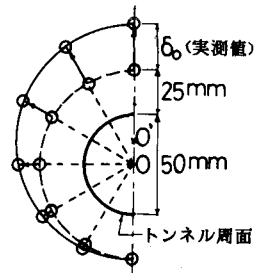


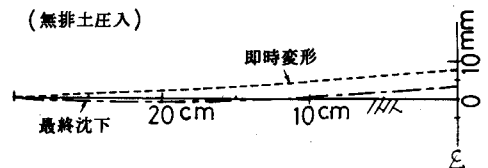
図4 トンネル周辺部の動き

図6は本研究で得られた結果をとりまとめたものであり、推進体圧入時の取込み土量とトンネル中心線上地表面の変形量の関係を示したものである。取込み土量が100%に近づくにつれて推進に伴う地表面の隆起量と乱れに基づく圧密沈下量はともに減少している。特に推進に伴う隆起量は無排土の場合にくらべて排土型の場合に大きく減少しており、実験で用いたような飽和粘土地盤では推進時の土の取込みは土の動きに対して大きく影響すると言える。これに乱れに基づく圧密沈下量を加えた最終沈下量とみると、推進体の圧入で隆起した地表面が再び沈下し、土質あるいは取込み土量によっては元の地表面付近に戻る場合もある。

4. まとめ

本研究は粘土地盤における小径推進体圧入時の地盤変動が推進時の取込み土量によりどのように変化するかについて、模型実験と有限要素法により解析したものである。今回は飽和粘土地盤のみを対象としたが、地表付近には不飽和あるいは過圧密状態にある粘土が多いのでこれらの土層についてもこのような手法の適用性を検討する必要がある。

(無排土圧入)



Type II: $S_t=20$, $C_c=0.5$, $e_0=1.6$

図5 推進体無排土圧入に伴う地表面の動き

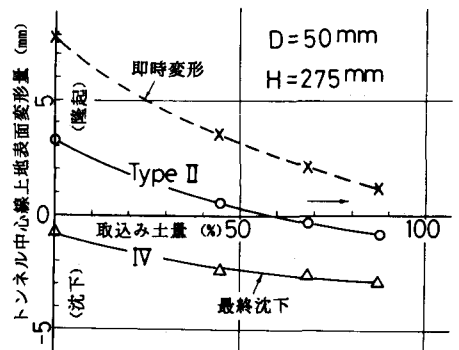


図6 取込み土量と地表面変形量の関係

5. 参考文献：(1) 土木学会論文報告集, No.335 (1983), (2) トンネルと地下, Vol.15, No.12 (1984)