

早稲田大学理工学部土木工学科 正会員 森 麟

同 上

同 赤木寛一

同 大学院

学生員 金沢 浩

1. まえがき

軟弱粘性土地盤のシールド工事で、裏込注入時期が遅れた場合には、テールボイド内に入り込む地山の変形による即時沈下とその変形に伴う乱れによる圧密沈下が発生する。さらに裏込注入して地山を押し戻した場合には、地盤の即時的隆起とその変形に伴う乱れによる圧密沈下も発生する。これらの即時変形分と乱れによる圧密沈下とを重ね合わせたものが裏込注入後の最終沈下となるわけである。しかしながら、現場の条件は複雑で裏込注入のみによる地盤変動状況を正確に把握することは困難である。ここでは典型的な沖積粘性土地盤のシールド工事で裏込注入する場合を想定して上記のような裏込注入に伴う地盤変動状況を有限要素法で調査し、裏込注入量と沈下防止効果の関係を定量的に求めたものである。

2. 粘性土の乱れに基づく圧密現象

軟弱粘性土地盤のシールド工事で、裏込注入時期が遅れて地盤がテールボイド内に変形したり、注入量が少くばり地盤が押し上げられた場合、トンネル周辺の土は非排水条件下でせん断変形し、土の骨格構造が変化して乱れが生じる。この乱れに伴う圧密による体積収縮率は、土の圧縮指数 C_c 、液性比 S_t 、塑性指数 I_p が決まれば次式のようにせん断歪み γ の関数として求めることができる。¹⁾

$$\alpha = \frac{0.3 C_c}{1 + e_0} \log \left\{ (0.33 \cdot I_p^{-0.37} \cdot \log S_t) \gamma + 1 \right\} \quad (1)$$

3. 解析手法

解析モデルは図1に示すような深さ10mまでは砂層、それ以下は軟弱粘性土層であるような典型的な沖積地盤を想定し、等方弾性体の平面ひずみ問題として有限要素法により解析した。また、粘性土層の乱れによる圧密変形解析の入力データは表1に示したとおりであり、それぞれ、乱れによる圧密収縮の1層さの度合の異なる4種類の土質 ($I < II < III < IV$) を想定した。

解析手順は、まず裏込注入時期の遅れによる地盤の即時変形量を求め、次に裏込注入による地盤が押し上げられた場合の即時変形量を求め、最後に両方の即時変形によるせん断ひずみを用いて(1)式より圧密沈下量を求め最終沈下量を算出した。ここで、裏込注入時期の遅れはトンネル掘削面上の解放応力を5段階にわけて変化させることにより、表わし、また裏込注入時には注入材がテールボイド内に完全に充填され、注入圧がトンネル内面に均等に作用すると仮定し、最大1.7・ γ H (H:土被り)の範囲内で適宜変化させることにより、裏込注入量を変化させた。

(1)式を用いて圧密収縮量を求める際に、応力解放および裏込注入に伴う地盤変形によるせん断ひずみが必要になる。裏込注入による地盤が注入時期の遅れによる応力解放を受ける前の元の状態まで押し戻される過程では、見かけせん断ひずみは減少するが乱れに影響するせん断ひずみ

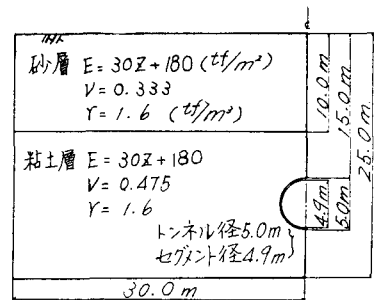


図1. 解析モデル

表1. 乱れによる圧密解析の入力データ

土質No	I_p	S_t	C_c	e_0
I	30	10	0.4	1.4
II	30	20	0.5	1.6
III	30	30	0.7	2.0
IV	30	30	1.0	2.0

は累積すると考えられる。そこで本解析では、押し戻しの過程で累積する乱れを応力解放に伴う変形によるせん断ひずみの大小に応じて変化すると仮定し、応力解放によるせん断ひずみの大きさに比例して土の乱れとして累積するせん断ひずみも大きくなり、せん断ひずみが2%（軸ひずみが約1.3%）を上回ると、砂地状態に近く、土の場合、裏込注入によるせん断ひずみのすべてが土の乱れに影響するとした。また、さらに注入量を多くして理論テールボイド量を上回った場合、地盤は押し上げられて地表面は元の状態より隆起するが、これによるせん断ひずみはすべて乱れに影響するものとした。

4. 解析結果

①裏込注入時期および土質の違いによる地表面変形量

図2は裏込注入時期の違いによりテールボイドが縮小し、その残存ボイド中に裏込注入した場合で、各場合のトンネル中心線上の地表面即時沈下量と乱れによる圧密沈下を加えた最終沈下量を示したものである。この図でテールボイド縮小率は理論テールボイド量に対する注入時期の違いにより、テールボイド内に入り込む土量の比率である。この図より注入時期が遅れるほど即時沈下量および圧密沈下量が増加し、即時沈下に対する圧密沈下の割合は注入時期により大きく変化する。また土質タイプによ、2は即時沈下以上の相当大きな圧密沈下が生じることがわかる。

②裏込注入量と地表面変形量との関係

図3の(a)は、裏込注入時期が異なる場合について裏込注入率とトンネル中心線上の地表面即時変形量および最終変形量を示したものである。この図より、裏込注入により、即時性的に地表面は隆起するが、その後の乱れによる圧密現象により、地表面は沈下し、注入時期が遅れたら注入量が少く地盤が乱れやす程度、また乱れにより、圧密収縮し易い地盤程、圧密沈下量が大きくなることわかる。また、いずれの注入時期および土質条件においても、注入率が100%程度までは注入効果は高いがそれ以上注入した場合その効果は低下し、土質タイプによりほぼほとんど効果がないが、たゞ、あるいはマイナス効果となってしまうことがわかる。また注入の効率として、いずれの注入時期、土質条件においても注入量が少くなる傾向はあり、た。

5. まとめ

本研究では、レール工事に伴う地表面沈下の主な要因であるテールボイドへの裏込注入時期の違いに着目し、また、土の乱れによる圧密現象を考慮に入れた場合の裏込注入量と即時および最終沈下量との関係をもとにモデル地盤について明らかにした。これらの結果より、裏込注入時期が遅れる程乱れによる圧密沈下量が大きくなるため、できるだけ早期に注入する必要があること、また、注入量が少くてもその注入効率が下がり、土質条件によりほぼほとんど効果がなくなる。あるいはマイナス効果となってしまうことがわかった。したがって、注入時期を早め、乱れに影響する諸要因を総合的に判断して裏込注入量を決定する必要があると考えられる。

(参考文献)

1) 森・赤木：非排水せん断変形が生じた乱れに基づく正規圧密粘土の圧密現象、土木学会論文報告集、第335号、1983年7月

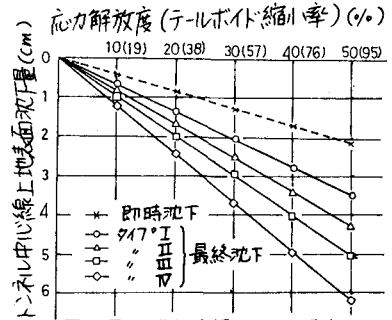
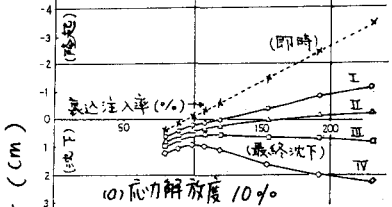
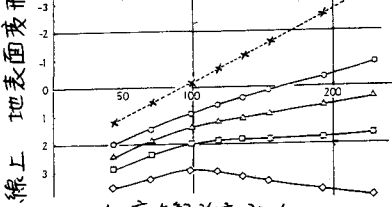


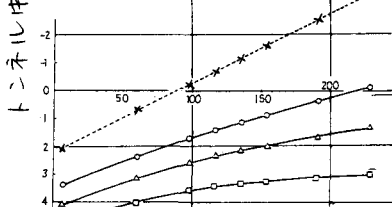
図2. 裏込注入時期が異なる場合のトンネル中心線上の地表面沈下量



(a) 応力解放度 10%



(b) 応力解放度 30%



(c) 応力解放度 50%

図3 裏込注入量と地表面変形量の関係