

(株)熊谷組 技術研究所 正会員 粕田 金一, 鈴木 猛康  
 (株)熊谷組 土木技術部 正会員 中條 昇, 小林 正宏

1. はじめに

筆者らは、シリコン系材料をシールドトンネルのテールボイドに注入し、トンネル外周に免震層を構築する技術を開発中<sup>1), 2)</sup>であるが、一般の裏込め材料とは性質の異なるシリコン系材料の注入性および注入後の物性が免震層として必要な値を満足するかどうかについてあらかじめ確認しておく必要がある。そこで、大型実験土槽を用いた注入性確認実験を実施したので、その結果について報告を行う。

2. 実験装置および実験概要

注入性確認実験は、大型実験土槽を用いて実施した。土槽は幅4m、長さ3m、高さ3mであり、土被り1mの位置にトンネル模型管が設置されるように設計されている。図-1に実験の概要を示す。

実験地盤は比較的密な砂地盤を目標として作成した。地盤材料としては珪砂5号を用い、砂を1層25cmの厚さで敷均し、散水後に電動ランマーで転圧して模型地盤を作成した。その後同様に敷均し、散水、転圧を繰返して、約3mの高さまで地盤を作成した後、最後に水締めを行なった。最終的に作成された地盤は、湿潤密度 $\rho_t=1.59\text{g/cm}^3$ 、含水比 $w=3.3\%$ 、飽和度 $S_r=12.3\%$ であり、ほぼ目標どおりの締固めがなされていた。また、土被り圧として $1\text{kgf/cm}^2$ を土槽上面のふたと模型地盤の間に設置した水袋によって載荷した。

トンネル模型は、スチール製であり、シールドマシンを模擬した外径106cm、厚さ9mmの外筒管とゲージリングを模擬した外径100cm、厚さ10mmの内筒管からなっている。管は各2本ずつあり、外筒管の中に内筒管を挿入した状態で、2本の内筒管を中央部の隔壁リングに結合し、1本の模型管として地盤中に設置する。この際には外筒管どうしは左右に分離されており、実験は油圧ジャッキにより外筒管を引き抜きながら、地盤と内筒管の間のできる厚さ3cmのテールボイドに免震層材料を注入する方法を採用した。左右の外筒管が独立であるため、1土槽で2回の注入実験が可能である。注入は、外筒管と内筒管の間のクリアランスにセットした外径 $28\times 16\text{mm}$ の楕円形の注入管を通じて行なった。

3. 注入材料および注入装置

注入材のシリコン系材料は、注入性を改善するため注入時の粘度を物性試験<sup>2)</sup>で用いた値の半分に調整して用いた。JIS-C2123に従って測定したヤング率 $E$ は $7.5\text{kgf/cm}^2$ 、粘度は $5000\text{cps}$ 、ゲージタイムは1時間である。

注入はロータリー式ポンプを用い、注入直前にA液の中にB液を加え電動ミキサーで攪拌した後、ポンプのホッパーに投入する簡便な方法を採用した。ポンプからトンネル模型までの5mは、内径11/16のテフロン製ホースで圧送した。ポンプの吐出量は約 $5\text{L/min}$ でほぼ一定であり、吐出量一定として外筒管の引き抜き速度を調整することにより、充填率を調整した。注入管の外筒管への入り口で測定を行った注入圧は、注入開始時には約 $9\text{kgf/cm}^2$ に上昇したが、その後約 $7\text{kgf/cm}^2$ で安定した。このように土被り圧に比べて高い注入圧となった原因は、シリコン系材料の粘度が通常の裏込め材よりも高いにもかかわらず、トンネル模型管内で径の細い注入管を用いたためと考えられる。これについては、注入ホースの径を1/16とした場合には低圧で圧送できることを確認しているため、実施工における注入性の問題はないものと考えている。

4. 注入実験の方法

注入はジャッキロードを調整することにより充填率を管理した。最初に無注入で10cm外筒管を空引きした

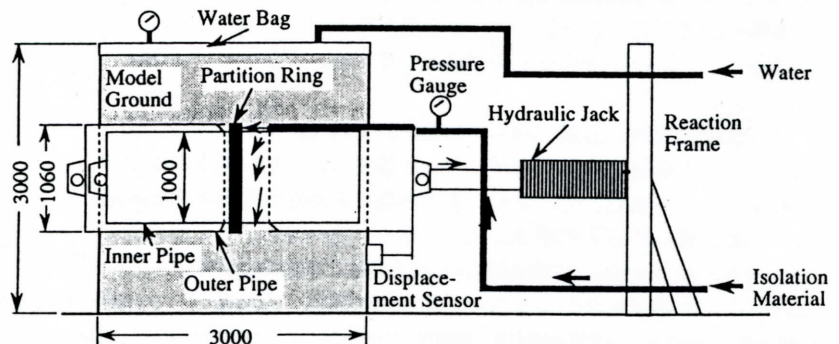


図-1 実験装置の概要

後、注入を開始した。注入区間は左右ともに約70cmとした。目標とする充填率は、最初に行なった右側区間の注入では全区間100%とし、次に行なった左側区間については、最初の40cm区間は100%、残りの30cm区間は110%と設定した。

### 5. 注入実験結果

注入実施の翌日、地盤を撤去して免震層形成状況の確認を行なった。写真-1に地盤撤去直後における免震層形成状況を示す。左右それぞれのストローク30, 50, 70cmの各断面内において円周方向に30度ピッチで切り出した注入材の厚みの計測を行なった。写真-2に切り出した免震層の断面の例を示す。テール部厚さ3cmに対して、ほぼ純粋なシリコン系材料からなる部分約3cmとその外側にシリコン系材料と砂の混合層が約1cmみられた。周辺地盤への浸透割合は、材料の粘性の関係から、同一実験装置により以前行なった通常の裏込め材の注入実験<sup>3)</sup>の結果と比べて、均一な注入ができることが明らかとなった。

左側区間の例としてストローク70cmにおける測定結果を図-2に示す。クラウン部については免震層の厚みが3cmに満たないが、それ以外の個所では均一な注入が達成されていることがわかる。クラウン部の充填性が悪いのは、注入管が細いため初期の段階で注入が何度も途中で中断しクラウン部の砂層がゆるんで注入材が脈状に浸透したために、最大で110%までしか考慮していなかった注入材の量が不足したためである。実施工では注入管の径は今回のように細くないため、注入材の量を見積もることにより、クラウン部の充填性は十分に確保できるものと考えている。注入が良好に行われた区間において、砂混じり層の厚みから推定した実注入率は111~117%であった。

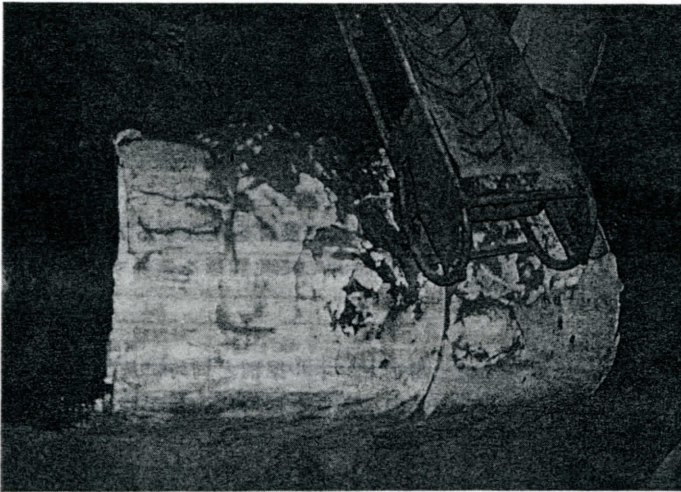


写真-1 免震層形成状況



写真-2 免震層厚の測定例

JIS-C2123 に従って注入後のガルのヤング率を求めた結果、 $E=8.4\text{kgf/cm}^2$ が得られた。この値は純粋な材料の物性試験結果よりもやや大きく、周辺地盤の砂粒を若干取り込んだためと思われるが、免震層として必要な物性は十分に満たしている。

### 6. まとめ

注入性確認実験の結果、以下の結論が得られた。

- ①シリコン系材料により形成された免震層は、テール部をほぼ100%充填することを確認した。また、その外側に形成される砂との混合層は、一般の裏込め注入の場合と比べて薄く、均一であることがわかった。実注入率は今回の実験地盤のテール部に対して115%程度であった。
- ②注入により形成されたシリコン系材料の層は、免震層として必要な物性を満たしている。

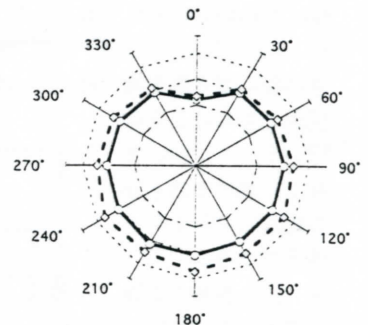
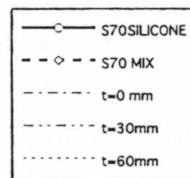


図-2 左側 ストローク70cm位置での免震層厚

参考文献：1)鈴木他，土木学会論文集，投稿中。2)田中他，土木学会第50回年講，1995。3)岡本他，熊谷組技術研究報告，NO.53，1994。