

地下水流動保全を対象とした透水性回復型の裏込注入材料の開発 —溶解性繊維を用いた多孔質構造裏込材—

五洋建設（株）
同 上
（株）立花マテリアル

正会員 ○安井 章 白上 勝章
野元 義一 原 修一
非会員 石井 三郎

1. はじめに

地下水が流れる地盤内に地中連続構造物を構築する場合、地下水流動阻害を引き起こして周辺環境に影響を及ぼすことが問題となる。近年のシールドトンネル大断面化にともない、地下水流動を保全する必要性が高まっている¹⁾。セグメント本体の外周面を通水構造にして流動阻害を防止する方法が考えられるが、裏込材についても透水性を有することが必要となる。そこで、筆者らはシールドトンネルにおける地下水流動保全を目的とした「透水性回復型裏込注入工法」を開発した。開発した裏込注入材は溶解性繊維を混合することで、裏込層形成後に多孔質構造へと変化し透水性を回復する。本報では裏込材に関する各種基礎試験について報告する。

2. 溶解性繊維の特性

溶解性繊維は写真1に示すような乾燥した繊維体であり、「硬い繊維状→吸水膨潤→溶解」と変化して溶解する材料である。その吸水膨潤と溶解の特性を把握するために溶解試験を行った。表1に溶解性繊維

表1 溶解性繊維の仕様

成分		仕様
蛋白質	85%	乾燥体 比重=1.2) 中空状繊維 外径2～3mm L=40mm (平均)
水分	12%	
灰分	2%以下	
その他	1%以下	



写真1 溶解性繊維

の仕様を示す。試験は溶解性繊維を質量の20倍の水に浸し膨潤させ、溶解までの経時変化を観察した。その膨潤水を純水とアルカリ水の2種類とし、水温を5℃、20℃、40℃とする6ケースを行った。アルカリ水は普通ポルトランドセメントの上澄み液（pH=13.1）を使用した。

各条件での繊維溶解までの時間を図1に示す。溶解性繊維は熱（温水）とアルカリに弱い性質を示している。水温によって溶解時間に大きな差が生じており、40℃では熱による溶解が卓越していた。また、アルカリ環境下の繊維の方が純水のケースより溶解時間が早いことが分かった。さらに、アルカリによって溶解された繊維は冷却しても再ゲル化することはない、成分の蛋白質がアルカリによって分解され溶解液になったと考えられる。この溶解特性を利用して裏込材の開発を行った。

3. 室内配合試験・通水性確認試験

裏込材はスラグ系可塑状グラウトを使用し、溶解性繊維の混合率を変化させて配合試験を行った。混合率は裏込材 1m³ に対する乾燥繊維の体積混合率（vol%）とした。また、繊維が混入時に裏込材中でフレキシブルに混合できるように、事前に繊維質量の2.4倍の水（15℃以下）で最適に膨潤させたものを混合した。事前に膨潤させておくことで裏込材料中の水移動が減少し、流動性と

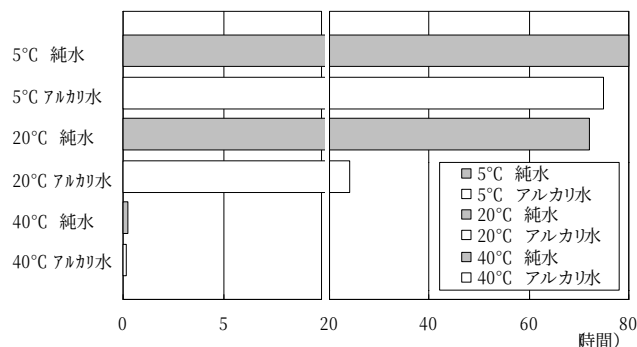


図1 繊維溶解までの時間

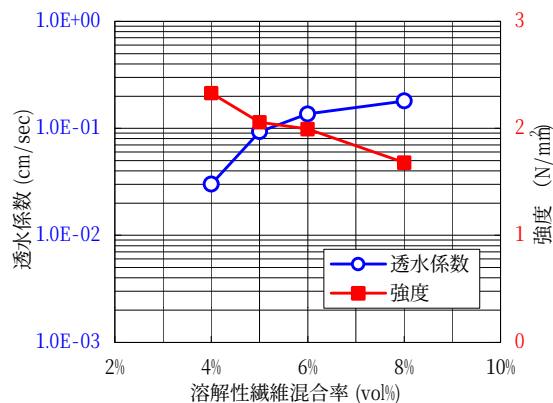


図2 透水係数と強度の関係

キーワード 地下水流動保全, 裏込材, シールドトンネル, 透水性

連絡先 〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1 五洋建設（株）技術研究所 TEL0287-39-2116

水/固化材比に及ぼす影響も少なくできた。なお、裏込材配合は通常配合よりも固化材と助材を増量し、急硬剤を減らして弱可塑状に調整し、繊維の分散性を高める配合とした。配合試験における目標透水係数は $k=10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$ 、強度は 2.0N/mm^2 （材例 28 日）と設定した。図 2 に混合率と透水係数、混合率と強度の関係をそれぞれ示す。グラフより溶解性繊維の混合率は 6vol% が最適であると判断した。

写真 2 に通水性確認試験の状況を示す。試験は裏込注入後の地山との境界面を模擬するために、 $25 \times 75 \times 20 \text{cm}$ のアクリル水槽に 5 号珪砂を詰め、中央の幅 10cm の溝に繊維混合率 6vol% で配合した透水性裏込材を打設した。帯水層を想定して打設後に砂地盤に水を張り、裏込材が固化した後に砂地盤を撤去した。その後、赤色水を左から右に通水させた。1 分間で 4 リットル程度の通水量があり、通水壁の透水係数は $k=5.0 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 程度であった。通水壁の断面状況は写真 3 に示すように多孔質となっており、砂地盤と接していた面にも空隙（水みち）が確認できた。このことから、テールボイドにおける地山との境界面においても多孔質構造が形成され、通水は可能であると考えられる。

4. 圧送性・注入性確認試験

溶解性繊維を混合した裏込材料の実施工での混練性、圧送性を確認するために、通常の裏込注入機材を用いて圧送試験を行った。また、テールボイドを模擬した型枠に注入して裏込材の充填置換性、固化後の通水の有無を確認した。写真 4 に示す注入置換模型は、直径 150cm、注入部厚 10cm の円形模型で内部は水で充填し、観察用のアクリル窓（ $30 \text{cm} \times 30 \text{cm}$ ）を四隅に設けた。試験では溶解性繊維と裏込材の混練・圧送性の観察、室内配合との強度および透水係数の比較、円形模型内部の通水確認を行った。

溶解性繊維を混合した裏込材の混練、圧送は良好であり、写真 5 に示すように繊維の均一な注入が観察できた。また、適度な可塑状粘性により写真 6 のように繊維が分離しないことを確認した。写真 7 はアクリル窓を取り外して、注入口から注水した際の模型内部を通過した水が噴出している状況である。これより注入した透水性裏込材が機能していることが確認できた。

表 2 にサンプリングした試料の透水係数と強度を示す。透水係数は 10^{-1}cm/sec 程度確保しており、強度に関しても室内配合の結果と同程度であった。このことから、透水性裏込材は特殊な機材を用いず、従来の裏込機材により十分施工可能であることを確認した。

5. まとめ

本報ではシールドトンネルにおける地下水流動保全対策工法のうち、アルカリ環境下で溶解する繊維を混合した透水性裏込材料を紹介した。開発した材料は高い透水性能を示しており、今後は実施工レベルにおける実証実験を行い、現場への適用を図る予定である。

【参考文献】

- 1) 西垣誠 他：都市地下活用の未来展望，土木学会誌，Vol.87，pp29-31，2002.8

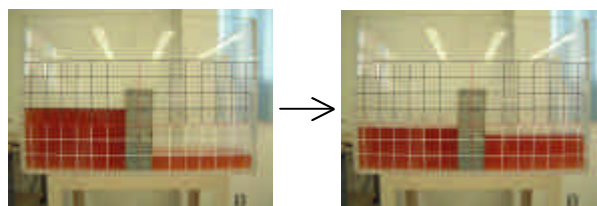


写真2 通水性確認試験（通水壁厚10cm）



写真3 水みち状況（断面）

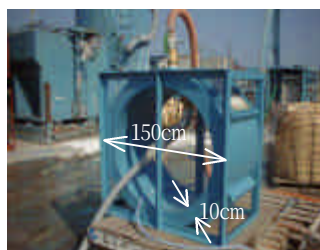


写真4 円形注入置換模型



写真5 注入状況



写真6 水中不分離性



写真7 水みちからの通水

表2 室内配合との比較

	室内配合試験	ペール缶サンプリング
強度 (N/mm^2)	2.1	2.0
透水係数 (cm/sec)	1.5×10^{-1}	9.5×10^{-2}