

パイプルーフ工に伴う止水材の性能確認実験

大成建設（株）技術研究所¹⁾ 正会員 ○ 檜垣 貫司, 正会員 大谷 崇
大成建設（株）横浜支店²⁾ 正会員 三浦 邦秋, 正会員 村松 正重
横浜市下水道局³⁾ 西 博, 田中 邦和

1. はじめに

本工事では、地下 50 m に取水立坑とシールドトンネル地下貯留管を結ぶ連絡管渠（φ4.0×L13.0 m）をトンネル工法で施工するが、土水圧が非常に高い他、当該地は旧地滑り堆積層で地山が乱されているので、パイプルーフ（φ711.2 mm）を円形に全周配置した補助工法を採用する。しかし、シールドマシンが掘進中などの理由によりパイプルーフをシールドトンネルに接合できず、30 cm 程度のパイプルーフの欠損部が生じてしまう。

この欠損部を補完・補強するために、地盤を除去し空洞とした後、止水材を充填する計画だが、大深度での施工例はなく空洞の形状や容量の正確な把握も困難である。よって、強度・変形特性や止水性に優れ、細部への充填性も期待できる発泡性のウレタン系材料（以下、ウレタン）を採用した。

本実験では、ウレタンの確実な止水性を確保するため、加圧通水実験と模型土槽注入実験をおこない、ウレタンの止水性と施工上の留意点や管理項目を検討した。

2. ウレタン系材料

採用したウレタンはポリイソシアネートとポリオールの 2 液からなり、所定比率で混合すると炭酸ガスを発生し発泡硬化して硬質ウレタンを生成する。専用の注入機を使用して 1.5 ショットで注入する。主に岩盤注入、裏込、空洞充填に使用される。ただし、発泡前に水に触れると発泡倍率が過剰になる。物性値を表 1 に示す。

表1 ウレタンの物性値

発泡倍率	6倍
一軸圧縮強度*	4769 kN/m ²
破壊ひずみ*	4.2 %
弾性係数*	167009 kN/m ²
透水係数	9.84×10^{-6} cm/s

*) 材令1日で測定

3. 実験手順

(1) 加圧通水実験 欠損部の、1) ウレタンとトンネル鋼製セグメントの境界の止水性、2) 隣接パイプルーフとのウレタンの打継ぎの止水性、3) 1) におけるテールシールグリス（以下、グリス）の影響を確認した。

300×300×500 mmの鋼製土槽内部を仕切鉄板で2室に仕切り、ここに上記 1) ～3) を再現した。土槽内部周面には 50×50×6 mm のアングルを溶接し、土槽の上面から下面までの浸透距離を仕切鉄板よりも大きくし、仕切鉄板部分の止水性が評価できるようにした（図 2）。ウレタンを充填して一晚以上湿空養生した後、図 2 に示す装置で加圧通水した。深度 50 m を想定して 490 kN/m² まで水圧を段階的に大きくし、通水の状態を確認した。

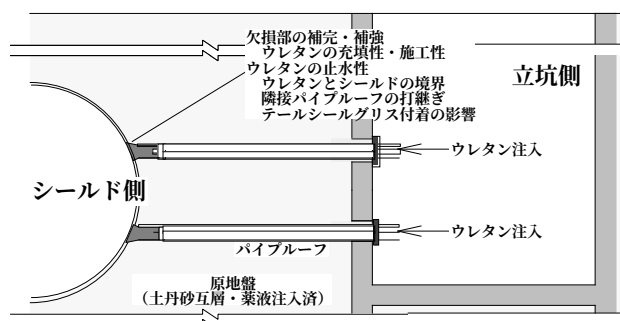


図1 現場施工図と課題

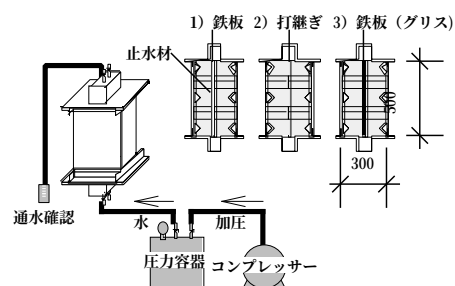


図2 加圧通水実験概念図

キーワード：パイプルーフ、大深度地下、ウレタン、止水性、充填性、施工管理

連絡先：1) 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 電話) 045-814-7217 FAX) 045-814-7257

2) 〒240-0025 横浜市保土ヶ谷区狩場町 118 電話) 045-741-0541 FAX) 045-741-0831

3) 〒222-0031 横浜市北区太尾町 1798 電話) 045-542-5810 FAX) 045-545-6495

(2) 模型土槽注入実験 欠損部を縮小再現してウレタンを充填し、その充填性や施工上の留意点や管理項目を検討した。

900×1949×600 mm の鋼製土槽にφ500 mm の3連結パイプルーフを設置した。模擬地盤としてシルトモルタルを充填し、中央、および左側パイプルーフ前面にウレタンを注入する空洞を成形した。正面蓋はアクリル板で、ウレタン注入時の充填状況を観察できるようにした。正面中央、左側のパイプルーフの土槽上部に、エア抜きバルブ（φ50 mm）と圧力計を設置した。パッカーに注入用バルブ（φ19 mm）を、空洞内部に熱電対を設置した。1回目の注入として空洞の容量と発泡倍率から算出した量のウレタンを中央の空洞に注入した。一晚湿空養生した後、左側パイプルーフに空洞を成形し、2回目のを充填した。ウレタン注入時は、充填状況を目視観察し、内部の圧力と温度を測定した（図3）。

4. 実験結果

(1) 加圧通水実験 490 kN/m² で3日間加圧通水したが、鉄板とウレタンの境界（1）や打継ぎ（2））からの通水はなかった。しかし、鉄板にグリスを塗布した場合（3））は45 cm 程度の水頭差による加圧通水でも鉄板とウレタンの境界から通水した。施工では、セグメントに付着しているグリスを除去する必要がある。

加圧通水後、土槽を半分に切断して内部を確認した（写真1）。温度収縮により微細なクラックが発生した。しかし、クラックは連続しておらず全体の止水性には問題ないと考えられる。

(2) 模型土槽注入実験 実験の状況を写真2に示す。1回あたり約23.3 Lのウレタンを注入した（空洞の容量は約140 L）。発泡圧は、エア抜きを設置

して注入量を制御したため、最大で49 kN/m² 程度だった。温度は最大で150～180℃程度だったが問題なかった。注入時、目視観察で充填性を確認したが極めて良好だった。注入後、掘削し充填性や付着性を確認した。エア抜きのそばにわずかに空隙が見られたが、その他は細部まで充填されており充填性は極めて良好だった。打継ぎの付着性も良好だった（写真3）。

施工では、エア抜きを設置し発泡圧で注入量を管理することで、発泡圧の過剰を抑制し、ウレタンを細部まで充填させることができると考えられる。

5. まとめ

- ・ウレタンは深度50 mを想定した水压条件下でも十分な止水性を有し、細部への充填性や鉄板や打継ぎの付着性も良好であることがわかった。
- ・安定した発泡倍率と確実な止水性を得るため、セグメントのグリスと空洞の水は除去する。
- ・過剰な発泡圧が生じないようにエア抜きを設置し、注入時は発泡圧でウレタンの注入量を管理する。

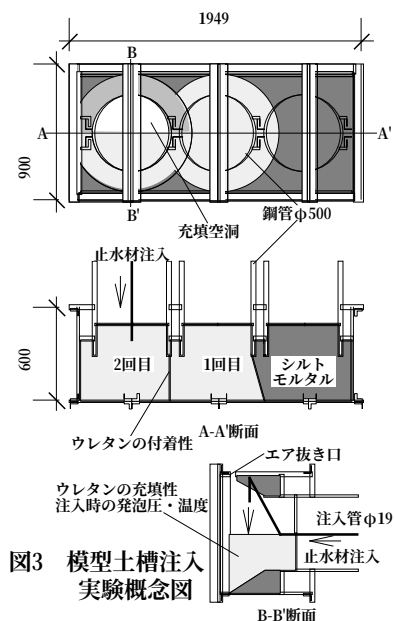


図3 模型土槽注入実験概念図



写真1 加圧通水後の供試体断面（左：鉄板 中：打継ぎ 右：グリス）

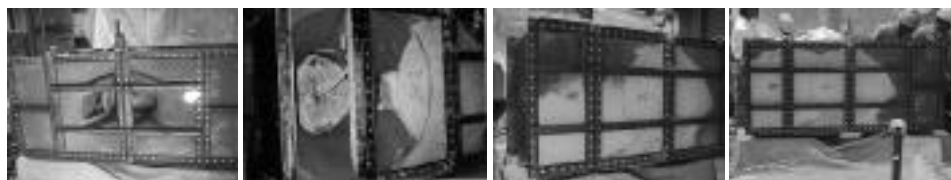


写真2 模型土槽注入実験状況

（左より、1回目注入前、2回目注入前、2回目注入状況、2回目注入後）



写真3 付着性確認状況