

発泡ウレタンによるトンネル背面空洞の充填性に関する模型実験

公益財団法人鉄道総合技術研究所
アキレス株式会社

正会員 ○三輪陽彦, 野城一栄, 浦越拓野, 秋元優太郎
豊田勝敏, 田中弘栄

1. 研究の目的

矢板工法により建設された山岳トンネルには、建設時の技術的な問題等から背面空洞が存在していることがある。背面空洞がある場合、側方から地圧を受けた時に天端で変形が起きやすくなるほか、地山の緩みによる押し抜き荷重を受けた時に覆工の押し抜きせん断破壊が生じる可能性があることが報告されており、計画的に対策することが望まれる。

背面空洞の対策として裏込注入工があり、充填材として発泡ウレタンも用いられている。発泡ウレタンは、①混練が不要なため注入装置の小型化が可能、②単位体積重量が小さく覆工巻厚が薄い場合でも適用できる、という特徴があるが、覆工背面が充填される過程や、空洞の充填性能については十分に把握されていない。このため、これらを明らかにすることを目的として模型実験を行った。

2. 実験方法

曲率を持ち、実際のトンネルを模擬した鋼製の試験装置を製作し、試験装置の内部をウレタンで充填する実験を実施した。ウレタンの物性・反応性を表-1に示す。ウレタンは、空洞充填として標準的な40倍発泡とした。試験装置(図-1)はライナープレート製で、新幹線トンネルを想定した曲率を持たせ、寸法は3.3m×0.3m×2.5mとした。また、下側のみライナープレートに鋼板を取り付け平滑とし、注入孔側の妻面はアクリル板を取り付け、反対側の妻面は開放とした。試験装置の設置状況を図-2に示す。

表-1 ウレタンの物性・反応性

項目	単位	原液名 SK-02
混合液比重	—	1.20
配合率 (I : R)	—	100 : 63±3
発泡倍率	倍	40
密度	kg/m ³	30±3
圧縮強度	N/mm ²	0.14 以上
クリームタイム	秒	14±5
ゲルタイム	秒	60±10
燃焼性	—	JIS A 9521 合格

試験手順は以下の通りとした。

- 注入孔より、表-2に示した注入速度、設定注入量で試験装置内部にウレタンを注入する。
- ウレタン注入量が設定注入量に達した場合、または注入圧が所定の圧に達した場合、または試験装置の下流側の開放部分からウレタンが漏出した場合には、注入を終了する。
- 注入材料が十分硬化したのちにライナープレート上面に設置した観察孔を開け充填状況を確認する。
- 試験装置を解体し内部の状況確認を行う。天端部を中心に硬化したウレタンを切り出して充填状況の観察を行う。

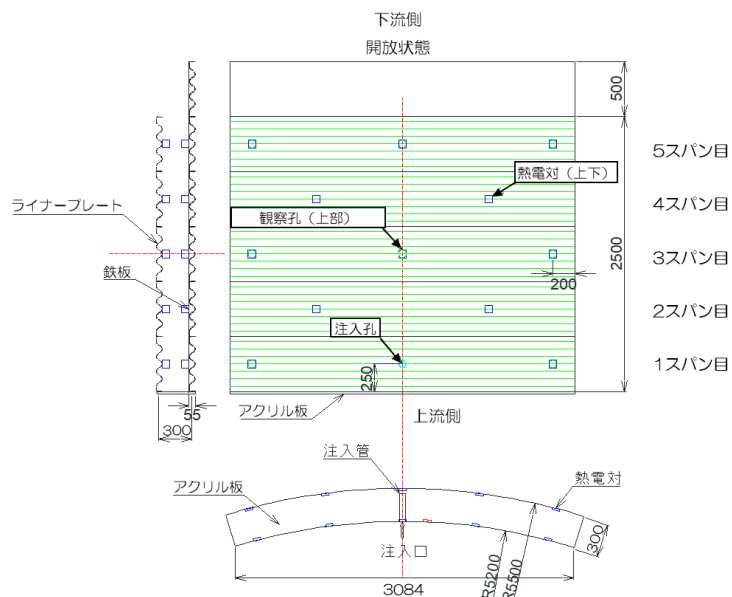
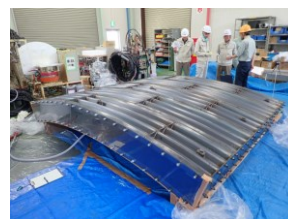


図-1 実物大トンネル充填性試験の試験装置

表-2 注入条件

注入速度	設定注入量
8kg/min (240L/min 相当)	109kg (容積の 150%)



試験装置全景



試験装置内部

図-2 試験装置設置状況

キーワード トンネル 背面空洞 発泡ウレタン 充填性実験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 構造物技術研究部 トンネル TEL 042-573-7266

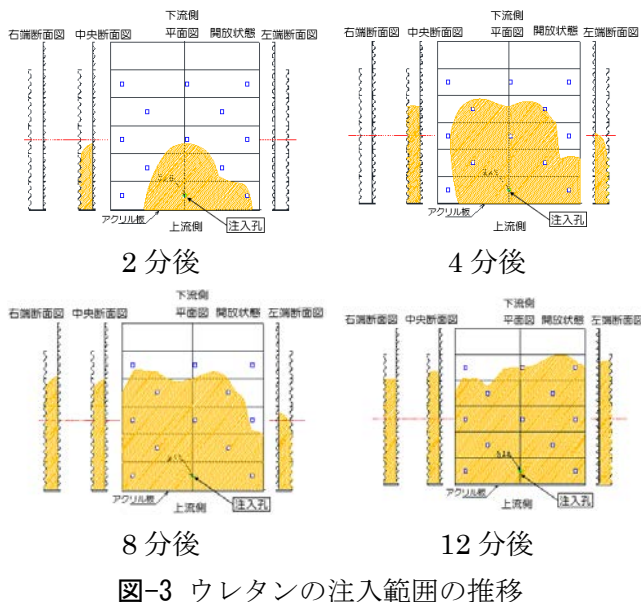


図-3 ウレタンの注入範囲の推移



(a) 約1分後 (b) 約1分50秒後

図-4 ウレタンの注入状況

3. 実験結果

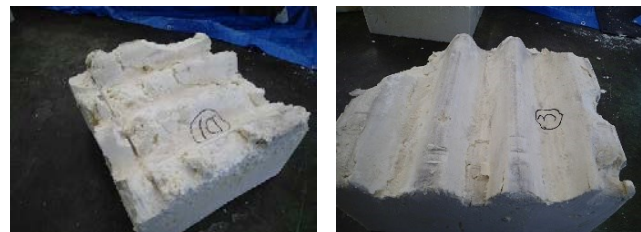
ウレタンの充填範囲の推移を図-3に、注入状況を図-4に示す。注入直後は注入孔付近に発泡前のクリーム状のウレタンが同心円状に広がった(図-4(a))。注入開始から概ね1分後に発泡が始まりウレタンがゲル化した。その後、注入孔から開放部に向かってゲル化したウレタンが移動し広がっていった。また、これと並行して、硬化が始まったウレタンを内部から突き破るようにゲル状のウレタンが噴出した(図-4(b))。それ以降はゲル状のウレタンの移動、拡大と、内部からのウレタンの噴出を繰り返す形で進み、開放側の妻面に先端が到達したため注入を停止した。

注入終了後、試験装置を解体して空洞の充填状況を観察した。図-5に試験装置内部の空洞の充填状況を示す。右側部および左側部のそれぞれ、注入孔側妻から4スパン目まで(約2m位置)はウレタンで充填されていた。なお、5スパン目(約2.5m位置)については部分的に充填されていない箇所があった。なお、これは実験装置の寸法の都合であり、実験装置の線路方向の長さを長くすればさらに先まで充填できる可能性が推察された。



注入孔側妻部 下面側

図-5 空洞の充填状況(妻板・下側ライナー取外後)



4スパン目左側 1スパン目右側

図-6 凹凸部の充填形状(上側ライナー取外後)

充填されたウレタンを切り出して取り出したものを図-6に示す。図より、ライナープレートの凹凸に沿って充填されていることを確認した。

その他に、ひび割れを模したスリットを作り、ウレタンがこれを通るかどうかを確認した。この結果を表-3に示す。発泡前のクリーム状のウレタンは、3mmのスリットでも通過するが、発泡してゲル化したウレタンであれば、7mmのスリットは通過しないという結果となった。注入孔の周りに幅の広いひび割れがある場合はひび割れのシーリングを行うなどの配慮が必要であると考えられる。

表-3 スリットの通過性の試験結果

スリットの幅	発泡前のウレタン (クリーム状)	発泡後のウレタン (ゲル状)
幅 3mm	通過	非通過
幅 7mm	通過	非通過

4. まとめ

実トンネル背面空洞へのウレタン注入の適用性について評価を行った。ウレタンにより空洞が充填される過程を明らかにするとともに、ウレタン注入孔から少なくとも2m程度については、トンネルの背面空洞を、壁面の凹凸にも追従して確実に充填が可能であることを確認した。

参考文献

- 野城一栄, 小島芳之, 藤井大三, 川上義輝: 欠陥を考慮したトンネル覆工の押し抜き模型実験, トンネル工学論文集, p.123-130, No.14, 2004.11