

発泡ウレタンによるトンネル覆工背面狭あい箇所への充填性に関する模型実験

アキレス株式会社
公益財団法人鉄道総合技術研究所

正会員 野城一栄, 三輪陽彦, 浦越拓野, 秋元優太郎

正会員 ○田中弘栄, 豊田勝敏

1. 研究の目的

矢板工法により建設された山岳トンネルの覆工は、施工当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。このような場合、側方からの地圧を受けたときに天端で変形が発生しやすくなるほか、地山の緩みによる押し抜き荷重を受けたとき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¹⁾、計画的に対策を実施することが望まれている。背面空洞の対策として裏込め注入工があり、充填材として発泡ウレタンが用いられている。発泡ウレタンは、①練り混ぜ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、背面空洞への注入時の挙動や充填性能については十分に把握されていない。このため、文献²⁾に引き続き

狭あい箇所への充填性を確認する模型実験を行った。

2. 実験方法

発泡ウレタンが空洞内を充填する過程を把握するため、縦横 0.3m・奥行き 4m の直方体の実験装置内部に角材や H 形鋼などの障害物を設け（図 1）、内部を充填する実験を実施した。ここで実験装置の両側は開放されており、中央部から注入する。実験に用いたウレタン材料の物性を表 1 に示す。試験ケースは注入速度をパラメータとした 2 ケース（表 2）とした。

3. 実験結果

Case1 における発泡ウレタンの経過時間による充填状況の推移を図 2 に、試験装置の注入状況写真を図 3 に示す。注入直後は角材 A-A' 間にゲル状のウレタンが滞留し、その後発泡して左右に広がった。注入を始めると、左右のうち一方の側が先にゲル化して、一次的に「バルクヘッド」（赤点線範囲）が作られたものの、注入速度が大きいことから、後から注入されたウレタンが、自らの発泡力で「バルクヘッド」を突き破ってその先を充填していった。ウレタンは H 形鋼と角材の隙間を通りながら両端へと広がった。Case1 では所定の範囲がほぼ充填され、H 鋼や角材のような障害物が存在する場合でも、注入孔の両側を、その形状にあわせて充填が可能であることを確認することができた。

次に、Case2 における発泡ウレタンの経過時間による充填状況の推移を図 4 に、試験装置の注入状況写真を図 5 に示す。Case1 と比較すると、B-a 間より左側は全く注入されていない状況となった。Case1 と同様、Case2 でも先行した左側が先にゲル化して「バル

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	

表 2 実験ケース

ケース	注入速度	設定注入量
Case1	8kg/min (240L/min 相当)	16.2kg (容積の 150%分)
Case2	4kg/min (120L/min 相当)	16.2kg (容積の 150%分)

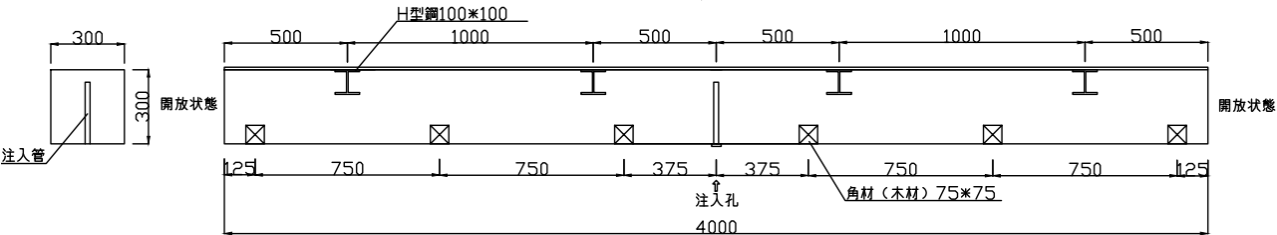
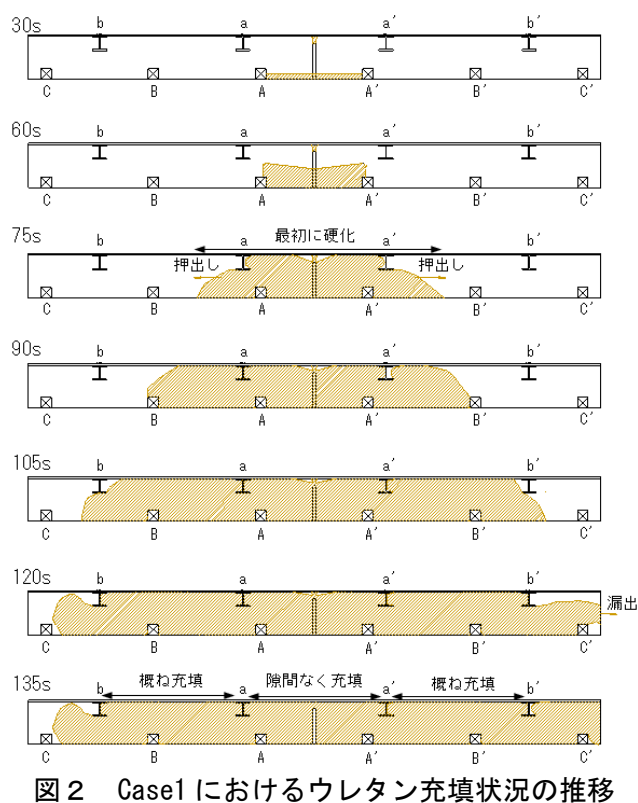


図 1 実験装置



クヘッド」が作られたが、注入速度が遅いことに起因し、後から注入したウレタンが「バルクヘッド」を突き破ることができず、注入孔の右側に偏って流れたことによるものと考えられる。ただし、障害物周辺への充填状況をみると、注入されている部分については、一部空隙（A'部（赤点線範囲））が見られたものの、おおむね良好に充填されていた。

なお、同じ試験装置を用いて、別途片押しの実験を実施したが、片押しの場合は、Case1と同様、空隙なく良好に充填されることを確認した（図6）。

以上から、両押し条件の場合は、ウレタンの流出方向に偏りが生じないように、適切な注入速度を設定する必要があることがわかった。

4. まとめ

発泡ウレタンの覆工背面空洞への注入時の挙動や充填性能を確認するため、注入を模擬した模型実験

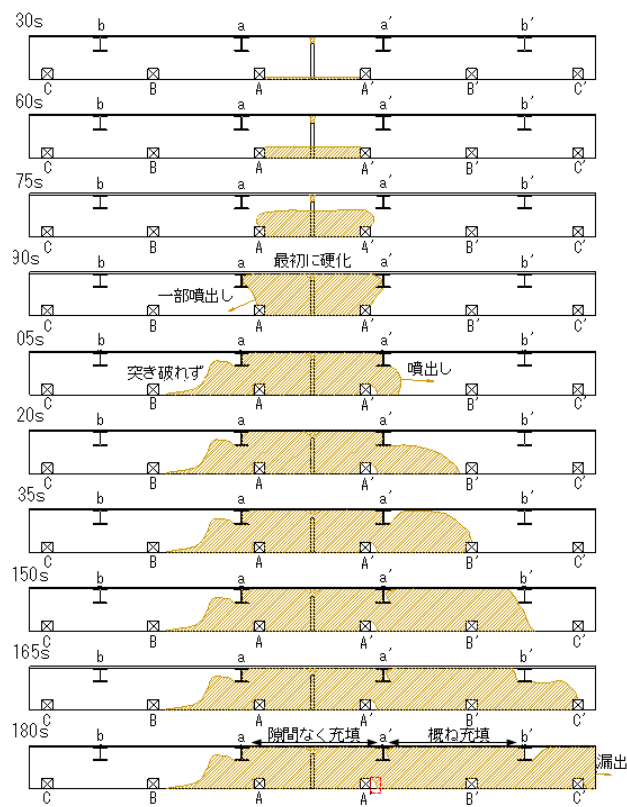


図5 Case2におけるウレタン注入後の状況写真



図6 片押し条件でのウレタン注入後の状況写真

を行った。注入速度を調整して、流出方向に偏りを生じないようにすることにより、障害物がある場合でも空洞を適切に充填できることを確認した。

参考文献

- 1) 野城他：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
- 2) 三輪他：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，土木学会年次学術講演会，VI-344，2022.9