# 発泡ウレタン40倍による既設トンネル裏込注入工の漏出幅および注入増加率について

㈱マシノ　正会員　○ 濵田　晋
㈱マシノ　正会員　　木下　泰範
㈱マシノ　　坂本　全布

## １．はじめに

既設トンネル裏込注入工は従来，可塑性エアモルタルを充填材として空洞充填を実施するケースが主流である．しかし可塑性エアモルタルの性質上，加圧時は流動性を得るため材料が流動・逸走しやすく，計画量から空洞充填量の大幅な増加や，覆工コンクリートひび割れ等からの漏出による第三者への飛散事故が起こっている．そこで近年，非セメント系の発泡ウレタンを充填材として裏込注入工を実施するケースが全国的に増えており，特に発泡ウレタン40倍が採用され標準となってきている．

既設トンネル裏込注入工で使用する発泡ウレタン40倍は混合後約12秒で発泡開始，約60秒で硬化する急速発泡硬化型であるため，材料が流動・逸走しにくいという材料特性を有している．そのため地山への浸透や亀裂からの漏出を極力小さくできることから、計画量から空洞充填量の増加を抑えることができる．また覆工コンクリートひび割れ等からの漏出もしにくく，材料の漏出・飛散事故の発生を抑えることができる．

しかし漏出幅については明確な数値が示されていない．そこで筆者らは，現場施工と同じ方法で注入した場合，どの程度のひび割れ幅で覆工コンクリートからトンネル坑内へ漏出するのか，またどの程度空洞充填量が増加するのかを実物大試験により確認した．

## ２．試験装置

図-1に試験装置の構造概略を示す．空洞範囲を直径1m程度，覆工コンクリート厚さ600mm，空洞高さ300mmとし，空洞範囲の中心位置に注入孔を設け，覆工コンクリートひび割れは注入孔から250mmの位置に4種類設けた．なお試験装置作成時のコンクリート打設・型枠脱型の工程で，ひび割れ幅が目標値に対して変動する可能性を考慮して，型枠脱型後に測定しその値をひび割れ幅として採用した．

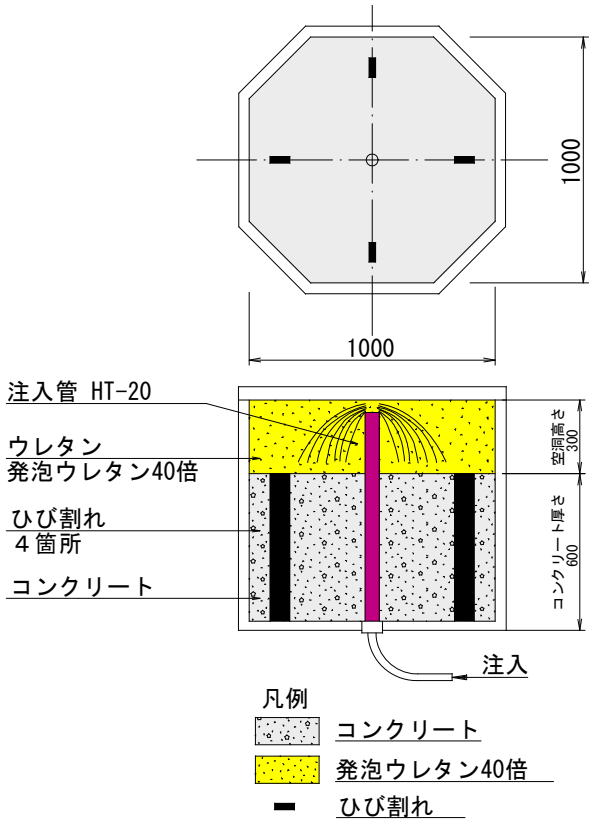


図-１．試験装置 構造概略

## ３．試験方法

既設トンネル裏込注入工は通常，①定量注入（削孔後の空洞調査に基づいて算出した注入量を充填完了の目標値とする注入管理）と②圧力注入（注入初期圧から0.2MPa圧力上昇を確認した時点で充填完了とする注入管理）の２種類の管理方法で注入を行う．したがって本稿試験においても①定量注入②圧力注入の２ケースについて試験を行った．表-１に２ケースの試験条件について示す．

キーワード　トンネル補修，裏込注入工，発泡ウレタン，セットフォーム工法
連絡先　〒733-0822 広島市西区庚午中1-19-23　(株)マシノ トンネルグループ　TEL082-507-2737　E-mail:hamada@mashino.co.jp

表-１．試験ケースと条件

| | 注入方法 | 注入終了目標 | ひび割れ幅（4 種類） | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ケース① | 定量注入 | 計算値に基づく注入量 | 3.2mm | 5.4mm | 10.2mm | 12.9mm |
| ケース② | 圧力注入 | 初期圧＋0.2MPa 上昇 | 4.6mm | 6.6mm | 10.6mm | 13.1mm |

注入について，現地施工で使用する注入機械，器具，材料と同じものを使用して注入を行った．なお，発泡ウレタンは製造メーカーにより発泡体密度，発泡倍率，発泡体強度等の物性値が異なる．本稿試験で使用した発泡ウレタン 40 倍の物性値を表-２に示す．

漏出の確認方法について，試験装置に設けた 4 種類のひび割れ箇所での漏出の有無および漏出深さを，試験装置・覆工コンクリートを解体して確認する．充填量増加率の確認方法について，試験当日に事前発泡させた発泡ウレタンの発泡倍率(a：基準値)，試験で充填した発泡ウレタンの発泡倍率(b：試験値)をそれぞれ計測し，(a)/(b)=(増加率)として求める．

表-２．発泡ウレタン 40 倍の物性値

| | | |
|---|---|---|
| 発泡体密度 | 30±3 kg/m³ | |
| 発泡倍率 | 40 | ＋4.4 −3.6 倍 |
| 圧縮強度 | 0.17 | ＋0.13 −0.03 MPa |
| 曲げ強度 | 0.28 | ＋0.18 −0.05 MPa |

## ４．試験結果

試験結果を表-3，ウレタン充填状況を写真-1～2 に示す．

写真-１．充填状況(ケース①)

写真-２．充填状況(ケース②)

表-３．試験結果

| | ひび割れ幅 | 漏出の有無 | 漏出深さ(浸透深さ) | 発泡倍率 試験前(a) | 発泡倍率 試験後(b) | 増加率(a)/(b) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ケース① | 3.2 mm | 無 | - | 41.2 倍 | 38.4 倍 | 1.07 |
| | 5.4 mm | 無 | - | | | |
| | 10.2 mm | 無 | - | | | |
| | 12.9 mm | 無 | - | | | |
| ケース② | 4.6 mm | 無 | - | | 32.6 倍 | 1.26 |
| | 6.6 mm | 無 | - | | | |
| | 10.6 mm | 無 | - | | | |
| | 13.1 mm | 有 | 90mm | | | |

ひび割れへの漏出に関して，ケース①では漏出は起こらず，ケース②では幅 13.1mm のひび割れに対して深さ 90mm の漏出（浸透）が起こった．充填量増加率に関して，ケース①で増加率 1.07 倍，ケース②で増加率 1.26 倍となった．

## ５．まとめ

発泡ウレタン 40 倍による既設トンネル裏込注入工は，目視にて確認できる程度の覆工コンクリートひび割れに対して漏出対策を行うことにより，注入材料の漏出・飛散をほぼ防げるといえる．また，充填量増加率も圧力注入において 1.26 倍と比較的低倍率であることから，発泡ウレタン 40 倍は地山への浸透や亀裂からの漏出を極力小さくでき，計画量から空洞充填量の増加を抑えることができるといえる．