

## VI-74

## ウレタン注入式フォアポーリングにおけるウレタン注入材の地山改良特性に関する実験的研究

日材技術開発(株) 正員○河原幸弘、(株)森本組 正員 上杉広光、ハザマ 正員 肥後満朗  
第一工業製薬(株) 牧 宏久、(株)ガックス 中垣圭介  
山口大学 正員 古川浩平、正員 中川浩二

## 1. はじめに

ウレタン注入式フォアポーリングは、トンネル掘削時に用いられる先受工の一種であり、ボルトの剛性に加え地山にウレタンを注入することで各ボルト間の地山を補強し、地山の崩落を防止する補助工法である。また、この工法は、注入材に固結体強度が大きく、発泡するという特性を持つウレタンを使用するところに大きな特徴がある。そのため、地山の条件に応じてどの範囲をどのように改良補強するかがその効果を左右することになる。筆者らは、ウレタン注入式フォアポーリングに通常使用されているウレタン注入材について、実施工での施工性および改良効果に着目したウレタンの材料特性に関する室内試験を実施している<sup>1)</sup>。

本研究は、ウレタン注入式フォアポーリングにおける地山改良特性を検討するためには、改良体の形状や大きさ等の固結形状を把握することが必要と考え、実施工で用いられるウレタン注入材を使用し、種々の注入条件により注入し、改良体の形状や大きさ等を観察する模擬地山注入実験を行い、固結形状に及ぼす要因を明らかにすることを主たる目的としている。

## 2. 実験装置および実験概要

図-1に示すように内径30cmの円筒缶にφ22mmの注入ボルトを設置し、次に所定の地山材料を3層で締め固め、上部に高強度のウレタンを用いてシールし、1.5ショットで所定の注入量を注入した。注入材料は表-1に示すように使用実績の多い注入材S、最近使用実績が増えている注入材Rを用いた。注入ボルトは、通常使用されているφ22mmの鋼管で、模擬地山のほぼ中央位置に直交する方向に注入孔を4孔設けた。模擬地山の材料としては、注入後に固結体を水洗いで取り出せることに配慮するとともに、間隙の大きさの差が反映されるように、①山土(粘性土を含む)、②マサ、③礫(25mmフルイ残留の砂利)と砕砂(1.7mmフルイ残留の碎石)の混合物の3種類を選定した。模擬地山の作成は、①山土と②マサについては、まず、表乾状態に保ち、次に水を加えて含水比を調整したものを、10cm厚ずつ3層に分けて締め固めた。③礫と砕砂の混合物については、空気中乾燥状態のものを自由落下により充填した。地山条件および注入条件によって、固結形状は異なると予想されることから、これらの条件を組み合わせた総数78ケースの注入試験を実施した。ここで、注入速度と注入量については、供試体のサイズを考慮し、表-2に示す範囲で5段階に変化させた。また、注入完了後に、円筒缶を切断して固結体を取り出し、固結体の体積は水置換によって測定した。

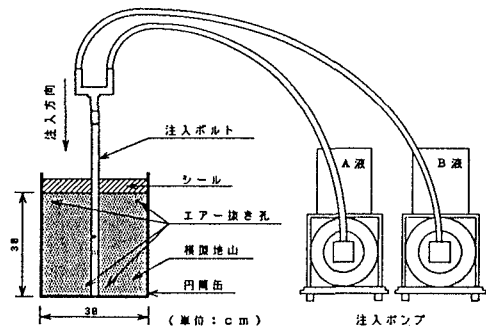


図-1 実験装置

表-1 使用注入材の特性

|                   | 注 入 材 S   |         | 注 入 材 R   |         |
|-------------------|-----------|---------|-----------|---------|
|                   | A 液       | B 液     | A 液       | B 液     |
| 主 剤               | ポリオール     | イソシアネート | 珪酸ソーダ     | イソシアネート |
| ライズタイム<br>(秒/20℃) | 70 ± 15   |         | 45 ± 15   |         |
| 発 砲 倍 率           | 8 (自由発泡時) |         | 8 (自由発泡時) |         |

表-2 実験条件

| 項 目     | 設定条件                                             |
|---------|--------------------------------------------------|
| 地山の種類   | ①山土, ②マサ, ③礫と砕砂                                  |
| 含 水 比   | ①山土: 13~25%の5種類<br>②マサ: 9~21%の5種類<br>③礫と砕砂: 気乾状態 |
| 注 入 材   | S, Rの2種類(表-1参照)                                  |
| 注 入 速 度 | 1~5/minの5種類                                      |
| 注 入 量   | 0.25~1.25/本の5種類                                  |

表-3 固結形状の分類

| 形状分類 | A(浸透)                                                                             | B I(割裂浸透)                                                                         | B II(割裂浸透)                                                                        | C(割裂)                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 外観形状 | 土粒子を取り込んだ<br>葉状の固結体                                                               | 土粒子を取り込んだ<br>葉状または円筒状                                                             | 土粒子を取り込んで<br>いるが歪な形状                                                              | 土粒子の取り込みが<br>少なく葉片状                                                               |
| 内部形状 | 浸透による<br>注入形状                                                                     | 割裂による<br>葉状注入                                                                     | 割裂による<br>葉状注入                                                                     | 割裂脈による<br>葉状注入                                                                    |
| 固結形状 |  |  |  |  |
|      | A                                                                                 | B I                                                                               | B II                                                                              | C                                                                                 |

| 模擬地山 | 含水比         | 注入材 | 固結体の形状 |                |                 | 供試体No.                             |
|------|-------------|-----|--------|----------------|-----------------|------------------------------------|
|      |             |     | A      | B <sub>I</sub> | B <sub>II</sub> |                                    |
| 山土   | 13%<br>(表乾) | S   |        | 9              |                 | 1, 2, 3, 4, 5, 27, 28, 29, 30      |
|      |             | R   |        | 5              | 4               | 6, 7, 8, 9, 10, 31, 32, 33, 34     |
|      | 16%         | S   |        | 1              |                 | 23                                 |
|      |             | R   |        |                | 1               | 26                                 |
|      | 19%         | S   |        | 1              |                 | 22                                 |
|      |             | R   |        |                | 1               | 25                                 |
|      | 22%         | S   |        | 1              |                 | 21                                 |
|      |             | R   |        |                | 1               | 24                                 |
|      | 25%         | S   |        |                | 9               | 11, 12, 13, 14, 15, 35, 36, 37, 38 |
|      |             | R   |        |                | 9               | 16, 17, 18, 19, 20, 39, 40, 41, 42 |
| まさ   | 9%          | S   |        | 9              |                 | 56, 57, 58, 59, 60, 74, 75, 76, 77 |
|      |             | R   |        | 4              | 5               | 61, 62, 63, 64, 65, 78, 79, 80, 81 |
|      | 12%         | S   |        | 1              |                 | 69                                 |
|      |             | R   |        |                | 1               | 73                                 |
|      | 15%         | S   |        | 1              |                 | 68                                 |
|      |             | R   |        |                | 1               | 72                                 |
|      | 18%         | S   |        | 1              |                 | 67                                 |
|      |             | R   |        |                | 1               | 71                                 |
|      | 21%         | S   |        |                | 1               | 66                                 |
|      |             | R   |        |                | 1               | 70                                 |
| 礫    | 気乾          | S   | 5      |                |                 | 46, 47, 48, 49, 50                 |
|      |             | R   | 5      |                |                 | 51, 52, 53, 54, 55                 |

⑨供試体No. 43, 44, 45は欠番

### 3. 実験結果と考察

#### a) 固結体の形状について

水洗いで残った固結体は大きさが異なるのみならず、様々な形状が観察された。本研究では、これらの形状を①外観、②内部構造から表-3に示すように4分類して考察した。ここで、外観の形状は固結体のスケッチおよび写真から分類し、内部構造については、礫と碎砂の混合物を対象としたケースを除き、山土およびマサを対象地山とした固結体を切断し、切断面を観察した。この結果、山土やマサの場合においては、割裂による注入脈が観察された。そこで、これらの形状を左右する要因を整理すると、注入量や注入速度には左右されず、模擬地山の特性や注入材の種類に左右されていると考えられる。図-2は、模擬地山の種類と地山含水比および注入材の種類別に、固結体の形状を分類したものであり、以下の傾向が読み取れる。

- 1) 山土やマサの場合には、含水比が形状に及ぼす影響は大きい。
- 2) 山土やマサにおいて注入材の種類で比較すると、注入材Sの方がよりB Iの形状を示しやすい。
- 3) 礫と碎砂の混合物においては、全てにおいてAの形状を示す。

#### b) 固結体の大きさについて

図-3(a)~(c)は、注入速度を1 l/minと一定として注入量を0.25 lから1.25 lまで段階的に変化させたケースでの体積測定結果を示している。図-3(a)は、山土を模擬地山としたケースであり、含水比が13%の場合は、注入材Sで実注入量に対し約5倍、注入材Rで約3.5倍の固結体が得られている。また、含水比が25%の場合は、注入材Sで約2.7倍、注入材Rで約3.7倍の固結体が得られている。次に、図-3(b)に示す含水比が9%のマサにおいては、注入材Sで約5.5倍、注入材Rで約4.5倍の固結体が得られている。また、図-3(c)に示す礫と碎砂の場合は、注入材Sで約9.5倍、注入材Rで約6倍の固結体が得られている。また、どの模擬地山においても、実注入量と改良体積は良い相関を示していることが認められる。

### 4. まとめ

今回の実験結果より、ウレタン注入材による固結体の形状や大きさについていくつかの知見が得られた。これらの結果は、ウレタン注入式フォアポーリングの事前設計や施工管理において有用な情報になるとと思われる。

〈参考文献〉 1) 肥後清朗・牧宏久・古川浩平・中川浩二: 山岳トンネルにおける注入式フォアポーリング用ウレタンの材料特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 504/IV-25. pp. 117~126, 1994. 12

図-2 固結形状の割合

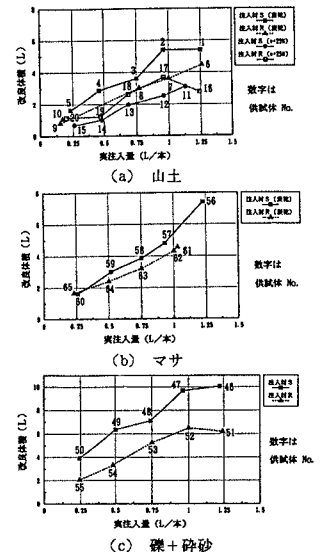


図-3 実注入量と改良体積の関係