

未固結地山トンネルへのウレタン注入式フォアポーリングの注入改良形態に関する研究

ハザマ 正会員 ○鈴木雅行, 石井恭二

第一工業製薬 非会員 鮫沢 博

山口大学 正会員 吉武 勇, フェロー 中川浩二

1. はじめに

未固結地山のトンネル掘削において、トンネル掘削時の切羽の安定対策として、ウレタン注入材を用いたフォアポーリングが適用されている。現在、ウレタン注入材を用いたフォアポーリングを山岳トンネル掘削へ適用するにあたっては、経験的な設計手法により採用されているのが実情である。そこで、本研究ではウレタン注入材を用いたフォアポーリングの注入形態を把握すべく、4種類の硅砂で作成した模擬地山を対象とした室内実験を実施し、硅砂の透水係数の違いによる注入固結形態の違いについて検討した。さらに、実際の地山にウレタン注入材を注入し、模擬地山で確認された注入形態と模擬地山における結果の比較を試みた。本研究は、以上の研究内容について報告するものである。

2. 室内注入実験による基礎特性評価

(1) 地山の透水性の相違による固結形態の確認

本研究における室内注入実験の主な目的は、地山の透水係数とウレタン注入材による固結体の形成状況の相互関係を調べ、その評価を行うことにある。そこで、粒径がほぼ一樣な硅砂を用いて構築した模擬地山において室内注入実験を行い、そこで形成された固結体の形状と透水性の関係を求めた。実験は、**図-1**に示す円筒形容容器内（ $\phi 30 \times h 30 \text{ cm}$ ）に、含水比を調整した3, 4, 6, 8号硅砂を三段に分けて投入・突き固め模擬地山を作製し、その中にウレタン注入材の注入を行った。注入は $\phi 22 \text{ mm}$ の注入ボルトを設置して、注入速度 0.5 l/min 、注入圧力 0.5 MPa および注入量 0.5 l/本 で行った。また、模擬地山の含水比は、自然状態に近い10%とした。

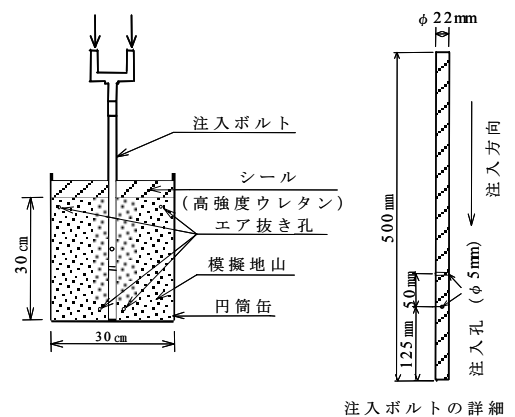


図-1 室内注入実験装置

表-1 室内注入実験による固結体形状の分類

分類	浸透型	割裂・浸透型		割裂型
含水比 $w=10\%$				
硅砂	3号	4号	6号	8号
透水係数	$1.32 \times 10^0 \text{ cm/sec}$	$2.71 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$	$6.70 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$	$4.65 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

(2) 実験結果と考察

表-1 にウレタン注入固結体の形状分類を示す。形成された固結体は、注入管を中心とする回転楕円体形状タイプ、いくつかの塊状固結体の組み合わせによる不規則な塊状タイプ、平板形状の固結体タイプ、等がみられた。これらの固結体は、その形状から成形過程を判断し、それぞれ浸透型、割裂型および両者の中間型である割裂・浸透型に分類した。それぞれのタイプの生成は地山の透水性と密接に関係しており、模擬地山の透水

キーワード：山岳トンネル, ウレタン, シリカレジン, 固結形状, 現場実験

連絡先（〒107-8658 東京都港区北青山二丁目5番8号 TEL：03-3423-1801）

係数が小さくなるほど、浸透型→割裂型に移行していることが確認された。具体的には、透水係数 $k=1.32 \times 10^0 \text{ cm/sec}$ 程度(3号珪砂)では、ほとんど浸透によってひとつの塊が形成されることから回転楕円体形状となるが、透水係数 $k=2.71 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ 程度(4号珪砂)や $k=6.70 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 程度(6号珪砂)では、部分的な浸透形成のため、いくつかの塊状の重ね合わせとなる(割裂・浸透型)。さらに、透水係数 $k=4.65 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ 以下(8号珪砂)に至っては浸透による注入はほとんどみられず、模擬地山を注入圧で割裂した上でその割裂脈にウレタンが充填されるため、局所的な充填効果となり平板状を形成している。室内実験により地山条件と固結体の形成について透水係数という地山物性値の尺度でウレタン注入材の固結形態を分類できたことは、ひとつの有意性と考えられる。

3. 現場場注入実験による固結形態の特性評価

(1) 注入材料および注入量・注入速度の相違による固結形態の比較

先に示した室内注入実験は、均一な透水係数を有する地山を対象とするという理想的な条件下のものであり、実際の地山条件下とは大きく異なることが予想される。そこで、不均一性を有する条件下での注入形態を検討するために実地山においてウレタン注入を実施し、その後固結体を掘り出すことによってその形態について検討することとした。現場注入実験場所は広島型花崗岩と一部まさ化した強風化花崗岩が分布した切土法面(幅30m, 高さ5~10m)である。表-2に実験現場の物性値を示す。地山への注入は実施工条件を模擬するため、通常のフォアポーリングで用いる機器により $\phi 42 \text{ mm}$ ビットで地山を穿孔し、 $\phi 25 \text{ mm} \times \text{L}3 \text{ m}$ の注入ボルトを挿入して行った。さらに、注入圧に関しては実際の注入圧力同様に、平均して約1.0~1.5MPa程度とした。

(2) 実験結果および考察

掘り出した固結体のうち典型的な事例を表-3に示す。ウレタン系材料であるシリカレジンとウレタンは、注入ボルトの周辺のみならず、ボルト部のいずれかの箇所においても、割裂浸透による固結体を形成していた。また、より広範な地山条件に対するウレタン注入材の固結体の生成状況について検討するため、地山安定化が必要とされる代表的な地山の12地点に対し、ウレタン注入材の注入実験を実施した。その結果、図-2に示すように、多くの場合、透水係数が 10^{-3} cm/sec 程度より小さい地山においては割裂注入になり、 10^{-1} cm/sec 程度から大きい場合は浸透注入となること、およびこの中間においては割裂・浸透注入となることが分かった。このことは、不均一性を有する実地山においても透水係数という尺度をもって、注入による固結体の形成をある程度推定可能であることを示すものである。

表-2 現場注入実験地点の地山物性

	地 点 1	地 点 2
地質状況	まさ土	強風化花崗岩
平均強度 (N/mm^2)	0.62 (0.05~1.98)	1.63 (0.66~5.25)
透水係数 (cm/sec)	$2 \sim 1 \times 10^{-3}$	$8 \sim 6 \times 10^{-4}$

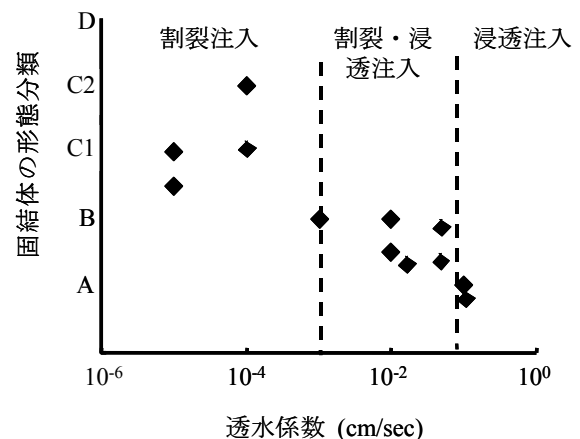


図-2 地山の透水係数の違いによる注入材の固結形態変化。

表-3 現場注入実験による固結体生成状況

対象地盤 注入材	ま さ 土	強風化花崗岩
シリカレジン(SR) 注入量:30 l 注入速度:6 l/min	 一軸圧縮強度:4.1 N/mm^2 , 発泡倍率:1.4	 一軸圧縮強度:7.4 N/mm^2 , 発泡倍率:1.2