

## VI-139

## 長尺先受工法におけるウレタン系注入材の注入システムの検討

|              |           |
|--------------|-----------|
| 福島県会津若松林業事務所 | 村上 宜己     |
| 福島県建設技術センター  | 穴戸 仁      |
| 東日測量設計社      | 鈴木 俊雄     |
| 飛島建設 技術本部    | 市川 健作     |
| 飛島建設 東北支店    | 高輪 進      |
| 飛島建設 大阪支店    | 正会員 川端 康夫 |

## 1. はじめに

近年、山岳トンネルでは、脆弱な堆積層への山岳工法の適用、トンネルの大断面化に伴う急速施工・合理化施工が求められ、効果的な補助工法の採用が重要視されている。このような中、地表面沈下抑制、切羽の安定を目的とした長尺先受工法が積極的に採用されている。

今回、林道市沢線における市沢トンネル工事の終点側約100mの土石流堆積物下を掘削するにあたって、断面拡幅を必要としない長尺先受工法（AGF-P）を適用することとなり、注入効果をより引出すため、ウレタン系注入材の注入システムについて実験的検討を行った。ここでは、実験概要と結果について報告する。

## 2. 検討背景と注入システムの改良

本工法は、通常山岳トンネルで用いられるドリルジャンボにより、切羽前面から鋼管を打設し、鋼管内部から注入材を注入、『鋼管長全区間の周辺地山を均一に改良する』ことで、地表面沈下の抑制や切り羽の安定を図る先受工法である。また、今回検討の対象としたウレタン系の注入材は、2液混合後、約60～90秒で発泡固化（発泡終了時間をライズタイムと称する）することを特徴としている。

当該工事に長尺先受工法を適用するに当たり、従来の注入方式の課題として以下があげられた。長尺先受工でウレタン系の注入材料を用いた場合、従来方式では、鋼管内外の空隙が注入材で充填される前に注入材がライズタイムを迎え、鋼管の注入孔の大多数が閉塞し、一部分からしか注入材が吐出しない不完全な注入状況が生ずる。このため、『鋼管周辺地山で均一な改良体形成が行われない状態』となる。（図-1参照）この課題解決のため、『鋼管内外の空隙が注入材で充填し、注入材が地山に均等に浸透したのち発泡する状態』を注入の理想状態とし、表-1に示す改良策を立案した。

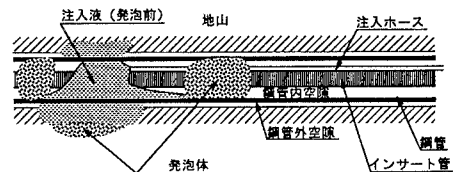


図-1 長尺先受工における注入想定図

表-1 注入方式の改良点

- ①鋼管の吐出孔を大きくし、増やす。
- ②注入ホースの吐出口を増やす。
- ③管内充填のため初期注入速度を速くする。
- ④鋼管内の空隙を少なくする。
- ⑤異なる注入区間を同時注入する。

## 3. 実験概要と結果

まず、注入状況を視覚的に捉えるため、鋼管の代わりに透明の樹脂管を用いたシミュレーション実験を実施した。さらに、地山での杭体形状を検証するため、人工地盤に鋼管を埋設し、その後注入を行うフィールド実験を行った。今回の実験に用いた注入材仕様を表-2に示す。

## 3-1 シミュレーション実験

鋼管の代替品としての透明樹脂管（外径φ89mm）を地山を模擬した透明樹脂管（外径φ114mm、φ3mmのランダム孔110個/㎡を穿孔：地山への浸透状況を想定）で覆い、表-3に示す条件で注入し、注入状況を確認した。注入ポンプは、電動式のウレタンポンプを用いた。

| 注入材の種類 | 注入材の概要                                        | 試験結果                                                       |
|--------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| シリカレジン | 特殊水ガラスとホリソシアネート化合物を1.5ショットで注入（注入比率1:1、比重1.32） | 液温A液22℃、B液25℃<br>②注入速度：6kg/min<br>発泡開始時間 67秒<br>発泡終了時間 88秒 |

表-2 注入材の仕様

| 実験NO.        | 仕 様                                                                                                       |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 共 通          | ①樹脂管長：4m ②注入量：25kg                                                                                        |
| ケース1<br>従来型  | ①注入孔仕様：φ9mm、2孔、50cm<br>②注入速度：6kg/min<br>③インサート管：φ63mm<br>④注入ホース：吐出口1箇所                                    |
| ケース2<br>改良型① | ①注入孔仕様：φ15mm、2孔、30cm<br>②注入速度：初期注入速度13.5kg/min・15kgまで<br>標準注入速度10kg/min<br>③インサート管：φ63mm<br>④注入ホース：吐出口2箇所 |
| ケース3<br>改良型② | インサート管径をφ69mmとし、他はケース2と同条件とした。                                                                            |
| ケース4         | ①樹脂管長：4m×2=8m<br>②中間バックラー：『有り』と『無し』の2ケース<br>③ケース2と同条件で前後を同時注入                                             |

表-3 シミュレーション実験の条件

キーワード：長尺先受工、ウレタン系注入材、注入システム、シミュレーション実験、フィールド実験  
連 絡 先：〒270-02千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬5472 TEL:0471-98-7563 FAX:0471-98-7585

ケース1、ケース2の実験結果を図-2、図-3に示す。横軸に鋼管の吐出孔位置、縦軸に注入材が外側の樹脂管から吐出開始した時間および吐出終了した時間を示す。ケース1では、注入ホースの吐出口周辺の4孔からのみ吐出していたのに対し、ケース2では、ほぼ全孔からの吐出が確認された。また、ケース1は、1箇所を除き、吐出している孔のほとんどが短い時間で閉塞していた。ケース3では、ケース2に比べ、注入区間の両端部に注入材が行渡らない箇所が生じた。管内の空隙が少なくなり、注入材の粘性が流れを阻害したためと考えられる。なお、ケース4の結果、中間パッカーの有無で注入材の吐出状況に差異がなく、パッカーがない状態での同時注入でも、異なる注入区間の注入液が干渉し合わないことが確認された。

### 3-2 フィールド実験

注入装置を包含した鋼管を図-4に示す人工地盤に埋設し、表-3のケース1、ケース2に示す条件で注入を行い、その後、掘出して杭体形状を検証した。注入量は、表-4の条件に基づき、1本当たり67kgとした。地盤材は、吹付けコンクリート用の細骨材を用い、0.7m<sup>3</sup>バックホウで締固めた。また、穿孔時における鋼管と地山の空隙を想定し、鋼管外周にドレーン材を施した。

図-4に従来型注入方式、図-5に改良型注入方式の杭体形状を示す。従来型は、延長4mの内、口元から3mの範囲で注入材の痕跡が確認されず、また限られた注入孔から脈状に注入材が走っている状況が確認された。これに対し、改良型は、鋼管周辺に均等に注入材が行渡っており、その効果が確認された。

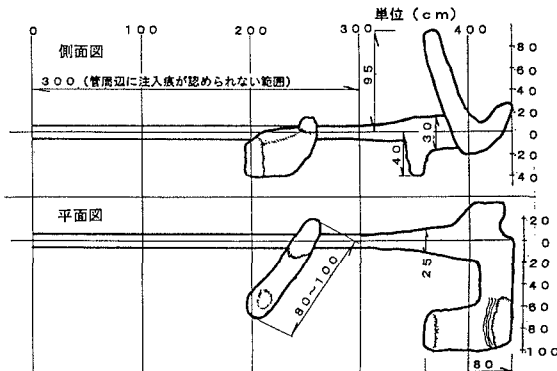


図-5 杭体の出来形（ケース1：従来型）

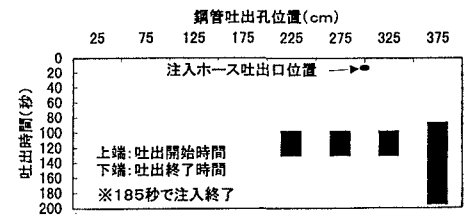


図-2 注入材の吐出時間（ケース1：従来型）

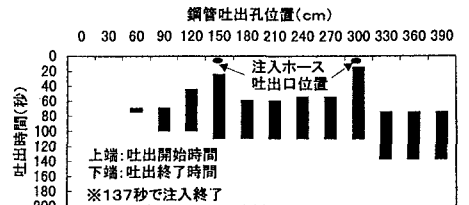


図-3 注入材の吐出時間（ケース2：改良型①）

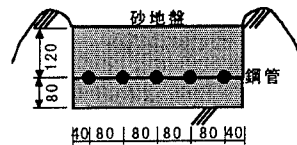


図-4 フィールド実験断面図

表-4 注入量の設計条件

|        |      |
|--------|------|
| ①改良径   | 60cm |
| ②改良長   | 4 m  |
| ③注入率   | 36%  |
| ④ゲル充填率 | 45%  |
| ⑤免泡倍率  | 4倍   |

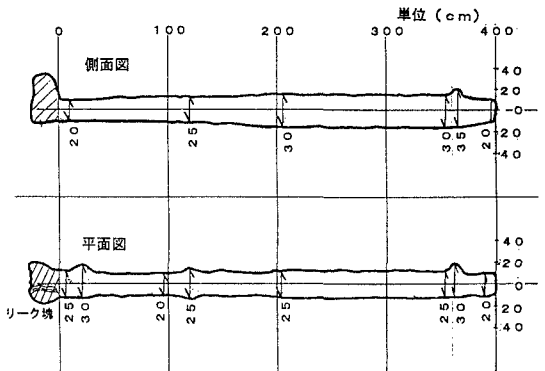


図-6 杭体の出来形（ケース2：改良型①）

### 4. おわりに

今回の試験結果に基づき、本工事では、3箇所同時注入が行えるシステム機を製作し、改良型の注入システムを適用した。本工事掘削時の検証では、鋼管周辺に注入材が行渡っていることが確認されている。

長尺先受工法は、適用条件（地山、施工環境等）によって、使用材料（鋼管径・鋼管長および注入材）が異なるため、一概に本検討結果が完全なものとは判断できない。しかし、確実な改良効果を得るためにも注入の理想状態を考慮した、注入システムを目指さなければならない。今後、さらに実績を積重ね、工法の改良改善を図る所存である。

最後に本実験を実施するに当たり、深いご理解とご協力を頂いた関係各位に感謝の意を表します。