

未固結砂層における鏡補強注入の効果

戸田建設(株)北陸支店 正会員 ○内藤将史*、 正会員 佐藤哲夫*
菅原節郎*、向井隆彦*、竹田英樹*

1. はじめに

地山の流動化判定指標を下回る未固結砂層を対象とした大断面トンネル(掘削断面積 147m²)の施工において、掘削当初はおもに注入式フォアポーリング・注入式鏡ボルトなどの補助工法を駆使して掘削していた。しかし、鏡面の自立性が悪く、剥落・崩落が多発するなど、十分な切羽安定効果が得られない掘削状況にあった。当課題に対し、筆者らは鏡面の地山補強を目的として、二重管ダブルパッカー工法による鏡補強注入を適用した結果、施工の安全性確保、掘削効率の向上、地山変形の抑制などにおいて、大きな効果が得られた。

本報では、主に未固結砂層における鏡補強注入の概要と施工結果、地山補強効果について報告する。

2. 工事概要と問題点

卯辰トンネルは、金沢東部環状道路のうち、金沢市内の卯辰山に掘削される延長 1,220m のトンネルで、本工事はその 4 工事として、御所側および鈴見側より約 392m を掘削するものである。本工事は掘削区間は、卯辰トンネルのほぼ中央から終点側の鈴見坑口に向かったところに位置し、土被り 37~83m の区間となっている。地質は主に未固結の砂層(砂層)からなり、部分的に厚さ 1~10m の泥岩を挟在している。既存調査結果および前工事までの掘削実績から、トンネル天端付近に厚さ 1~3m の泥岩層が存在し、その上部の砂層は被圧された滞水層となっていると想定されていた(図-1 参照)。そのため、掘削による緩みの発生が遮水層としての泥岩層に悪影響を与え、湧水を伴う天端崩落、流砂現象の発生が懸念された。また、表-1 に示すように、前回工事までの工事における砂層の土質試験結果は、一般的な地山の流動化指標(細粒分含有率、均等係数、含水比など)を下回る結果となっており、数度の崩落(16~66m³)が発生している。

掘削当初、トンネル切羽は自立性が悪く、注入式フォアポーリング、注入式鏡ボルト、鏡吹付けで切羽を補強するとともに、リングカットと分割施工を併用して掘削していたが、鏡面の自立性が非常に悪く、剥落・崩落が生じ、十分な切羽安定効果が得られない状況にあった。そのため、切羽の安定性確保および掘削効率の向上を目的として、鏡面の補強注入を適用し、切羽自立性の悪い未固結砂層地山を克服することができた。図-2 に補助工法(当初)と支保パターンを示す。

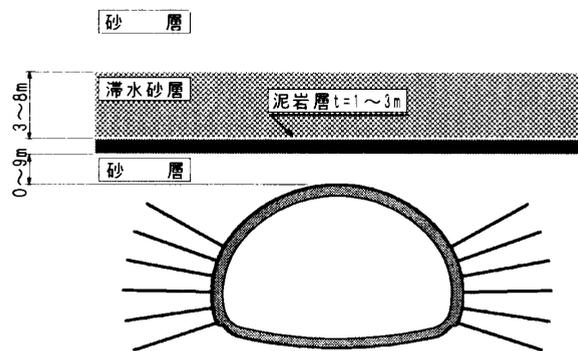


図-1 地質構造模式図

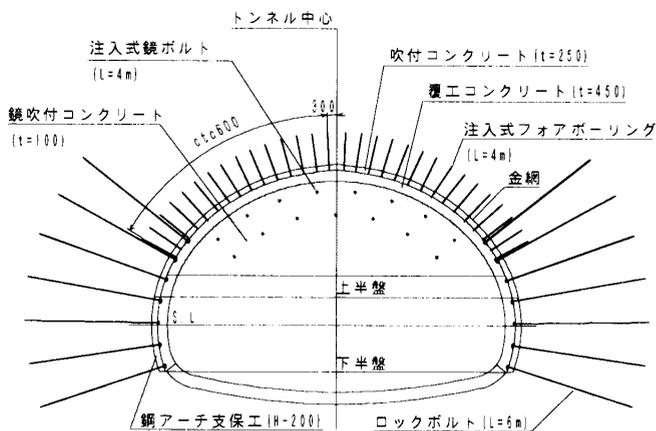


表-1 卯辰山砂層の土質試験結果

	その2工事	その3工事	流動化指標
細粒分含有率(%)	2.0	3.1	<10
均等係数	-	1.9	<5
含水比(%)	12.2	11.9	<15、30<

	注入式フォアポーリング	注入式鏡ボルト
長さ、打設間隔	L=4.0m、@E0~30cm	L=4.0m、@100cm
施工範囲、本数	天端120°、30(設計)~52	リングカット面、15(設計)~17
注入量(kg/本)	40:設計#1)、30:変更#2)	20:設計#1)、13:変更#2)
注入材料	#1): シリカレジン #2): ウレタン 高浸透ウレタン	同左
注入ボルト	FRPボルト(パッカー付)、φ28mm	FRPボルト、φ28mm

図-2 支保パターンと補助工法の概要

3. 鏡補強注入の施工

一般に固結度の低い土砂地山においては、当初採用の切羽安定対策を目的とした補助工法のほか、AGFなどの長尺先受工が考えられる。しかし、前述したように本トンネルの地質構造は、トンネル天端に位置する泥岩層の上部が滞水層となっているため、打設角4~10°程度必要とする長尺先受工の施工により泥岩層を貫き、大量湧水に伴う大規模の崩落発生が予想された。そのため、先受工の注入式フォアポーリングについては、そのまま適用し、鏡面の自立性向上を目的として新たに鏡補強注入の採用を図ることとした。

1) 鏡補強注入の概要

薬液注入工法のうち、確実な浸透固化を実現できる二重管ダブルパッカー工法を採用した。同工法は注入管周囲の空隙などを一次注入材で充填処理した後、ダブルパッカーを用いて一定間隔のステップ注入を繰り返し、確実な浸透注入、改良体造成を行うものである。専用注入管は、鏡面に打設することから、切削可能な樹脂製の注入管を用いた。

注入材としては、スリーブグラウト材（一次注入材：懸濁型速硬性）と浸透注入材（二次注入材：溶液型）を用いた。削孔は2ブームドリルジャンボで行い、砂層においては孔壁自立が困難であることから泡削孔を採用した。

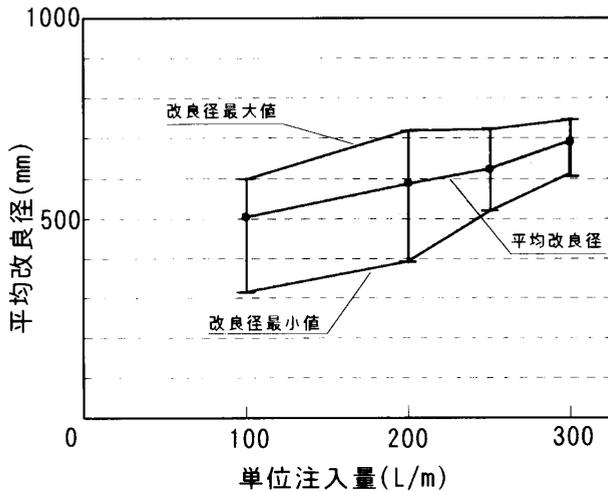


図-3 単位注入量と平均改良径の関係

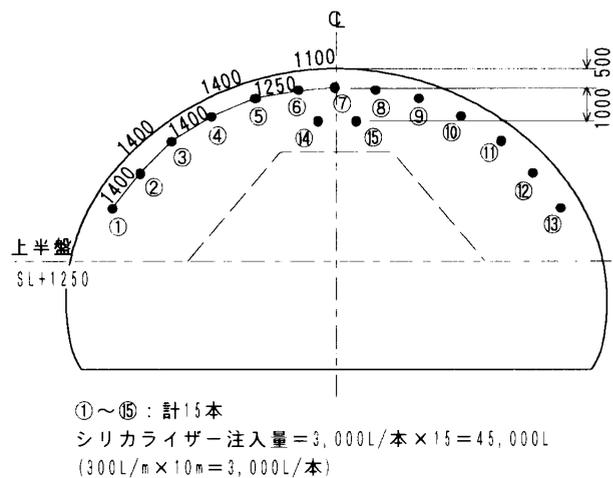


図-4 基本施工パターン

本施工に先立ち、鏡補強対策としての当工法の適用性確認と、合理的な基本施工パターンの決定を目的として試験施工を行った。その結果を図-3に示す。単位注入量に比例して平均改良径が大きく、改良径の最小~最大のばらつき範囲が小さくなる傾向にある。すなわち、単位注入量が大きいほど安定した改良体を造成できる結果となっている。図中の結果によると単位注入量300L/mの平均改良径は700mm程度となる。

これらの改良効果と施工性および経済性を勘案し、単位注入量を300L/mとして1打設長12m×15本を基本施工パターンに設定した(図-4参照)。注入時の切羽の安定性と注入後の硬化養生時間を確保するため、ラップ長を2mとした。

2) 鏡補強注入の効果

鏡補強注入の改良体強度は、およそ0.4MPa以下の地山強度(その4工事実績)が、1.0MPa程度に改良されて、鏡面の安定性に寄与するほか、砂層における吹付けコンクリートの付着性向上によりリバウンドが低減するなど、施工性も改善された。このような鏡面の補強効果により、分割施工数が当初の5分割から2分割程度で掘削可能となったため、最大月進41mを達成し、当初に比較して約15%の進捗率を向上することができた。また、経済性については切羽毎に打設する注入式鏡ボルトの当初本数の施工費と比較して同程度以下になった。

掘削当初に採用した注入式鏡ボルト施工区間および鏡補強注入施工区間の計測結果を表-2に示す。上半水平の内空変位は同程度であるが、鏡補強注入施工区間の天端沈下量は、注入式鏡ボルト施工区間の結果と比較して、約36%小さい結果となっている。これは、鏡補強注入の切羽安定効果により、トンネル周辺地山の緩み範囲が低減されたものと考えられる。

表-2 計測結果一覧

	注入式鏡ボルト	鏡補強注入
天端沈下(mm)	49.0	31.3
内空変位(mm)	39.2	40.8

注)値は区間平均値、内空変位は上半水平測線の結果。

4. おわりに

通常、薬液注入を切羽の掘削サイクルに組込む例は少ないが、切羽自立性の悪い砂層地山において、地山粘着力の向上を目的として1打設長12mの鏡補強注入を行うことにより、掘削効率の向上と地山変形の抑制が実現できる。