

トンネル補助工法用のセメント系浸透注入工法の開発

(株)大林組	正会員	大西 康之
鉄道建設・運輸施設整備支援機構	正会員	梅木 信夫
(株)大林組	正会員	千代谷朝男
(株)大林組	正会員	居相 好信
(株)大林組	正会員	浜田 崇

1. はじめに

近年、山岳トンネル工法は、補助工法の発達により適用地質の範囲が広がっており、都市部の土砂地山で適用される事例が増加している。これらの土砂地山においては、トンネル掘削による切羽の安定化、ゆるみ防止、地表沈下抑制のため、補助工法として先受け工や鏡補強工が採用されている。代表的な先受け工法は、切羽前方に鋼管を打設し、この鋼管を利用してウレタン系あるいはセメント系の注入材を注入する工法が挙げられるが、地質条件や施工方法によっては注入による確実な地山改良が施されない例が見受けられる。本稿では、未固結砂質地山におけるトンネル掘削の補助工法として、先受け工や鏡補強工と併用して行う浸透注入工法を開発を行い、本工法をトンネル現場に適用し、良好な結果が得られたことを報告するものである。

2. 浸透注入工法の開発

本工法の開発は以下のコンセプトにより実施した。

高浸透性確保 初期強度確保 確実な限定改良 施工サイクル短縮 コスト低減

2.1 注入材の開発

注入材は高浸透性を確保するために、主材を超微粒子セメントとし、ゲルタイムの調整と初期強度の発現を目的とした硬化材を混合するタイプとした。サンドゲルの強度目標は、注入後、早期にトンネル掘削を行うことを考慮し $\sigma_{6h} = 1 \text{ N/mm}^2$ 、 $\sigma_{1d} = 2 \text{ N/mm}^2$ と設定した。また、ゲルタイムは、後述する注入1ステップ長の注入時間に合わせ5～15分程度に調整できるものとし、図-1に示す性能の注入材を開発した。

2.2 施工システムの開発

非ウレタン系の注入を実施する場合、管の口元から注入する方法とダブルパッカーを用いて多段ステップにより注入する工法が一般的である。しかしながら前者の方法では、鋼管周りに確実な改良体の造成が困難であり、また後者では注入に多大な時間を要するといった問題がある。そこで、必要改良径が確保可能な最大ステップ長を、模擬地山による実験で確認した結果、1ステップ6～8m程度で改良径が確保できることが確認できた。そこで、1ステップ6mで、シングルパッカー（写真-1）を用い注入を行うこととした。また、ステップバック時の管内注入材の逆流を防止する目的で、ゲルタイム30秒程度の急硬配合の注入材を開発し、ステップバック時これを管内に充填することとした。さらに、これらの施工を簡易に行えるよう、急硬配合と浸透配合の切替えを瞬時に行える、制御システムの開発も行った。写真-2は上記工法により、模擬地山に対して鋼管を45cmピッチに打設し、改良体を造成した状況である。

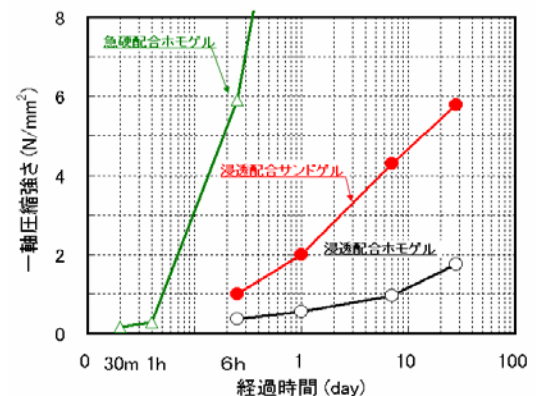


図-1 注入材の性能



写真-1 注入用ゲルパッカー



写真-2 模擬地山による注入実験

キーワード 浸透性注入材、トンネル先受け工、砂質地山、地表沈下抑制、超微粒子セメント

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組土木技術本部技術第二部 TEL 03-5769-1320

3. トンネル実施工への適用

本工法を東北新幹線市川トンネルに適用した結果を以下に記す。

3.1 適用経緯と地質状況

トンネルの地質は、フォアポーリング（ $L=4m$ ）として単管パイプを15cmピッチで打設した場合、1サイクル前に打設したパイプの上部まで地山が抜落ちる状況（写真-3）であった。地質性状を表-1に示す。当該地山は均等係数が小さく、自立性が極めて低いことから、地山崩落、ゆるみ域の拡大、トンネルへの作用荷重の増大などが懸念された。そこで、鋼管の剛性と地山改良効果を期待して、浸透注入AGF工法による先受け工を実施した。



写真-3 天端抜落ち状況

3.2 天端安定効果

注入効果が不十分な場合、掘削時に鋼管下部まで地山が抜落ちることや、吹付け時のエア圧や吹付け材の重量により地山が抜落ちる事例が多い。しかし、表-2の仕様により浸透注入工法を実施した結果、掘削面に高強度の改良体が確認でき、鋼管間から地山の抜落ちもなく、十分な天端安定効果を得た（写真-4）

3.3 地表面沈下抑制効果

当該地質におけるフォアポーリングによる先受け工とAGF浸透注入工法による先受け工の地表面沈下測定結果の比較を表-3に示す。浸透注入工法を適用した場合、切羽が到達するまで地表面沈下量が極めて小さいことから、トンネル掘削に伴う先行変位の抑制に大きく貢献していることが分かる。また、天端沈下量と最終沈下量がほぼ等しい結果であるが、これは、天端沈下の測定は支保の設置後に初期値を計測することから、掘削直後（無普請状態）における沈下の発生を抑えていることが分かる。最終沈下量については、フォアポーリング工の半分程度に抑えられている。これらの挙動から、浸透注入工法を適用した場合、複数の鋼管と地山改良体を一体化することができ、大きな剛性を有する先受け工として評価できるものと考えられる。

表-1 地質性状

分類	砂	
粒度構成	礫分	3.2%
	砂分	92.6%
	シルト分	1.1%
	粘土分	3.1%
均等係数	2.54	
曲率係数	1.03	
10%粒径	D_{10}	130 μm
15%粒径	D_{15}	150 μm
グラクタ ビリティー比	$N_1=D_{15}/G_{85}$	23.8
	$N_1=D_{10}/G_{95}$	18.1
透水係数(クレガ-法)	5.98×10^{-3}	

表-2 注入仕様

鋼管仕様	114.8mm, $L=12.5m$
打設仕様	$n=19$ 本, @450mm
目標改良径	450mm
計画注入量	798 $\frac{kg}{本}$
注入速度	40 $\frac{kg}{min}$



写真-4 天端改良状況

4. 従来工法との比較

4.1 施工サイクルタイム

セメント系注入材を用いた施工の問題点として、注入工に時間を要するといった問題があった。本工法では注入ステップ回数を最小限に抑え、注入速度を40 $\frac{kg}{min}$ とし、また、急硬配合の活用と配合切替えの制御システムにより、ウレタン系材料を使用した場合と同程度のサイクルタイムでの施工が可能であった。

4.2 経済性

セメント系の材料を主材としていることから、ウレタン系材料を使用した場合と比較してコスト低減を図ることが可能となった。

5. まとめ

今回、砂質地山におけるAGF工法の注入工の問題点を鑑み、より効果的な先受け工法の開発を行い、トンネル実施工に導入し、天端安定や地表面沈下抑制に対して、良好な結果を得ることができた。一方で、懸濁型の注入材であることから、適用できる地質に限界もある。今後は、効果的な改良が期待できる地質の適用範囲を明らかにすると共に、初期強度が必要なトンネル掘削における長尺鏡ボルトなど、他の補助工法への適用も図っていく予定である。

表-3 地表面沈下測定結果

地表面沈下量	単位	フォアポーリング工		浸透注入AGF工法		
		P-1	P-2	S-1	S-2	S-3
土被り	m	7.8	8.0	7.8	8.0	9.4
切羽到達時	mm	-19	-9	-3	-1	-1
切羽が0.5D進行時	mm	-36	-30	-17	-14	-8
切羽が1.0D進行時	mm	-49	-38	-21	-19	-14
切羽が1.5D進行時	mm	-51	-40	-27	-22	-17
天端沈下量	mm	-23	-26	-23	-21	-17