

鉄道トンネルにおける覆工背面空洞充填の高速施工

清水建設株式会社	正会員	浅田 義憲
西日本旅客鉄道株式会社	正会員	佐野 力
西日本旅客鉄道株式会社	正会員	横田 国輝

1. はじめに

在来工法で施工されたトンネルの覆工背面は、建設当時の施工法に起因する空洞が存在しやすい。トンネルの安定性を向上させるためにこれらの空洞を充填する事は非常に重要である。今回工事では、空洞の充填を可塑性グラウト工法である「アクアグラウト工法」で施工したが、鉄道トンネル内での夜間の限られた時間帯での施工のため、施工性の向上が非常に重要な課題となった。特に延長 10 km を超す長大トンネルでは、充填材の圧送に必要な複数の中継ポンプや配管の設置、撤去が限られた時間内では困難である。そこでアクアグラウトの製造プラントを建築限界内に納めて保守用車に搭載し、充填箇所にて充填材を製造、打設する方法を考案し、高速施工を実現できたので経過を報告する。

2. 高速施工の目標性能及び計画概要

高速施工を行うに当たり、以下の目標を設定した。

充填材の製造能力は最大 6.5m³/h とする。但し実際の施工能力は空洞の大きさなどに影響される。

施工箇所での充填材の製造などの時間は極力短縮する。

打設可能分のみの充填材を製造し、残量を最小限にする。

練混ぜ時に粉塵や材料が線路や架線へ飛散しない。ポンプの吐出量に応じて充填材の製造能力を容易に調整できる。

設備がコンパ外で建築限界内に納まる。

上記の設定目標に対して以下の計画を行った。

充填材の大部分を占めるセメントとアクアグラウト用ペントナイトは事前に坑外で混合しておく（以下、プレミックス粉体と称す）。

使用量の少ない混和剤を均等に他の材料と練混ぜるため、事前に坑外で水に溶解しておく（以下、混和水と称す）。

施工箇所では、プレミックス粉体を混和水と練混ぜて充填材を製造する。

練混ぜ方式は連続練りとする。

このような計画内容から、プラントは坑外プラントと坑内プラント（車上）の2種類から構成した。

坑外プラントは保守基地に設置し、セメントサイロ、ペントナイトサイロ、粉体計量装置、粉体ミキサー、混合済み粉体搬出ブロー、攪拌機付き混和剤溶解水槽、コンプレッサ、制御盤などから構成される。施工に先立ち、まず、坑外プラントで製造したプレミックス粉体、混和水を坑内プラントに圧送しておく。アクアグラウトの配合を表-1に、坑外プラントの概要を写真-1にそれぞれ示す。

表-1 アクアグラウトの示方配合

単位量 (kg/m ³)			
セメント	ペントナイト	混和剤	水
336	250	8.5	793



写真-1 坑外プラントの概要

一方、坑内プラントは、プレミックス粉体サイロ（アクアグラウト 15m³相当容量）攪拌機付き混和水タンク（アクアグラウト 14m³相当容量）プレミックス粉体圧送ポンプ、水ポンプ、連続ミキサー、充填材圧送ポンプ、アジテータ、コンプレッサ、制御盤等で構成され、ト台車上に設置され保守用車により施工箇所まで牽引される（写真-2参照）。

施工時にはプレミックス粉体、混和水を所定の配合で連続ミキサーで練混ぜ、アクアグラウト充填材を連続的に製造する。

キーワード：トンネル空洞充填、可塑性注入材、アクアグラウト工法、高速施工、坑内外プラント

連絡先：〒651-0086 神戸市中央区磯上通 4-1-13

TEL 078-262-8078 FAX078-262-8079

〒673-0016 明石市松ノ内 2-3-8

-349-

TEL 078-928-0532 FAX078-928-0690



写真-2 坑内プラントの概要

3. アクアグラウト工法の施工

施工は最終列車通過後、坑内プラントが保守基地を出発し、施工箇所まで到着した後に開始される。充填可能時間は概ね1時間30分程度である。アクアグラウト充填材の注入は、事前に高所作業車を用いて削孔、設置された注入管を使用して行われる。注入孔はトンネルの両肩および天端の3列で、トンネル軸方向に1.5mピッチに千鳥配置されており、注入管の先端は空洞の背面地山から5cm下の位置となるように設置している。注入は各注入孔の口元に圧力ゲージを取付け、覆工コンクリートに過大な荷重が作用しないよう、注入圧が0.2MPa以下となるように管理した。

注入は、まず両肩からトンネル覆工に偏圧をかけないように左右均等に注入していき、最後に天端注入孔より圧力管理を行いながら行った。天端では注入開始時の圧力は口元ではほとんど0MPaであるが、充填量の増加に伴って圧力の上昇が確認された。

注入中、覆工のクラックや目地からはアクアグラウトの漏出はほとんど見られなかったが、水がクラックなどから流出する状況が頻繁に見られた。これは空洞内に溜まっていた水がアクアグラウトに押し出されてクラックなどから流出したものと考えられる。また、流出した水は透明であることから、アクアグラウト充填材が材料分離を起こしておらず、水中不分離性を有していることが窺えた。その後、水の流出は次第に弱くなり、注入圧が0.2MPaとなったり、隣接注入孔からアクアグラウト充填材がリークしたりするのが確認された時点で他孔へ移動し、充填を行う。

両肩部の注入完了後、天端部の注入を行ったが、注入圧が0.2MPaとなる場合が多く見られた。このことは、天端部の空洞が確実に充填されたことを示しており、アクアグラウトの限定注入性の高さが確認できた。

日施工数量は空洞の大きさに影響を受け、空洞が大きいと口元の圧力が上がらず、結果的に吐出量を増やしたために施工数量が増加したが（最大で11m³/日）、空洞が小さいとすぐに圧力が増加するため、頻繁に注入口の盛換えを行うために吐出量を下げざるを得ず、施工数量が低下した（1.5～2m³/日程度）。アクアグラウトは限定注入を可能とする適度な粘性があるため、空洞への充填性は高いが、空洞以外の微細なクラック等へは浸透しない性質をもっている。したがって、実績の注入量は真の空洞量に近い値であると考えられる。これは従来のアクリルやアクリルなどの流動性のみが高い注入材と異なり、アクアグラウトはポンプ圧送等で加圧すると流動性を増すが、静止状態では粘性が高くなってゲル化する性質を有しているためである。

また、充填材の性能を確保するため、打設日毎にテールロッド試験および圧縮強度試験体の採取を行った。管理値は、それぞれ180mm±25mm以内、2N/mm²（28日強度）以上である。

4. 高速施工の効果

実際の施工において坑内プラントは連続練りのために製造される充填材の量および品質は安定しており、注入時間が短いにもかかわらず、空洞が大きい場合には最大11m³/日の施工が可能であった。また、充填材の製造は自動化されているので、材料供給、練混ぜ等が省力化でき、作業安全性の確保にも有効であった。今後はブレックス粉体、混和水の積載等にも保守用車を利用することにより、ますますの高速化が可能であると思われる。

最後に、今回の高速施工において、厚さ60cm以上の比較的大きな空洞にも確実に充填できた事を報告しておく（写真-3参照）。



写真-3 アクアグラウト充填確認