

アクアグラウト工法の発電所導水路トンネルへの適用とその報告

APPLICATION OF AQUA GROUT METHOD TO HEADRACE TUNNEL AND ITS PRACTICE

澤田正雄・橘 大介・河野重行.

Masao SAWADA, Daisuke TACHIBANA, Shigeyuki KOHNO

When the voids exist behind the lining of the existing tunnel, it is necessary to fill the voids. The cement bentonite has been used as a back-fill material. However, there was a problem due to its fluidity for the grouting.

It is necessary to establish the bulk-head in the voids in the tunnel-axis direction with the suitable interval to prevent leakage of the grouting material.

Aqua Grout Method has been introduced into the actual headrace tunnel and its effectiveness has been confirmed.

1. はじめに

既設トンネルの覆工背面と地山との間には、施工時および施工後に発生した空洞が存在する場合がある。この結果、覆工に局部的に不均等な荷重が作用し、十分な地盤反力が期待できなくなるため、変状対策の基本として裏込め充填材料を充填して、トンネルの安定化を図る必要がある。

従来、裏込め充填材料としてセメントベントナイト等が用いられてきた。これらの材料は、本来、流動性に富む充填材料であるため、充填中にトンネルの下流方向に流動してしまい空洞天端までの充填が困難な場合が多かった。

裏込め充填材料として流動性に富むセメントベントナイトを使用しつつ上記の課題を解決するためには、トンネル縦断方向への充填材量の流出を防ぐため、空洞に適正な間隔で堰、すなわちストッパーを設ける必要がある。図-1にその概念図を示す。

筆者らは、既設トンネルの覆工背面の空洞充填方法として、アクアグラウト工法を開発、実証してきた。今回、アクアグラウト工法をストッパーグラウト工として実際のトンネルに導入する機会を得、その有効性を確認したので、その概要を報告する。

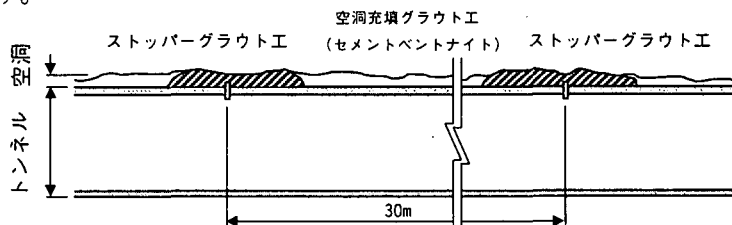


図-1 ストッパーグラウト工概念図

□ キーワード：トンネル、覆工背面空隙、充填

* 正会員 清水建設(株) 土木本部

** 正会員 清水建設(株) 技術研究所

2. アクアグラウト工法の概要

従来のセメントベントナイト、エアモルタル等に代表される充填材量は、流動性が大きいため、地山中の微少な亀裂や覆工コンクリートのクラックなどへの逸脱が大きく、所定の空洞への充填が困難な場合があった。また、注入後の地下水などによる材料分離が危惧されていた。

アクアグラウト工法は、これらの課題を解決する画期的な充填材量を用いた既設トンネル覆工背面充填工法であり、湧水の多い箇所や限定注入を行いたい場所に有効である。以下にその使用材料と特徴について示す。

(1)使用材料

使用材料については、セメント、ベントナイト、水、急結剤、特殊吸水性ポリマーを使用している。表－1にその標準配合を示す。

表－1 アクアグラウト充填材の配合

W/P (%)	1 m ³ あたり (kg/m ³)			
	水 (W)	結合材 (P)		アクアグラウト混和剤 (特殊吸水性ポリマー+急結剤)
		セメント	ベントナイト	
121.9	774	350	285	8.4

(2)アクアグラウト工法の特徴

- 1. 限定注入に適した揺変性*を有する充填材量である。
- 2. 充填材として十分な強度を有する。
(材齢 28 日で 1.5N/mm² 以上の一軸圧縮強度)
- 3. 早期強度の調整が可能で、地下水による洗い出しが抑制できる。
- 4. 水に対する分離抵抗性が大きく、均一な品質が確保できる。
- 5. 材料は全て粉末で、水と混ぜるだけで製造でき、圧送も 1 系統で行えるため、施工お呼び施工管理は非常に容易である。
- 6. 1 系統での圧送のため、確実な品質管理ができる。

*：揺変性（チキソトロピック）とは、静止状態では粘性が高く、形状を変化しないが、加圧したり揺らすと粘性が低くなり、流動性を示す性質。

3. アクアグラウト工法導入の経緯

対象となるトンネルは、東京電力(株)栗山発電所水路トンネルの一部区間である。この区間は天端部を中心として覆工背面に空隙が確認されており、セメントベントナイトによる空隙の充填を計画され、ストッパーグラウト工および空洞充填工が施工されることになった。

ストッパーグラウト工の充填材料として、従来、急結性のグラウト材が用いられてきたが、温度が低い冬期や湧水が多い箇所の施工では適正なゲルタイムの設定が困難な場合があり、ストッパーとしての機能が十分に発揮されないことがあった。したがって、温度などに影響されずに安定した限定注入性を有し、水に対しても高い材料分離抵抗性を持つアクアグラウト充填材をストッパーグラウトとして採用された。

4. 施工の概要

(1) ストッパーグラウト工

注入材は、アクアグラウト充填材とし、配合は、前述の表－１を標準配合とする。注入箇所は 30 m 間隔、1 断面あたりの本数は天端及び左右 45° 両肩部の 3 本とした（図－2 参照）。

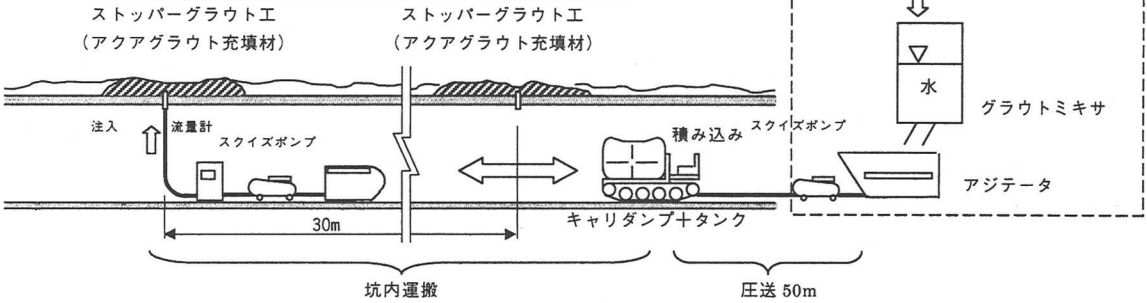
品質管理としては、施工日毎に 2 回、テーブルフロー値を管理するとともに、15 m³ 毎に供試体を採取し、標準養生で 7 日と 28 日の一軸圧縮強度試験を実施し、材齢 28 日の圧縮強度を管理した。表－２に品質管理値を示す。

施工手順は、トンネル坑外にグラウトミキサ、アジテータ、水槽、材料置場等を配置したプラントを設置し、アクアグラウト充填材を練り上げた（写真－１ 参照）。

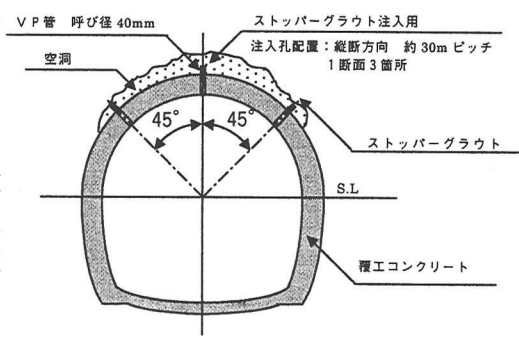
練り上げた充填材は、不整地運搬車（キャリアダンプ）により注入箇所まで運搬し、坑内に設置した注入ポンプを使用して注入を行った（写真－２ 参照）。充填中の施工管理に関しては、1 孔当たりの注入量を 0.8m³ と設定し、注入口元の注入圧力が 0.1N/mm² を超えないように注入管理を行った。

表－２ アクアグラウト充填材品質管理値

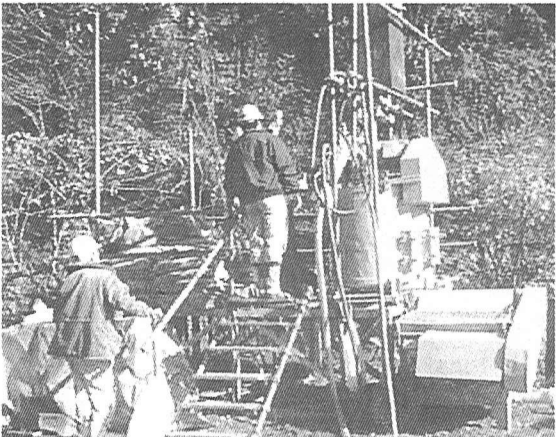
項目	フロー値 (フレッシュ)	一軸圧縮強度 (28 日強度)
目標値	180±25mm	2 N/mm²



図－３ ストッパーグラウト工施工概要図



図－２ ストッパーグラウト工標準断面図



写真－１ 坑外プラントにおけるアクアグラウト製造



写真－２ キャリアダンプ＋タンク

(2) 空洞充填グラウト

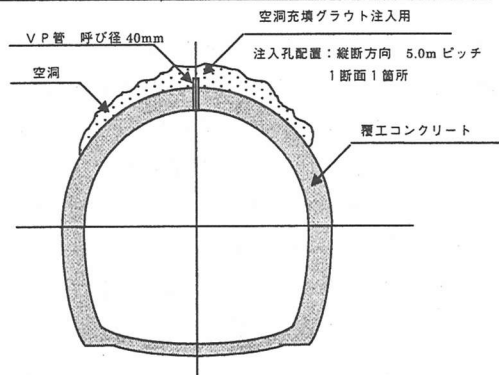
注入材は、セメントベントナイトとし、配合は、表－3 を標準配合とした。注入箇所は 5m 間隔、1 断面あたりの本数は天端に 1 本とした（図－4 参照）。注入は坑外プラントより直接圧送し、坑内に設置した中継プラント（2 箇所）を経由して行った。

品質管理として、施工日毎に 2 回、ブリージング試験を実施し管理するとともに、15 m³ 毎に供試体を採取し、標準養生で 7 日と 28 日の一軸圧縮強度試験を実施し、材齢 28 日の圧縮強度を管理した。

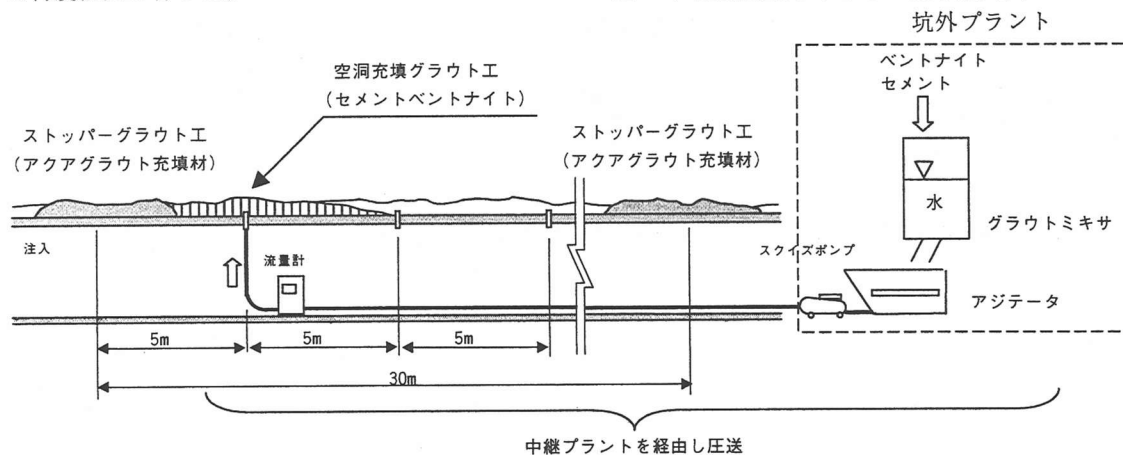
充填中の施工管理に関しては、注入口元の注入圧力が 0.1N/mm² を超えないよう注入管理を行った。また、隣接する注入孔から漏出（リーク）が確認された段階で、注入を中止し隣の注入孔に移動した。漏出（リーク）が確認された注入孔からは再度注入を行った。

表－3 セメントベントナイト標準配合

1 m ³ あたり (kg/m ³)		
セメント	ベントナイト	水
200	75	900



図－4 空洞充填グラウト工標準断面図



図－5 空洞充填グラウト工施工概要図

5. 施工結果

今回の施工は、冬期施工（外気温 2℃）であったが、アクアグラウト充填材の坑外プラントにおけるテーブルフロー試験では目標値の 180±25mm が確保され、所定の粘性が得られた。また、坑外プラントで製造されたアクアグラウト充填材を打設箇所まで搬送したが、テーブルフロー試験、圧縮強度試験に問題はなく、アクアグラウト充填材の品質の安定性が確認された。

ストップバーグラウト工ではアクアグラウト充填にともない、覆工コンクリートのクラックより漏水が確認された。これは、覆工裏の溜まり水がアクアグラウト充填材により押し出されたものと考えられる。この水を観察すると透明で懸濁しておらず、これは、アクアグラウト充填材の水に対する分離抵抗性の高さを示している（写真－5 参照）。

空洞充填グラウト工では、注入時、隣接する注入孔から漏出（リーク）が確認され、順次打設を行っていった。また、注入孔の口元圧力が 0.1N/mm^2 に達する箇所も見られた。これは、本来、流動性に富む充填材料のセメントベントナイトがトンネル縦断方向の当該注入箇所以外への流出がおさえられ、所定の区間に確実に充填されたことを示しており、ストッパーとしてのアクアグラウト充填材が有効に機能したためと考えられる。

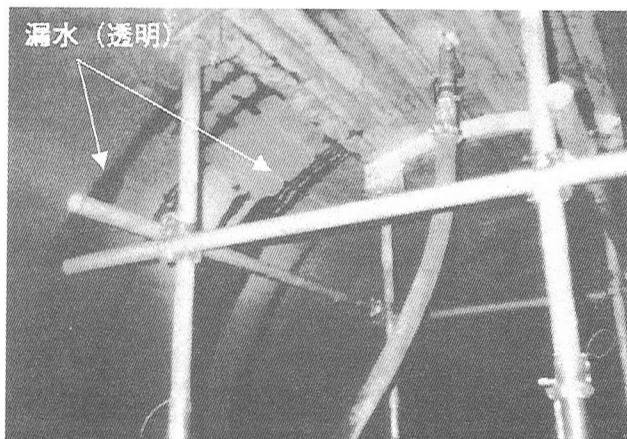


写真-5 アクアグラウト注入状況

6. 今後の課題

今回、ストッパーグラウト工として「アクアグラウト工法」を実トンネルへ適用し、その有効性が確認できた。今後は、空洞の規模に応じたストッパーグラウトの注入量、間隔、また、注入箇所への充填材運搬方法など、種々の施工条件にあった設計法および施工法の検討を行っていく。

謝辞

本論文を作成するにあたっては、東京電力(株)鬼怒川工務所の皆様にご指導を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 橘、朝倉、川嶋ら：トンネル覆工背面充填用新材料の開発、土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集、VI、1998
- 2) 河野、朝倉、川嶋ら：トンネル覆工背面新充填工法の実施工への適用とその報告、土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集、VI、1998