

# 43. 既設トンネル覆工背面空洞のコンパクトな新充填システム

清水建設(株)：\*河野 重行, 木内 勉  
澤田 正雄

## 1. はじめに

NATM以前の工法で造られたトンネルの覆工背面には、建設時の施工法（たとえば引抜管方式によるコンクリート打設）により、トンネルの天端部を中心として空隙が存在することが多い。これらの空隙を放置すると、トンネルが地震荷重や変圧（側圧）などを受けた場合、トンネルが縦に変形しようとし、その結果、覆工の天端部に圧ざと呼ばれる圧縮破壊や肩部の引っ張り・せん断などを誘引する可能性があるため、空隙を充填することはトンネルの安定上、非常に重要である。

従来、エアミルクやエアモルタルなどの材料が空隙充填に用いられてきた。これらの材料は流動性に富むため、天端からの注入にとまらぬ、トンネル側方へ流動するだけでなく、地山中の亀裂からの逸脱や覆工面の目地やクラックからの漏出により、天端を中心とした所定の空隙を充填することに苦勞を要していた。また、充填箇所が存在する地下水などにより注入材料が材料分離を起こしたり、圧送中の圧力や注入後の自重により消泡が発生する可能性があるなど品質面での課題もあった。

筆者らは、これらの従来の注入材料の課題を解決する新しい材料を用いた充填工法「アクアグラウト工法」を開発したが、道路トンネル・鉄道トンネル・導水路トンネルなど多くのトンネルでその効果が確認されている。

今回、道路トンネルを対象とし、アクアグラウト工法の坑内設備をコンパクトにすることにより第三者交通への影響を最小限にできる施工システム「アクアコンパクト」を新たに開発し、実際に施工を通し、その効果を確認したので報告する。

## 2. アクアグラウト工法の概要

当工法で用いる充填材料は、エアモルタルなどと異なり、エアをまったく用いず、セメント、アクアグラウト用ベントナイト、アクアグラウト混和剤と水から構成される（表-1 参照）。この特徴は以下のとおりである。

1) 加圧したり振動を与えると粘性が低くなり流動性を示すが、除荷すると粘性が高くゲル化する性質である撻変性を有するため、注入後は限定注入性に富む。

表-1 アクアグラウト充填材の標準配合

単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
水	セメント	アクアグラウト用ベントナイト	アクアグラウト混和剤
774	350	285	8.4

2) 水に対する高い材料分離抵抗性を有する。

3) 充填材としての十分な強度を有する。(28日で1.5N/mm<sup>2</sup>以上)

4) プリージングはゼロであり、充填後の天端沈下が発生しない。

5) 注入中に、覆工の目地やクラックから充填材の漏出はほとんど発生せず、シール工などが不要。

- 6) 1液性であり、施工および施工管理が非常に容易であるとともに、設備がコンパクトである。
- 7) 1液性のため、材料の品質管理が確実。
- 8) 比重は1.3から1.4と軽量である。

### 3. 道路トンネル用システムの開発の経緯

建設省や地方自治体などの既設の道路トンネルで行なわれる覆工背面空隙充填工事では、一般交通を完全に遮断することが困難であり、片側車線を通行規制して施工することが一般的である。特に、延長が長く幅員が狭い上に一日中交通量が多いトンネルでは、施工中の交通への影響を最小限にとどめるため、坑内での施工設備をコンパクトにすることが求められている。

従来、圧送が困難である長い道路トンネルの覆工背面空隙充填工事では、車上型の施工システムで施工することが一般的である。この場合、注入材料を製造するための材料（セメントや水など）、製造設備、施工設備などを坑内の車両の上に搭載しなければならず、結果的に、一注入箇所に対する坑内設備が大きくならざるを得なかった。

筆者らは、アクアグラウト工法が一液性である点に着目し、坑内設備が従来の車上型施工システムと比べて各段にコンパクトな施工システム「アクアコンパクト」を開発・実用化した。

### 4. 「アクアコンパクト」の概要

アクアグラウト工法で用いられる充填材は粉末の材料をミキサーで一回の工程で混合・攪拌するだけで製造できる一液性であり、また、製造後、長時間にわたって粘性を保持できる。したがって、二液性と異なり、坑内で充填材を製造する必要性はない。その結果、アクアグラウト工法は施工条件に対応して、以下のような種々の施工システムが選択できる。

- 1) トンネル坑外に設置したプラントで各材料を練り混ぜ、坑内への直接圧送および中継圧送
- 2) トンネル坑外に設置したプラントで各材料を練り混ぜ、車両にて坑内へ運搬、打設
- 3) 全ての設備・材料を車両に搭載し、坑内で各材料を練り混ぜ・打設
- 4) 全ての材料（水以外）を事前にプレミックスしておき、坑内で水と練り混ぜ、打設

今回、道路トンネルにおける坑内設備のコンパクト化の必要性を勧案した場合、2)に示す充填材製造設備を坑外のヤードに設置し、製造した充填材を坑内に搬入する施工システム（以下、「アクアコンパクト」と称する）を選択することにより坑内設備の数を極力減らすことが可能となる。また、ポンプなど坑内設備には、小型の機器を配置する。充填材の配合に関しては、運搬時間の長さや施工時の気温、水温などの施工条件のもとで、注入する充填材が最適な性能を確保できるよう管理手法を確立した。

本システムは以下の設備から構成される（図-1参照）。

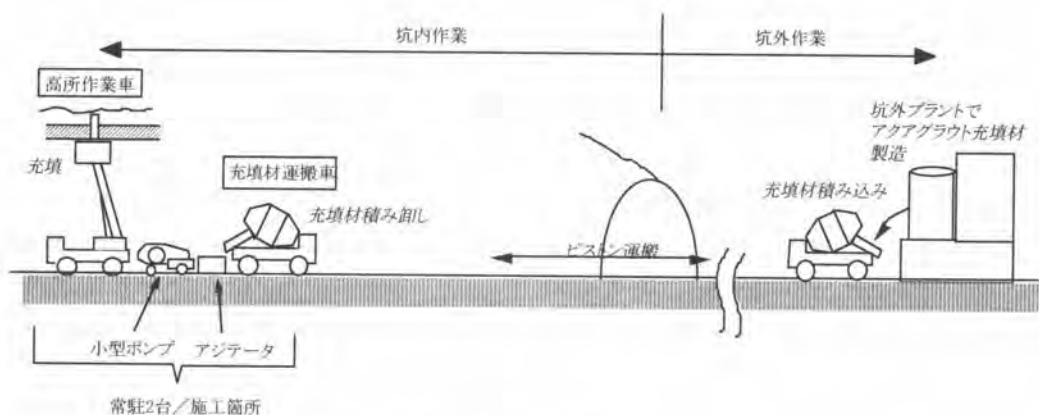


図-1 システム概念図

(1) 坑外設備

- ・坑外ヤードに集中プラント（ミキサー、アジテータ、積み込み用ポンプ）および材料を設置し、アググラウト充填材を製造する。

(2) 運搬設備

- ・アジテータを積載した運搬車に充填材を積みこみ、施工箇所まで充填材料を運搬・分配する。

(3) 坑内設備

- ・施工箇所には、充填材の受け入れ用ホッパーを配置し、運搬車から充填材料を受け取る。
- ・圧送ポンプで覆工背面空隙に注入する。

この結果、坑内設備は、運搬車、高所作業車、小型のホッパーおよび小型ポンプでよく、非常にコンパクトになる。また、坑内設備は、坑外設備と独立しているため、施工条件および工程などに応じて、坑内設備数、設備の配置および運搬設備数を自在に調整可能となる。

5. 実トンネルにおける施工

写真-1 は、群馬県の道路トンネルでの施工事例である。坑口から約 3 km はなれたヤードにアググラウト充填材の製造用集中プラントを設置し、数台の 4 t 積載用アジテータトラックにより、施工箇所まで運搬・搬入している。施工箇所の延長が長いので、工程面から、2 箇所での同時施工となっている。坑内の施工箇所では、アジテータトラック 1 台と高所作業車 1 台および小型ポンプとホッパーのみであり、コンパクトな施工設備となっており、通行車線側からの見通しなど第三者交通に対する安全性に問題はない。写真-2 には注入箇所での施工状況を示す。



写真-1 実トンネルでの坑内設備全景

アクアグラウト充填材の注入は、高所作業車を用いて、事前に削孔・設置された注入管を通し行なわれる。注入孔は両肩（天端から約23度）および天端の合計3列に、トンネル軸方向に3mで配置された。注入管の先端は空隙の背面地山から5cm下がりとなるよう設置した。注入は各孔の口元に取り付けられた圧力計で最大0.2N/mm<sup>2</sup>となるよう管理した。

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行い、最後に天端注入孔から行った。天端では、注入開始時は、圧力は口元でほとんどゼロであるが、充填に



写真-2 注入箇所での施工状況

したが、ゆっくり圧力が上がってくるのが観察された。注入中、覆工のクラックや目地からは充填材の漏出はまったく見られなかった。一方、注入中に、水がクラックなどからの流出する状況が頻繁に見られた。これは、空隙に溜まっていた水が充填材に押し出されてクラックから流出したものと考えられる。水は透明であり、充填材が材料分離を起こしていないのがわかる。

## 6. 「アクアコンパクト」の効果

本施工システムを、アクアグラウト工法を用いた実際の道路トンネルの覆工背面空隙充填工事に導入し、道路トンネルに対する適用性を検討した。その結果、従来の車上型による施工方式に比べ、以下のような効果が確認された。

- ・坑内設備はコンパクトなため、第3者交通への支障（安全性）を最小限に抑えた既設トンネルの覆工背面空隙充填工事の施工が可能。
- ・交通への支障が最小限なため、充填作業は季節や時間帯の影響を受けにくい。
- ・坑内部分の施工設備は充填材の製造工程から独立しているため、施工箇所数および配置が容易に調整可で、施工条件に柔軟に対応可能。
- ・坑内設備がコンパクトなため、準備・片付け時間が少なく、施工時間を長くとれる。
- ・坑口付近に施工ヤードを確保する必要がなく、環境に配慮した坑外ヤードの選定が可能。

## 7. 今後の課題

今回、新たに開発したアクアグラウト工法のコンパクトな施工法「アクアコンパクト」は現在、15トンネルでの覆工背面空隙充填工事で適用実績があり、その効果が確認されている。今後は、これらの実績のデータをもとに、施工性のより一層の向上を図るとともに、大量施工を目指したシステムの開発を進める予定である。