

山岳トンネル覆工裏込め注入工法に関する研究

竹内 照造¹・朝倉 俊弘²・関 雅樹³・内藤 繁⁴

¹正会員 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 技術開発部 (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)
E-mail: shozo.takeuchi@jr-central.co.jp

²正会員 京都大学大学院教授 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)
E-mail: asakura@kumst.kyoto-u.ac.jp

³フェロー会員 東海旅客鉄道株式会社 新幹線鉄道事業本部 (〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-9-1)
E-mail: m.seki@jr-central.co.jp

⁴正会員 東海旅客鉄道株式会社 総合技術本部 技術開発部 (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)
E-mail: sigeru.naitou@jr-central.co.jp

我が国では、高度経済成長期に整備された土木構造物が、大量に劣化することが懸念されている。この時期に建設された山岳トンネルの多くは、施工方法により覆工裏に少なからず空隙が存在しており、地山との一体化が不完全となり、地震荷重等に対する耐荷力が低下している。耐荷力改善のための対策として、覆工裏空隙にモルタル等を注入する覆工裏込め注入工法がある。この対策の効果は、概念的に空隙の完全充填が前提とされているが、それを検証した事例は少ない。本研究では、覆工裏込め注入の耐荷力改善効果と充填率の関係を検証し、覆工裏空隙は完全に充填する必要があることを明らかにした。また、実施工においても注入管配置を改善することで、完全充填可能であることを確認したので報告する。

Key Words : mountain tunnel, opening behind the lining, back fill grouting, compretly filled up with openings, arrangement of grouting pipe

1. はじめに

我が国では、1960年代からの高度経済成長期に、道路や橋、トンネルなどの土木構造物が集中的に整備されてきた。それらは供用開始から50年以上経過しており、今後大量に劣化することが懸念され、社会的問題となっている。

この時期に建設された山岳トンネルの多くは、当時の施工法として主流だった「矢板工法」¹⁾ (図-1) により施工されており、地山との間に空隙が残りやすく、覆工厚さも設計巻厚に対し場所により大きくばらついている実態がある。

トンネルは、覆工裏に空隙が存在すると、地山とトンネルとの一体化が不完全となり、地震荷重や地圧などが作用した場合に、覆工厚さが薄い箇所を中心に、ひび割れ等の変状が発生しやすい。そのため、空隙をモルタル等の材料で充填する覆工裏込め注入は、トンネルを長期に亘り安全に使用するために非常に重要である。

覆工裏込め注入の効果に関しては、耐荷力改善に効果があるということが既に広く認識されているが、それは、

概念的に空隙が完全に充填されていることが前提となっている。しかし、実際の工事では、完全充填を目的に施工管理されていない。また、目に見えない箇所に対する施工であり、完全に充填できるかどうかは、注入材料の性能に大きく依存していた。具体的には、従来は、充填完了の確認を主に注入量や注入圧で管理しており、注入材料によっては、地山の隙間に散逸してしまったり、未充填箇所が残るなど、充填状況にばらつきがあった。そのため、これまで注入した箇所でも空隙が残っており、注入の効果を発揮できていない可能性がある。

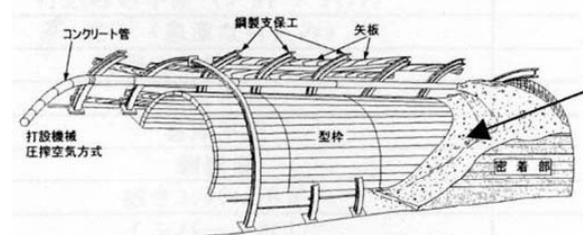


図-1 矢板工法

表-1 解析で使用した物性値

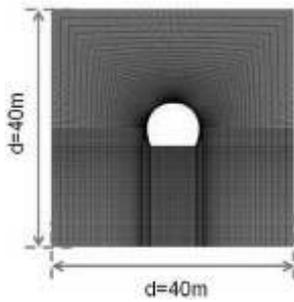


図-2 解析モデル

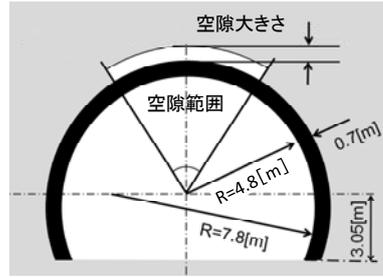


図-3 トンネル形状

物性値	地山	覆工
ヤング率	200MPa	22GPa
ポアソン比	0.30	0.20
一軸圧縮強度	1.15MPa	18.0MPa
内部摩擦角	35度	30度
粘着力	0.30MPa	5.2MPa
引張強度	0.06MPa	1.8MPa
単位体積重量	19kN/m ³	23kN/m ³
巻厚	—	70cm
破壊規準	Mohr-Coulombの破壊規準	

著者らは、数値解析により覆工裏込め注入の効果と充填率の関係を検証し、実験により現在一般的に使用されている注入材料（工法）の充填性能を確認した。また、試験施工を実施し、実際のトンネルにおいても効果的な注入が施工可能かどうかを確認したので、概要を報告する。

2. 覆工裏込め注入の効果と充填率の関係

(1) 数値解析概要

覆工裏込め注入は、これまで、既設山岳トンネルの地圧対策としての効果を検証した蔦ら²⁾の研究や、地震対策としての効果を検証した野城ら³⁾の報告により、その効果が確認されている。しかし、これまでの研究は、注入材料が最初から完全充填されることを前提にしており、効果を確実に発揮するための必要な充填率を検討した事例はない。そこで、覆工裏込め注入の耐荷力改善効果と空隙への充填率の関係について、数値解析により検証を行った。

地震時において、トンネルは圧縮波よりも、せん断波によってより大きな被害を受けると考えられるので、本研究の数値解析においては、地震によるせん断波の影響に着目した。ここでは、地震によるせん断波がトンネル軸に垂直に山岳トンネルを有する地山に入射し、地盤のせん断変形が発生することを想定し、その時の覆工耐力を検討する。

境界条件として、解析領域の境界に変位を与えて地盤のせん断ひずみを徐々に増加させることで、地震時の地盤の変形を静的に模擬した。解析には、地山強度の経時劣化を考慮したトンネル変状予測のシミュレーションを行った松長ら⁴⁾の研究を参考に、降伏限界に達すると塑性流動を呈する土、岩、その他の材料からなる構造体の挙動をシミュレートすることが可能な、陽的有限差分法を適用した。解析に使用したソフトウェアは、3次元解析対応プログラム「FLAC3D」である。覆工は、Mohr-

Coulomb の破壊基準に基づく完全弾塑性体とし、モークローンの破壊包絡線を越えたものをせん断破壊、引張破壊に関しては、引張応力が引張強度に達したものを引張破壊とする。地震時の覆工コンクリートの破壊形態には、せん断破壊のほかに、圧ぎ（曲げ圧縮破壊）や曲げ引張ひび割れがあるが、解析上、曲げ圧縮破壊が発生するときの覆工縁部の要素の応力状態は破壊基準で考えるとせん断破壊と同じ状況にあり、言い換えると圧ぎ（曲げ圧縮破壊）は縁部で局所的にせん断破壊が発生しているともいえる。よって、本論文ではせん断破壊と表現しているものの中には圧ぎも含まれている。

検証項目としては、充填率が覆工耐荷力改善効果に与える影響を確認するため、

- ・空隙の大きさが覆工耐力に与える影響について、検証を行った。

解析モデルを図-2 に示す。2次元の平面ひずみモデルとして、トンネルを含む 40m×40m の領域をモデル化した。モデル化したトンネルの形状を図-3 に示す。覆工裏込め空隙の大きさ（厚さ）については、パラメータスタディのため簡略化し、全範囲一定とした。なお、巻厚は東海道新幹線のトンネルにおいて標準的な巻厚である 0.7m に設定している。

解析で使用した地山と覆工の物性値⁵⁾⁻¹⁰⁾を表-1 に示す。解析における地山の地質は、日本国内で一般的な軟岩地山を想定した。地震時における軟岩地山のせん断ひずみは、兵庫県南部地震の地震波を基にして解析を行った土橋ら¹¹⁾の研究や、1978年の宮城県沖地震の波形データを用いた浜田ら¹²⁾の研究から、軟岩地山における地震時のせん断ひずみを最大 0.30%程度と仮定した。

増分荷重の作用方向と境界条件を、図-4に示す。トンネルに作用する増分荷重の作用方向は、スネルの法則より、地震波は基本的に鉛直下方向から入射するものと考えられる。しかし、山岳トンネルにおいては、断層や破碎帯、褶曲構造などの複雑な地質状況のため、常に鉛直下方向から入射するとは限らない。既設山岳トンネル覆工の力学挙動を数値解析により明らかにした朝倉ら⁹⁾の

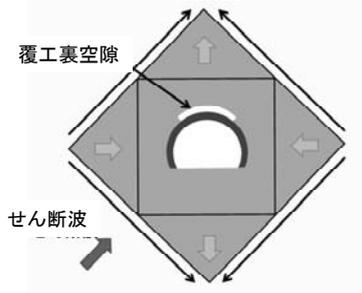


図4 増分荷重の作用方向と境界条件

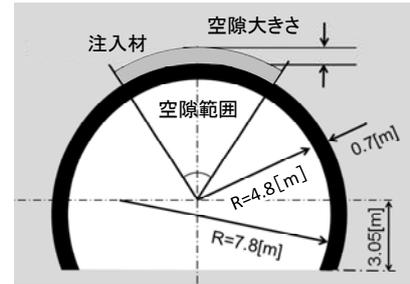
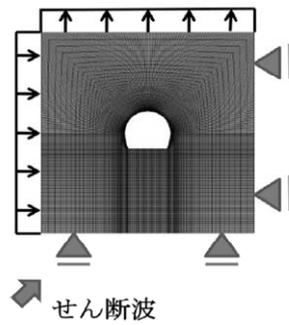


図5 解析モデル

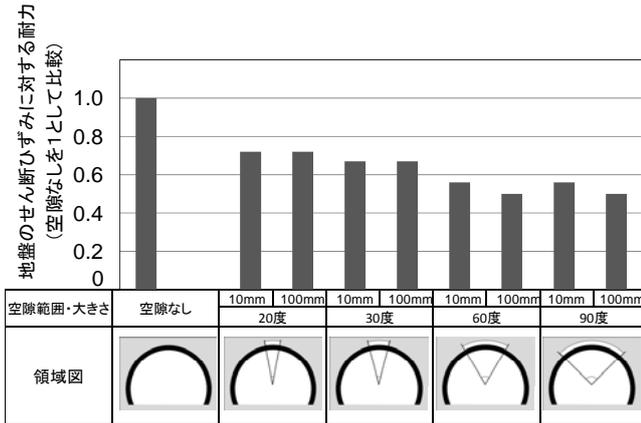


図6 解析結果

研究により、鉛直から45°の角度を持って入射し、水平方向に圧縮の力を受けるモードが最も危険なモードであることが分かっている。そこで、本研究では、この入射角・位相の場合で、数値解析を行うこととした。また、境界条件は、鉛直下方向から45度の角度を持って入射することを想定して、右辺と下辺をローラー支持とし、上辺と左辺から一様な変位を与えた。

(2) 空隙の大きさが覆工耐力に与える影響

空隙の大きさが覆工耐力に与える影響について検討を行い、注入の効果と充填率の関係について検証することとした。

解析モデルの概要を図5に示す。空隙範囲は、20°、30°、60°、90°の範囲とした。空隙の大きさは、空隙範囲ケース毎に、僅かな空隙として10mm、標準的な空隙として100mmの場合を想定した。

解析結果を図6に示す。覆工内面にせん断破壊が生じる際の地山のせん断ひずみを、空隙なしの場合を1として、各ケースを比較する。ここでは、耐えられる地盤のひずみ量を耐力と称する。空隙の大きさが10mmと100mmの場合の耐力低下度合いを比較すると、どちらの空隙範囲においてもほとんど差が出ていない。以上の結果から、わずかな空隙でも地山と接触していなければ

覆工耐力が低下するため、覆工裏込め注入を行う際は、空隙を完全に充填する必要があることがわかった。

(3) まとめ

覆工裏込め注入の効果と充填率の関係を明らかにするため、数値解析を行った。その結果、以下のような知見を得た。

- ・覆工裏に僅か10mmでも空隙が存在すると覆工耐力が低下することがわかった。そのため、覆工裏込め注入を行う際は、空隙を完全に充填する必要がある。

3. 注入材の充填性能の検証

(1) 実験概要

覆工耐荷力改善効果を実証に得るには、空隙を完全に充填することが必要であることがわかった。しかし、実施工では見えない箇所への施工ということで、確実な充填は非常に困難である。特に、従来主流であったモルタルに気泡剤を入れた材料は、流動性が優れる反面、地山のわずかな隙間への逸散等により充填状況にばらつきが多いという問題があった。

一方で、近年では、可塑性材料の開発により充填性は大きく改善されてきており、実施工における良好な結果もいくつか報告されている¹³⁾¹⁴⁾。しかし、限られたサンプリング成果であり、どんな形の空隙にどんな流路を経て充填されたかは不明である。また、注入材の性能を絶対評価する方法として、例えば、NEXCOの設計施工要領¹⁵⁾には注入材料の性能確認試験方法がいくつか提示されている。この試験により、矢板や支保工を想定した障害物に対する注入材料の追従性や流動性の他、わずかな隙間への漏出度合等がある程度評価できると考えられる。しかし、本試験は、あくまで材料の基本特性を把握するものであるため、実際の空隙を完全に充填できるかどうかを見極めるものではない。

そこで、可塑性材料を用いて、実トンネルの空隙に近い状況で完全充填可能かどうかを確認する試験を行った。

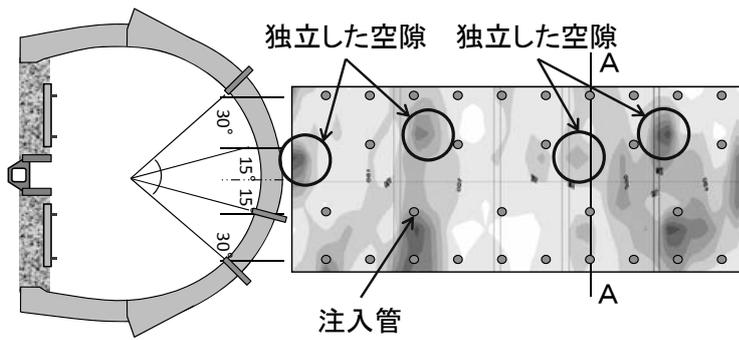


図-7 覆工裏空隙分布と注入管配置

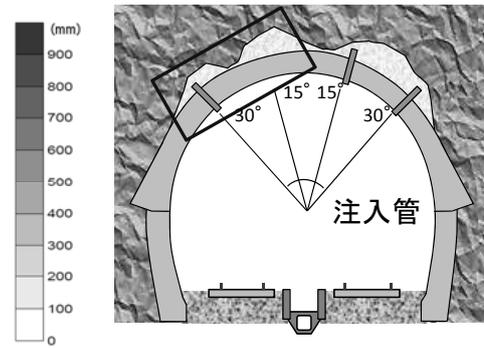


図-8 A-A断面図

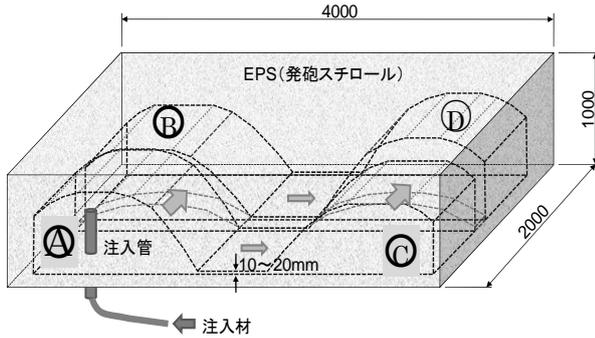


図-9 試験体概要



写真-1 フロー試験結果

表-2 注入材料（工法）概要

	A工法	B工法
主要材料	セメント、ベントナイト、混和剤	セメント、フライアッシュ、混和剤
材料圧送	1液	2液
圧送可能距離	150m	4,000m
圧送方法	注入箇所付近プラント設備からの注入	トンネル外プラント設備からの圧送
1軸圧縮強度	1.5N/mm ² 以上(28日) ※NEXCOの設計・施工要領に準拠	
流動性(フロー値)	静止時: 80~155mm 打撃時: 130~205mm ※NEXCOの設計・施工要領に準拠	
非収縮性	5.0mm ※28日硬化後の1m当りの収縮量	1.5mm ※28日硬化後の1m当りの収縮量



写真-2 両工法の充填結果

(2) 試験体

図-7に実際に矢板工法で建設された山岳トンネルにおける注入管配置の一例を、電磁波レーダー探査による覆工裏空隙分布図上に示す。また、この分布におけるA-A断面図を図-8に示す。この図から、実トンネルには、独立した空隙がわずかな空隙で接続され、連続して存在していることがわかる。また、注入管は、一般的に千鳥状に配置されることが多く、図-8のように独立した空隙が存在する場合には、注入管が設置されない。この場合、独立した空隙が注入材で充填されるかどうかは不明確であった。そこで、このような独立した空隙を模擬した試験体を作成し、充填性の確認を行うこととした。

試験体の概要を図-9に示す。試験体は、EPSブロックをくり抜いたものを8体使用し、積み重ねた状態で空隙を再現し、①～④の4つの大きな空隙の間を狭い空隙でつなぐような形とした。注入管はあらかじめモルタル床版に埋め込んでおき、実施工時と同様に管の先端が、空隙天井から50mm下の位置に来るようにした。注入管は①の空隙のみに設置した。

(3) 注入材料（工法）

本研究で使用した材料（工法）は、NEXCOの設計施工要領に適合している「A工法」および「B工法」の2つである。「A工法」は、注入箇所付近にプラントを設置することを前提とした1液性の材料を使用する工法である。「B工法」は、長大トンネルへの適用を想定した長距離圧送タイプで、トンネル外に設置したプラントから2液をそれぞれ圧送し、注入箇所直前で混合する工法である。両工法の概要を表-2に示す。フロー値等、施工時品質基準については、NEXCOの設計施工要領に準拠した。フロー試験の結果を写真-1に示す。

(4) 試験結果

EPSブロックを撤去し、充填状況の確認を行った。A工法、B工法の結果を、それぞれ写真-2に示す。両工法ともすべてのブロックにおいて非常に良好な充填状態で

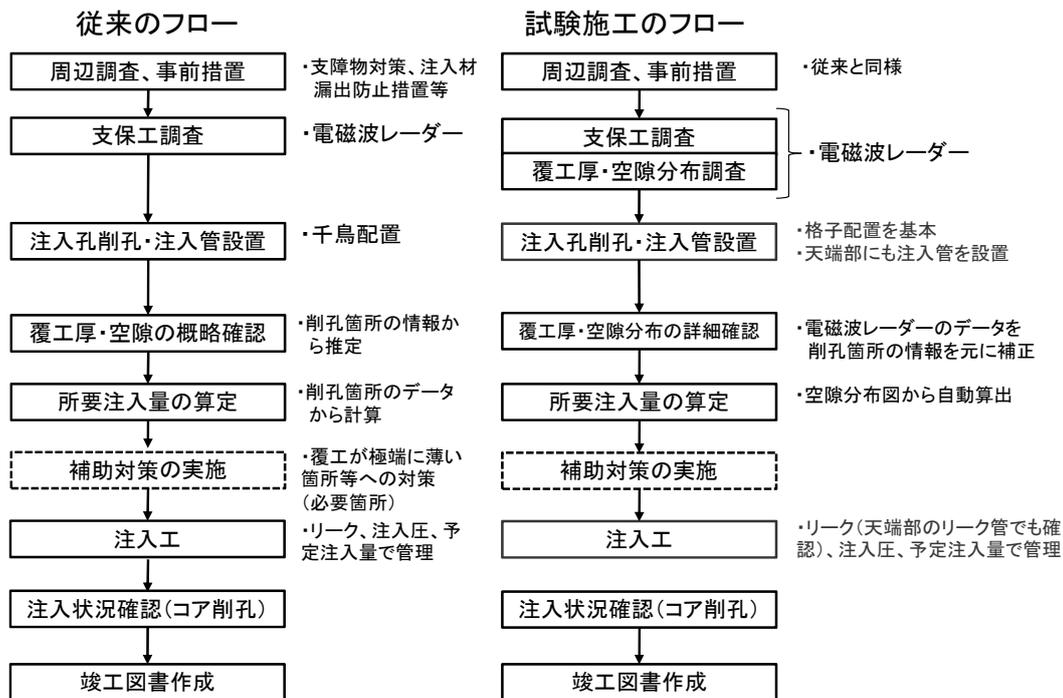


図-10 試験施工フロー

あった。注入管配置は従来の千鳥状の配置で、可塑性材料を用いれば、実トンネルのように空隙同士がほぼ独立したような状態であっても、その間をつなぐ 10mm～20mm 程度の隙間から、空隙を完全に充填できることが確認できた。

4. 試験施工

(1) 対象トンネル

前章で充填性能を確認した工法で、実トンネルにおいても確実に空隙を充填できるかどうかを確認するため、東海道新幹線の本線のトンネルにおいて、試験施工を行った。対象としたトンネルは、矢板工法により建設されており、設計巻厚0.7mである。施工延長は、トンネル全延長の内40mを対象としている。適用した材料および工法は、長距離圧送に適したB工法を採用した。

(2) 施工フローと改良点

試験施工の施工フローを従来工法と比較したものを図-10に示す。本試験施工では、トンネル覆工裏の空隙を完全に充填することを目的に、以下の改良を行った。

注入管配置について、従来の配置は、覆工の下部から上部に向かって埋めていくことを前提に、上部に行くほど粗いピッチ（千鳥）になっている。また、最も重要な覆工天端部では、理由は明らかではないが、注入管が設けられていない。前章の実験結果から、このような配置方法でも空隙がつながってさえいれば充填が可能である

ことが確認されている。しかし、空隙同士の間僅かな隙間が無い場合や、過去に変状対策等で局所的に裏詰め注入工を実施し、不完全な充填の場合は、独立した空隙が分散していることも想定される。

一方、注入管理については、従来、①隣接の注入管からのリークが見られた場合、②注入圧が閾値（0.2MPa）を超えた場合（空隙が注入材で閉塞したと推定）、③注入量が計画注入量を一定量超えた場合（注入材が想定する空隙以外の隙間へ流失したものと推定）を終了の目安としている。鉄道トンネルにおける作業は、列車通過のない限られた時間内で行わなければならない。そのため、作業性の観点から、③のような指標を便宜的に設定している。ただし、③の指標で完了した箇所は、後日、充填が確認されるまで再注入が必要となる。①については、注入管間隔が離れていると空隙範囲が広い場合にはなかなかリーク確認ができず、結果的に③の形で注入を止めるケースが増えることになる。②についても、空隙の大きさが小さくて、範囲が広い場合には流動抵抗により注入圧が上昇しやすくなるため、閾値に到達しても必ずしも完全に空隙を充填できていない可能性がある。また、松尾らの解析および実験結果¹⁰から、覆工厚が極めて薄い箇所には過大な注入圧をかけると覆工に変状が発生する可能性があることがわかっており、注入管間隔が離れていると、圧力が逃げにくくなり、変状発生の可能性が高くなる。

以上のことから、従来の注入管配置と充填管理方法では、空隙の分布状況によっては、注入材自体の充填性能が高くても不完全充填箇所が残る可能性があると考えら

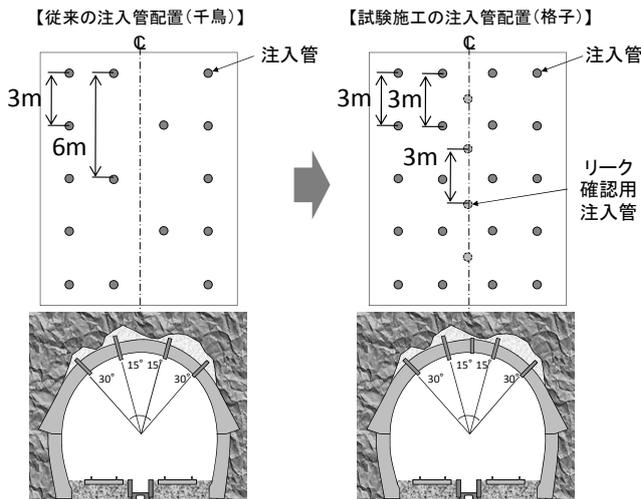
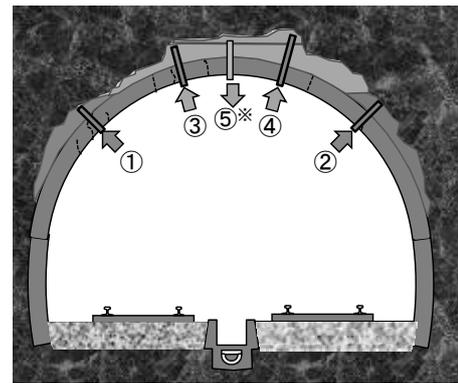


図-11 注入管配置パターンの改良



※⑤については、③あるいは④から注入した場合のリーク管として使用するが、リークしなかった場合はここからも注入する

図-12 注入順序

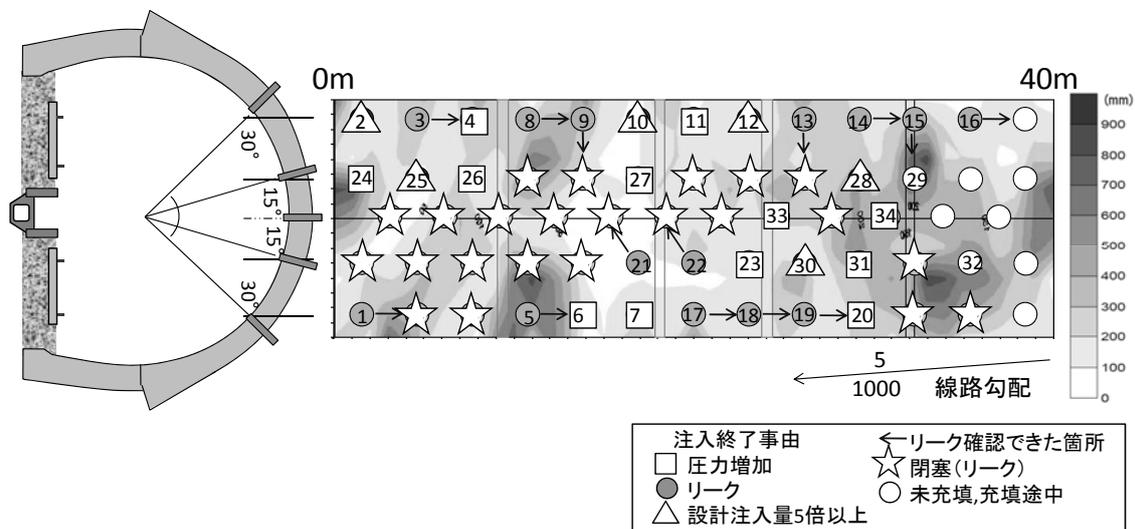


図-13 施工結果

れる。この対策として、注入管を極力多く設置することが有効と考えられる。しかし、支保工に支障するケースが増えるのと、現状の削孔の方法では、工期の増加に直結コストに大きく跳ねかえることになるため、最適な配置を検討する必要がある。そこで、従来の注入管配置に対し、覆工上部でも下部と同様の密度にする、すなわち格子状の配置とするとともに、覆工天端部にも注入管を設置し、リーク確認ができる機会を増やすことで、充填性の向上と注入圧上昇による覆工の変状発生防止を図ることとした。注入管配置パターンを図-11に示す。また、基本的な注入順序を図-12に示す。

(3) 試験施工結果検証

試験施工結果について、以下に考察する。本試験施工では、事前に電磁波レーダー探査による覆工厚および空隙分布を作図している。施工結果を検証するため、電磁波レーダー探査による空隙分布図上に、注入管ごとに注

入の順番、注入を終えた理由を記したものを図-13に示す。凡例にある「未充填、充填途中」となっている箇所は、工期の関係で工事を打ち切った箇所である（次年度に継続施工予定）。

本トンネルではB工法による固定プラント方式（圧送方式）を採用した。カタログスペック上は、4kmまでの圧送が可能となっており、今回の圧送距離は1kmに満たないため、全く問題がない。

本トンネルは、空隙分布図を見る限り起伏に富んだ空隙分布に見え、前章で実施した注入実験の想定に近いトンネルである。充填方法は、基本的に覆工の下方から上方に向かって埋めていく考え方（図-12参照）で、まず45°ライン（一番下のライン）の施工を線路方向にある程度進めた後、15°ラインを施工していく。その際に、トンネルに偏圧が生じないようにするため、上下線を交互に施工する。また、線路方向には、勾配が低い方から高い方へと進めていく。また、リークは基本的に線路方

向の隣接管で見られることが多いということで、45°ラインの施工時には、隣接する45°ラインの管と15°ラインの管の2本の蓋だけを開放し、覆工天端はもちろんのこと、他の管も蓋を閉めていた。閉塞（リーク）となっている箇所（**図-13**で星印）は、後日注入を行おうとして蓋を開けた際に、すでに閉塞していることが確認できた箇所である。従って、本トンネルの場合は、1箇所の注入口からかなり広範囲まで充填できていたことがわかる。

本試験施工では、施工後にクラウン部の充填状況をコア削孔により確認している。削孔したコアを**写真-3**に示す。コア削孔の結果から、天端部の空隙を完全に充填できたことを確認できた。施工状況を**写真-4**に示す。

(4) 注入管配置の改善効果について

本試験施工では、従来のような千鳥方式ではなく、より充填確認や圧力分散がしやすい格子状の配置にした（**図-11**参照）。また、従来はなかった覆工天端部にも注入管を設置した。閉塞（リーク）箇所（星印）箇所については、結果的に従来の千鳥方式でも問題がなかったことになるが、空隙の典型的パターンと考えられる本トンネルでは、今回の変更の効果が確認された。

本トンネルの施工結果では、21番・22番という隣接した注入管からの注入でそれぞれ異なる注入管からリークしている。その逆線側の注入管は45°ラインの注入時にすでに充填されていたと考えられることから、27番からの注入でのみ覆工天端部の注入管からのリークが期待できる。結果的に27番は圧力上昇でストップしているため、その付近の空隙を充填させることはできたが、覆工天端部まで注入材が回らなかったと考えられる。千鳥配置の場合は、21番と22番の2つの注入管のうち1つしか設置されていないはずなので、今回のように覆工天端部まで充填できなかった。さらに24番と26番あるいは23番と31番では圧力上昇で注入ストップとなっているのに対し、その間にある25番あるいは30番では設計注入量をはるかに超えた注入量が必要になっている。従来の千鳥配置では25番や30番には注入できなかったはずなので、15°ラインの注入管を増やしたことがうまく機能したと考えられる。

今回覆工天端部に設置した注入管は、基本的にリーク管として機能させ、必要な場合のみ注入管として使用することを想定していた。試験施工の結果、想定どおりほとんどがリーク管として機能し、2箇所で注入管として使用している。このことから、覆工天端部にも注入管は必要であると言える。

(5) まとめ

3章の実験で確認した工法を用いて、実トンネルにお

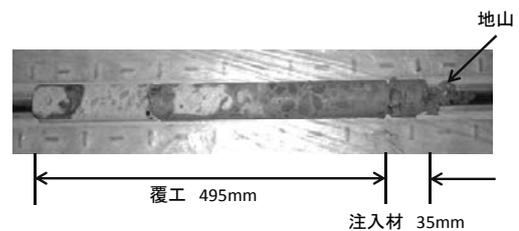


写真-3 削孔したコア

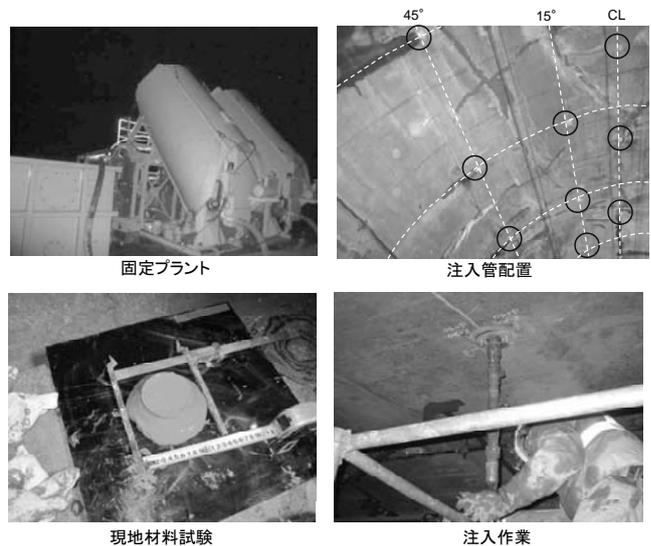


写真-4 試験施工の様子

いても完全充填が可能かどうか確認するため、試験施工を行った。また、従来工法を見直し、施工管理面の工夫により充填性が高まるかどうか検討した。その結果、注入管配置について、従来工法の千鳥型ではなく、格子型＋覆工天端部の注入管配置により、実トンネルにおいても覆工耐荷力改善に重要な覆工天端部を、より確実に充填できることが確認できた。

5. 結論

本研究では、数値解析により覆工裏込め注入の効果と充填率の関係を明らかにし、実験により現在一般的に使用されている注入材料（工法）の充填性能の確認を行った。また、試験施工を実施し、実際のトンネルにおいても効果的な注入が施工可能かどうかを確認した。その結果、以下の知見を得られた。

- 1) 覆工裏込め注入を行う際は、空隙を完全に充填する必要がある。
- 2) 実験により、上記の基準を満たす注入材料（工法）について検討を行った結果、現在一般に使用されている可塑性材料を用いることにより、完全充填が可能であることを確認した。

3) 実トンネルにおける試験施工の結果、注入管を格子型＋覆工天端部に配置することで、覆工天端部の空隙をより確実に充填できることがわかり、より効果的な注入が可能であることがわかった。

今回得られた知見を、山岳トンネルのより効果的な裏込め注入の仕様としてまとめた。今後は、実トンネルでの施工事例を増やし、様々な空隙パターンでも効果的な注入が施工可能かどうか、検証を行っていく。

謝辞：本研究の実施に当たり、解析に協力していただいた京都大学大学院（現鉄道・運輸機構）の松尾知明氏に、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）トンネル，丸善株式会社，2007.
- 2) 蔣宇静，藤崎雅史，川田昌仁，棚橋由彦：地山強度の時間依存性を考慮した変状予測と補強工法の効果に関する研究，長崎大学工学部研究報告，第 35 巻，第 65 号，2005.
- 3) 野城一栄，小島芳之：山岳トンネルの地震被害を小さくする，RRR，Vol.67，No.10，2010.
- 4) 松長剛，熊坂博夫，小島芳之，朝倉俊弘：地山強度の経時劣化を考慮したトンネル変状の予測と対策に関する研究，土木学会論文集，No.799，pp.75-88，2005.

- 5) 朝倉俊弘，志波由紀夫，松岡茂，大矢敏雄，野城一栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集 No.659/3-52，27-38，2000.
- 6) 真下英人，日下敦：地震時における山岳トンネルの挙動に関する基礎的研究，トンネルと地下 Vol.43 No.4，pp.25-35，2012.
- 7) 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：山岳トンネル設計施工基準・同解説，2008年4月.
- 8) 菊池宏吉：地質工学概論，土木工学社，1990.
- 9) 鉄道総合技術研究所編：SI 単位版鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物，丸善株式会社，2002.
- 10) 松長剛：トンネル変状の進展予測と対策の合理化に関する研究，京都大学学位論文，2007.
- 11) 土橋浩，市村強，大保直人，堀宗朗，山田岳峰：複雑な構造を持つ大型トンネルの地震応答に対する大規模三次元数値解析の必要性の検討，土木学会論文集，Vol.64，No.3，pp.639-652，2008.
- 12) 浜田政則，泉博允，岩野政浩，志波由紀夫：岩盤空洞の地震時ひずみの解析と耐震設計，土木学会論文報告集，Vol.341，pp.197-205，1984.
- 13) 大嶋健二，伊藤哲男，城間博通，西山達也：トンネル背面空洞に用いる注入材の材料特性について，日本道路会議論文集，Vol.24，pp.190-191，2001.
- 14) 小森大育，魚本健人：トンネル背面空洞に対する裏込め注入グラウトの充填方法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1，2001.
- 15) 東日本高速道路株式会社ほか：矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領，2006.
- 16) 松尾知明，朝倉俊弘，嶋本敬介，内藤繁，田川謙一：山岳トンネルの裏込め注入に関する研究，土木学会論文集 F1 特集号，2012.

(2013. 9. 2 受付)

STUDY ON THE METHOD OF BACKFILL GROUTING WORK IN MOUNTAIN TUNNELS

Shozo TAKEUCHI, Toshihiro ASAKURA, Masaki SEKI, and Shigeru NAITO

The purpose of this research is to seek for an effective and practical method of backfill grouting work in mountain tunnels. The opening exists in behind the lining many of mountain tunnels built at this time. The opening behind the lining affects the proof stress of a tunnel. The measure method is backfill grouting. However, it is not verified in detail about the effect of the method. In this research, it was shown clearly that it needs to be completely filled up with openings by numerical analysis, and the effective specification of the method of backfill grouting work in mountain tunnels was decided an experiment, and actual test in the Tokaido Shinkansen lines.