

膨張性が懸念される大断面トンネル補助工法における生産性向上

Productivity Enhancement in Temporary Advanced Support Methods for Tunnels with Large-Section under Swelling Concerns

近藤 優大*

Yuto Kondo

諏訪 至**

Itaru Suwa

立道 智生*

Tomoo Tatemichi

要 約

朝日温海道路 11 号トンネルその 2 工事は全長 2201m のうち坑口から 796m を NATM で掘削する工事で、脆弱かつ膨張性が懸念される地質を有し、533 m 区間で補助工法が設計されている。膨張性地山では、脆弱層の強度不足や膨張性鉱物による切羽押し出しを伴う切羽崩落や、短期的にも長期的にも大きな変状が懸念され、切羽安定対策や変状抑制対策等の補助工法を確実かつ効率的に行うことが施工上・技術的課題となった。

対策として 4 つの補助工法に関する新技術（① AGF-Tk 工法② 3 連 6 室 ϕ 80 蓮根式インサート管③ Cki 注入管理システム④ GroutViz）を導入した。その結果、AGF-Tk 工法では確実性およびコストダウン、3 連 6 室 ϕ 80 蓮根式インサート管では薬液注入の生産性向上およびコストダウン、Cki 注入管理システムでは補助工法の管理効率化による生産性向上、GroutViz では詳細かつ適切な地山評価による施工の確実性・生産性向上の効果が得られた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 施工上・技術的課題
- § 3. 導入技術・効果
- § 4. まとめ・今後の展望

§ 1. はじめに

一般国道 7 号朝日温海道路は、新潟県村上市川端と山形県鶴岡市大岩川の 2 県を結ぶ 40.8km の自動車専用道路であり、交通の利便性や安全性の向上を図るほか、日本海沿岸地域の経済・観光振興への寄与、災害時の代替道路の確保などの効果が見込まれている。

「朝日温海道路 11 号トンネルその 2 工事」は朝日まほろば IC～あつみ温泉 IC 間を整備している事業の内、11 号トンネル（全長 $L=2,201\text{m}$ ）の山形県側坑口から 796m を NATM（機械掘削）によるトンネル工事である（表 1、図 1 参照）。

本工事は総延長 796 m の内、約 7 割となる 533 m に注入式長尺鋼管フォアパイリング（以下、AGF と称す）や注入式フォアポーリング、鏡ボルトなどの補助工法が設計されており、非常に脆弱な地質構成となっている（図 2 参照）。

本稿では、脆弱な地質の大断面トンネルを安全かつ効率的に掘削するために導入した補助工法における新技術の成果を報告する。

§ 2. 施工上・技術的課題

11 号トンネルの地質は、新第三紀新生上郷層に属する泥岩が広く分布する。当工区は主に上郷層下部層で構成され、泥岩・凝灰岩・礫岩・砂岩が互層状をなす KLts

表 1 工事概要

工事名	朝日温海道路 11 号トンネルその 2 工事
工事場所	新潟県村上市堀之内地先～中浜地先
発注者	国土交通省 北陸地方整備局 羽越河川国道事務所
施工者	西松・加賀田特定建設工事共同企業体
工 期	令和 5 年 1 月 27 日～令和 8 年 3 月 31 日
延 長	$L=796\text{m}$
掘削工法	機械掘削ショートベンチカット工法

* 関東（支） 朝日温海（出）

** 本社 土木設計部

層と礫岩を主体とするKLsc層に区分される。現場掘削土にて一軸圧縮強度及び地山強度比を算出したところ、一番低い箇所で一軸圧縮強度が0.4MPa、地山強度比が0.4程度と塑性変形が大きくなる可能性を示した。また、地山の性状調査を目的として地山試料試験(X線回折・CEC試験・浸水崩壊度試験等)を実施した結果、トンネル掘削延長675.0m(R7年8月末時点)すべての区間で膨張性の可能性が高い鉱物が確認された(図-3参照)。

膨張性地山では脆弱層の強度不足や膨張性鉱物による切羽押し出しを伴う切羽崩落や、短期的にも長期的にも大きな変状が懸念されるため、切羽安定対策や変形抑制対策等の補助工法を確実かつ効率的に行うことが施工上・技術的課題となった。

§3. 導入した新技術

3-1 AGF-Tk工法(NETIS:CB-150001-VE)

切羽の天端安定対策として用いられるAGF工法において、従来ではAGF施工後に末端管(L=3m)がトンネ

ル断面内に残るため撤去する必要があり、掘削時に地山を緩める可能性があった(図-4参照)。

そこで、鋼管打設時に専用の治具を使用して末端管を事前に引き抜き、掘削時の衝撃を緩和するAGF-Tk工法¹⁾を採用した。撤去した末端管は再利用が可能ため、産業廃棄物処分量が減らせコスト削減に繋がる。この検証のため、メーカーによる3次元レーザースキャナを用いて抜け落ち量を比較すると、掘削時の抜け落ち量が従来型よりも低下することが示されていた(1~3基までの合計で抜け落ち量53%の削減、図-5参照)。

当現場における実施工でもAGF施工区間での天端の抜け落ちは確認されなかった。また、再利用した末端塩ビ管の転用回数が13回のももあり、使用する末端管が少なくなることから、1シフト当たり約93%のコスト削減となった。

3-2 3連6室φ80蓮根式インサート管(SSRインサート管システム)

薬液注入時に使用するインサート管において、φ80の



図-1 本工事の位置図

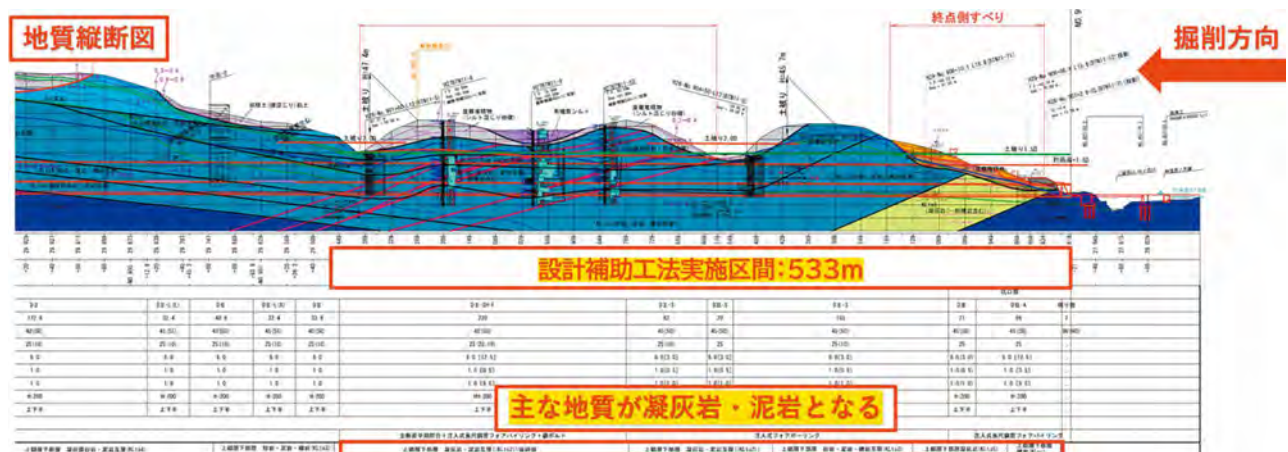


図-2 地質概要及び支保パターン

芯材にグラウトチューブを這わせる形状(蓮根式)で、鋼管内注入量を削減することができる3連6室φ80蓮根式インサート管を採用した。通常3箇所だった吐出孔を倍の6箇所設け、鋼管内を5部屋に仕切る6ステップ注入とすることで、均等な改良体形成による確実な地山改良に繋がる(図-6、図-7参照)。従来型で使用するチューブ式のインサート管と比較して、鋼管内充填量は約60%の低減に繋がった。また、蓮根式インサート管を使用することによる設計注入量の削減により約11%の薬液量の削減となった。

3-3 Cki (CASE OF KATECS i-construction)

注入管理システム (NETIS : KT-210097-A)

注入日報の「自動作成+遠隔管理システム」を有したCki注入管理システムを採用した。従来作業員が手書きで記入していた注入日報を自動化・データ化することにより、業務の大幅な負担軽減に繋がった。また、現場事務所にて注入機運転画面をリアルタイムで遠隔監視することで、注入効果の早期把握・共有に繋がった(図-8参照)。

3-4 GroutViz(Visualization) (NETIS : KK-240108-A)

薬液注入データの3次元表示による地山性状分析システムを採用した。Cki注入管理システムで得られた注入データを専用ソフトで解析し、注入量を3次元的に可視化する技術である(図-9参照)。現場では地山評価の理解度向上と過去の注入状況の整理を目的に、AGF-Tk工法を実施したDⅢ-A、DⅢ区間での薬液注入データを分析した結果と掘削時の現場状況について検証をした。

- ①追加補助工法との整合性：GroutVizによる地山評価と現場で実施した補助工法との関連性を精査した結果、注入率が高かった区間での追加補助工法が集中していた(図-10参照)。

- ②計測Aとの整合性：注入率が高かったTD20m付近の切羽写真を確認すると、崖錐堆積物や凝灰岩が混在している地山であり、掘削の振動により自立出来ずに崩落する地山であった(図-11参照)。また、沈下・内空変位測定の結果では、TD18mで右肩の沈下量が管理レベル3を超過しており(図-12参照)、3次元解析結果との相関性が確認できた。また、TD60m付近の沈下・内空変位測定では、沈下・内空変位ともに管理レベル1以内だったことが確認できた。以上の結果から、GroutVizによる3次元解析結果と実現象に整合性があることが確認できた。

- ③今後の運用：今回は検証的な運用となったが、リアルタイムに解析を行うことで、前方地山の正確な地山評価に繋がると期待される。また注入圧力による評価が可能となれば、注入圧力の観点から地山に対して注入材が十分に充填されているかどうかの指標にもなる。

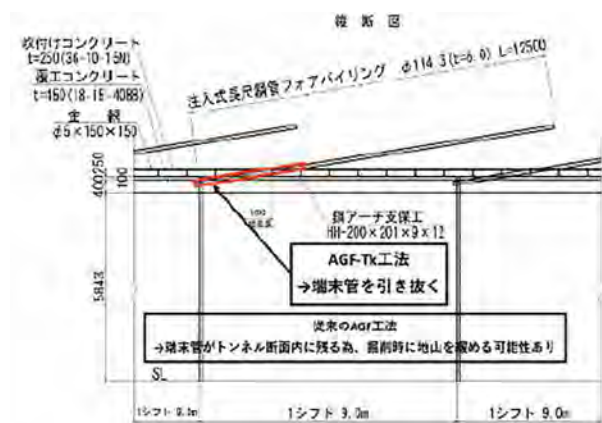


図-4 AGF-Tk工法の概略図

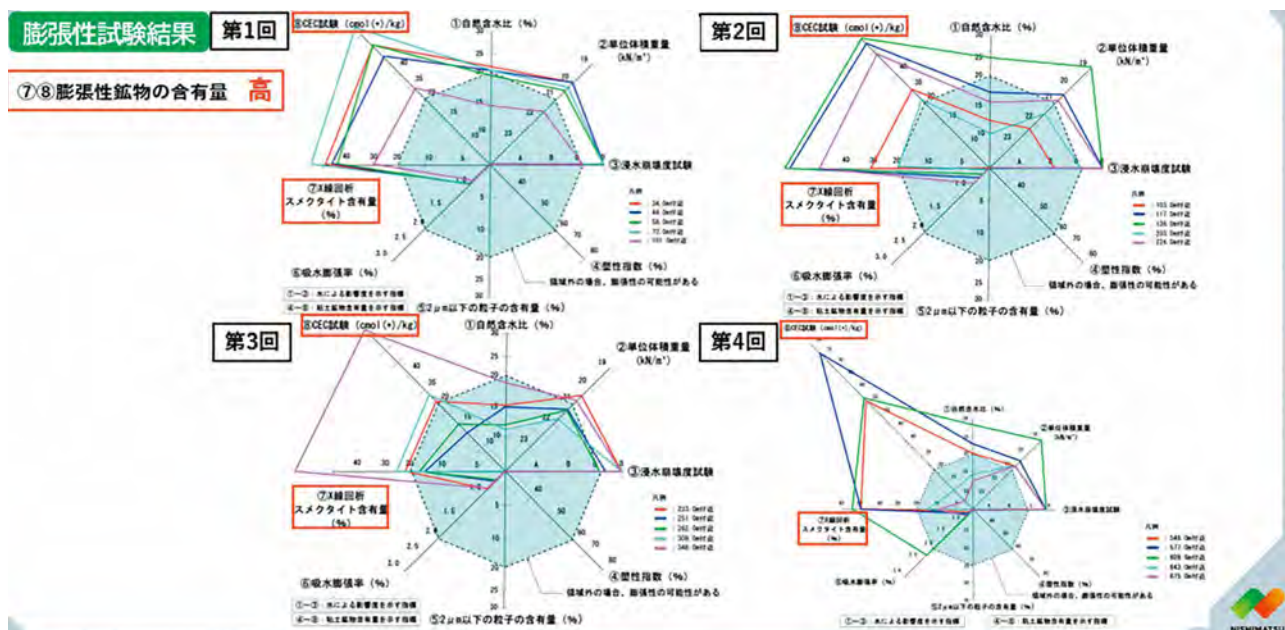
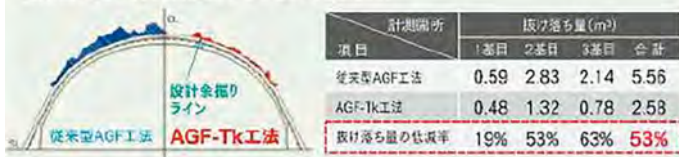


図-3 膨張性試験結果

※ 抜け落ち量の比較

3次元レーザースキャナを使用して抜け落ち量を比較した結果、1～3基までの合計で、従来型に比べ約53%低減することができました。

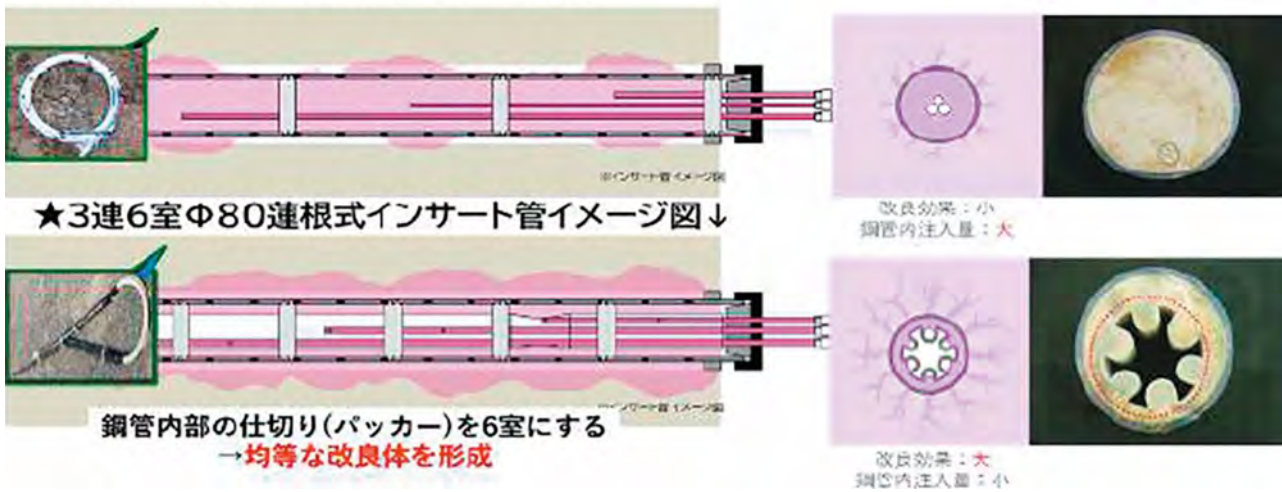


図ー5 抜け落ち量の比較データ



図ー6 ステップ増加による改良効果の比較

★チューブ式インサート管イメージ図↓



図ー7 従来インサート管とφ80 連根式インサート管の比較



Wi-Fi



図ー8 Cki 注入管理システムの概要

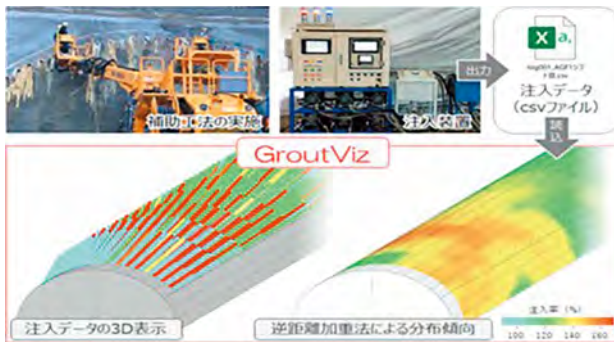


図-9 GroutViz の概要

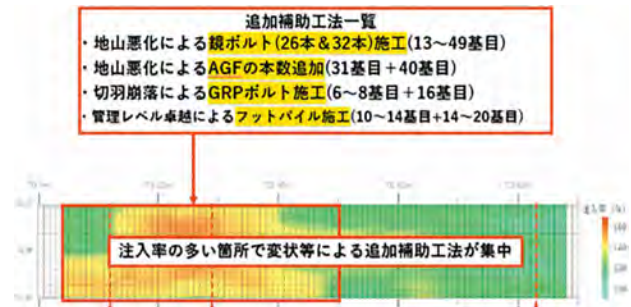
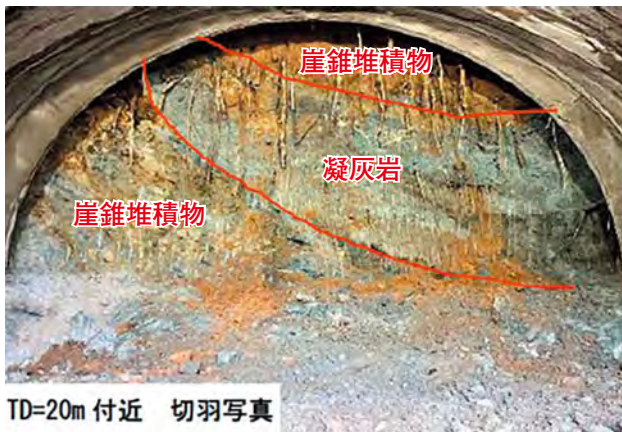


図-10 追加補助工法との整合性



TD=20m 付近 切羽写真



TD=60m 付近 切羽写真

図-11 TD20m・TD60m の切羽写真

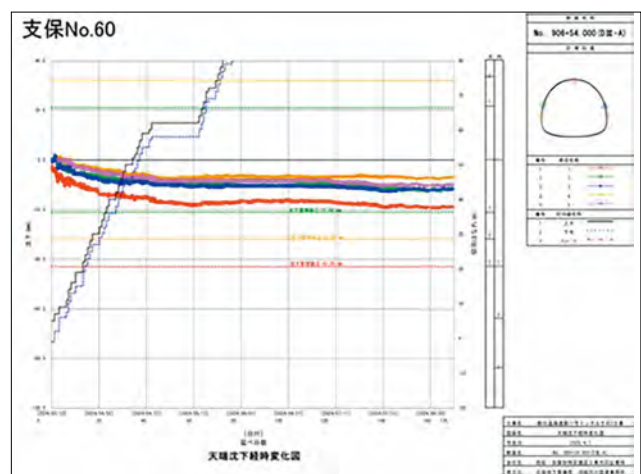
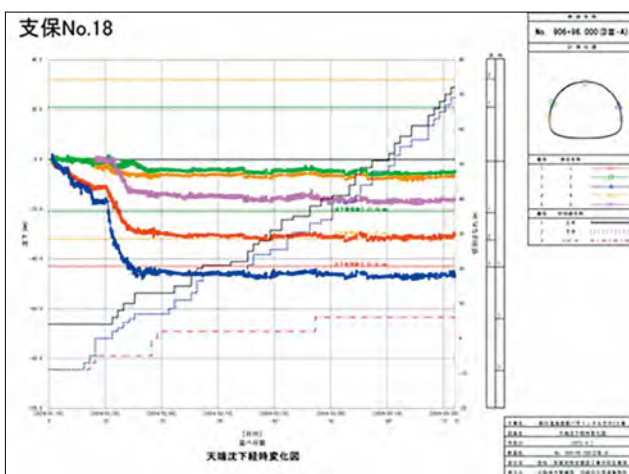


図-12 TD18m・TD60m の沈下測定結果

§ 4. まとめ・今後の展望

本工事では施工の中でも大きなウェイトを占める補助工法について、4つの新技術（図一13 参照）を導入し生産性向上を図った。下記にて各技術がもたらした実績と効果について記述する。

4-1 AGF-Tk 工法による確実性・コストダウン

AGF-Tk 工法の実施により、端末管を撤去することによる天端の抜け落ちは確認されなかった。また、再利用した端末塩ビ管の転用回数が最大で13回となり、使用する端末管が少なくなったことから、1シフト当たり約93%のコスト削減となり確実性・コストダウンに繋がった。

4-2 3連6室φ80蓮根式インサート管による生産性向上・コストダウン

3連6室φ80蓮根式インサート管の使用により、従来型で使用するチューブ式のインサート管と比較して、銅管内充填量は約60%の低減に繋がった。また、蓮根式インサート管を使用することで全体設計注入量の削減（約11%の薬液量削減）に繋がり、生産性向上・コストダウンに繋がった。

4-3 Cki 注入管理システムによる生産性向上

Cki 注入管理システムの使用により、注入日報の大幅な業務負担軽減や注入状況の遠隔監視による、注入効果の早期把握・共有に繋がった。それにより生産性向上に繋がった。

4-4 GroutViz による確実性・生産性向上

GroutViz の活用により、3次元解析結果と実現象との整合性があることが確認できた。それによる地山評価の理解度向上により確実性・生産性向上に繋がった。

今後の展望として、Groutviz は検証的な運用となったがリアルタイムに解析を行うことで前方地山の正確な地山評価に繋がると期待される。また注入圧力による評価が可能となれば、注入圧力の観点から地山に対して注入材が十分に充填されているかどうかの指標にもなる。

参考文献

- 1) 市川晃央, 前田壮亮 他：端末管の事前撤去型 AGF 工法の開発 その2 現場摘要における効果確認 現場摘要における効果確認 土木学会年次学術講演会公演概要集 2015 VI -779



図一13 本稿で述べた4つの補助工法新技術