

供用中トンネルにおけるインバート設置について

西松建設(株) 関東土木支社 正会員 ○荒川 哲平 岡本 隆幸
西松建設(株) 土木設計部 正会員 大谷 達彦
東日本高速道路(株) 関東支社 小暮 英雄 鈴木 二郎

1. はじめに

東日本高速道路(株)では、高速道路の永続的な健全性を確保し、経済・社会・医療・防災など社会基盤を支える大動脈としての役割を果たすため高速道路リニューアルプロジェクト（大規模更新・修繕事業）を実施している。これにより、ライフサイクルコストの最小化を図り、予防保全や性能向上の観点から必要な対策を行うことで、高速道路ネットワーク機能を長期にわたって健全に保つことを目指している。

その中で、トンネルにおいては、トンネル周辺の土圧の増加に対して、インバートを設置し、閉合構造として安定性を向上させる対策を行っている。インバートの施工にあたって、4車線（上下線各2車線）区間については車線規制などにより交通を確保しながら工事を実施している。

本報告では、交通量が比較的多いトンネルにおいて、工事に伴う車線減少による道路利用者への影響（交通負荷）を極力少なくする工夫を行ったトンネル補強工事について紹介する。

2. 関伽流山トンネル補強工事の概要

関伽流山トンネル下り線（L=1,960m）は、上信越自動車道碓氷軽井沢IC～佐久IC間に位置する。トンネル内では、インバート未施工区間（L=1,320m）の一部において、最大路面隆起量約130mmの盤膨れが発生した。その対策として、長期的なトンネルの健全性を確保するためインバート設置工事を行った。

本工事は、2車線トンネルを1車線ずつ昼夜連続規制しながら、半断面施工で行い、その対策延長は図-1および図-2の通り149m（区間A:42m+区間B:107m）であった。トンネル規制内での狭小施工ヤードにおいて、通行止めを行わずに施工するため、一般通行車両、および施工者の安全に十分配慮した仮設計画、使用機械等を検討し施工を行った。

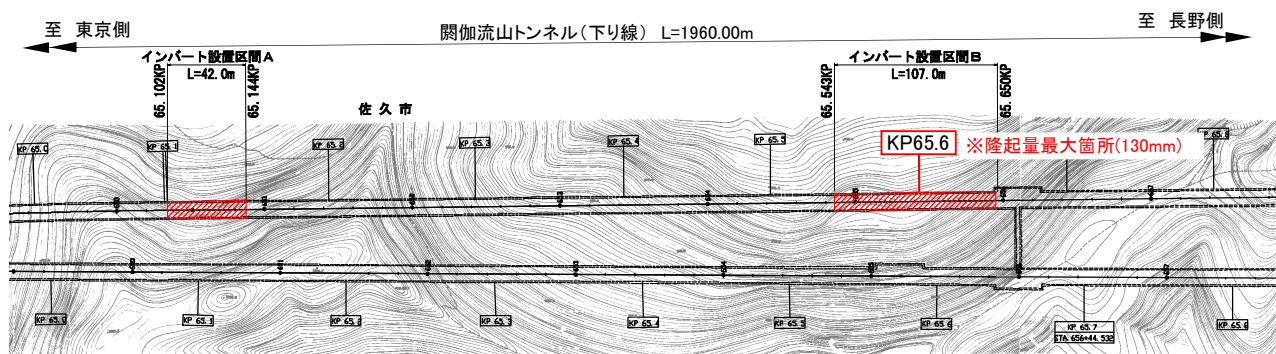


図-1 平面図

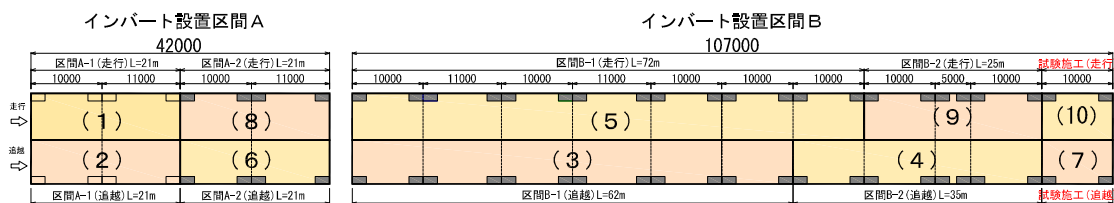


図-2 インバート設置位置図

※（番号）は施工順序を示す

キーワード 供用中トンネル、インバート、盤膨れ、半断面施工、車線規制、掘削機械

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-1-18 ヒューリック虎ノ門ビル 3 階 西松建設(株)関東土木支社 TEL 03-3502-7556

3. 半断面施工の概要

半断面施工の施工手順を図-3 に示す。半断面施工は、トンネルセンターに土留杭を打設する親杭横矢板方式で行い、車線規制を切り替えながら走行側施工、追越側施工を繰り返し、インバートの閉合を行っていく。また、半断面施工を行うためには、車線幅員を確保するため、車線シフトが必要となる。本工事における車線シフト量・延長は以下の通りである。

- ・シフト量 走行側施工時：375mm（図-3 STEP1 参照）
- ・シフト量 追越側施工時：885mm（図-3 STEP4 参照）
- ・シフト区間延長：L=130m（図-4 参照）

シフト区間延長とは、シフト前・後のすり付け区間延長であり、車線規制時の設計速度における、最小曲線半径から求まる曲線区間長とその前後に設ける緩和区間長の合計により算出する（図-5）。また、シフト量も車線規制時の設計速度において、車線幅員が確保できるよう算出する。本工事における、車線規制時の設計速度が 60 km/h であるのに対し、2 車線開放時の設計速度は 80 km/h であり、必要なシフト長と車線幅員が異なる。そのため、例えば図-3 の STEP1 から STEP2 に切り替える時のように、車線シフト用の路面標示を施工した後は、2 車線開放することがないように、先頭固定規制により規制切替を行う必要がある。

先頭固定規制とは、一般車両の先頭でパトカー等が低速で走行し、速度を抑制することで、前方に車両のいない空間（時間）をつくるための交通規制である。本工事では、先頭固定規制の数分間で走行・追越の車線規制の切替を行うことで、2 車線開放することなく、車線シフトを行った。

【設計速度 60 km/h：シフト長 L=130m】

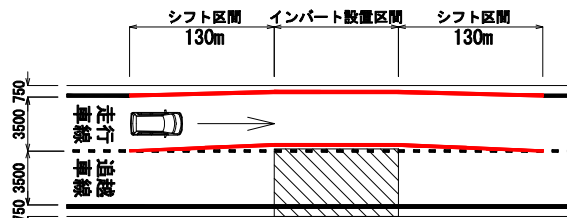


図-4 車線シフト概略図

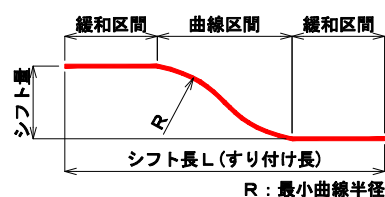


図-5 シフト長詳細図

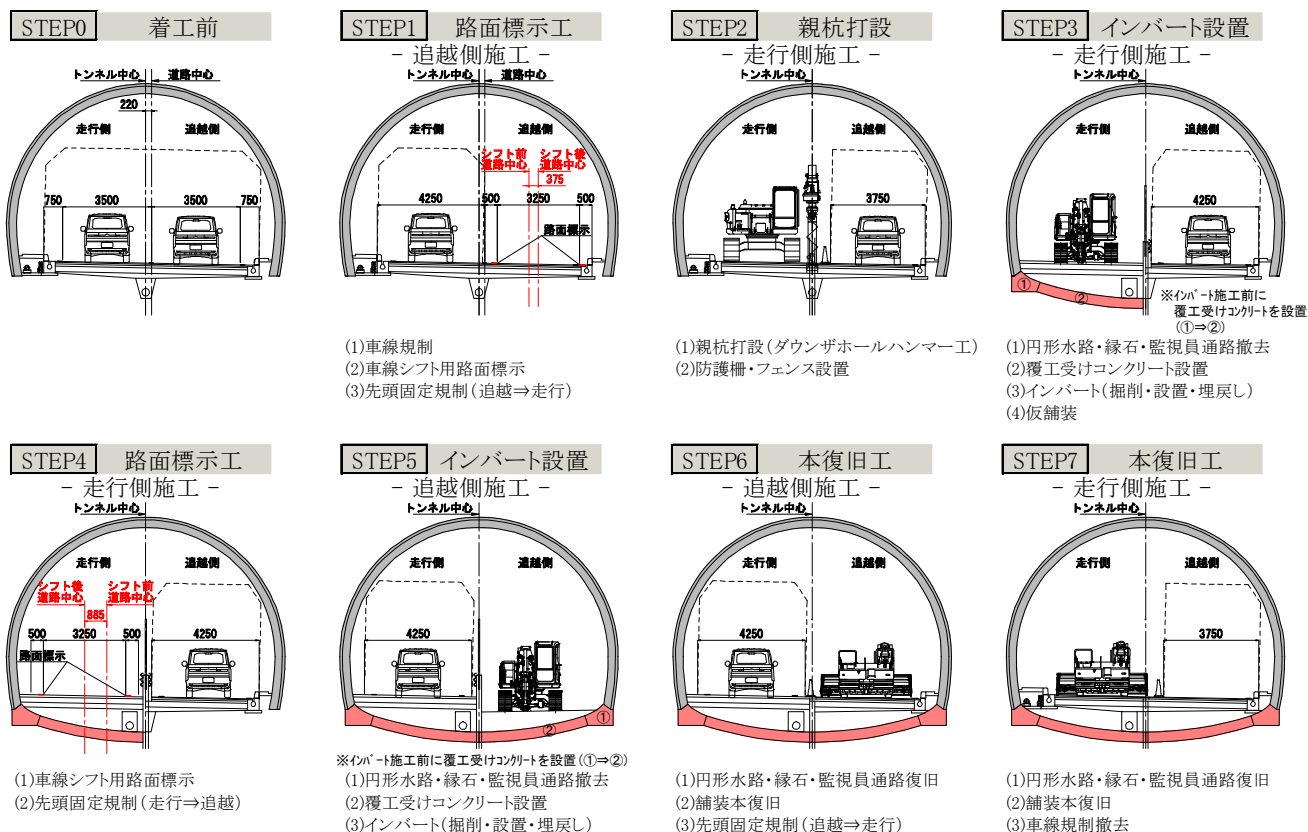


図-3 施工手順図

4. サイクルタイム短縮の取組み

本工事における昼夜連続規制は、渋滞回避の観点から夏季・冬季・ゴールデンウィーク休暇、及び3連休を抑制期間（全車線開放する期間）とし、連続施工期間（抑制期間から抑制期間までの施工可能期間）が限定されるため、施工サイクルタイムの短縮方法を検討した。その結果、インバート設置工事の一連の施工サイクルの内、以下2工種の先行施工を行うことで、サイクルタイムの短縮を図った。

(1) 覆工受けコンクリートの先行施工

覆工受けコンクリートとは、覆工下方を全スパン同時に掘削すると、覆工が沈下する恐れがあるため、その防止対策として、覆工下部の目地部に先行して設置するものである(図-6)．当初の施工サイクルでは、覆工受けコンクリートを設置後、引き続き、インバート掘削を行う計画であった．

しかしながら、連続施工期間が短いときには、一度交通開放するために、覆工受けコンクリートを全箇所先行設置した後、埋戻し・

仮舗装を行った。これにより、その後に行うインバート本体施工時の工種を減らすことでサイクルタイムを短縮した。

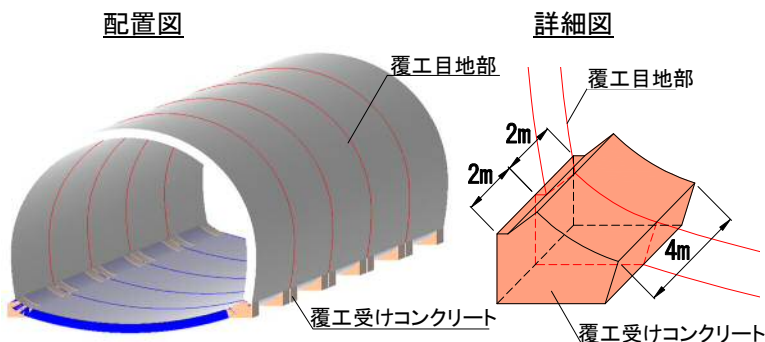


図-6 覆工受けコンクリート配置図

(2) 親杭の先行施工（土留・防護柵分離型構造の採用）

半断面施工では、トンネルセンターに親杭を打設し、親杭横矢板方式で施工を行う。この親杭には土留の他に、ガードレールの支柱としての機能を備えている。当初設計では、交通開放において、土留・防護柵一体型構造であったため、親杭打設後、インバートの閉合を行い、ガードレール支柱を切断・撤去しなければならず、連続施工期間が長く確保できない期間は施工が不可能であった。今回採用した、土留・防護柵分離型構造（ボルト固定による脱着式）では、親杭打設後、ガードレール支柱を取付けずに、仮舗装を行い一度交通開放することができる。そこで、連続施工期間が短いときには、親杭の先行施工（写真-1）を行うことでインバート本体施工のサイクルタイムを短縮した。

図-7 に土留・防護柵分離型構造詳細図を示す。土留杭とガードレール支柱の接合はボルト接合とした。衝突荷重に対する構造検討を行ったところ、HTB-M24 が必要となり、ボルト締付けの作業スペース確保のため、H200 の親杭に対し、ガードレール支柱を H250 として施工を行った。

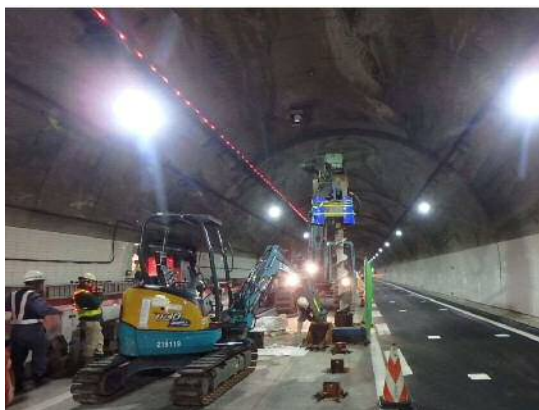


写真-1 親杭先行施工状況

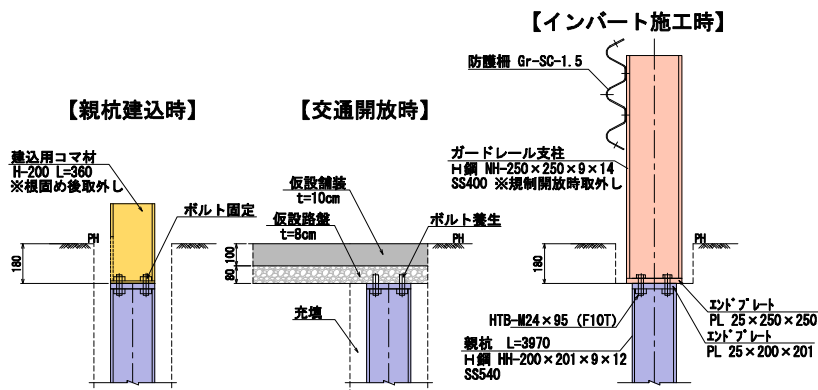


図-7 土留・防護柵分離型構造詳細図

5. 掘削機械の選定

供用中トンネル車線規制内での施工となるため、施工幅員が狭く、機械同士の離合および旋回が制限された。また、掘削する岩質は、軟岩程度であるが、対策区間の端部では中硬岩程度の強度（一軸圧縮強さは 10MPa～80MPa 程度）であり、軟岩と中硬岩が混在していた。これらの条件に対応するため、0.45m³級ショートリーチバックホウをベースマシンとした、地山状況に応じて3種類のアタッチメントを交換することが可能な、多機能型掘削機械を選定した（写真-2）。

ホイールカッターは溝掘り用のアタッチメントであり、開放面を作ることで硬質な地盤での掘削効率の向上を図った。チルト機能付き縦型ブレイカーは左右 50°に油圧で曲がるチルト機能を有しているため正面から打撃困難な狭小施工ヤードにおいても最適な打撃が可能であった。また、ローテーション機能付きドラムカッターは 360°旋回可能なため最適な切削面を確保できた。これら3種類のアタッチメントを地山状況に応じて切り替えることにより、掘削を効率化した。

また、アタッチメントの交換には3種類のアタッチメントをワンタッチで切替可能とする切替装置（オイルクイック）を採用し、機械同士の離合を行わず、短時間で安全にアタッチメントの交換を行った。

掘削時における機械編成を図-8に示す。一次掘削においては、積込機械（0.2 m³バックホウ）旋回範囲内毎に、ホイールカッターおよびチルト機能付きブレイカーを使用し、車両進行方向に掘削を行った。親杭近傍、約 50cm は最終的な床付け面まで掘削を行い、鉄矢木を一間ずつ設置しながら掘削を行った（図-9）。二次掘削においては、ドラムカッターにて掘削を行った。掘削機械は床付け面を走行した場合、床付け面が R 形状で



ホイールカッター



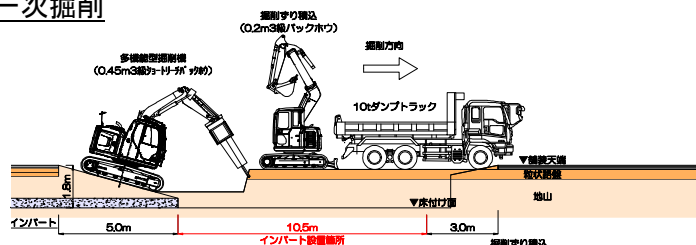
チルト機能付き縦型ブレイカー



ローテーション機能付き
ドラムカッター

写真-2 アタッチメント使用状況

一次掘削



二次掘削

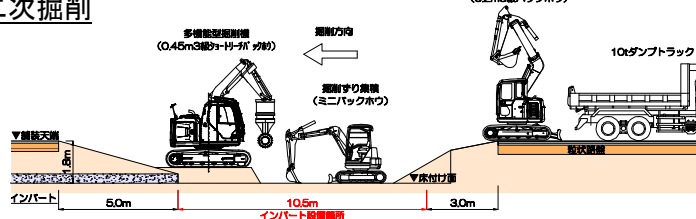


図-8 掘削機械の編成

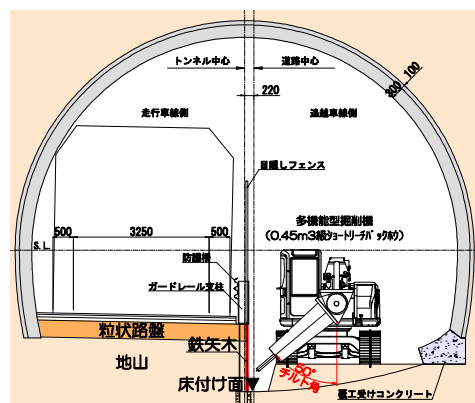


図-9 一次掘削状況断面図

あるため、掘削機械が傾き、ガードレール支柱と接触するため、車両進行方向逆向きに掘削を行った。10t ダンプトラック、および積込機械は舗装版上に配置した。また、積込機械の旋回範囲まで掘削ずりを移動するため、掘削箇所にミニバックホウを投入した。

6. 土日交通開放に向けた検討

今後工事が見込まれている、一連のサイクルを5日間で施工し、毎週末（土曜日、日曜日）に2車線とも交通開放を行うための検討を行った。土日開放条件において、図-3 で示した一連のサイクル全てを1週間で施工することは、不可能であるため、先行施工可能工種の抽出、および5日間で施工可能な施工量に分割する手順とした。「土日開放なし」・「土日開放あり」の全体施工手順を図-10、図-11 にそれぞれ示す。

図-11 のうち、インバート本体施工（施工④）について試験施工を実施し、土日開放条件での施工可能延長、サイクルタイム、施工方法の検証を行った。試験施工に先駆け、以下2項目の検討を行った。

(1) インバートコンクリート打設方法と埋戻し時期

インバートコンクリートには、早強セメントを用い、発現強度が標準養生で24時間後に24N/mm²以上となる配合とした。試験施工に際して、インバート埋戻しに必要な強度と養生時間の検討を行った結果、打設後8時間で埋戻しに必要なコンクリート強度4.6N/mm²を確保した。

また、コンクリートの打設機械は、圧送管の配管作業、打設時間の短縮、残コン処理等に要する時間を考慮し、定置式のコンクリートポンプからコンクリートポンプ車によるブーム打設（写真-3）に変更することで、サイクルタイムを短縮した。



写真-3 コンクリート打設状況

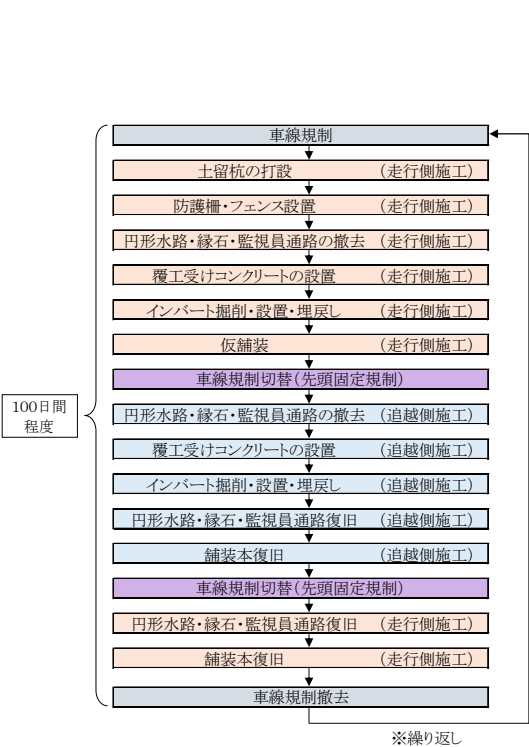


図-10 全体施工手順（土日開放なし）

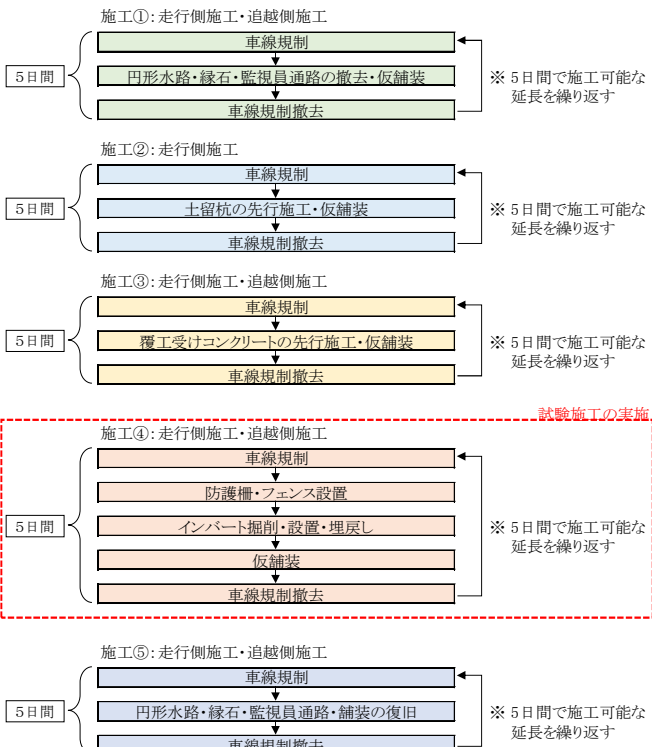


図-11 全体施工手順（土日開放あり）

(2) 覆工受けコンクリートの設置位置

前述した覆工受けコンクリートの設置位置（図-6 参照）を見直し、図-12 のとおり全覆工区間に変更し、先行設置することでインバート本体工事期間に施工する工種の省力化を図った。表-1 にこの変更による省力化可能工種を示す。

(3) 試験施工結果

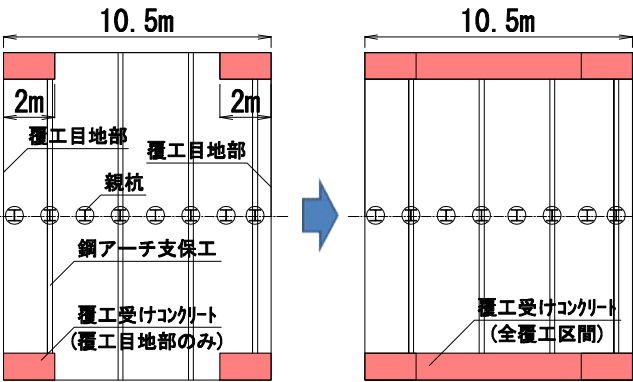
走行車線側・追越車線側、それぞれのインバート本体施工について、試験施工を実施し、土日開放条件での施工可能延長、サイクルタイム、施工方法の検証を行った。その結果、昼夜連続規制を月曜日 6:00 から金曜日 18:00 としたとき、延長 10.5m（半断面）の施工が可能であることを確認した。表-2 に試験施工の実施工程を示す。

7. まとめ

インバート設置工事では、当該施工箇所のように軟質な岩盤と硬質な岩盤が混在する場合が考えられる。また、供用中トンネル内では、一般通行車両の他に、様々な供用施設物と近接施工となる。今回採用した多機能型の掘削機械は、その特異な条件下でも施工を可能とする掘削機械として、今後行われる同種工事の選択肢の一つになると考える。

また、今回採用した覆工受けコンクリートの先行施工は、インバート本体施工時の工種を省力化できる他に、地山強度や湧水状況を事前に把握できる点や、作業員に対しては本掘削前の慣らし期間となる点から非常に有効な施工手順となると考える。土留・防護柵分離型構造の採用は、車線開放を行う上で必要不可欠なものであったが、同種工事で採用する際は、トンネル断面等の現場条件に留意する必要がある。

本報告が今後の供用中のインバート設置工事の参考になれば幸いである。



図－１２ 覆工受けコンクリート設置位置変更図

表－１ 省力化可能工種

省力化可能工種	
①	覆工脚部切欠き作業
②	覆工脚部人力掘削作業
③	コンクリート上面型枠作業
④	覆工受け部コンクリート打設作業

表－２ 試験施工実施工程

	月	火	水	木	金
昼	防護柵設置	掘削	コンクリート打設	路盤 防護柵撤去	仮舗装
夜	掘削	鋼製支保工	埋戻し	路盤	