

4

道路トンネルにおける非開削工法によるインバート増設・改築工法

中村 征史*1・清水 靖也*2・長尾 達児*3

概 要

供用中の道路トンネルにおいて、種々の要因により盤ぶくれが生じた際の対策として、インバートの増設、改築が実施されることがある。同工事を車線規制によりトンネルを供用しながら開削工法で施工する場合、トンネル断面中央部の施工は一時的に全面通行止めが必要であり、解放後も走行車両の安全性を十分に確保することが困難である。

そこで、トンネル断面中央部の施工を非開削工法にすることにより、全面通行止めを回避し、走行車両の安全性が確保できる工法を考案した。

本稿は、考案した工法の有効性を確認するために実施した施工性確認試験の概要を示すものである。

キーワード：道路トンネル，インバート，非開削，鋼管推進

EXTENSION AND REMODELING OF THE INVERT FOR CONSTRUCTION
OF A ROAD TUNNEL BY A NON-OPEN CUT METHOD

Seishi NAKAMURA *1, Seiya SHIMIZU *2, Tatsuji NAGAO *3

Abstract

In cases where earth heaving occurs in the ground of a tunnel in service due to various factors, the invert is expanded or remodeled as a preventive measure. If the invert is expanded or remodeled with an open-cut method at the central part of the tunnel section by restricting traffic lanes while the tunnel is in operation, it will be necessary temporarily to stop all traffic, and after traffic service is re-opened to the public, it will be still difficult to ensure adequate safety for operation of vehicles.

With these problems in mind, we have derived an innovative solution to ensure the safety of vehicles in operation, without resorting to total suspension of traffic, which consists in using a non-open cut method for the construction of the central part of the tunnel section.

This paper summarizes this method with a feasibility test which was conducted to confirm its validity

Keywords: road tunnel, invert, non-open cut, steel pipe propulsion

*1 Construction Technology Group, Research & Development Center, Construction Technology General Center

*2 General Manager, Civil Engineering Renewal Promotion Department, Civil Engineering Division

*3 General Manager, Engineering Planning Department, Civil Engineering Division

道路トンネルにおける非開削工法によるインバート増設・改築工法

中村 征史*1・清水 靖也*2・長尾 達児*3

1. はじめに

供用中の道路トンネルにおいて、種々の要因により盤ぶくれが生じた際の対策として、インバートの増設，改築が実施されることがある。同工事を車線規制によりトンネルを供用しながら施工する場合，トンネル断面中央部の開削工法による施工は，走行車両の安全性を十分に確保することが困難である。また，トンネル断面中央部に土留め杭を打設する際には全面通行止めを余儀なくされており，交通量が多い幹線道路においては施工そのものが難しいこともある。

そこで，トンネル断面中央部の施工を非開削工法にすることにより，全面通行止めを回避し，走行車両の安全性が確保できる工法を考案した。

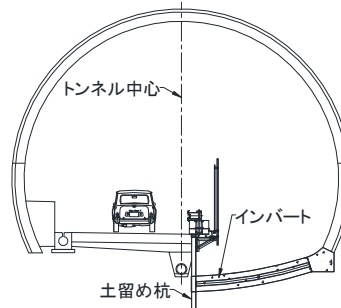
本稿はその有効性を確認するために実施した施工性確認試験について報告するものである。

2. 工法概要

2.1 全体施工概要

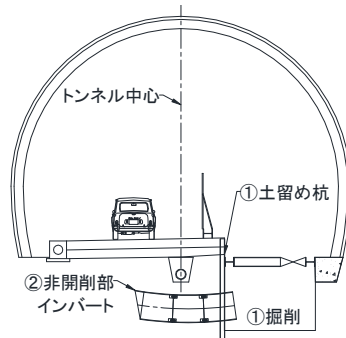
本工法は，従来では図-1に示すようにトンネル断面中央部に1列に打設していた土留め杭を，両側に各1列打設することで，片側車線規制だけの施工を可能としている。施工手順は以下の通りである（図-2参照）。

- ①片側の土留め杭打設，掘削
- ②掘削部から推進工法で非開削部インバート構築（矩形鋼管を推進後にコンクリート充てん）
- ③開削部のインバート構築，埋戻し
- ④車線切替
- ⑤反対側の土留め杭打設，掘削
- ⑥反対側のインバート構築，埋戻し

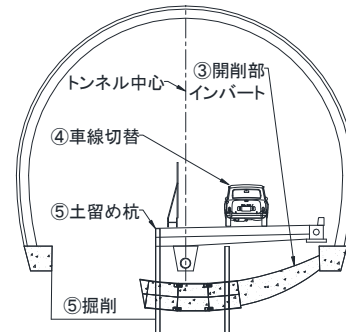


トンネル断面中央部に打設した土留め杭を境に左右半分ずつを開削工法にてインバートを構築する

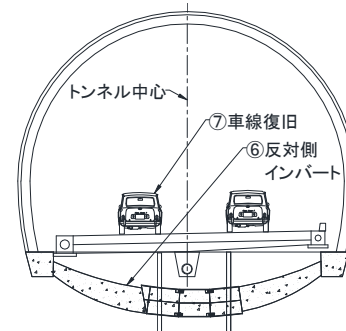
図-1 従来工法概要図



- ①片側の土留め杭打設，掘削
- ②掘削部から推進工法で非開削部インバート構築



- ③開削部のインバート構築，埋戻し
- ④車線切替
- ⑤反対側の土留め杭打設，掘削



- ⑥反対側のインバート構築
- ⑦埋戻し，車線復旧

図-2 本工法概要図

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 施工技術グループ

*2 土木本部 リニューアル推進部 部長

*3 土木本部 エンジニアリング企画部 部長

本工法は、全面通行止めが不要であることに加え、従来は施工時の安全性を確保するために車両走行車線を0.5m程度外側に移設していた作業も不要とすることができ、それに伴うライン工などの付帯工を省略する効果もある。

2.2 非開削部施工概要

非開削部は推進工法にて施工を行う。トンネル横断方向の施工手順は、以下の通りである(図-3参照)。

- ①掘削側を発進立坑として推進設備を設置
- ②鋼管を油圧ジャッキで推進
- ③ジャッキ全伸後ストラットを挿入
- ④後続管が入るまで②、③の繰り返し
- ⑤後続管を挿入し②～④の繰り返し
- ⑥推進完了後は内部にコンクリート充てん

なお、鋼管内部の掘削方法は、以下の理由により人力掘削を選定した。

- ・推進距離が短い(2~3m程度)
- ・機械掘削では装置の設置・移動に労力を要する
- ・トラブル発生時の復旧に時間を要する
- ・土質の変化に対応しづらい
- ・インバート改築の場合はコンクリートの破砕が必要になる

また、トンネル縦断方向にはインバートの連続化を想定し、先行して四面が鋼板で囲まれた矩形鋼管を一定間隔で配置した後に矩形管同士の間は側面を開放した井桁管を使用することでコストダウンを図っている(図-4参照)。

非開削部の施工性、有効性を確認するために実物大サイズの矩形管を推進する施工性確認試験を実施した。

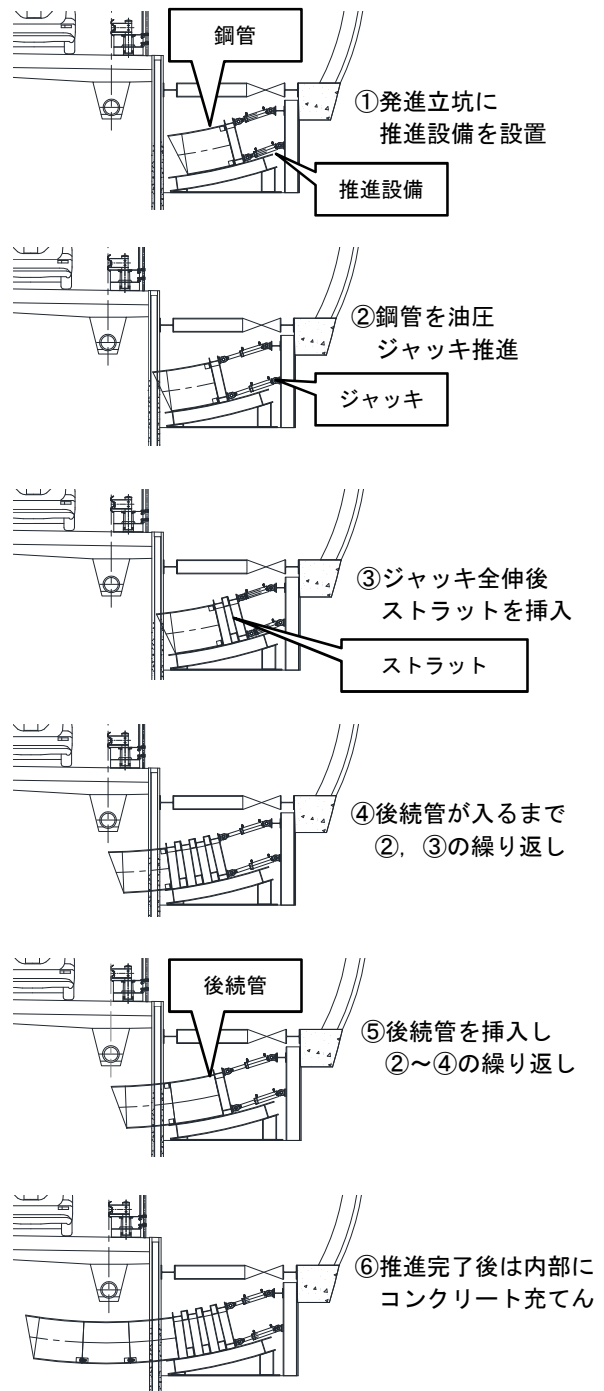


図-3 非開削部施工概要図 (トンネル横断方向)

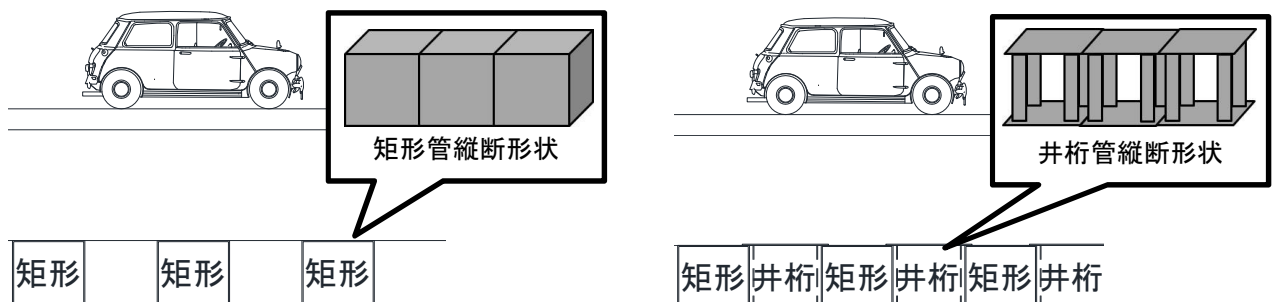


図-4 非開削部施工概要図 (トンネル縦断方向)

3. 施工性確認試験

3.1 試験条件

施工性確認試験は2車線の道路トンネルを想定し、以下の条件で実施した(図-5, 写真-1参照)。

- ・発進部の掘削幅は3.0m
- ・推進距離は2.3m
- ・矩形管は曲線管で幅1.0m, 高さ0.9m
- ・矩形管の曲率はR11.1m
- ・矩形管は長さ1.0mで3本つなぎ
- ・推進は油圧ジャッキ4台による元押し方式
- ・ジャッキは500kN/台で矩形管四隅に配置
- ・掘削方法は人力掘削
- ・土被りは1.0m

3.2 確認項目

試験時の確認項目は以下の通りである。

(1) 発進部の幅3.0mでの施工性

トンネル横断方向の幅が非常に狭隘であり、想定される最大幅が3.0mであることから、その中で推進をはじめとする各種作業が施工できるかを確認した。

(2) 推進設備の能力と動作

4台の推進ジャッキを使用していることから、これらの連動性や操作性、配置等に不具合が生じないかを確認した。

(3) 推進精度

推進精度は、鋼管が曲線であることから、電子整準レーザーを用いて基準線を照射し、掘進距離に応じて基準線からの離隔を管理して掘削作業者に指示を出すことで管理し、その施工精度を確認した(図-6参照)。

(4) サイクルタイム

掘削、推進、鋼管連結等の各種作業時間を計測し、施工サイクルを確認した。

(5) 地表面への影響の有無

写真-2に示すように推進中間点である発進から1.15mの位置に推進軸直上とそこから左右に1.5m, 3.0m離れた位置の計5点に電子レベルを設置して地表面変位をリアルタイムで監視し、有害な変位が生じないか確認した。

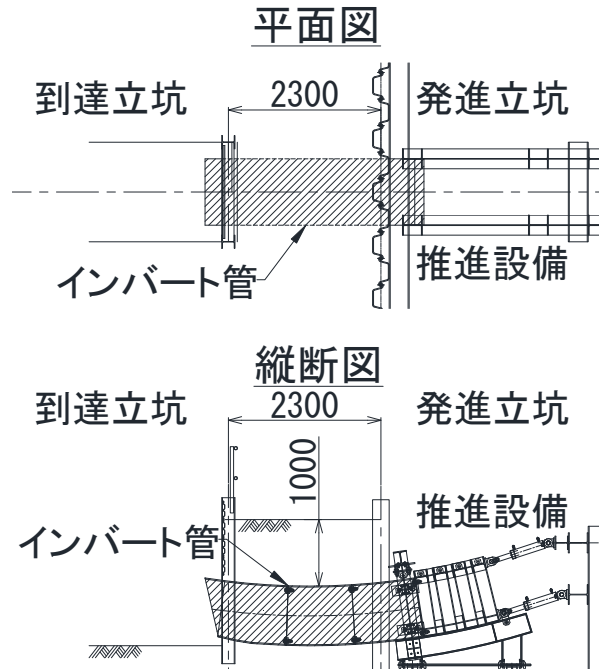


図-5 施工性確認試験概要図

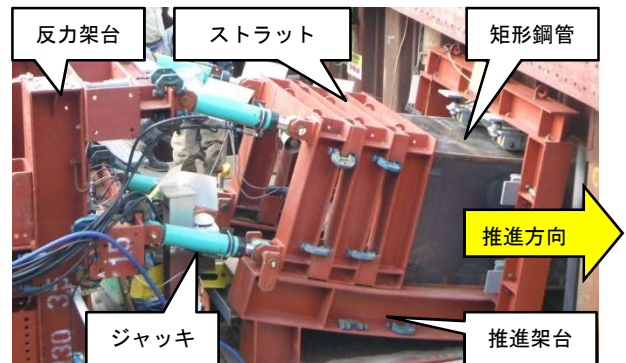


写真-1 発進部全景

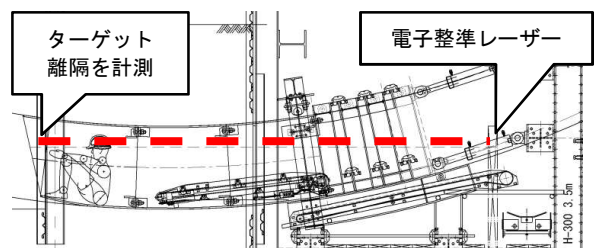


図-6 電子整準レーザーによる精度管理

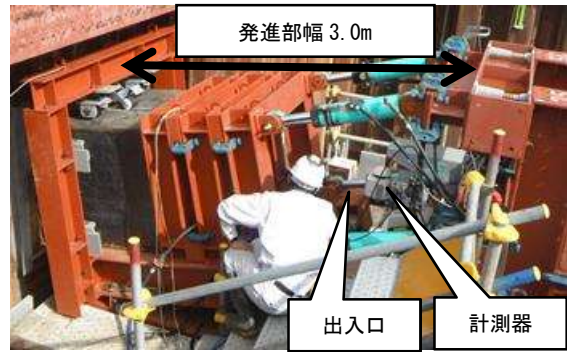


写真-2 地表面計測状況

4. 試験結果と考察

4.1 発進部広さ

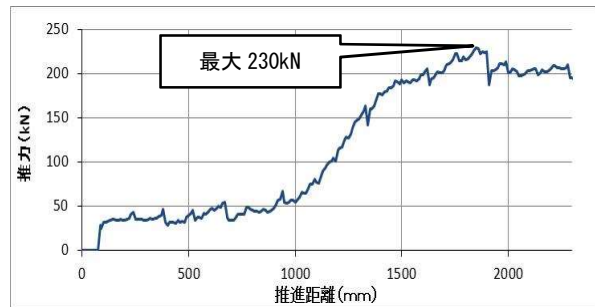
幅 3.0m の狭隘な作業エリアでも矩形管の推進を実施することができた。ただし、鋼管内への出入りが推進ジャッキの間で狭く計測器もあるため、計測器を接触しにくい後方に配置する等工夫が必要である（写真－3参照）。



写真－3 鋼管内に出入する作業者

4.2 推進設備の能力と動作

先端部抵抗と地山との摩擦による周面抵抗を合わせて最大 600kN の推力を想定していたが、実際の推力は図－7 に示すように、最大で 230kN と半分程度であった。実施工においても同等の推進長であれば、600kN 程度の推進設備で十分と考えられる。

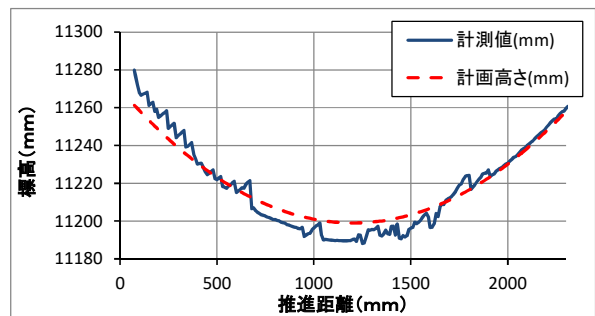


図－7 推力変化図

推進設備は問題なく稼動し、4 台のジャッキを調整しながらバランスよく使用することで高精度に推進することができた。

4.3 推進精度

本試験での推進は、初めは下向きで発進し、曲率をもって徐々に上向きになる線形で実施した。推進作業時の切羽は下方へ向かう傾向があるため、発進時に上げ越しで行うことが一般的である。今回は施工精度の目標を 50mm 以内と設定し、20mm の上げ越しで推進を開始した。推進の計画線と切羽の軌跡を図化したものを図－8 に示す。上下方向での誤差は上げ越し量である 20mm が最大であった。左右方向でも誤差は 3mm 程度と非常に精度良く推進することができた。



図－8 推進計画線（破線）と軌跡（実線）

4.4 サイクルタイム

各種作業の実績をまとめたものを表－1 に示す。各種作業時間を合計すると、12 時間 45 分となり、1 日の作業時間を 8 時間とすれば 1.5 日程度を要する結果となった。

表－1 サイクルタイム

作業内容	鋼管設置	掘削排土	推進	ストラット設置
単位時間	90 分	10 分	5 分	30 分
作業回数	3 回	16 回	19 回	8 回
作業時間	270 分	160 分	95 分	240 分
合計	765 分 = 12 時間 45 分			
備考	<ul style="list-style-type: none"> 鋼管は 1m×3 本のため設置は 3 回 掘削排土は 1 回あたり 15cm 施工 掘削延長 2.3m/0.15m ≒ 16 回 推進も 1 回あたり 15cm 施工 推進延長 2.8m/0.15m ≒ 19 回 掘削排土より長いのは空押しがあるため ストラットは鋼管 1, 2 本目は 3 回設置、3 本目は 2 回設置で合計 8 回 			

実施工に当たっては、全体工程から勘案すると本作業は 1 日で施工することが求められており、今後は鋼管の構成（連結を減らす等）や線形の見直し（直線化）、インバートの非連続化等で時間短縮を図ることが課題である。

4. 5 地表面への影響

地表面計測位置詳細図を図-9に、計測結果を表-2に示す。計測位置は発進から1.15mの地点で行い、切羽が直下を通過するまでは1mm未満の微小な変位であった。切羽が通過した後は推進軸の直上である測点Cと1.5m左側の測点L1で1mmを超える隆起が観測された。切羽通過後の地表面変位は沈下を生じることが多いが、今回は隆起が観測された。これは鋼管に曲率があり、計測断面部を境に切羽が上向きに推進されたために生じたものと考えられる。一方、測点L1と同じ離隔で右側の測点R1では0.7mmの沈下が観測された。測点L1との挙動の違いは不明であるが、沈下量が1mm未満と微小なことから推進による影響は少なかったものと想定される。推進軸から左右に3.0mずつ離れた測点L2とR2は最大で0.3mmの隆起と推進による大きな影響はなかった。これは鋼管の底面より45度のラインで設定する影響範囲よりも外側にあるため、影響範囲外には推進による影響は及んでいないことを確認することができた。全体の変位量を見ても最大で5mm程度と有害な変位は生じなかった。

5. まとめ

本試験を通して、本工法が実施工に適用できることを確認した。ただし、工程の短縮やコストダウンに課題があることも判明したことから、現場導入に向けては、以下の事項について深度化を図る必要がある。

- ・土留杭の簡略化
- ・開削部での支保工の簡略化
- ・非開削部と開削部のインバート接合方法
- ・トンネル縦断方向の連続化の要否
- ・鋼管の接続回数の削減
- ・鋼管構造の見直し（曲線⇒直線）
- ・推進距離の見直し（短縮）

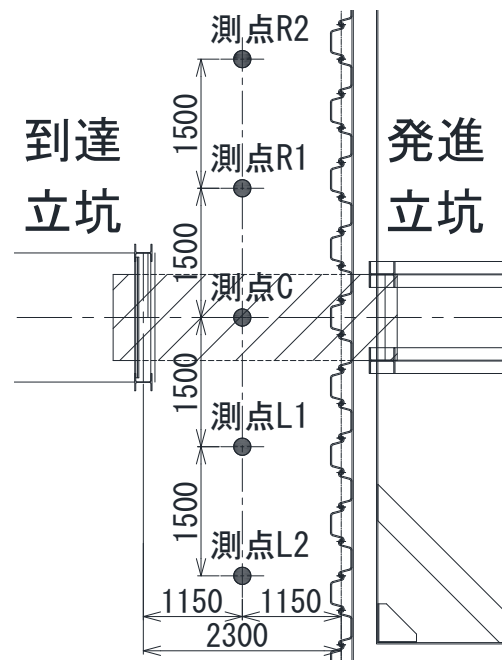


図-9 計測位置詳細平面図

表-2 地表面計測結果

推進距離	R 2	R 1	C	L 1	L 2
100	-0.1	0.0	-0.2	0.0	+0.1
200	+0.1	+0.1	0.0	0.0	+0.1
300	+0.4	+0.4	+0.3	+0.4	+0.5
400	-0.6	-0.3	-0.5	-0.3	-0.4
500	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.7
600	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.5
700	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.5
800	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2
900	-0.2	0.0	+0.1	0.0	-0.1
1000	0.0	+0.1	-0.1	+0.2	+0.2
1100	-0.3	-0.1	-0.2	+0.1	0.0
1150	-0.1	0.0	-0.1	+0.1	+0.2
1200	-0.3	-0.1	-0.3	0.0	-0.1
1300	-0.4	-0.1	0.0	+0.1	0.0
1400	-0.1	0.0	+0.8	+0.2	+0.1
1500	+0.1	+0.3	+1.7	+0.4	-0.1
1600	-0.1	+0.1	+2.6	+0.7	-0.3
1700	0.0	+0.1	+4.1	+1.3	+0.3
1800	+0.2	+0.1	+4.8	+1.4	+0.3
1900	+0.2	+0.1	+5.5	+1.8	+0.3
2000	0.0	-0.8	+4.6	+1.3	0.0
2100	0.0	-0.7	+5.1	+1.4	+0.2
2200	+0.1	-0.6	+5.5	+1.8	+0.5
2300	0.0	-0.7	+4.9	+1.8	+0.3
備考	単位はmm + : 隆起 - : 沈下				