

急速施工用インバート栈橋の開発

植村 義幸*1・宇田 誠*2

概 要

近年、インバートコンクリートは、新幹線トンネルでは全線に、道路トンネルでは地山の硬軟に係わらず、将来的に変状が発生する恐れのある地質の場合に施工する例が増加している。インバートコンクリートは、通常 1 日置きにコンクリートを打設し、月進 126m 程度の施工速度であることから、先行するトンネル掘削自体の施工速度が伸びるにしたがって、後追い工程のインバートコンクリート施工の急速化が求められていた。

そこで、インバートコンクリートを毎日打設することが可能で、切羽作業の施工速度に影響を与えない急速施工用インバート栈橋を開発した。

キーワード：山岳トンネル、鉄道トンネル、インバート、急速施工

DEVELOPMENT OF A JETTY-SHAPED,
HIGH-SPEED INVERT CONSTRUCTION MACHINE

Yoshiyuki UEMURA *1, Makoto UDA *2

Abstract

In recent years, placement of invert concrete has increased in construction of Shinkansen tunnels on all routes, and is predominantly used for road tunnels when excavating a tunnel, in either hard or soft ground, which is susceptible to alteration of geology in the future. Normally invert concrete is placed every two days at a monthly speed of 126 meters, but tunnel excavation tends to be faster, and placement of invert concrete must also be faster to keep up with excavation.

To meet this requirement, we have developed a “jetty-shaped,” high-speed invert construction machine which is able to place invert concrete every day, with no adverse effect on the speed of face cutting.

Keywords: mountain tunnel, railway tunnel, invert, high speed construction

*1 Manager, Tunnel Group, Tunnel Technology Department, Civil Engineering Division

*2 Executive Officer, Deputy Executive General Manager, Civil Engineering Division

急速施工用インバート栈橋の開発

植村 義幸*1・宇田 誠*2

1. はじめに

従来、インバートコンクリートは、軟弱地盤や膨張性地山等の不安定な地山にトンネルを構築する際、トンネルを閉合断面として全体の耐力を増加させ、沈下・変状を防止するために設計・施工されていた。しかし、インバート部は共用後に変状が発生した場合に補修・補強等の対策工が施工し難いことが考慮され、新幹線では全線に、道路トンネルでは地山の硬軟に係わらず、将来的に変状が発生する恐れのある地質の場合に、インバートコンクリートを施工する例が増加している。

インバートコンクリートは、通常は1日置きにコンクリートを打設し、月進126m程度の施工速度である。しかし、先行するトンネル掘削自体の施工速度が伸び、後続の防水工（FILM工法）や覆工コンクリートについてもトンネル掘削に追従できる新技術が開発されている。このため、インバートコンクリートの施工速度がトンネル全体の施工速度向上のボトルネックとなっており、インバートコンクリート施工の急速化が求められていた。

そこで、インバートコンクリートを毎日打設することが可能で、切羽作業の施工速度に影響を与えない急速施工用インバート栈橋を考案した。

本稿では、その特徴と有効性について報告する。

なお、今回開発した急速施工用インバート栈橋は、トンネルの幅員が狭いために、道路トンネルのようにインバートコンクリートの半断面施工ができない鉄道（新幹線）トンネルを主な適用対象としている。

2. 従来のインバート栈橋

2.1 課題

(1) 横移動式インバート栈橋

現状、最も標準的なインバート栈橋は、横移動式インバート栈橋（図-1）であり、多くの現場で採用されている。通常この栈橋は、ステージ部分がインバートコンクリート1スパン分（ $L=10.5\text{m}$ ）をカバーできる程度の長さであり、次スパンの掘削を行うためには打設したインバートコンクリート上を移動する必要がある。このため、栈橋が載っても大丈夫なコンクリート強度（ 1N/mm^2 程度）が必要となり、打設直後に次スパンの掘削を行うことは不可能である。

インバートコンクリートは、インバート栈橋のステージ上からシュートで打設するが、打設中は生コン車を移動しなければ他の工事車両が通行できないため、トンネル掘削サイクルに影響する。また、連続ベルトコンベアを使用しな

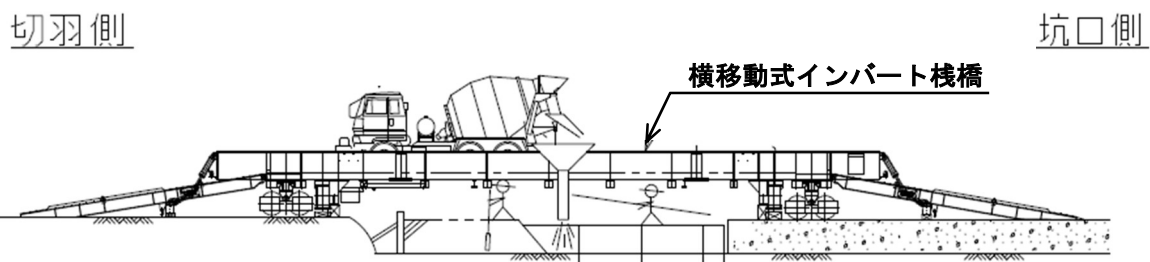


図-1 横移動式インバート栈橋

*1 土木本部 トンネル技術部 グループリーダー

*2 執行役員 土木本部 副本部長

い場合は、切羽のずりをダンプトラックで運搬するため、栈橋上を頻繁にダンプトラックが通過することになり、トンネル掘削サイクルへの影響が更に大きくなる。これに対処するためにポンプ車でコンクリート打設を行う場合は、追加の工事費が発生する。

インバート中央部のインバートコンクリートの下には中央排水工を設ける必要がある。このための掘削作業は、インバート栈橋を片側に寄せても、大型ブレイカーや油圧ショベルのブームが垂直に立たてることができず、斜め方向に掘削することになるため作業効率が悪い。

切羽の大型重機（ドリルジャンボ、掘削機、吹付け機等）を修理・交換等のために坑外に出す場合は、インバート栈橋上（幅員3m）を通行することができないため、インバート栈橋を片側に寄せ、その反対側を埋め戻して大型重機を通過させる必要があるため非常に手間が掛かる。

(2) 跳上げ式インバート栈橋

跳上げ方式のインバート栈橋は、インバート栈橋を切羽方向に移動することなく、切羽側の斜路を跳ね上げることで、次スパンのインバート掘削を行うことが可能なインバート栈橋である。ただし、斜路を跳ね上げている間は切羽への通路が無くなり、切羽の掘削に影響が出る。また、インバートの掘削ずりも跳ね上げている間は搬出ができないので、斜路の上げ下げが頻繁になり、掘削に時間がかかる。

斜路の跳ね上げが 90° では無く、 45° 程度までしか上がらないため（写真-1）、掘削時に大型ブレイカーや油圧ショベルを使う際は、重機が斜路に接触しないように、予めある程度先行掘削を行っておく必要がある。

上述のようにインバート掘削に時間がかかり、切羽作業に与える影響も大きいため、夜間のインバート掘削は行っていないのが実状である。

2.2 施工サイクル

前述の課題により、横移動式インバート栈橋の施工サイクルは以下ようになる。



写真-1 跳上げ式インバート栈橋
(掘削状況)

- ①インバートコンクリート打設（1日目午前～午後）
- ②インバートコンクリート養生（1日目夜間）
- ③次スパンへ栈橋移動（2日目午前）
- ④次スパンのインバート掘削、型枠組立て（2日目午前～午後）
- ⑤（2日目夜間休止）
- ⑥インバートコンクリート打設（3日目午前～午後）

また、跳ね上げ式インバート栈橋の施工サイクルは以下ようになる。

- ①インバートコンクリート打設（1日目午前～午後）
- ②インバートコンクリート養生（1日目夜間）
- ③次スパンのインバート掘削、次スパンへ栈橋移動、型枠組立て（2日目午前～午後）
- ④（2日目夜間休止）
- ⑤インバートコンクリート打設（3日目午前～午後）

これらの施工サイクルの場合、最大3回/週のインバートコンクリート打設となるため、最大月進は3回/週×10.5m(1スパン)×4週=126mとなる。切羽が硬質地山で月進が150mを超える場合には、切羽とインバートとの離隔距離が離れ、インバートと防水工（FILM工法）及び覆工コンクリートとの離隔距離が縮まることになり、場合によっては、防水工（FILM工法）及び覆工コンクリートの施工速度を調整しなければならなくなる。

3. 開発したインバート栈橋

3.1 概要・特徴

前述の課題を解決するために開発した急速施工用インバート栈橋の平面図と縦断図を図-2に、断面図を図-3に示す。全長が約44mで、標準的なインバートコンクリートの2スパン(10.5m×2=21.0m)をカバーする長さとなって

いる。作業ステージ、坑口側斜路(写真-2)は幅6mで、生コン車が作業ステージ上で打設を行っていても、大型車両がその横を通行することができる。搭載能力は、トンネル掘削ずりの搬出に使用する重ダンプトラック(25t積級)と大型生コン車(11t積級)が同時に載ることを想定し、約70tとした。また、切羽側斜路(写

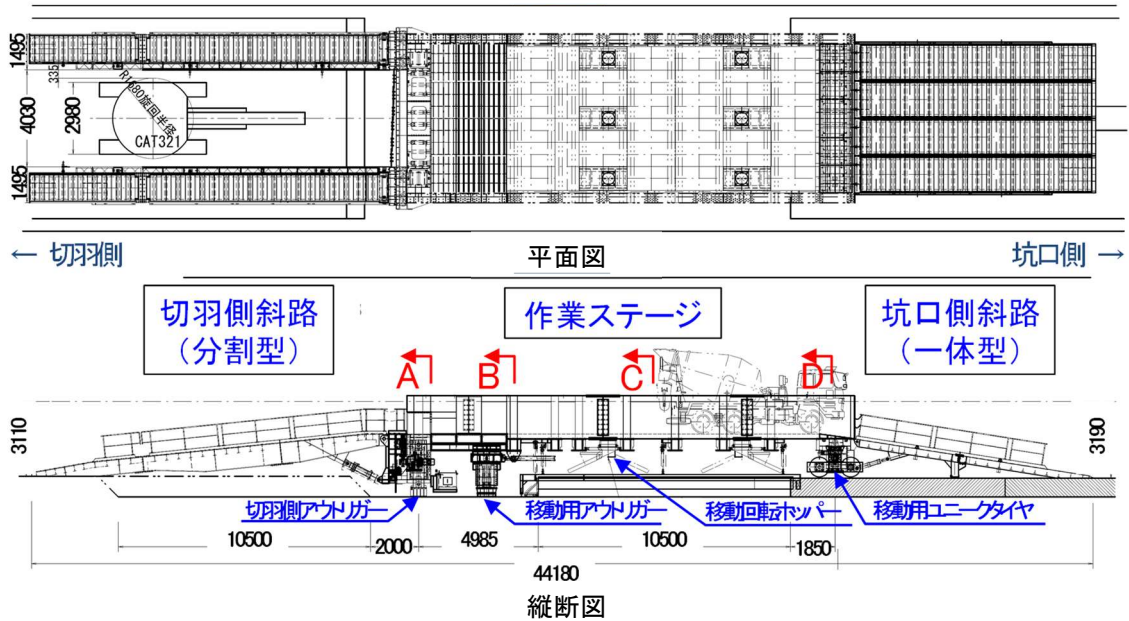


図-2 急速施工用インバート栈橋平面図, 縦断図

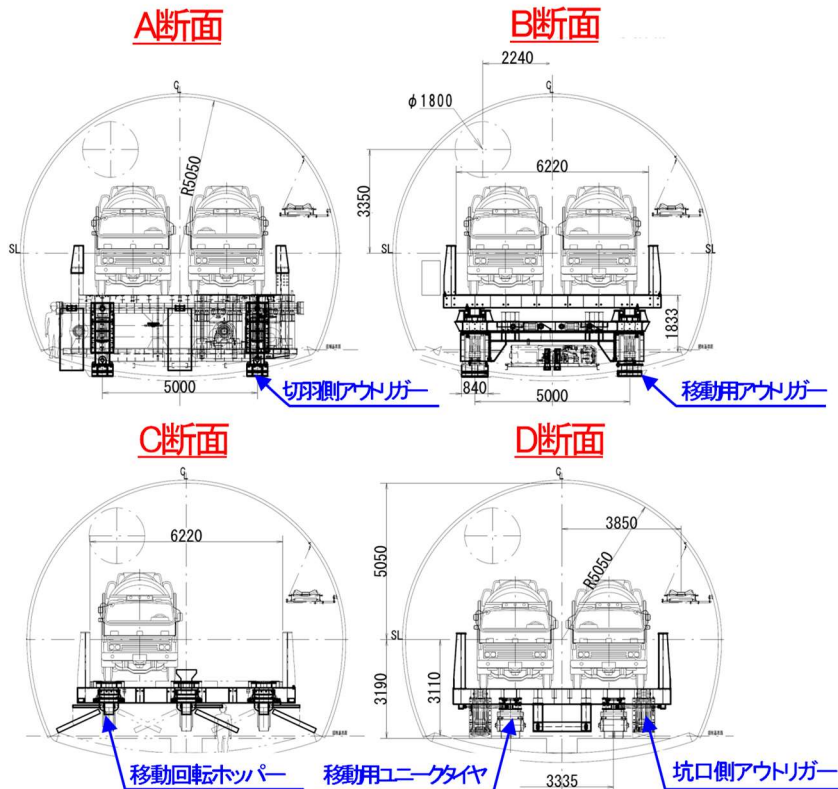


図-3 急速施工用インバート栈橋断面図

真-3), 坑口側斜路の跳上げ, 栈橋本体の移動は移動用油圧ジャッキで行い, 切羽側斜路の左右移動, 分割は電動モーターで行う。

栈橋本体の移動用ジャッキは, 1 ストローク長が 1,500mm であるため, 1 スパン (10.5m) の移動では 7 ストロークが必要になるが, 移動時間は 30 分程度である。また, 作業ステージの切羽側にインバート栈橋本体を左右に 100mm 移動させる油圧ジャッキを装備しており, 平面線形が曲線のトンネルでも栈橋本体移動時に横断方向の位置を調整することで対応が可能である。インバートコンクリート妻型枠及び中央通路型枠は, 移動時には作業ステージ下部に吊り下げて栈橋本体とともに移動し, 型枠を設置する際には, 作業ステージから切り離して設置する (写真-4)。インバートコンクリートの打設は, 作業ステージ上にミキサー車を駐車し, 備え付けの回転式シュート (写真-5) で打設できるようにした。

また, 切羽側斜路は, 縦断方向に 2 分割されており, 切羽側斜路の位置をトンネル横断方向に移動させることで, 栈橋全体を動かすことなく, インバートコンクリートを養生させながら, 次スパンのインバート掘削ができるようにした。この切羽側斜路の 2 分割機能により, 次スパンのインバート中央部及び中央排水部分の掘削を, 大型ブレイカーを用いて行うことを可能とした点が特に大きな特徴と言える。

自重は約 160t で, 本体移動時に打設したインバートコンクリート上を走向するためのユニックタイヤに掛かる荷重は, 自重の 1/3 程度しか作用しないように設計している。この荷重に対するインバートコンクリートの必要圧縮強度は 1.2N/mm^2 であり, これは, 横移動式インバート栈橋で施工する場合に必要なコンクリート強度と同等である。

3.2 施工サイクル

前述の特徴を有することで以下の施工サイクルが確保可能となった (図-4)。



写真-2 作業ステージ, 坑口側斜路



写真-3 切羽側斜路 (分割時)



写真-4 妻枠, 中央通路型枠



写真-5 回転式シュート

- ①インバートコンクリート打設（1 日目午前～午後）
- ②次スパンのインバート掘削（1 日目夜間）
- ③次スパンへ栈橋移動，型枠組立て（2 日目午前）
- ④インバートコンクリート打設（2 日目午前～午後）

これにより，毎日インバートコンクリートを打設することができ，トンネル掘削や他の作業に影響を与えることなく，急速施工が可能となる。この場合の最大月進は，6 回/週×10.5m（1 スパン）×4 週=252m となり，切羽及び防水工（FILM 工法）と覆工コンクリートの施工速度に追従することが可能となる。

4. まとめ

開発した急速施工用インバート栈橋の第 1 号機は，北海道新幹線，渡島トンネル（天狗）他に平成 30 年 10 月から導入され，平成 31 年度以降に本格的な稼働が予定されている。

今後，社内外で広く使われるインバート栈橋としてブラッシュアップしていくためには，以下に示す事項について，現場検証を実施する必要がある。

- ・インバートコンクリートを毎日打設する際のサイクルタイム
- ・各アウトリガーに掛かる実際の荷重
- ・各施工段階における問題点，改良点
- ・インバート栈橋本体及び各可動部を動かす際の安全性
- ・各可動部の耐久性

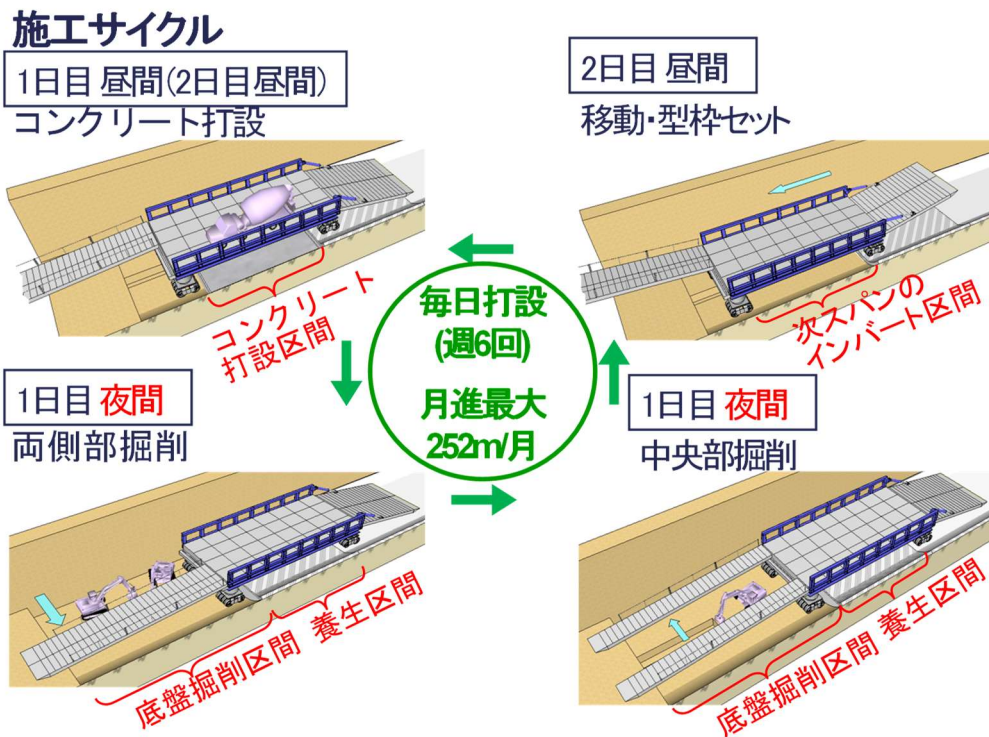


図-4 急速施工用インバート栈橋を用いたインバートの施工サイクル