

急速施工用インバート栈橋の開発

宇田 誠¹・杉田 崇²・植村 義幸³・舟橋 孝仁⁴・
小林 雅彦⁵・佐藤 猛彦⁶

¹正会員 鉄建建設株式会社 トンネル技術部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目 5-3)
E-mail: makoto-uda@tekken.co.jp

²正会員 鉄建建設株式会社 トンネル技術部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目 5-3)
E-mail: takashi-sugita@tekken.co.jp

³正会員 鉄建建設株式会社 トンネル技術部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目 5-3)
E-mail: yoshiyuki-uemura@tekken.co.jp

⁴正会員 鉄建建設株式会社 トンネル技術部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町二丁目 5-3)
E-mail: takahiro-funahashi @tekken.co.jp

⁵正会員 株式会社東宏 (〒007-0829 北海道札幌市東雁来9条三丁目 2-3)
E-mail: kobayasi @k-toukou.co.jp

⁶ 株式会社東宏 (〒007-0829 北海道札幌市東雁来9条三丁目 2-3)
E-mail: satou@k-toukou.co.jp

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の補修・補強等が難しいことを考慮し、新幹線では全線において設置され、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は、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、これまで通常は1日置きにコンクリートを打設し、126m/月程度の施工速度であったが、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きている。本報告では、急速施工用インバート栈橋の開発について報告する。

Key Words: mountain tunnel, invert concrete, rapid excavation, mobile bridge for rapid excavation

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の補修・補強等が難しいことを考慮し、新幹線では全線において設置され、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は、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の施工は、トンネル幅員が狭い場合(新幹線トンネル断面程度)には、横移動式インバート栈橋や跳ね上げ式インバート栈橋を用いて施工さ

れるのが一般的である。これらの従来のインバート栈橋では、2日に1回のコンクリート打設が標準であり、126m/月の進捗(10.5m×3回/週×4週)となるが、不安定な地山にトンネルを構築する場合のトンネル掘削速度は100m/月程度であるため、特に問題は無かった。

しかし、良好な地山にインバートコンクリートを設ける場合、トンネル掘削は全断面掘削工法等により150m/月を越える場合も出て来ており¹⁾、従来のインバート栈橋等を用いた施工方法では、先行するトンネル掘削の施工速度に、後追い工程のインバートコンクリート施工が追いつかない状況が出てきた。

そこで、先行するトンネル掘削の施工速度に追従できる施工方法として、急速施工用インバート栈橋を開発^{2,3)}したので、ここに報告する。

2. 従来のインバート施工方法

従来のインバート工の施工方法は、以下の5つに分けられる。各施工方法の課題として、幅員の狭いトンネルにおいて、切羽作業への影響を最小限にして、インバートコンクリートの急速施工（150m/月のトンネル掘削速度に追従できる施工）を実施することに対する問題点を明示する。なお、幅員の広いトンネルにおいては、『(2) インバートを縦断方向に分割して施工する方法』にて急速施工が可能である。

(1) 切羽作業を中断して全断面で施工する方法

この工法は、トンネル掘削工事が中断するので、特殊な場合に用いる。

事例1. 休暇前に切羽側から打設し、休暇中に養生する
事例2. トンネル貫通後、貫通した坑口側から施工する

課題は、事例1では切羽作業を中断する必要があることであり、トンネル全体の急速施工といった観点では、問題のある施工方法である。

(2) インバートを縦断方向に分割して施工する方法

この施工方法は、道路トンネルのような幅員の広いトンネルで標準的に採用されており、費用も安く、効率も良いが、幅員の狭いトンネルでは、工事車両や重機を通行させる幅員が狭くなり、危険である。

課題は、幅員の狭いトンネルでは、安全性の観点から採用できないことであり、急速施工とはならない。

(3) 横移動式インバート栈橋で施工する方法

新幹線トンネル程度の幅員の狭いトンネルで標準的に用いられている工法である（図-1参照）。

課題は、横移動式インバート栈橋は、打設したインバートコンクリートの上を通過して前方に移動しなければ、次スパンの施工に入れないため、所定のコンクリート強度の発現を待つ必要があることである。この場合、2日で1回のコンクリート打設であり、最大126m/月の月進となるため、150m/月を越えるトンネル掘削の速度に追従できない。

(4) 跳ね上げ式インバート栈橋で施工する方法

跳ね上げ式インバート栈橋は、横移動式インバート栈橋と同様に、幅員の狭いトンネルで採用されている。施工したインバート上を移動しなくとも、切羽側の斜路部を跳ね上げる事により、次スパンの施工が可能であることが特徴である。

課題は、車両が通行するには、跳ね上げた切羽側の斜路部を降ろし、整地する必要があるため、切羽の作業に影響を与えることである。毎日打設するためには、イン



図-1 横移動式インバート栈橋の施工サイクル

バート部の先行掘削が必要であり、トンネルの安定性の観点から問題である。この施工方法は、150m/月を越えるトンネル掘削の速度に追従できたとしても、切羽作業やトンネルの安定性への影響が発生する。

(5) 2スパン以上の長さの横移動式インバート栈橋で施工する方法

この施工方法では、インバート栈橋がロングスパンとなり、移動後に中間支柱が必要となるため、通過車両の重量制限が厳しくなる。また、横移動時にねじれが発生する等、栈橋強度の面で課題が多い。150m/月を越えるトンネル掘削の速度に追従できても、長期に渡って施工をするには問題があると考えられる。

3. 急速施工用インバート栈橋のコンセプト

トンネル掘削150m/月の速度に追従するためには、毎日インバートを打設する施工方法が出来れば良い。毎日打設出来れば、10.5m/スパン×6回/週×4週=252m/月となるため、問題が解決する。

そこで、毎日インバートコンクリートが打設出来る構造である新たなインバート栈橋（以後、急速施工用インバート栈橋と言う）を開発することにした。

そのためには、インバート栈橋が、打設したインバートコンクリートの上を移動しなくとも、次工程に入れることが必要と考え、図-2のようなサイクルで施工することを考えた。

施工サイクルは、言葉にすると以下のようになる。

- (i) : インバートコンクリート打設(1日目午前～午後)
 - (ii) : ⇒次スパンのインバート掘削(1日目夜)
 - (iii) : ⇒次スパンへ栈橋移動(2日目午前)
 - (iv) : ⇒インバートコンクリート打設(2日目午前～午後)
- このサイクルで施工できれば、毎日インバートコンク

(2) インバート掘削への対応

切羽側斜路は、横断方向に2分割させることにより、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、インバートの両端及び中央部（中央排水工）が掘削出来るようにした。また、この2分割機能により、中央部の掘削時以外は、車両の通行が確保できるようになった。

(3) 栈橋重量が重くなることへの対応（図-3参照）

上記(1)、(2)を行うことにより栈橋の重量が従来の栈橋の2倍程度となるため、以下の対策を実施した。

地山の上に載る切羽側アウトリガーに全荷重の2/3、前日打設したコンクリートに載る坑口側の車輪またはアウトリガーに全荷重の1/3が作用するように設計した。

これにより、前日打設したコンクリートの若材齢時の圧縮強度（ 2N/mm^2 ）よりインバートに作用する面圧を

小さく（ 1.44N/mm^2 ）することができた。

(4) 重量物栈橋の移動方法の対応

従来の栈橋は、重機等での牽引で行っていたが、従来型の2倍程度の重量のため、移動方法を変更した。

栈橋のトンネル縦断方向への移動は、電動モーターによる油圧シリンダーの伸縮により移動する方式を採用した。尺取虫のような移動方法であり、若干遅いが、従来のような重機等での牽引を必要としないので、確実に安全な移動方法である。

5. 急速施工用インバート栈橋の主要部材説明

急速施工用インバート栈橋の主要部材は、図-4に示す通りである。図-4に示す矢印が写真の撮影方向である。



写真-1 切羽側斜路（分割型）



写真-2 栈橋移動用油圧シリンダー

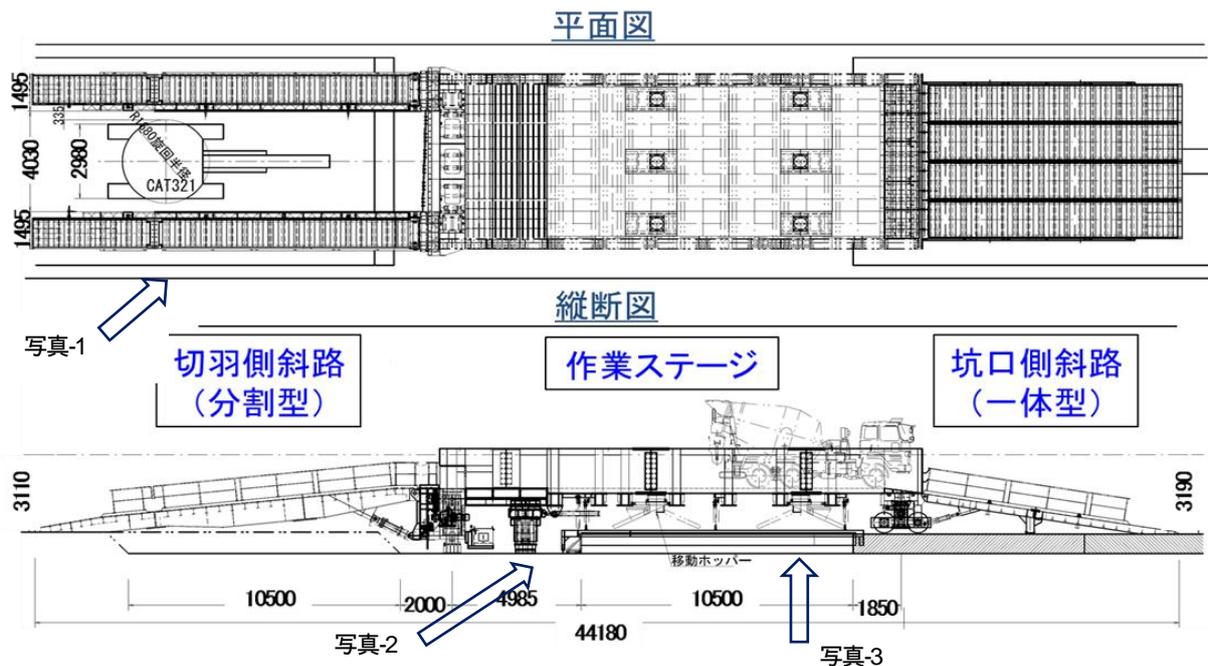


図-4 急速施工用インバート栈橋寸法図



写真-3 コンクリート打設口

6. 最後に

急速施工用インバート栈橋を用いれば、切羽作業に極力影響を与えず、インバートコンクリートの毎日打設が可能となる。

毎日打設可能であるならば、252m/月の進捗を得ることが出来、150m/月を越えるトンネル掘削の急速施工に対応できる。

以上のような状況であるが、良質な地山でトンネル月進を150m以上目指すのであれば、今回開発したインバート栈橋は、切羽進行に見合った後続設備として、必要

不可欠なものであり、生産性の向上の面からも有益な設備であると考えられる。

また、視点を変えて、この十分な施工能力を働き方改革に採用すれば、週休2日を確保したとしても、210m/月の進捗になり、余裕がある。更に、祝祭日等を考慮して、4回/週と仮定しても、168m/月となり、まだトンネル掘削の速度に追従できる。このような施工余裕のある設備は現場にゆとりを与え、良きルーティーンが確保できると思う。

・週休2日の月進=10.5m/月×5回/週×4週=210m/月

・週4日打設の月進=10.5m/月×4回/週×4週=168m/月

今後は、既に納入している現場での急速施工のデータを積み重ねることで改良を続けて行きたい。

参考文献

- 1) 橋本基, 新岡尚幸, 竹市篤史, 佐藤崇洋, 中嶋翔平, 月崎良一: NATMの大断面トンネル掘削で月進270m達成, 土木学会第72回年次学術講演会, 2017.
- 2) 宇田誠: 急速施工用インバート栈橋の開発と実用化, 日本建設連合会 新技術・新工法に関する講習会論文集, pp.59-64, 2018.
- 3) 植村義幸, 宇田誠: 鉄建技術報告, No.32, pp.23-28, 2018.

(2019. 8. 9 受付)

DEVELOPMENT OF A MOBILE BRIDGE FOR RAPID EXCAVATION

Makoto UDA, Takashi SUGITA, Yoshiyuki UEMURA, Takahito FUNAHASHI,
Masahiko KOBAYASHI and Takehiko SATO

Conventionally, when tunneling in unstable ground—soft ground and squeezing ground, invert concrete has been considered in design to be placed at the bottom of the tunnel as a measure of closing the tunnel cross-section to boost the total resistance of the tunnel and of preventing subsidence and deformation. Considering that the invert section of a tunnel is difficult to be repaired and reinforced, Shinkansen tunnel use invert concrete along every tunnel, and in the road tunnel, there have been increasing cases of using invert concrete in the geology which is prone to deform in future, regardless of ground hardness, soft or solid. Usually, invert concrete has been placed every other day at the speed of about 126 meters per month. As tunnel excavation progresses faster, the invert-concreting which comes after needs to be sped up accordingly. This paper reports development of a mobile bridge for rapid excavation which is designed for rapid construction of inverts.