

# スリップフォーム工法によるトンネルインバートの機械化施工

## 平成 30-32 年度 日下川新規放水路（吐口側）工事

川原 仁志

断面の小さいトンネルにおいて、掘削工とインバート工の併進作業を行うことは難しく、インバートの施工はトンネル貫通後の施工となる。インバートの一般的な施工は、人力による型枠設置やコンクリート打設、型枠撤去を行うが、工程短縮が課題である本工事では、機械施工が主体のスリップフォーム工法を採用、インバートの曲面形状に対応した施工機械を開発し、施工の効率化を図った。

キーワード：山岳トンネル、インバート、スリップフォーム工法、工程短縮、省力化

### 1. はじめに

日下川新規放水路は、高知県日高村の浸水被害を大幅に軽減するため、日下川で3本目の放水路トンネルであり、事業の早期完成が望まれていた。

トンネル断面は、直径7mの標準馬蹄形で掘削断面積約50m<sup>2</sup>と小さく、トンネル掘削工とインバート工の併進作業が不可能であり、貫通後に施工するインバート工の工程短縮が課題であった。

本報告では、人力によるトンネルインバートの施工に対し、コンクリート舗装や円形水路等の構造物の連続施工に多くの実績を有し、機械施工が主体のスリップフォーム工法を用いた効率的なトンネルインバートの施工を行い、工程短縮を図った事例について報告する。

### 2. 工事概要

一級河川仁淀川水系の一次支川である日下川（くさかがわ）は、高知県日高村の中央部を貫通し、仁淀川に合流する河川である。日下川の河床勾配は1/3,000程度と極めて緩く、水はけが悪いという特徴を持つ。また、日下川の流域は仁淀川本川から遠ざかるほどに標高が低くなるという低奥型地形である。さらに洪水時には仁淀川本川の水位が支川水位より高いことも相まって、日下川流域に位置する高知県高岡郡日高村では古くから浸水被害に悩まされてきた。

これまでに派川日下川放水路（高知県、1961年完成）や日下川放水路（国、1982年完成）を整備している。しかしながら2014年8月の台風12号の豪雨により、

床上浸水109戸、床下浸水50戸、浸水面積274haに及ぶ甚大な被害が発生したため、2015年度『床上浸水対策特別緊急事業（日下川）』が採択された。

そして緊急事業として、3本目放水路トンネルとして総延長5,368mの新日下川放水路（図-1）を整備することになった。

工事概要を表-1に示す。本工事は、放水路トンネル延長5,130mのうち吐口側の2,280mと導水路（接続ます）を施工した。

### 3. 工事の問題点と対策

本工事は、トンネル幅が約7.0m（図-2）と狭小で、トンネル掘削工とインバート工の併進作業が不可能なため、貫通後に開始するインバート工の工程短縮が課題であった。

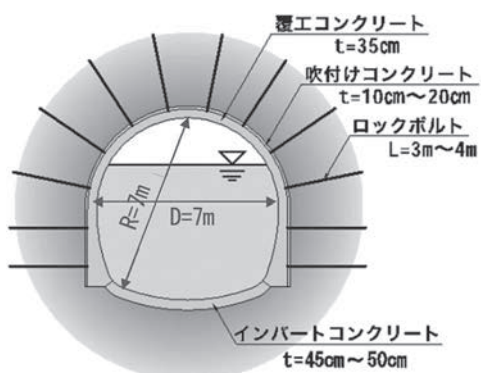
また、新日下川放水路では事業効果の早期発現を目的として、大きな出水があった場合には、施工中の放水路に通水を行う可能性もあったため、貫通後の一刻



図-1 位置図

表一 工事概要

工事名称	平成 30-32 年度 日下川新規放水路（吐口側）工事	
発注者	国土交通省 四国地方整備局 高知河川国道事務所	
施工者	熊谷組・大豊建設 特定建設工事共同企業体	
工事場所	高知県吾川郡いの町大内地先	
工期	2019(平成 31)年 2 月 1 日～2023(令和 5)年 3 月 31 日	
工事内容	工事延長	2,302 m
	トンネル延長	2,280 m
	本坑（上流側）	1,326 m
	（下流側）	954 m
	作業坑	185.5 m
	NATM 発破掘削 長尺鋼管先受け工、パイプルーフ工 接続ます（ニューマチックケーソン）	



図一 標準断面図

も早い覆工およびインバートコンクリートの施工が求められた。

通常のトンネルにおけるインバート施工は、覆工コンクリートの打設長に合わせて、1打設長は 10.5 m（本工事では 12 m）となる。そのため、総延長 2,280 m の本トンネルでは、上・下流工区で分割してもインバート施工だけで 5.5 ヶ月を要することが想定された。

そこで、インバートコンクリートの施工を一般的な人力による型枠設置やコンクリート打設、型枠撤去に対し、機械施工が主体のスリップフォーム工法を採用することで施工の効率化を図り、工程短縮を図ることとした。

スリップフォーム工法は、コンクリート打設時にその場で強い振動をかけ締固めて成型することで、打設直後のコンクリートを自立させる工法である。この工法は、コンクリート舗装や防護柵、円形水路など同一断面が連続した構造物の施工に多くの実績があるが、トンネルのインバートコンクリートへの適用は新たな取組みであった。

#### 4. スリップフォーム工法による施工

##### (1) 施工手順

トンネルインバートを施工するために採用した機械は、ヒューロン TP-880-CP（以下「成型機」）である（写真一）。

標準工法とスリップフォーム工法のインバートの施工順序の比較を図一 3 に示す。

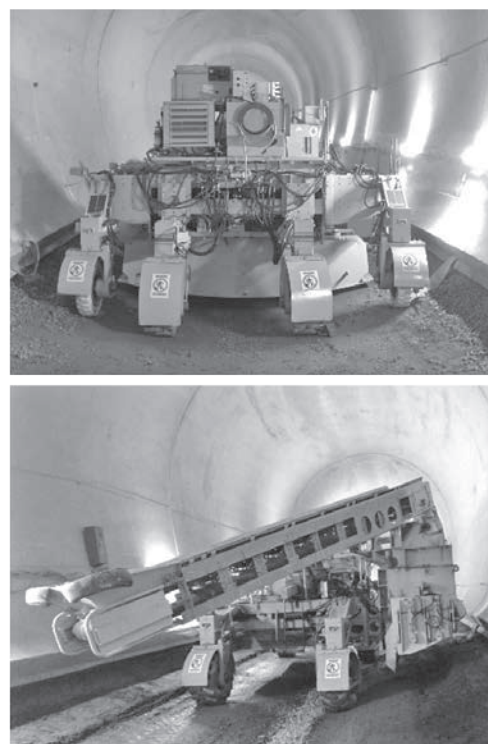
標準工法は、「掘削・床付け→型枠設置→コンクリート打設→型枠撤去」の手順で、延長方向 10.5 m ～ 12.0 m を全幅一括施工で行う。

これに対し、スリップフォーム工法は、「掘削・床付け→チェアー・タイバー（目地金物）設置→左右各端部コンクリート打設→中央部コンクリート打設」の手順で、左右各端部は 1 回当たり延長方向 180 m、中央部は 60 m を連続的に施工する。

コンクリート打設は、インバートの曲面形状に対応した成型機をセットし、ミキサー車からベルコンにより供給し、成型機内部に投入し、成型機が連続的に締固め・成型を行いながら前進し連続打設を行う。その後、表面均し（仕上げ）を行い、コンクリート打設完了となる。

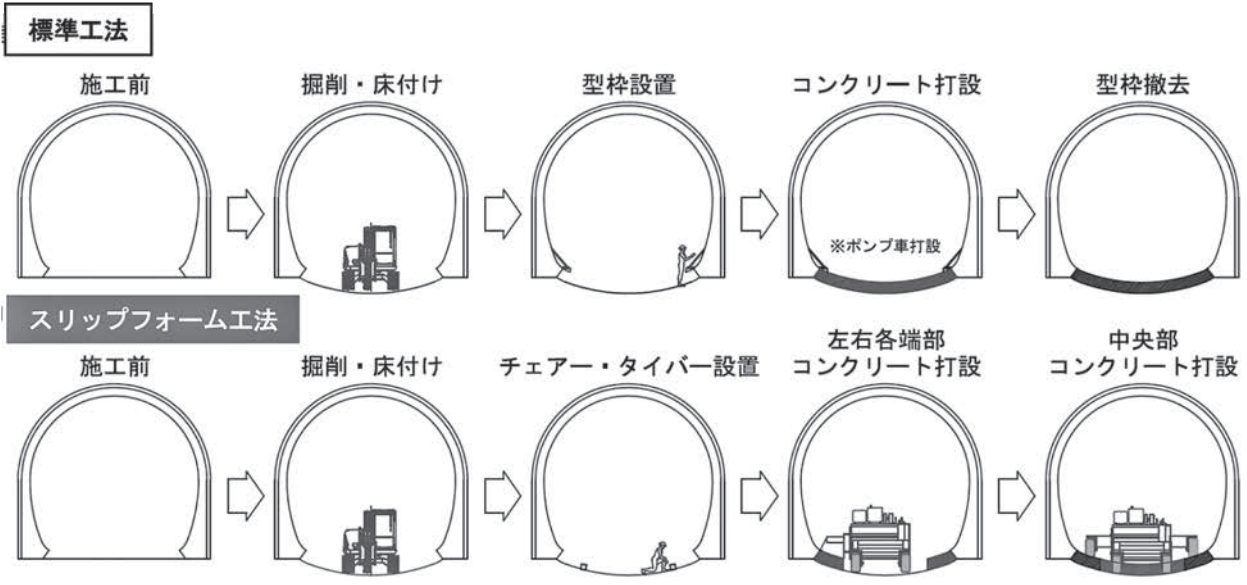
施工状況を写真二に示す。

以下に、スリップフォーム工法で施工する際に留意した点を示す。



写真一 成型機





図一三 施工手順



(a) 掘削・床付け



(b) チェアー・タイバー設置



(c) 端部コンクリート打設



(d) 端部コンクリート打設



(e) 端部コンクリート打設完了



(f) 中央部コンクリート打設



(g) コンクリート打設状況



(h) コンクリート表面仕上げ



(i) コンクリート打設完了

写真一2 施工状況

(2) 使用コンクリート

スリップフォーム工法は、成型機に取付けた鋼製型枠にコンクリートを投入し、型枠内部で締固め・成型を行うと同時に成型機を前進させる連続施工となるため、使用するコンクリートは打設直後の自立性が求められる。

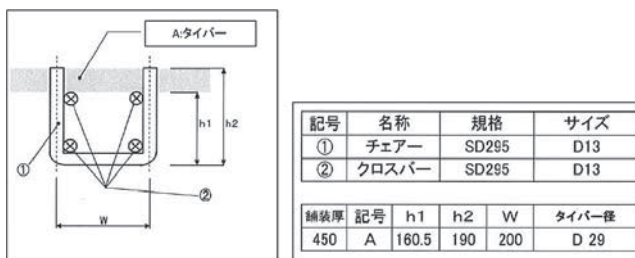
配合は、セメント量 300 kg/m<sup>3</sup>、スランプ 3.5 cm の固練りとし、試験練りを実施し、試験施工で自立することを確認した。また、ミキサー車での運搬が可能であることも確認した。

実施工においては、規格値内でもスランプ 3.5 cm を超過するコンクリートは、型枠脱型後に自立しないため、運搬中のスランプロスや気温等を考慮した品質管理が必要であった。

(3) インバートの分割施工

インバートコンクリートの全幅は 7 m であるが、トンネル内空と干渉するため、全幅一括施工に必要な機械通行のための幅を確保できない。

そのため、インバートを横断方向に中央部・左右各端部の 3 分割して施工することとした。その際、分割したコンクリート同士の継目で目違いが生じないように、コンクリート舗装で使用するチェアー・タイバーを用いた目地構造を採用した（写真—2 (b)）。チェアー・タイバー詳細を図—4 に示す。



図—4 チェアー・タイバー詳細

また、成型機は、左右各端部用および中央部コンクリート打設用をそれぞれ準備した。

(4) クラック防止対策

標準工法では、一般的に 1 回の打設長が 12 m であり、打ち継ぎ部がコンクリートの収縮等に対する吸収効果を持つ。一方、スリップフォーム工法では、1 回の打設長が 180 m 程度の連続体となるため、覆工コンクリート継目位置に合わせて、横断方向にカッター目地を入れ、インバートコンクリートのクラック防止を図った。

5. 工程短縮

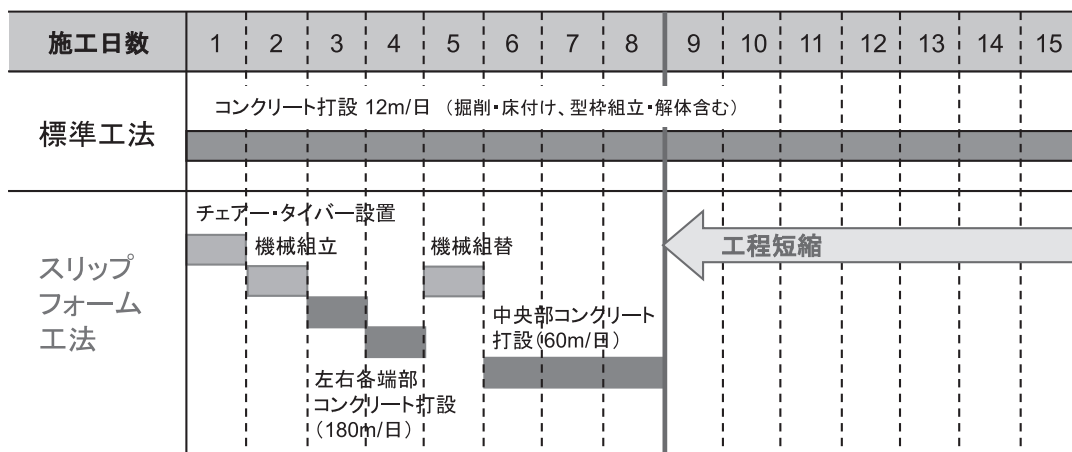
施工延長 180 m の場合の標準工法とスリップフォーム工法の工程比較を図—5 に示す。

標準工法では、コンクリート打設（掘削・床付け、型枠組立・解体含む）は 12 m/日となり、施工日数は 15 日間となる。

一方、スリップフォーム工法は、チェアー・タイバー設置で 1 日、機械組立および組替で 2 日、左右各コンクリート打設は 180 m/日で各 1 日、中央部コンクリート打設は 60 m/日で 3 日となり、施工日数は 8 日間となる。このように、スリップフォーム工法における施工日数は、標準工法と比較し、約 53% に工程短縮が可能である。

結果として、本坑(上流側)1,326 m の施工において、標準工法での 5.5 ヶ月より 2 ヶ月早い 3.5 ヶ月で施工することができた。

工程短縮が可能となった主たる要因は、スリップフォーム工法では打設直後のコンクリートが自立するため、型枠設置・取外しの作業が不要となった点、打設時の筒先・締固め作業は成型機が行うため、左官仕



図—5 工程比較

上げが主たる作業となる現場作業員の負担が軽減され、1日あたりの打設量を多くする（標準工法 60 m<sup>3</sup> → スリップフォーム工法 150 m<sup>3</sup>）ことが可能となった点が挙げられる。

## 6. おわりに

本報告では、工期短縮を目的として機械施工が主体のスリップフォーム工法によりインバートの曲面形状に対応した施工機械を開発し、インバートコンクリート施工の効率化を図った。

標準工法にはないチェアー・タイバー設置、狭小な坑内でのスリップフォーム打設機械の組立・解体、左右各端部打設用と中央部打設用で機械の組み替え等があるものの、スリップフォームを使用したトンネルイ

ンバートの施工方法は、施工可能な条件が揃えば、標準工法よりも効率が良い施工であり、今後幅広く展開することが可能と考えられる。

最後に、本工法を実施するにあたり、工法変更を認めてくださった国土交通省四国地方整備局、計画・設計・施工段階でお世話になりました(株)ガイアート・(株)末広産業の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

JCMA

### 【筆者紹介】

川原 仁志（かわはら ひとし）  
（株）熊谷組  
中四国支店 土木部  
係長

