

スリップフォーム工法によるトンネル内 コンクリート舗装および縁石施工の 効率化について

室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所 第2工務課
室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所 第2工務課
株式会社 NIPPPO 北海道支店

○矢部 拓海
高橋 民雄
山崎 健作

積雪寒冷地のトンネル内コンクリート舗装は、表層部に微細なひび割れが発生する連続鉄筋コンクリート舗装（以下CRCP舗装）での適用が少なく、普通コンクリート舗装（以下NC舗装）が多く施工されている。NC舗装は、コンクリート内に鉄網を設置するため2層に分けて施工される。大狩部東舗装工事では、鉄網をスペーサで事前に設置し、スリップフォーム工法により1層で施工した。トンネル内誘導縁石も同工法で施工を行い、工期短縮が可能となった。

キーワード：コンクリート舗装、スリップフォーム工法、1層同時施工、縁石工

1. はじめに

積雪寒冷地のトンネル内コンクリート舗装は、NC舗装が多く施工されている。NC舗装はコンクリートの内部に鉄網を設置するため通常2層に分けて施工する必要があるためセットフォーム工法が採用されている。セットフォーム工法の機械編成は、敷均し機（スプレッド）、締固め機（コンクリートフィニッシャ）、仕上げ機（レベラ）の3台編成が基本となる。また、これらの機械は型枠上に設置されたレール上を走行するため、レールの設置も必要となる。このことからセットフォーム工法によるNC舗装は一般的な工法ではあるが、日当たりの施工面積が少なく、施工日数が増える課題があった。

日高自動車道 新冠町 大狩部トンネル東舗装工事では、施工日数が増えることによる寒冷期施工を回避するため、コンクリート舗装の効率化による工期短縮を検討し、スリップフォーム工法によるNC舗装を行った。

また、トンネル内の誘導縁石についても、従来工法では人力作業による二次製品設置により施工日数が増える課題があったため、スリップフォーム工法による施工を行った。

本報告事例は、スリップフォーム工法によるNC舗装と縁石工を行うことで工期短縮を図った事例を報告する。

2. コンクリート舗装工の概要

工事箇所図を図-1に、コンクリート舗装の定規図を図-2に示す。本工事箇所は、供用中の日高自動車道終点（日高厚賀IC）から約1km延伸した箇所に位置し、コン

クリート舗装はトンネル全延長（2,151m）の約半分の1,035.5m行った。本トンネルの中央分離帯は、コンクリート剛性防護柵が採用され別発注のため、片断面毎（5.06m）の施工となった。

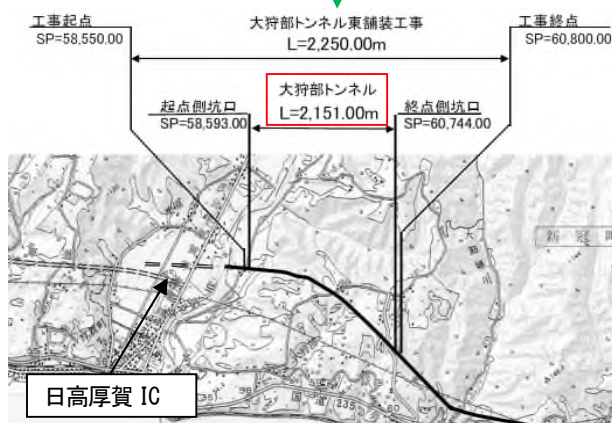


図-1 工事箇所図

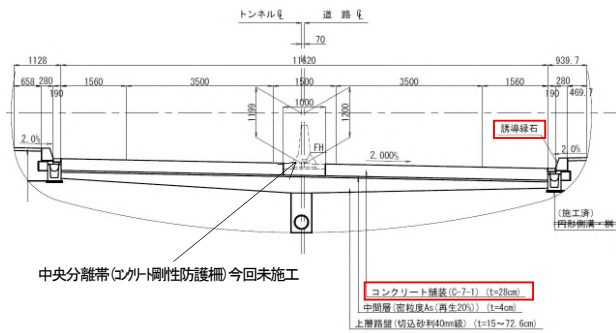


図-2 コンクリート舗装の定規図

3. スリップフォーム工法採用における検討概要

(1) スリップフォーム工法採用による工期短縮の検討 (コンクリート舗装)

当初設計であるセットフォーム工法とスリップフォーム工法によるコンクリート舗装に要する打設日数を以下に示す。

- ・セットフォーム工法
420m²/日・・・当工事（施工幅5.31m）の
日々施工延長は約100mで
延べ20日間と予想。
- ・スリップフォーム工法
720m²/日・・・当工事（施工幅5.31m）の
日々施工延長は約150mで
延べ14日間と予想。

コンクリート舗装はセットフォーム工法に比べ、スリップフォーム工法は約1.5倍程度の施工量が増加する。

(縁石工)

縁石工の当初設計の二次製品による従来工法とスリップフォーム工法の打設（設置）に要する日数を以下に示す。

- ・従来工法（二次製品）
49m/日で延べ80日間と予想。
- ・スリップフォーム工法
250m/日で延べ17日間と予想。

縁石工は従来工法に比べ、スリップフォーム工法で約5倍程度の施工量が増加する。このことからコンクリート舗装工および縁石工にスリップフォーム工法を採用することで、大幅な工期短縮が図れることがわかった。

また、施工開始日が10月以降になることから、従来工法では、寒冷期に差し掛かることが予想されたため、コンクリート舗装と縁石工でスリップフォーム工法を採用し効率化を図り工期短縮を行った。

(2) 鉄網の事前設置による1層施工の検討

本工事は、NC舗装であり鉄網を設置する必要があるため、通常は2層施工となる。

上記の検討のとおり、スリップフォーム工法を用いることで工期短縮に繋がることがわかったが、これはCRCP舗装のように鉄筋が事前に設置されたなかで、1層を同時に連続施工（打設）を行う必要があった。スリップフォーム工法で2層施工を行うと、別途敷均し機（スプレッタ）が必要となり、工期短縮を行う上でメリットを活かすことができないと考えた。

このため本工事ではスペーサ（写真-1）を使用し事前に鉄網を設置し、1層での打設を計画した。

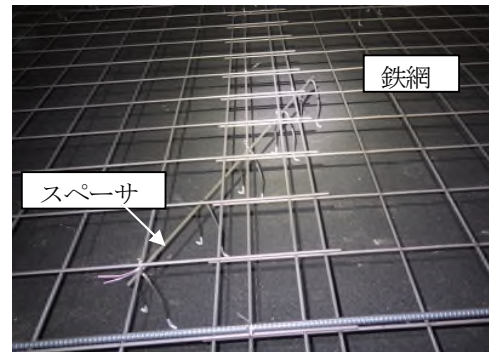


写真-1 鉄網を浮かせるためのスペーサ

これにより、NC舗装でもCRCP舗装と同程度の日当たり施工量を確保できると判断した。また、安全面でも打設時に鉄網を設置することがないため、大型機械と作業員による接触を防止できる効果も期待できた。

(3) 生コンクリート供給方法の検討

スリップフォーム工法のスリップフォームペーパーの特長として、型枠を設置せずに、生コンクリートの供給、敷均し、締固め、平たん仕上げが1台で施工できる特長がある。

片断面での1層舗装を行った例を写真-2に示す。スリップフォームペーパーはベルトコンベアと供給ホップを設置し、生コンクリートの供給はアジデータから直接ホップに荷下ろしを行うことができる。

しかしながら本工事では、生コンクリートの供給に関して以下の課題があった。

- ・ダンプトラック運搬
トンネル舗装用のコンクリート配合はダンプトラック運搬する必要があるが、ダンプトラックでは、供給ホップに荷下ろしできない。
- ・鉄網のズレ防止対策
本工事はNC舗装であるため鉄網を設置するが、スペーサを使用して1層施工を行うため、鉄網のズレを防止する必要がある。鉄網のズレを防止するため、打設前方に荷下ろしをする必要がある。

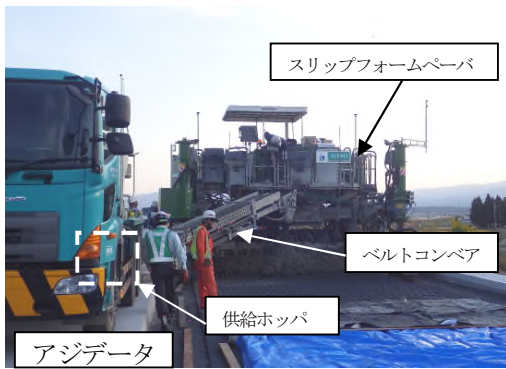


写真-2 CRCP舗装での生コンクリートの供給例

以上の課題から、図-3に示す生コンクリートの供給方法とした。ダンプ運搬でも荷下ろしが可能な、スタッカ（縦取り機）を使用した。スタッカのベルトコンベアで、スリップフォームペーパーの前方に、あらかじめ生コンクリートを荷下ろしすることで、スリップフォームペーパーの締固めによる、鉄網のズレ防止が可能となった。

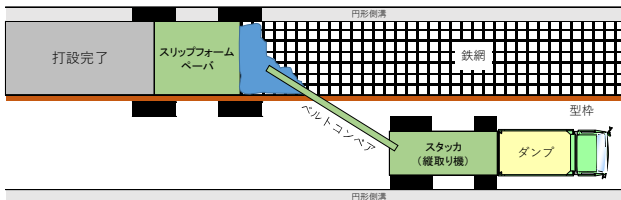


図-3 生コンクリートの供給方法（本工事）

(4) 型枠設置の検討

通常、スリップフォーム工法によるコンクリート舗装は、型枠を設置しない工法である。型枠を設置しない方法が工期短縮にもメリットがある。

しかしながら本工事では、中央分離帯にコンクリート剛性防護柵が次年度以降に設置されるため、コンクリート側面が露出してしまうことや、コンクリート防護柵設置時に影響するエッジスランプ（写真-3、側面の膨らみ）の許容値が不明なため、本工事は型枠を設置することとした。



写真-3 無型枠でのエッジスランプ例

4. スリップフォーム工法の概要

(1) コンクリート舗装の機械編成

コンクリート舗装におけるセットフォーム工法と、本工事で実施したスリップフォーム工法の機械編成を図-4および図-5に示す。

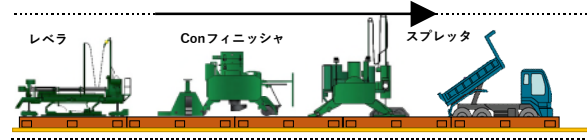


図-4 セットフォームの機械編成（当初設計）

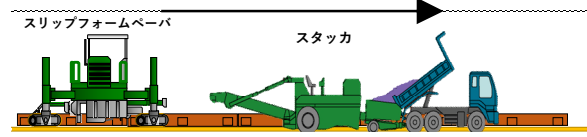


図-5 スリップフォームの機械編成（本工事）

セットフォーム工法の機械編成は、敷均し機（スプレッタ）、締固め機（コンクリートフィニッシャ）、仕上げ機（レベラ）の3台編成が基本となる。それに対し本工事では、スリップフォーム工法を用いたことで、機械編成はスタッカ（縦取り機）、締固め機（スリップフォームペーパー）の2台編成と少なくすることができた。

(2) 縁石工の機械編成

縁石工におけるスリップフォーム工法では、舗装工と比較して生コンクリート使用量も少量となるため、アジデータでの運搬とした。機械編成は縁石用スリップフォームペーパー1台での施工（写真-4）。

誘導縁石の成形の基準線は、円形側溝の位置をセンサで連続的に計測し施工を行った（写真-5）。



写真-4 縁石工の機械編成（本工事）

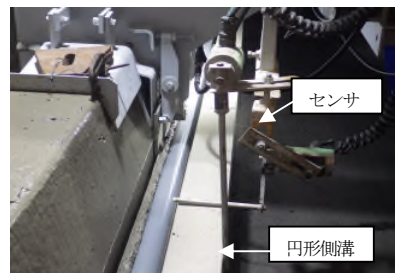


写真-5 縁石工の基準の取り方（本工事）

(3) コンクリート舗装の配合

本工事で使用したコンクリート舗装の2種類の配合を表-1に示す。

表-1 コンクリート舗装の配合

配合	曲げ強度 N/mm ²	スラブ cm	空気量 %	S/A %	W/C %	単位質量 kg/m ³							備考
						水	セメント	細骨材	砂利 25-05mm	陸砂利 40-20mm	砕石 20-05mm	混和剤 (g/m ²)	
C-7 (40mm)	曲げ4.5	2.5	4.5	41.1	43.5	131	302	819	709	475	-	3,020	-
C-7 (20mm)	曲げ4.5	2.5	4.5	45.1	43.5	149	343	860	-	-	1,057	3,430	骨材露出区間 (シフト距離は0～ 200mまで)

トンネル坑口～200mの配合は、ショットブラストによる骨材露出工法を行うため、最大粒径を20mmとし、すべり抵抗向上のため、砂利ではなく砕石を使用した配合を用いた。

(4) 縁石工の配合

本工事で使用した誘導縁石工の配合を表-2に示す。

表-2 縁石工の配合

配合	圧縮強度 N/mm ²	スラブ cm	空気量 %	S/A %	W/C %	単位質量 kg/m ³							備考
						水	セメント	細骨材	砂利 25-05mm	陸砂利 40-20mm	砕石 20-05mm	混和剤 (g/m ²)	
縁石用 (25mm)	18	4.0	6.0	42.0	46.3	139	300	814	1,129	-	-	3,000	-

縁石工に用いる生コンクリートの配合は、スリップフォーム工法施工マニュアル（構造物編）¹⁾を参考に設定した。

5. スリップフォーム工法の施工結果

(1) 平坦性試験結果

平坦性試験結果を表-3に示す。

表-3 平坦性試験結果

車線	距離(m)	標準偏差(mm)	規格値
L側	1,035.50	1.18	2.4mm以下
R側	1,035.50	1.05	
平均		1.12	

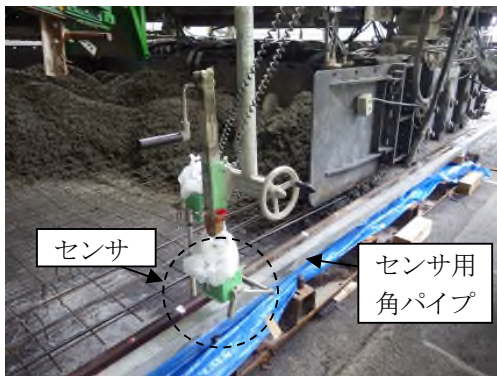


写真-6 コンクリート舗装の基準の取り方

平坦性試験結果は規格値2.4mmに対して、平均で1.12mmと、良好な数字であった。スリップフォーム工法はセットフォーム工法と違い、アスファルトフィニッシュのように、センサ（写真-6）を使用して高さを調整しながら平坦にすることができるため、平坦性の向上に繋がったと考えられる。

(2) きめ深さ試験結果（骨材露出区間）

骨材露出区間におけるきめ深さ試験結果を表-4に、ショットブラスト処理後の状況を写真-7に示す。

表-4 きめ深さ試験結果（骨材露出区間）

車線	距離(m)	標準偏差(mm)	規格値
L側	200	1.55	1.4±0.4mm
R側	200	1.34	
平均		1.45	

スリップフォームペーパーは、1層で仕上げることが可能なため、その特性から締固め効果が高く、モルタル分がコンクリート表面に厚くなることが予想された。そのため骨材露出工法設計施工マニュアル²⁾に基づき、凝結遅延剤を併用しショットブラストによる骨材露出工法を行った（その他、ムラの低減や、曲げ強度確認後の処理ができる等の効果もある）。懸念されたムラもなく良好なきめ深さも得られたため、骨材露出工法においてもスリップフォーム工法による適用が可能であると判断できる。



写真-7 ショットブラスト後の状況

(3) 鉄網の位置確認結果

スタッカ（縦取り機）による敷均し状況を写真-8に示す。



写真-8 スタッカによる敷均し状況

1層同時施工でのNC舗装は、高さ調整されたスペーサに鉄網を固定したのみでの打設となる。そのため鉄網の縦断方向、横断方向のズレが懸念された。

対策として、鉄網は打設前にあらかじめ設置し、スタックでスリップフォームペーパーの前方に生コンクリートを間配りすることで、鉄網のズレを防止した。

打設後の鉄網位置を電磁波レーダを用いて、非破壊にて確認を行った（写真-9、写真-10）。

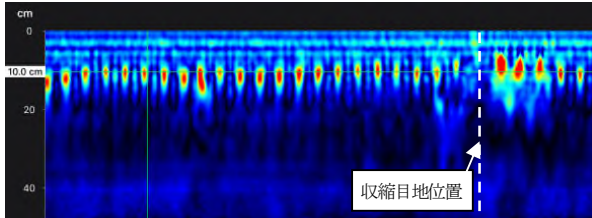


写真-9 鉄網の設置確認（深さの規程位置:9cm）



写真-10 電磁波レーダによる測定状況

電磁波レーダによる結果から、深さや目地位置付近においても規程位置に設置されており、ズレが無いことが確認された。

6. スリップフォーム工法による工期短縮結果

(1) コンクリート舗装

生コンクリート工場の出荷状況や運搬距離を考慮し、日当たり施工延長（作業時間8:00～17:00）を200mとし打設を行った。

- a) 所要日数・・・11日間（打設初日は50mとした）
- b) 日当たり施工量・・・1,062 m^2 （200m×5.31m）

セットフォーム工法の日当たり施工延長を100mとすると、打設に要する日数は約1/2短縮された。

(2) 縁石工

生コンクリート工場の出荷状況や運搬距離を考慮し、日当たり施工延長（作業時間8:00～17:00）を250mとし打設を行った。

- a) 所要日数・・・17日間
- b) 日当たり施工量・・・250m

二次製品を使用する従来工法の日当たり施工延長を49mとすると、打設に要する日数は約1/5短縮された。

7. まとめ

今回、トンネル内コンクリート舗装および縁石工の効率化による工期短縮を目的に、スリップフォーム工法を採用し、その効果が確認できた。

コンクリート舗装については、骨材露出区間においても有効性が確認でき、その他、品質もセットフォーム工法と同様に適用可能であると判断できる。また、本工事では型枠を設置し打設を行ったが、型枠を設置しない本来の施工を行うことで、より効率的な打設が可能となるため、スリップフォーム工法によるコンクリート舗装に関して、基準等の整備が望まれる。

縁石工については、二次製品を設置する従来工法と比べ、効率化による大きなメリットが確認されたことと、人力での設置作業が無くなるため、安全性及び労働者不足に寄与すると考えられる。

昨今、長寿命化計画に関連しコンクリート舗装の普及や技術が見直されている。一方で、スリップフォーム工法は、1970年代から国内での実績がある工法である。コンクリート舗装は、昔から施工されてきているが、その普及が進んでいない。

本報文が、コンクリート舗装技術向上の一助に繋がれば幸いである。

謝辞

工事請負業者である（株）NIPPPOの皆様には、技術研究発表会に向けて多大な協力をいただきました。この場を借りて、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本スリップフォーム工法協会:スリップフォーム工法施工マニュアル(構造物編)
- 2) 寒地土木研究所:若材齢時ショットブラスト方式による骨材露出工法設計施工マニュアル(案)