

スリップフォーム工法を用いた コンクリート剛性防護柵の効率的施工について

室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所 第2工務課 ○山口 響
室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所 第2工務課 平田 健朗
株式会社磯田組 土木部 工事課 小野 浩史

一般国道235号日高自動車道厚賀静内道路は完成二車線による整備区間である。そのため同区間内の新冠トンネルでは中央分離帯を整備する必要があり、コンクリート剛性防護柵をスリップフォーム工法により施工した。当工法を用いることで工期短縮や、工事現場の省人化が可能となる。本報文では当工法を用いてトンネル内のコンクリート剛性防護柵を施工した先行事例として、これらの効果や現場での課題について報告する。

キーワード：トンネル内剛性防護柵、スリップフォーム工法、省人化

1. はじめに

一般国道 235 号日高自動車道厚賀静内道路は計画交通量約 12900 台/日の自動車専用道路であり、道路規格は第 1 種第 3 級、完成二車線にて整備を実施中である。道路構造令の解説と運用¹⁾では、3 車線以下の第 1 種の道路では中央帯を設けることを原則とするとされており、当区間においても中央帯を設置することが計画された。そのため区間内の新冠トンネルにも中央分離帯として防護柵の設置が必要となり、設計検討の結果コンクリート剛性防護柵を設置することとなった。

当防護柵の施工は”令和 5 年度 日高自動車道 新冠町大狩部トンネル防護柵設置工事”にて行った。当工事ではトンネル内の中央分離帯であるコンクリート剛性防護柵の施工方法について、施工性向上を目的としてスリップフォーム工法（以下 SF 工法と呼称）を用いた。SF 工法とは、成形機に鋼製型枠（モールド）を取付け、モールド内にコンクリートを投入しその内部で締固め成型を行うと同時に、成形機を前進させることにより同一断面の構造物を連続して構築していく工法である²⁾。本報文では北海道において SF 工法を用いてトンネル内のコンクリート剛性防護柵を施工した最初の事例として、これらの効果や現場での課題について報告する。

2. 先行事例について

(1) SF工法

a) SF工法の歴史²⁾³⁾

SF 工法は 1949 年にアメリカで道路舗装を目的に考案された工法である。1955 年頃から本格的な道路舗装が始

まり、1965 年にはアメリカのコンクリート舗装の 80%、1989 年以降は公共工事において 100%採用されるようになった。

我が国においては 1960 年代に導入が進められたが、当時は労働力問題も少なく、工事規模も少なかったため定着には至らなかった。近年になり労働力不足や高齢化が顕在化したため、省力化や工期短縮の面から SF 工法の再導入が図られていった。

b) 施工実績

SF 工法は、コンクリート舗装工事においてその施工実績を着実に伸ばしており、2021 年度までに国内で累計 16811944m² が施工されている³⁾。具体的な事例としては、国内初の事例である新大宮バイパス⁴⁾や、平泉バイパス⁵⁾、日和佐道路における美浜ゆめトンネル⁶⁾などがある。また、北海道内における具体的な施工事例として、日高自動車道厚賀静内道路区間内の新冠トンネルにおける、コンクリート舗装工事⁷⁾が挙げられる。当工事では、トンネル全延長の約半分である 1035.5m のコンクリート舗装を SF 工法で施工している。

(2) コンクリート剛性防護柵

本州以南においては後述の松ヶ房トンネル等、トンネル中央分離帯としてのコンクリート剛性防護柵の整備が進んでいる。その一方、北海道開発局においてはそもそもトンネルが高規格道路の完成二車線区間として事業化された区間に計画された事例がない。そのため、開発局におけるトンネル中央分離帯としてのコンクリート剛性防護柵の整備は当区間が初の事例となる。

(3) SF工法によるコンクリート剛性防護柵施工事例

SF 工法を用いてトンネル中央分離帯のコンクリート剛

性防護柵を施工した事例として、一般国道115号阿武隈東道路における松ヶ房トンネル（宮城県丸森町）⁸⁾が挙げられる。この工事では松ヶ房トンネルの全延長約1.3kmにおいてコンクリート剛性防護柵をSF工法によって施工した。SF工法が採用された背景として、阿武隈東道路の事業地である福島県相双地区において除染作業や復旧・復興事業により現場労働者の確保が懸念されていることが述べられている。加えて、同道路の別区間である荻平トンネル（L=1,023m）についてもトンネル中央分離帯（コンクリート剛性防護柵）をSF工法で施工したことが同報文⁸⁾に記されている。また、北海道開発局における施工事例は前節にて述べた状況のため存在しない。

3. 施工方法

(1) 本工事の概要

本工事の工事箇所図を図-1に、コンクリート剛性防護柵の断面図を図-2に示す。本工事箇所は供用中の日高自動車道終点である日高厚賀ICから約1kmほど南西に位置している新冠トンネルである。トンネル全延長は2151mであり、1箇所あたり11mの開口部が全4箇所、計44m設けられている。本工事では、中央分離帯工として開口部を除いた2107mについてトンネル中央分離帯であるコンクリート剛性防護柵を施工した。また、コンクリート剛性防護柵の断面形式には主に「単スロープ型」と「フロリダ型」の2種類があるが、本工事では図-2の通り「フロリダ型」を採用した。

(2) SF工法

中央分離帯工では施工において均しコンクリート、一次コンクリート、二次コンクリート、コンクリートシールと4段階に分けて実施している（図-2参照）。本報文では二次コンクリート打設に関する施工方法を説明する。

a) 鉄筋工（事前作業）

SF工法で施工する場合、鉄筋はモールド内のコンクリートの圧力や締め時の振動により前方や側方へ移動することがある。また、もし鉄筋がずれた場合、モールド内で鉄筋が引っかかり施工不能となる可能性もある。そのため本工事では工場での溶接にてメッシュ鉄筋を製作した。

b) センサラインの設置（事前作業）

センサラインとは、SF工法で構築しようとする構造物に沿って設置する線状のロープや鋼材のことで、成型機本体外部に取り付けた棒状のセンサでこれをたどり自動走行する仕様となっている。本工事では鋼材を用いてセンサラインを設置した。（写真-1参照）



図-1 工事箇所図

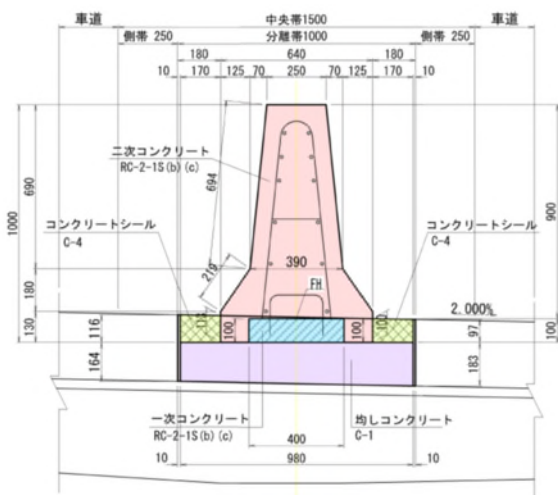


図-2 中央分離帯工断面図（片勾配部）

c) 予備走行

予備走行とは、成型機によるコンクリート打設に先立ち、施工基面とモールドとの緩衝や鉄筋との位置関係の確認のために行うものである。本工事では打設する部分について、前日に予備走行を実施し、施工に問題が無いことを確認した。



写真-1 センサライン設置状況

d) コンクリート打設

成型機の移動やコンクリートの品質確認の後、コンクリートの打設を行った。生コンクリートはアジテータトラックから成型機のベルトコンベヤを通してモールド内に供給される。また、締固めは、モールド内に取り付けた複数のバイブレータにより行われる。打設・成型開始後は定期的にセンサラインから成型構造物までの距離を測定し、通りと高さを確認した。

e) 補正仕上げ

成型されたコンクリート表面には、気泡痕や骨材のハネ上がりが生じる場合があるため、必要に応じてコテによる補正を行った。

f) 養生

SF 工法では打設・成型後のコンクリートの急激な乾燥防止のため表面のブリーディング水が無くなりかけた頃に被膜養生材を散布し、初期養生のみを行う。

g) 目地工

主に収縮目地と膨張目地があるが、SF 工法では施工中に目地板を設置し巻き込んだ形で施工することが困難であるため、本工事において膨張目地は日ごとの施工端部に設置した。また、収縮目地は 10m 間隔で施工した。

ここで、本工事における二次コンクリート施工作业時の編成を図-3 に示す。施工時は人員 12 名（+元請 2 名）で稼働した。また、本工事箇所において、他工事の工事用道路としてトンネル内の交通を確保する必要があったため、片側のみで作業を行った。

(3) コンクリートの配合について

SF 工法では型枠を使用しないため、コンクリートを自立させるためにも配合設計が極めて重要である。ここで、SF 工法で防護柵を施工する際のコンクリートの配合設計の標準値を表-1 に示す。ここで特徴的なのが、スランプの小ささである。本工事で当初指定していたコンクリートである RC-2-1S (b) (c) は、道路設計要領⁹⁾において条件値でスランプが 12cm とされており、これと比較すると非常に小さいことがわかる。これは、締固め時などの材料分離、および成形後の未硬化コンクリートの変形抵抗性や断面寸法の精度を確保するために必要な性質である。

表-1 配合設計の標準値²⁾

項目	標準値
最低目標強度 (N/mm ²)	24.0
単位セメント量 (kg/m ³)	350 以上
細骨材率 s/a (%)	35~45
目標スランプ (cm)	2~4
目標空気量 (%)	4.5~7.5

4. 施工結果

(1) 試験練り結果

2024 年 7 月 24 日に実施し、実際に施工した下請け業者も立会のもとで行った。前章でも述べた通り、SF 工法ではコンクリートを自立させるためにその配合設計が重要であり、使用する材料の性質により調節する必要がある。ここで、本工事で使用した骨材を写真-2 に示す。陸砂利・陸砂ではあるものの、形状が丸く、性状は川砂利と同等であった。そこで、試験練りでは、先行研究¹⁰⁾で指摘されている、フレッシュコンクリートにおける強度が骨材の噛合わせの影響を受けるために球形の陸砂よりも角張りのある砕砂の方が大きいことを考慮し、細骨材率を 40.0% から 36.9% に修正して実施した。当該コンクリートにおける最終的な配合計画を表-2 に示す。

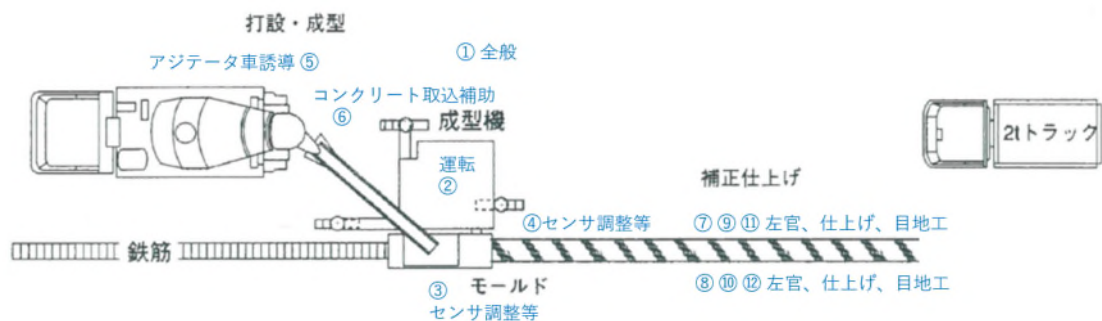


図-3 二次コンクリート施工時の作業編成図²⁾より筆者編集

表-2 コンクリート配合設計内容（当該コンクリート剛性防護柵）

コンクリートの 種類	配合							スランプ	空気量
	水セメント比	細骨材率	単位量(kg/m³)						
			W/C	s/a	セメント	水	細骨材		
30-3-25BB	39.5	36.9	360	142	688	1184	3.60	3.0±1.0	6.0±1.5



写真-2 使用した骨材

いて、従来工法の84日に対してSF工法が16日と、計68日（約81.0%）の短縮を実現したことが分かる。人工数では、従来工法の843人日に対してSF工法では173人日と670人日（約79.5%）の削減を実現している。これらのことから、SF工法はトンネル内のコンクリート剛性防護柵の施工における省人化を進める上で有効な工法であることが分かる。

(2) 二次コンクリート

二次コンクリートの打設は、2024年10月2日から16日の土曜日曜を除いた全11日間で行った。各日の施工延長を表-3に示す。各日の施工延長の平均値は191mであり、最大値は、230mであった。ここで、1日目の施工距離が他と比較して短い、これは施工初日ということもあり、SF工法打設後のコンクリート構造物において天端のコンクリートかぶり部において波打ちが確認され、左官工等の補修作業が必要となったためである。2日目以降はこのような作業が減少し、施工距離を伸ばすことに成功した。また、10月7日及び11日にも施工距離が短くなっているが、これらの日には開口部をまたいで施工を行っており、その処理が必要となったためである。

表-3 二次コンクリート施工実績

施工日	打設延長(m)	累計打設延長(m)
10月2日	153	153
10月3日	191	344
10月4日	210	554
10月7日	170	724
10月8日	227	951
10月9日	210	1161
10月10日	220	1381
10月11日	175	1556
10月14日	230	1786
10月15日	220	2006
10月16日	101	2107

(3) 従来工法との比較

トンネル内中央分離帯であるコンクリート剛性防護柵の一次コン及び二次コンについて、型枠工と打設工の人工数および作業日数に関する従来工法とSF工法の比較を表-4に示す。ここで、SF工法における型枠工とは打設成型機のモールド設置・交換作業等の作業を指している。表-4から、作業日数の合計にお

表-4 従来工法との労力比較

	従来工法（積算値）		SF工法	
	作業日数（日）	人工数（人日）	作業日数（日）	人工数（人日）
1次コン型枠工	12	62	1	3
1次コン打設工	2	14	3	32
2次コン型枠工	59	645	1	6
2次コン打設工	11	122	11	132
合計	84	843	16	173

(4) 現場での課題

第3章でも触れたとおり、本工事現場である新冠トンネル内は他工事の工事用道路として利用しているため、作業箇所としてトンネルの片側しか利用できないという制約があった。具体的には、R側車線のみを使用し、L側車線では他工事及び他工事車両が使用できるようにする必要があった。このような制約の下では、SF工法について以下のような利点がある。

- ・型枠組立作業：従来工法では両側車線に工事車両と作業員が配置された状態で型枠設置・支保工設置（単管など）となるため、同一トンネル内での他工事の施工に支障をきたしてしまう。SF工法ではこの作業が不要なためトンネル内の他工事の施工を確保できる。

- ・コンクリート打設：コンクリート打設では片側車線をアジテータトラックとポンプ車で封じるため、その他型枠作業などの工事車両（4t ユニック等）がもう一方の車線を占拠してしまう。そのような状況では同一トンネル内での他工事の施工及びトンネル内の通行においても支障が生じてしまう。SF工法では上述の通り片側車線のみで施工するため、上述のような問題が生じない。

SF 工法には上記のような利点があるものの、本工事現場の制約である片側施工による課題もある。その一つが、アジテータトラックのバック走行距離が最大で約 650m 程度となる点である。これは、片側のみでの方向転換が難しく、開口部の位置が限定されているために生じる問題である。この課題に対して、現場ではトンネル内の監査廊に LED ライトを設置し、アジテータトラックの進行方向にライトを矢印のように点灯させ、走行時の安全性の向上を図った。

5. SF工法普及への課題

SF工法は現場の省人化を図ることができ、今後労働者の高齢化や担い手不足という問題に対して有効な手段である。一方で、第2章の先行事例を見ても分かるとおり、北海道においてSF工法の普及は本州以南と比較して遅れをとっていると言わざるを得ない。実際に本稿で取り上げた施工事例の内、本州以南の舗装工事における事例は1960年代から2000年代であり、トンネル中央分離帯は2010年代のものであった一方、北海道においては舗装工事が2020年代であり、トンネル中央分離帯の施工事例は本事例が開発局では初めてである。そこで、本章ではSF工法を北海道で普及させる上での課題について簡単に述べる。

普及に当たっての最大の課題として、施工業者の問題があげられる。SF工法の普及・促進を進める団体として、日本スリップフォーム工法協会があるが、この協会の会員の中に北海道内の企業はいない。このこともあり、知識やノウハウにおいて他地方との差が大きく、施工事例の少なさに繋がっていないと考えられる。加えて、施工機械の問題もある。施工機械においても協会員である業者が所有しており、道内には施工機械が現状保管されていない³⁾。全国的に機械の絶対数が少ないという問題に加えて、北海道内の施工に当たっては機械の輸送が必要となる。実際に本工事でも施工機械が使用できるまで、受注者が業者に問い合わせしてから約5ヶ月の期間を要した。

6. さいごに

本稿では、一般国道235号日高自動車道厚賀静内道路区間内の新冠トンネルにおいて、中央分離帯としてのコンクリート剛性防護柵をSF工法により施工した事例として、省人化効果や現場での工夫について報

告した。省人化効果については、従来工法と比較して人工数及び作業日数が約8割減少したことを、現場での課題としては本工事現場の課題である片側施工に伴う問題を挙げ、それに対して実際に行った対策について報告した。そして、SF工法の普及を図る上での課題について簡単に述べた。

技術者の高齢化や担い手不足が進む近年の建設業界において、SF工法をはじめとした工期短縮や現場の省人化を進め得る技術の開発や普及は必要不可欠である。北海道開発局で初の施工事例となる本報文が、今後の同種工事における施工やその普及の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，2021.
- 2) 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，2019.
- 3) 日本スリップフォーム工法協会：機関誌スリップフォーム 38 号，2022.
- 4) 石井一郎：スリップフォームペーパーによるコンクリート舗装，日本道路会議論文集，Vol. 9, No. 368, pp. 229-230, 1969.
- 5) 小松寿：スリップフォーム工法によるコンクリート舗装の施工について，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集（平成11年度），pp. 722-723. 2000.
- 6) 松島章公：日和佐道路事業 スリップフォーム工法によるトンネル舗装工事，四国技報，Vol. 6-12, pp. 45-47. 2007.
- 7) 矢部拓海・高橋民雄・山崎健作：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，第 65 回北海道開発技術研究発表会論文，pp. 895-899, 2021.
- 8) 立花啓文：トンネル中央分離帯（コンクリート剛性防護柵）のスリップフォーム工法について，平成 25 年度東北地方整備局管内業務発表会論文，2013.
- 9) 北海道開発局：令和 6 年度北海道開発局道路設計要領，2024.
- 10) 国府勝郎・上野敦・早川健司・鈴木一雄：防護柵に用いるフレッシュコンクリートの性質に対する使用骨材の影響，セメント・コンクリート論文集，No. 48, pp. 872-877, 1994.