

9. スリップフォーム工法の応用施工例と供給方法の改善

前田道路(株)：○山内 盛人、菊地 重徳、内山 伸一郎

1. はじめに

近年、コンクリート構造物やコンクリート舗装工事では、省力・省人化や施工効率の向上が期待できることから、スリップフォーム工法が急速に普及してきている。コンクリート構造物への活用事例としては、高速道路等のセンターバリヤ、路肩のL型またはU型側溝、トンネル内の円形水路等々がよく知られている。弊社ではスリップフォーム工法を防草と路肩保護を目的とした路肩コンクリートシール工事に国内で初めて採用し、良好な結果を得ることができたので、以下にその概要を報告する。

また、舗装版においては、走行車両の振動・騒音の軽減、走行性向上等の効果が期待される連続鉄筋コンクリート舗装の舗設にスリップフォーム工法が活用されている。しかしながら、これを施工するスリップフォームペーパーへの生コン供給は、ペーパー前方に連続鉄筋が敷設されているために生コン運搬車が前方から直接材料供給を行うことはできないという課題がある。課題解決の一手法として、工夫したベルトコンベヤ(以下、ベルコンと略す)を用いて生コン供給を行い、良好な結果を得たので、合わせて概要を報告する。

2. 路肩コンクリートシール工事の概要

2-1. 工事概要

本文で紹介する3件の路肩コンクリートシール工事は、島根県江津道路嘉久志舗装工事(以下、江津工事)と秋田県二ツ山地区改良舗装工事(以下、二ツ山工事)、山口県岩国飛行場(15)滑走路移設南地区幹線道路工事(以下、岩国工事)である。それぞれの工事概要を表-1に示す。いずれの工事でも人力施工によるコンクリートシール工で設計されていたが、江津工事で二ツ山工事は施工時期が秋期であったため、天候不順が予想されていた。特に江津工事は水を含むと流れやすい砂質系シルトの土質のため、施工期間中に法面が流さ

れる危険性があった。一方、二ツ山工事は冬期の降雪までに施工を終了させなければならないため、工期短縮を可能とする工法が検討され、スリップフォーム工法を採用しての機械施工で対応することとした。

また、岩国工事では関連する他工事等の関係で施工時期が限られたため、当初設計では複雑に変化していた断面形状を可能な限り機械施工で対応できるように一定勾配に変更した。

江津工事の施工断面を図-1、2に、二ツ山工事の施工断面を図-3に示す。

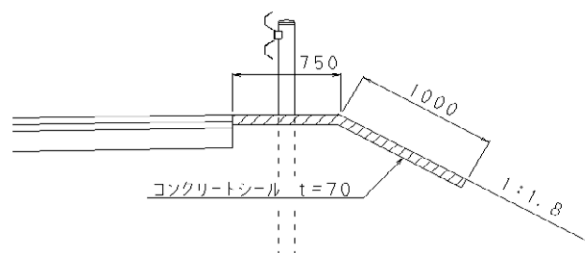


図-1 江津工事の施工断面(盛土部)

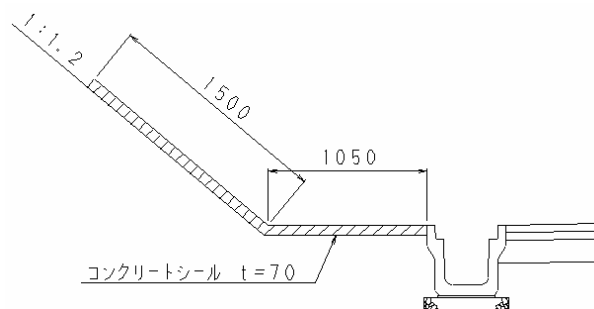


図-2 江津工事の施工断面(切土部)

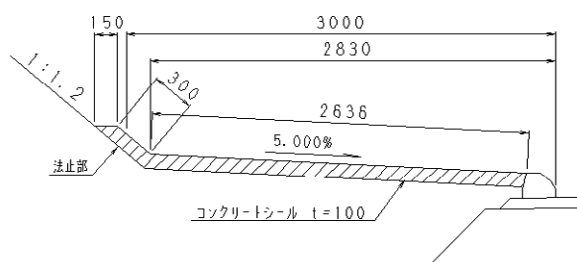


図-3 二ツ山工事の施工断面

表－１ 工事概要

工事名	江津道路嘉久志舗装工事	二ツ山地区改良舗装工事	岩国飛行場(15)滑走路移設南地区 幹線道路工事
工事場所	島根県江津市嘉久志地内	秋田県能代地区河戸川～柏子所地内	米海兵隊岩国基地内
発注者	国土交通省中国地方整備局 浜田河川国道事務所	国土交通省東北地方整備局 能代河川国道事務所	広島防衛施設局 建設部土木課
工 期	平成 16 年 3 月 24 日～ 平成 17 年 2 月 18 日	平成 16 年 3 月 11 日～ 平成 16 年 12 月 15 日	平成 16 年 3 月 12 日～ 平成 17 年 8 月 31 日
工 種	コンクリートシーリング 2900m ² t=7cm 平場 0.75m、法面 1.0m、勾配 1:1.8(盛土) 平場 1.05m、法面 1.5m、勾配 1:1.2(切土)	コンクリートシーリング 3990m ² t=10cm 平場 2.636m(5.0%) 法止め部 0.3m、勾配 1:1.2	コンクリートシーリング 2155m ² t=20cm 法面 3.167m、勾配 1:2.4
生コン 品質	スランプ 5.0cm±1.5cm 空気量 4.5±1.5 %	スランプ 5.0cm±1.5cm 空気量 4.5±1.5 %	スランプ 5.0cm±1.5cm 空気量 5.0±1.5 %

2－2．機械仕様

スリップフォームペーパーは、特性モールドを取り付けた GOMACO 社製 GT-6300 を使用した。それぞれの工事で使用したモールドの特徴と材料の供給方法を表－2 に示す。

表－2 モールド及び材料供給機

江津工事	盛土部勾配 1:1.8 モールドと切土部勾配 1:1.2 モールドを新規に製作。 材料の供給には盛土部、切土部共に GT-6300 専用の材料供給ベルコンを使用。
二ツ山工事	法止め部モールドは新規製作、その他は舗装専用モールドを転用。 モールドとの重量バランスを考慮してカウンターウェイトを載せるためのサイドマウントフレームを新規に製作。 材料の供給には横取り機(130m ³ /h)を使用。
岩国工事	舗装専用モールドを法面勾配にあわせるためのフレームとモールドへの材料投入ホッパを新規に製作。 材料の供給は横取り機から GT-6300 専用のベルコンに乗り継ぎしていたが、材料の分離から法肩部分にジャンカが発生。横取り機からモールドホッパへ直接投入に変更。

2－3．施工上の留意点と対応策

江津工事、二ツ山工事の施工厚はそれぞれ 7cm と 10cm のため、表面乾燥よりも地盤の吸水によるヘアク

ラックの発生、および法面においては勾配から起こるダレによるヘアクラックの発生と不陸の 2 点が懸念された。その対策として打設面にプライムコートを施して防水性を高め、法尻のダレ防止対策としてコンクリートに特殊添加剤を混入した。この添加剤はコンクリートやモルタルに含まれるセメント粒子間に存在する遊離水に作用して骨材の分離抑制と斜面でのコンクリートのダレを抑制する粘りを有し、パイプレータの振動が加わったときに流動性が向上するという相反する特性を持っている。

岩国工事では護岸工事が目的のため、施工厚が 20cm と厚く、勾配も 1:2.4 と急勾配なため、上記 2 件の施工同様生コンに添加剤を混入し、法面下側に鋼製の型枠を設置し端部の仕上げのみ人力作業とした。

2－4．施工結果

江津工事の施工状況を写真－1 に示す。当該工事の日当り最大施工延長は 170m(4h/day) で、工期は当初の人力施工 30 日の予定から 13 日間短縮することができた。また、人力施工では困難な法肩の線形の確保と法面の平坦な仕上がりが得られ、法面と平場の施工ジョイントからの浸透水防止にもつながった。

二ツ山工事の日当り最大施工延長は 230m、日当り平均施工延長は 150m となり、人力施工 28 日の予定から 21 日間短縮となった。モールドによるコンクリートの成形は満足できるものであったが、写真－2 の左端



写真-1 江津工事の施工状況（盛土部）



写真-3 岩国工事の施工状況

に見られるように切土部とモールドの端部の隙間からコンクリートが噴き出し、施工終了後にハツリ作業を要する部分が生じた。このため、モールド端部垂直方向に止め板を加工したが、材料ののみ込みが悪くなり、法止め部天場の整形に不都合が生じたことから、切土部法尻の整形とモールド端部の再加工を施したことで良好な仕上げが得られるようになった。



写真-2 ニツ山工事の施工状況

岩国工事の施工状況を写真-3に示す。当該工事の日当り平均施工延長は170mで、人力施工11日の予定から7日間短縮となった。施工当初は膨張目地の設置をスリップフォームペーパー通過後に一本爪リップを使用して設置していた。しかし、コンクリートの硬化が早く、目地設置後の人力仕上げが困難なことから、翌日にコンクリートカッターで切断した後、目地を設置することによりスリップフォームペーパーで仕上げた平滑な平面を保つことができた。



写真-4 岩国工事の端部仕上げ状況

写真-4に法面下の端部仕上げ状況を示す。法面下部においては、コンクリート版側面と型枠に角度がついているため締固め不足になる恐れがあった為、スリップフォームペーパー通過後に、棒パイプによる締固めを行い、人力による表面仕上げを行った。

今回初めての試みであったが、コンクリートシール工にスリップフォーム工法を採用したことにより、仕上がり面の品質に大きな成果を得ることができたと同時に、日当たり施工の増加によって全体工程を大幅に短縮し満足する結果となった。今後も構造物、舗装版の技術を応用することでスリップフォーム工法の可能性を拡げていきたい。

3. 材料供給方法改善の概要

3-1. 従来の課題

スリップフォームペーパーへの材料供給は、いろいろ試されてはいるが、満足できるものはなかった。一例として弊社は、既報¹⁾でトンネル内施工におけるハーフスリップフォーム工法で、横取り機とプレーサスプレッタの編成について報告した。これにより施工効率向上・工期短縮等の成果があった一方、専任オペレータが3人増加することと、生コン運搬車が通り抜けできないので材料供給効率が低下することが指摘されていた。これらの課題の解決策としては、スリップフォームペーパーに標準装備として付帯したベルコンを使用するという基本的な方法があるが、次のように材料密度が不均一化する課題が残る。

従来からのベルコンでスリップフォームペーパーの機側から生コンを供給すると、その落下位置はベルコンのヘッドプーリ端1ヶ所となるため、供給された生コンは山状に堆積した塊となる。図-4にその横断面模式図を示す。堆積山状塊に関しては、舗設後の版と断面積が同等とみなせ、(1)式が成立する。

$$H = \{T \cdot W \cdot (1 + \eta / 100) \cdot \tan \theta\}^{1/2} \quad (1)$$

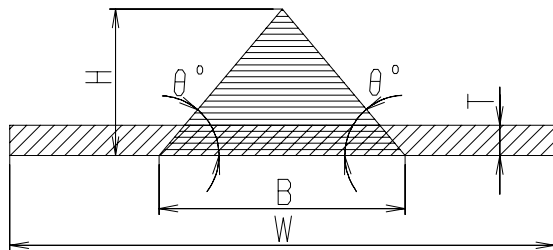


図-4 堆積山状塊の横断面模式図

ここに

T : コンクリート版の厚さ [m]

W : コンクリート版の幅員 [m]

B : 堆積山状塊の底辺長さ [m]

H : 堆積山状塊の高さ [m]

θ : 堆積山状塊の安息角 [°]

η : 余盛率 [%]

一例として、 $T=0.21\text{m}$ 、 $W=4.9\text{m}$ 、 $\theta=50^\circ$ 、 $\eta=10\%$ とした場合、(1)式より堆積山状塊は底辺1.95mで高さ1.16mとなり、かなり高い山状であることがわかる。

実際の現場では、横断方向の材料抱込み量の均一化を図るために、山状塊の生コンを敷きならし用スクリーによって左右の機側方向へ撒き出しを行っている。その結果、山状塊の底面部分は自重による圧密を受けて材料密度が高く、一方、撒き出された部分は材料密度が低くなる。この横断方向の密度の不均一が、エッジスランプ（端部のダレ）等につながり、版の仕上がり状態へ悪影響を及ぼすことが懸念されている。

写真-5は標準装備のベルコンを装着した状況であり、ヘッドプーリが高い位置に設定されている。



写真-5 従来のベルコンの状況

3-2. 改善した材料供給方法

ほぼ水平に設置したベルコン上にデフレクタ（材料そらせ板）を置き、ベルコン上で横行できる構造を考案した。これにより、ベルコンで搬送されてきた材料は、デフレクタのある位置で向きを変えられ、ベルコンの側方に落下する。また、デフレクタを連続的に移動し、材料の落下位置を変更することができる。その結果、1ヶ所に供給材料の高い山をつくらずに幅方向に分散して材料を堆積させることができ、敷きならした材料の密度を均一に仕上げる事が可能となった。材料の流れと堆積の概念を図-5に示す。

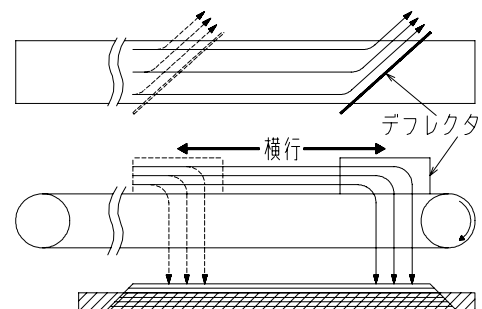


図-5 材料流れの概念図

3-3. 構造および施工実施例

スリップフォームペーバは米国 GOMACO 社製 Commander III New-generation を使用した。横行式デフレクタ付ベルコンを装着した新型装置の外観を写真-6に、主仕様を表-3に示す。ベースとなるベルコンにはモジュラータイプのものをを用い、そのパイプフレームをデフレクタの横行レールとして利用し、軽量化を図った。

デフレクタ装置は横行駆動装置から切り離して構成し、ユニット化した。生コン運搬車の通行側によってベルコンの向きが左右入れ替わっても、材料の落下方向をオペレータ側に向けることができる。また、磨耗によって部品を交換する場合、交換時間の短縮も図れる。デフレクタの横行及びベルコンの駆動はスリップフォームペーバ本体の油圧を用い、新規に設計した油圧回路を追加するだけで済ませ、動力ユニットを新たに追加することなく、コンパクトにおさめることができた。横行の自動往復モードをスイッチで選択することにより、オペレータの操作によらず、両端に付けたリミットスイッチで指定された任意の範囲で横行往復動作を繰り返すことができるようにした。また、別に設けた手動スイッチではデフレクタを任意の位置に移動・停止させることができるようにもした。

本装置を使用して施工する場合、新たなオペレータは必要なく、スリップフォームペーバのオペレータがベルコンの操作を兼務する。従来の横取り機を使用する方法に比べると3人の要員を削減できた。

東海環状自動車道猿投山トンネルの施工において、本新型装置を使用し、均一なコンクリート版を舗設することができた。同トンネルは上り線延長が約4.4km、下り線延長が約4.2kmとかなり長い。ハーフスリップフォーム工法に本新型装置を組み合わせることで、生コン運搬車の通り抜けが可能となり、材料運搬効率を格段に向上させることもできた。平均舗設延長で324m/日、最長舗設延長は500m/日に達し、出来高を伸ばすことができた。その施工概要を表-4に示す。このような延長の長いトンネルの施工では、生コン運搬車や作業車の通り抜けの可否が施工能率に大きく影響する。それが可能なハーフスリップフォーム工法は、能率向上の面で適していると評価できる。



写真-6 新型装置外観

表-3 主仕様

走行装置形式	4脚クローラ
総質量	16,740 kg
エンジン定格出力	126 kW
表面仕上げ装置	オートフロート
ベルト幅	600 mm
ベルト速度	100 m/min
ベルト駆動油圧	17.2 MPa

表-4 猿投山トンネル施工概要

路線	上り線	下り線
施工面積	42246 m ²	41375 m ²
施工幅	4.9m, 4.6m	4.9m, 4.6m
版厚さ	210 mm	
スランプ	3.5±1.5	
空気量	5.5±1.5 %	
施工期間	H17/4/23~9/25	

3-4. 他の課題と対応

横行式デフレクタ付ベルコンの装着により、専任オペレータを増やすことなく、均一な密度のコンクリート版を舗設することができ、通り抜け可能な通行帯を確保して舗設能率が向上することが確認された。しかし、施工を通して判明した次なる課題は当然ある。基本的な課題として次の2点の解決が求められた。

3-4-1. 幅を適合させる課題と対応

第1の課題は、現場によって異なる幅の条件にベルコンの長さを適合させる方法である。最初の施工現場では試行錯誤の要素が多く、調達性の良いモジュラータイプのベルコンをベースにした。トンネル幅または舗設幅が大きく異なる場合、通り抜け可能な通行帯を

確保しつつ施工するためには、ベルコンの中間ユニットを着脱してベルコン長さを変更する必要がある。その都度、コンベヤベルトも巻きかえる必要があり、経済的・時間的に大きな負担となる。この課題解決の方法として、スライド伸縮式や回転式等の案を検討した結果、最終的に油圧シリンダによる折りたたみ式を改良型ベルコンに採用した。比較的構造が簡単で軽量化可能であること、様態を短時間で変更できること、アクチュエータの油圧源が本体に既存であることが採用の主な理由である。生コン受取側になるテールプーリ側のベルコンフレームを約2メートルの長さで分割し、残りの固定されたベルコンフレームにピン支持により接合し、2本の油圧シリンダで回転する構造とした。生コン運搬車や作業車両が通過する際には、回転するベルコン部分をほぼ鉛直に立ち上げて通行帯を確保する。生コン受取時には水平位置に戻して作業を行う。これにより約1.7mの幅の変化に対応可能となった。なお、更なる幅の変化にも対応できるよう、固定されるベルコンフレームに中間ユニットを追加できる構造も加えた。ただし、その場合にはコンベヤベルトを巻きかえる必要がある。

3-4-2. 耐久性向上の課題と対応

モジュラータイプベルコンを使用した最初の装置は、軽量化と調達性でメリットはあったが、強度と耐久性に乏しい面があった。生コン運搬車との若干の接触等にも耐えることができる強度と耐久性のあるベルコンフレームを、チャンネル鋼材を骨組みにして新規に設計した。横行するデフレクタ装置を強化するとともに、磨耗部分は容易に部品交換できる構造とした。

上記課題に対応した改良型装置の外観を写真-7に示す。中国地方整備局「東広島バイパス 国信トンネル他舗装工事」の瀬野川トンネルの施工から改良型装置を適用した。その施工概要を表-5に、施工状況を写真-8に示す。延長は約250mと短い距離ではあったが、改良型装置の効果を確認することができた。

4. おわりに

スリップフォーム工法の適用範囲は広がりを見せており、その構造物の高付加価値化も図られている。その一つにパターンドスリップフォーム工法がある。高速道路のセンターバリヤにレンガブロック模様や乱貼



写真-7 改良型装置外観

表-5 瀬野川トンネル施工概要

路線	国道2号 東広島バイパス
施工面積	2200 m ²
施工幅	8.5 m (2分割)
版厚さ	300 mm
施工期間	H17 / 7~8月



写真-8 瀬野川トンネル施工状況

り平板模様等を同時に成型していくもので、美的景観が向上する。スリップフォームペーパーのモールド後端直後にパターンを彫り込んだゴム製のロールをセットし、コンクリート仕上げ面に型押しで成型する。後日カラーリングを施せば一層効果的である。今後も技術開発・改良を通して更にスリップフォーム工法のメリットを生かしていきたい。

最後にこの工法を理解し、採用して下さった関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 鈴木, 山内: ハーフスリップフォーム工法による施工について 第25回道路会議論文集, 日本道路協会, 2003年11月5日