

3DMC システムを適応したコンクリート舗装の事例

—スリップフォーム工法への情報化施工技術の活用例—

平野 晃

舗装分野においても舗装の出来形管理だけでなく、施工機械の制御にGNSSやTSを利用する事により、設計どおりの構造物を成型する情報化施工システムが確立されつつある。このシステムは、熟練オペレータが減少していく中で、所定の品質確保の有効な手段であるとともに、施工の効率化も期待できる。今回、自動追尾トータルステーションを利用したスリップフォーム工法によってコンクリート舗装を行ったのでここに報告する。

キーワード：コンクリート舗装，スリップフォーム工法，3DMC，トータルステーション

1. はじめに

情報化施工とは、情報機器を利用し、施工管理や施工の合理化に活かす技術のことである。その中でもここ数年、三次元マシンコントロールシステム（3DMC）は、舗装業界において実用化され、飛躍的な進歩を遂げている。

近年の3DMCには、①GNSS（Global Navigation Satellite System）とレーザを融合し、mm単位の制御を可能にしたmmGPSシステムと、②トンネル内での工事のように閉塞された場所など上方視界の影響を受けずに施工可能な自動追尾式のトータルステーションを利用した制御システムがある。

これらのシステムは三次元の位置情報をリアルタイムに測定しながら施工を行い、省熟練化、生産性の向上、施工の合理化を押し進める面からも有力な手段になりうると期待されている。

情報化施工技術の活用として、3年ほど前よりmmGPSシステムと自動追尾トータルステーションシステムを導入し、これらのシステムを適応した舗装技術の普及に取り組んできた。本文では、その中で、ライカ・ジオシステムズ社がGOMACO社のスリップフォームペーパー専用開発した自動追尾トータルステーションによる3DMCシステムであるライカLMGS-S（Leica Machine Guidance System-Slip Form Paver）についてシステム概要と構成を紹介するとともに同システムを導入して、連続鉄筋コンクリート版舗装、および、トンネル工事での普通コンクリート版舗装を行った施工事例について紹介する。

2. システム導入のメリット

従来工法と比較して、本システム導入により、以下のようなメリットがある。

- ①従来の制御用センサーロープ設置、丁張り設置工等の施工前準備作業が簡素化され、施工の効率化が図れる。
- ②舗装機械周辺、作業エリア内からセンサーロープ等の障害物が無くなり、作業の安全性が向上する。また、アジテータからの材料供給がスムーズになるため、生産性の向上が見込まれる。
- ③現場の設計データを基準として、機械制御から出来形管理までを行うので、データ共有化による施工の合理化が図れる。

3. システム構成

(1) システム概要

本マシンコントロールシステムは、スリップフォームペーパーのマシンフレーム左右にマストを立て、その先端部に360°プリズムを設置する。そのプリズムを2台の自動追尾トータルステーションで、1秒間に5～10回測定する。これらの測定値は無線モデムによってマシンに搭載されたマシンPCに送信される。また、同時にマスト下方に取り付けられた2軸勾配センサによって、マシンのモールドの縦横勾配に関する情報もマシンPCに提供される。

このように継続的にモールドの位置、高さ、勾配情報を使用して、実際（現時点での）のモールド位置、

高さ、勾配および進行方向が算出される。これらのモールドの実位置情報（位置、高さ、勾配）は、マシンPC内で3D設計モデルと瞬時に比較され、実際値と設計値の比較差（偏差）は補正值として、機械本体のマシンコントローラ（油圧制御用）へ送信し、油圧制御によって機械本体およびモールドを設計ライン上および基準面上に誘導されるシステムである。

本システムの概念を図-1に示す。

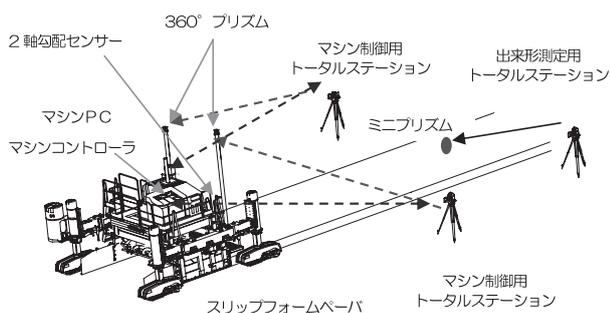


図-1 システムの概念

(2) 主なシステム制御機器

主なシステム制御機器を以下に示す。

(a) トータルステーション：TCP1201（3台）

機械制御用として2台のトータルステーションで自動追尾を行う。また、出来形測定用として1台のトータルステーションにて敷きならし高さおよび、仕上がり高さの測定を行う（写真-1）。



写真-1 トータルステーション：TCP1201

(b) スリップフォームペーバ

スリップフォームペーバ（GOMACO社 コマンダーⅢ GT-6300 ニュージェネレーション）の外観および仕様の概略を写真-2、図-2および表-1に示す。

(c) マシンコンピュータ（1台）

本システムの全ての制御を司るメインPCで、機械制御用トータルステーションからのデータ受送信のため、3台の無線モデムを備えている（写真-3）。



写真-2 スリップフォームペーバの外観

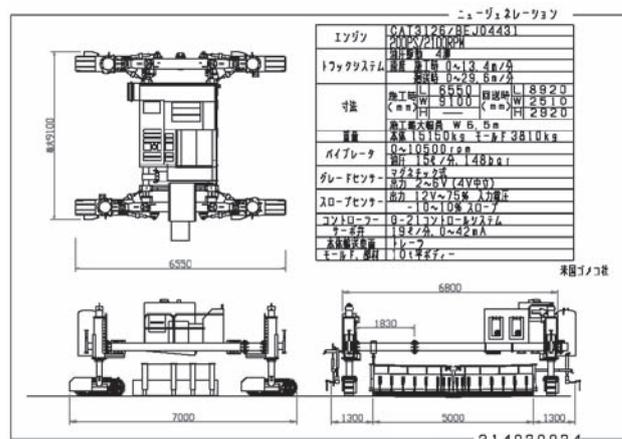


図-2 スリップフォームペーバの仕様の概要

表-1 仕様

エンジン	CAT3126/BEJ04431 200PS/2100RPM
トラックシステム	油圧駆動 4脚
速度	施工時 0～13.1 m/min
	回送時 0～26.9 m/min
寸法 (mm)	施工時 L 6,550 × W 9,100
	回送時 L 8,920 × W 2,510 × H 2,920
	施工最大幅員 : W 6,500
重量	本体 : 15,150 kg モールド : 3,810 kg
パイプレータ	0～10,500 RPM
グレードセンサ	マグネチック式
コントローラ	G21 コントロールシステム
輸送車両	本体部 : トレーラ
	モールド・部材 : 10t 平ボディー車

(d) G21 マシンコントローラ

本装置は、スリップフォームペーバ本体に内蔵されており、マシンPCから送信された指令（補正值）を受け、前後左右の4つのトラック（クローラ）の高さ、進行方向を油圧制御するものである（写真-4）。



写真-3 マシンコンピュータ

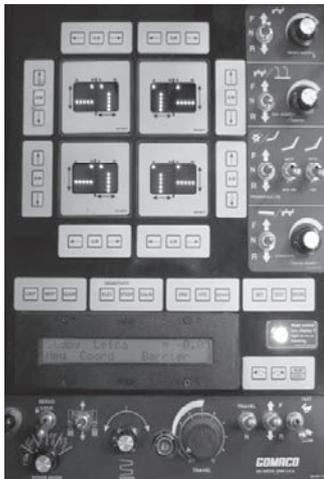


写真-4 G21 マシンコントローラ

(e) 2軸勾配センサ (2台)

モールドの縦断・横断勾配をリアルタイムに計測し、マシンPCにデータをリンクする (写真-5)。

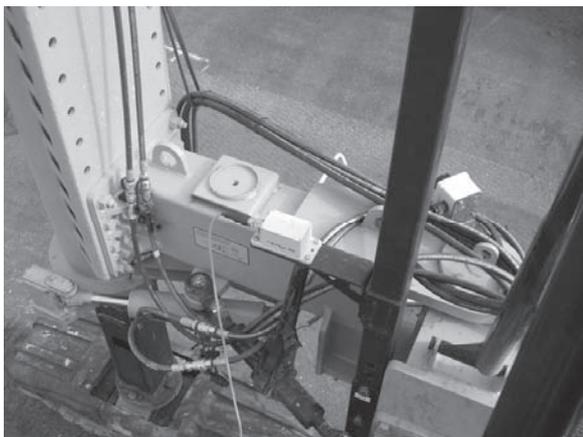


写真-5 2軸勾配センサ

(f) 360°プリズム (機械視準用×2台)

機械視準用のターゲットとして、マシンフレームの左右にマストを立て、その先端部に360°プリズムをセットする (写真-6)。



写真-6 360°プリズム

(g) 360°プリズム (後方交会用×3台)

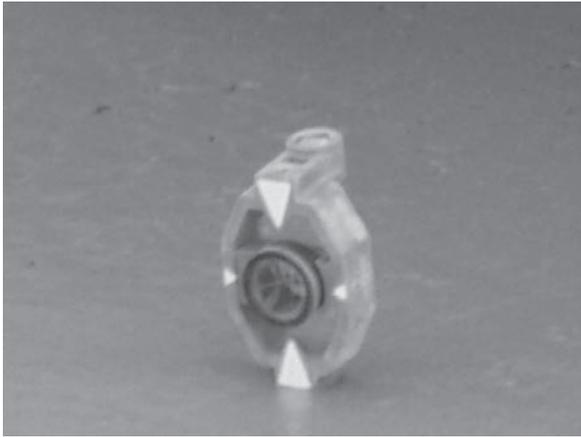
トータルステーションを任意の位置に設置する際に既知の基準点にプリズムを設置 (3箇所以上) して、トータルステーションの位置座標を測定算出する (写真-7)。



写真-7 360°プリズム

(h) 出来形測定用ミニプリズム (1台)

敷きならし直後、または打設完了後に舗装面上に設置して舗装の出来形を測定する (写真-8)。



写真一 8 出来形測定用ミニプリズム

4. 明かり部の施工事例

本システムを用いたスリップフォーム工法による連続鉄筋コンクリート舗装の施工事例を以下に紹介する。

工事概要を表一 2 に示す。

表一 2 工事概要

工事名	総社バイパス植木地区舗装工事
施工期間	平成 19 年 12 月 17 日～ 平成 20 年 1 月 30 日
施工場所	岡山県総社市植木地区内
工種	連続鉄筋コンクリート舗装
使用機械	GOMACO 社 コマンダーⅢ GT-6300 ニュージェネレーション
施工幅員	4,215 ～ 4,325 m
施工延長	1,530 m
施工数量	6,500 m ²
施工厚さ	25 cm

(1) 施工準備

データファイルの作成

【設計データファイル】

システムを運用するには、計画設計データファイルが必要となる。データ作成には、① 3次元 CAD から設計データを作成する方法と、② Excel ファイルで設計データを作成、編集する方法がある。1 横断面のデータは最大 50 点、ファイルデータは最大 3,000 点とする。また、設計データは実際の施工幅員よりも幅広くデータを作成する必要がある。

今回の施工では、②の方法で 500 ポイントの設計データファイルを作成した。

【基準点データファイル】

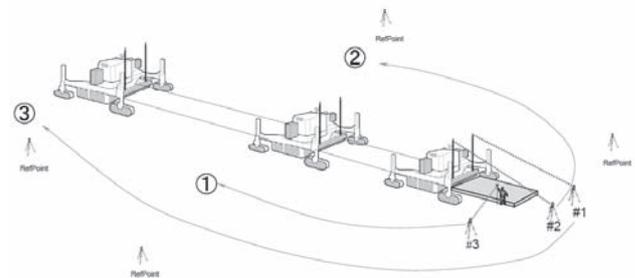
基準点データは、施工時に設置するトータルステーションの位置座標を確認するための基準点となり、施

工エリアを囲むように設置する必要がある。

今回の施工では、設計データファイルと同様な方法で 40 ポイントの基準点データファイルを作成した。

(2) 機器の据付

3 台のトータルステーションを機械制御用、出来形測定用に順番にローテーション（移動セットアップ）させることで、継続的にロングスパンの施工が可能となる。ここで、トータルステーションのターニングの概念を図一 3 に示す。なお、ターニング時の器械高さの誤差は、マシン PC の自動補正機能により処理される。また、機械据付上の留意点を以下に示す。



施工開始時：すべての TS を後方視準位置に配置。

- Part1：#3TS をマシン制御用に移動
#2TS を出来形測定用に切替え
- Part2：#2TS をマシン制御用に移動
#1TS を出来形測定用に切替え
- Part3：#1TS をマシン制御用に移動
#3TS を出来形測定用に切替え

図一 3 TS のターニングの概念 (#1, 2, 3)

【機器据付上の留意点】

- ① GPS のように上方視界に左右されないが、光波の視準を妨げる障害物等の影響を受けない位置に据え付ける。
- ② 施工条件、施工距離を考慮し、施工方向に対して、前方からの視準、後方からの視準を検討する。
- ③ 据付け地盤の悪い箇所は極力避ける。また、沈下、振動による三脚のずれ等に備え、定期的に水準を確認する。
- ④ 光波とマシンの最大操作距離は 100 m 程度（メーカー推奨値：150 m）を目安にターニング（盛換え）を行う。

(3) 施工

アジテータトラックで現場に搬入した生コンを本体のベルトコンベアで横取りし、本体に供給する。

本体部のモールドで生コンを所定高さに敷きならし成型後、本体に付帯するオートフロートにて表面仕上

げを行った。

施工状況を写真—9に示す。



写真—9 施工状況

(a) 施工中の高さ調整および出来形確認

出来形測定用トータルステーションおよびハンドプリズムにて随時、敷きならし高さを確認する。施工開始直後、勾配変化点付近は十分に確認する必要がある。高さ方向の制御に関しては、制御の追従性は生コンの性状に依存するところが大きく、舗装高さを適宜測定確認し補正、調整操作を行う必要がある。打設時に円形水路等の構造物が設置してある場合は、現況構造物の高さを測定し設計データの入れ替えを行った。

写真—10に測定状況を示す。

(b) 施工中の水平方向の制御

施工機械をスタート位置にセットすると設計ラインに対して、若干のずれが生じており、施工開始前にデータをオフセットし補正処理を行った。また、施工中も適宜成型後の水平位置を確認し、補正処理を行った。



写真—10 出来形測定状況

(4) 出来形測定結果

出来形測定結果を以下に示す。

①位置精度（設計ラインに対する精度）

水平方向に±10mm以内、高さ方向に±6mm以内の精度を確保した。

②舗装面の平坦性

平坦性は、 $\sigma = 1.0$ mm以下（規格値： $\sigma = 1.8$ mm以下）であった。

5. トンネル部の施工事例

本システムを用いたトンネル内部でのスリップフォーム工法による普通コンクリート版舗装の施工事例を以下に紹介する。

工事概要を表—3に示す。

表—3 工事概要

工事名	平成19-20年度福井トンネル舗装工事
施工期間	平成20年5月13日～平成20年6月13日
施工場所	徳島県阿南市福井町貝谷～海部郡美波町田井
使用機械	1層目) GOMACO シリンダフィニッシャ C-650 2層目) GOMACO コマンダーⅢ ニュージェネレーション
施工幅員	4,250 mm
施工延長	1,278 m
施工数量	11,060 m ²
施工厚さ	25 cm

(1) 機器の据付

トンネル内部での施工は、閉塞空間であるため、トータルステーションの据付には、以下の点に留意した。

【機器据付上の留意点】

- ①カーブ（曲線部）の施工では、トータルステーションの追従性を考慮し、ターニング距離（盛換え）を70m間隔とした。
- ②先行打設レーンでの施工は、材料搬入車両の通行などで、トータルステーションの追従を遮断する恐れがあるため、トータルステーションの設置には、専用のブラケットを製作し、トンネル地覆に固定した。
- ③間打ちレーンでの施工は、トータルステーションの追従性が良好であったため、三脚を使用して、トータルステーションの設置を行った。専用ブラケットによるトンネル地覆へのトータルステーションの設置状況を写真—11に示す。

(2) 施工

アジテータトラックで現場に搬入した生コンを、1層目施工では、シリンダフィニッシャ C-650 を使用して、所定厚さの2/3を敷きならした。



写真一11 トータルステーション設置状況

鉄網・目地金物設置後、2層目施工では、スリップフォームペーパーを使用して、本体部のベルトコンベアで生コンを横取りし、本体のモールド前部に供給する。本体部のモールドで生コンを所定高さに敷きならし成型後、本体に付帯するオートフロートにて表面仕上げを行った。

施工状況を写真一12に示す。



写真一12 施工状況

(3) 施工中の水平方向の制御

カーブ（曲線部）部の施工において、敷きならし成型後の舗装幅員が、直線施工部と比較して舗装幅員が減少する傾向にあった。これは、一旦成型された施工端部をモールド後端が削り取る状態で走行したことによるものである。カーブ部の施工では、これらの現象を考慮し、補正が必要である。

(4) 出来形測定結果

出来形測定結果を以下に示す。

①位置精度（設計ラインに対する精度）

水平方向に±10mm以内、高さ方向に±6mm以内の精度を確保した。

②舗装面の平坦性

平坦性は、 $\sigma = 1.0$ mm以下（規格値： $\sigma = 1.6$ mm以下）であった。

6. まとめ

位置精度および舗装面の平坦性測定結果から、所定の規格値を満足させる結果が得られた。よって、ライカLMGS-Sシステムによるスリップフォーム工法は所定の出来形管理基準を十分に満足する舗装施工システムであると判断できる。

7. おわりに

情報化施工においては、「現場設計データの処理」「現場の現況測量」「基準点の位置決めおよび測量」「設計データと現況比較」等の施工前準備作業が、実施工での精度、効率を大きく左右する重要なポイントとなる。これらの処理には技術力が要求され、また、労力も要する。情報化施工導入により、作業の省力化・施工にかかわる省熟練化等の期待が大きい反面、新たな技術力、および人材養成等も要求される。また、コスト面での対比効果等、今後のシステム普及に向け、総合的な観点からシステム運用を検討していく必要がある。

JCMA

《参考文献》

- 1) 平野晃・関口峰・多田勝俊：3DMCシステムを適応したコンクリート舗装の事例、舗装、43、pp.22-26（2008.8）

【筆者紹介】

平野 晃（ひらの あきら）
大成ロテック(株)
生産技術本部機械部
グループリーダー

