

24. コンクリート舗装へのICT施工技術の適用

スリップフォーム工法への適用事例

大成ロテック株式会社 ○ 関口 峰
大成ロテック株式会社 平野 晃
大成ロテック株式会社 越村 聡介

1. はじめに

情報化施工とは、ICT（Information Communication Technology）の活用により得られる電子情報を活用して生産性向上と高効率、高精度な施工を行うことであり、施工管理や施工の合理化に活かす技術のことである。日本においては、産学官による情報化施工の戦略的な普及方策が推し進められている。また、国土交通省直轄工事においては、大規模工事では、2010年、小規模工事では、2012年までに標準的施工方法として推進するように位置づけられている。¹⁾

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、舗装業界においても実用化され、飛躍的な進歩を遂げ急速に普及している。

近年の3DMCの代表例としては、①「GNSS（Global Navigation Satellite System）」とレーザ技術を融合し、mm単位の制御を可能にした「高精度GNSSシステム」と、②測量機器の1つである「自動追尾式のトータルステーション」（以下TSという）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位、測定しながら施工を行うため、一般的に以下のようなメリットが知られている。

- 1) 計画した設計データ通りに施工を行うため、経験の少ないオペレータでも高精度の施工が可能となり省熟練化を図ることができる。
- 2) 計画設計高に対する現況の把握が容易になることや従来の丁張りを使用した点の管理から連続した面の管理が可能となり、生産性の向上が期待できる。
- 3) 設計データを基準として、機械制御から施工後のデータ管理まで一元化できるので施工の合理化を期待できる。

大成ロテック㈱（以下、当社）においては、3年ほど前より高精度GNSSシステムと自動追尾式TSによる3DMCシステムを導入し、これらのシステムを適用した舗装技術の普及に取り組んできた。今回、当社では、自動追尾式TSによる3DMCシステムをスリップフォームペーバに適用したコンクリート舗装を行っている。本文では、システム概要と構成を紹介すると共に、施工事例について紹介する。

2. スリップフォーム工法に3DMCシステムを適用する場合のシステム構成

2.1 スリップフォーム工法

スリップフォーム工法とは、①コンクリートの供給・②敷き均し・③締固め・④成型・⑤表面仕上げの機能を備えた自走式施工機械を使用して、型枠を設置せずにコンクリート版やコンクリート構造物を連続的に打設する工法である。スリップフォームペーバの外観を写真-1に示す。



写真-1 スリップフォームペーバ外観

2.2 自動追尾式TSを適用した3DMCシステムの概念

スリップフォーム工法に自動追尾式TSによる3DMCシステムを適用する場合のシステム概念を以下に示す。

- ① スリップフォームペーバのマシンフレーム左右にマストを立て、その先端部にTS視準用の360°プリズムを設置し、

そのプリズムを2台の自動追尾式 TS で、1 秒間に 5～10 回測定する。

- ② 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。
- ③ マスト下方に取り付けられた2軸勾配センサによって、モールドの縦横勾配に関する情報もマシン PC に提供する。
- ④ 継続的にモールドの位置、高さ、勾配情報を使用して、現時点でのモールド位置、高さ、勾配および進行方向が算出される。
- ⑤ 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る。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）へ送信され、油圧制御により施工中の舗設高さや縦横断方向の傾き補正、機械のステアリング操作を全て自動制御で行う。

自動追尾式 TS による 3DMC システムの概念を図-1 に示す。

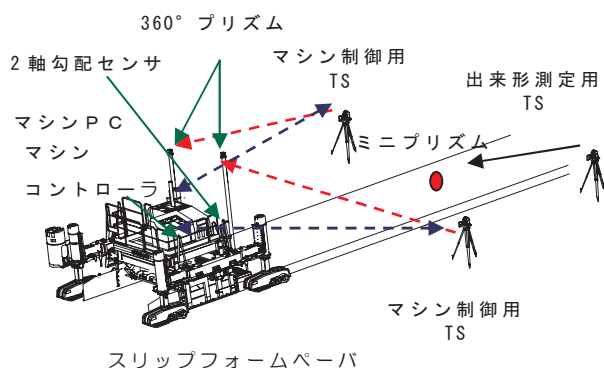


図-1 3DMC システム概念図

2.3 自動追尾式 TS による 3DMC システムの制御機器の役割

自動追尾式 TS による 3DMC システムの制御機器を以下に示す。

（a）自動追尾式 TS（3 台）

機械制御用として2台の TS で自動追尾を行う。又、出来形測定用として1台の TS にて敷きならし高さ及び、仕上がり高さの測定を行う。

（b）360° プリズム（TS 設置用×3 台）

TS 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、TS の位置座標を測定算出する。

（c）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。

（d）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コンピュータで、TS 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。

（e）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。

（f）2 軸勾配センサ（2 台）

施工機械の縦断・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。

（g）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。

3. 自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法の優位性

従来のスリップフォーム工法の施工においては、出来型の目安となる丁張りや機械の舗設高さ、機械のステアリングを制御するセンサーライン等の基準物は、測量機器を用いて施工エリアに一定の間隔で設置する必要があった。施工機械のオペレータは、それら基準物を目安とし、機械を操作し、現場を構築していくものである。

自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法は、標準的なスリップフォーム工法と比較して、以下のメリットがある。

- ① 施工機械のオペレータが、ステアリング、高さの管理による拘束が軽減され、付加価値の高い施工、品質管理（出来形管理）に目を配ることができる。
- ② 丁張り、センサーライン等の基準物を必要としないので設置工程が削減され、生産性の向上が見込まれる。また、施工エリアの障害物が減少するので、施工がスムーズに行う事ができ均一な品質が得られやすい。センサーラインの破損、緩み等の取り扱い不備が排除され、生産性が向上する。
- ③ 施工中の検測作業が簡素化され、施工機械との近接作業が減少し安全性が向上する。
- ④ 従来工法では、基準物を目安にした点での管理であったが、設計データを元にして面での管理が可能となる。また、ステアリング、高さの制御は、標準的なスリップフォーム工法では、3mm 単位の制

御であったが、自動追尾式 TS による 3DMC システムでは、1mm 単位で制御可能であるので、高精度の施工が可能である。

- ⑤ 設計データを基準として、機械制御から出来形管理までの一連の作業工程を行うので、データが一元化され効率的な施工管理が可能となる。

4. 施工事例

4.1 明かり部での適用事例

現場は、一般国道の新設のバイパス道路で、区間の一部をコンクリート舗装で施工した。また、今回の施工においては、品質や生産性の向上を目的として、自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法で連続鉄筋コンクリート舗装を行った。

工事概要を表-1 に示す。

表-1 工事概要

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
施工幅員	4.215m～4.325m (4 車線)
施工延長	382.5m
施工数量	6500m ²
施工厚	25cm

4.1.1 施工準備

4.1.1.1 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
- ② Excel ファイルで設計データを作成、編集する方法がある。

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。

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、施工機械に取り付けられたプリズムが設計データエリア外になると、TS での機械の制御が不可能になるため、設計データは実際の施工エリアよりも幅広くデータを作成する必要がある。そこで、施工機械の移動を考慮し、施工延長に対し、前後 30m の設計データも作成した。施工幅員に対しては、実際の施工幅員よりも外側に

に 1m ずつ離れた座標を設計データとして作成した。更に、勾配変化点、曲線部の設計データはデータ作成間隔を細かくする必要がある。本現場は、施工エリアが直線区間であり、横断勾配も一定であったので、縦断勾配の変化について考慮し、縦断勾配が一定の区間では、設計データの設置間隔を 5m、縦断勾配が変化する点の前後 10m の区間では、設計データの設置間隔を 1m とした。

【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。

4.1.2 機器の設置・取り付け

自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法に施工を行うには、TS 等のシステム機器を設置する必要がある。機器を設置する際の留意点を以下に示す。

- ① GNSS のように上方視界に左右されないが、TS 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。本施工現場においては、材料運搬車や他の車両の影響を受けにくい機械進行方向の左側に TS を設置した。
- 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 送受信無線モデムは、できるだけ高い位置に設置し、送受信の環境を可能な限り良好なものにする。
- ⑤ 機械本体のプリズムマストは可能な限り高く設置した方が、障害物の影響を受けにくくなるが、高く設置するほど、プリズムの振幅も大きくなり、TS の視準を外れる恐れがある。本施工では、プリズムマストの設置高さを TS の設置条件、材料運搬車の高さ等を考慮しプリズムマストの設置高さを決定した。
- ⑥ 操作距離が、150m 程度でも通信追尾は可能であるが、操作距離が長くなると誤差が大きくなる傾向にあるので、TS とマシンの最大操作距離は 100m 程度を目安にする。

4.1.3 施 工

材料運搬車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。供給された生コンは、スクリーオーガで横断方向に撒き広げられ、モールドで生コンを所定高さに敷きならされる。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-2 に示す。



写真-2 施工状況

4.1.4 施工時の調整及び出来形確認

出来形測定用 TS およびミニプリズムにて随時、敷きならし高さを確認する。施工開始直後および勾配変化点付近は測定間隔を短縮し充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、設計計画データと差違がある場合は、設計計画データの高さを調整した。

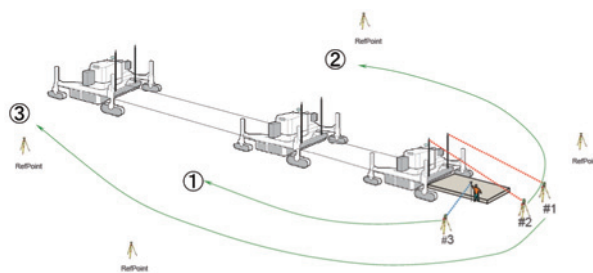
写真-3 に測定状況を示す。



写真-3 出来形測定状況

4.1.5 TS のターニング

3 台の TS 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、TS のターニングの概念を図-2 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



施工開始時：すべての TS を後方に配置

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-2 TS のターニングの概念 (＃1, 2, 3)

4.1.6 適用結果

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舗装面の平たん性

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

4-2. トンネル内での適用事例

4.2.1 工事概要

現場は、横断勾配 1.5% の両勾配で、緩やかなカーブになっている。表-2 に工事概要を示す。

施工は、スリップフォーム工法で行い、以下の手順とした。本工事では、アジテータトラックで現場に搬入したコンクリートを、2 層に分け施工を行うもので、1 層目の施工では、シリンダフィニッシャを使用して、所定厚さの 2/3 を敷きならした。鉄網・目地金物設置後、2 層目の施工では、スリップフォームペーパーを使用して、コンクリートを所定の高さに敷きならし成型した。本

施工では、スリップフォームペーパーの走行、敷きならし高さの制御を、自動追尾式 TS による 3DMC システムでの自動制御で行った。

表-2 工事概要

施工期間	平成 20 年 5 月 13 日～6 月 13 日
施工場所	徳島県
施工幅員	4,250mm (2 車線)
施工延長	1,278m
施工数量	11,060m ²
施工厚	25cm

4.2.2 TS 設置方法の検討

TS の設置は、通常は専用の三脚を使用する。しかし、材料搬入車両の通行などで、TS の追尾を遮断する恐れがあるため、専用のブラケットを製作し、トンネル地覆に固定した。

写真-4 に TS 設置状況を示す。



写真-4 TS 設置状況

TS の制御範囲を超えた場合は、TS のターニングが必要になる。直線区間では、通常、100m 程度を目安にターニングを行うが、曲線区間では、TS の見通せる距離が限られるため、ターニング距離を直線区間より短縮し、70m 間隔とした。

追尾方法としては、施工機械の「前方からの追尾」と「後方からの追尾」の 2 通りが考えられたが、前方からの追尾では、材料搬入のアジテータトラックによって TS の追尾が遮断されることが予想されたため、後方から追尾する方法を採用した。

4.2.3 設計データの検討

設計データは、3 次元データが用いられる。設計データの作成に際しては、直線区間では、横断勾配が一定であったので、縦断勾

配の変化について考慮し、設計データの設置間隔を 5m、縦断勾配が変化する点の前後 10m の区間では、設計データの設置間隔を 1m とした。曲線区間では、機械走行の線形性を考慮し、設計データの設置間隔を全て 1m 間隔とした。

4.2.4 施工

施工起点に機械を配置する際に、モールドの位置が施工ラインに対して若干ずれている場合がみられた。この場合は、水平方向及び高さ方向をオフセット処理し補正した。実際の施工においては、舗装高さを適宜測定確認し補正、調整操作を行った。

施工機械に取り付けたプリズムに対し、TS の追尾が交錯する可能性もあったので、左右のマストの高さに差を設け、TS の追尾が交錯しないような方法とした。その結果 TS の追尾は交錯する事なく良好であった。

施工状況を写真-5 に示す。



写真-5 施工状況

4.2.5 適用結果

施工終了後、舗装面の硬化を確認し、ミニプリズムと TS を使用して、舗装面の仕上がり高さを測定した。

得られたデータは、ばらつきが小さく、±3mm 以内に全観測数の約 70% が入る高い施工精度が確保できた。

路面の平たん性は、上り線 $\sigma=1.12\text{mm}$ 、下り線 $\sigma=0.95\text{mm}$ と規格値 1.6mm 以下を満たす結果が得られた。

5. 考察

施工において施工速度は、1.0～1.5m/min で平均施工速度は 1.2m/min であった。本施工で使用した自動追尾式 TS による 3DMC システムの制御周波数は、5～10Hz であった。制御する間隔は(1)式で表す事ができる。

$$W=1000v/60f \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

W：制御間隔 [mm]
v：施工速度 [m/min]
f：制御周波数 [Hz]

(1)式によれば、本施工においては、施工縦断方向 2～4mm 走行する毎に一度制御されていた計算である。施工速度と制御周波数の関係は、位置精度に影響を及ぼす要素である。スリップフォームペーバにおいては、モータグレーダ等の敷き均し機械と比較して、施工速度は非常に低速であり、施工結果からも十分な位置精度は確保されており、スリップフォームペーバに自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用する場合の制御周波数は問題ない範囲であると推定できる。

6. まとめ

自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法の施工を行った結果以下のような所見が得られた。

- ① 現場内が、座標系がしっかりしており測定の精度が良好な場合には、設計図面を元に設計データ、基準点データファイルの作成する方法を適用することが可能である。設計が明確でない場合や当初の設計から出来形が変更になっている等の理由により図面上の計画と出来形が必ずしも一致しない場合は、現場の出来形をトータルステーションにて測量し、設計データを作成する方法も検討が必要である。
- ② 機器の設置、取り付けに関しては、良好であった。曲線部施工においては、スリップフォームペーバに取り付けた 360° プリズムに対し、TS の視準が交錯する可能性もあるので、左右のマストの高さに差を設け、TS の視準が交錯しないような方法も有効であった。
- ③ 急激な勾配変化等がない一般的な施工条件では、水平方向の制御精度は、概ね ±10mm 以内であり、高さ方向の制御精度は、概ね ±6mm 以内である。今後は、各種施工条件におけるシステムの信頼性把握のため、施工データの蓄積が必要となる。
- ④ 施工起点に機械を配置する際には、水平方向及び高さ方向はオフセットし補正処理をする必要がある。
- ⑤ 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。

- ⑥ 自動追尾式 TS による 3DMC システムをスリップフォーム工法に適用する場合の制御周波数は 5～10Hz で問題ない。
- ⑦ スリップフォームペーバに自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用することにより、施工の効率及び作業の安全性が向上し、データ一元化による施工の合理化を図ることができた。

以上のことより自動追尾式 TS による 3DMC システムを適用したスリップフォーム工法は、位置精度及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、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。これらの処理には機械の特性、測量、情報化機器等の専門知識が要求され、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メリットが大きい反面、新たな技術力および、人材育成等も要求される事も考慮しなければならない。

情報化施工は、建設生産性を向上させ、魅力ある現場作りを実現する有効なツールになる可能性をもっている。今後は、3DMC システムを様々な施工現場に応用し、更なる改善を図ると共に普及に努めていきたい。

参考文献

- 1) 情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略,2008 年