

新幹線スラブ軌道新設における 3D 測量を利用した CAM 注入厚測定法の開発

大鉄工業株式会社 正会員 ひらの けんいちろう 平野 健一郎

はじめに

スラブ軌道は、省力化軌道として整備新幹線を中心に多く採用されている軌道構造で、従来のまくらぎやバラストに代えて、コンクリート製のスラブ版とセメントアスファルトモルタル（以下 CAM）がレールを支える軌道である（図-1）。このスラブ軌道の新設工事では、まずスラブ版を現地へ運搬し、その後基準器を基にレールレベルやカント、勾配を加味したスラブ版の位置・角度調整を行い敷設完了後、スラブ下に CAM を注入する。その際、スラブ下面と路盤との間の CAM 注入範囲全てにおいて、定められた最低注入厚（ $t=40\text{ mm}$ ）が満たされているかどうかを事前に確認しておかなければならない。万が一、スラブ調整後または CAM 注入後、最低注入厚を満たさない箇所が発見された場合は、スラブ版を撤去し路盤面を削正して下げた後、再度スラブ版を敷設、調整、CAM 注入をすることになる。こうした大きな手戻り作業を防ぐため、スラブ敷設前に路盤を調査しておく必要がある。今回当社が施工する九州新幹線（長崎ルート）においては、3D スキャナーを用いた新たな路盤測量システム“3D-Surface O”を計測ネットサービス㈱と共同で開発し、施工した。本論文ではこの新システムについて述べる。

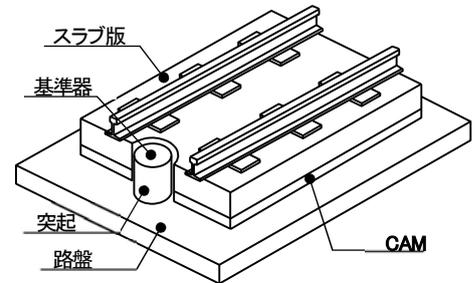


図-1 スラブ軌道構造略図

1. 従来の路盤測量の問題点

これまで、CAM 注入厚不足による手戻り作業発生を防ぐため、実物大スラブ模型を用いて CAM 注入厚を測定し、確認していた（図-2）。これには約 $5\text{ m} \times 2\text{ m}$ もの大きなスラブ模型を測定箇所まで運搬する必要があり、なおかつ実際のスラブ調整と同じように施工するには6名以上の作業員が必要となり、1日に約40枚分程度の測量が限界であった。加えて調査後のデータ整理、施主への提出物作成などにも多くの時間を要し、当社社員や協力業者にとって大きな負担となっていた。

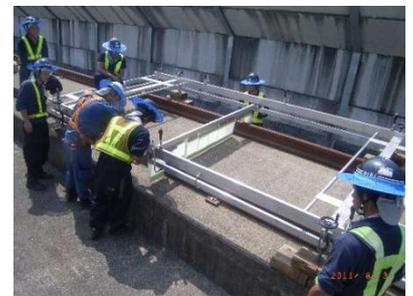


図-2 従来方式の路盤測量

2. 3D スキャナーを用いた新測量法の開発

そこで、当現場では計測ネットサービス㈱と共同で、3D スキャナーを利用した路盤測量法を新たに開発することにした。開発コンセプトは、①調査人員の削減 ②調査機材の可搬性向上 ③調査結果の即時出力 ④成果物作成の簡略化 の4点である。

3D スキャナーを用いた測量は当社においても在来線での橋まくらぎ交換時の寸法測定等で前例があるが、新幹線新設工事においては初の試みであった。今回は、元々高速道路等での路面変状をリアルタイムで計測するシステムに利用されている Leica 社製のマルチステーションと呼ばれる機器（図-3）を選定した。これは従来のトータルステーションに3D スキャナー機能を加えたもので、機器本体からレーザーを照射しコンピュータ上に対象物の形を描画することができる。このマルチステーションを用いて路盤面をスキャンし、コンピュータ上で解析を行うことで、CAM 注入厚の計測を可能にすることを目指し、システムの開発を行った。



図-3 Leica 製マルチステーション

3. 技術的検討事項

(1) 仮想スラブ面の構築

このシステムを開発する上でまず課題として浮かび上がったのが、仮想スラブ面の構築方法である。路盤面をスキャンしたデータに仮想スラブ面を重ね合わせるためには、正確な基準器の位置情報が必要となる。しかしながら、この基準器には絶対的な座標値がないため、スキャンしただけではコンピュータ上で仮想スラブ面と重ね合わせるができない。そこで、測量対象路盤の基準器を個別に測量することで、任意で作成した座標系の中に各基準器の座標値を求め、そこに路盤面をスキャンした点群データを重ねる方式とした（図-4）。この方法で求めた各基準器の座標値を基に、基準器とスラブに関するデータ（スラブ高さ・カント量等）を与えることで、仮想スラブ面を構築することが可能となった。

キーワード 新幹線軌道新設, スラブ軌道, 鉄道路盤, CA モルタル, 3D 測量

連絡先 〒856-0027 長崎県大村市植松2-726-4 植松ビル2F 大鉄工業㈱北陸支店 東彼杵新幹線作業所 TEL0957-54-5510

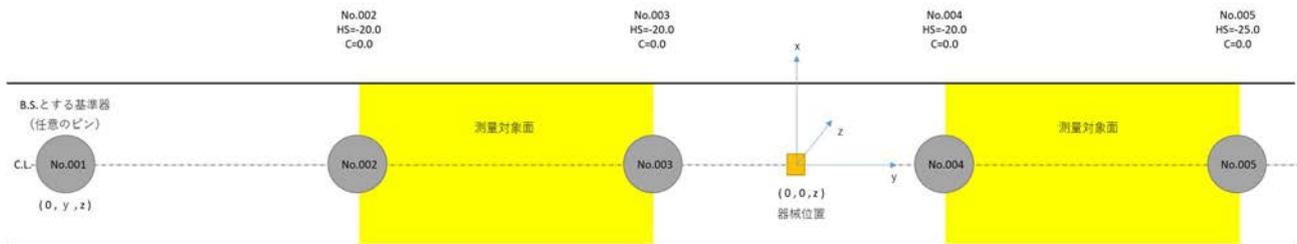


図-4 座標系の作成

(2) 3D データの解析方法

コンピュータ上での仮想スラブ面の構築が可能となったところで、次にレーザーによる3Dスキャン時の点群データの解析方法について検討を行った。解析を行う上で、得られた点群データ全てを解析することは計算上非常に時間がかかる上、測定対象である路盤は基本的には極端な凹凸のない平面であることから、測量対象面を適当な幅のメッシュに区切り、その中から点を選定して解析することとした。

メッシュの幅については、測量後の結果出力時の見易さや、路盤を下げる必要があった場合のハツリ作業の施工性を考慮して20cm四方のメッシュとした。また、レーザースキャンの点群密度を高く設定すれば得られるデータ量が増えるが測定に時間が掛かる。精度と計算量のバランスを加味し、最も機械から遠い端部でもレーザーの点間距離が45mm以下となるように設定した。

次に、そのメッシュを用いて路盤高さを解析するため、設定したメッシュをさらに4分割し、その中の点群から各1点ずつを選定して、それぞれを繋いで出来た2つの三角形の面の、メッシュ中央での高さを路盤面高さとする（図-5）。

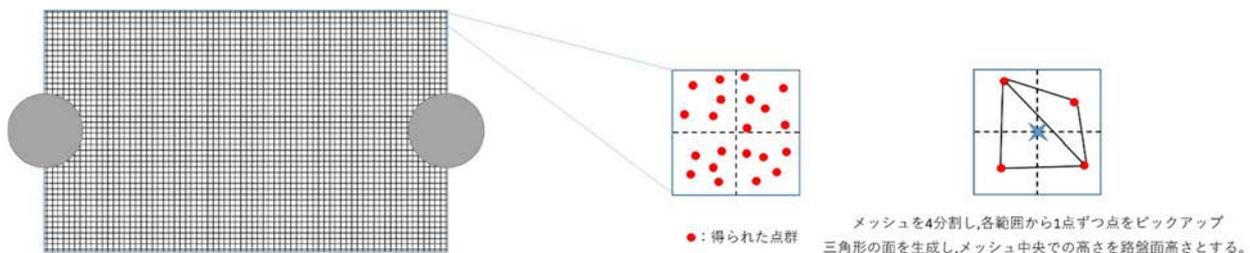


図-5 メッシュ法による路盤高さ解析イメージ

4. 新システムによる路盤測量施工と結果

以上の技術的検討を経て、3Dスキャナーを用いたシステムの構築を行い、当現場において測量を行った。この新システムを活用することで、路盤測量に必要な人員はマルチステーション取扱者、コンピュータ取扱者とピンポール取扱者の3名で施工が可能となり、従来の測量方法と比べ人員を1/2以下へと大幅に減らすことが可能となった。機械の可搬性に関しても、台車等で十分運搬可能である。なお、この方法では機械と隣接する起終点方の2枚ずつを測量することができるため、一度で最大4面測量することが可能である。同一方向の2面を測量する場合およそ5分程度でスキャンが完了でき、50枚/日以上以上の測量が可能となり、従来と比較して125%以上の施工量が確保できるようになった。

測量結果については、コンピュータにおいてその場で解析を行い、画面上でリアルタイムに確認が可能な仕様とした（図-6）。一目で見分けるように、色分け表示され、必要な路盤削正量も表示される。実際にスキャンして得た点群データについても同じく確認が可能である（図-7）。

このように現地で即座に測量結果の表示が出来るようになったことで、万が一CAM注入厚不足箇所が判明した場合でも、測量しながらのマーキングが可能で、かつ測量完了箇所から順次路盤削正を並行して施工することも可能となる。さらに、測量結果は図-6に示す通り成果物として施主へ提出できる様式に自動で出力されるため、社員の業務負担を格段に軽減することができた。

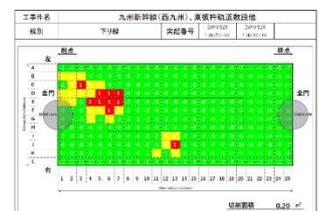


図-6 結果出力表示例



図-7 点群データ表示例

5. さいごに

今回、このマルチステーションを用いた新測量システム“3D-Surface O”の開発、施工においては当初の開発コンセプト通り、路盤測量に関わる負担が大きく軽減され、昨今の課題でもある“省力化・機械化”と“働き方改革”に寄与することができた。加えて発注者である(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構様からこの測量法についてご承認頂き、今回の九州新幹線新設では全区間においてこのシステムが導入された。今後の北陸新幹線の延伸工事等でも導入される予定で、新幹線路盤の新測量システムとして確立させることが出来た。