

名神・東名から新名神・新東名への施工技術 ～機械化施工からICT・IoT活用の時代へ～

(株)NIPPO
総合技術部
部長
山岸 宏



(株)NIPPO
総合技術部
生産開発センター長
相田 尚



はじめに

わが国の高速道路建設は、1958(昭和33)年に起工された名神高速道路山科試験工事から始まったが、NIPPOは特命で当該工事を受注した。1965(昭和40)年には名神高速道路(以下、名神)が全線開通し、さらに1969年(昭和44)年には東名高速道路(以下、東名)大井松田IC-御殿場ICが開通して、東京-神戸が高速道路で繋がった。

東名・名神の舗装工事では、プラントや施工機械の多くが輸入あるいは試作され、また、それまでなかった技術・工法や管理手法が導入・試行された。

東名・名神の開通から約30年が経った1990年代後半には、将来の産業・文化・経済発展を支えるとともに、東名・名神とのダブルネットワークを形成すべく、1996(平成8)年に新名神高速道路(以下、新名神)、1998(平成10)年に新東名高速道路(以下、新東名)の建設が開始された。

現在まで漸次整備が進められているが、近年NIPPOが受注した工事では、生産性向上、安全性向上、作業環境改善等を目的とし、ICT・IoTを積極活用・導入している。

ここでは、まず、弊社が受注した名神・東名工事における当時の様子に触れ、続いて、近年の新名神・新東名工事において弊社が行っている取組みについて紹介する。

名神・東名高速道路における施工技術

(1)名神高速道路【山科試験工事1960.8～1961.1】

わが国の高速道路に適用する舗装については、当初、ドイツのアウトバーンを模範とし、コンクリート舗装の採用が有力だった。しかし、建設資金の一部を世界銀行から借款することとなり、最終的に、より経済的なアスファルト舗装となった。本線の舗装断面は図-1(左)に示すとおりである。

山科試験工事は大津～京都間の4.3kmで、工期延長は決して長くなかったが、後の本格的な高速道路建設を想定し、設計の妥当性、施工・管理方法の確認、施工能力・技術力の検証、技術者・監督員の養成などが入念に行われた。仕様書は存在したが、この通りにいかない場合は原因の究明・分析が繰り返し行われ、適宜修正された。これらの成果は1961(昭和36)年に発行された工事仕様書に反映され、以降の高速道路工事における規範となった。

路床準備工では、土工事から引継いだ横断勾配4%の路

床表面を、シーマンミキサで10cm程度を掻起こし、2%に修正・整形した。

サブベース工では、当該工事のために開発したロータリーミキサープラント(100t/h)、ベースコース工では、コンテナアスプラント(80t/h)を用いて路盤材を製造した。

サブベースコース工、ベースコース工ともに、モーターグレーダで路盤材を厚さ10cm×2層で敷きならし、タイヤローラ、マカダムローラで締固めた。複数あったタイヤローラのうちの1台は国産初の25tタイヤローラであった。

また、現在、路床・路盤工の品質管理試験として標準化されているブルーフローリング試験は、当該工事で初めて試行された。

バイндаコース工には、最大粒径20mm、アスファルト量5%程度、サーフェスコース工には、同12.7mm、6%以下の密粒度式アスファルト混合物を、当時最新式のBG892型バッチ式アスファルトプラント(60t/h)で製造して用いた。

施工厚さは、バイндаコース工が6cm、サーフェスコース工が4cmで、ともにBG60A型アスファルトフィニッシャーで敷きならし、マカダムローラで初期転圧、タイヤローラで二次転圧、三軸タンデムローラで仕上げ転圧を行った。

なお、サーフェスコース工完了後の平坦性の規格値は、3mに3mm以下であった。

(2)東名高速道路【鮎沢-松田舗装工事1968.8～1969.5】

鮎沢-松田舗装工事は、東名建設工事の最終工区となる松田IC-御殿場IC間にあった。本線の舗装断面は図-1(右)に示すとおりで、東名工事から、本線土工部のベースコース工にスファルト安定処理路盤(ブラックベース)が設計された。

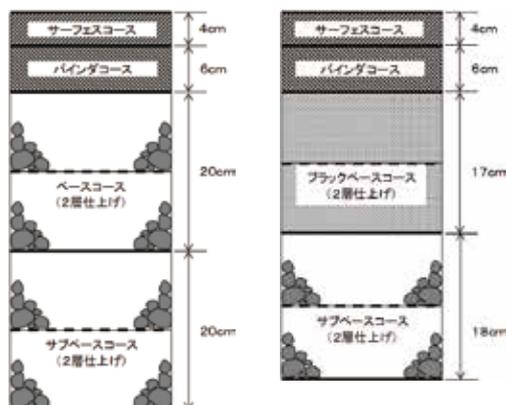


図-1 舗装断面(左:名神、右:東名)

また、工区内には複数のトンネルと橋梁があり、特殊舗装が適用された。

吾妻山トンネル、都夫良野トンネルのサーフェスコース工には、フランスから技術導入したサルビアシム舗装(半たわみ性舗装)が適用された。開粒度アスファルト舗装にセメントミルクを流し込み、試作した専用スクイーザで浸透させた。

酒匂川橋にはグースアスファルト舗装が採用された。グースアスファルトフィニッシャで敷きならし、プレコートチップを散布した後、スパイクローラで表面を粗面に仕上げた。

皆瀬川橋、鮎沢パーキングエリアのサーフェスコース工には、ゴムラテックスを6~10%配合したゴム入りアスファルト舗装が採用された。当初は、二次転圧のタイヤローラにこれが付着したため、最適な転圧温度が繰り返し検討された。

新名神・新東名高速道路における施工技術

2010年代前半、新名神・新東名の舗装工事において、情報化施工技術が導入され始めた。

路床・路盤整正工に使用するモーターグレーダやアスファルト舗装工に使用するフィニッシャに自動追尾型トータルステーション(以下、TS)によるマシンコントロール(以下、MC)が適用され始めた。また、コンクリート舗装工では、この頃急速に普及してきたスリップフォーム工法において、TS-MCが標準的に行われるようになった(写真-1)。



写真-1 スリップフォームペーパーのTS-MC

生産性向上、省人・省力化

2016(平成28)年頃からは、高速道路の建設現場においても、ICT・IoT技術を活用した生産性向上に関する取組みが積極的に行われるようになった。

ここでは近年、弊社が受注した新名神・新東名工事で行っている取組みを紹介する。

(1)アスファルト混合物の現場到着見える化;「N-ロケ」

建設資材の運搬車両の現場往来については、運行経路沿道および現場周辺地域に与える影響を十分考慮し管理する必要がある。また、アスファルト混合物の運搬時間の延

伸は、混合物の温度低下を招き、舗装の品質や出来映えに影響を与える懸念がある。

「N-ロケ」は、アスファルト混合物の運搬車両の位置情報をテキスト化し、インターネットを介して関係者に通知するシステムである。Web地図上に、ジオフェンスと呼ばれるチェックポイントを設定し、運搬車両にはGPSトラッカーを搭載する。当該車両がチェックポイントを通過すると、現場担当者が持つタブレットやスマートフォン等に「○○を通過しました」等がテキスト表示される(写真-2)。

また、現場やプラントへ向かっている車両、プラントで待機している車両等のリアルタイムの位置情報をWeb地図上で確認できる。様々な立場の関係者が当該情報を得ることによって、特に相互連絡することなく、舗設現場が施工速度を調整したり、プラントが製造・出荷のタイミングを調整したりすることで、施工待ちや材料待ちがないスムーズな施工が可能になる。結果として、完成したアスファルト舗装の品質や出来映えの向上が期待できる。



写真-2 ジオフェンスと通過情報画面

(2)アスファルト混合物の温度管理;「N-コレ・サーマル」

アスファルト舗装における品質管理項目の一つに、既定工程における温度測定がある。従来手法では、温度測定が既定された工程各所に配置された専任の測定員が、温度計を用いて混合物の温度を測定するため、複数の測定員が必要である。さらに、現場到着温度の測定は、運搬車両の荷台上で行われることが多く、荷台上への昇降や高温かつ足元が不安定な混合物上での温度測定には危険が潜在している。

「N-コレ・サーマル」はWiFiロガーおよび温度センサを用いてアスファルト混合物の温度測定を自動的に行うシステムで、一連の流れは以下のとおりである。①プラントで運搬車両にアスファルト混合物を練り落した後、その中にWiFiロガーを接続した温度センサを挿入する。なお、WiFiロガーおよび温度センサは運搬車両の荷台に固定されている(次頁写真-3)、②走行運搬中、WiFiロガーに当該混合物の温度が連続的に記録される、③運搬車両が現場に到着し、現場に設置されたWiFiエリアに入ると、それまでWiFiロガー記録されたデータが自動的にクラウドへアップロードされる、

④運搬車両がアスファルトフィニッシャに接続し、ダンプアップしてアスファルト混合物が荷台から滑り落ちると、温度センサが混合物から外れ、測定温度が一気に低下する。この低下直前の温度を現場到着温度とする。



写真-3 WiFiロガーの設置状況

なお、当該システムを行うためには、現場内にWiFi環境を構築する必要があるが、屋外において確実にデータを取得するため、アスファルトフィニッシャに可搬型屋外設置型WiFi装置を設置する。これによりフィニッシャを中心とした半径約100mをWiFi化することが可能となる(写真-4)。

また、当該システムを使用することにより、現場到着温度を測定するための専任測定者が不要となるだけでなく、運搬車両荷台への昇降がなくなることで、省力化と安全性が向上する。さらに、従来、測定員がメモ記録していた温度データは、デジタルデータとしてクラウドへアップロードされるため、現場担当者のみならず、管理者や発注者もリアルタイムでデータを確認することができる。



写真-4 WiFi装置の設置状況

(3) 舗設情報の記録管理;「Pave-IR」

アスファルト舗装では、運搬車両の荷台やアスファルトフィニッシャのホップの隅等、いわゆるデッドスペースにアスファルト混合物が長時間滞留して温度低下することがある。

温度低下した混合物は塊状で、容易に目視認識できるため、通常は運搬車両の誘導員や作業者がこれを発見して除去している。しかし、仮に、温度低下した混合物が適性に温度管理された混合物に紛れ込んでしまうと、目視での判別は不可能で、さらにこれが敷きならされた場合は、舗設完了後供用中に発生するポットホールや破損の原因となる可能性がある。

「Pave-IR」は対象範囲を連続的に撮影できる赤外線カメラで、これをアスファルトフィニッシャ後部に取り付けることで、混合物の敷きならし面の温度をリアルタイムにモニタで可視化・確認できる。仮に温度低下した混合物や異物が混入した場合は、モニタ上で混入部分が色別表示されるため、容易に発見し、施工中に材料の入れ替えや手直しが可能になる(写真-5・6)。また、IRスキャナはGNSSアンテナや気象計も備えているため、舗設位置、施工速度、気象データなどを同時に取得できるため、これらを、施工時のトレーサビリティとして活用することもできる。

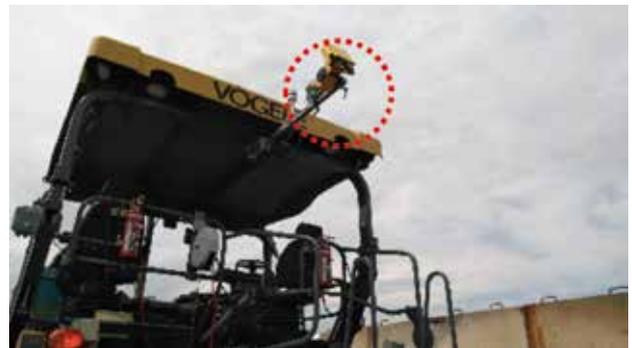


写真-5 Pave-IRの設置状況



写真-6 Pave-IRのモニタ画面

(4) クラウド型転圧管理システム;「スマートローラ」

従来、盛土の締固め管理方法としては、締固め回数を定めた工法規定方式が一般的で、決められた範囲を踏み残しなく、所定回数を実際に転圧しなければならない。このため、土工分野では、従前からローラオペレータが、転圧箇所および回数をリアルタイムにモニタで視認しながら作業できる「転圧管理システム」が普及している。

一方、アスファルト舗装では、転圧回数に加え、転圧温度も規定されているため、前述の転圧管理システムでは不十分であった。

「スマートローラ」は、転圧箇所、回数、温度をリアルタイムにモニタ表示でき、これをクラウドへアップロードすることにより、ローラオペレータだけでなく、管理者や現場担当者が同じ画面を視認できる。クラウドを利用することで、施工データの一元管理が可能となり、施工時の省力化やトレーサビリティとしての活用も図られる。

なお、当該技術は、位置情報の取得にVRS方式(仮想基準点方式)のRTK-GNSSを用いている。固定局の設置やローカライズの設定を行う必要がないため、時間や場所の制限を強いられる舗装修繕工事においても適用が可能である(写真-7)。



写真-7 スマートローラの使用状況

(5) 出来形検測を一人で作業;「N-コレ・メジャー」

舗装は積層構造物であるため、工事完了後は表層以下の層が不可視となる。このため、舗装の出来形管理は、各層の施工が完了する度に行う必要がある。

管理項目は、各層の高さと幅員であるが、従来は、測点ごとに、仮高位置に水系を緊張し、水系から仕上がり面までの距離(下がり)をコンベックス等で実測した後、仕上がり高さを算出する下がり測定および巻尺により施工幅を実測する幅員測定を行っている。専任の検測員は、測定後、その値を黒板および野帳等に記入し、測定状況および測定値を確認できる写真を複数枚撮影する。

従来手法では、専任の検測員の他、水系の緊張やスケールの固定などに5名程度の人員が必要となり、また、検測員は帰社後、撮影した写真と記録した測定値を確認しながら出来形帳票を作成しなければならない。現場における作業の効率化・省人化だけでなく、事務所での作業の効率化の視点からも改善の余地があると思われるが、長期にわたって当該管理手法に変化はない。

「N-コレ・メジャー」は、舗装工に求められるmm単位の測定精度をもつフォトグラメトリ技術を適用したものである。フォトグラメトリ技術とは、三次元の物体を複数個所から撮影して得た二次元画像から視差情報を解析して、その寸法および形状を求める写真測量技術である。

機材構成はデジタル一眼レフカメラ、専用ソフト入りPC、基準スケール、各種ターゲットであり、当該システムの実施方法は、以下のとおりである。①基準スケールとターゲット

しながら、異なる位置から写真を撮影(約8枚)、③デジタルカメラとPCを接続しデータを取り込む、④データを確認し、ターゲットを撤去する。基準スケールとターゲットおよび測定状況を写真-8に示す。

測定は1名で行い、一測点あたりにかかる時間は5分以内である。データの取り込みは、デジタルカメラとPCを接続した時点から始まり、数十秒後にはPCモニタに仕上がり高さおよび設計値との差等が表示された帳票がアウトプットされる(図-2)。また、当該システムを用いて得られた測定値は、水準測量による測定値と同等で、水系を用いた方法による測定精度以上であることも確認されている。

当該システムを使用することにより、測定データがデジタル化され、測定人員の削減と測定時間の短縮、事務所でのデータ整理および帳票作成の手間を省くことが可能で、出来形管理の省人化・省力化が図られる。



写真-8 基準スケールとターゲット(上) および測定状況(下)



図-2 帳票画面

(6) 施工情報の一元管理;「N-P Manager-Co+」

コンクリート舗装工の管理項目の一つに、生コンクリートの「出荷からの時間」がある。現状は、時間管理が必要な工程(出荷、到着、荷卸し、打設完了)各所に配置された専任

の担当者が個別に時刻を確認・記録しているため、リアルタイムに情報共有されていない。また、管理帳票等を作成するためには、各担当者がそれぞれの記録を持ち寄って集計しなければならない。

N-P Manager-Co+は、前述した「(1)N-ロケ」に二次元カラーコードによる認識機能を付加し、コンクリート舗装工用にアレンジしたシステムである(写真-9)。

運搬車両にNロケで使用しているGPSトラッカーと二次元カラーコードを設置し、時間管理が必要な工程各所および要所に二次元カラーコードを認識するためのタブレットを設置する。運搬車両が到着・通過すると、GPSトラッカーの位置情報および二次元カラーコードを認識した時刻がクラウドにアップロードされ、出荷、到着、荷卸し、打設完了の時刻が帳票に自動記録される(図-3)。

現場担当者および関係者は携帯端末等のブラウザアプリを通じて、時刻情報は元より、打設の進捗状況や現場の気象(温度、湿度)状況、性状試験時に手動入力された試験データなども閲覧、確認、共有できる。

これにより生コンクリート打設時における施工情報の一元管理および帳票の自動作成が可能となり、人員の削減や省力化が図れる。また、N-ロケ本来の機能により運搬車両の動態管理ができ、安全性が向上するだけでなく、プラント側での運搬車両の滞留状況の把握や材料が適切な品質で使用されているかを遠隔地においても確認することができる。



写真-9 二次元カラーコード



図-3 N-PManager-Co+のシステムメイン画面

(7)切削機マシンコントロールシステム;「3D-RTC」

現在、新東名では、既設の路肩部分を走行車線とするための6車線化工事が進められている。修繕工事と同様に、まず、切削機で既設路面を切削するが、ここにTSを用いたMCを適用しようとする、TSの設置場所の制限や盛り替え作業に伴う労力、TS視準のための監視員が必要になるなどの課題が生じる。

「3D-RTC」は、GNSSとグレードセンサを組合せて施工機械の作業装置の高さを制御するシステムである。従来の3D-MCシステムは、標高を制御パラメータとしていたが、当該システムは、厚さを制御パラメータとしている。予め測定した任意点における現況高さデータと設計高さデータから差分(設計厚さ)を算出し、施工機械がGNSSにて自機の二次元位置を認識しながら、外付けのグレードセンサで計測された現況高さを基準として設計厚さを切削する(図-4)。

本システムを使用することで、TSを設置する必要がなくなり、これに係る作業がすべて不要となるため、大幅な省力化が図れる。

精度については、熟練オペレータによる施工精度と比較して遜色ない結果が得られている。また、従来、通行する一般車両による揺れやたわみ等の影響でICT施工ができなかった橋面舗装への適用も可能である。



図-4 3D-RTCの概要

安全性向上/作業環境改善

ICT・IoTは、生産性向上だけではなく、安全性の向上や作業環境を改善する目的としても活用されている。最近の新名神、新東名工事で活用している技術をいくつか紹介する。

(1)重機と作業員の接触事故防止;「WSシステム」

舗装工事は、常に人と重機が混在して作業を行っている。こうした環境下で、作業性を損なうことなく、安全対策を実施するためには、その安全装置に正確さと信頼性が要求される。過去にも様々な安全対策機器が開発・運用されてきたが、センサ技術の進歩による機器の陳腐化、誤検知による機器の信頼低下、取り扱いの煩わしさなどの課題も多かった。

WSシステムは、「仲間から被害者も加害者も出さない」を基本理念とし、人が重機に近づかないように警告するとともに、仮に人が危険エリアに入ってしまった場合には重機を緊急停止させる。人物検知方法は二種類あり、一つはロー

ラなどの重機に取り付けた磁界発生装置によりICタグを装着した作業員を検知する方法であり、もう一つはステレオカメラにより人物を検知する方法である。これら両システムは、機械に後付けすることができるため、レンタル、リース機械への取り付けが可能である。タイヤローラの緊急停止WSシステム-TRの概要を図-5に示す。



図-5 WSシステム-TRの概要

(2) 作業員の健康管理; 「NIPPOバイタルチェッカー」

建設現場では、熱中症などの労働災害防止や日常の体調管理を目的に、朝礼時の体調確認、休憩所の環境整備(冷房、塩分補給など)、WBGT値に基づく注意喚起などが行われている。

弊社では、作業員にスマートフォンとセンサ端末を所持させることで、現場での疲労度を可視化し、体調管理できるシステムを導入している。作業員は小型の温湿度計と腕時計型ウェアラブル端末の二つのセンサとスマートフォンを携帯する。スマートフォンには専用アプリがインストールされており、個人設定(年齢、身長、体重等々)を入力する。スマートフォンはBluetoothにて二つのセンサと接続され、外気温・湿度、ウェアラブル端末から作業員の心拍数や活動量の情報を収集し、個々人にあった熱中症危険度を表示する。

各センサから得られた情報を元に熱中症危険度が算出され、注意段階になった時点で、事前に登録してある全ての関係者へアラートが発せられる。このため、現場担当者のみならず、工事所長などの全体を管理する立場の者も、作業員の変調をリアルタイム知ることができる。当該システムの概要を図-6、各管理画面を図-7に示す。



図-6 バイタルセンシングの概要



図-7 バイタルチェッカーの管理画面

(3) 遠隔支援システム「Vista Finder」 「i-BowQube」

通信技術の進歩によって、現場と事務所や本・支店等にある端末をインターネットで繋ぐことで、相互のリアルタイム画像を送受信できるようになってきた。弊社では、当該システムを活用し、管理者が現場に行くことなく、現場の状況を目視確認しながら、現場担当者に指導やアドバイスする取り組みを行っている(写真-10)。

特に若手技術者のフォローやトラブル時の対応に使用することを目的での導入が増えてきているが、署名機能を追加するオプションも開発し、これを発注者と共有することで、立会検査の活用にも使われ始めている。



写真-10 遠隔支援システムの使用状況

おわりに

ここでは、わが国の高速道路建設の黎明となった名神・東名工事における当時の様子に触れ、次に、近年、弊社が新名神・新東名工事で実施している様々な取り組みを紹介した。

名神・東名工事で行われた施工技術の機械化や製造・施工機械の大型化および現在新名神・新東名工事で行われているICT・IoTの活用は、様相こそ違え、ともに生産性向上が主たる目的であることに変わりない。

生産性向上に係わる技術開発は、今後、新たなステージを迎え、現在も飛躍的な進展が続くAI技術やセンサ技術等を導入・活用した新たな施工方法が生み出されていくことになると思われる。

今後も、現場の生産性向上、さらには施工の全自動化・無人化施工に向け、一層精励する所存である。