

整備新幹線建設の軌道工事における情報化施工

鉄道建設・運輸施設整備支援機構

○小池 智士

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員

大野 哲男

1. はじめに

鉄道の軌道構造は、砕石を用いたバラスト軌道が一般的だが、整備新幹線の軌道構造は高速走行安定性や保守省力化の観点からスラブ軌道を標準としている（図-1）。また、スラブ軌道は施工速度が速く、長大な新線建設に適した軌道構造である。

現在建設中である九州新幹線西九州ルート（武雄温泉・長崎間、以降、西九州ルートと言う）においても、工事延長約 67km に対しほぼ全線においてスラブ軌道を採用している。スラブ軌道の敷設には、基準器設置工事、軌道スラブ製作運搬工事、軌道敷設工事などの複数の工事受注者が関与しており、工事受注者間で施工情報の共有を正確に行う必要がある。従来は測定記録などの施工情報を紙媒体で伝達するなどの方法で行っており、施工情報の管理・伝達方法の効率化・省力化が課題となっていた。また、建設作業員が減少していること、整備新幹線の建設工事は継続的に行われる工事ではないことなどから、スラブ軌道工事の熟練作業員が不足している。これらの課題解決を目的として、近年建設現場へ導入が進められている ICT を活用して、スラブ軌道工事における情報化施工に取り組んだ。



図-1 完成したスラブ軌道

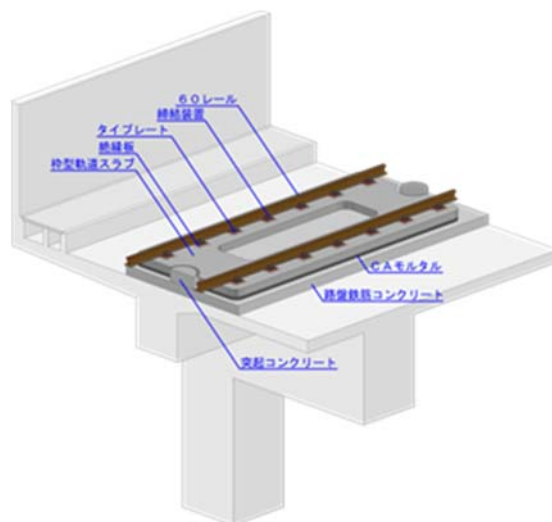


図-2 スラブ軌道構造

2. スラブ軌道とは

スラブ軌道は、まくらぎや道床バラストに代わり、鉄筋コンクリート製の「軌道スラブ」を路盤鉄筋コンクリート上に据え付け、その間にてん充材の「CA モルタル」を介して支持する構造（図-2）となっている。運搬や施工性の観点から、軌道スラブの線路方向の長さは 5m 又は 4m としている。また、線路方向に掛かる応力を伝えるために、路盤鉄筋コンクリートに突起部を設置しており、突起コンクリート間に軌道スラブをはめる構造となっている。突起コンクリート上部には、軌道スラブ敷設時の基準点となる「基準器」を設置している。

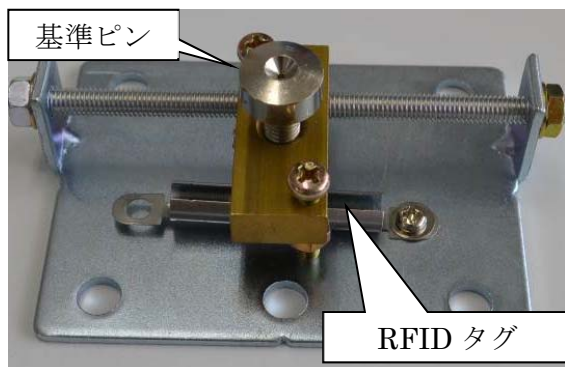


図-3 RFID タグ付き基準器

3. 施工情報の電子化

(1) 基準器設置

軌道工事を行う前に、完成した路盤鉄筋コンクリート・突起コンクリートの出来形を測量する。測量結果を基に、

キーワード 新線建設, スラブ軌道, RFID タグ, 情報化施工

連絡先 〒812-8622 福岡県福岡市博多区祇園町2番1号 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 TEL092-283-9581

線名	東北新幹線	664k860m00	キロ程
基準器番号	No. 0983	W 717.5	基準標とレール軌間線の離れ
正矢量	V 8.0	H R 189.0	基準標から計画 R.L.までの高低差
カント	C 127.5	H S -25.0	基準標から軌道スラブ上面までの高低差

図-4 諸元シールの印字内容

最適な線形となるように計算を行い、基準器のピン（図-3）を軌道中心位置に調整・固定する。（図-5）

従来は、ピンの固定後に、突起コンクリート上面に線形情報を記したシール（図-4）を貼付していた。このシールには、スラブ敷設の際に使用する線形情報や諸元データが表記されており、工事中はもちろん、新幹線開業後の保守作業でも使用していた。

しかし過去の線区の建設工事において、鳥害や紫外線劣化などにより、シールが汚損する事例が発生していた。また、開業前には新たに管理キロ程に修正したシールを貼付するなど、多くの労力を費やしていた。そこで今回、業務の効率化を図るために基準器情報の電子化を検討した。具体的には、シールに代わり、基準器に RFID タグを取り付け、タグの ID 番号とサーバー内に収納した線形データを紐づけることで、線形情報を電子化した。これにより、シール貼付の手間が減るほか、データの修正・更新作業が容易に行えるようになった。電子化したシステムの作業構成を（図-6）に、端末に表示される線形情報の一例を（図-7）に示す。

西九州ルートでの採用に先立ち、北陸新幹線長野・金沢



図-5 突起コンクリートに設置した基準器

線別	上り線
キロ程	0k678m00
基準器番号	1
正矢(V)	15.0
カント(C)	63.0
レール距離(W)	717.5
レール高さ(HR)	219.0
スラブ高さ(HS)	5.0
終点高さ(HS)	
スラブ勾配(%)	0.0
記事	
識別ID	0414DAC2C9

図-7 端末の表示画面

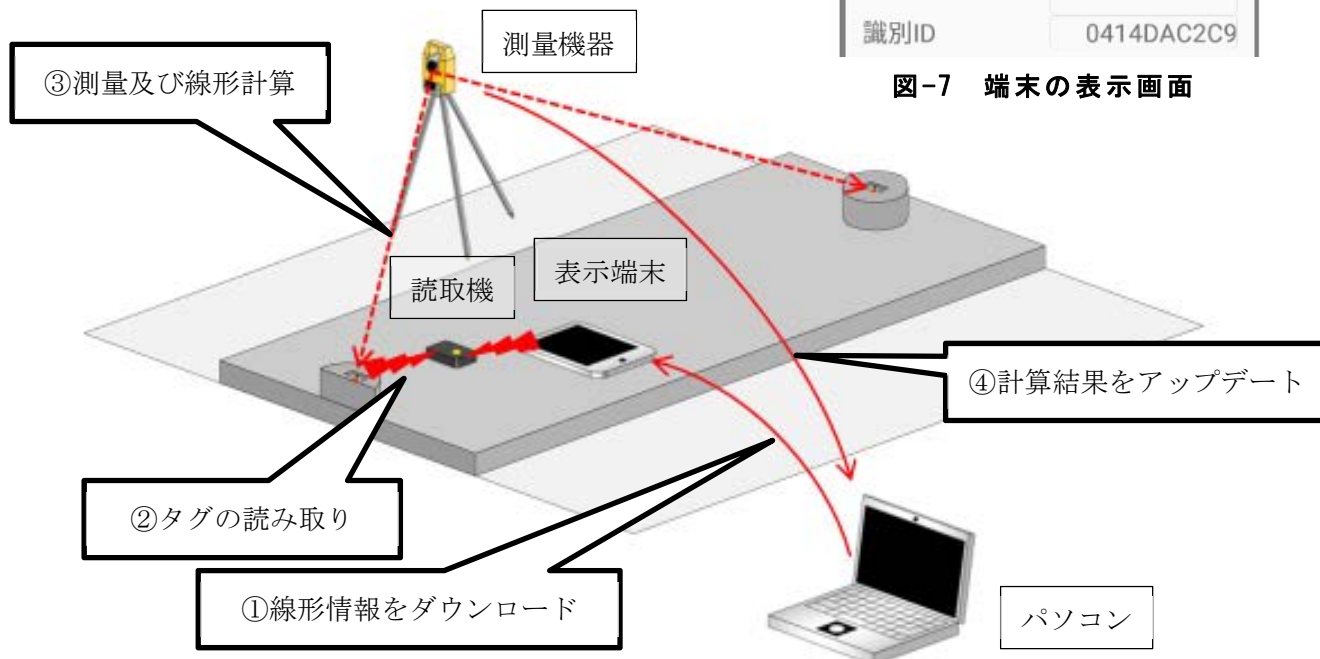


図-6 線形情報の読取概要

間の建設時にRFIDタグを試験的に設置した。設置から4年が経過した後に、モルタル内に埋め込んだRFIDを読み取ったところ、良好な結果であったため、耐久性に問題がないことを確認した。

(2) 軌道スラブ製作運搬

軌道スラブは専用の工場で作成しており、西九州ルートでは約27,000枚の軌道スラブを製作・敷設している。

全ての軌道スラブには製品番号を印字し、この製品番号を使って製造記録や検査結果のデータを管理していた。しかし、製品番号を印字する際の人的ミスにより、番号の重複や欠番が発生したり、印字が劣化して消えたりするなどの問題があった。そこで、基準器に導入したRFIDタグを、軌道スラブにも埋め込み、製品番号を電子化することとした。これにより、製造時のコンクリート強度試験結果や、製品検査の結果などを端末に直接入力し、サーバーにアップロードできるようになった。これにより、検査結果報告書の作成や集計作業が不要となった(図-8)。



図-8 軌道スラブのRFIDタグの読取



図-9 スラブ敷設台帳の作成

(3) 軌道敷設

軌道スラブ敷設後には、将来の保守管理を見据えて、軌道スラブの製品番号、敷設位置などを記載した「軌道スラブ敷設台帳」を作成している。従来は、基準器シールに印字された線路キロ程や、軌道スラブ製品番号を目視で書き取り、事務所で所定の書式に入力して台帳を作成していた。

しかし、線路キロ程や製品番号が電子化されたため、これらの情報を端末にダウンロードして現地に持参し、基準器と軌道スラブのタグを順に読み取ることで、自動的に台帳が作成できるようにした(図-9)。



図-10 監査・検査風景

(4) 施工情報管理システム

基準器や軌道スラブにRFIDタグを取り付け、施工に関するデータをタグのID番号と紐づけた上で端末に直接入力し、データをサーバーで一括管理することで、発注者・受注者間でリアルタイムに施工状況を把握・管理・共有することが可能になった。このシステムを「施工情報管理システム」と名付けており、今後、対象とする施工情報を拡大していく予定である。

地上監査指摘事項整理表			
部門		【現場写真】	
基本情報		監 査 所	
監査・検査区分	事前下監査	箇所	軌道スラブ
検査日	44009	詳細	突起コンクリート
指摘番号	2300005	入力	
指摘者	管理系		
入力者	担当系		
検査班	スラブ班(下り線)		
指摘場所		指 摘 内 容	
キロ程	99+999+99	指摘根拠	① 工事実施計画
上下線別	上り線	No	
左右レール	右レール	内容	欠けあり
軌道内/外	軌道内側	入力	
開始位置	第1締結		
起/終点	起点方		
内側/外側	内側		
その他入力			

図-12 検査・監査システム表示画面

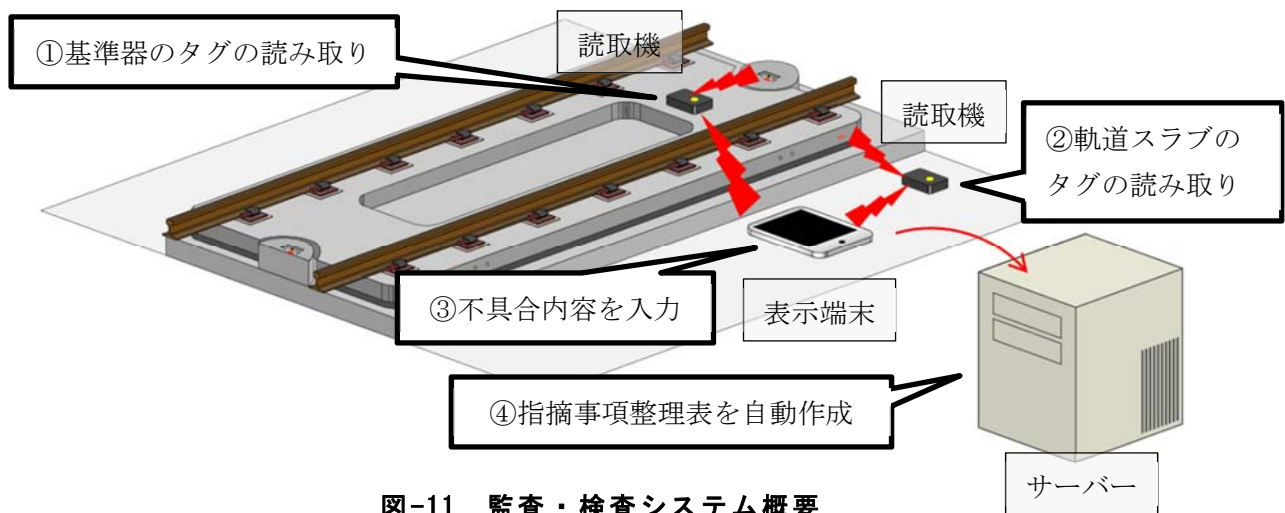


図-11 監査・検査システム概要

(5) 監査システム

当機構が建設する鉄道施設は、使用開始に先立って「工事しゅん功監査」を実施している（図-10）。従来、監査検査時に現地で発見した不具合等は、所定の書式にメモを取り、写真を撮影して事務所に持ち帰ったあと、「指摘事項整理表」を作成して管理をおこなっていた。

そこで、電子化した施工情報と、施工情報管理システムを活用することで、監査時の作業を効率化できると考えた。現在開発中のシステム（図-11）では、事前に施工情報をダウンロードした端末を現地に持参し、不具合等を発見した場合は、その場ですぐに施工情報を確認できる。また、タグを読み取ることで、不具合等の位置（キロ程）が自動的に端末に入力される。その後、不具合等の内容を入力し写真を撮影して、それらをサーバーにアップロードすることで、指摘事項整理表が自動的に作成される（図-12）。これにより、監査作業の効率化が期待できる。

(6) 軌道スラブ敷設のデジタル化

軌道スラブの敷設作業では、専用の「軌道スラブ運搬敷設車」（図-13）で軌道スラブを敷設箇所に運搬・仮置きし、その後、線形に合わせて軌道スラブの位置や傾きを調整する（この作業時に図-4・図-7に示したデータを使用する）。その後、軌道スラブの下に CA モルタルを注入して、軌道スラブを固定する。

従来の軌道スラブの調整作業では、諸元シールの線形情報を読み取り、情報に合わせて「三点ゲージ」と呼ばれる



図 - 13 スラブ運搬敷設車



図-15 デジタル式三点ゲージ



図-16 調整量表示画面

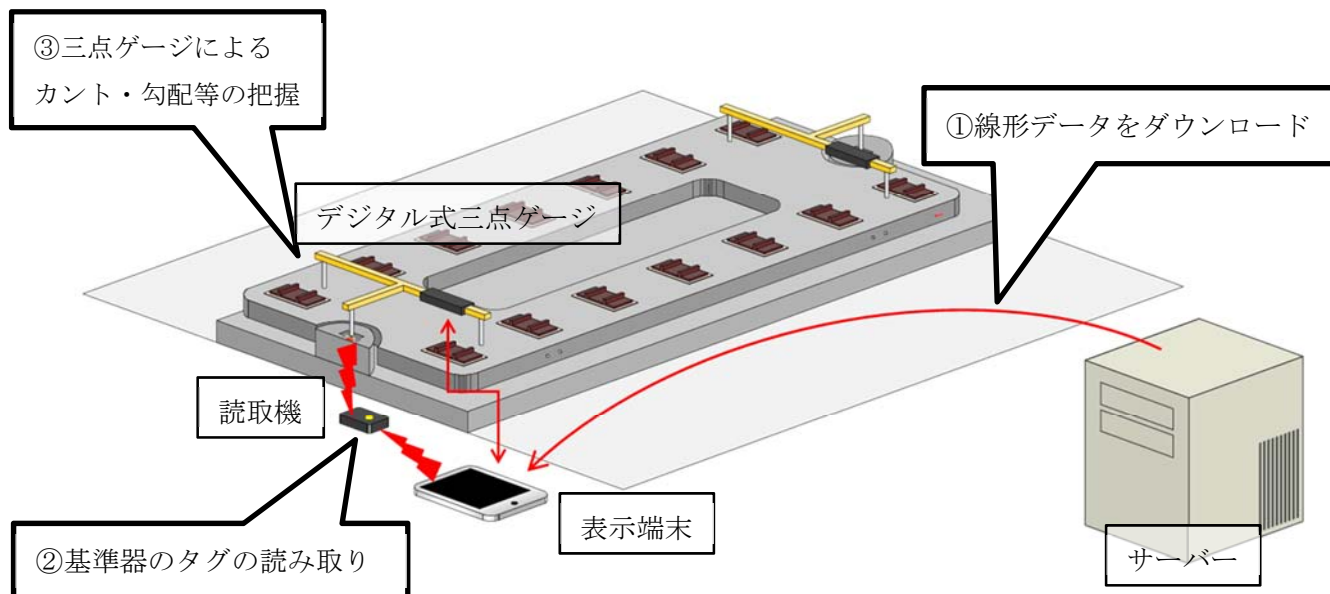


図-14 デジタル式三点ゲージの概要

器具の設定を変えて調整作業に使用していた。その際、線形情報の読み間違いや三点ゲージの設定ミスが発生していた。前述の通り、線形情報を電子化したため、電子化した線形情報を活用する「デジタル式三点ゲージ」を開発した。具体的には、事前に電子化した基準器情報を三点ゲージに取り込んでおき、調整作業を行う際に、基準器のタグを読み取ることで、調整する箇所の線形情報を読み出す。これにより、三点ゲージの設定が自動的に行われる（図-14）。ゲージを軌道スラブ上にセットすると（図-15）、表示端末に「軌道スラブの現在の姿勢」と「線形情報」、「調整すべき方向」などが表示され、（図-16）作業員はこれらの表示を見て作業を行う。

三点ゲージをデジタル化したことにより、事前の器具の設定作業が不要になり、軌道スラブの調整量・調整方法が直感的に分かるようになったため、人的ミスが無くなり作業内容がシンプルになった。その結果、作業の進捗が早くなる効果が見られた。

現在は、軌道スラブの調整作業は人力で行っているが、将来的には、スラブ運搬敷設車にこの技術を応用することで、スラブの運搬・敷設・調整を自動化することが可能であると考えている。

4. 施工管理のシステム化

(1) 工事用ダイヤシステム

整備新幹線工事では、開業後に新幹線が走行するレールを仮敷設し、軌道スラブの敷設工事のみならず、電気工事などもオンレールで工事を行っている（走行レール法）。このため、様々な工事用車両が軌道上を安全に走行するために、「工事用ダイヤ」を作成して運行管理を行っている。

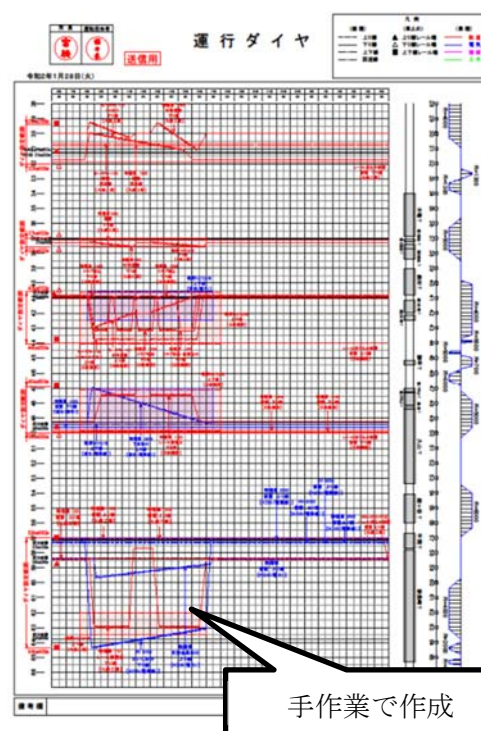


図-17 従来の工事用ダイヤ

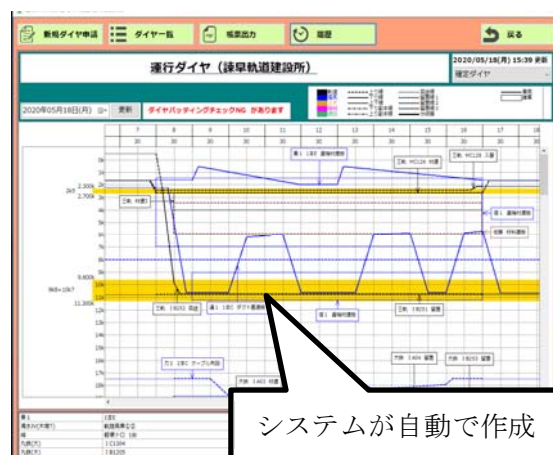


図-18 ダイヤシステム表示画面

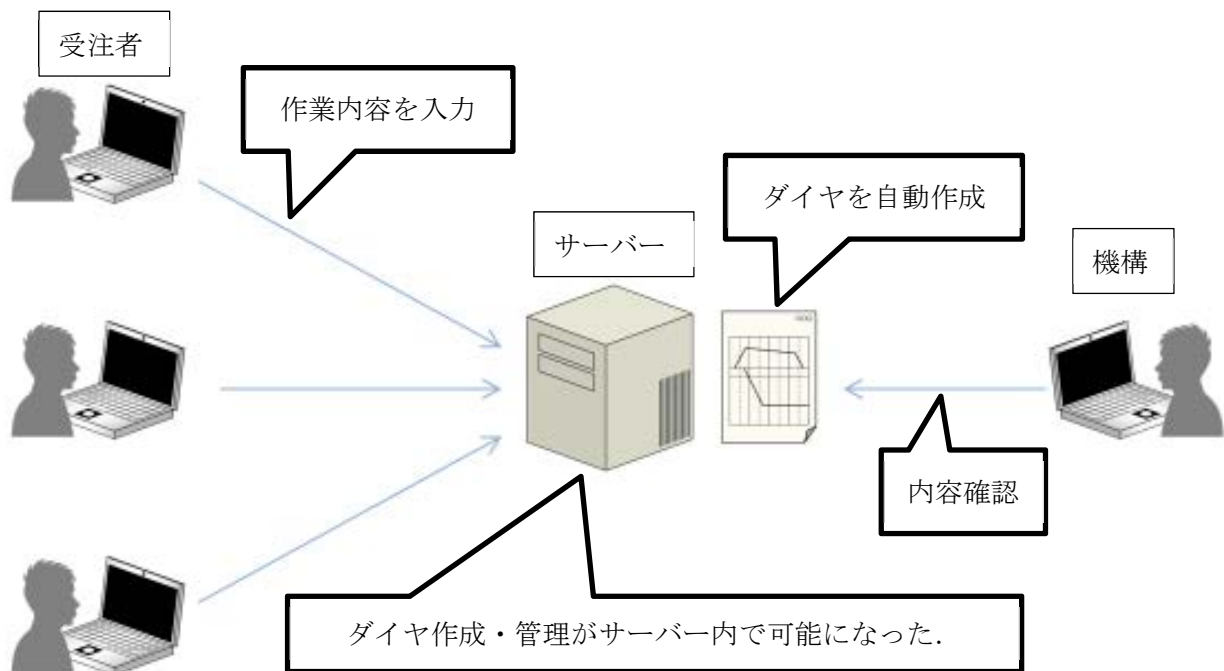


図-19 ダイヤシステム概要図

従来は、向こう一週間分の作業内容を記載した申請書を各工事受注者から受けて、申請書に基づいて手作業でダイヤを作成（図-17）して、完成後に各受注者にメール等で配布していた。この方法では、ダイヤ作成作業に膨大な労力を必要とするほか、ダイヤの迅速な修正が出来ないなどの課題があった。これらの問題を解決すべく、工事用ダイヤ作成・管理のシステム化（図-19）を行った。

システムの具体的な構成としては、受注者がシステムに作業内容を入力すると、システムがダイヤを自動作成する（図-18）。この際、車両同士が衝突したり、速度を超過したりするような申請内容は、システムが自動的にエラー判定を行い、申請者に差し戻す。システム化により、ダイヤ作成業務が削減出来、ダイヤの修正もリアルタイムでできるようになった。また完成したダイヤは各受注者がサーバーからダウンロードするため、メール送信作業なども不要になり、ダイヤに掛かる業務の省力化ができた。

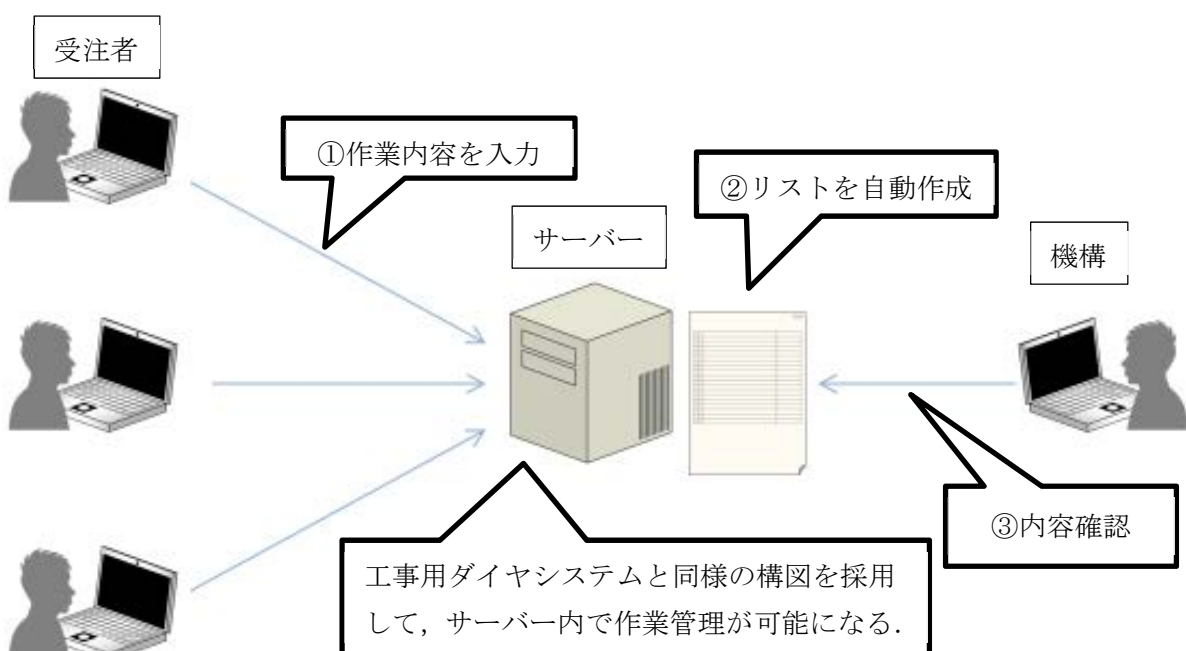


図-20 作業統制システム概要図 その1

(2) 作業統制システム

新幹線の建設が進み、電力ケーブルや電車線等に通電・加圧が開始されると、線路内の作業で感電の恐れがあることから、線路内への立ち入りに特段の管理（立入統制）が必要となる。従来は、線路内に立ち入る者から事前に書面で申請を受け、作業内容等を確認して立ち入りの許可を出していた。また作業当日には、線路内立入・退出時に電話連絡を受け、申請内容との照合・確認を行っていた。このため、これらの立入統制業務のための要員配置が必要であった。

従来の統制業務に対し、工事用ダイヤシステムを応用して統制業務をシステム化することで、効率化・省力化が図れると考えた。

現在開発中の作業統制システム（図-20）は、受注者が作業日・時間、作業内容、人数等を入力することで、プログラムが作業リストを自動で作成する。加圧等で作業内容や作業日に制限が掛かる場合は、プログラムが申請内容を判定する。作業当日には、線路内に立ち入る者が個人のスマートフォン等でサーバーにアクセスし、立入登録を送信する（図-21）。システム化により、事前申請・許可の事務処理作業が顕現し、サーバーにアクセスすることでリアルタイムな作業状況が把握でき、立入統制業務の省力化や人的ミスの削減が期待できる。

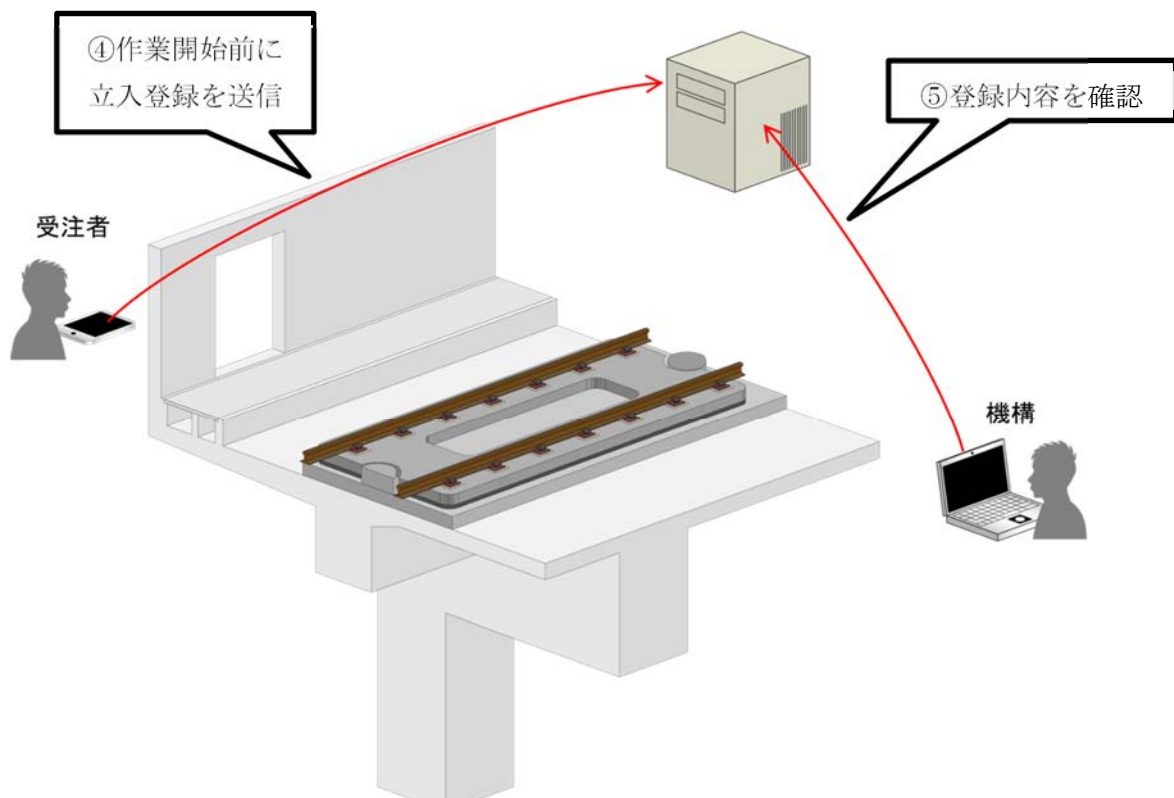


図-21 作業統制システム概要図 その2

5. 終わりに

従来、軌道工事の施工管理では、人力や紙などを使って業務を行ってきた。今回、施工情報の電子化や施工管理の自動化、システム化を行ったことで、業務の効率化・省力化を実現した。現在開発中のシステムは今後西九州ルートで試験運用を行う予定である。また今回開発した一連のシステムは、今後の建設線区でも使用する予定である。今後、さらなるデジタル化を進めることで、スラブ軌道敷設工事の自動化による更なる省力化を進めていきたい。