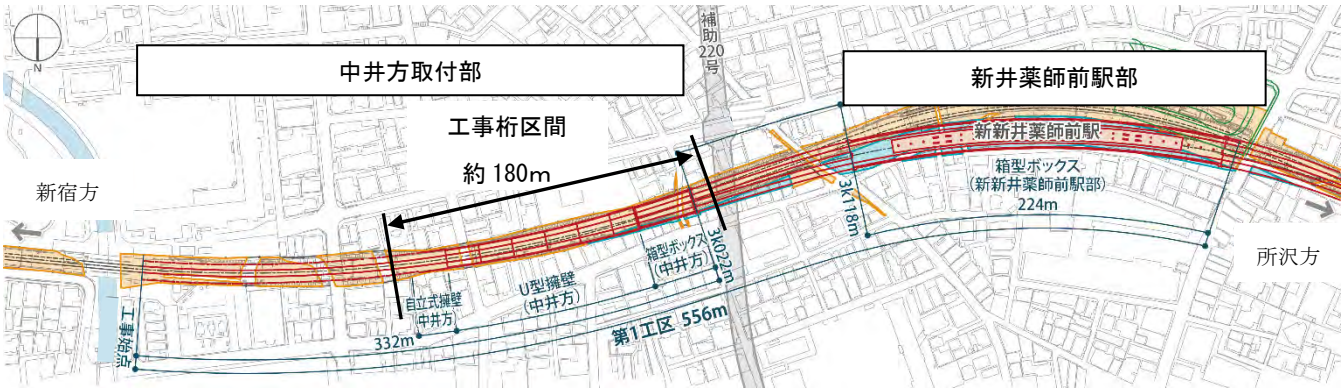
工事桁架設機を用いた営業線の工事桁一括架設

鹿島建設(株)　　正会員　○井原　啓知
鹿島建設(株)　　正会員　　渡部　修

1．はじめに

本事業は，西武鉄道新宿線の中井駅から野方駅間の約 2.4km において鉄道を地下化することにより，7 か所の踏切を除去し，都市内交通の円滑化を図るとともに，分断された市街地の一体化による都市の活性化を図る事業である．当工区は中井方取付部～新井薬師前駅部間の延長 556m の区間で，開削により鉄道を地下化する．そのうち中井方取付部の約 180m の区間は，工事桁，かんざし桁で軌道を仮受けして直下を掘削する．今回，工事桁およびかんざし桁架設のために運搬・架設を 1 台で行える専用の工事桁架設機を開発し，これを用いた架設方法を採用した．従来の移動式クレーンでの架設方法に比べ，工期，コスト，安全面で非常に有効であったため，施工実績を報告する．

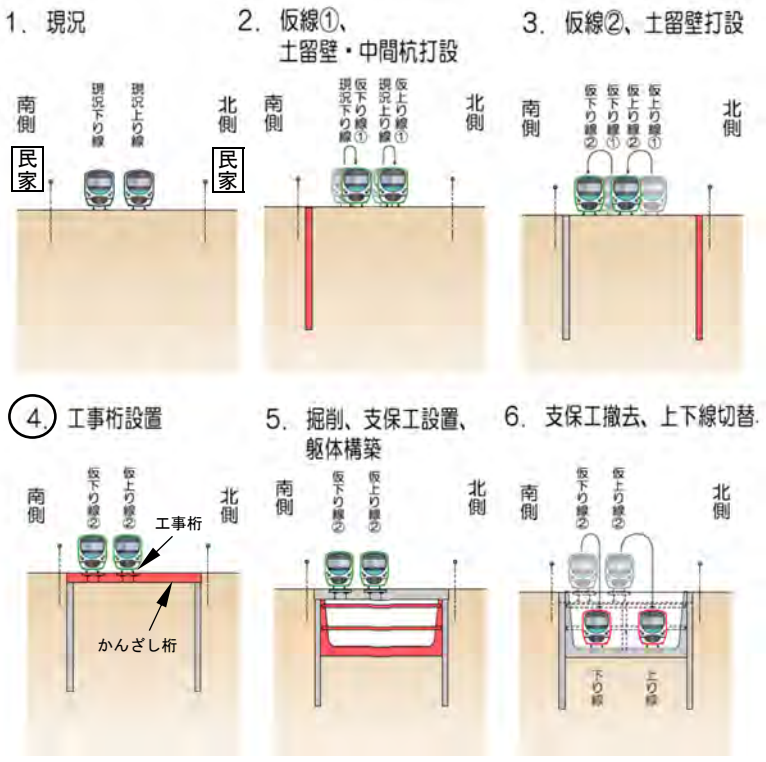


図－1　全体平面図

2．工事概要

(1) 全体工事概要

図－2 に中井方取付部ステップ図を示す．中井方取付部は営業線の両側を民家で囲まれた非常に狭隘な施工エリアで，仮線方式にて施工ヤードを確保し土留壁および軌道仮受杭を施工後，工事桁を架設し軌道を仮受けする．工事桁架設後は営業線直下を掘削し，躯体構築を実施し，地下化切替を行う．



図－2　中井方取付部ステップ図

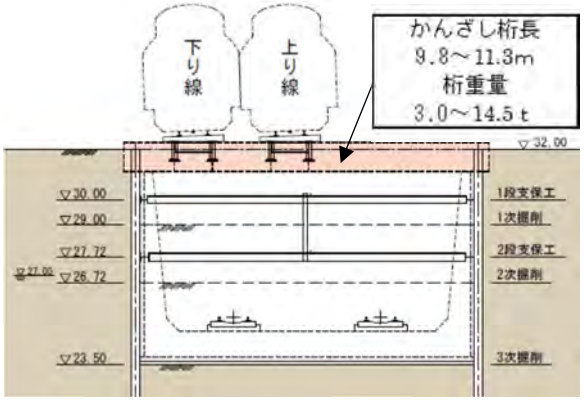
(2) 工事桁，かんざし桁の概要

工事桁は支間長 6.0～14.0m，幅 2.4m，重量約 3.5～16.3ｔ，かんざし桁は中間杭が無く上下線に渡る桁で長さ約 9.8～11.3m，重量約 3.0～14.5ｔである．工事桁の構造形式は上路式プレートガーダーで，桁が直接合成マクラギを支える構造である．かんざし桁の構造は，ウェブにブラケット状の受け台があり，そこに工事桁の主桁を載せる形状で，かんざし桁の上フ

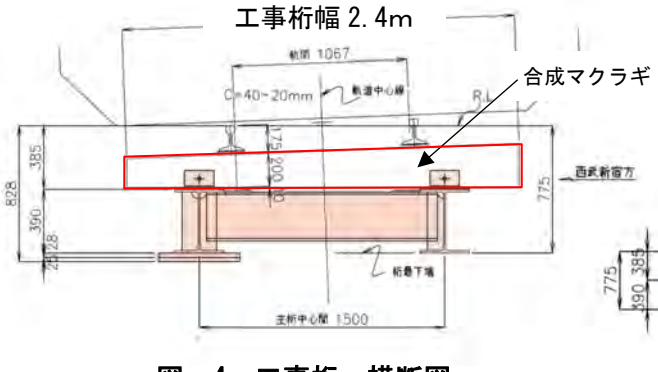
キーワード　工事桁一括架設，架設機，営業線，生産性向上
連絡先　〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設株式会社 東京土木支店土木部 TEL03-3404-5511

ランジの上にも合成マクラギが配置される．**図－3～5** に中井方取付部横断図，工事桁横断図，工事桁縦断図を示す．

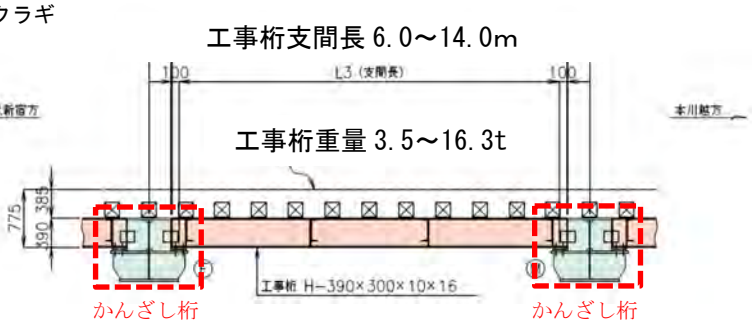
今回軌道を仮受けする範囲は，工事桁 58 連，かんざし桁 30 本となる．また，将来シールド基地となる，軌道に隣接した約 400 m² のヤードを工事桁架設機の留置基地とした．**図－6** に工事桁平面図を示す．



図－3　中井方取付部横断図



図－4　工事桁　横断図



図－5　工事桁　縦断図



図－6　工事桁　平面図

(3) 工事桁架設機の概要

a) 工事桁架設機開発の経緯

架設は，かんざし桁を設置後，現在の軌道と置き換える形で工事桁を設置する．一般的な工事桁一括架設の方法として，軌陸クレーンなどの移動式クレーンを軌道内に配置し架設する方法が挙げられる．実績も多く技術的に確立したものであるが，本工事では以下の課題があった．

①工事桁，かんざし桁の重量が重く，軌道内に配置可能な移動式クレーンの能力では桁の分割を余儀なくされ，工期，コストが増大する．

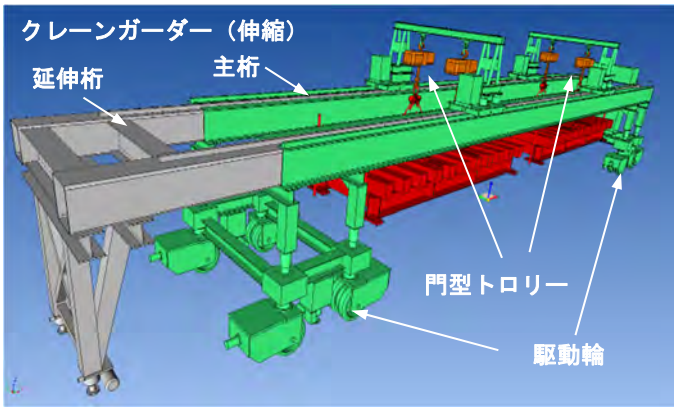
②今回の施工範囲は狭隘かつ縦断勾配約 3%の急勾配であり，移動式クレーンを配置した場合，クレーンのブームと電車用の架空線の離隔確保が困難な箇所があるため，一時的な架空線の振替え等の作業が必要となり時間工程が逼迫する．

③一括架設するためには，長尺の桁を運搬する車両と揚重用の大型移動式クレーンを配置するため，必要となるヤードや重機作業範囲の面積が広くなる．

これらの課題を解決するため，工事桁，かんざし桁の運搬・架設を 1 台で行える専用の桁架設機を開発した．

b）工事桁架設機の構造とねらい

工事桁架設機の 3D モデルを**図－7** に示す．架設機は総重量約 36t で，油圧走行する駆動輪および伸縮可能なクレーンガーダーを有する本体部分と，クレーンガーダー上部を横行する 2 基の門型トロリーから構成される．架設当夜の架設機の移動距離，時間工程，架設機の操作性と製作における経済性を考慮し仕様を決めた．**表－1** に架設機の諸元を示す．また，架設機の特徴とそのねらいを以下の①～③に示す．



図－7　架設機の 3D モデル（工事桁 2 連運搬時）

①高い吊り上げ能力

門型トロリーには，1 基当たり 5t 電動チェーンブロック 2 台が搭載され，クレーンガーダー9m 延伸時で定格荷重は 20t となる．よって，今回の施工範囲で最大重量である 16.3t の工事桁も一括架設が可能となる．クレーンガーダーは最大 14m まで延伸可能で，最大延伸時の定格荷重は 10t となる．

表－1　架設機諸元

総重量	約36t
架設機走行速度	6m/分
門型トロリー走行速度	8m/分
クレーンガーダー延伸速度	約1m/分

②厳しい空頭制限下で作業可能

架設機の全高は最大 4.55m であり，電車用の架空線がレールレベルから 5.0m であっても，その架空線下で作業可能となる．これにより，厳しい時間制約がある工事桁架設作業において，架空線の振替え作業が無くなり適正な時間工程を確保できるとともに，振替え作業に伴う高所作業や上下作業を削減し，作業全体における安全性向上を図ることができる．

③架設機 1 台で長尺の桁の運搬・架設が可能

クレーンガーダー格納時は全長約 20m，全幅約 4m であり，その本体部分に約 12m までの長尺の桁をかかえた状態で自走可能となる．これにより，移動式クレーンで架設を行う場合より必要なヤードの面積が小さくなるとともに，軌道内において旋回動作などを伴う荷取り作業が無く，架設する方向に延伸するだけのシンプルな動作で架設が可能となる．

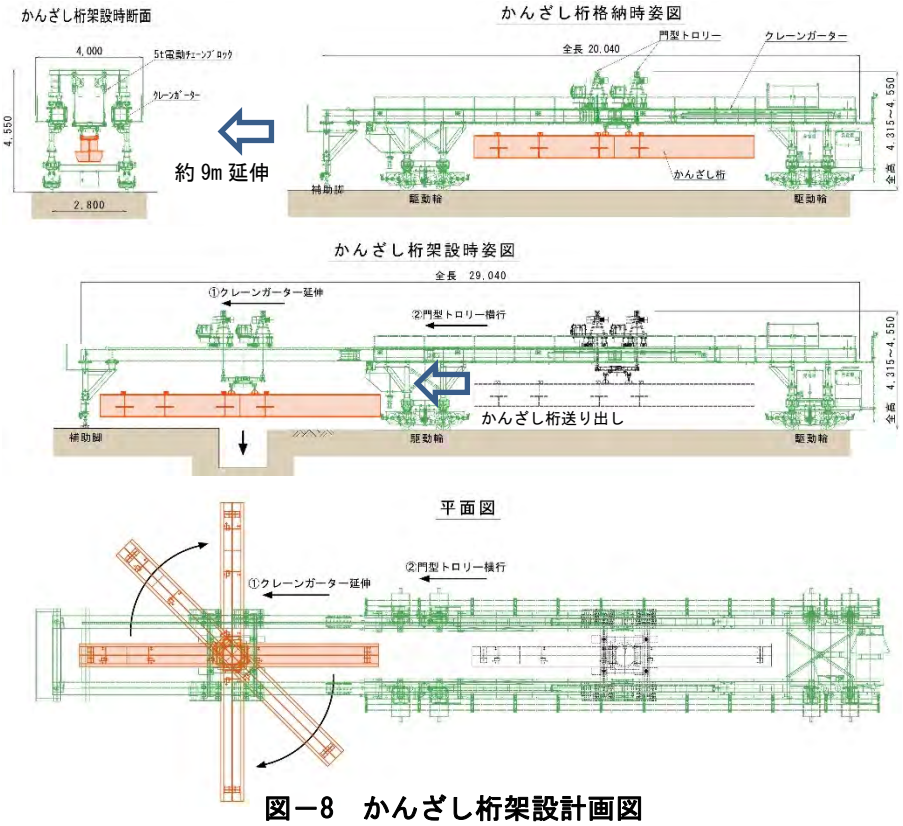
3．施工計画と工事桁架設機の工夫

(1) 架設計画

架設は新宿方から架設機留置基地に向かって進め，かんざし桁は1本/日，支間長6mの工事桁は片線2連/日，支間長9m以上の工事桁は1連/日のペースで行う．全体を5ブロックに分け，ブロック毎にヤード内で地組し，計画レール高さ，計画軌道線形に合うように合成マクラギ，レール締結装置まで取付ける．夜間の架設時は，この地組の状況を再現する形で位置調整を行い架設する．

a）かんざし桁架設計画

夜間の作業時間は，概ね 1:00～4:00 の約 180 分間であり，その時間

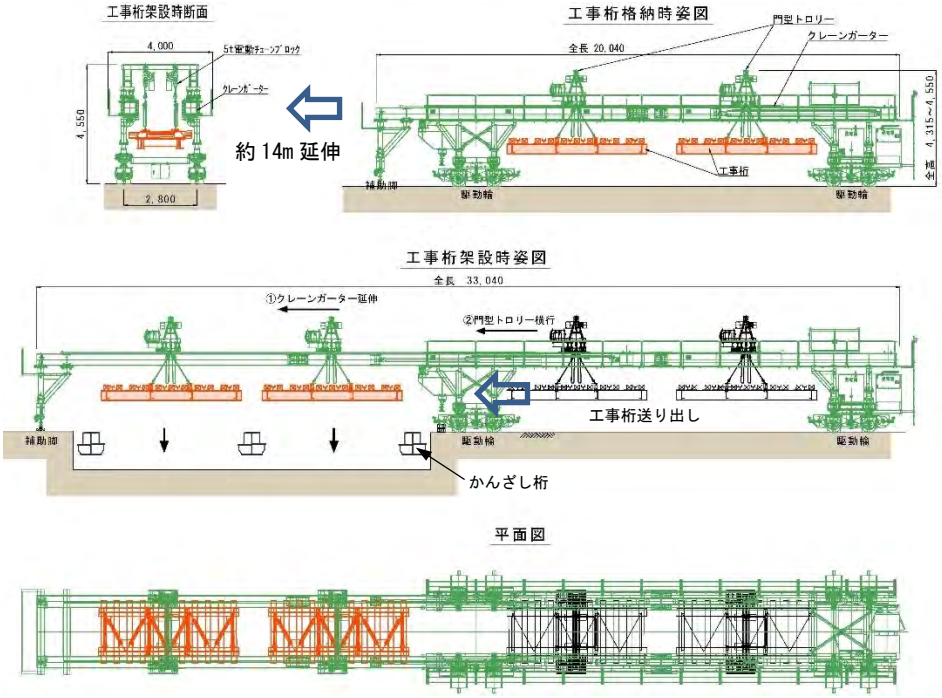


図－8　かんざし桁架設計画図

内に①上下線のレール破線およびマクラギ撤去，②掘削，③横矢板設置，④かんざし桁架設，⑤レール復旧を行う．保線作業を除いた②掘削から④かんざし桁架設までの作業に充てられる時間は約 120 分間である．当夜の掘削土量は約 18 m³ であり，0.25 m³ 級バックホウ 2 台にて掘削し 8tDT に積み込み，踏切部から場外へ搬出する．かんざし桁は昼の作業で架設機に積載しておき，夜間，停電承認確認後に架設機を軌道内に入れ架設位置まで移動する．所定位置で停止したのち，掘削した箇所を跨ぐ形でクレーンガーダーを約 9m 延伸し，クレーンガーダー先端の補助脚にある油圧ジャッキを伸ばし接地する．その後，門型トロリーを前方に走行させることでかんざし桁を送り出し，90 度回転し降下させて架設する．**図－8** にかんざし桁架設計画図を示す．

b) 工事桁架設計画

作業時間や施工ステップは，かんざし桁と同様で当夜の掘削土量は約 30 m³ であり，0.25 m³ 級バックホウ 2 台にて掘削し 8tDT に積み込み，踏切部から場外へ搬出を行う．架設機は，支間長 6m の工事桁 2 連を抱えた状態で軌道内に入り，架設位置まで移動，所定位置で停止したのち，掘削した箇所を跨ぐ形でクレーンガーダーを約 14m 延伸し，クレーンガーダー先端の補助脚を接地する．その後，工事桁 2 連を同時に前方に送り出し，降下させて架設する．**図－9** に工事桁架設計画図を示す．

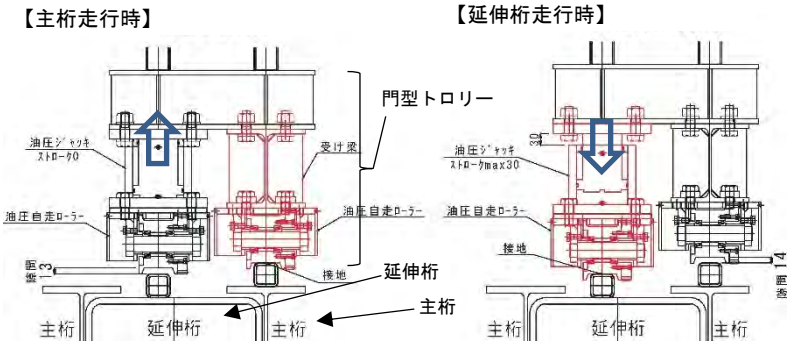


図－9　工事桁架設計画図

(2) 工事桁架設機の工夫

a) 主桁から延伸桁への門型トロリー乗り換え

架設機のクレーンガーダーは，さや管となる 2 つの主桁 2H500×200×9×16 とその中に入っている延伸桁□450×450×16 で構成され，延伸桁の後方にある油圧ジャッキにより延伸桁を押し出すことで延伸する構造である．門型トロリーは，かんざし桁や工事桁を送り出すために走行する際，主桁上のレールから延伸桁上のレールへ乗り換える必要がある．そのため，門型トロリーの駆動部に上下方向に作動できる油圧ジャッキを配置し，そのジャッキを伸縮することで主桁と延伸桁との乗り換えを可能とした．**図－10** に門型トロリー走行動作図を示す．

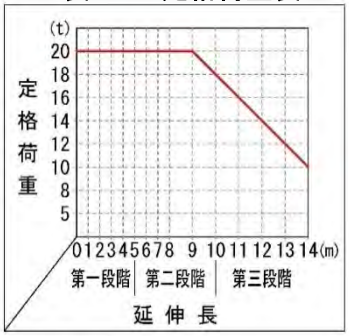


図－10　門型トロリー走行動作図

b) 過負荷防止機能としての付加保護方策

門型トロリーに搭載している 4 台の 5t 電動チェーンブロックは，それぞれ定格荷重 5t に対しての過負荷防止機能を有しているが，架設機は延伸長により定格荷重が異なる機構であり，本来、全体の吊荷重量と延伸長を計測し自動的に停止するようなインターロック機構を有することが理想であった．しかし，運搬，吊荷の送り出しを行う機械特性上，揚程の問題などによりそのような装置を設置することが困難であった．そこで，吊荷重量に対する計画延伸長

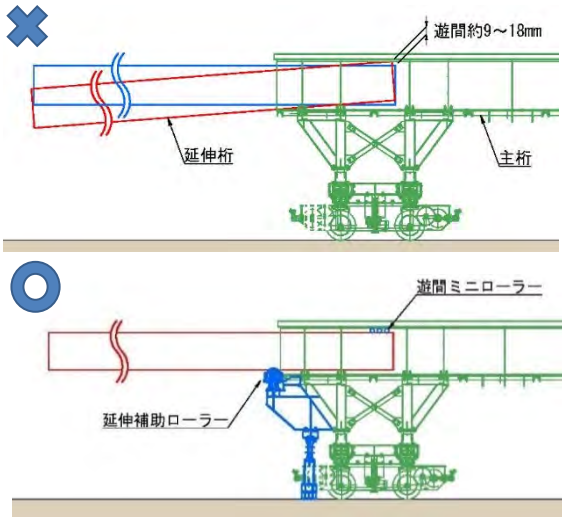
表－2　定格荷重表



を入力し，架設時にその延伸長に達したら自動停止する機構を取り付けた．始業時に操作者により計画延伸長を入力する必要があるため完全なフールプルーフではないものの，操作中のヒューマンエラーのリスクを低減する付加保護方策として有効に機能している．**表－2** に架設機の定格荷重表を示す．

c）延伸桁延伸時のたわみ低減策

延伸桁は架設箇所を跨ぐまでは片持梁となる．製作工場での動作試験において，延伸桁を 14m 延伸した際，桁先端のたわみが 380mm となり，主桁と延伸桁が擦れることで延伸桁を縮める圧力が上限に近くなる現象が発生した．このままでは，延伸桁が戻らなくなるリスクが高いので対策が必要であった．設計以上のたわみが発生した主原因は，さや管である主桁とその中にある延伸桁との遊間（約 9～18mm）による延伸桁の傾きと考えられた．そこで，延伸桁の傾きを低減する 2 つの対策として，①遊間にミニローラーを配置，②主桁の先端部分に延伸補助ローラーを取付けた．これにより 14m延伸時のたわみは 300mm 程度まで低減し，スムーズな伸縮が可能となった．**図－11** に延伸桁たわみ低減策模式図を示す．



図－11　延伸桁たわみ低減策模式図

d）非常時の軌道内からの緊急脱出機能

軌道内に架設機を入れる際の最も大きなリスクは，軌道内での故障が挙げられる．そこで，①油圧ユニットの故障，②電源喪失（発電機故障），③何らかの原因で全ての駆動輪が故障した場合の 3 パターンに対する緊急脱出機能を設けた．**表－3** に軌道内からの緊急脱出方法を示す．常時は 2 台作動しているうちの 1 台の油圧ユニットや 1 台の発電機で作動した場合，架設機の動作スピードは約 1/4 程度まで落ちるものの，延伸桁伸縮と架設機走行が可能である．また，駆動輪の油圧をフリーにしてミニクレーン（4.9tcc）で牽引する試験も実施し，勾配 3%で牽引，脱出可能であることを確認した．駆動輪の油圧をフリーにする作業にかかる時間は，10～15 分程度であり夜間施工時において有効な脱出方法である．

表－3　架設機の緊急脱出機能

故障原因	脱出方法
油圧ユニット故障	常時2台の油圧ユニットを搭載しており、そのうち1台で脱出可能。2台とも故障した場合は、外付けの予備ユニットを接続で脱出可能。
電源喪失（発電機故障）	常時2台の発電機(60kva)を搭載しており、そのうち1台で脱出可能。
全駆動輪の故障	全ての駆動油圧をフリーにして4.9tccで牽引可能。

４．施工実績

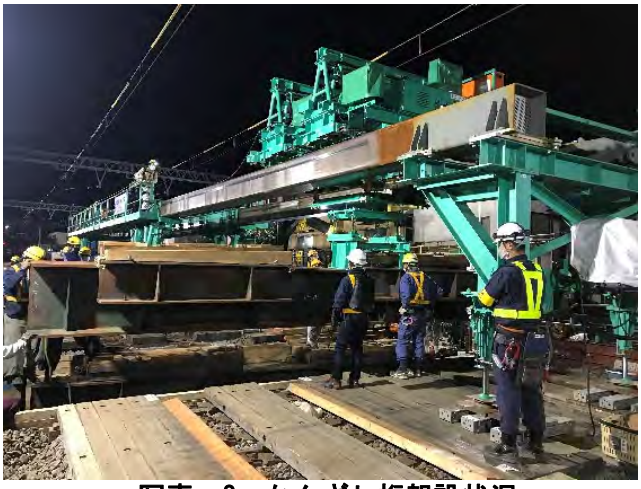
(1) かんざし桁架設の施工実績

前述の通り，かんざし桁は 1 本/日，支間長 6m の工事桁は 2 連/日の架設とし，基本的な順序は，かんざし桁を 2 本架設後，その間の 2 スパンの工事桁を下り線 2 連，上り線 2 連の順で行う．**写真－1，2** にかんざし桁架設状況を示す．**写真－1** は，架設機の延伸桁を延伸後，かんざし桁を前方に送り出した状況写真，その後，桁を 90 度回転した状況が**写真－2** である．かんざし桁架設時は上下線のレール破線完了後，掘削を行う．掘削土量は約 18 m^3 で掘削及び横矢板設置の作業時間は 60 分間，そ



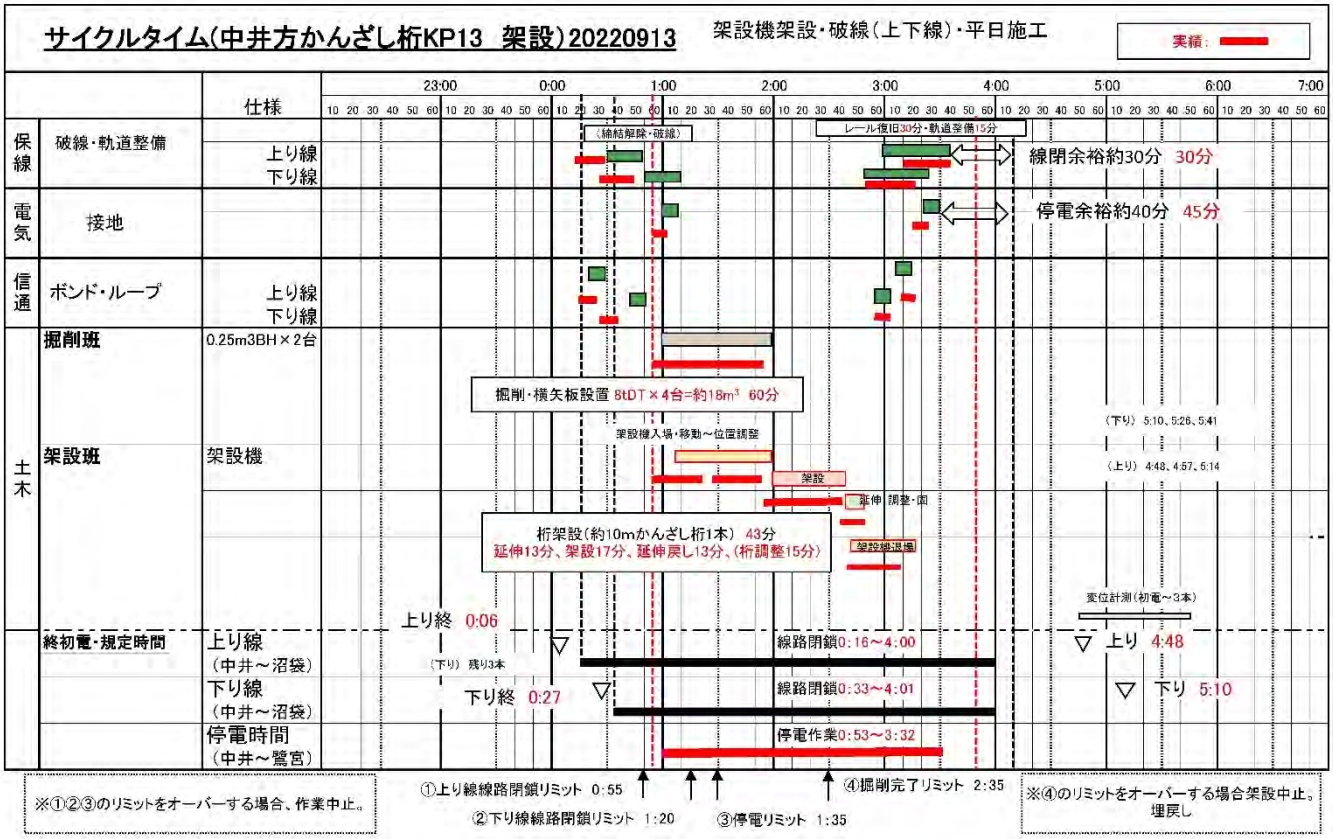
写真－1　かんざし桁架設状況

の間に架設機は留置基地から架設位置に移動し，掘削完了と同時に架設を開始する．架設機は，約 9m の延伸 13 分間，桁の移動，回転，降下で 17 分間，延伸桁戻し 13 分間の計 43 分間で架設を完了した後，留置基地に戻る．かんざし桁の高さや位置の調整には架設機は用いず手持ちの小型油圧ジャッキで行った．**表－4** にかんざし桁架設時のサイクルタイムを示す．各工程は，ほぼ計画通りのサイクルタイムで完了した．



写真－2　かんざし桁架設状況

表－4　かんざし桁架設のサイクルタイム



(2) 工事桁架設の施工実績

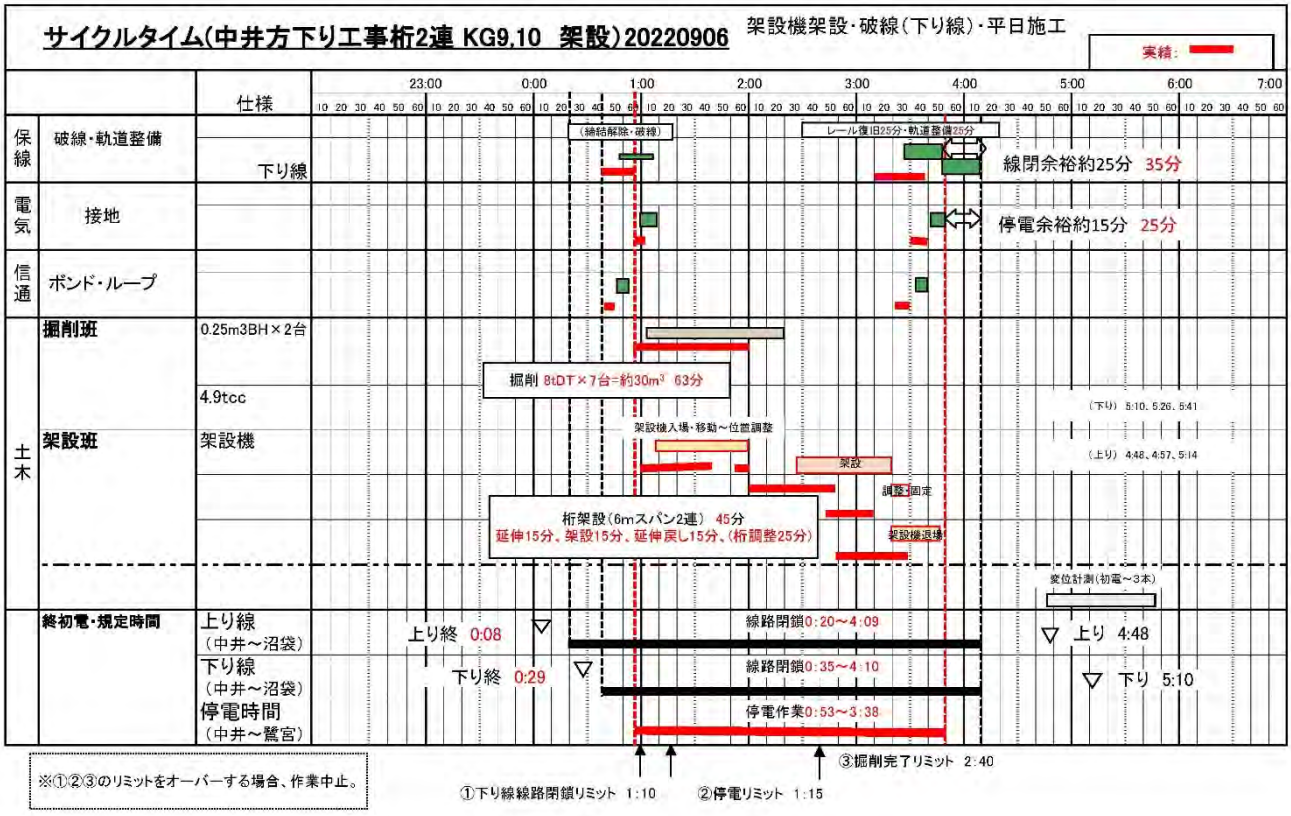
写真－3に工事桁（2連）架設状況を示す．かんざし桁，工事桁架設の夜間作業時には線路閉鎖を上下線別で取っており，終電車が遅い下り線工事桁の架設が最も厳しいサイクルタイムとなる．掘削土量は約30 m³で掘削作業時間63分間，その間に架設機は架設位置に移動し，掘削完了と同時に架設を開始する．架設機は，約14mの延伸に15分間，桁の移動降下で15分間，延伸桁戻し15分間の計45分間で架設を完了し，留置基地に戻る．かんざし桁と同様，工事桁の高さや位置の調整は，架設機は用いず手持ちの小型油圧ジャッキで行った．線路閉鎖解除までの余裕時間は25分間の計画であったが，実績は10分程度早



写真－3　工事桁架設状況

まった．**表－5**に下り線工事桁（2連）架設時のサイクルタイムを示す．架設機の移動，架設に関しては，ほぼ計画通りのサイクルタイムで動作した．

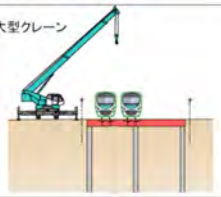
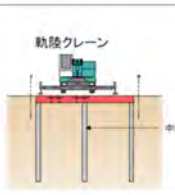
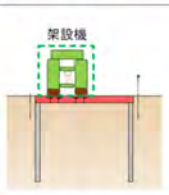
表－5　工事桁架設のサイクルタイム



5．従来技術との比較

従来のかんざし桁，工事桁の一括架設方法としては，①場外に大型のクレーンを配置し架設，②50t 軌陸クレーンを軌道内に入れて架設する方法等が挙げられる．工程，コスト面で有効なのは場外に大型クレーンを配置し架設する方法であるが，当工事の条件のような軌道の両側を民家で囲まれた場所では採用できない．通常，このような条件の場所では②の 50t 軌陸クレーンを使用して架設を行う．しかし，今回の工事桁は最大 16.3t /連と非常に重量が大きく，50t 軌陸クレーンの吊り能力では一括架設が不可能である．一括架設が不可能な場合は，中間杭や桁受けを追

表－6　今回の施工条件における工事桁一括架設比較表

工法	軌道外から大型クレーン架設		50ｔ軌陸クレーン架設		架設機　架設	
特徴	・軌道に隣接したヤードに大型クレーンを配置し、軌道外から架設 【長所】 ・軌道内に重機配置しないため緊急時のリスク小 【短所】 ・大型クレーンを配置できる広いヤードが必要。 ・架空線の振替えが必要。		・軌道内隣接線に５０ｔ軌陸クレーンを載線し水平吊りにて架設 【長所】 ・架線下での架設が可能であり、架空線の振替えが不要。 【短所】 ・クレーンの留置・載線場所、隣接線が必要。 ・クレーン揚重能力より、一部中間杭が必要。		・木製覆工上にて架設機で桁を運搬し、架設 【長所】 ・架線下での架設が可能。架空線の振替えが不要。 ・揚重能力が高く、全ての桁で一括架設が可能。 中間杭不要。 【短所】 ・近傍に架設機の留置場所、線路内進入場所が必要。	
模式図						
写真						
工期	×	・軌道に隣接した広いヤードがないため不可。ただし、使用できる施工条件であれば、架設機での架設と同等の工程で実施可能。	△	・今回のような上下線を破線するかんざし桁では載線ができない。また、10ｔ以上ある今回の桁では一括架設ができない。そのため、中間杭が必要となり工期が大幅に伸びる。	○	・高い吊り能力により全ての桁で一括架設か可能。また、支間長６ｍの工事桁は2連/日架設が可能であるため、50ｔ軌陸クレーン架設と比較すると約６ヶ月の工程短縮効果。
コスト	×	・上記の通り。ただし、使用できる施工条件であれば、架設機での架設と同等のコストで実施可能。	△	・上記の通り、中間杭や桁受けを追加することでコストが大幅に上がる。	○	・今回の工事で、架設機の製作費と50ｔ軌陸クレーンのリース料を比較するとほぼ同額。ただし、全ての桁が一括架設可能になることで中間杭や桁受けを追加することが不要なためコスト低減できている。
安全	×	・上記の通り。また、使用できる施工条件でであっても、架空線の振替えが必要となり、高所作業や上下作業が増えリスクが大きい。	○	・架空線の下での架設作業が可能であり、高所作業や上下作業のリスクが少ない。	○	・架空線の下での架設作業が可能であり、高所作業や上下作業のリスクが少ない。

加する必要があり工程，コスト面で非常に不利である．一方，架設機による架設は今回の施工条件下で工期，コスト，安全面で非常に有効であった．**表－6** に当工事における工事桁一括架設比較表を示す．他工事においても軌道の両側を民家やホームに囲まれた条件下で工事桁を架設する場合，架設機による架設を採用することで中間杭を省略し工程短縮やコスト低減を提案することが可能である．

６．今後の課題

(1) 架設機の汎用性拡大

今回の架設機を採用できる条件の一つとして，「架設機を留置できる基地が架設位置の近傍にあること」が挙げられる．今後も活用していくには，この採用条件を緩和し汎用性を拡大することが重要である．今回の架設機の駆動輪はタイヤであり，軌道内では木製覆工上を走行した．当現場は架設箇所の近傍に架設機を留置できるヤードがあったため，軌道内の架設機走行箇所は全て木製覆工を敷設した．しかし，留置基地が遠い場合，走行箇所全てに木製覆工を敷設することは非効率となる．その解決策として，架設機の駆動部をレール載線可能とすることが挙げられる．レール載線ができれば，遠方の留置基地からでも架設場所へのアクセスが可能となり，架設機採用の幅を拡大できる．

一方，レール載線可能な駆動輪にした場合に新たな課題が出てくる．それは，レール走行時の安定性である．架設機はクレーンガーダーに吊り荷が載荷されている機構上，重心高さが 2600～2800mm 程度と高いためレール走行時の安定性が確保できない．そのため，走行時は吊り荷を駆動輪上に載荷できるようにするなどして重心高さを下げる工夫が必要となる．

(2) 架設機の機能拡充

電車用の架空線がレールレベルから 5.0m であっても架空線下で作業可能にするため，今回の架設機の全高は最大 4.55m とした．そのため，運搬車両に積載した桁材を架設機で荷取りするには吊り代確保が難しく，架設機に桁をセットするにはラフタークレーンで架設機近傍に桁を置き，架設機を桁の上に移動し揚重する必要がある．例えば，架設機の支柱に伸縮ジャッキを取り付け，架設機の全高を 3m 程度調整可能とすれば，運搬車両から直接荷取りが可能となり更に生産性が向上する．

７．まとめ

今回の架設機は，クラブトロリー式橋形クレーンに分類され，落成検査を経て実用に至っている．各種安全装置を装備した機械で安全性も確保しつつ，生産性向上にもつながった．この技術は工事桁架設だけではなく，橋梁工事やインフラ更新工事にも適用可能な技術だと考える．引き続き，前述の「今後の課題」を解決すべく試行しつつ，本工法の利点を活かせる現場への適用，展開を進めていく．

参考文献

1)井原ら，工事桁架設機の設計および製作実績，第 77 回土木学会年次学術講演会，Ⅵ-142，2022
2)井原ら，工事桁架設機を使用した営業線の工事桁一括架設，第 78 回土木学会年次学術講演会，Ⅵ-567，2023