

渋谷駅改良工事（埼京上り線切換）－長大間合いでの架道橋架替の施工実績－

鹿島建設(株) 正会員 ○加納 暢彦 幸野 寛伸
 永田 敏秋 林 宏延
 柴田 知之 小澤 智裕
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 新関 信 横山 力

1. はじめに

渋谷駅周辺再開発の基幹事業として行われている JR 渋谷駅改良工事は、山手線、埼京線 4 線の線路切換を行い S 造（一部 SRC 造）の駅施設へ改築、約 350m 離れた位置にある埼京線ホームの山手線ホームとの並列化、山手線ホームの 1 面 2 線化、コンコースの拡大整備、JR 線路下を横断する東西自由通路の整備を行う工事である（図-1、2 参照）。

現在は、2020 年夏までに埼京上下線の線路切換を 2 回に分けて行い、埼京線ホームを山手線ホームに並列化することを目標に工事を進めている。その初回として埼京上り線の線路切換を 2018 年 5 月 25 日夜間から 27 日まで埼京上下線を約 46 時間運休する長大間合い線路閉鎖の中で行った。

本稿では、長大間合いでの線路切換という時間制約、遅延時の社会的影響とともに、複数の再開発事業が進む狭隘な都市部での用地制約という条件のなかで、架道橋の既設桁撤去および新設桁架設工事についての施工実績を報告する。



図-1 完成イメージ図

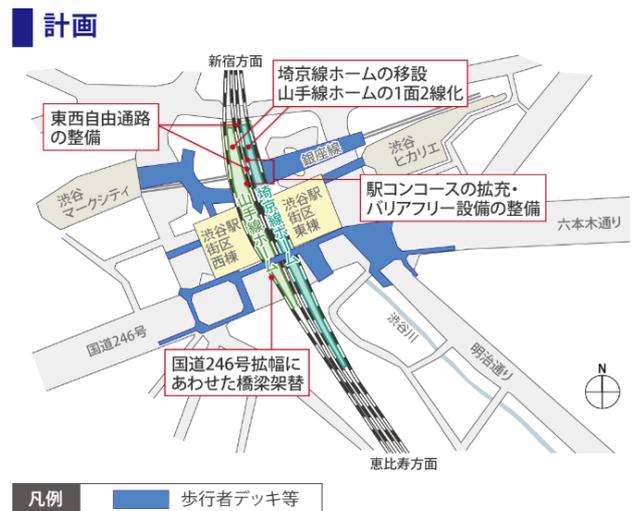


図-2 渋谷駅改良工事全体計画図

2. 埼京上り線切換概要

(1) 切換全体概要

埼京上り線の新設線工事において、埼京線ホームを新設するスペース確保を目的として、東側に埼京上り線を拡幅する新設高架橋を別線工事で事前に構築した。2018 年 5 月に行った線路切換工事では、埼京上下線を約 46 時間運休する長大間合いにて別線工事の起終点の切換口の接続工事を行った（図-3 参照）。

起点方切換口では、ホーム及び軌道のこう上

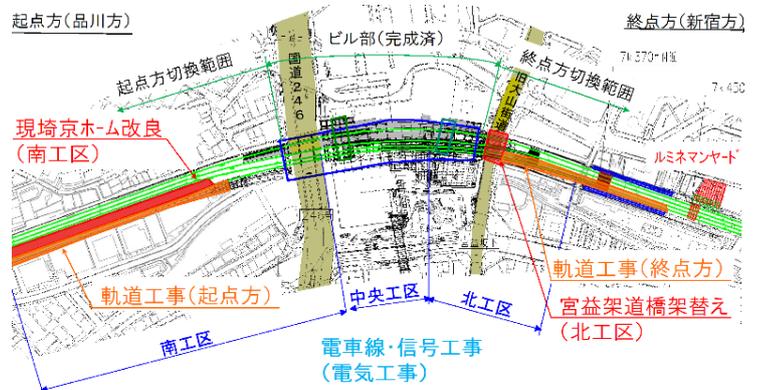


図-3 埼京上り線切換概要図

キーワード 長大間合い、線路切換、自走台車、横取り、縦取り、桁回転、桁降下、桁切断、分割撤去

連絡先 〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 2-24-1 JR 渋谷駅改良北工区 JV 工事事務所 TEL：03-3400-2361

(最大1.1m)、横移動(最大2.7m)を行った。終点方切換口では、旧大山街道上空の宮益架道橋架替、盛土部の軌道こう上(最大0.3m)、横移動(最大1.3m)を行った。

鹿島JVは、本工事で全体3工区のうち施工範囲の終点方(新宿方)にあたる北工区を担当し、終点方切換口で宮益架道橋の架替工事を担当した。

(2) 宮益架道橋架替概要

a) 施工概要

宮益架道橋は、スクランブル交差点を通る旧大山街道上空の橋梁で、今回の切換工事において既設桁を切斷・撤去して新設桁の架設を行った(図-4参照)。

既設桁は、埼京上下線で使用される2線3主桁構造の鋼床版下路プレートガーダーの単純桁、桁長は29.1m、桁高は1.7m(1.0m中央桁)である。埼京下り線部分は切換工事後も既設桁を使用するため、埼京上り線使用範囲の部分撤去を行い、撤去重量は146t(バラスト含む)である。

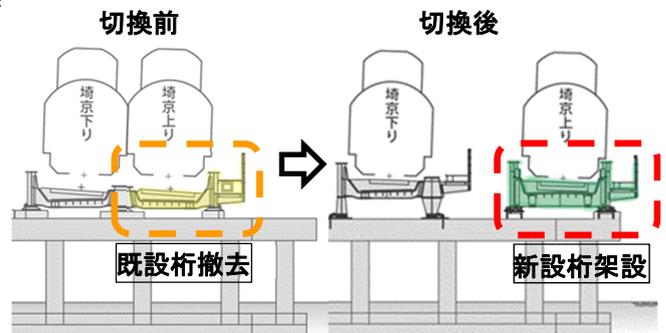


図-4 宮益架道橋架替概要図

新設桁は、別線施工で構築した高架橋に接続するために1線2主桁構造の鋼床版下路プレートガーダーの単純桁、桁長は29.4m、桁高は品川方2.4m、新宿方2.1mである。また、桁内はバラストの代わりに軌条桁化し、桁重量を121t(軌条桁含む)に軽量化して架設した。

b) 施工時間・条件

今回の線路切換工事では、通勤通学の利用者を考慮して2018年5月25日(金)の終電から27日(日)22時までの約46時間埼京線を運休する長大間合いで行われ、そのうち土木工事は軌道・電気時間を除いた約30時間で計画された。埼京線と並走する首都圏の最重要路線である山手線は、通常の列車運行(線路閉鎖1:16~4:27)を確保する条件で行われた。

今回のような埼京線を46時間運休して行う大規模な線路切換は近年では例がなく、工事の遅れは社会的影響が非常に大きいことから綿密な時間管理が求められた。

また、桁架設箇所の旧大山街道は、第三者の安全確保のため既設桁撤去時と新設桁架設の時間は道路を全面通行止めで計画した。本道路は、区道ではあるが交通量が多く、(約1.8万台/日)全面通行止めによる周辺幹線道路への影響が大きいため、警視庁との協議により通行止め時間は夜間の限られた時間に制限された(1日目は22:00~翌10:00、2日目は22:00~翌7:00)。

c) 用地使用条件

今回のような時間的制約の大きい架道橋の架替工事では、周辺に工事用地を設けて桁の組立を行い、大型クレーンを用いた既設桁の一括撤去、新設桁の一括架設が多く採用されている。工事着手時においては、過去の事例と同様に周辺工事と工事用地の調整を行い大型クレーンでの一括架替を行う計画としていた(図-5参照)。

しかし、本工事の周囲は非常に多くの再開発工事が行われているため、切換日に限定した期間しか隣接する作業ヤードが確保できない結果となった。一方で大型クレーンでの一括架設においては、新設桁の組立から切換後の既設桁の解体撤去まで約4ヵ月間の工程が必要である



図-5 大型クレーン一括架替概要図

ことから、計画変更が必要となった。

計画変更にあたり、新設桁を組立できる用地として、架設箇所から終点方に約 235m離れた山手線脇の JR 東日本所有の商業ビルを撤去して使用することが可能となり、この場所を桁の組立ヤードとして使用する条件で今回の架替計画の再考を行った。

3. 施工計画・リスク対策

(1) 宮益架道橋架替全体計画

前述した施工時間・用地使用の条件を踏まえ、既設桁の撤去方法は切替当日に設置撤去可能かつ揚重能力が最も大きい移動式クレーンを用いて撤去を行う計画とした。使用するクレーンの能力に上限があるため、揚重可能な重量にブロックを分割撤去する撤去計画を行った。

また、新設桁については使用する用地の条件により、組立ヤードから架設箇所まで約 235mの桁の運搬が必要となった。このような桁運搬においては、通常道路での運搬が多く採用されるが、渋谷駅周辺は歩行者、車両とも多い環境から道路規制は夜間に制限され、道路環境自体も狭隘であることから道路での運搬は困難と判断し、山手線の運行に支障を与えないという条件のもと線路内での桁運搬計画を行った。

現地での架設方法は、桁重量が 121 t と大きく、切替日の作業時間内で据付け可能なクレーンがないため、油圧ジャッキを用いる桁降下設備で据付けを行う計画とした (図-6 参照)。



写真-1 施工箇所全景

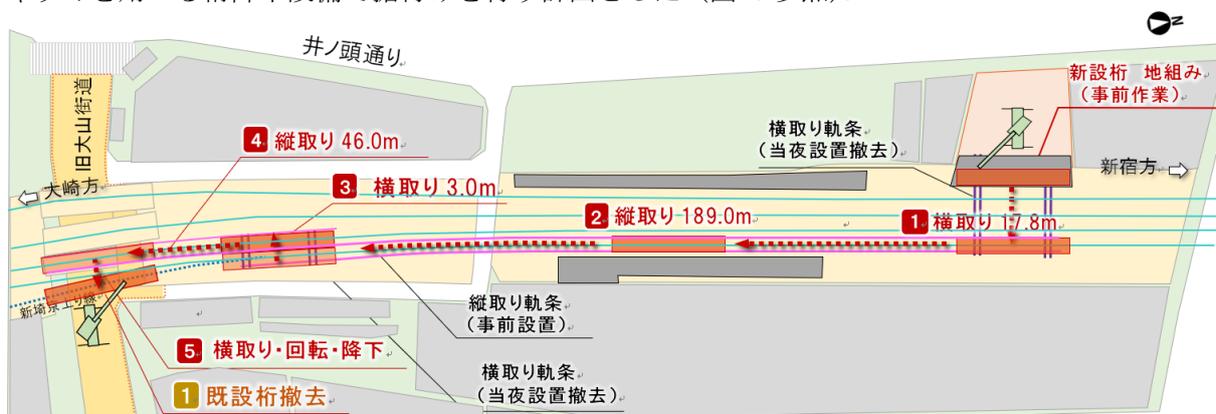


図-6 宮益架道橋架替全体概要図

全体の作業時間計画としては、初日の 25 日 (金) 夜間は旧大山街道の道路通行止め時間内で既設桁の撤去完了、山手線線路閉鎖間合い時間内で山手線横断の新設桁横取り移動の完了を行う。

翌日の 26 日 (土) 昼間は、夜間の通行止め時間で現地での桁架設作業を行うために、埼京上下線の線路内で約 235mの桁の縦取り移動を行う。

26 日 (土) 夜間は、2 回目の通行止め時間内で桁降下設備を用いた桁架設の完了を行い、27 日 (日) の昼間で支承部の無収縮モルタル打設を行い、30 時間の土木作業を完了させる (表-1 参照)。

(2) 既設架道橋撤去計画

a) 事前作業計画

既設桁の軌道はバラスト構造であるため、切替当日でのバラスト撤去省略および撤去重量低減を目的と

表-1 埼京上り線切替サイクルタイム

	5月25日	5月26日	5月27日
	24	4 8 12 16 20 24	4 8 12 16 20 24
埼京線線路閉鎖		46時間【長尺間合い線路閉鎖】	
山手線線路閉鎖			
道路通行止め		22:00~10:00	22:00~7:00
桁横取り		クリティカルパス② 山手線閉で横取り	
桁縦取り			クリティカルパス③ 全面通行止めで桁架設完了
桁降下段取り			
桁横取り回転			
桁降下据付			番道線収縮
撤去準備			
既設桁撤去			
軌道作業		クリティカルパス① 全面通行止めで撤去完了	
電気作業			

して、既設桁の横桁上を支承とする槽状桁を架設し事前にバラストの撤去を行った。また、槽状桁化の支承として使用していない鋼床版と横桁と橋側歩道を事前撤去することで撤去重量を約 40%低減(バラストを含む)する計画とした(図-7、表-2 参照)。

既設桁撤去は、残置する埼京下り線部分との分離と、ブロック分割撤去を行うため、切断延長が非常に長く作業時間遅延が懸念される作業であった。そのため、当日の切断作業量の低減を目的として、列車運行に必要な横桁を設計照査し、事前撤去可能な連結ボルト 200 本の撤去と、分割箇所鋼床版の事前切断を行った(図-8 参照)。

b) 切換日の桁切断・分離計画

既設桁撤去は、用地使用の条件から使用できるクレーンが制限されるため、撤去ブロック重量軽減のために分割撤去を採用した。そのため、撤去範囲の切断・分離は、切換日当日に分割箇所の主桁の切断と構造上必要な横桁の切断とボルト撤去を行った。

切換日の切断・分離作業は、最終列車確認後に仮受けベントでの桁仮受を行った後、電気・軌道の作業中に横桁部ボルト撤去と主桁下フランジの先行切断を行い、土木工事への引渡し完了後から主桁と鋼床版の本切断で撤去する桁を分離する段階施工を採用することで、更なる作業時間の短縮を行うこととした(図-9 参照)。

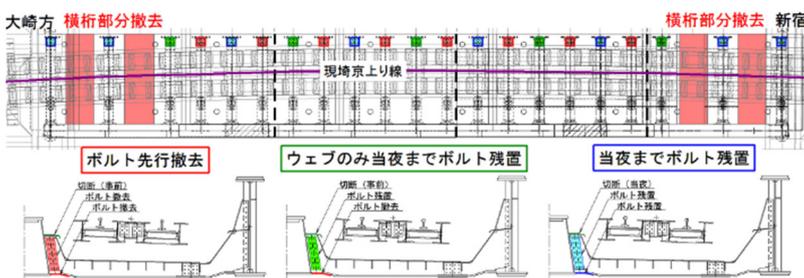


図-8 横桁撤去時期区分図

c) 撤去桁の分割・揚重計画

当初は、切換日当日の組立解体の条件から 100 t オールテレーンクレーンで計画を開始したが、揚重能力から 5 分割となり作業時間が厳しい計画であった。その課題に対し、同様の条件を満足する国内最大の 130t 吊りオールテレーンクレーンを選定し、前述の事前撤去との効果で 4 分割撤去が可能となった。揚重計画は、撤去重量が想定

より重いリスクを考慮し、定格総荷重の 70%以内となるようにブロック分割計画を行った(図-10、11 参照)。

なお、区道の下部には東京メトロ半蔵門線の地下函体があり、アウトリガー反力の影響が懸念されたが、影響検討を実施して地下函体へ影響が無いことを確認した。

既設桁の切断時に用いる仮受けベントは、3 箇所のうち 2 箇所は切換当夜に道路内に設置撤去を行うためプ

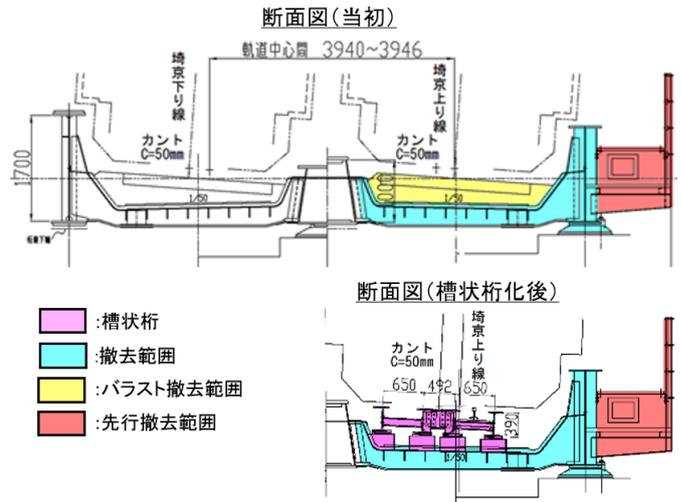


図-7 撤去桁事前作業計画図

表-2 撤去桁重量比較表

時期	項目	重量	総重量	差分
施工前	既設桁	67.1t	146.0t	
	バラスト	78.9t		
切換時	既設桁	56.6t	83.2t	-62.8t
	槽状桁	26.6t		

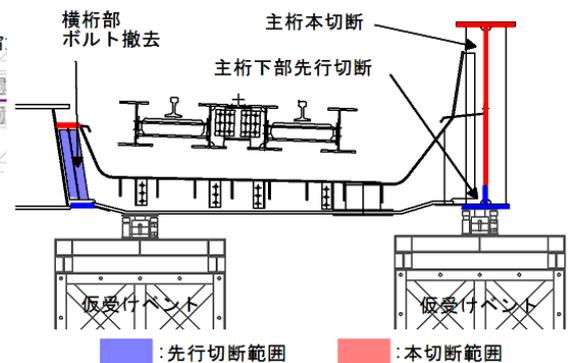


図-9 既設桁切断・分離手順図(切換当日)

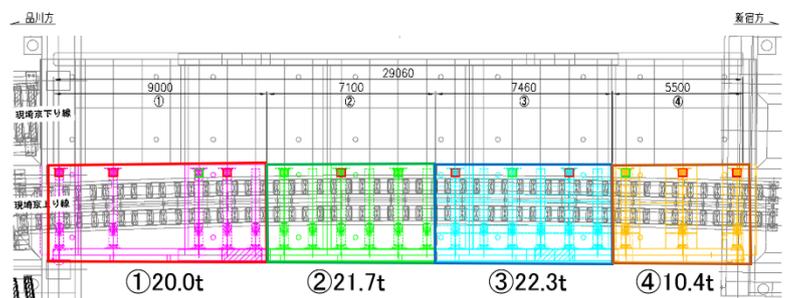


図-10 既設桁撤去ブロック割り図

レハブ化した大型ペントで作業時間を短縮する計画を行った。また仮受けペント上部には、当日の桁切断用の足場を兼用する構造として設備の縮減を行った。

d) 撤去桁の解体・搬出計画

分割撤去した桁幅は約5mあり、その状態での車両での搬出や、全面通行止め時間内に小割切断することが困難なことが課題となった。そこで、切替期間中借用した隣接工事のヤードを利用し、道路からヤード内への軌

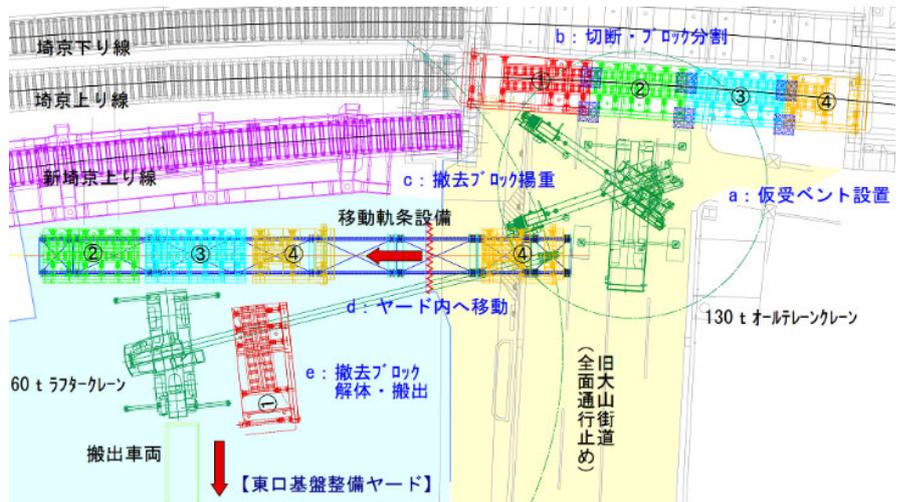


図-11 既設桁撤去・搬出計画図

条設備を設置し、自走台車を用いて撤去桁を順次ヤード内に移動、仮置きすることで作業時間を短縮し、クリティカルパスである通行止め開放時間内で作業を完了させる計画とした（図-12 参照）。

ヤード内に移動後は、翌日の昼間作業でヤード内での小割切断を行い、夜間に撤去材を車両で搬出することで切替期間中での搬出完了を可能にした。

(3) 新設桁運搬・架設計画

a) 新設桁運搬計画

線路内での桁運搬は、桁地組ヤードから発進し山手内外回り線と埼京下り線を横断する横取り移動と、埼京上下線で架設箇所の埼京下り線の架道橋上まで移動する縦取り移動で行った。山手線を横断する横取り移動

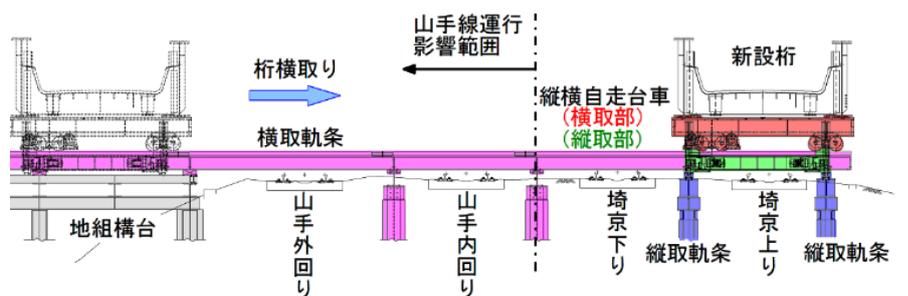


図-12 新設桁横取り移動計画図

は、山手線の運行に支障しないよう2.5時間の線路閉鎖時間内で、軌条設置から横取り移動、軌条撤去までを完了させる計画とした。縦取り移動に関しても、山手線の列車運行時間での桁移動となるため山手線と十分な隔離が確保される位置まで埼京上り線で運搬を行う計画とした（図-12 参照）。

桁運搬に使用する軌条は、支持杭（H=300，L=11.5m）を10mピッチで打設し、軌条桁（BH=500×500×22×35）を設置する構造とし、列車運行に支障しない線路方向は事前設置、線路直角方向は当日の設置撤去で行う計画とした。

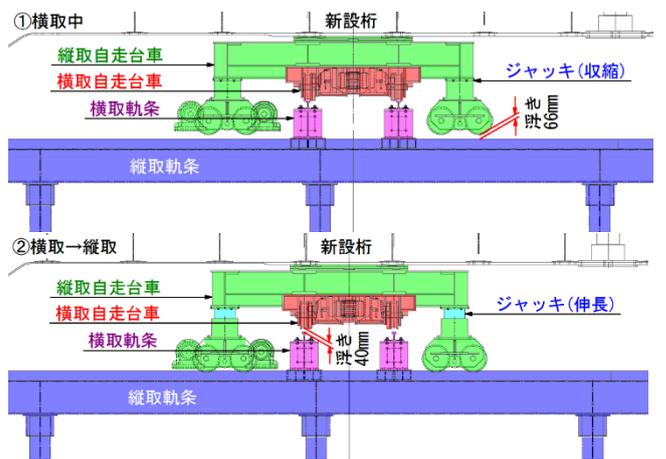


図-13 縦横台車 横取り-縦取り切替え図

桁運搬設備は、1台で2方向の動きが可能な2台の縦横自走台車（cap1, 600kN：移動速度1.5m/min）を用いて異なる方向への移動に対して最小限の設備で行う計画とした。自走台車の横取り台車から縦取り台車への切替えは、縦取り用台車に搭載したジャッキのストローク伸縮を利用して各々の軌条に乗り換える機構を採用した（図-13 参照）。

b) 新設桁架設計画

新設桁の架設は、道路の全面通行止め時間内で隣接する既設桁上から架設位置まで4台の自走台車（cap800kN：移動速度1.0m/min）での桁横取り・回転を行い、油圧ジャッキを用いた桁降下により所定の位

置に据付けを行う計画とした（図-14 参照）。

桁の横取りは、回転を伴う横取りとなるため、自走台車上にスライディングプレート（回転のみでなく、縦横方向へのスライド機構）を配置し、自走台車の動きのみで横取りから回転までを一連の作業で行えるよう計画を行った。スライディングプレートは、各々の移動方向へ溝切り加工した4枚の鉄板の間に無収縮オイレスプレートを配置し、回転で生じる動きに追従する構造とした（図-15 参照）。

桁降下は、時間制約の厳しい道路通行止め時間内の架設時間短縮のために、2.1mストロークのジャッキを用いた降下装置によりジャッキダウンによる盛替え回数を最小限とし、通常のサンドルによる桁降下時間の半分以下の時間で行える計画とした。降下ジャッキ上部の受梁を横取り軌条に兼用させることで、桁の横取り・回転から桁降下までを一連の設備で行えるように計画を行った（図-16 参照）。

また、降下装置の直下には各埋設管と半蔵門線の函体に架設時の荷重による影響が生じないように、橋台に反力を負担させる架台形状で計画を行った。

c) 支承構造計画

新設桁の支承は、当初計画では橋台にアンカーボルトを打設して固定する構造であったが、切換当日のアンカーボルトの施工は、既設橋台鉄筋との干渉で打設できず支承機能を確保できない懸念があった。

そのため、橋台前面に鋼製ブラケットを事前に設置し、ブラケット上にサイドブロックを設けることで、鉛直支承と水平支承の機能を分離する変更提案を行った。これにより、切換当日に作業リスクの高いアンカーボルトの施工を省略する計画とした（図-17 参照）。

また、鉛直支承は桁降下完了後に無収縮モルタルにより橋台と固定を行うが、列車運行に $16\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の圧縮強度が必要になっていることから、事前に4種類の超速硬タイプによる模擬試験体での充填確認試験を行い、材料選定と打設方法を決定した。

(4) リスク対策

今回のような大規模な線路切換工事では、計画通りに工事を進めることが最も重要であるため、計画段階で各作業の想定されるリスクを66項目抽出し、特に重大リスクにつながる恐れがある項目の対策を重点に行った。

主なリスク対策としては、切換時間に大きな影響を及ぼすクリティカル作業の①既設桁切断、②新設桁運搬、③新設桁回転、④新設桁降下を中心に試験施工を実施して（事前対策）、サイクルタイムの妥当性、機械・設備類の動作の確認、施工および品質管理方法の確認を綿密に行った。

また、代替の利かない施工機械（縦横台車、降下ジャッキ）故障時の対応（リスク発同時対策）だけでな

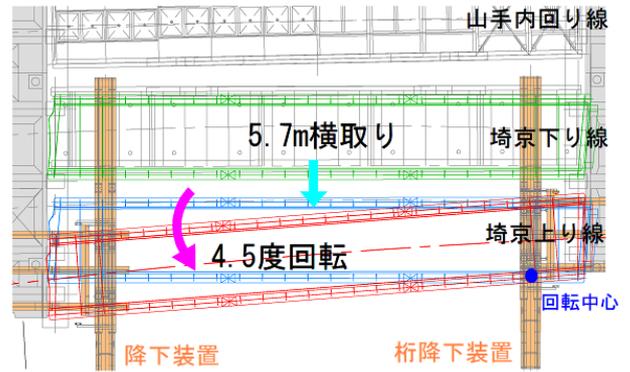


図-14 新設桁横取り・回転計画図

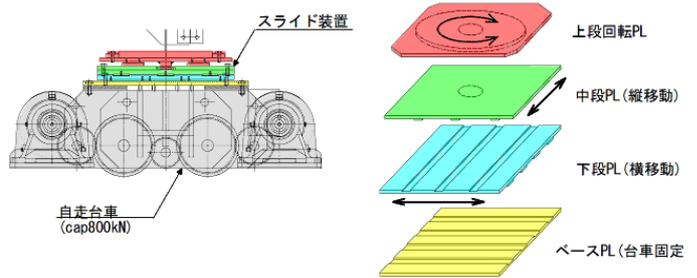


図-15 スライディングプレート構造図

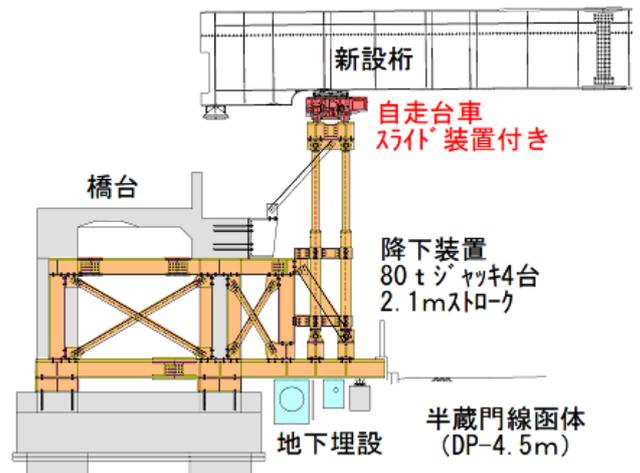


図-16 新設桁降下装置計画図

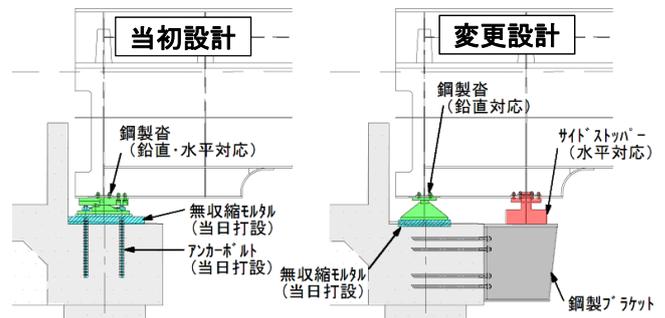


図-17 新設桁支承構造図

く、リスク内容発動時の切換全体時間への影響予測も行った (表-3 参照)。

表-3 主要リスク対策一覧表

対応	対象	対策内容	目的	試験物
事前対応	新桁	縦横台車走行試験	A、B	実物
		縦横台車リスク対応試験	A、C	実物
		桁降下装置動作試験	A、B、C	実物
		桁回転試験	A、B	実物
		桁横取り試験	A、B	実物
		桁縦取り試験 (障害物確認)	B	模擬
		支承モルタル打設試験	A、B	模擬
既設	既設桁切断試験	A、B	模擬	
	既設支承ハツリ試験	A	模擬	
当日リスク	新設	縦横台車故障時代替え案 (ウインチ、推進ジャッキ)	C	—
		降下装置故障時代替え案 (サンドル降下)	C	—
	既設	撤去クレーン故障時代替え案 (同型クレーンの予備配置)	C	—
共通	各設備故障時代替え案 (予備材、発電機の配置)	C	—	

※:目的 A:サイクルタイム確認
B:施工・品質管理方法確認
C:故障時、トラブル対応

4. 施工実績

(1) 既設桁撤去の施工実績

事前作業においては、槽状桁化からバラスト撤去、横桁などの事前撤去により撤去重量 40%の低減を実施した。また、構造上影響がない 200 本の横桁ボルトの撤去以外に当日撤去する 450 本のボルトの入れ替え作業も行い、切換当日作業の確実な実施の準備を行った (写真-2 参照)。

切換当日の作業においては、撤去準備作業 (クレーン搬入～横桁ボルト撤去) を予定通りに 5 時間 30 分で行い、既設桁撤去作業 (既設主桁切断～クレーン搬出) は予定 4 時間 40 分に対して実績 3 時間 50 分と 50 分短縮し、区道の全面通行止めは余裕をもって解除した。

撤去の準備作業では、撤去桁の仮受ベントによる仮受けと横桁部のボルト撤去を行った。制限された作業スペースであったが、仮受ベントのプレハブ化と、切断用足場の一体化によりスムーズに設置を行うことができ、450 本と本数が多い横桁ボルトの撤去も余裕をもって作業することができた。

特に既設桁撤去で作業遅延が懸念された主桁切断は、実物大試験体の試験施工による精度向上できたことと、準備作業時間での事前切断を実施したことにより予定時間に対して切断時間を短縮して実施できた (表-4 参照)。その後の切断ブロックの撤去は、埼京上下線の架線間の制限されたスペースでの揚重であ

ったが、介錯ロープで撤去ブロックをコントロールし、4 ブロックの撤去材を問題なく揚重して撤去した。撤去した 4 ブロックとも想定通りのブロック重量であったため、130 t 吊りオールテレーンクレーンの能力内で問題なく撤去できた (写真-3 参照)。

また、当日はクレーンを含む約 40 台の車両の入退場と複数作業を並行で行ったが、綿密な事前シミュレーションにより無事に施工を行った。

(2) 新設桁架設の施工実績

山手線線路閉鎖時間内で行う横取りは、事前の実橋での試験施工で確認された軌条部材ごとの干渉を改善したことで、計画 160 分に対し実績 140 分と余裕をもって山手線の運行確保を行った (写真-4、表-4 参照)。

縦取りは、試験施工で計画速度より早い 2.5m/min でも安定した結果が得られたため実施工でも採用し、計画 580 分に対し実績 370 分と大幅に短縮し後工程の施工時間余裕を確保した (写真-5、表-4 参照)。今回、線

表-4 主要作業比較一覧表

項目	対象	作業内容	予定	試験施工	実績
サイクルタイム	既設撤去	撤去準備工	330分	—	330分
		既設桁切断 (本切断)	180分 60分 (箇所)	— 50分 (箇所)	110分 — (箇所)
		既設桁撤去	300分	—	210分
	新設架設	横取り移動	160分	135分	140分
		縦取り移動	580分	—	370分
		横取り・回転・降下	210分	—	220分
施工管理	新設架設	横取り速度	1.0m/min	0.5~1.5 m/min	1.5m/min
		縦取り速度	1.5m/min	1.5~2.5 m/min	2.5m/min
		固定支承の回転後のズレ	誤差±50mm	誤差+6mm	誤差-2mm
		降下速度	0.06m/min	0.026~0.037 m/min	0.034m/min
		無収縮モルタル	16N/mm ²	20.1N/mm ² (材令1時間)	21.3N/mm ² (材令1時間)

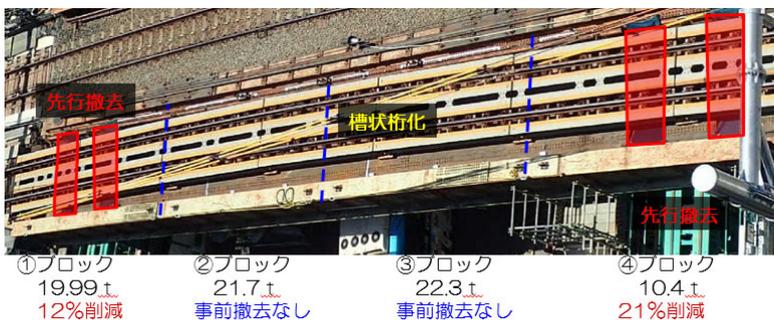


写真-2 既設桁撤去前状況

路内での 235m という長距離の桁運搬であったが、事前の模擬台車での走行確認などを行い、電化柱などの鉄道設備や既設架道橋の主桁に干渉することなく桁運搬を行うことができた。

桁の横取り・回転・降下は、試験施工の良好な結果と同様に桁横取り・回転完了時に桁位置の調整が不要な 3mm 以内の誤差で管理を行った。その後の桁降下においてもジャッキ降下量を左右 20mm 以内、前後 100mm 以内でストローク管理し、桁降下時においても桁位置のズレを生じることなく据付けを行った。

横取りから桁降下の一連作業は、試験施工において降下速度が予定の 0.06m/min を下回ることが確認されたため試験施工の最遅値の 0.026m/min とし、試験施工で作業時間に余裕が確認された横取り回転完了までの作業時間を見直し、予定の全面通行止め時間内の 540 分で行った（写真-6、表-4 参照）。

また、支承部の無収縮モルタルは、模擬試験体での事前試験において充填不良が確認され、使用材料、打設方法を見直し 2 回の追加試験で打設方法の確定を行った。切換当日は、残留エアの抜けを確認しながら打設を行うとともに、現場の強度確認も材令 1 時間で 21.3N/mm^2 の強度を確認し打設を完了した。

今回の予定した施工時間内、施工管理の実績は、事前のリスク対策における試験施工の結果を反映できた効果が非常に大きかった。

5. おわりに

今回、線路切換工事という時間的制約が大きい条件の中で営業線の線路内での桁運搬、道路上での横取り・回転をとまなう桁架設など前例の無い施工方法を採用したが、1 年半におよぶ計画と様々なリスク対策により無事に完了させることができた。来年行われる予定の埼京下り線の第 2 回線路切換工事では、既設桁のこう上・横移動のほかに工事桁のこう上・横移動、ホーム拡幅などさらに多くの作業が予定されているため、今回の実績と更なるリスク対策で臨む所存である。

最後に本工事に携わった全ての関係者に敬意と感謝の意を表して結びとする。

【参考文献】

1) 横山 力：渋谷駅改良工事（第 1 回線路切換 宮益架道橋架替、日本鉄道施設協会誌、2019.1



写真-3 既設桁撤去状況

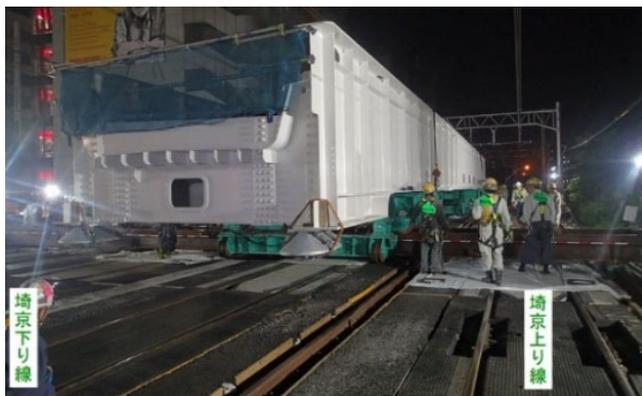


写真-4 新設桁横取り移動状況



写真-5 新設桁縦取り移動状況

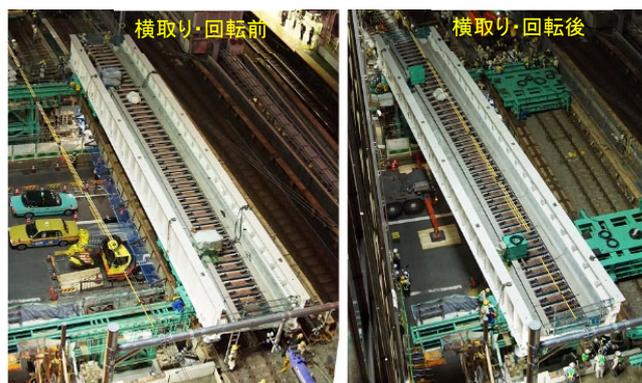


写真-6 新設桁横取り・回転状況

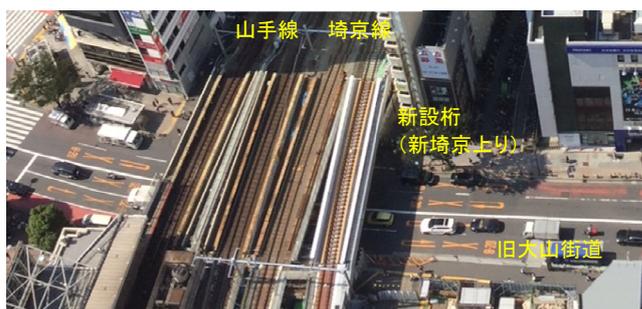


写真-7 新設桁架設完了全景