

1

ソード工法の立川駅改良工事への適用

東川 正之^{*1}・飯野 実^{*1}・中島 英一^{*2}・菅田ふさ子^{*1}

概 要

線路上空建物の鉄骨工事は、これでは夜間工事で施工されることが多いため、施工能率が悪く工期の長期化・コスト高の要因になっていた。これらの諸問題を解決する工法としてソード工法を開発した。ソード工法は、線路外に発進構台を設け、発進構台上において昼間作業で鉄骨建方を行い、その鉄骨骨組を、夜間に線路上空をスライドさせることで、施工能率の向上、工期短縮を図るものである。

今回は、立川駅改良工事でソード工法を適用した、その施工内容及び結果を報告するものである。

キーワード：スライド，フロアーダウン，夜間工事，き電停止作業

APPLICATION OF THE SWORD METHOD TO THE IMPROVEMENT PROJECT OF JR
TACHIKAWA STATIONMasayuki HIGASHIKAWA^{*1}, Minoru IINO^{*1},
Hidekazu NAKAJIMA^{*2}, Fusako SUGATA^{*1}

Abstract

Steel structure work of a building over the railway track is usually carried out at night. Therefore, work efficiency is poor, elongating the construction period and increasing cost. As a solution for this problem, the SWORD method was developed. In this method, steel members are erected during daytime on a starting platform constructed outside the railway track, and the assembled steel members are slid over the track at night, thereby improving work efficiency and shortening the construction period.

This paper describes the work and results of the SWORD method used in the JR Tachikawa Station.

Keyword: slide, floor lowering, work at night, work for dead line

*1 Project Administration Center, Tokyo Railway Project Branch

*2 Architectural Technology Department, Engineering Division

ソード工法の立川駅改良工事への適用

東川 正之^{*1}・飯野 実^{*1}中島 英一^{*2}・菅田ふさ子^{*1}

1. はじめに

線路上空建物の構築は、電車の運行に支障なく、安全に施工しなければならない。そのため鉄骨建方は、電車の運行されない夜間に短時間で行う必要があり、施工能率が悪く、工期の長期化・コスト高の原因になっていた。

これらの諸問題を解決するため、本工法では、発進構台を設けて、鉄骨構造物を発進構台上において昼間作業で組み立て、夜間、スライド桁、手延べ機等の仮設材を使用せずに線路上空を高速スライドさせることで、大幅なコスト・工期の低減を可能にした。

今回は、本工法を JR 立川駅改良工事に適用した内容を報告するものである。

2. 工事概要

JR 立川駅改良工事の概要を以下に示す。

工事件名：「立川駅改良工事く体他 2」

発注者：東日本旅客鉄道（株）

設計：株式会社 ジェイアール東日本建築設計事務所

監理：東日本旅客鉄道㈱東京工務所 多摩工事区

施工：立川駅改良工事他共同企業体
建設場所：JR 立川駅構内

工期：自平成 17 年 11 月 1 日
至平成 20 年 5 月 31 日

主用途：駅施設、店舗、

建築面積：4,208m²

延床面積：15,525m²

構造：S 造

階数：地上 5 階

高さ：軒高 19.51m

最高高さ 19.91m

3. 鉄骨建方概要

鉄骨建方の施工区分を図-1に示す。施工順序ではタワークレーンにより発進構台部の建て込みを行い、次にハンドリングマシンによる独立柱の施工からスライド部の施工、最後に在来工法部をタワークレーンで施工した。

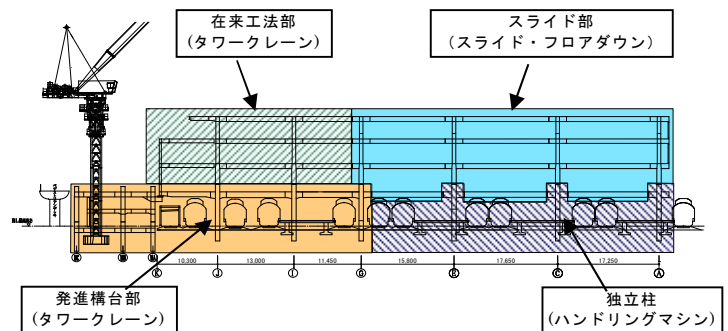


図-1 鉄骨建方の施工区

4. 独立柱の建方

独立柱の建方はハンドリング（以下HD）マシンで行い 14 箇所 28 部材を構築した。部材重量は 3.2～5.3tf で、搬入は場所によって台車による、ホーム上を人力運搬と軌道上人力運搬の両方を採用した。留置場所から施工場所の距離は 80～240m で平地と軌道走行により搬出入した。またリスク管理の為に余裕時間を確保する必要から、仮屋根や仮ホーム床の撤去・復旧時間を短縮する工夫を行った。

図-2に独立柱の平面配置図を示す。

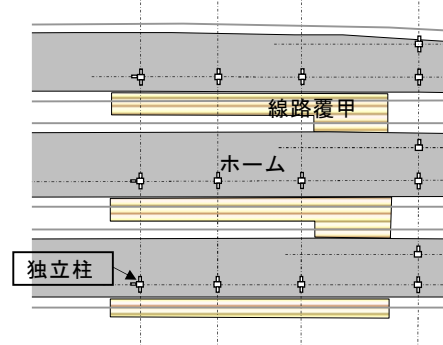


図-2 独立柱平面配置図

*1 東京鉄道支店

*2 エンをエンジニアリング本部 建築技術部

本工法で使用した HD マシンは従来機から大幅に性能を向上させ、さらに線間での作業と線路上空建物の構築に合う仕様とした。その特徴は主に 5 つあげられる。①軌道と平地の両方を走れる軌陸車仕様である。②平地走行はキャタピラ式とし、揚重時はキャタピラで反力をとる。③クレーンのように荷を吊り上げるのではなく、大きな爪によって荷を把持する。④3 次元で荷を回転させることができ、油圧制御により動作はセンチ単位で操作可能。⑤ホーム間や電線類の下で作業が行える仕様である。これらの特長により、大きな作業能力と機動性を備えながら、軌道内での建方を可能とし、単線や狭隘空間でも作業が行えるようになった。HD マシンの仕様を表-1 に示す。

建方当夜は終電後からホーム上で柱周囲の仮囲いの撤去を行い、線路閉鎖を待って仮ホーム屋根の撤去から仮ホーム床(0 節建方時)を撤去した。線路閉鎖後、HD マシンを留置場所から移動させ、工事用踏切から載線し線路覆工箇所まで軌陸走行しながら搬入した。続いて HD マシンをキャタピラ走行に切替え、ユニック等の移動式クレーンで後部にカウンターウェイトを搭載した(図-3)。HD マシンによる建方は、スペースの大きい場所で鉄骨を把持し、建方位置までキャタピラ走行で移動した。続いて鉄骨を垂直に回転させながら建方位置まで近づけた。この時トロリー線等と接触しないように杭孔やホーム屋根の開口を利用して建起こす。最終的にマストの上下方向のみの操作で1 次元的に下ろせるように建入を調整し、マストを下降させた。続いて 0 節はアンカーボルトを、1 節はエレクションピースを仮締めし、HD マシンの把持力を解除した。0 節はアンカーボルトを締め、1 節はエレクションピースを締めた後、建入調整治具を設置した。最後に建方前と逆の手順でカウンターウェイトを撤去し、HD マシンを留置場所まで退避させる

表-1 ハンドリングマシンの仕様

運 転 質 量	: 33,300 kg
全 長 (作 業 時)	: 11,350 mm
全 幅 (作 業 時)	: 2,860 mm
全 高 (作 業 時)	: 3,890 mm
後 端 半 径	: 3,160 mm
最 大 把 持 力	: 76.1 kN
最 大 作 業 半 径	: 7,810 mm
マスト垂直リフト量	: 1200 mm
アーム伸縮量	: 1000 mm
把持装置旋回	: 360 度
把持装置前後首振り	: -90~90 度
把持装置左右首振り	: 左右80 度
対 応 線 路	: 3タイプ



写真-1 HD マシンによる建込状況

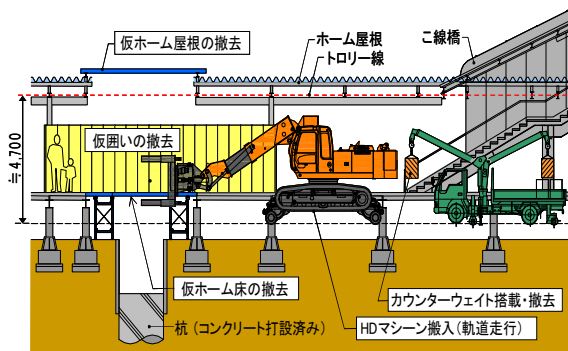


図-3 HD マシン施工手順

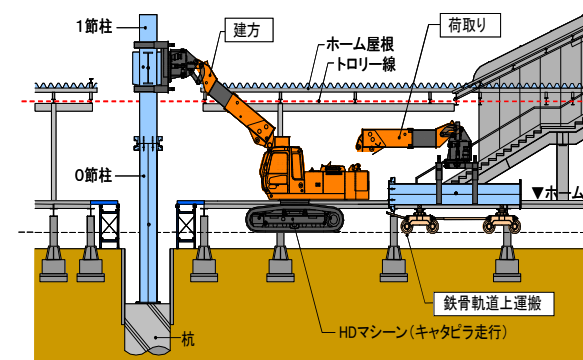


図-4 HD マシン施工手順

と同時に、仮ホーム屋根の復旧、仮ホーム床の復旧作業(0 節建方のみ)は線路閉鎖時間内に終えた。続いて仮囲いを復旧し、軌道計測を行い当夜作業は完了した(図-4)。

5. スライド工事

5. 1 スライド工事概要

スライド工事の実施概要を表－2及び写真－2に示す。

1～2回目は、上部鉄骨を発進構台上でスライドを行い、施工精度や所要時間、作業手順などを確認した。3～5回目は線路上空をスライドさせた。

線路上空スライド時は、鉄骨躯体は片持ち状態になり先端が撓むので、図－5に示すように仮設補強材を取り付け鉛直剛性を高めた。

列車運行の関係から、スライド作業は、き電停止時間の、午前 1:42 から 3:20 の 98 分間で終わらせる必要があったので、線路上空は、1 時間程度で完了するように、スライド回数を設定した。結果は最大でも 74 分と 20 分以上の余裕を持ってスライド工事を完了させた。

5. 2 スライドシステム

スライドシステムは、上部鉄骨をスライドさせる、スライド装置（ジャッキ、ステップバー）、上部鉄骨の重量を支えるスライド支承、スライド時の上部鉄骨の直進性を高めるスライドガイドで構成した。図－6に構成図を示す。

(1)スライド装置

980kN ジャッキ 4 基により、スライドを行った。ジャッキは本工法用に開発したもので、1 時間で 20m のスライドが可能である。

ステップバーは、I 型鋼材で 1m 毎にピン孔が設けてある。ピン孔にジャッキのスライドピンが入りスライド時の反力を発進構台に伝える。写真－3にスライド設置状況を示す。

スライドジャッキ、ピンブロック、ステップバーに設置したロードセルからの情報は、集中制御盤に集め、計測室でスライドシステムの集中管理を行った。管理室内で、収集した各スライド装置の荷重とジャッキストロークデータ等は、写真－4に示すディスプレイ

表－2 実施概要

回	月 日	スライド距離 (m)	所要時間 (min)	鉄骨重量 (tf)
1	10.14(昼間)	4.25	24	679
2	10.15(夜間)	8.65	73	679
3	11.11(夜間)	15.80	55	1,295
4	12.06(夜間)	17.65	61	1,809
5	12.09(夜間)	15.80	74	1,809



【2回目完了～後続鉄骨建方】



【3回目完了】

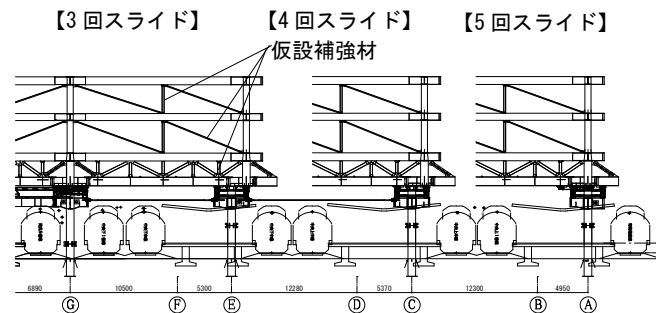


【4回目完了】

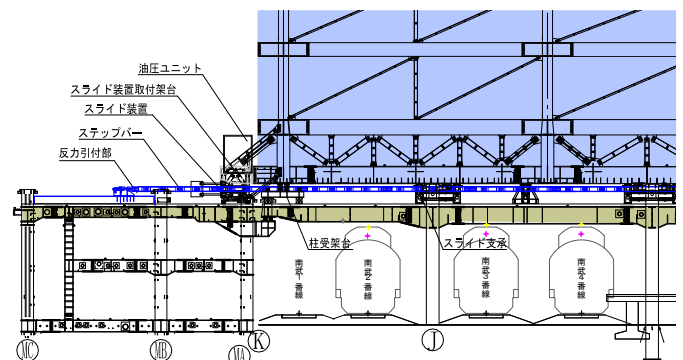


【5回目完了】

写真－2 スライド実施状況



図－5 スライド状況図



図－6 スライドシステム構成

上に表示されるスライドシステム管理画面によってシステムの制御を行った。

各ジャッキのストローク差を、 $\pm 2\text{ mm}$ 以内になるようにジャッキの制御を行った。

(2) スライド支承

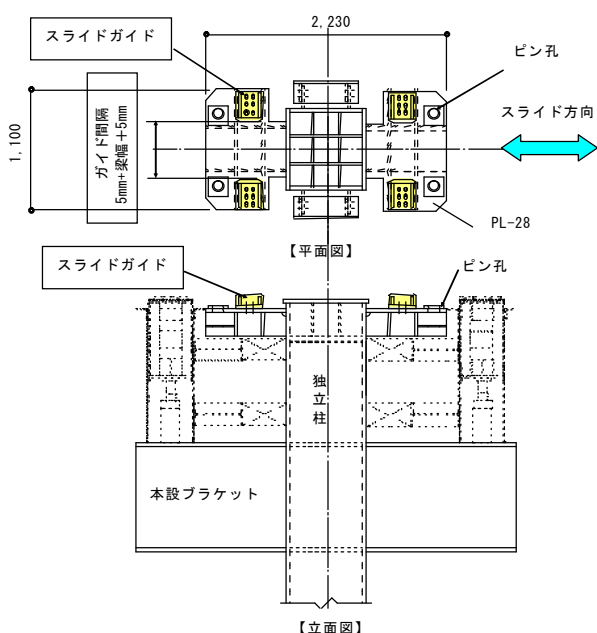
スライド支承は、天端の滑面に摩擦を低減するために MC ナイロンを取り付けた。スライド支承は内筒、外筒の 2 重管構造で、油圧ジャッキによる上下の稼動が可能になっている。工場にて内筒、外筒をセットにし、油圧ジャッキを支承に内蔵した状態で現場へ搬入された物を設置した。

写真－５にスライド支承設置状況を示す。

(3) スライドガイド

スライドガイドは、発進構台の柱及び独立柱の全てに配置した。梁との接触面は、滑りをよくするため MC ナイロンを使用した。写真－６に設置状況を示す。

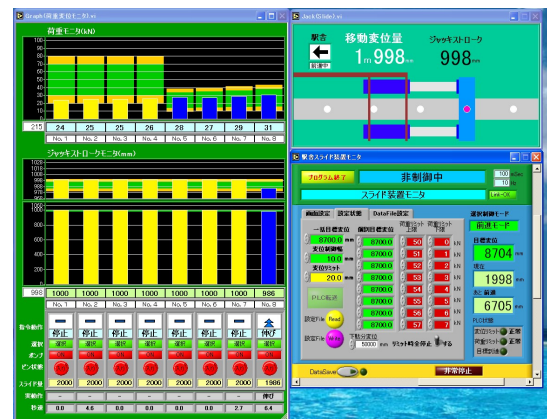
図－７に示すようにスライドガイドは、スライド梁幅に対し、両側に 5 mm のクリアランスを設けた。



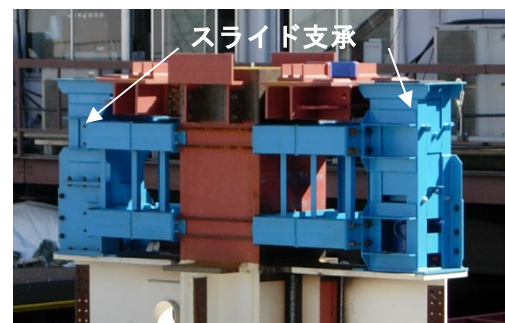
図－７ スライドガイド



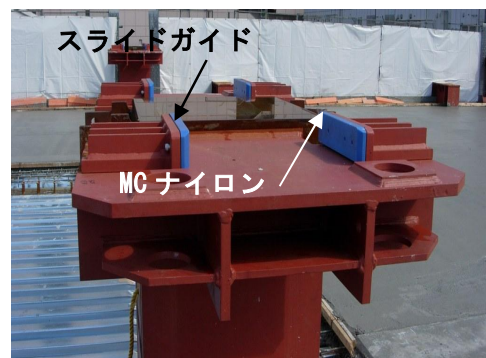
写真－３ スライド設置状況



写真－４ スライドシステム管理画面



写真－５ スライド支承設置状況



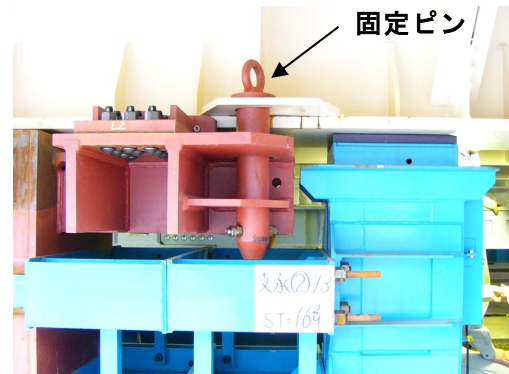
写真－６ スライドガイド設置状況

(4) 固定ピン

列車運行時は、上部構造体を固定ピンにより発進構台および独立柱に接続した。スライド方向の地震力は固定ピンで行い、スライド直交方向の地震力の処理はスライドガイドと固定ピンで行った。

固定ピンは、手作業で簡単に脱着できるので上部構造体の固定は4分程度で行えた。

写真－7に固定ピン設置状況を示す。



写真－7 固定ピン設置状況

6. フロアーダウン工事

6. 1 概 要

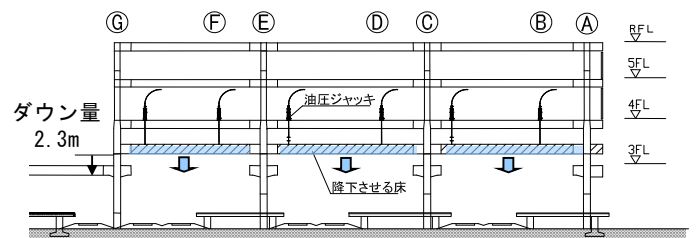
鉄骨躯体は、ホーム屋根上を通過させるため、図－8に示す様に、3階の床は正規の高さより、2.3m高い位置でスライドさせた。

ホーム屋根撤去後、3階床を正規の高さに戻すためのフロアーダウン工事を実施した。

フロアーダウン工事の実施概要を表－3及び写真－8に示す。

列車運行の関係から、スライド作業と同様にフロアーダウン作業は、き電停止時間の、午前1:42から3:20の98分間で終わらせる必要がある。

実際の施工では、準備等の前作業がフロアーダウン作業に14分喰い込んできたが、トータル92分間で終了させ、き電停止作業6分前に完了し、列車運行に全く支障なかった。



図－8 フロアーダウンイメージ図

表－3 実施概要

月 日	降下量 (mm)	所要時間 (min)	床版重量 (tf)
1. 19	2, 294	78	324



【開始前】



【完了後】

写真－8 ジャッキダウン工事実施状況

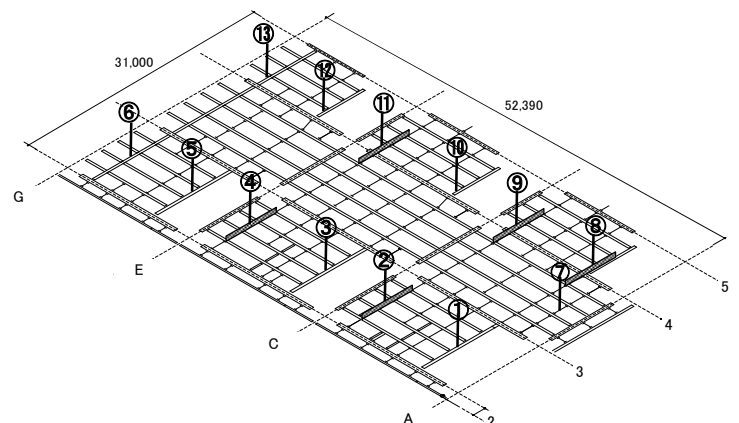
6. 2 吊点と荷重

図－9に示すように、フロアー全体がバランス良く降下するように、吊点を13箇所設け、700kN センターホールジャッキを配置して吊り下げた。各点の計画吊り荷重を表－4に示す。

吊り荷重は最大でもジャッキ能力の半分以下とし、PC 鋼より線の引張り耐力(φ28.6mm :949kN)の1/3以下とした。

6. 3 フロアーダウンシステム

ジャッキシステムは、センターホールジャ



図－9 吊点配置図

ッキ、チャックケース、爪開放ジャッキ、P
C鋼より線、クレビス金物、クレビスピンで
構成した。図-10にジャッキシステム構成
を示す。

フロアダウンシステムの構成は、13基の
センターホールジャッキに対し電動ユニット
ポンプ各1台計13台、変位計測用にロータ
リーエンコーダー13台、その他コントロール
ボックス2台、リモートスイッチ2台で構成
されている。集中操作盤に繋ぎフロアダウ
ン中の、降下量と荷重については、集中制御・
監視を行なった。

13基のセンターホールジャッキは、コント
ロールボックスによって制御し、安全に吊下
げを行った。

コントロールボックスには、CPUが内臓
されており、ジャッキストローク位置及び荷
重状態を判断し、全自動制御により行った。

フロアダウンの管理は、ジャッキのスト
ロークが、他のジャッキより5mm先行した
場合、速度を落として他のジャッキの追従を
待つシステムとし床がバランス良く降りるよ
うに行った。

6. 4 落下防止対策

HTB撤去後に、ジャッキの吊り機構が利か
なくなってもフロアが落下しないように、
落下防止対策を行った。

図-11に示すようにスライド方向のA、
C、E、G通りの落下防止対策は、スプライ
スプレートを利用した落下防止プレートを4-
M22で3F梁に取り付け、ブラケットに引っ
掛る様にした。

スライド直行方向の落下防止対策は、3、4
通りにガイド受け材を取り付け、フロアダ
ウンガイドを受ける事で落下防止を図った。

落下防止プレートとガイド受け材の配置と、
フロアの重量を全て受けた場合の荷重の負
担を図-12に示す。また、3-G通りは、荷
重の負担が169.15kNと短期荷重164.64kN

表-4 計画吊荷重

[kN]

吊点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
荷重	257	290	317	312	313	314	188
吊点	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	
荷重	198	263	197	326	167	187	

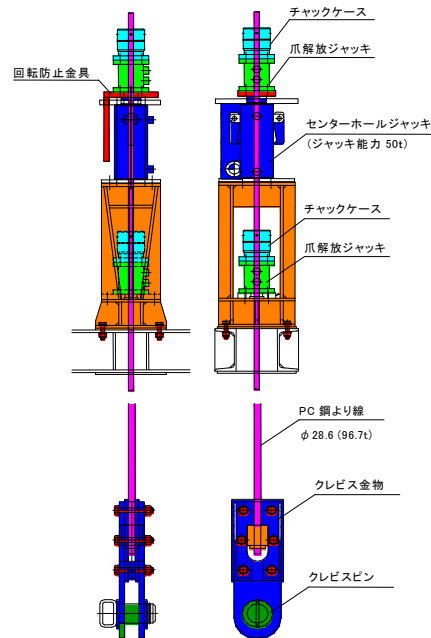


図-10 ジャッキシステム構成

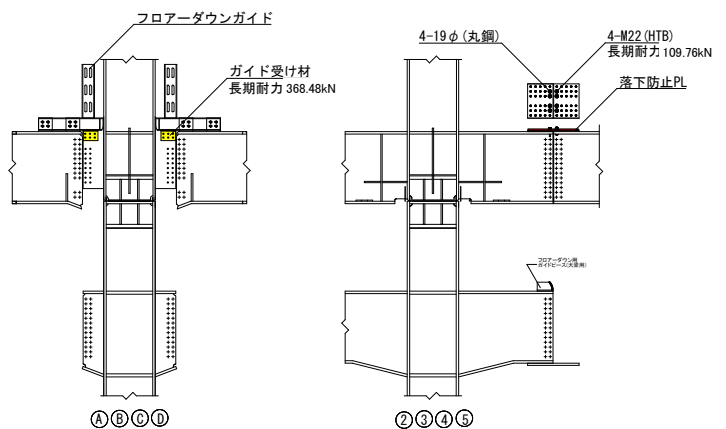


図-11 落下防止対策

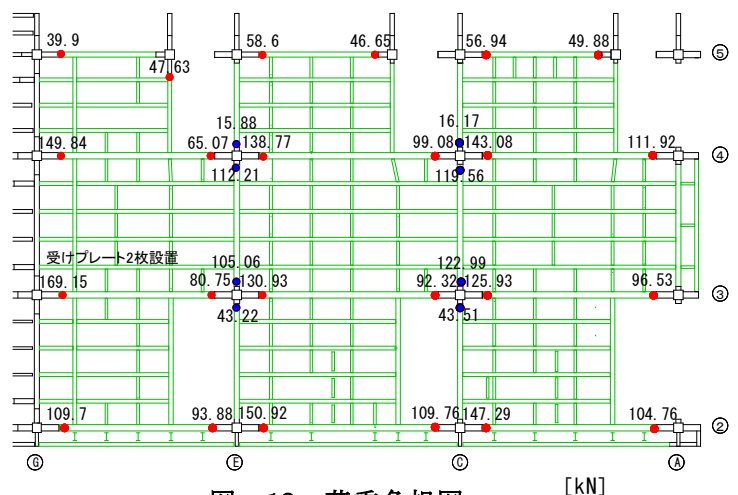


図-12 荷重負担図

[kN]

を超えるため受けプレートに 2 枚とした。

6. 5 独立柱と上部鉄骨柱との接続

フロアーダウン完了後、独立柱（2 節柱）と上部鉄骨柱（3 節柱）を接続するが、施工精度・製品誤差・温度による膨張伸縮や、スライドによる独立柱の柱頭変位等で、国土交通省告示に示されている、食い違いズレ量の許容値 3 mm 以内に収まるか懸念された。

摩擦係数 $\mu=0.2$ の場合、最大で独立柱の柱頭変形量は約 65 mm と想定されたので、独立柱の柱頭変位については、炭素繊維ロープを用いて変形防止対策を行った。実際の変形量は、摩擦係数が小さかったため、2 mm 以内となり、鉄骨建方精度も良かったため、結果として食い違いズレ量は、許容値の 3 mm 以内に収まった。

7. 施工結果

7. 1 スライド施工時の計測・確認項目

スライド施工では①施工時間、②スライド時の直進性、③変形量の数値解析値との比較、④各スライド装置の運動性、⑤スライド支承の摩擦係数等を計測・確認した。

スライド方向の移動距離は、スライド装置本体に制御システムとして組み込んでいる巻線型変位計(ステップバーの 1 ステップ=1m 毎を計測)の累積値によって計測した。各スライド装置のジャッキ荷重はステップバー先端に制御システムとして組み込んでいるロードセルで計測した。

②③の確認に必要なスライド部先端のスライド直交方向の水平変位・鉛直方向の変位は、2 通り柱付近にとりつけたレーザー照準器と画像処理装置で連続的に計測・監視した。

7. 2 スライド工事の施工結果

5 回行ったスライド工事のうち、図-13 に示すスライド重量が 3 スパン建方完了後で最も大きく、かつスライド距離も最大である第 4 回スライド工事(C-E 間のスライド、スラ

イド距離 17.65m)の結果について述べる。

(1) スライド時間

経過時間とスライド距離の関係を図-14 に示す。途中の 1m 毎の短い停止時間はスライド装置のジャッキ盛替え時間である。スライドは 17.65m スパン間を約 61 分で完了した。内訳としてはスライド装置のジャッキ動作時間が約 38 分、スライド支承のジャッキ操作時間が 18 分、システムチェック・計測作業等が約 5 分であり、事前の計画時間以内ですべての作業を終了することができた。

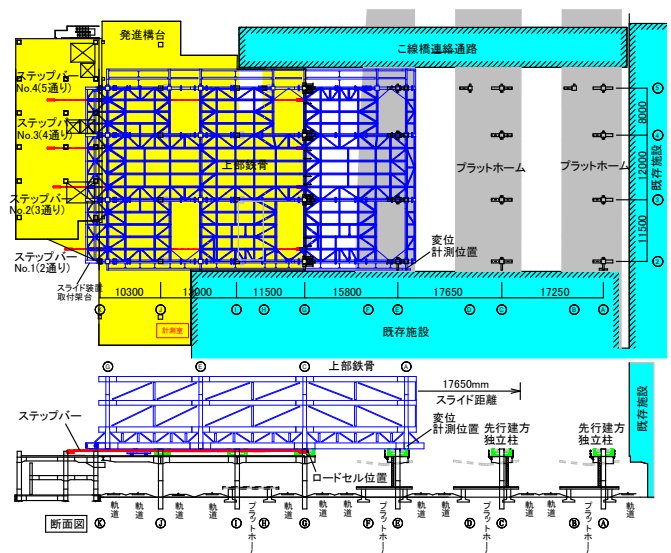


図-13 スライド工事概要図(第4回スライド時)

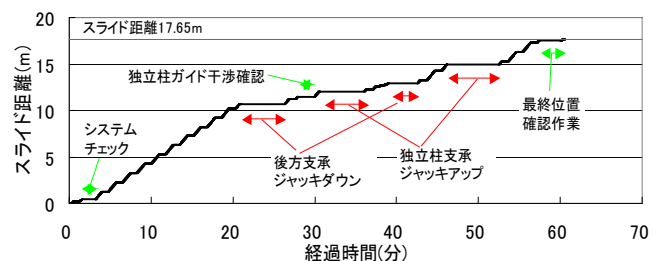


図-14 スライド経過時間と距離

(2) スライド先端部の変位

図-15にスライド先端部のスライド直交方向水平変位・鉛直変位を示す。スライド中間距離で最大約6mmの水平変位が発生したが、独立柱側のスライドガイド通過後には軌道修正され、最終変位はほぼゼロとなった。鉛直変位は、独立柱到達直前の12mスライドした位置で最も大きく約14mm(2通りの計測点位置)であった。数値解析でこの計測点変位は最大値26mmとなっており、迫り出し距離が大きくなるに従い、変位がさらに増加する傾向は一致したが、変形量は53%程度で少なめの数値となった。

(3) 各牽引装置の連動性

図-16に各スライド装置のジャッキ荷重を示す。1m毎に荷重が下がっているのはジャッキ盛替え位置である。ジャッキはストローク差 $\pm 2\text{mm}$ 以内で連動制御した。4台のスライド装置はスライド全行程において120kN~280kNくらいの範囲内で荷重負担しており、スライド後半で中央部のNo.2ジャッキの負担荷重が他より100kNほど大きくなったが、全体的にはほぼバランスよく負担できた。

(4) 摩擦係数

図-17にスライド装置ジャッキ荷重の合計をスライド部の全重量(スライド支承ジャッキによる実測値：約16200kN)で割り算出した摩擦係数(μ)を示す。摩擦係数は静摩擦 $\mu = 0.08$ 動摩擦 $\mu = 0.05$ 程度となった。また大きなひっかかりなどは無く、良好な結果が得られた。

(5) フロアードアウン施工時の計測・確認項目

フロアードアウン施工では①施工時間、②各ジャッキ荷重③ブラケット部の干渉の有無等を確認した。

降下距離は、図-18に示す13点の各ジャッキ近傍に取り付けた巻線型変位計によって

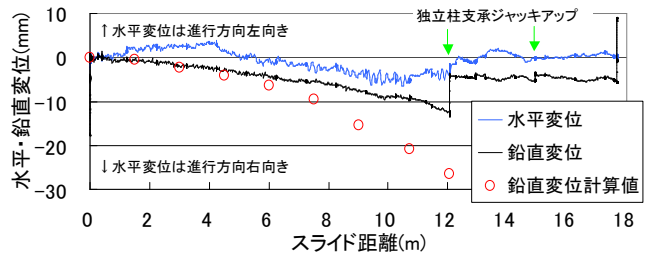


図-15 スライド先端部の変

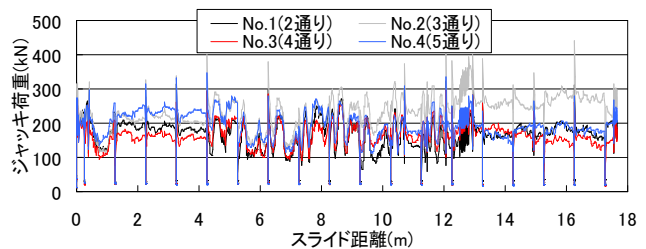


図-16 各スライド装置のジャッキ荷重

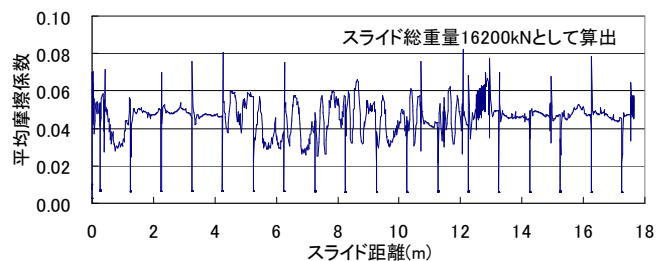


図-17 摩擦係数

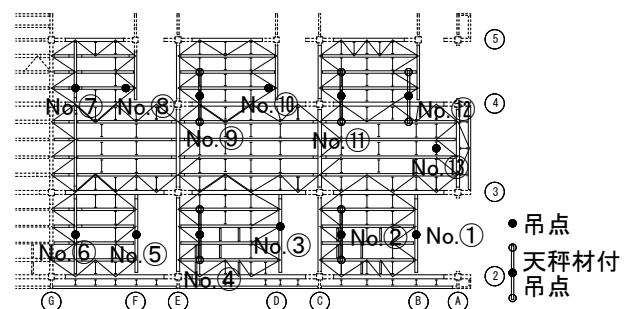


図-18 フロアードアウン時ジャッキ配置

計測し、各ジャッキの荷重はジャッキの油圧から圧力変換器によって計測した。

(6) フロアーダウン時間

経過時間と降下距離の関係を図-19に示す。途中の0.15m毎の短い停止時間はジャッキの盛替え時間である。フロアーダウンは降下距離約2.3mを約78分(定速でのジャッキ動作時間は53分)で完了し、予定時間内で終了することができた。

(7) ジャッキ荷重

フロアーダウンスタート時のジャッキ荷重を図-20に示す。ジャッキ荷重は各吊点で計画値の84%から109%となり計算結果とよく一致した。また吊点変位差を $\pm 5\text{mm}$ 以下で管理してジャッキダウンしていったが、ダウン中の荷重の変動も $\pm 10\%$ 以下程度で収まった。

(8) ブラケット干渉等

図-21に示すように、設計ではブラケットと本体梁のクリアランスは、10mmとした。フロアーダウン実施前の実測では、4~5mmと狭いところもあったので、ダウン中にブラケットの干渉などによる、異音の発生や引っ掛かりなどが懸念されたが、実際の施工では問題となるような、ブラケットの干渉などは発生しなかった。

8. まとめ

ソード工法の開発は、平成15年から本格的に着手し、社内や東日本旅客鉄道(株)建設工事事部、(株)巴コーポレーションと、立川駅採用をターゲットに技術的課題の検討及び解決を行い、平成16年7月に公開実験を行い本工法を確立した。

立川駅改良工事では、平成18年10~12月までに5回に分けてスライド工事および、平成19年1月にフロアーダウン工事を実施

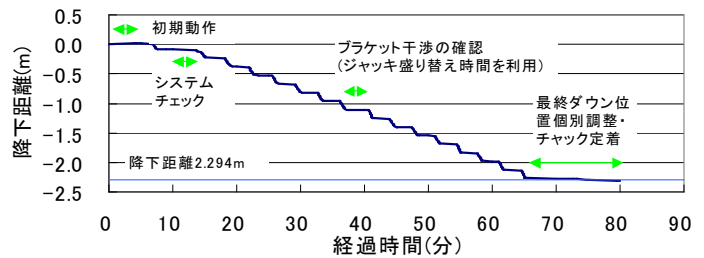


図-19 フロアーダウン時の経過時間と降下距離

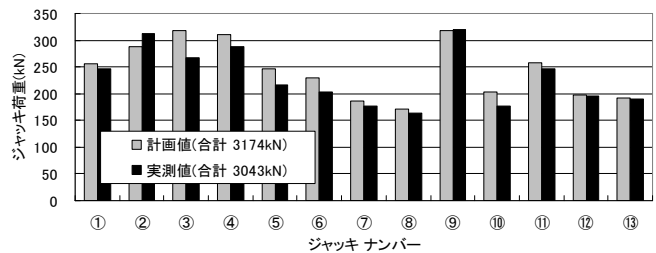


図-20 計画荷重と実施荷重

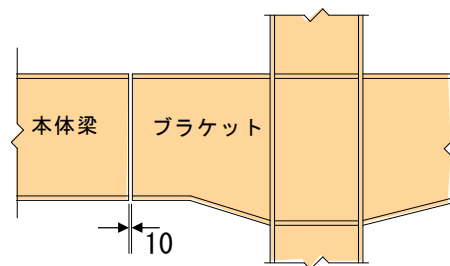


図-21 鉄骨図

した。

結果は、列車運行に支障なく、高精度を確保しながら、施工計画通り全て無事完了し、新しい線路上空建物構築工法として認識された。

本工法により、今まで夜間作業で行ってきた鉄骨建方工事は、昼間作業が可能になったことで、施工能率が飛躍的に向上し、在来工法による工期27ヶ月と比べ6ヶ月短縮され、21ヶ月の全体工期が可能になった。

参考文献

- 1) 中島英一他：線路上空建物の構築工法，日本建築学会大会講演梗概集 pp.107-108，2005.9（その1 工法の概要）
- 2) 小西秀和他：線路上空建物の構築工法，日本建築学会大会講演梗概集 pp.109-110，2005.9（その2 施工実験）