

合成床版を横桁で支持する2主鋼桁橋の送り出し架設 — 第二東名高速道路 須津川橋（下り線）—

Launching Erection of the 2-Main-Girder Bridge with a Composite Slab Supported by Cross Beams in Consideration of Durability

— The New TOMEI Expressway SUDOGAWA Bridge (bound for Nagoya Line)—

中山 裕 康*¹ 川 村 暁 人*² 上 原 正 三*³ 松 本 博 樹*⁴
Hiroyasu NAKAYAMA Akihito KAWAMURA Tadashi UEHARA Hiroki MATSUMOTO

Summary

The Sudogawa Bridge above the 2nd Tomei Expressway is a steel bridge supporting a composite slab with cross beams. This type of steel bridge was developed and adopted after repeated studies focusing on construction properties, durability, economic efficiency, and future width increase/workability, assuming that the effective width will eventually be changed to 16.5 m for three lanes each way. Thus, the construction features of this type are different from the conventional type. This article reports the launching erection from the down-line work of the Sudogawa Bridge (steel superstructure work).

キーワード：鋼2主鋼桁、送り出し架設、キャタピラジャッキ、管理項目

1. まえがき

慢性的な渋滞や事故の多発で機能低下している現東名と交通機能の分担を行うことを目的に建設コストを削減しながら整備が進められている第二東名高速道路のなかで、東海地震などの大規模災害が予想される静岡県内に

ある須津川橋は、国道、高速道路及び鉄道が折り重なるように走っている東西交通の要の場所に位置する。

須津川橋下り線は、13径間連続2主合成鋼桁であり、構造的特徴は構造的、施工性、経済性に優れた「合成床版を横桁で支持する鋼橋形式」である。本形式では、ハンチレスの合成床版を採用するとともに、その鋼板パネルを横桁に直接、高力ボルトで連結する等、床版としての構造形式や応力伝達機構の面で従来形式とは異なる特徴を有している。

本稿では、須津川橋工事の内、現時点（平成18年11月17日現在）で施工の完了している送り出し架設について報告する。

2. 橋梁概要

須津川橋の断面図を図-2に示し、現況写真を写真-1、2に示す。

橋梁諸元

発注者：中日本高速道路株式会社 横浜支社
工事名：第二東名高速道路 須津川橋（鋼上部工）
下り線工事



図-1 位置図

*¹ 工事本部工事計画部東京計画グループ
*² 技術本部設計部設計グループ

*³ 工事本部工場計画部次長（宮地・瀧上JV架設部会長）
*⁴ 工事本部工事部課長（宮地・瀧上JV現場代理人）

施工位置：静岡県富士市
 橋梁形式：鋼13径間連続合成鈹桁橋
 橋長：699m
 支間：48.5+2@56.0+52.0+44.0+7@56.0+47.5m
 有効幅員：11.625m
 縦断勾配：-2.0%
 横断勾配：-2.608%～3.00%
 平面線形：A=1000m～R=4000m



写真-1 現況 (A1橋台側)

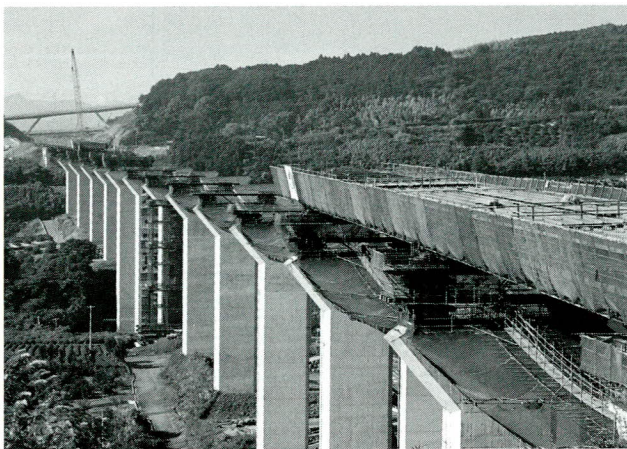


写真-2 現況 (A2橋台側)

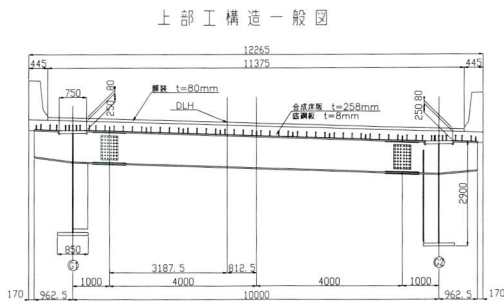


図-2 断面図

3. 架設工法

(1) 送り出し架設の概要

本橋は山間部に位置し、橋脚高が最大で54mと高くなること、また、橋台背面ヤードの使用が可能であることから、架設工法は送り出し架設を採用した。

本橋で採用した多径間連続送り出し工法とは架設位置の隣接場所で、鋼桁の部分組立てまたは全体組立てを行って、順次送り出す方法であり、本橋の送り出し工法の施工フローを図-3に、架設計画図を図-4、5に示す。

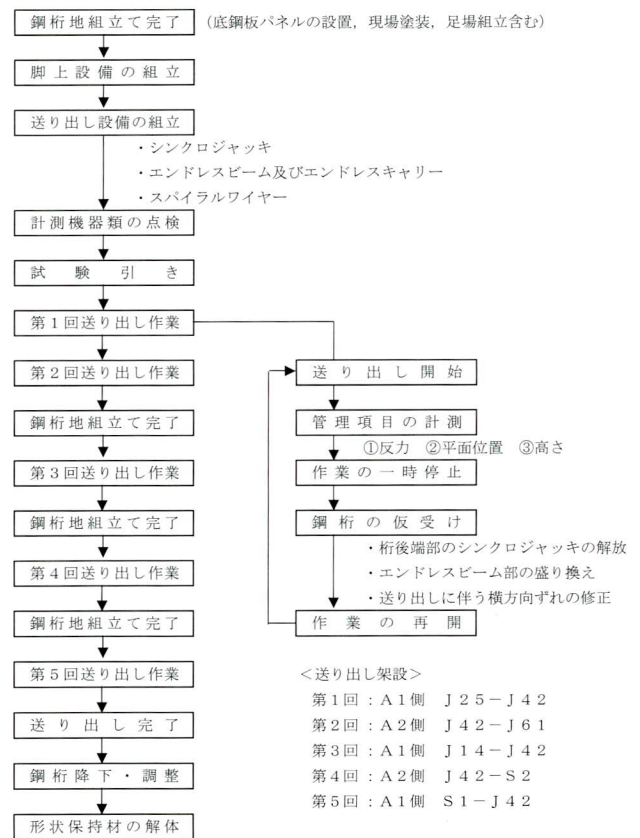


図-3 送り出しフロー

須津川橋 架設計画図

A 1 側

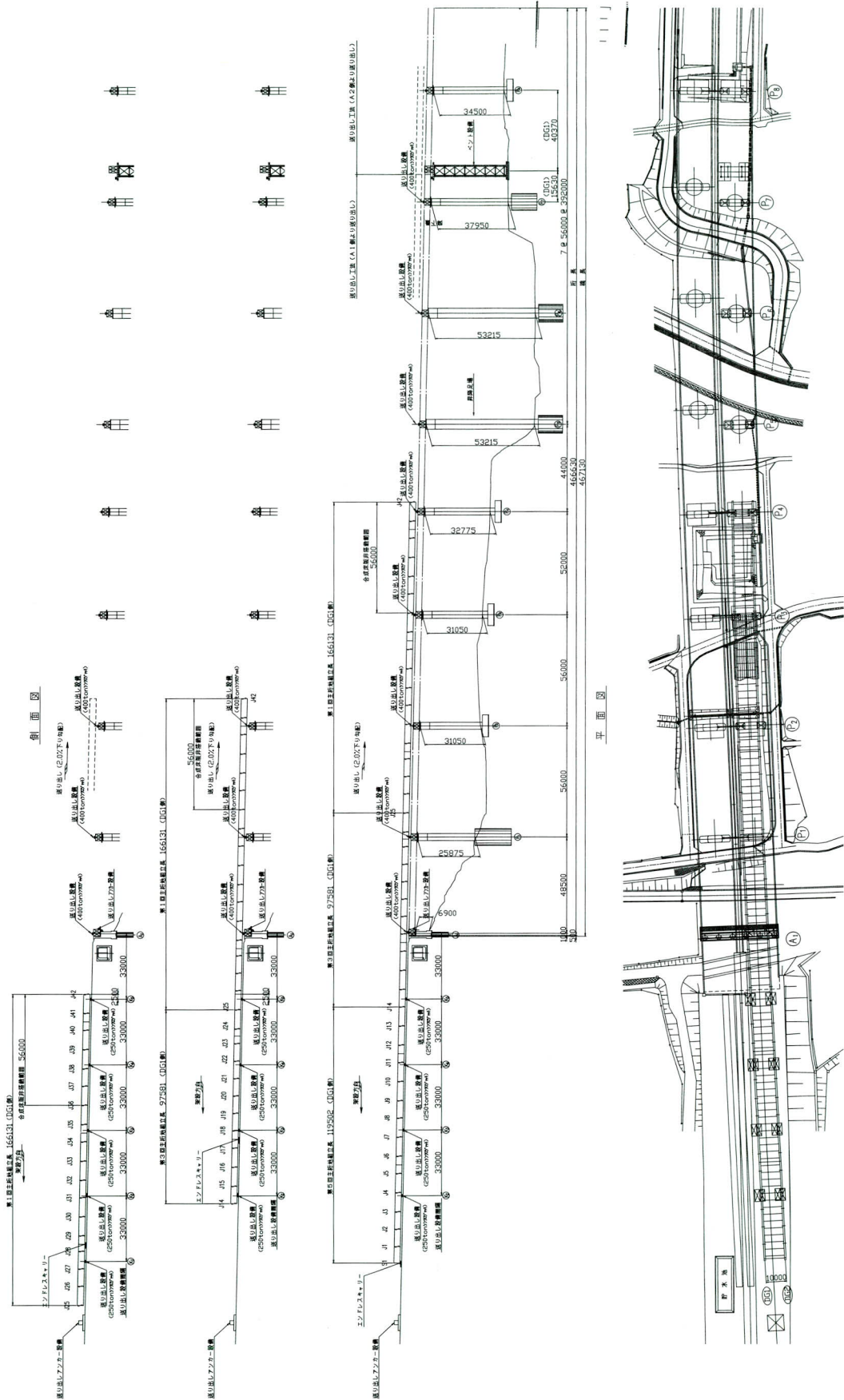


図-4 架設計画図 (その1)

須津川橋 架設計画図

A2側

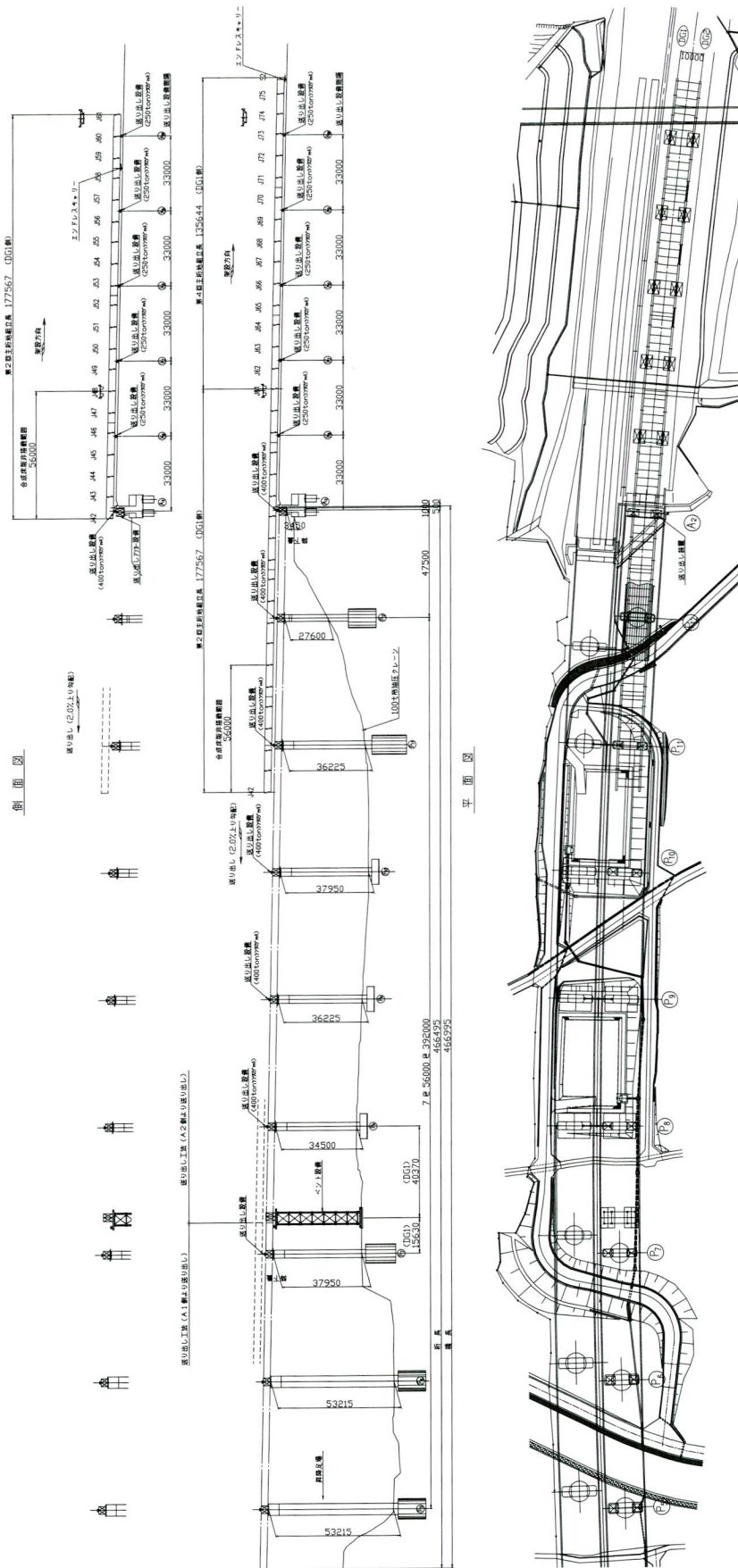


図-5 架設計画図 (その2)

(2) 本橋の送り出し架設の特徴

本橋の送り出し工法の特徴は以下のとおりである。

① 分割送り出し

S字曲線を有する平面曲率の関係より、橋梁全長の一括地組立が困難なことから、本橋の送り出しは、各橋台からの計5回の分割送り出し工法を採用した。一般に全橋一括送り出しの方が工程面で有利とされるが、送り出しヤードをA1橋台とA2橋台の2箇所とし、並行作業を行うことで、現場工程の短縮に伴うコスト縮減を図った。

② 手延べ機を使用しない送り出し

一般的に送り出し工法では発生曲げモーメントを小さくする目的で先端部に手延べ機を取り付けることが多いが、閉合位置に先行送り出しされた鋼桁があり、手延べ機が干渉すること、高所での鋼桁余長部分の切断仕上げ作業が発生すること、及び鋼桁が高い曲げ剛性を有していることに配慮し、本橋においては手延べ機を使用しない工法が経済的に優位であるとの判断から手延べ機を用いないこととした。

③ 単円軌道の送り出し線形

本橋の道路平面線形がP2橋脚手前に変曲点をもつS字カーブ（ $R = 10440\text{m}$ ：A1橋台、 $R = \infty$ ：P2橋脚手前、 $R = 4000\text{m}$ ：P7橋脚手前以降）を有する曲線であることから、送り出し線形は支点上の横ずれ量をもっとも少なくなるように計画した。（図-7）

クロソイド曲線の影響があるA1側はクロソイド曲線上の任意の3点を通る単円上（ $R = 15000\text{m}$ ）とし、クロソイド曲線の影響がないA2側は橋梁平面線形と同じ単円上（ $R = 3990\text{m}$ ）とした。

④ 道路縦断線形と同じ送り出し勾配

送り出し作業時の不測の事態の中では勾配に起因するものも多く、条件が許す限り、水平に近い状態で計画することが基本であるが、送り出し後の鋼桁降下作業量を極力少なくする目的でA1側は道路縦断線形と同じ2%の下り勾配とした。その際、鋼桁の逸走防止に配慮し、送り出しアンカー設備を設置した。

A2側は橋台から約50mの後方位置にあるオーバブリッジの桁下空間と本橋地組時の高さとの関係から、水平ではなく、道路縦断線形と同じ2%の上り勾

配とした。

⑤ 鋼板パネルを設置した送り出し

合成床版の鋼板パネルは、床版コンクリート硬化後の後死荷重および活荷重に対して設計されている関係から、鋼板パネルの両端を横桁に完全固定すると、送り出し架設時に発生する橋軸方向の圧縮力により、鋼板パネルが座屈することが懸念された。そのため、送り出し前には鋼板パネルの片側のみ高力ボルトで固定し、圧縮力が作用しないように配慮した。

ただし、圧縮力が作用しない橋軸直角方向は固定とし、送り出し架設時の横方向の拘束効果を高め、鋼桁全体の安定性を向上させた。

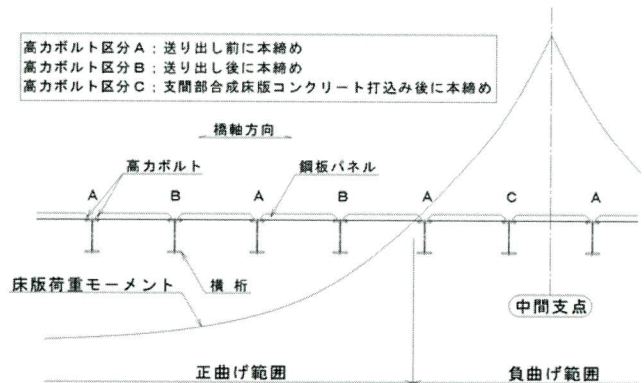


図-6 鋼板パネルの固定時期

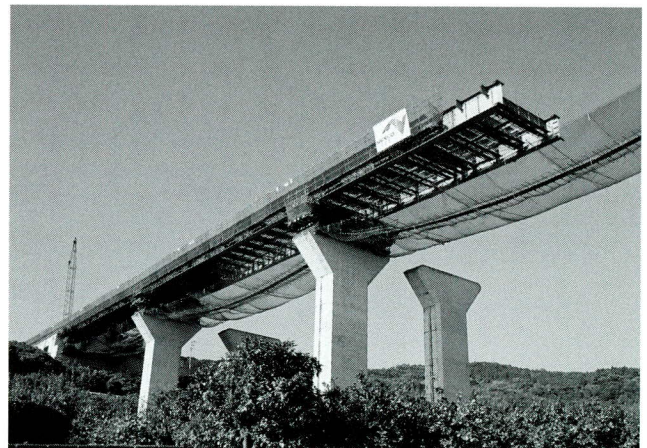
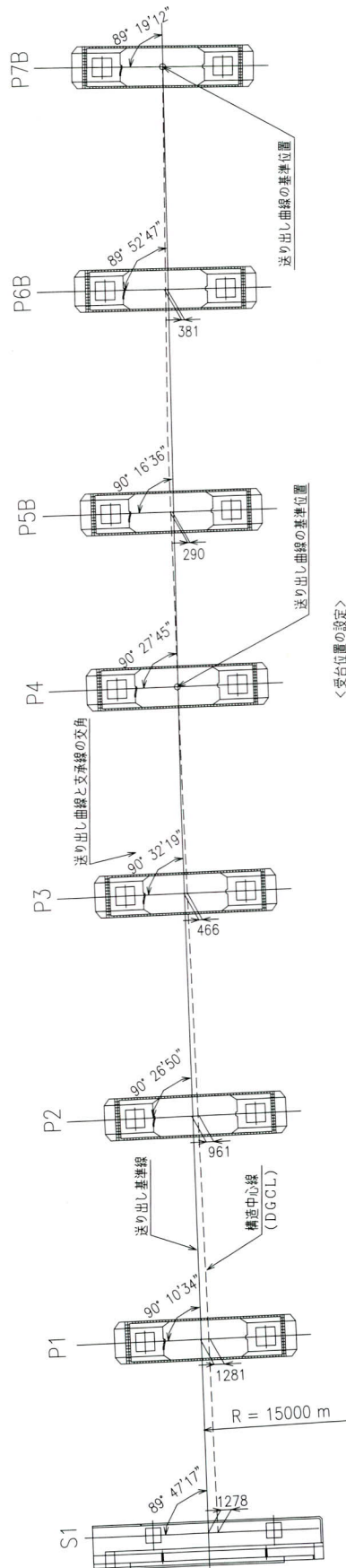
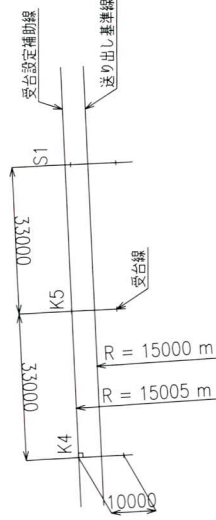


写真-3 送り出し状況

A1橋台側からの送り出し (A1~J42間)

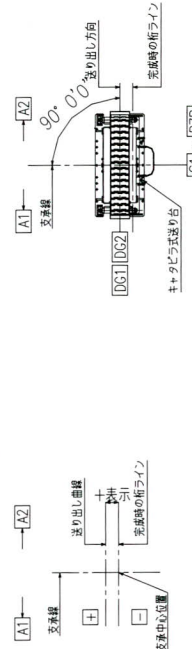


<受台位置の設定>



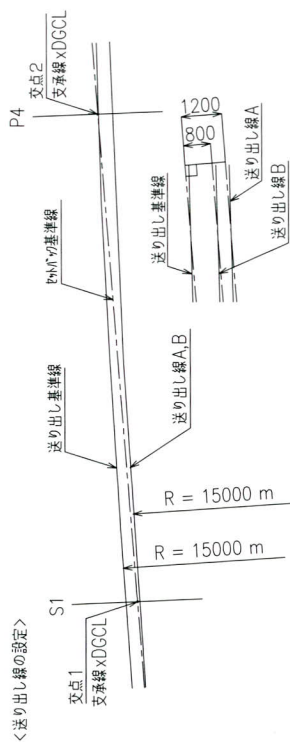
1. 送り出し基準線である円曲線 (R = 15000m) と同じ原点の円曲線 (R = 15000.5m) を受台設定補助線とする。
2. 受台設定補助線の円弧上の長さでそれぞれ33mずつ離れた位置をG1桁の受台基準位置とし、その位置での法線を受台線とする。
3. 受台線上の長さでG1受台基準位置から10m離れた位置をG2桁の受台基準位置とする。

送り出しに伴う主桁の交差線方向のずれ量



※設置方向は各支保線の法線方向

要素位置	K1	K2	K3	K4	K5	S1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
±方向	-956	-823	-804	-804	-663	845	1280	1302	862	395	106	0	0
±距離	-1084	-1547	-1559	-1547	-1539	-89	-87	-421	-502	-967	-458	-549	-167
傾斜	128	724	755	743	876	934	1367	1723	1364	1362	564	549	167



1. P4及びP7Bの各支保線と下り線構造中心線 (DGCL) との交点 (計2点) を通る円曲線 (R = 15000m) を桁の送り出し基準線とする。
2. S1及びP4の各支保線と下り線構造中心線 (DGCL) との交点 (計2点) を通る直線をセットバック基準線とする。
3. 送り出し基準線をセットバック基準線の法線方向に1200mm移動させた線を送り出し線とし、800mm移動させた線を送り出し線Bとする。

<送り出し要領>

1. 本橋は平面曲率 (クロソイド曲線) を有するため、P4及びP7Bの各支保線と下り線構造中心線 (DGCL) との交点 (計2点) を通る円曲線 (R = 15000m) を桁の送り出し基準線とする。
 (1) J25-J42間プロックは桁の送り出し基準線から内側 (G1→G2方向) に1200mmずらしたラインの送り出し線A上で送り出しを行う。
 (2) J14-J42間プロックは桁の送り出し基準線から内側 (G1→G2方向) に800mmずらしたラインの送り出し線B上で送り出しを行う。
 (3) S1-J42間プロックは桁の送り出し基準線上で送り出しを行う。
2. キャタピラ式送り台の設置方向は各橋脚上における桁の送り出し方向が支保線とはほぼ直交することから各支保線の法線方向とする。
3. 送り出し架設時で橋梁平面曲率 (クロソイド曲線) と送り出し円曲線の違いによって生じる桁の橋軸直角方向のずれは、鋼けたを一時的に架台に仮受けするとともにキャタピラ式送り台の構正を行い対処する。

図-7 送り出し線形 (A1橋台側)

(3) 送り出し架設時の検討

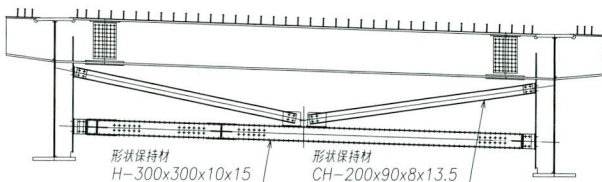
① 腹板座屈の照査と鋼桁全体の安定照査

一般的に鋼桁の送り出し架設においては、完成系の断面力とは異なる架設系の断面力が主桁に発生するとともに、送り出し装置直上のウェブには大きな受点反力が作用することとなり、架設系の曲げモーメントおよびせん断力（以後M、Sという）に対する主桁断面の照査とM、Sおよび受点反力に対する主桁ウェブの座屈照査を行う必要がある。本橋では、手延べ機の有無も含めた架設系のMおよびSに対する断面補強と受点反力に対する比較検討を行い、最も経済的な架設補強方法（垂直補剛材を追加し、それでも所定の安全率が確保できないパネルは、ウェブを増厚する案）を採用した。

また、本橋の特徴である「合成床版を横桁で支持する鋼橋形式」では横桁が上段配置され、主桁下フランジの横倒れ座屈に対する横桁の拘束効果の低下が懸念されたことから、上述した従来の照査方法以外にFEM解析を行い、架設系における鋼桁全体の安全性を確認した。解析モデルは、腹板座屈の起こる危険性が高い最大張り出し支持状態とし、平面曲率は最も小さい $R = 4000m$ を考慮した。

② 横倒れ座屈に対する対策

送り出し時の鋼桁先端部（送り出し先端張出部）は、橋脚からの最大張り出し状態における受点反力が過大にならないよう合成床版鋼板パネルの載荷範囲を検討し、結果として送り出し先端張出部のみ、送り出し完了後に鋼板パネルを架設することとした。これにより、送り出し架設においては、その先端部は鋼板パネルによる拘束がなくなることで、橋体全体の剛性低下が懸念されたため、対傾構形式の仮設形状保持材を主桁に固定した。

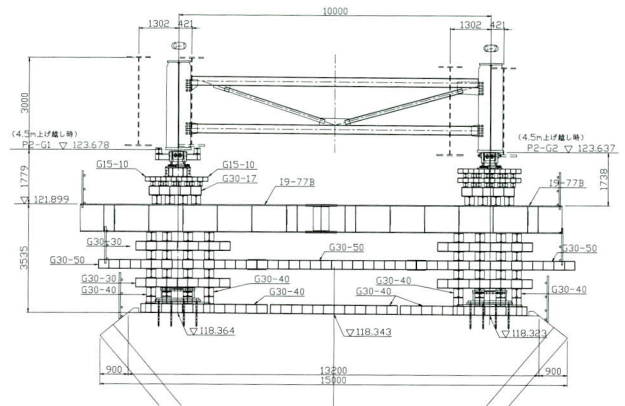


図一八 形状保持材

③ 横ずれ対策

クロソイド曲線の影響があるA1側は最も横ずれ量が少なくなるような送り出し線形を採用しても、最大

1.8mのずれが生じてしまう。そのため、A1側ではそれぞれの分割送り出し時に先立って、シンクロジャッキを使用した鋼桁の横取りを行い、受点と支承中心の横ずれ量が小さくなるようにするとともにシンクロジャッキ直下に剛な受梁を置くことで送り出し時の横移動にも対応できるようにした。



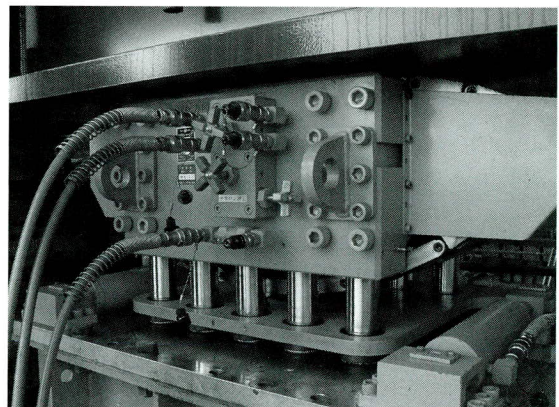
図一九 橋脚上の送り出し設備

(4) 使用機材

本橋の送り出し装置の基本システムは、送り出し作業効率の高いエンドレスキャリー+シンクロジャッキとし、桁を連続的に送り出せるように計画した。

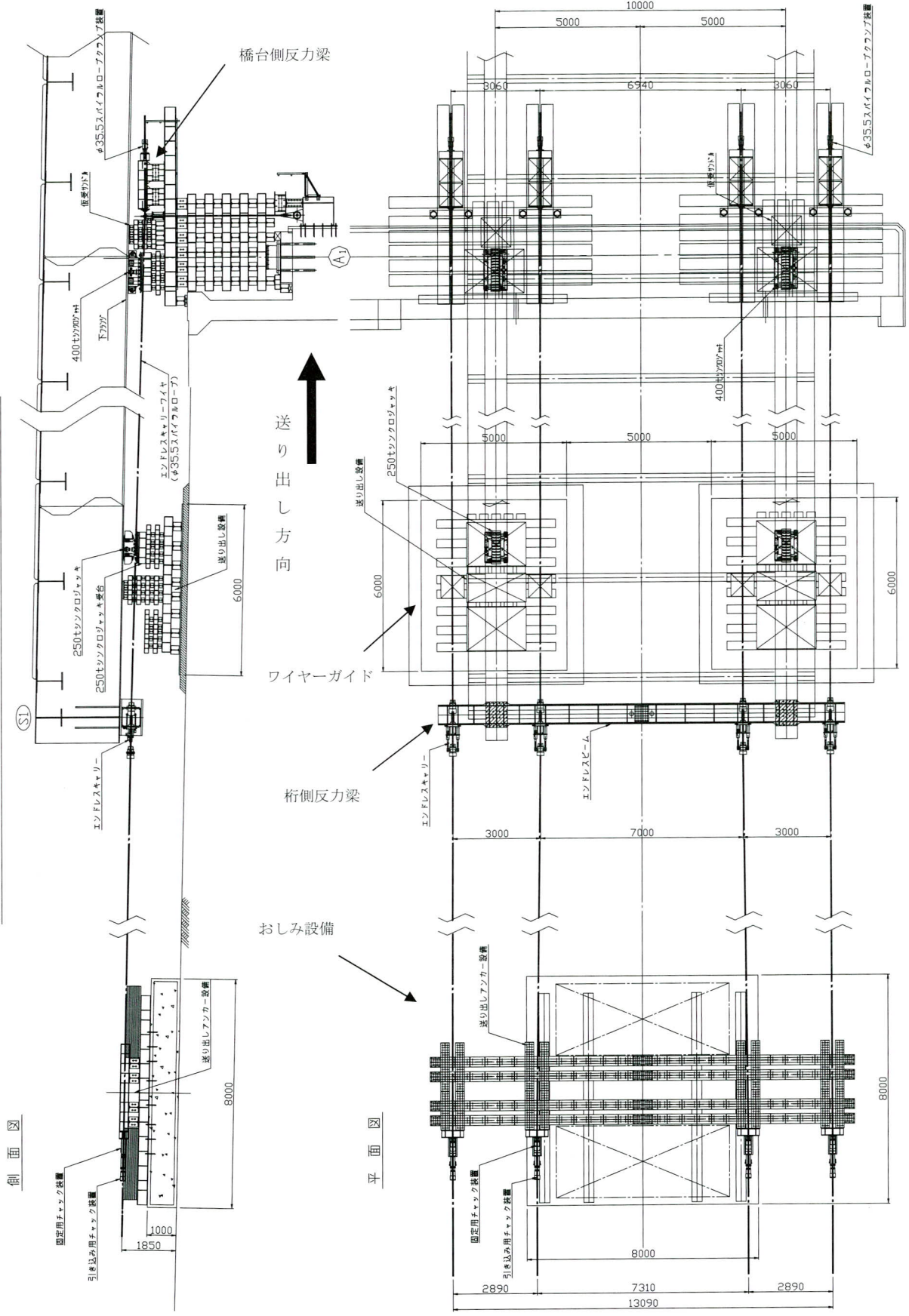
① シンクロジャッキ

後述する反力調整や管理を行うためには製作キャンバー、横断勾配の差から送り出し距離に応じて受点高さを変化させる必要があり、現場作業を複雑にする。そのため、本橋ではそれらの高さ変化に対応することができるようにシンクロジャッキを使用した。受点反力の関係から、シンクロジャッキ能力はヤード部で250t、橋台および橋脚部で400tとした。



写真一四 シンクロジャッキ

須津川橋 送り出し推進設備全体図 S=1/120(S=1/60)



注) 1. おしみ送り出しアンカー設備は、2本下り角配のA1鋼の本設置する。

図-10 送り出し設備全体図

② エンドレスキャリー

送り出しの推進力であるエンドレスキャリーの能力は送り出し桁の荷重とシンクロジャッキの摩擦力及び縦断勾配を考慮して決定し、能力が500kNのエンドレスキャリーを4台設置した。

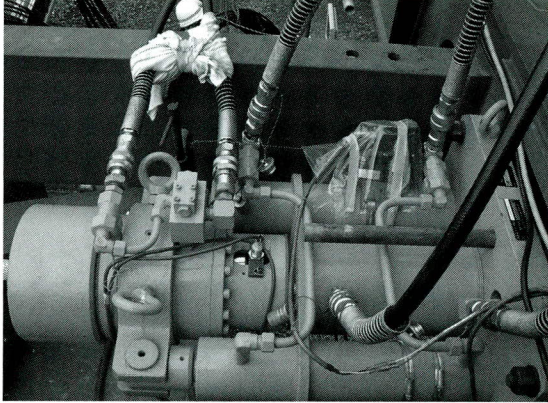


写真-5 エンドレスキャリー

③ おしめ設備

下り勾配での送り出しでは、鋼桁の逸走防止対策としておしめケーブル等の安全設備を設置した。

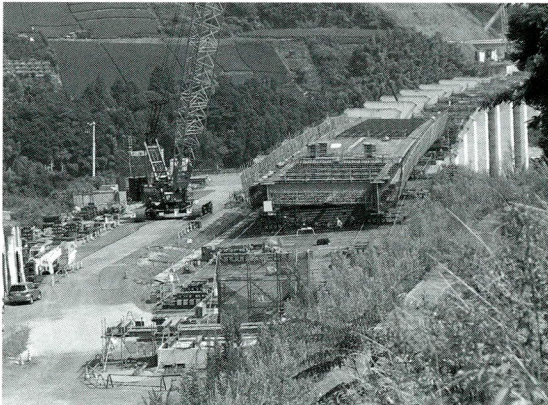


写真-6 おしめ設備

④ 反力梁（橋台、桁側）

エンドレスキャリーからの駆動力をスパイラルワイヤーを介して、橋台に伝えるため、橋台上に反力梁を設置した。また、エンドレスキャリーを固定するための鋼桁側反力梁は支承セットボルトを利用して、ソールプレート下面に固定した。

送り出し桁は、単円上を送り出すことからエンドレスキャリーから伸びたワイヤーは、送り架台や主桁に干渉したり、エンドレスキャリーに対して平行に入らないことが想定されたため、ワイヤーの角折れの影響からエンドレスキャリーに過大な水平力が作用しないように反力梁にワイヤーガイドを取り付けた。また、ワイヤーが送り出し線形と一致するように送り架台上にもワイヤーガイドを設置した。

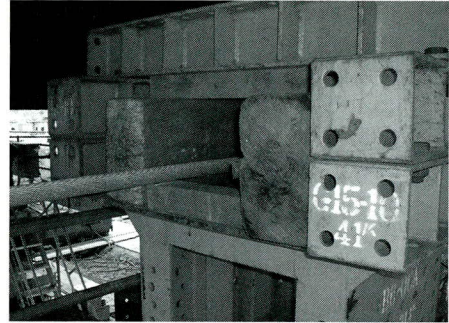


写真-7 ワイヤーガイド

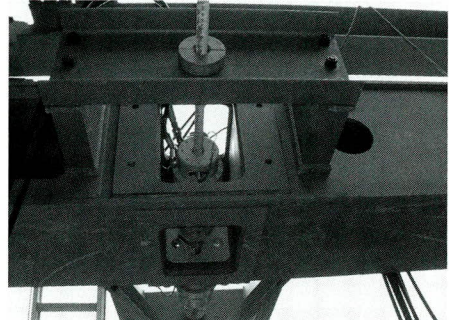


写真-8 エンドレスキャリーガイド

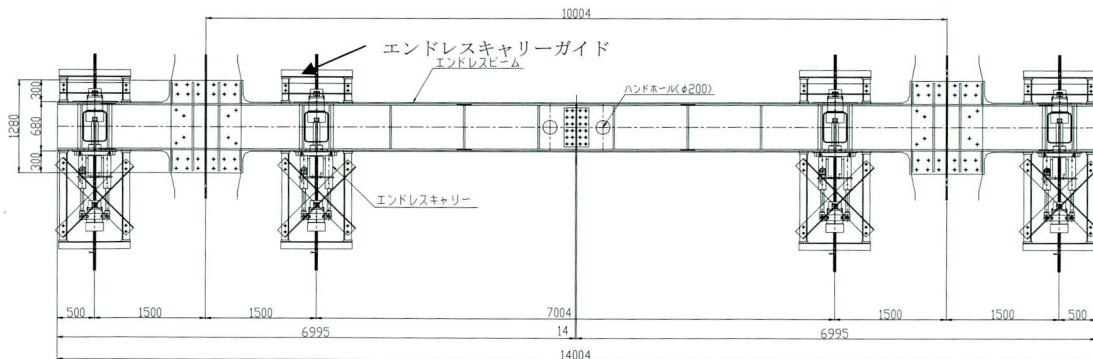


図-11 桁側反力梁

(5) 送り出し架設時の管理項目

鋼桁を安全に短時間で確実に送り出すために「送り出し距離」、「受点反力」、「ワイヤー張力」について自動計測システムによる重点的な管理を行った。

① 受点反力の管理

レーザー距離計により「送り出し距離」をリアルタイムに計測し、その送り出し距離に応じた各受点反力の管理値に計測値が収まるように制御した。なお、各ジャッキを高速LANで接続し、管理室に設置したPCで「ワイヤー張力」と併せて集中管理を行った。

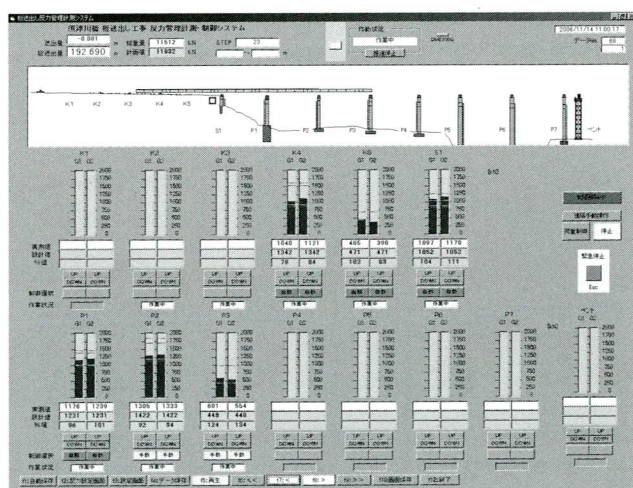


図-12 反力制御画面

② 橋軸直角方向のずれ量の管理

送り出し時の鋼桁位置は、送り出し距離に対応した各受点位置での主桁中心と支承中心との橋軸直角方向のずれ量を予め計算しておき、送り出し距離に応じて、ずれ量を計測するとともに送り出し前方の橋脚上からトランシットで鋼桁先端部を計測することで管理した。横ずれ量が大きくなり、橋脚到達時に受台等に干渉することが予想された場合は、シンクロジャッキを利用して送り出し方向を修正し対応した。

③ 高さの管理

各受点の高さと反力は高い相関関係を示すことから、各受点位置では高さの計測を随時行い、管理した。その際、明らかに異常な場合（±100mm以上）には作業を停止するように計画したが、現時点ではシンクロジャッキを使用した反力制御の結果から、そのような状態は生じていない。

④ ワイヤー張力の管理

送り出しの推進力であるワイヤー張力は鋼桁とシンクロジャッキの摩擦力から決定される。そのため、送り出し作業中にその反力値を逐次計測し、管理した。

また、エンドレスキャリーはワイヤーを利用したおしめ装置をも兼務していることから、前後のチャックが同時に解放しないように制御した。

⑤ 主桁とシンクロジャッキのずれ量

主桁とシンクロジャッキのずれ量は、シンクロジャッキ性能と下フランジの板曲げから50mm以内とし、それを超える場合はシンクロジャッキの据付位置を盛り替えることとした。

⑥ 安全管理

多径間の送り出しのため、各受点位置で無線機を使用して、密に連絡を取り合いながら進めているが、万一の場合に備えて、各受点位置に非常停止ボタンを設置し、トラブルが生じた場合には非常停止ボタンを押すことでエンドレスキャリーが自動的にストップするようにした。

4. あとがき

本工事では現時点（平成18年11月17日現在）で計3回の送り出し作業を終えたところであり、送り出しシステムによる精度の高い反力管理を行っていることから、大きな問題もなく作業を進めている。今後2回の送り出し作業を行い、1月中旬には送り出し架設が完了する予定であるが、今後も、鋼桁降下、鋼桁閉合、床版コンクリート施工などの難関が待ちかまえている。引き続き、安全管理に注力しつつ施工を進め、本工事を完成させたいと考えている。

謝辞：本橋の施工にあたり、中日本高速道路株式会社横浜支社富士工事事務所のご指導を賜りました。誌面を借りてこれらの関係各位に厚く御礼を申し上げます。

2006.11.30 受付