

曲線プレキャストセグメント橋の情報化施工 — 第二名神高速道路 川越高架橋 —

水口 和之*1・岡村 敦*2・安部 要*3・山元 英輔*4・山口 貴志*5

1. はじめに

現東名に接続する豊田 JCT から東名阪に接続する四日市 JCT 間の延長約 50 km の区間は、ほぼ全線が連続高架構造であることから、とくに現場作業の省力化、工事費の低減を目的として新技術・新工法の採用により合理的で経済的な橋梁形式を導入している。その中で、第二名神の湾岸弥富 IC からみえ川越 IC の陸上高架区間は、本線近傍の埋立て地に大規模なヤードの確保が可能であること、かつ大型特殊トレーラーによる運搬が可能であることから、現場製作プレキャストセグメント工法による PC 箱桁橋を採用している。この区間にある川越高架橋¹⁾は、JH 中部支社管内で弥富高架橋²⁾、鍋田高架橋、長島高架橋に続く発注時期で 4 番目の橋梁群であり、前述した工法の曲線橋への適用が主要なテーマである。

本報告は、本橋の最大の特徴である曲線橋セグメントの製作と曲線半径 200 m までの架設について述べるものである。

2. 工事概要

第二名神 みえ川越 IC に位置する川越高架橋は、本線橋 10 連、ランプ橋 7 連 (写真 - 1) で構成された全長 1.3 km の多径間連続箱桁橋であり、インターチェンジに接続する

表 - 1 ランプ橋の橋梁諸元

道路規格	第 1 種第 2 級 A 規格ランプ (V = 40 km / hr)
橋梁形式	A ランプ PC (7+7) 径間連続箱桁橋 B ランプ PC (9+4) 径間連続箱桁橋 C ランプ PC 7 径間連続箱桁橋 D ランプ PC (9+6) 径間連続箱桁橋
橋長 (m)	A ランプ: 657.030, B ランプ: 623.053 C ランプ: 327.671, D ランプ: 552.831
支間長 (m)	A ランプ: 45.52+5@47.0+44.875 44.475+3@46.0+78.0+30.01+37.175 B ランプ: 41.55+3@42.75+2@47.7+85.3+42.3+40.97 45.46+46.65+46.84+45.953 C ランプ: 45.86+5@47.0+44.768 D ランプ: 3@47.0+2@51.0+43.0+2@40.0+39.72 2@36.14+74.831+3@39.0
有効幅員	7 m
平面線形	R = 85 m ~ ∞
縦断勾配	0 % ~ 5.9 %
横断勾配	0 % ~ 8.0 %

4 本のランプ橋は、おおむね R=200 m (最小曲線半径 85 m) の線形を有する曲線橋である。川越高架橋の位置図、全体一般図を図 - 1, 2 に、ランプ橋の橋梁諸元を表 - 1 に、主桁断面図を図 - 3 に示す。

3. セグメントの製作

3.1 セグメント製作概要

セグメントの製作は、架橋地点近傍の製作ヤードで、一

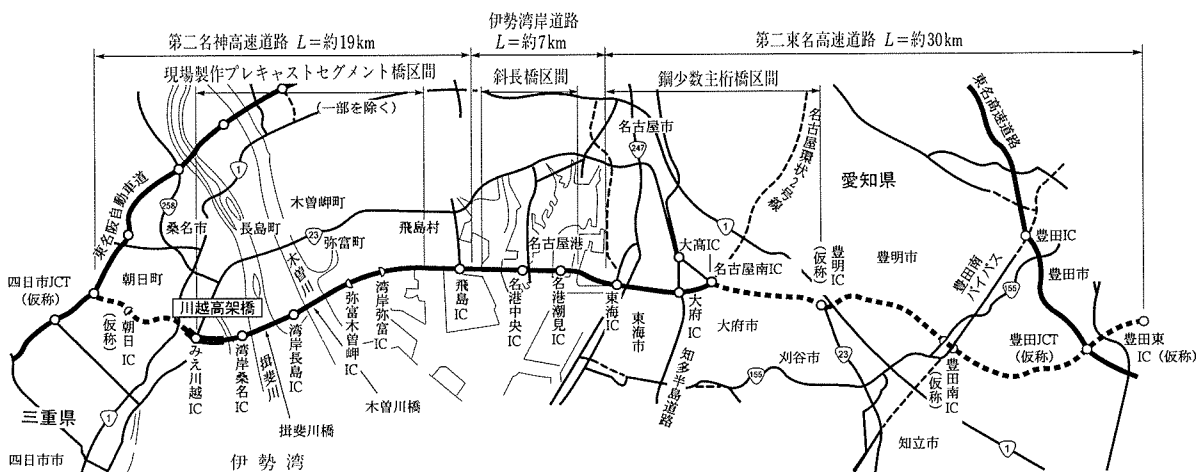


図 - 1 川越高架橋の位置図

*1 Kazuyuki MIZUGUCHI : 日本道路公団 本社技術部 構造技術課 課長代理 (前 中部支社 四日市工事事務所 川越工事長)
 *2 Osamu OKAMURA : 日本道路公団 中部支社 四日市工事事務所
 *3 Kaname ABE : (株)大林組 東京本社土木技術本部構造技術部 設計副部長
 *4 Eisuke YAMAMOTO : (株)大林組・ドービー建設工業(株)・ピーシー橋梁(株) 川越高架橋工事共同企業体 副所長
 *5 Takashi YAMAGUCHI : (株)大林組・ドービー建設工業(株)・ピーシー橋梁(株) 川越高架橋工事共同企業体 課長

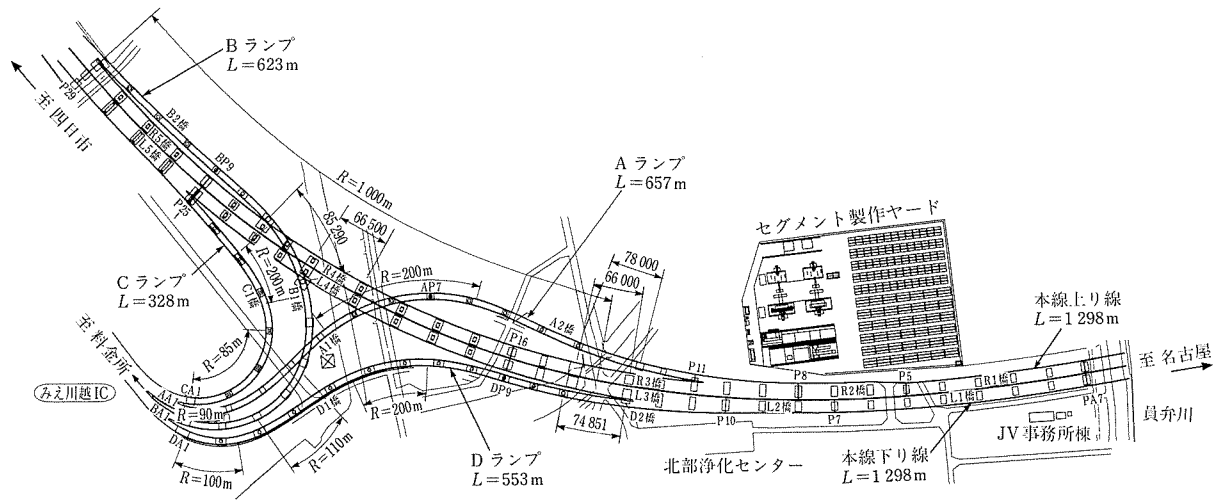


図 - 2 川越高架橋の全体一般図

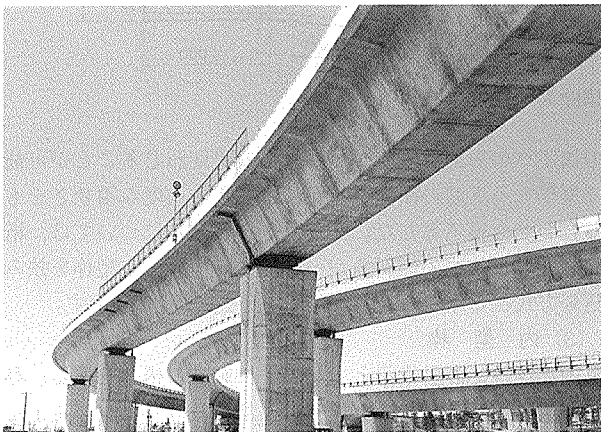


写真 - 1 ランプ橋

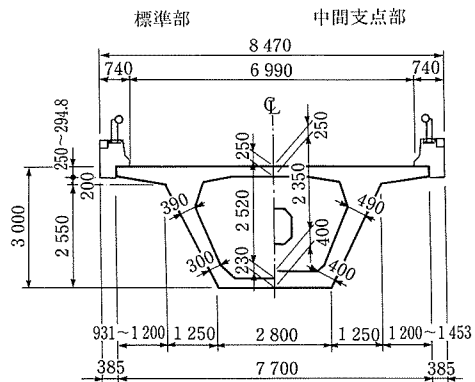


図 - 3 ランプ橋主桁断面図

方に固定端板（バルクヘッド）を、もう一方を直前に製作した OLD セグメントを複型枠代わりに利用して常に同じ位置でセグメントを製作するショートラインマッチキャスト方式により行った。本橋は、以下に示すような変化に富んだ線形となっている。（図 - 2）

- 1) 最小曲線半径 $R=85\text{ m}$ の平面線形を有する。
- 2) 一部に S 字曲線を有するため、径間内で横断勾配が反転する。
- 3) 本線と分合流するため、単曲線ではなく、曲線半径が刻々と変化する。
- 4) 本線・ランプが交差しており、縦断勾配が変化する。

そのため、NEW セグメントの固定端板側の断面と OLD セグメントのマッチキャストする側の断面に、横断勾配の変化分だけ回転したずれが生じる。さらに、縦断勾配が変化する場合には、NEW と OLD の底型枠が一直線上にならない。（図 - 4）また、径間の最初もしくは最後のセグメントは、張出し床版先端位置でのセグメント長が左右で最大約 1400 mm 異なる異形のセグメントが必要となる。

そこで、本橋は、後述する平面線形、縦横断勾配およびセグメントの長さ調整への対応が可能な型枠装置を使用し、セグメントの形状管理に本橋用に開発したジオメトリコ

ントロールシステム¹⁾³⁾⁶⁾を適用した。

3.2 型枠装置

本橋のセグメントは、前述したようにセグメント形状が多岐に富んでいることから、セグメントごとの組替え作業が必要であり、製作サイクル（1個/日）におけるクリティカルパスとなる。そこで、形状の変化を考慮した型枠組替え作業の少ない型枠構造とするともに、必要に応じて部分的な組替え作業が比較的容易にできるような構造を採用した。なお、図 - 5 に示すように、型枠装置は、大別して底型枠・外型枠・内型枠・端板の4つのパーツに別れており、個々のパーツでの平面線形、縦横断勾配および長さ調整への対応策を以下に述べる。

(1) 底型枠および移動台車

底型枠は、セグメントの基本的な長さを考慮して製作台1基当たり NEW・OLD・OLDER の3セット用意した。OLD セグメント用の底型枠は、油圧ジャッキにより4点支持された移動台車上にセットされ、この油圧ジャッキと直角方向用の2台の油圧ジャッキにて、高さおよび平面線形の調整を行った。セグメントの切離しは、底型枠を水平方向にスライドさせ、その後、移動台車にて基礎レール上を油圧の伸縮ジャッキにより OLD・OLDER に移動させた。なお、底型枠が極端に剛性の高いものであると、縦断勾配

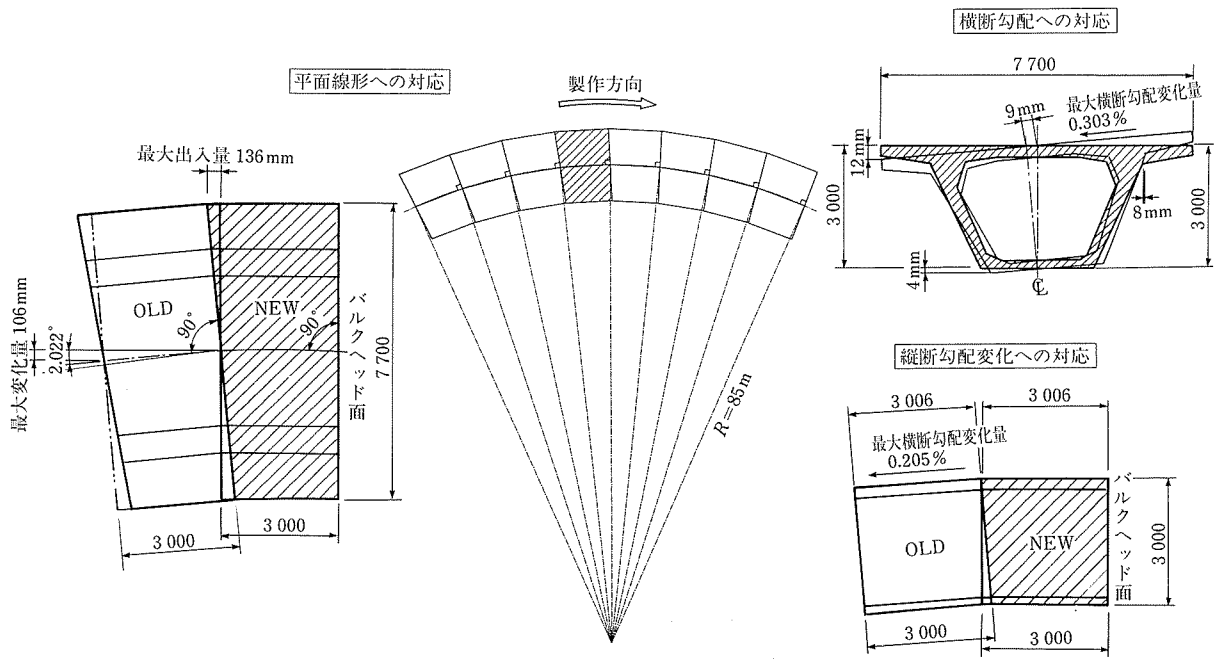


図 - 4 平面線形および縦横断勾配への対応

が変化する場合、マッチ面で隙間が生じてしまうため、強度の必要な方向を十分検討し、従来より全体の剛性をやや落とすことで、OLD セグメントとマッチしやすい型枠構造とした。

(2) 外型枠

外型枠の支保は、張り出し床版枠・側枠をジャーナルジャッキおよび専用ターンバックルで行う方式とした。曲線橋である以上、NEW セグメントの外型枠面と OLD セグメントの外表面が同一平面にない状態でマッチキャストする必要があることから、外型枠の剛性は、コンクリート打設時

の側圧への影響を考慮しつつ、ある程度ねじることが可能で型枠セット時の微調整を容易にできる適度な柔軟さを持ち合わせた構造とした。なお、型枠パネルについては、桁高およびウェブの傾斜角が一定であるので、底型枠を挟み込む方式とした。外型枠の調整状況を写真 - 2 に示す。

(3) 内型枠

内型枠は、移動横梁と主梁の上に載せる構造である。移動横梁は、バルクヘッド後方の上部に設置したレール上を走行可能であり、部材厚変化への対応として、移動横梁上を主梁が橋軸直角に移動できる構造とした。走行は、電動

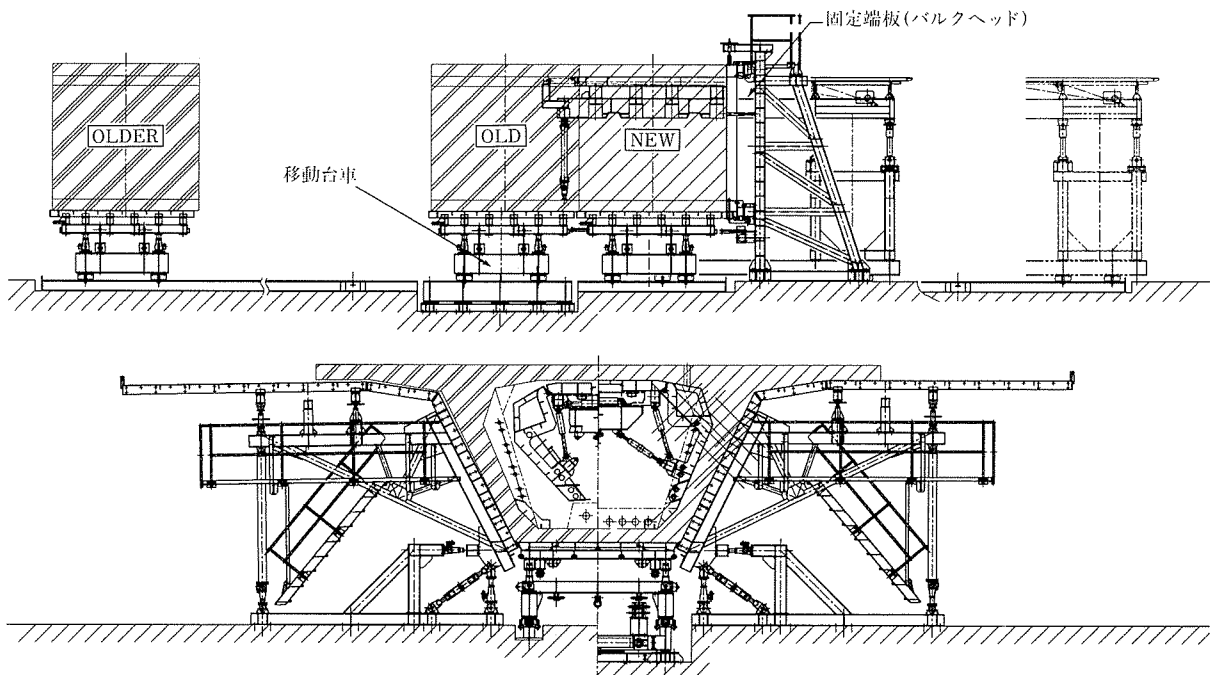


図 - 5 ランプ用の型枠設備

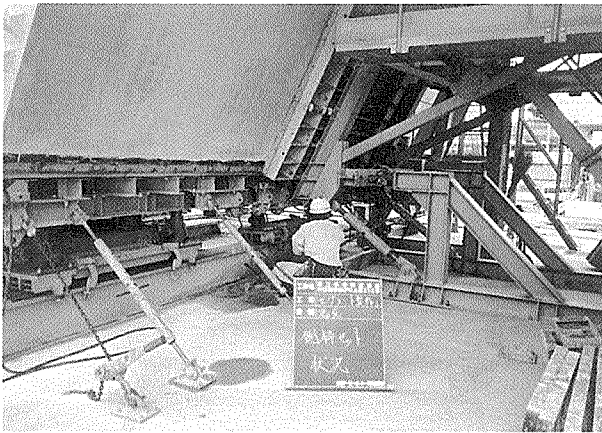


写真-2 外型枠の調整状況

式モーターにより駆動させる方式とした。また、型枠セット・脱型用に開閉機能および上下動機構が必要となるため、油圧ジャッキを設置した。これらのジャッキ操作に関しては、作業時の状況確認を目視により行うことができるように操作盤を設けた。内型枠の剛性は、外型枠と同様に適度な柔軟さをもち合わせた構造とした。

(4) 固定端板 (バルクヘッド) 移動端板

固定端板は、それ自体高い剛性をもたせ、鉄骨構造の支持フレームに堅固に固定し、部材厚の変化に対しては、端板の組替え・交換により対応した。径間の最初もしくは、最後となる異形の調整セグメントの製作時には、マッチキャストしない側 (調整目地側) に固定端板とネジ付サポートにより連結される構造の移動端板を使用した。セグメント長さ調整への対応策を図-6 に示す。

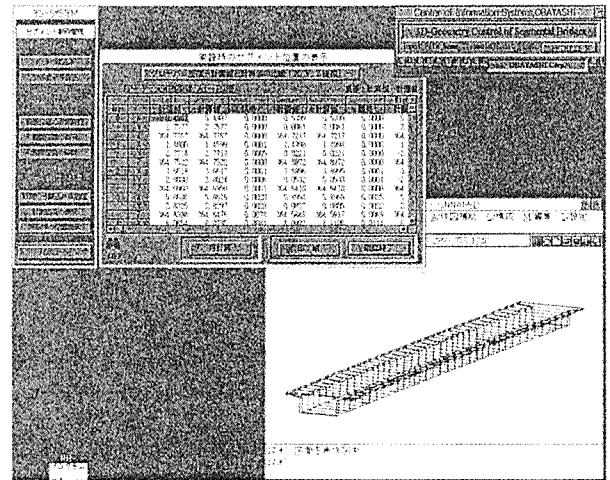


図-7 ジオメトリコントロールシステム

3.3 ジオメトリコントロール

ショートラインマッチキャスト方式によるセグメントの製作は、NEW・OLD 2個のセグメントの相対的な座標関係により行うため、その形状管理が曲線橋では、とくに重要となる。各セグメントの製作誤差は、その次に製作するNEWセグメントで計画線形に戻す補正作業を確実にし、誤差の累積を防止しなければならない。これらセグメントの形状管理は、セグメントの継目上に測点を設けて、その座標を測定することにより行うが、この煩雑な管理を正確かつ迅速に行うため、高精度座標測量器とコンピュータをオンラインで結んだ「ジオメトリコントロールシステム」を開発して本橋に適用した。同システムでは、セグメ

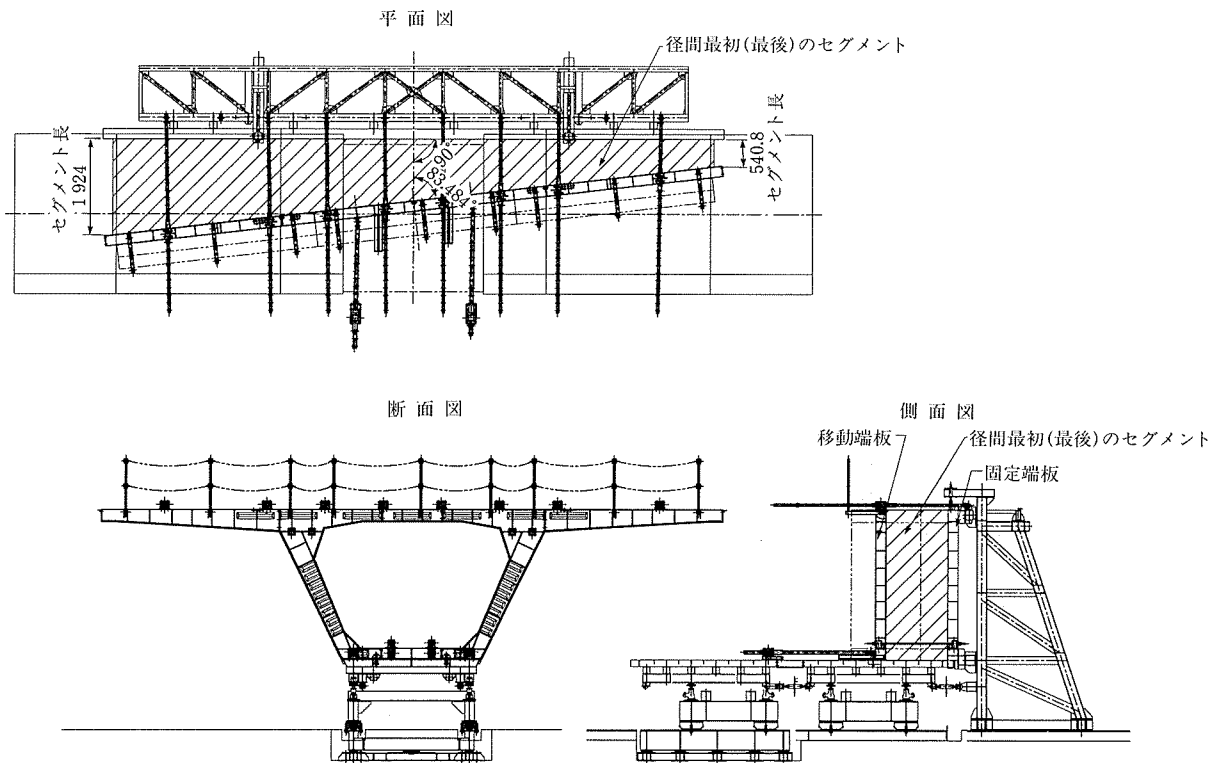


図-6 セグメントの長さ調整への対応

ント製作時のすべての形状データを保存しておき、架設段階における出来形（線形）予測・確認を行う機能も合わせて構築した。図-7に画面の一例を示す。

4. セグメントの架設

4.1 セグメント架設概要

川越高架橋は、町道ならび水路横断部と交差する長支間を含んだ、30~78 mと変化に富んだ支間を有する。事前に詳細な経済性比較を行い、可能な限り、架設術を用いたスパンバイスパン架設方式を採用し、スパンバイスパン架設できない長支間部についても同じ架設術を用いた張出し架設方式を採用することで、架設術の有効転用を図った。

4.2 架設術の選定

本架設に用いる架設術は、以下の制約条件を考慮した。

- 1) 下部工の進捗に合わせて、架設術が前後・左右に何度も移動する。
- 2) 架橋地点上空に特別高圧送電線（275 kV）があり、離隔を満足するため、桁高制限を受ける。
- 3) 円弧状の曲線路に沿って移動する際、移動方向を修正するための門型受け梁の設置が困難である。
- 4) 工程計画から本線およびR=200 mのランプ橋を併用する。
- 5) 町道を跨ぐ長支間部に架設術の有効転用を図り、架設術を用いた張出し架設を適用する。

架設術の形式としては、弥富高架橋²⁾、メルボルンウェスタンリンク³⁾などで採用されたハンガータイプのトラス形式と重信高架橋⁴⁾、大和高架橋⁵⁾などで採用されたサポートタイプ箱桁形式がある。曲線橋のセグメントを架設する場合、サポートタイプでは、①吊込みに大型のクレーンが別途必要となる。②本橋脚の曲面を有する上広がり形状から、ブラケットや仮支柱などの設置による架設術の支持が困難である。③架設機械の有効転用を図るためには、長支間部の施工時に別途、架設術の組立・解体を要する。など本橋への適用が困難となる。そこで、本橋では、吊荷重の偏心に許容できるように剛性を高めた2主構ハンガータイプの箱桁形式を採用した。曲線橋であるため、1径間架設後、次に着地する橋脚は1直線状になく、3)の制約条件から特別な支保なく前進するために、手延桁と主構の接合部

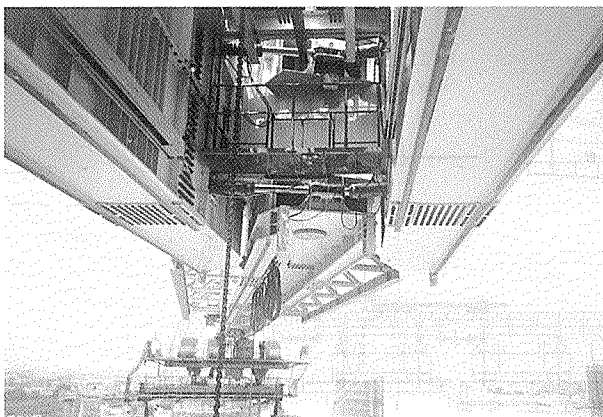


写真-3 ヒンジ構造

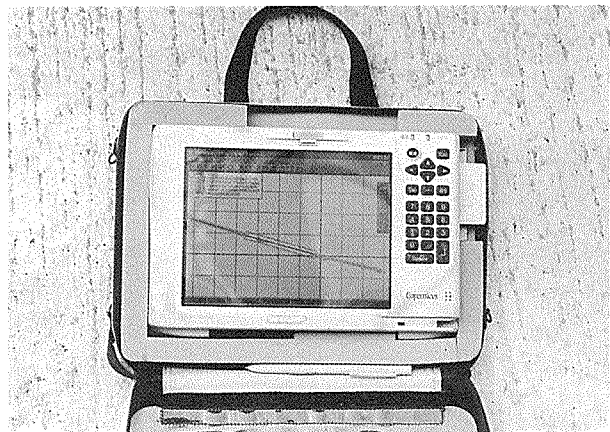


写真-4 GPSのモニタリング

をヒンジ構造（写真-3）とすることで、油圧のガイドアームにより角度の回転を容易にし、円弧上の曲折を可能にした。

架設術の構造を図-8に示す。なお、架設術の長さは、張出し架設の最大支間78 mを渡るのに必要な長さから決定し、前後の手延桁部が56.1 m、主構部が62.5 mの全長168 m、架設術の重量は、900 tとなった。

4.3 移動時の事前検討

全長168 mの架設術を、R=200 mの円弧状の曲線路に沿って円滑に、かつ安全に移動するには、高度な施工管理を要する。本橋では、施工前のチェックとして、移動のステップごとに各橋脚と架設術との相対位置関係や、前方手延部と着地する次の柱頭部上支持台とのクリアランスをCAD上でシミュレーションし、詳細な移動手順書を作成した。また、実施工においては、架設術に搭載した4台のGPSを用い、架設術の移動状況をリアルタイムに携帯の端末機でモニタリング（写真-4）し、架設術の誘導を補助する情報化施工を行い、全体の安定性を確認した。これにより、ヒューマンエラーを未然に防ぎ、安全で高い精度での架設術の移動が可能となった。

4.4 スパンバイスパン架設

R=200 m、支間長51 mの架設を行う場合、橋脚間を結んだ直線と円弧上に接合したセグメントの軸線は、支間中央で約1.5 m離れる。この離れによる偏心力を低減するために、橋脚中心より円弧内側に750 mm平行にオフセットさせ、直線形状の架設術主構を据えた。（図-8）

しかし、なお最大で約750 mmのオフセット量が発生し、さらに、図-10に示すように、主構上のセグメントを吊る仮吊り台車を最大で約6度傾けて位置調整を行わなければならない。

そこで、本架設においては、以下のように対応した。

- 1) 750 mmのオフセット量に対しては、セグメントに取付ける治具で約400 mm、加えて仮吊り台車で約350 mmの位置調整を行った。（図-9）
- 2) 6度の角度調整に対しては、主構上の仮吊り台車の軌道に余裕をもたせた。

なお、セグメントを架設するための仮吊り装置は、2連の主構のために、主構の間を利用した1点吊り構造とした。

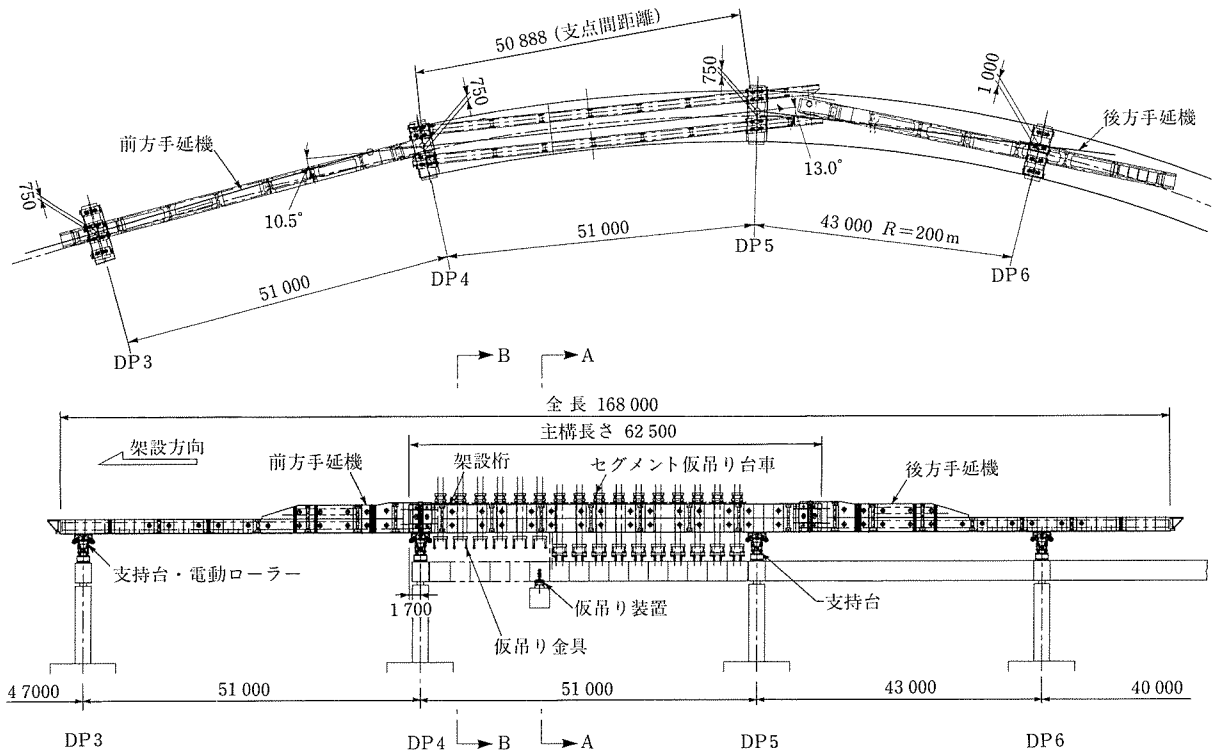


図 - 8 架設桁の構造

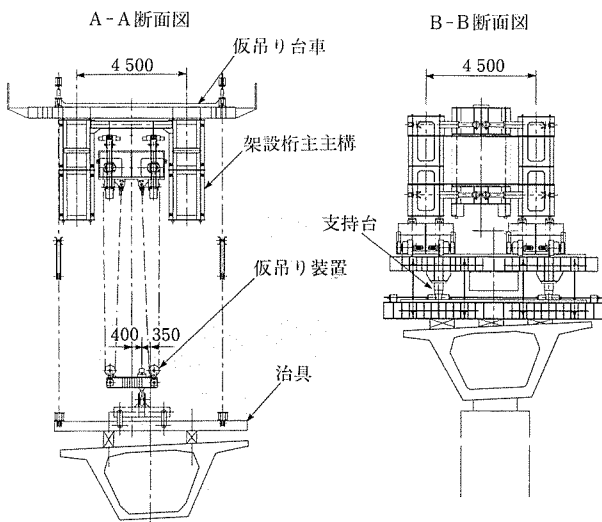


図 - 9 セグメント仮吊り位置の調整方法

これは、セグメントの搬入位置・搬入角度に制約を受けないかわりに、本線拡幅部など左右の張出し床版長の差（最大で1400mm）の大きいセグメントを架設する際、不均衡になるため、セグメントに取付ける治具の位置調整とレバブロックを用いた調整を併用し、水平に吊り上げた。

4.5 架設時の補助工法

本橋では、架設桁の移動時または架設時において、柱頭部セグメント中心線に対して架設桁を最大で750mmオフセットする必要があった。そこで、施工時の地震時安定性を確保するために、柱頭部の転倒防止構造（写真 - 5、図 - 11）装置を補助工法に採用した。とりわけ、柱頭部セグメ

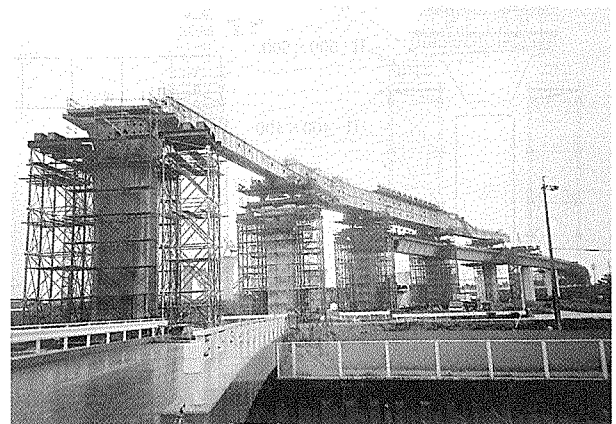


写真 - 5 架設状況

ントと橋座との間に設置したコンクリート製仮桁は、本橋の支承構造が1点支承であることから、架設中の偏載荷による支承への局部応力集中の対策や架設時の線形保持という面から有効であった。

5. 施工管理

5.1 セグメント管理システム

セグメント製作個数1829個、架設径間数120径間、同じ支間長でも縦断・横断線形が異なれば、セグメントの割付けも微妙に変化する。したがって、本橋で製作するセグメントは、一つとして同じ物はないことになる。その上、型枠設備からは、1日最大5個のセグメントが搬出され、1日最大で28個のセグメントが架橋地点へ運搬される。

このような状況でストックヤード、架橋地点でのストッ

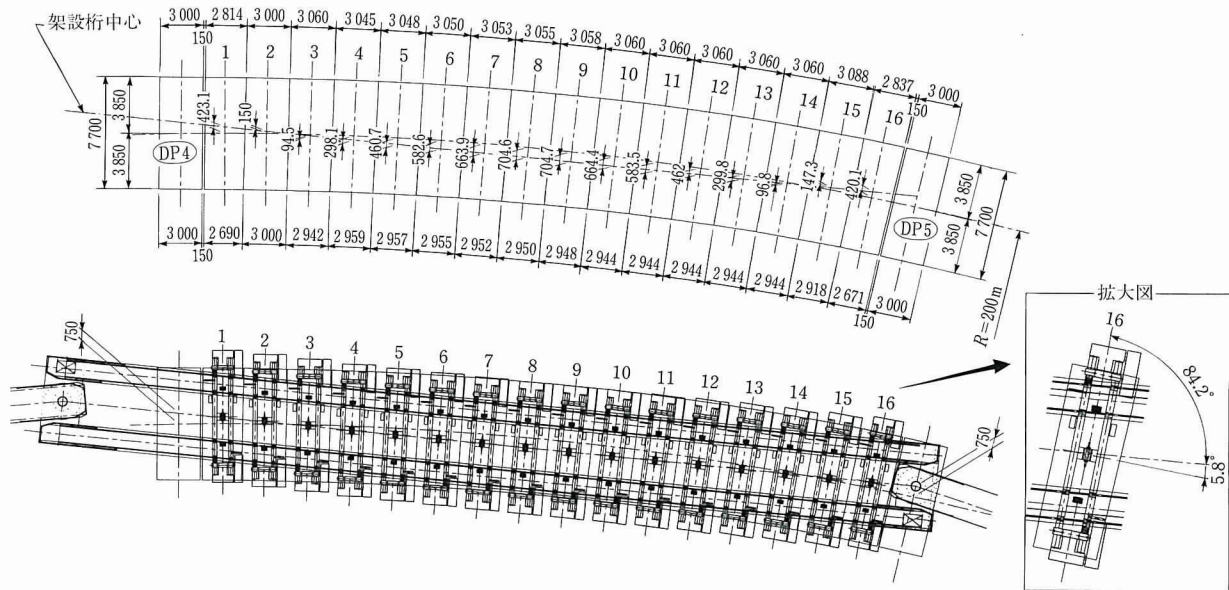


図 - 10 仮吊り台車の構造

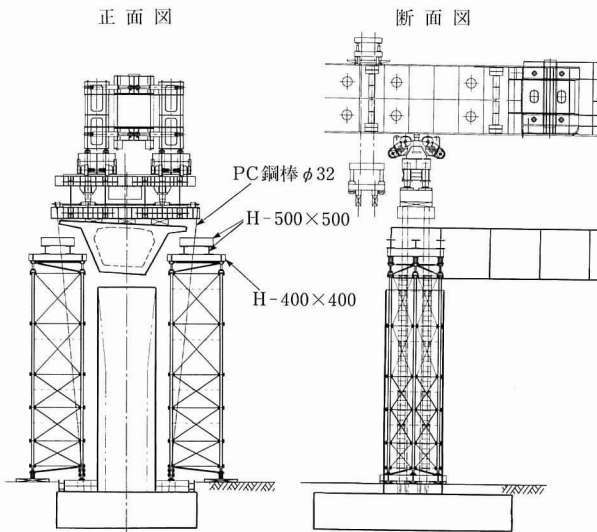


図 - 11 転倒防止構造

ク状況は、日々変化するため、セグメント管理および現場の進捗状況を総合的に管理する「セグメント管理システム」(写真 - 6)を開発した。このシステムにより、セグメントのストック状況を迅速に、かつ正確に管理することができた。さらに、本社とオンラインにより直結することで、遠隔でも現場状況をリアルタイムに確認でき、情報の共有化を図った。

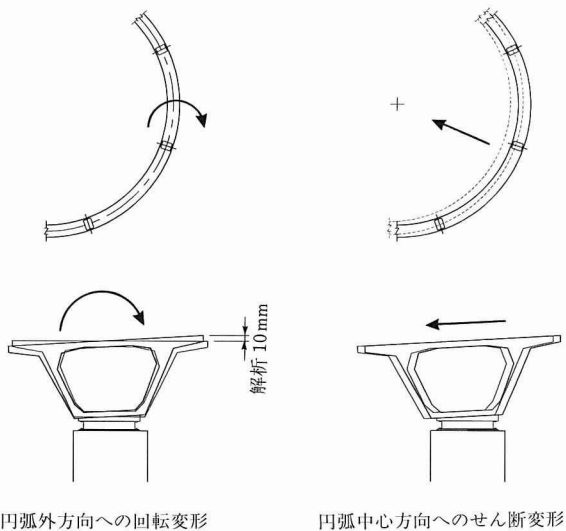


図 - 12 橋体の回転・変形

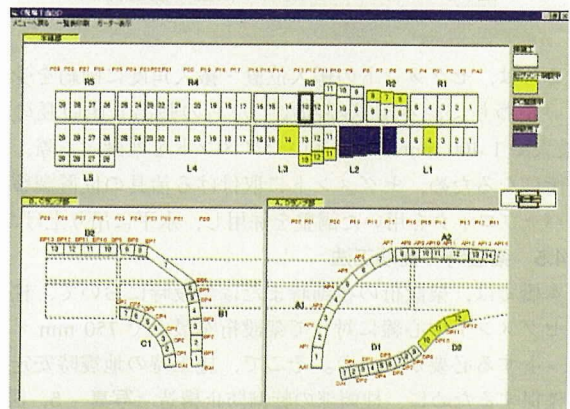
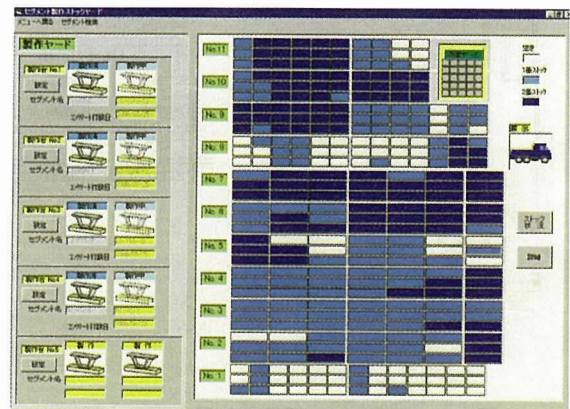


写真 - 6 セグメント管理システム

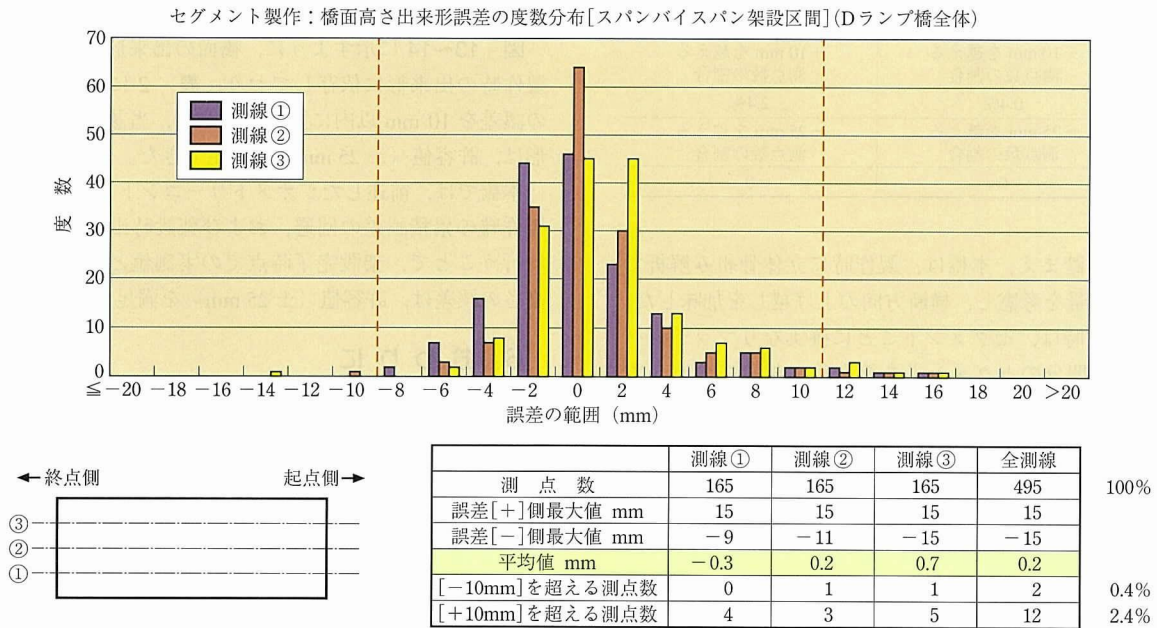


図 - 13 製作時の誤差分析結果

5.2 出来形管理

本橋は、①曲線半径が $R=200$ m と小さいことから、橋面の横断勾配が大きい、②単一方向の曲線ではなく、S字カーブになっていることから、横断勾配が反転する、③縦断勾配が比較的大きい、などの特徴により道路線形は、ランプ橋特有の変化に富んだ形状となっており、プレキャストセグメント工法による出来形管理には、以下のような影響を及ぼした。

- 1) セグメント製作時の型枠セット作業は、本線標準部に比べて OLD セグメントを平面・高さ方向に動かす量が大きくなる。出来形と計画値との誤差を修正する必要がある場合、調整量が大いときには、線形調整

設備（ジャッキ、チェーンブロックおよびターンバックルなど）の能力限界付近での調整が必要になる。また、標準部に比べて複雑な位置保持状態になっているので、コンクリート打設時の微動が標準部より大きくなる傾向があり、結果的に出来形に影響を及ぼすことになる。

- 2) ランプ橋は、景観設計により橋座幅が小さく、通常の2点支承の設計が配置上不可能であり、端支点を除き、中間支点部は変位制限構造を内蔵した円形（ $\phi 1.6 \sim 2.1$ m）の1点支承を採用した。この影響で2点支持に比べて、図 - 12 に示すように橋体が円弧外方向へ回転変形する量の評価が架設出来形にも影響を与える。

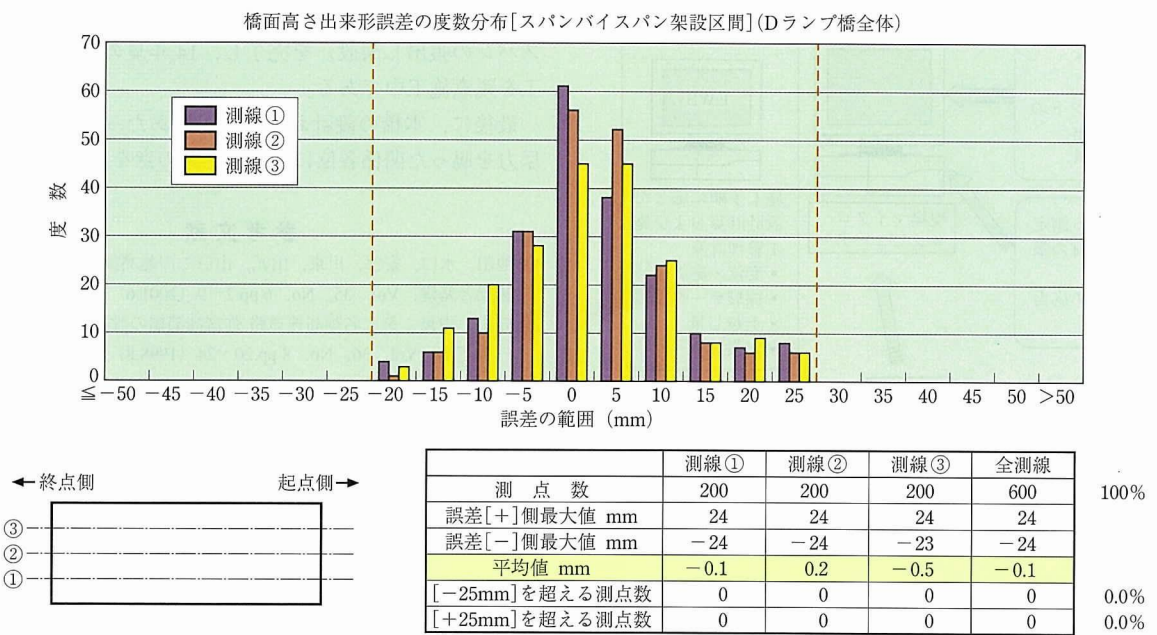


図 - 14 架設時の誤差分析結果

表 - 2 D ランプ橋の誤差分析

製作時の 誤差	-10 mm を越える 測点数の割合	+10 mm を越える 測点数の割合
	0.4%	2.4%
架設完了 後の誤差	-25 mm を越える 測点数の割合	+25 mm を越える 測点数の割合
	0	0

上記状況を踏まえ、本橋は、製作時に立体骨組み解析で得られた変形量を考慮し、横断方向の上げ越しを加味した。

また、架設時は、セグメントごとに確実なリマッチングを行い、1 径間分のセグメントを接合後、架設桁の直角方向油圧シリンダーおよび高さ調整用ジャッキにて、全体の高さおよび位置調整を行った。

セグメント製作時の計画値に対する床版出来形誤差について、その度数分布を図 - 13 に、セグメント架設完了後の床版出来形について、その度数分布を図 - 14 に示す。これ

らの図から分析した誤差の分析結果を表 - 2 に示す。

図 - 13~14 に示すように、橋面の出来形は、セグメント製作時の出来形に依存しており、表 - 2 に示すように、その誤差を 10 mm 以内に抑えることで、当該径間の橋面出来形は、許容値 (± 25 mm) を満足できた。

本橋では、前述したジオメトリコントロールを適用し、製作時の累積誤差の回避、および架設時出来形予測を確実に行うことで、架設完了時点での実測値と設計値との橋面高さの誤差は、許容値 (± 25 mm) を満足できた。

6. おわりに

曲線半径 $R=200$ m もの曲線橋に架設桁を用いたスパンバイスパン工法を採用するのは、日本で初めての試みであり、綿密な施工計画の策定と情報化を取り組んだ施工管理 (図 - 15) により、安全で精度の高い施工を行った。従来、鋼桁橋の範疇であった曲線橋においても、本橋に採用した種々の要素技術を用いれば、プレキャストセグメント工法の適用が可能になることが実証できた。しかしながら、川越高架橋の場合、①支間割が不均一であったこと、②交差条件からスパンバイスパン架設が不可能な長支間を有したこと、③開通時期が工期内に 2 度あり、工程制約から架設を伴わない前進・後進の移動が多数あったことなどから、本線の直線橋に比して 3 割程度割高になったことは否めない。より経済性を追求するための今後の課題として設計・施工両面から以下に留意する必要がある。

- 1) ほぼ同一支間の橋梁形式を連続させる径間割の選定
- 2) 橋座に転倒を防止できる措置を施せるスペースの確保
- 3) 径間の多径間連続化
- 4) 架設桁の軽量化と架設桁を支持する支持台移動の自動化、簡素化
- 5) 上部工の合理的な架設を行うための下部工進捗との整合性検討

なお、本工事は、平成 14 年 5 月末現在で総数 1 829 個のセグメント製作、114 径間のスパンバイスパン架設 (他に 6 スパンの張出し架設) を完了し、14 年夏の竣工に向け橋面工を鋭意施工中である。

最後に、本橋の設計および施工にあたって、多大なるご尽力を賜った関係各位に心より感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 池田, 水口, 安部, 川東, 山元, 山口: 川越高架橋の上部工の施工, 橋梁と基礎, Vol. 35, No. 6 pp.2~9 (2001.6)
- 2) 守山, 中島: 第二名神高速道路 弥富高架橋の設計・施工, コンクリート工学, Vol. 36, No. 8 pp.20~24 (1998.8)
- 3) Moreton: The Three Dimensional Geometry Control of Segmental Bridges, Persons Brinckerhoff, 1993.3
- 4) 狭間, 山元, 大場, 橋本: プレキャストセグメント工法による高架橋の建設, プレストレストコンクリート pp.84~90 (1998.9)
- 5) 佐藤, 木水, 長谷, 平野, 井谷: 重信高架橋の施工, 橋梁と基礎, Vol. 31, No. 2 pp.21~28 (1997.2)
- 6) 岡村, 宇梶: オールプレキャストによる PC3 径間連続箱桁橋の架設, 土木学会誌, Vol. 81, No. 6 pp.18~2128 (1996.6)

【2002 年 5 月 31 日受付】

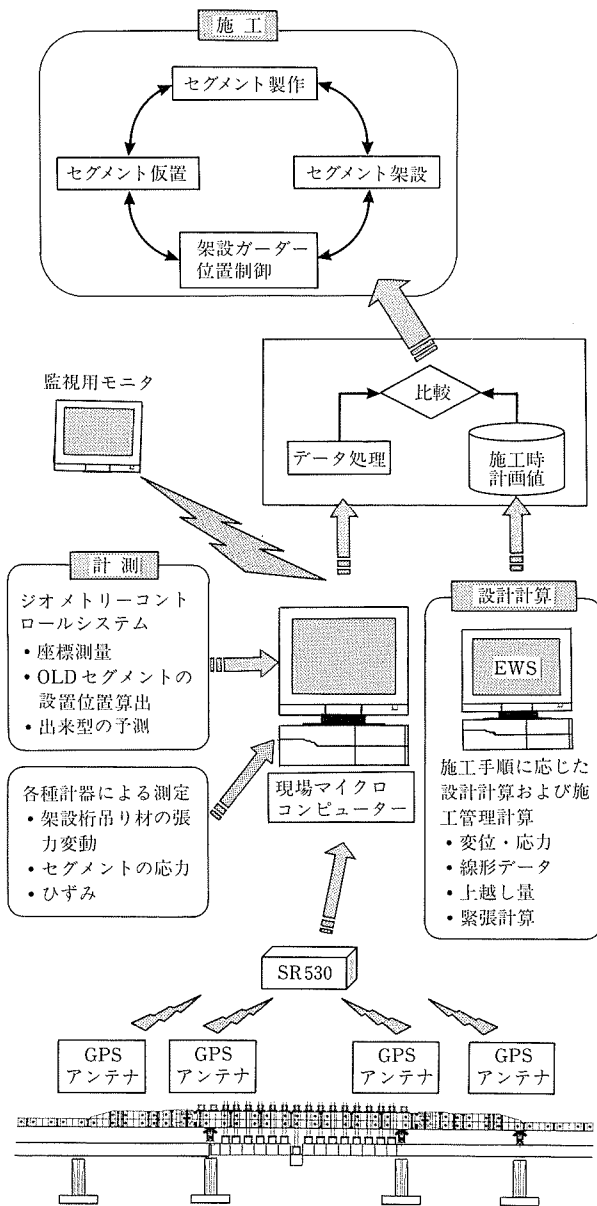


図 - 15 施工管理システム