

古宇利大橋上部工(その4)工事における プレキャストセグメントの製作形状管理

伊藤秀司¹・堀口政一²・白谷宏司³・稲原英彦³

¹正会員 大成建設株式会社 九州支店土木部(〒810-8511 福岡市中央区大手門1-1-7)

²正会員 大成建設株式会社 札幌支店土木部(〒060-0061 札幌市中央区南1条西1丁目4番地)

³正会員 大成建設株式会社 本社土木本部土木設計部(〒163-0606 東京都新宿区西新宿)

古宇利大橋は、今帰仁村古宇利島と名護市屋我地島の海上を結ぶ橋長 1960m のプレストレストコンクリート道路橋である。本橋はプレキャストセグメントによる張出し架設工法が採用されており、セグメント製作はショートラインマッチキャスト方式により行っている。架設工程短縮を図るため柱頭部と張出し部の間に場所打ち目地を設けず、柱頭部を含む 1 橋脚部の張出しセグメント 22 個は全てマッチキャストとした。そのため、セグメントの製作誤差が桁の架設形状に及ぼす影響は大きく、セグメントの製作形状には高い精度が要求された。

本書は、古宇利大橋上部工のうち、その 4 工事(製作区間 564m)において、セグメントの製作形状を管理するために採用したシステムについて報告するものである。

キーワード: プレキャストセグメント工法, ショートラインマッチキャスト方式, セグメント形状管理システム

1. 橋梁諸元

路線名 県道古宇利屋我地線
 工事場所 沖縄県名護市済井出地内
 橋長 1960m(664.0+640.0+312.0+344.0)
 支間 59.1m+80.0m×23+59.1m
 有効幅員 10.25m(歩道 3.0m)
 構造形式 PC8 径間連続箱桁橋×2+PC4 径間連続ラーメン箱桁橋+PC5 径間連続箱桁橋
 平面線形 R=160m～ (その4工区は、)
 工法 ショートラインマッチキャスト方式プレキャストセグメント工法
 架設工法 張出し架設工法
 主要材料

材料名	種別	規格	備考
コンクリート	普通	50N/mm ²	
鉄筋		SD295A	エポキシ被覆
PC 鋼材	内ケーブル	12S15.2	同上
	外ケーブル	19S15.2	同上

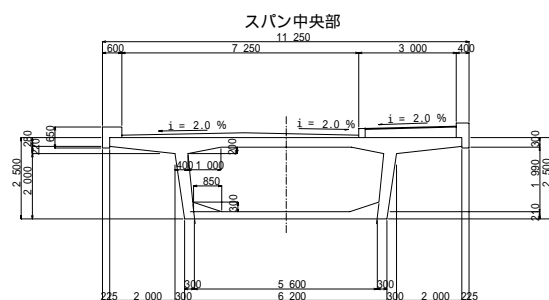
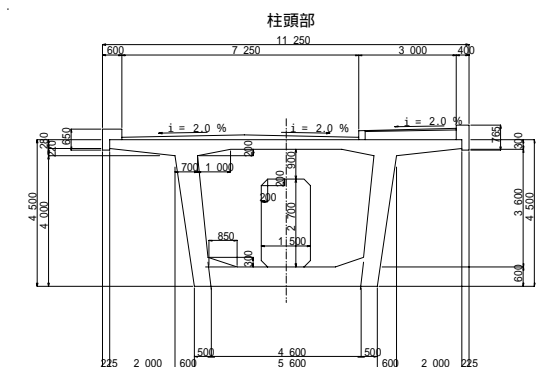


図-1 主桁断面図

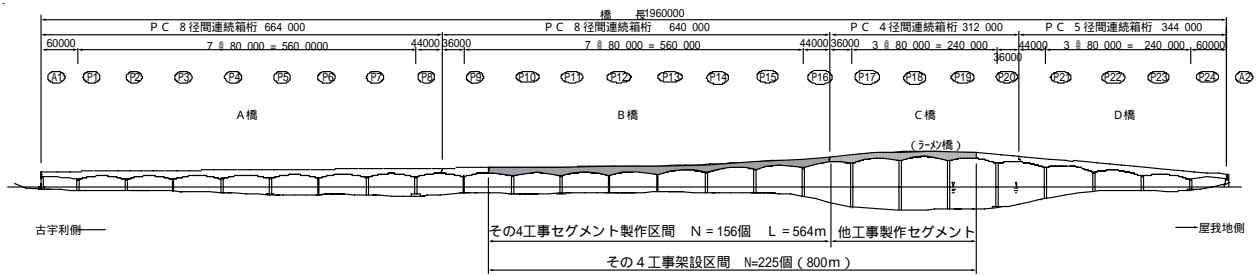


図-2 古宇利大橋全体一般図

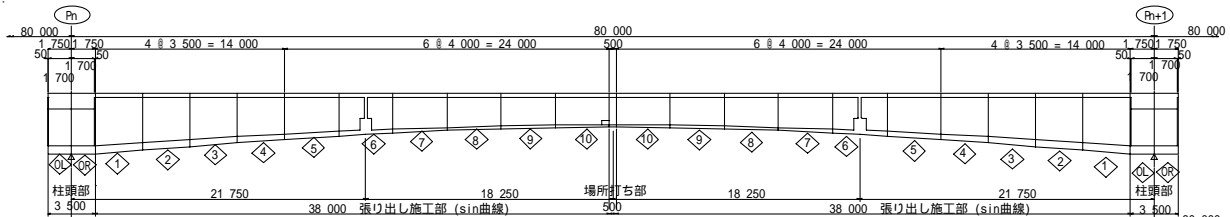


図-3 主桁側面図

2. プレキャストセグメント製作方法

本橋におけるプレキャストセグメントの製作方法としては、現在、第二東名神を中心に施工実績が増えつつあるショートラインマッチキャスト方式が採用されている。

プレキャストセグメントによる張出し工法を採用する場合には柱頭部セグメントと第1セグメントの間に場所打ち目地を設け、張出し架設の第1セグメントの据付けにおいて慎重に位置調整を行い、その後の張出部形状誤差の最小化を図るのが一般的である。しかし、本橋においては架設工程短縮のため柱頭部セグメント2個と張出し部セグメント20個を全てマッチキャスト方式で製作しているのが最大の特徴である。

その4工事においては、さらにセグメントの製作工程の短縮も図るため、図-4に示すように、柱頭部セグメント製作ラインを増設することとした(当初は、2ラインで計画)。柱頭部セグメントは横桁構造を有しており、張出し部の箱桁形状のセグメントとは形状が異なるため型枠設備の組替え等に非常に手間が掛かり、張出しセグメントと同一ラインで製作を行えば、製作サイクルを悪化させてしまうが、このように別ラインを増設することで製作工程の短縮を図った。

本橋梁全体でセグメントの製作個数は550個であるが、その4工事セグメント製作担当工区は、P10橋脚部～P16橋脚部であり、合計156個を上記のような方法により製作した。

製作線形は、縦断が0.3%～3.0%であり、平面が本工事担当工区は、直線()であった。

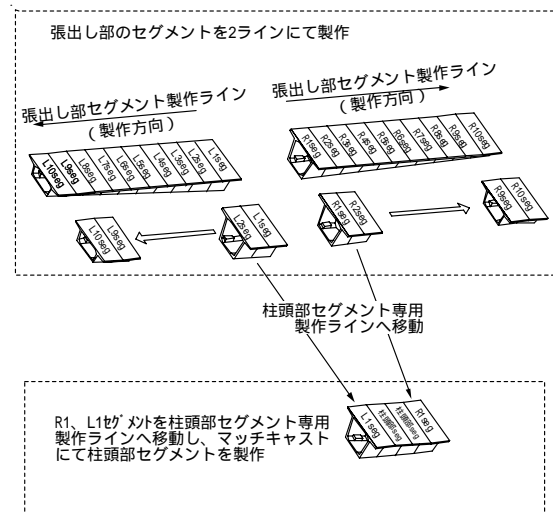


図-4 プレキャストセグメント製作方法

3. プレキャストセグメント架設方法

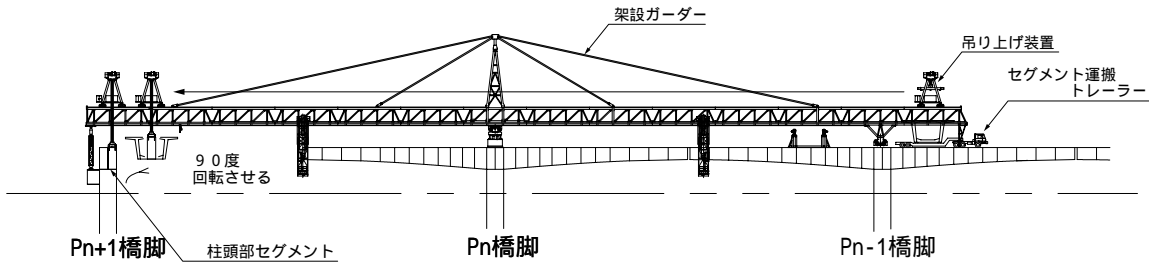
セグメントの架設は、総重量900tの架設ガーダーを使用し張出し架設工法により行った。

架設は屋我地島側からの片押しであり、セグメントの運搬は、専用のトレーラーにより少し離れた仮置きヤードから架設地点まで、既設の架設部分を使用しながら運搬を行った。

次頁の図-5にセグメント架設の1サイクルを示す。

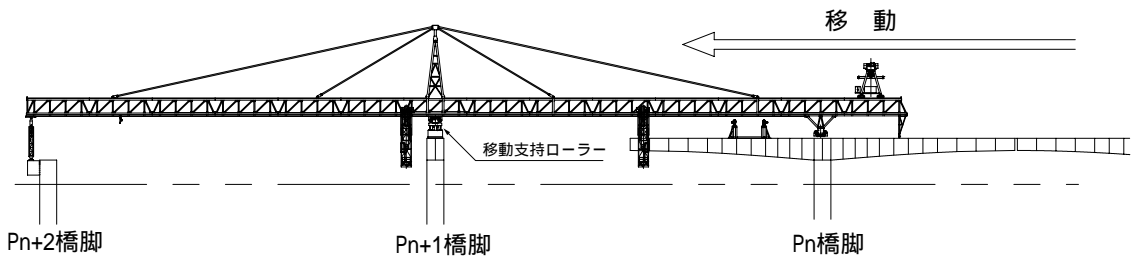
(1) 柱頭部セグメント架設

仮置きヤードから柱頭部セグメントをトレーラーにて運搬し架設ガーダー後方のセグメント吊り上げ位置まで運搬する。
 柱頭部セグメントを吊り上げ装置で吊り上げ、前方まで運搬する。
 所定の位置に柱頭部セグメントを据付ける。



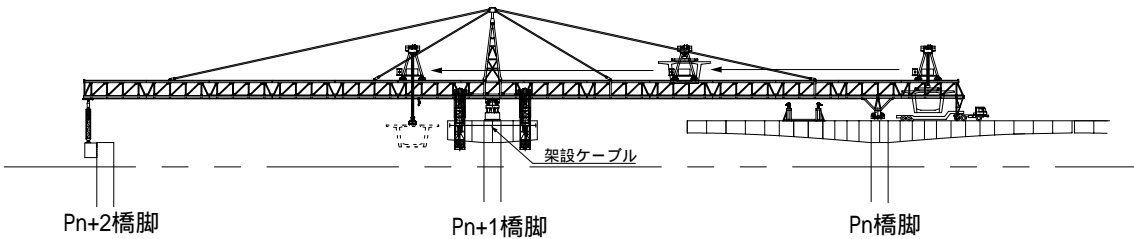
(2) 架設ガーダー移動

Pn+1橋脚柱頭部セグメント上に架設ガーダー移動用支持ローラーを据付ける。
 架設ガーダーを移動させる。



(3) 張出し架設

柱頭部同様、仮置きヤードから張出し部セグメント（前方側）を架設ガーダー後方のセグメント吊り上げ位置までトレーラーにて運搬する。
 張出し部セグメントを吊り上げ装置で吊り上げ、所定の位置まで運搬する。
 セグメント接合面に接着材を塗布し、PC鋼棒にて仮固定する。
 上記 ~ を後方側張出し部セグメントに対しても繰り返す。
 前方、後方の張出し部セグメントを仮固定したところで、架設ケーブルを挿入し緊張する。
 上記 ~ を繰り返す、前方、後方10セグメントまで張出す。



(4) 中央連結部工

張出し架設完了後、中央連結部の支保工を組み立てる
 鉄筋、シース、型枠を組み立て、コンクリート打設を行う。
 コンクリート養生後、打設前にあらかじめ挿入しておいた内、外のスパンケーブルを緊張する。

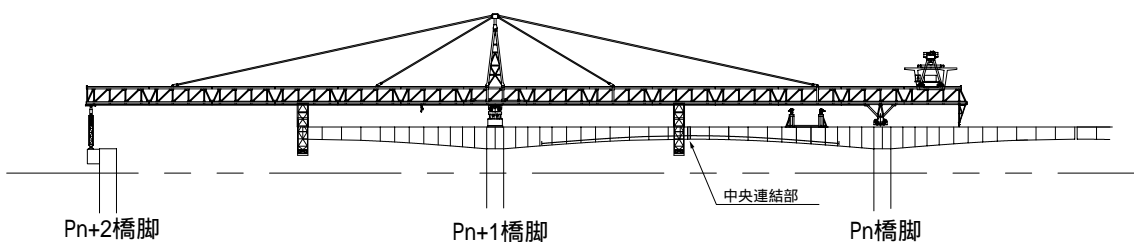


図-5 セグメント架設手順

4. セグメントの形状管理方法

ショートラインマッチキャスト方式におけるセグメントの製作では、図-6に示すように、N番目のセグメントの製作後、製作台上の旧セグメント(N-1)との一体形状を計測する。この計測結果を基に、桁の全体座標においてセグメントを次々つなぎ合わせるシミュレーションを行って、セグメントの実製作曲線を作成する。この製作曲線におけるNセグメント先端の座標を、上越し計算から決まっている計画製作曲線上の値と比較し、誤差がある場合には、その次に製作されるセグメント(N+1)の先端が計画製作曲線上に来るように、N+1セグメントの製作形状(製作台上における旧セグメント(Nセグメント)との相対位置関係)を当初の製作曲線から補正する。本工事を含め一般には、製作するセグメントの型枠は基本的に固定されており、製作台上の旧セグメントの位置や勾配を補正計算結果に応じて調整する。

PC橋においてプレキャストセグメント工法を採用する主な理由の一つは工程短縮にあり、そのためには、旧セグメントの位置調整にも迅速さが要求される。しかしながら、ジャッキで旧セグメントの位置を1mm以下のオーダーで調整するには時間と労力を要する。また、そのような調整ができて、コンクリート打設時の支保工の沈下などによる製作セグメントの誤差を完全に無くすのは困難である。そこで、セグメントの製作においては、各セグメントの数mmオーダーのランダムな製作誤差は許容した上で、製作形状や相対する2個のセグメントの相対関係を高精度の計測で正確に把握し、誤差が一定の方向に累積しないように管理することを基本とする。また、現場でのセグメント製作形状の計測は、正確かつ迅速にできるようにする。このような基本思想で、本工事に於いて採用したセグメント形状管理手法の概要を、以下に述べる。

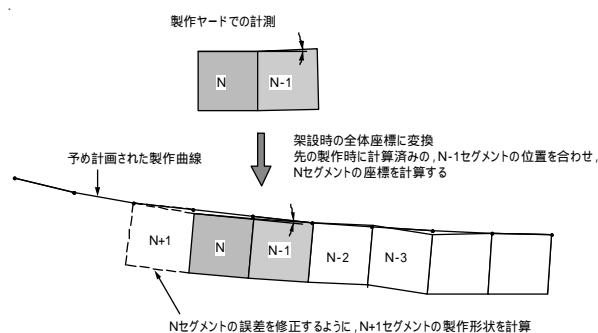


図-6 プレキャストセグメント製作形状概念図

(1) セグメントの計測

図-7に示すように、製作台上でNセグメントが製作された直後に、橋面の各計測点の3次元座標を計測する。計測にはトータルステーションを用いたが、鉛直座標については、計測精度を高めるため計測精度0.1mmの電子レベルも併用した。橋面の計測点は各セグメント8点の合計16点であるが、後述の形状管理計算に用いるのはウェブ上の点のみである。計測器は橋面上の任意の位置に据付け、トータルステーションおよび電子レベルによる計測は、それぞれ計測器の据付け位置を変えて2回ずつ行った。

(2) 計測結果の整理

平面座標については、2個のセグメントのウェブ上の8点の、2回の計測座標からそれぞれ図心位置を算出する。次に、それぞれの平均図心を求め、2回の計測値の各図心が平均図心に一致するように、2回の計測値をそれぞれ水平移動させる。そして、2回目の計測点を図心回りに回転させ、8点における2回の各計測点の距離(誤差)の2乗和が最小になる回転角を求め、その時の各点計測点の2回の座標値を平均して、各点の計測座標とする(図-8参照)。ここで、2回の計測結果に著しい差があれば、どちらかの測量にミスがあった可能性が高いため、再度計測を行うことになる。また、鉛直座標は電子レベルの計測値を基本とするが、トータルステーションによる計測値との比較により、有害なオーダーの誤差がないか確認する。このようにして、まず計測点の座標値を確定する。

なお、計測点の座標原点は、新セグメントの端面(バルクヘッド)側の測点2,3の midpointとし、測点2と3を結ぶ直線をy軸、座標原点を通りy軸に直交する軸をx軸、鉛直軸をz軸として、各計測点のローカル座標を整理する。このようにすれば、コンクリート打設時のバルクヘッドの

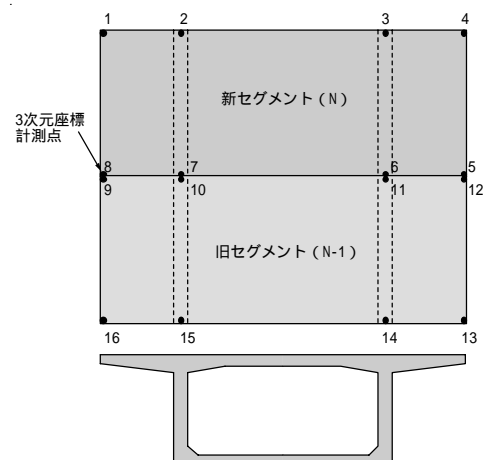


図-7 セグメント上の計測点

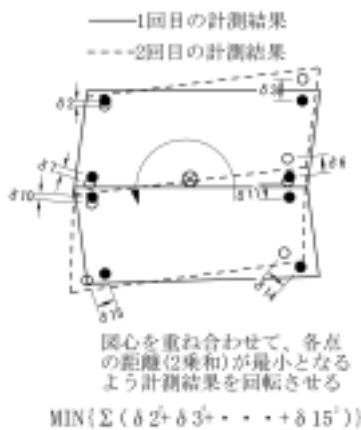


図-8 ウェブ上の計測点の平均位置の算出

変形等により、座標軸の位置や向きが毎回変わるようになるが、従来の方法のように橋面上の計測点以外の基準点を測量する必要がなく、この基準点の測量誤差に起因するセグメント形状の誤差を無くすることができる。

次に、これらの座標値を、当初の計画製作形状における測点の座標値と比較し、形状誤差を把握する。ここでも計画値と計測値に著しい差があれば再度計測を行うことになる。また、各セグメントのウェブ上の4点は、計画製作形状では必ず同一平面上にあるが、実際には製作誤差のため、このうち3点から構成される平面に残りの1点がない場合がほとんどである。このセグメントが製作された時の、3点による平面と残り1点の距離を計算しておく。次に、このセグメントが製作台上で旧セグメントとなり、次セグメントが製作された時の、同じ計算値と比較する。これらに差があれば、セグメントが製作台上で旧セグメント側に移動した際、セグメントの支持条件が変化し、セグメントに不等沈下などによるねじり変形（以降 Twist と称する）が生じた可能性が高い。この Twist に一定の傾向が見られる場合には、セグメント製作台あるいは型枠設備などに何らかの不具合があることになり、また、張出架設される主桁の形状に有意な誤差が生じる可能性があるため、対処を講じる必要がある。

なお、各セグメントは、それが製作された直後と、旧セグメントとなって次セグメントが製作された直後の2回計測されることになる。この2回の計測結果の比較も行うが、コンクリートの収縮により、2回目の方がセグメントが小さい結果となる場合がほとんどである。この収縮比率のデータを蓄積しておけば、それまでの傾向と著しく異なる計測結果が現れた場合などに、測量のミスを検出できる。

(3) 架設シミュレーション

各セグメントの製作毎に、製作時に計測された新旧セグ

メントの8点の相対位置関係を基にして、主桁の張出形状の予測を行う。まず、張出部の最初のセグメントは、計画位置通りに架設されるものと仮定し、張出部の全体座標に変換する。次のセグメントについては、製作台上での計測による旧セグメントの4点の座標が、先に計算された張出部の全体座標と一致するように座標変換し、新セグメントの4点も、製作台上での旧セグメントとの相対位置関係を保つように座標変換する。

(4) 次セグメントの製作形状の指示

図-6に示したように、Nセグメントまでの架設シミュレーションの結果から、計画製作曲線との誤差を把握し、N+1セグメントの製作において、その先端が計画製作曲線上来るように、N+1セグメントの製作形状（ウェブ上の4点の座標）を決定する。そして、その時のNセグメントとの相対位置関係を、今度は製作台上での座標に変換し、新(N+1)セグメント側の型枠位置が固定されているものとして、旧(N)セグメントの製作台上の位置を算出する。

ここで、Nセグメント製作までの Twist の累積値と逆向きにねじりを、N+1セグメント製作においてNセグメントに与え、Twist をキャンセルさせる。この Twist は、旧セグメント側の支保工の不等沈下などによって生じるものであるが、セグメント製作毎の少ない計測結果では、どの位置が下がっているのか（あるいは上がっているのか）把握できない。そのため、前述の架設シミュレーションには、累積された Twist によるレベル誤差は現れず、予測できない誤差を含んだ計算結果となっている。しかし、Nセグメントの製作までに累積した Twist をN+1セグメント製作時に完全にキャンセルできれば、それまでの Twist に起因するレベル誤差は、N+1セグメント先端のレベル誤差として定量的に現れることになり、N+2セグメントの製作時に修正が可能になる。

(5) 本形状管理手法の利点

本手法の利点は下記の通りである。

- 計測器を橋面上に据付けて計測し、特定の基準点を設けずにセグメント上の計測点のみを計測するため、計測器から測点までの距離が短く、精度が高い。また、橋面の計測点と別の基準点の計測誤差による形状誤差が入らず、誤差要因を1つ無くすることができる。
- 測量に要する時間が比較的短い。
- 計測結果に対して何重にもチェック項目を設けており、測量誤差の検出がし易い。そのため、信頼性の高い計測結果を得ることができる。
- Twist に起因する、検出し難いレベル誤差を最小限に抑えることができる。

5. シミュレーションと出来型形状

本形状管理システム上で製作時の計測から各セグメントを一つ一つ繋ぎ合わせて柱頭部2セグメントと左右10セグメントの製作を終了した時点の形状をシミュレーションし、上越し計算による計画製作曲線との差を計算したものと、実際の架設後形状の計画線形との差を比較した結果、すなわち本形

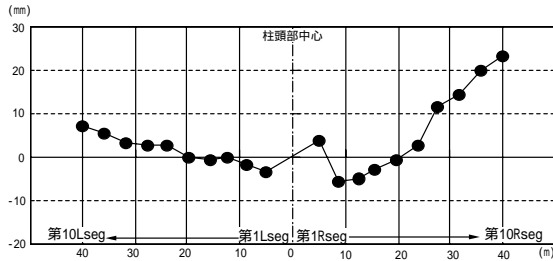


図-9 天端レベルにおける予測値の誤差(P16 橋脚部)

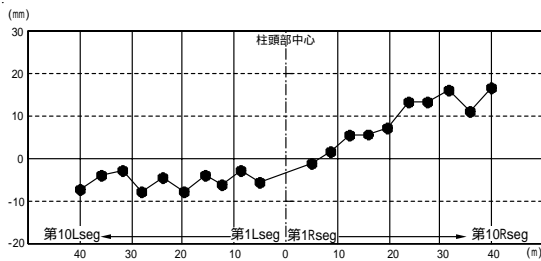


図-10 天端レベルにおける予測値の誤差(P15 橋脚部)

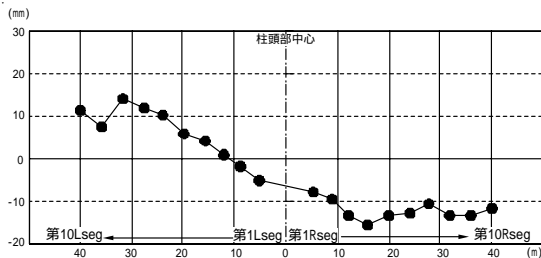


図-11 天端レベルにおける予測値の誤差(P14 橋脚部)

上記、図-14において、第5L,6Lブロックで他ブロックに比較し突然誤差が大きくなり、第8Lブロック以降では、また誤差が小さくなっている。他図のように誤差が徐々に大きくなる原因

6. まとめ

上記の図より、天端レベル及び橋軸直角方向のシミュレーションとの誤差は、ほぼ20mm以内となっている。

この誤差要因はいくつか推測されるのだが、誤差要因として本形状管理システム自体が有する誤差の他、上図では、製作時の計測結果のみから予測された主桁の誤差と実際に張出し架設された主桁の形状誤差を比較しているため、スト

状管理手法による主桁架設形状の予測値の誤差(計画レベルとの誤差ではない)を以下に示す。

図-9, 10, 11 は天端レベルであり、図-12, 13, 14 は橋軸直角方向(セグメント中心線)の結果である。

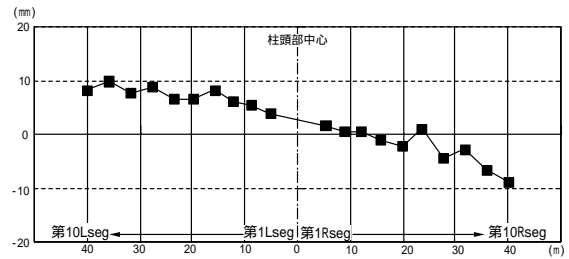


図-12 橋軸直角方向の予測値の誤差(P16 橋脚部)

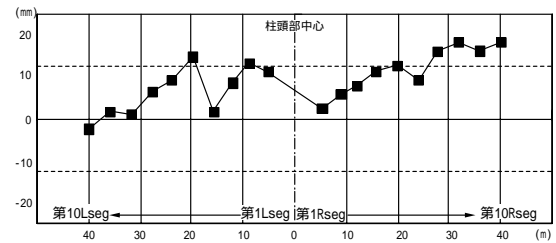


図-13 橋軸直角方向の予測値の誤差(P15 橋脚部)

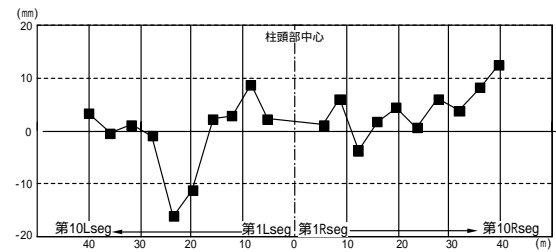


図-14 橋軸直角方向の予測値の誤差(P14 橋脚部)

については、いろいろな誤差要因が考えられるが、図-14については、架設後の計測誤差が大きかったのか、偶発的なものかは現在のところ不明である。

ックヤードから架設までの間の各種誤差や上げ越し計算の誤差も上図には含まれている。

本工事では、これらの誤差要因を分析するに至るような計測を行ってはいないため、今後もデータの蓄積に勤めて、さらにプレキャストセグメント工法における主桁の架設精度向上につなげたい。