

プレキャストセグメント橋における施工管理

井谷 計男*

1. はじめに

この十年弱の間における、国内でのプレキャストセグメント橋の施工実績およびその技術レベルの向上には目を見張るものがある。プレキャストセグメントの製作方法にはロングライン方式とショートラインマッチキャスト方式があるが、最近では施工規模の大型化に伴い、主に後者の工法が多く採用されている。プレキャストセグメント単体の規模としては、一般公道での運搬が可能な重量 30 t のものから海上運搬のみ可能な重量 400 t の大型セグメント（写真-1）まで種々のセグメントが採用されている。

プレキャストセグメント橋においては、計画値と出来形との間の誤差を所定の範囲内に納めるよう各施工段階において種々の管理を行う必要がある。図-1 にプレキャストセグメント橋の一般的な施工フローチャートを示す。スパン・バイ・スパン架設、張出し架設とも基本的にはこのよ

うな流れで施工は行われる。

プレキャストセグメント工法と場所打ち工法で決定的に異なるのは、出来形の精度がほぼ製作段階で決定されることである。架設時においては、計画された工法をいかに正確に実施するかが勝負であり、張出し架設工法では製作段階で生じた誤差の吸収は基準セグメント（最初に設置するセグメント）の据付け時においてのみ可能である。スパン・バイ・スパン架設工法では、各径間に目地を 2 か所設けておけば接合完了後、架設ガーダーを使用して全体調整することが可能である。以下に、プレキャストセグメント橋の施工管理に特有な事項を、具体的な事例を交えて報告する。

2. 計画線形と形状管理

プレキャストセグメント橋を施工するうえで、基本となる形状管理の基本方針の例を以下に示す。

2.1 製作方法（図-2）

(1) 平面線形対応

平面線形に対しては NEW セグメント軸線を常に測量軸線と一致させ、OLD セグメントの OLD 側を製作時の測量軸線よりシフトさせて曲線に対応させる。すなわち、NEW セグメントの OLD 側小口面は製作軸線に対して直交せず、NEW セグメントの平面長が左右で異なることとなる。

(2) 縦断線形対応

縦断線形に対しては、NEW セグメントは常に水平に製作し、OLD セグメントの OLD 側を上下にシフトさせることにより対応する。NEW セグメントを製作するときの NEW 側端版（パルクヘッド）は、常に鉛直であるが、OLD 側小口面は鉛直ではなく、下床版とウェブ上でセグメント長が異なる形状となる。

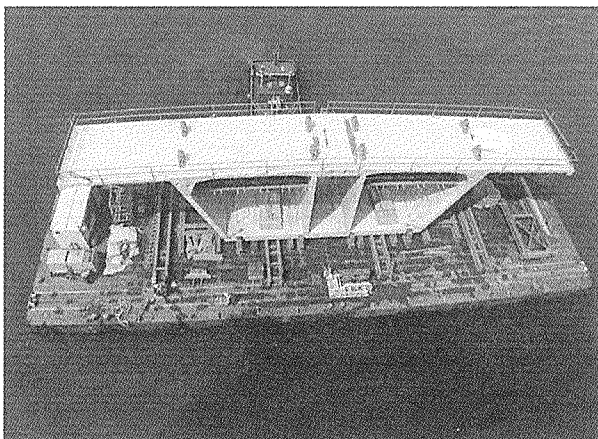


写真-1 第二名神揖斐川橋の台船上セグメント

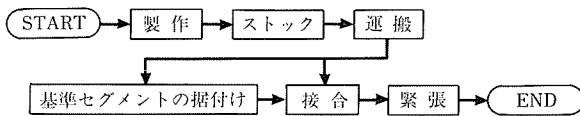


図-1 プレキャストセグメント橋の施工フローチャート



* Kazuo IDANI

住友建設(株)
土木本部PC営業統括部
PC営業部 次長(技術士)

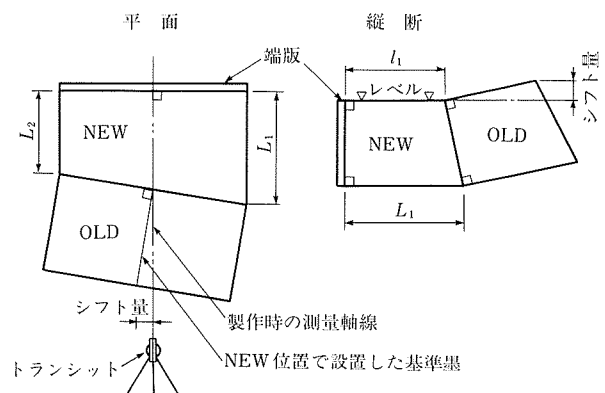


図-2 平面・縦断線形への対応

(3) 横断勾配対応 (図-3)

横断勾配一定区間では、水平に製作する。横断勾配が変化する区間では、NEW セグメントは常に水平で、OLD セグメント下床版センターを中心に横断勾配差分傾けて製作する。

2.2 形状管理方法の例

(1) 平面形状 (図-4)

NEW セグメント軸線に対して直角に設置された端版位置を基準とした、左右のセグメント長を用いてセグメント形状を描きシミュレートする。設計セグメント長による平面線形を計画ラインとし、測量によって得られた実測セグメ

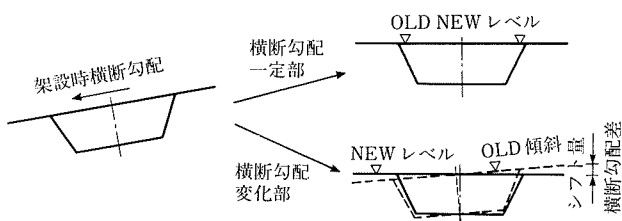
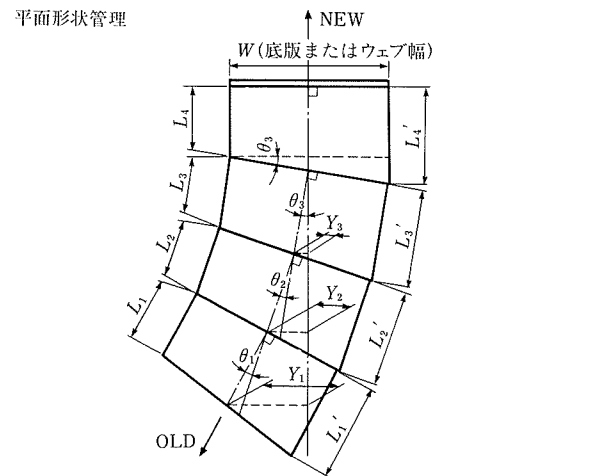


図-3 横断勾配への対応

平面形状管理

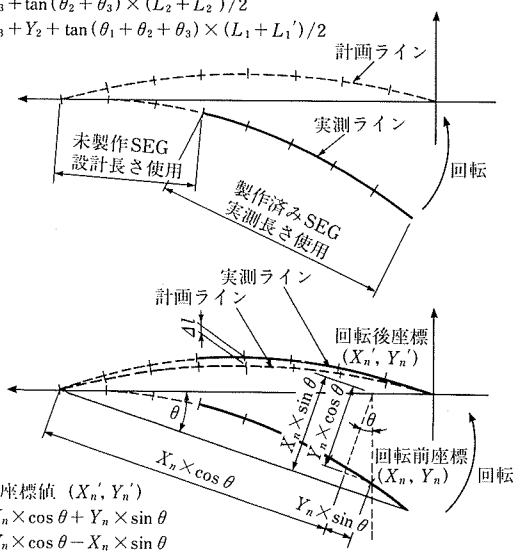


$$\theta_{n-1} = \tan^{-1} (L_n' - L_n) / W$$

$$Y_3 = \tan \theta_3 \times (L_3 + L_3') / 2$$

$$Y_2 = Y_3 + \tan (\theta_2 + \theta_3) \times (L_2 + L_2') / 2$$

$$Y_1 = Y_3 + Y_2 + \tan (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \times (L_1 + L_1') / 2$$



回転後の座標値 (X_n', Y_n')

$$X_n' = X_n \times \cos \theta + Y_n \times \sin \theta$$

$$Y_n' = Y_n \times \cos \theta - X_n \times \sin \theta$$

図-4 形状管理 (平面)

ント長により実測ラインを求める。製作途中の実測ラインは、製作完了しているセグメントまで実測セグメント長を用い、未製作セグメントについては計画値を用いて、線形を推定する。計画ラインと実測ラインとは、各ラインの始点、終点を一致するよう線形を回転させて比較する。そのときの誤差 Δ_l が小さくなるように未製作セグメントの平面シフト量を調整する。

(2) 縦断形状 (図-5)

縦断形状は、セグメント長と縦断シフト量を用いて形状を描きシミュレートする。平面形状と同様に製作途中の実測ラインは、製作完了しているセグメントまで実測値を用い、未製作セグメントについては計画値を用いて、線形を推定する。計画ラインと実測ラインとは、各ラインの始点、終点を一致するよう線形を回転させて比較する。そのときの誤差 Δ_l が小さくなるように未製作セグメントの縦断シフト量を調整する。実測縦断シフト量は、NEW 位置での測量鉞の高さと OLD 位置へ移動したときの高さの差 (相対差) とする。

縦断形状管理

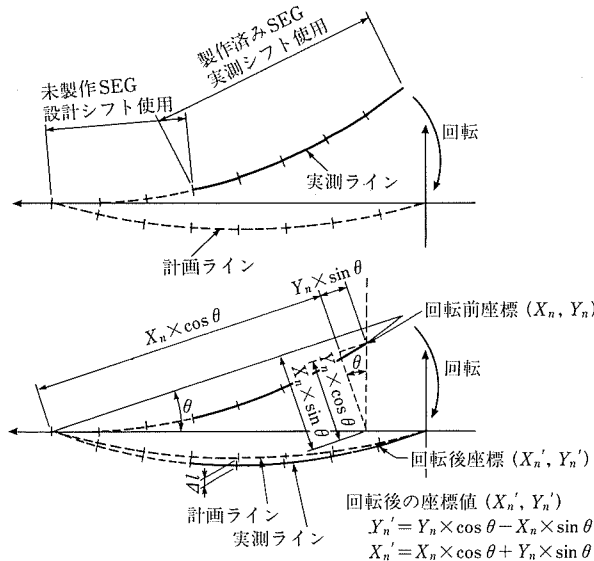
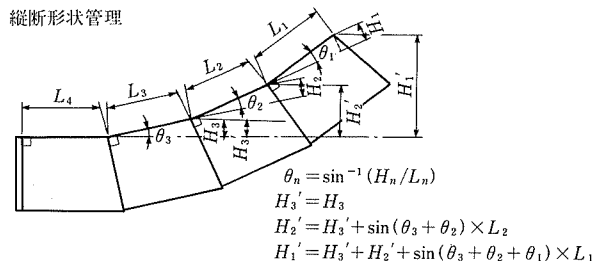


図-5 形状管理 (縦断)

3. 製作

図-6 に製作フローチャートと管理項目を示す。

3.1 製作設備および治具

製作設備には、製作台およびその基礎・鉄筋編成台・測量設備等が挙げられる。製作台は、基本的に最低1mm単位でセグメントの管理ができるものとしなければならない (図

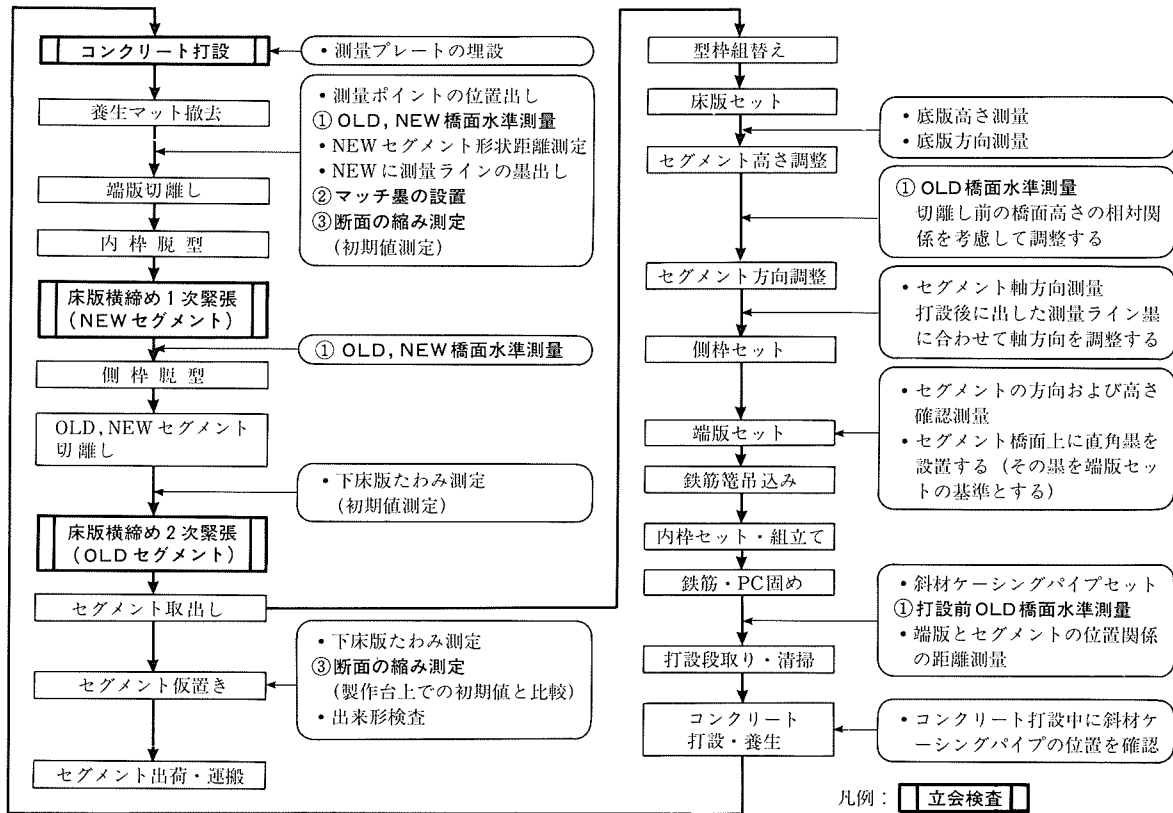


図-6 セグメントの製作フローチャート (損斐川橋)

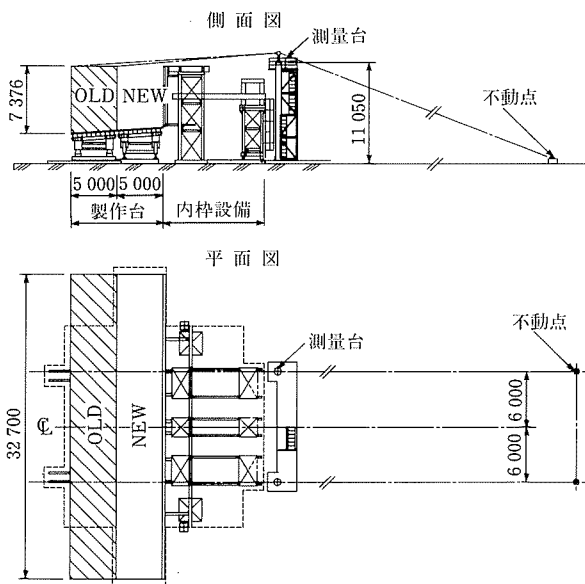


図-7 製作設備 (損斐川橋)

-7)。とくに縦断勾配の管理にあたっては、設備の変形・沈下による影響を極力小さくするような構造・基礎形式を採用しなければならない。

ショートラインマッチキャスト方式でセグメントを製作し精度良く接合を完了するためには、効率の面だけでなく後述のようにセグメント間の材齢差を極力小さくすることが重要である。そのためには、製作サイクルの短縮は重要である。これらに関わる設備・治具としては、製作台と同

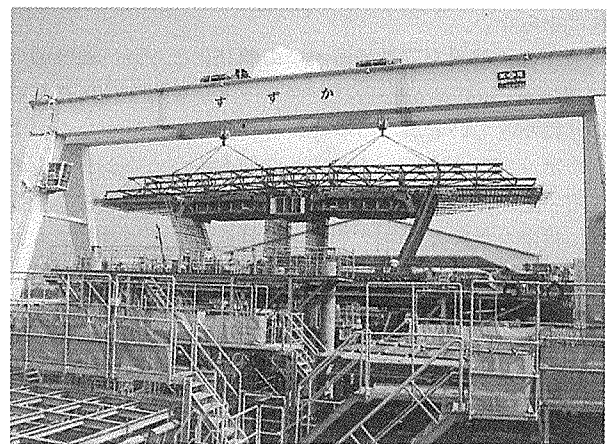


写真-2 プレハブ鉄筋の吊込み

程度の性能を有する鉄筋編成台ならびにプレハブ鉄筋吊り金具がある。鉄筋吊込み時、プレハブ鉄筋が大きく変形しないようにするため、吊り金具は剛性を高くして多点吊りとし、過大な集中力が作用してプレハブ鉄筋が変形しないようにしなければならない。また、セグメント吊込み後、所定のかぶりかどりがとれているかどうか内型枠をセットする前に必ず確認しなければならない。

(1) 型枠セット

セグメントの上越し管理および各ステップでのセグメント形状の変化を把握するために各種の測量を行う必要がある。測量の概要を表-1に、測量ポイントを図-8に示す。ジャッキを用いた製作台では、内外型枠のセット時に事前

表-1 測量の概要

計測内容	計測頻度	使用機械・器具
製作台上にあるセグメント橋面上の測量ポイントを施工ステップごとに計測	①コンクリート打設後 ②NEW 1次緊張後 ③OLD位置へ移動型枠セット直後 ④コンクリート打設前 *①, ②はOLD, NEWマッチング状態	・高性能自動レベル(0.1mmまで計測可能) ・セオドライト ・CCDカメラ

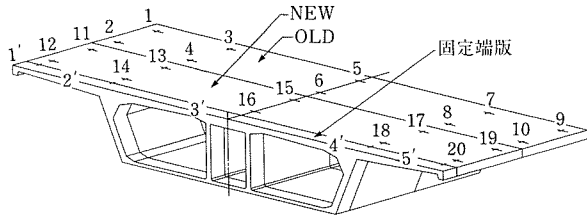


図-8 橋面の測量ポイント

に調整した OLD セグメントのセット位置が変化して出来形に影響する場合がある。型枠セット時には、コンクリート打設による型枠の変形・沈下だけでなく、このようなことも測量・計測等によりその傾向を把握し、形状管理に反映させなければならない¹⁾。

(2) コンクリート打設および養生

コンクリート打設においては、コンクリート打設に伴う鉛直荷重・側圧により製作台の各部分に変形(沈下)するので、早期にその傾向・量を把握し形状管理に反映させなければならない。

近年は、優秀な高性能減水剤の開発により設計基準強度 $50 \text{ N/mm}^2 \sim 60 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートが現場で使用されるようになってきている。この場合、材料分離を発生させないようにポンプ車の採用や落下高さを抑えるためのシュートの使用・型枠への打設窓の設置などにおいても、通常より遙かに綿密な計画とコンクリート材料そのものに対しても厳密な品質管理が必要である。高強度コンクリートは、水セメント比が30%程度と小さくなることから初期収縮が大きくなる。接合を確実に進行にはセグメントの断面形状差を極力小さくすることが重要であることから、コンクリートの自己収縮等も考慮して形状管理を行う必要がある。

乾燥収縮は、コンクリート中の水分が蒸発することによりコンクリートが収縮する現象である。これに対し、自己収縮は水分の蒸発によらずセメントの水和反応により水分が消費されるためにコンクリートが収縮する現象である。マッチキャストで製作されるセグメントにおいてはこの点においても十分注意を払うべきで、たとえば製作サイクルが1日のセグメントと4日～5日のものではコンクリートの収縮による接合面寸法にかなりの差が生じる。中には $100 \sim 200 \times 10^{-6}$ 程度のひずみ差となるものがあるので、接合の際、接合面に形状差が生じて接合時不具合が発生しないような工夫(あらかじめ収縮差を予想して、製作時に接合キー部分に調整板等で余裕をもたせる)も場合によっては必要である。これには、断面方向の寸法が大きい場合や冬季施工において蒸気養生を行わない場合で、新旧のセグメント間での温度差が大きい場合など接合面の変形差が大きい

場合に、接合面を拘束しないようにしてひび割れの発生を防止する効果もある。

また、コンクリートの養生はセグメントの耐久性向上にとって非常に重要であるとともに各セグメントの養生条件を安定させることで接合面の仕上がり精度向上にも繋がる。たとえば、コンクリートは散水養生と並行してセグメントを一定期間シートなどで覆うことなども良い方法である。

(3) 脱型

脱型前には、接合時の位置合わせを正確かつ容易にするためマッチ墨をセグメントに設置する(図-9)。橋面天端には、ステンレス製のプレートを埋め込んでおく。プレートは、NEW 製作時の基準となる位置を示すことになるので正確でなければならない。そのつどプレートを正確にセットするのは困難であるので、コンクリート打設直後にはおおよその位置に埋め込んでおいて硬化後基準となるポイントをポンチで設置する。高さの管理自体もこのポンチ位置で行うこととし、標尺足元のセット具合による誤差をなくすため図-10に示すような治具を用いるとよい。

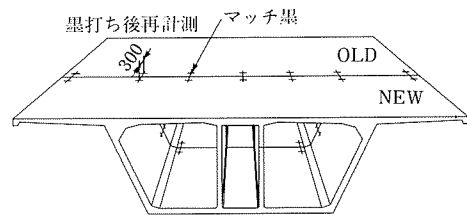


図-9 マッチ墨の設置

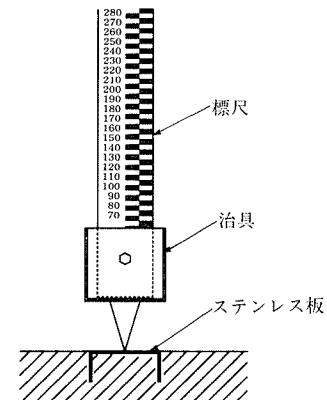


図-10 測量プレートと標尺治具

(4) 緊張・脱型・切離し

横締め鋼材、せん断鋼棒等マッチキャストによるセグメント製作後に各セグメント単独に発生するひずみ変化に対しては、接合キー部の接合精度を下げる要因となるので緊張時期、導入方法なども考慮しなければならない。たとえば接合面の形状変化を避けるため、セグメント製作後、ストック時にプレストレス導入を行う方法がある。また、型枠脱型によるセグメントの変形等も考慮する必要がある。

セグメントの切離しは、セグメントに集中荷重が作用するのを避けるため、接合面に対して直角に行うのを原則とする。そのときの接合面の剥離剤は、古くは石鹼水を塗布

することもあったが、現在は市販のものに優れたものがある。

3.2 ストック

セグメントのストックは、場合によっては100日以上にもなる。この間、地盤沈下等で断面が変形し残留するようなことがないように対策を講じなければならない。とくに、多主桁セグメントの場合は、注意する必要がある。図-11に揖斐川橋におけるセグメント仮置き台を示す。この仮置き台は、セグメントごとに独立しており、地盤の不等沈下を各仮置き台内で処理できるようにしている。

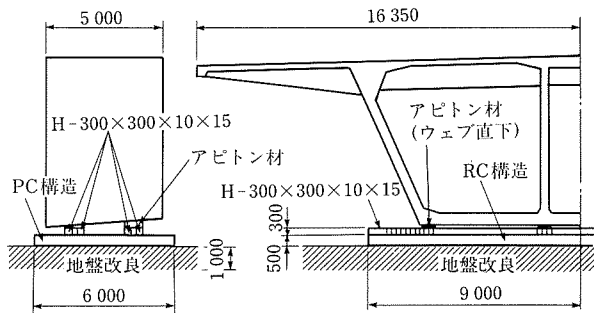


図-11 セグメント仮置き台

4. 架 設

架設における管理ポイントとして、出荷・運搬・基準セグメント据付け・接合に着目して述べる。

4.1 出荷・運搬

接合面が設計寸法に対して所定の精度で製作されているかどうかを確認し管理することはもちろん、精度良く接合できるように管理すること（接合面の仕上げ管理）が重要である。そのため、端版型枠脱型時やコンクリート面に発生した気泡にNEW コンクリートが打設されてできる小さな突起でも、接合時には大きな障害となる可能性があるため、目視確認しながらのケレン作業は重要である。とくに、製作・運搬時に何らかのトラブルで発生したような接合面の欠けなどは、接合前に補修を行うことは極力避け、接合時に同一のコンクリート等で補修するようにすべきである。

4.2 基準セグメント据付け

張出し架設では、基準セグメント据付け時において製作時およびストック時に発生した誤差をある程度調整することが可能である。一般的に基準セグメントと柱頭部セグメントの間には場所打ち目地が設けられ、橋梁全体の形状を調整することができるようになっているので、架設直前までに得られたセグメントの出来形から架設後の出来形をシミュレーションして基準セグメントの据付け時に調整する。図-12に示すように架設方向(X軸)にして基準セグメントを調整することで、全体的な形状管理を行うことができる。このことはまた、張出し架設工法では基準セグメントをいかに精度良く据え付けるかがその橋梁の出来形に大きく影響することを意味する。図-13に据付け方法の一例として、基準セグメント仮固定用のくさびを示す。揖斐川橋では、このくさびを上床版に6カ所、下床版に4カ所設

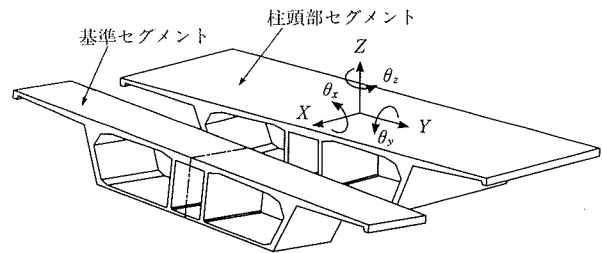


図-12 基準セグメントの据付け概念

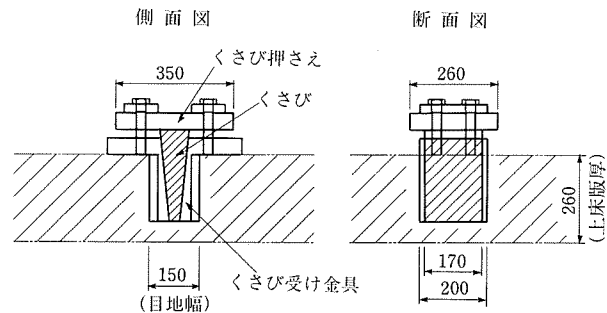


図-13 基準セグメント固定用くさび

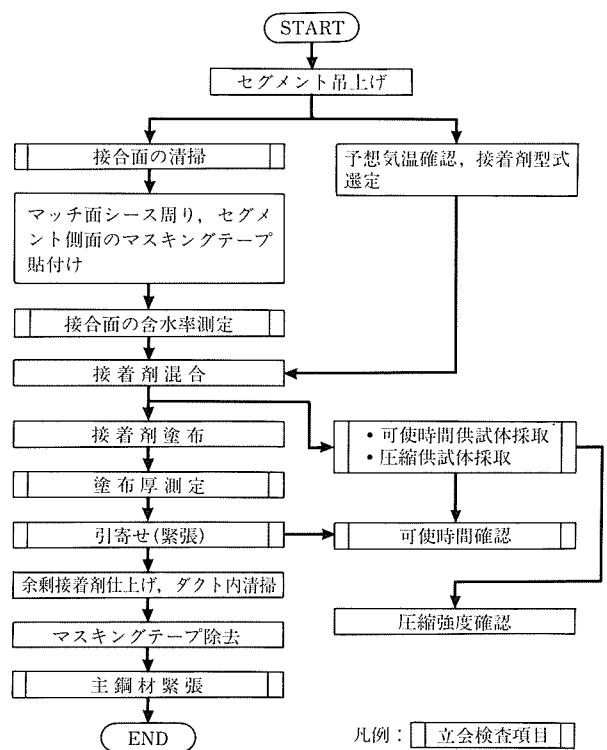


図-14 セグメントの接合フローチャート(揖斐川橋)

けて引寄せ鋼棒を緊張し、セグメントを仮固定して目地コンクリート打設時の側圧に抵抗させている。

4.3 セグメントの接合

図-14に接合フローチャートを示す。セグメントを吊り上げ、引寄せ鋼棒を用いて接合し、接合完了後はその状態を確認しなければならない。これは、製作時に設置したマッチ墨を使用して位置ずれはないか、過大な隙間が発生していないかを確認することによりなされる。

セグメントに接着剤を塗布して接合するための引寄せ力

は、張出し架設にしるスパン・バイ・スパン架設にしるセグメントを重心で吊り下げる（支持する）ことから、接合面には引寄せ鋼棒による圧力のみ作用する。また、そのときの引寄せ応力は 2.1 kgf/cm^2 以下にならないようにとした文献もあるが、図-15に示すような実験結果から引寄せ圧力は $3 \text{ kgf/cm}^2 \sim 4 \text{ kgf/cm}^2$ 程度を推奨する。

この接合応力は、接合断面全体に均等になるように導入される必要がある。つまり、そのような鋼棒配置を行うことで塗布された接着剤を接合面から均等に押し出し、製作時の状態に近づけ、接合面の隙間を片寄せないようにすることができる。

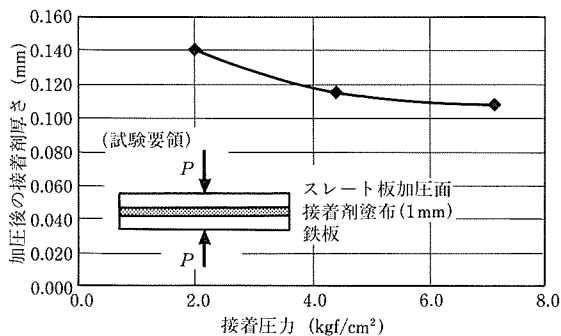


図-15 接合圧力と接着剤の厚み

この接着剤に要求される事項としては、以下のものが挙げられる。

- ① セグメントの接合が円滑に行われるように接合面の潤滑剤となること。
- ② セグメント接合完了後においては、その接合面における隙間を充填し、接合面において局部的に応力集中が発生しないようにする。換言すれば、接着剤は接合をより確実なものにするための手段としてプレキャストセグメント工法においては、欠くべからざる材料と言える。また、結果としてはあるが、接合面の接着剤は防水層としても重要な材料である。

接着剤は、有機化合物であることから取扱いには注意が必要であるが、その接着剤の仕様と使用する環境条件（水、

温度等）とを十分吟味して適切なものを選定しなければならない。セグメントの接合前には、接合面を水洗いなどで余分な汚れ・塵を除去して接着に支障がないようにしておくなければならない。セグメント引寄せ後は、内ケーブル構造の場合、ダクト内に接着剤が残留してケーブル挿入の障害にならないようブラシ等で清掃を行うことが必要である。

5. おわりに

以上、プレキャストセグメント橋の施工管理に関して製造者の立場から見た施工管理の具体例・あり方などについて述べてきた。

プレキャストセグメント橋においては、個々のセグメントは設計段階・製作段階でセグメント自体の性能・品質が決定され、架設段階では基準セグメントの据付け、セグメントの接合精度で橋梁としての品質が決定される。そのそれぞれの段階において、要求される品質を管理するには、電子機器等を用いて合理的かつ短時間に正確なデータを得て適切な判断を行う必要がある。そのためには、現場技術者の日頃の施工管理が最も重要である。わが国におけるプレキャストセグメント橋の技術は、ここ十年弱で長足の進歩があったが、FEM解析等が割合安価にできるようになったことなどからシミュレーションが計算のみに偏っている傾向もあると感じられる。

後世への貴重な社会資産を残すため、今後もより一層の技術向上に対して微力を尽くすとともに、若手技術者に対してもそう願うものである。本稿をまとめるにあたって、今までの施工経験の中でいただいた貴重な助言や種々の文献を参考にさせていただいた。誌上をお借りして御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 酒井, 上杉: 工場プレキャストセグメント工法PC箱桁橋の品質管理—第二東名高速道路上和会高架橋—, プレストレストコンクリート, Vol.43, No.3, pp.62~67, 2001.5
- 2) 小松, 中須: 木曾川橋, 揖斐川橋の設計・施工—複合エクストラード橋—, プレストレストコンクリート, Vol.41, No.2, pp.63~70, 1999.3
- 3) 水口, 中須: 世界初のPC・鋼複合連続エクストラード橋の施工, セメント・コンクリート, No.631, pp.10~17, 1999.9

【2001年11月5日受付】