

工場製作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-

酒井 秀昭*1・上杉 泰右*2

1. まえがき

PC橋の省力化・工事費の削減・工期の短縮方策としては、ショートラインマッチキャスト方式のプレキャストセグメント工法がある。JH日本道路公団においても、第二名神高速道路の弥富高架橋をはじめいくつかの箇所で、大規模な現場セグメント製作ヤード(3m³~10万m³)を構築し、重量40t~80t程度のセグメントを製作している。

上和会高架橋は、市街地近傍に位置し、大規模なセグメント製作ヤードの確保が不可能であるので、プレキャストセグメント工法を採用する場合は、既存のPCプレキャスト工場などにおいて、一般公道が運搬可能な規模(一般に30t以下)に分割したセグメントを製作し運搬する必要がある。このため、工場製作ショートラインマッチキャスト方式のプレキャストセグメント工法によるPC17径間連続箱桁橋(最大径間長約40m)を採用している。

工場製作プレキャストセグメント工法のセグメントの製作は、監督員等が工場に常駐し、検査を実施することが困難であることや、PCプレキャスト工場で通常製造されている製品に比べて、より高度な品質管理が必要となることなどからいくつかの課題がある。また、コンクリート構造物の耐久性確保の点からも、工場製作セグメントの品質管理は極めて重要である。

本文は、この上和会高架橋のプレキャストセグメントの製作における品質管理方法について述べるものである。

2. 上和会高架橋の計画

2.1 橋梁概要

上和会高架橋の断面図を図-1に、橋梁概要を以下に示す。

路線名：第二東海自動車道横浜古屋線(第1種第2級)

橋梁形式：上部工 PC17径間連続箱桁橋(プレキャストセグメント工法)

橋長：631.00m

支間：10×35.80m+7×39.00m

幅員：全幅 15.5m×2(上り線3車線, 下り線3車線)

2.2 上部工の特徴

(1) 断面形状

① 公道を運搬する条件から、セグメント重量を30t以下とすること、1主箱桁断面の場合は、接合目地の数が多くなり架設日数が増大することなどから、図-1に示した2主箱桁断面(標準橋軸方向長さ2.5m)とし、箱桁をそれぞれ個別に製作する。

② セグメントの橋軸直角方向の接合は、断面力が比較的小さいことおよび施工性からRC床版で接合する。

(2) 施工方法

① 既存のPC工場を利用したショートラインマッチキャスト方式によるプレキャストセグメント工法

② スパンバイスパン工法

③ セグメント橋軸直角方向のプレストレスの導入は、セグメント製作箇所におけるプレテンション工法

④ セグメントの橋軸直角方向の接合は、ダブルループ継手による場所打ち工法(幅50cm)

⑤ セグメントの橋軸方向の接合は、柱頭部セグメントと径間部のセグメントにおいて場所打ち目地、径間部セグメント相互はエポキシ樹脂目地

⑥ 主桁への橋軸方向のプレストレスの導入は、全外ケーブル構造

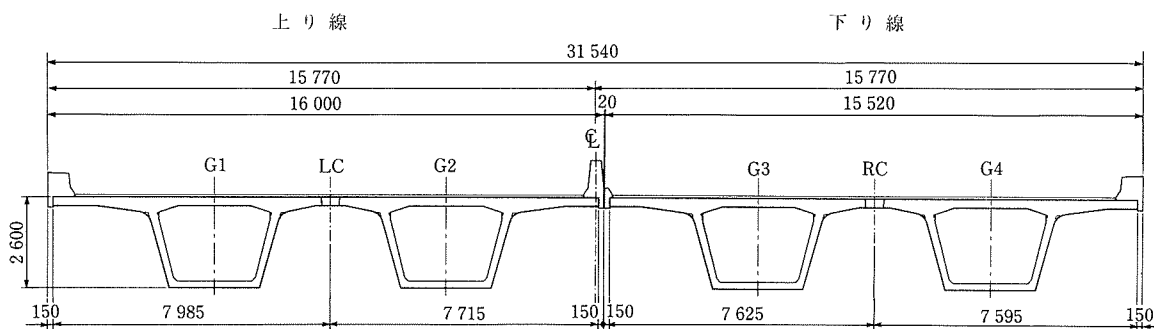


図-1 上和会高架橋標準横断面図

*1 Hideaki SAKAI: 日本道路公団 中部支社 豊田工事事務所

*2 Taisuke UESUGI: 八千代エンジニアリング(株) 技術本部

(3) 材 料

- ① 軽量化を目的とした高強度コンクリート (60 N/mm²)
- ② 維持管理を考慮した外ケーブルの防錆 (エポキシ樹脂塗装 PC ストランド)
- ③ セグメント橋軸方向場所打ち目地に繊維補強コンクリート, 直角方向 RC 床版接合部コンクリートに膨張 + 繊維補強コンクリートを使用

3. セグメント製作の品質管理の課題

工場製作プレキャストセグメント工法におけるセグメント製作の品質管理上の課題は、以下のとおりである。

(1) コンクリートの品質

- ① レディーミクストコンクリートの製造設備が、PCプレキャスト工場間で大きな差異があるとともに、品質管理体制が高強度コンクリートを取り扱うことに十分に適合していないケースがある。
- ② 監督員等が工場に常駐することが困難であるため、フレッシュコンクリートの試験が適切に行われているか確認することが困難である。

(2) 鉄筋の組立て

- ① 標準的なセグメントは、一般に1つの製作台で毎日1個製作されるので、鉄筋の組立て精度の確認を毎日行う必要があるが、監督員等が常駐し検査を行うことが困難である。
- ② 耐久性に大きな影響を与える鉄筋のかぶりは、ウェブなどの狭隘な箇所において、目視により確認することが困難である。

(3) セグメントの形状

- ① ショートラインマッチキャスト工法は、図-2に示すように、先行製作したセグメントの端面を型枠として、1個ずつ新セグメントを製作する工法である。このため、セグメントの形状を計測し、形状管理を適切に行うとともに、許容以上の誤差が発生した場合は、速やかに製作形状に反映させる必要がある。

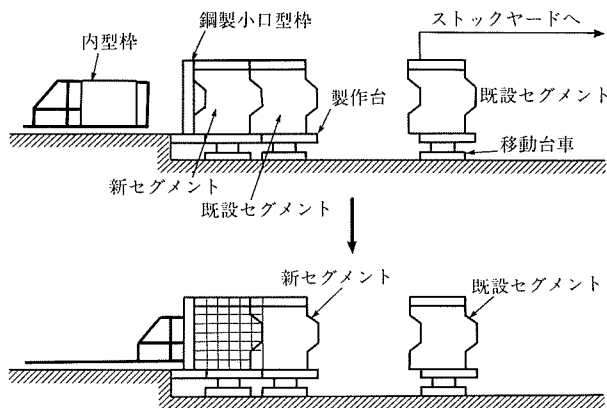


図-2 セグメントの製作方法

- ② セグメントストック時の変形の有無および程度を計測し、架設形状のシミュレーションを行うとともに、セグメント再接合時の安全性などの検討を行う必要がある。

- ③ セグメント形状の測定は、一般に測量機器で行っているが、人為的ミスが発生する恐れがあるとともに、計測に多大の人員と時間を必要とする。

4. セグメント製作の品質管理方法

本橋における工場製作プレキャストセグメントについては、前述の課題を解決するため、「PC箱桁橋プレキャストセグメント(工場製作) 施工管理要領(案)」(以下、「施工管理要領」という)により品質管理を行っている。

本施工管理要領における品質管理の概略の手順は、図-3に示すとおりである。本施工管理要領の重要な点および特徴的な点について以下に述べる。

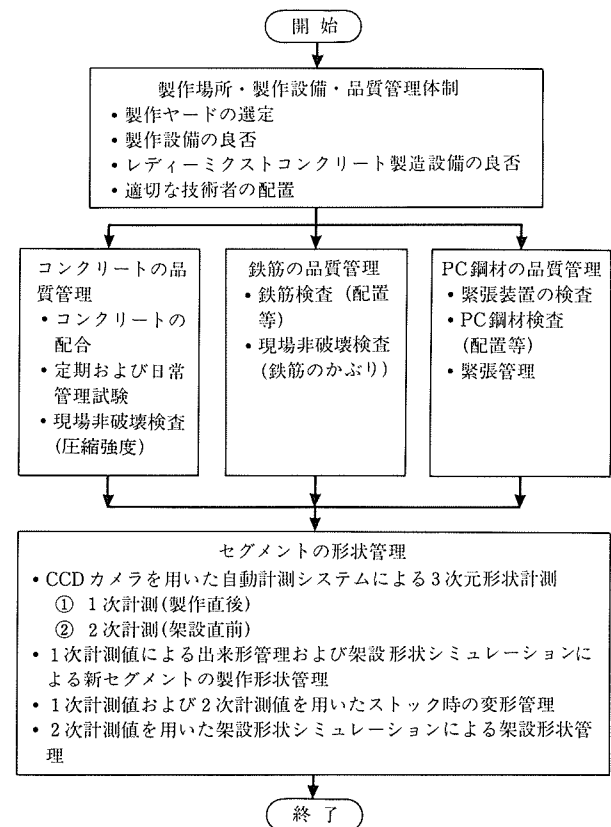


図-3 工場製作プレキャストセグメントの品質管理概略手順

4.1 製作場所・製作設備・品質管理体制

セグメントの製作場所、製作設備および品質管理体制は、ショートラインマッチキャスト方式によること、高強度コンクリートを用いること、床版の横締めはプレテンション方式によることなどから下記のとおりとする。

(1) 製作場所

- ① JIS A 5373 の許可工場か、またはこれと同等の製作能力および品質管理が可能な場所であること。
- ② 製作ヤードから架設地点までのセグメントの運搬が、最大重量30tまで可能であること。
- ③ 施工規模および工事工程に適合したストックヤードの確保が可能であること。

(2) 製作設備

- ① 高品質の高強度コンクリートの供給が可能なコンク

能となっている)。

4.4 PC鋼材の品質管理

PC鋼材の品質管理についても、ある程度は工場の自主管理に委ねざるを得ないものの、PC鋼材に規定の緊張力が導入されているか確認することが重要であるため、図-6に示す手順で、プレテンション方式のPC鋼材の品質管理を行うこととしている。PC鋼材の品質管理における特徴的な点を以下に示す。

- ① PC鋼材の緊張結果は、自記記録によるものとする。
- ② 自記記録による緊張管理結果および緊張管理図は、緊張日の翌日までに、監督員へ電子メールなどで報告するものとする。

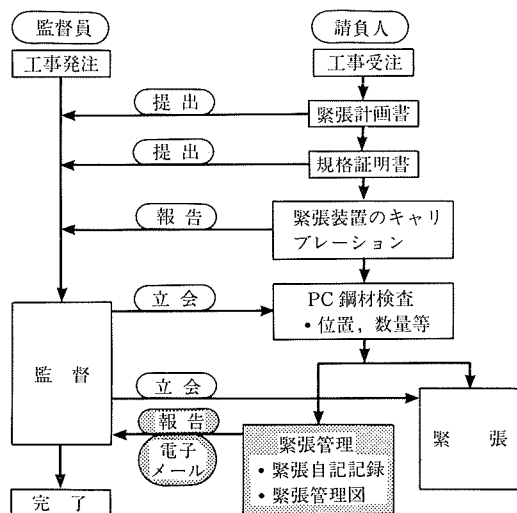


図-6 PC鋼材(プレテンション方式)の品質管理手順

4.5 セグメントの形状管理

ショートラインマッチキャスト工法でセグメントを製作する場合は、セグメントの端面を次のセグメントの型枠として用いるため、各セグメントの施工誤差が累積するので、セグメント各部材の位置の誤差をなるべく少なくする必要があります。また、セグメント相互の相対誤差が大きいと、リマッチング時にセグメントに有害なひび割れを発生する恐れがある。

しかし、セグメントは、若材齢時にプレストレスの導入および型枠の脱型などを行うため、セグメントの製作直後以降に弾性変形、クリープ、乾燥収縮等により変形する。ストックの方法によっては、不等沈下等により変形を生じる可能性もある。したがって、セグメントの製作直後とストックヤードから架設箇所へ搬入する直前にセグメントの形状を計測し、有害な変形を生じていないか確認するとともに、架設形状の管理に使用する必要がある。

セグメント形状の計測は、測量機器で行うのが一般的であるが、本施工管理要領においては、CCDカメラを使用した自動計測システムによる3次元形状計測を行うこととしている。この計測システムは、鋼橋の形状管理に用いられているシステムをプレキャストセグメント工法用に改良したもので、高性能のCCDカメラを用いることにより、計測

誤差を±1.5mm以内(標準偏差)とすることができる。本計測システムの概要を以下に述べる。

(1) 計測原理

セグメントの3次元形状計測では、写真測量の原理を使って、図-7に示すように、セグメントに取り付けたターゲットを、位置が既知の2台のCCDカメラで計測する。この写真測量の原理は、三角測量をカメラで行うための原理であり、図-8に示すターゲット中心の座標(X, Y, Z)は、次式で求められる。

$$X = B \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta / \sin(\alpha + \beta)$$

$$Y = B \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta / \sin(\alpha + \beta)$$

$$Z = B \cdot \tan \gamma \cdot \sin \beta / \sin(\alpha + \beta)$$

また部材厚も、図-9に示すように、CCDカメラによる

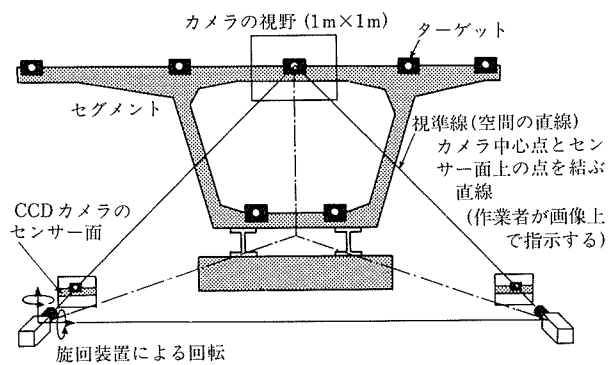


図-7 CCDカメラによる3次元形状計測

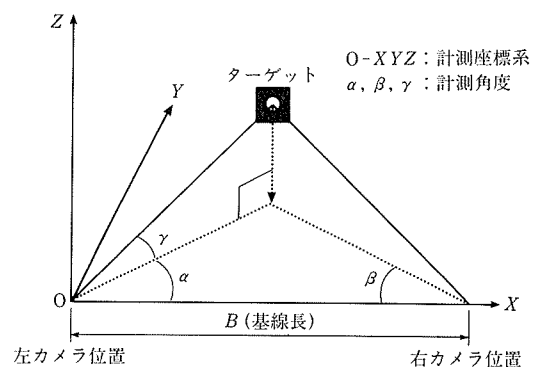


図-8 CCDカメラによる位置計測原理

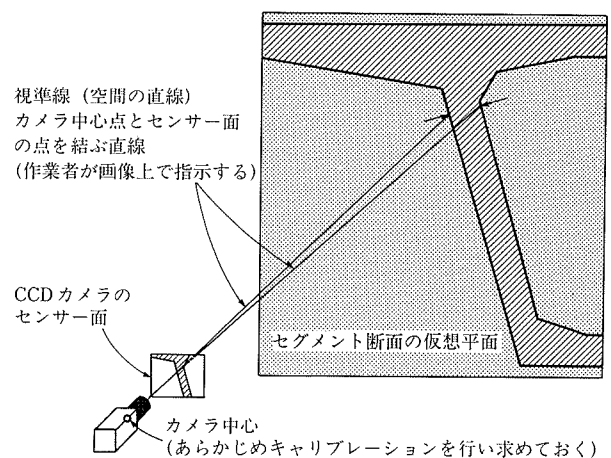


図-9 CCDカメラによる部材厚の計測方法

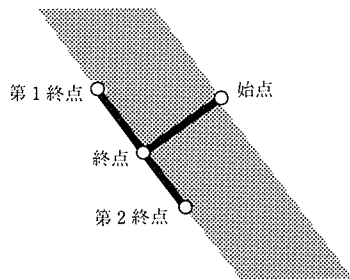


図-10 CCDカメラによる部材厚の求め方

3次元形状計測の計測値から求めたセグメント断面の仮想平面とカメラの視準線が交わる点から求める。部材厚は、仮想平面上の始点と終点の2点間距離になる。実際の計測では、部材厚が斜めになった部分を計測するために、終点の位置を図-10に示すように、第1終点と第2終点を結ぶ線と始点が最も近くなる点としている。

(2) 形状管理の手順

本計測システムにおけるセグメントの形状管理の手順を図-11に示す。本計測システムでは、1次計測（製作直後の3次元形状計測）および2次計測（架設直前の3次元形状計測）を行うが、これらの値を用いて以下に示す形状管理を行うことができる。

- ① 1次計測値による出来形管理および架設形状シミュレーションによる新セグメントの製作形状補正の必要性の有無および程度を検討
- ② 1次計測値および2次計測値を用いたストック時の変形管理
- ③ 2次計測値を用いた架設形状シミュレーションによる架設形状管理

(3) 計測機材の配置

セグメントの3次元形状計測は、あらかじめターゲットを設置したセグメントの橋軸方向の両端面について、図-12に示すように、各端面をそれぞれ2台のCCDカメラを使用して行う。また、セグメント前面には4隅に位置が既知の不動点を設置して計測を行う。ターゲットは、黒色の平面版に白色の円パターンを描いたもので、CCDカメラの映像データから、中心位置の座標を算定することによりその位置が決定される。

(4) 計測作業

計測作業は、基本的にWindows対応のアプリケーションソフトが組み込まれたパソコンを操作することにより行う。したがって計測は、空調設備が整った室内で行うことになるため、計測環境が大幅に改善される。計測作業の手順を以下に述べる。

1) セグメントの3次元形状計測

- ① 計測者が、パソコンのディスプレイに表示された計測場所を選択する。
- ② CCDカメラが、自動的に旋回し、当該場所の測点が自動撮影される。
- ③ 撮影された画像は、小型モニターに映し出されるので、計測者はそのターゲット（円パターン）の中心付近をマウスでクリックする。

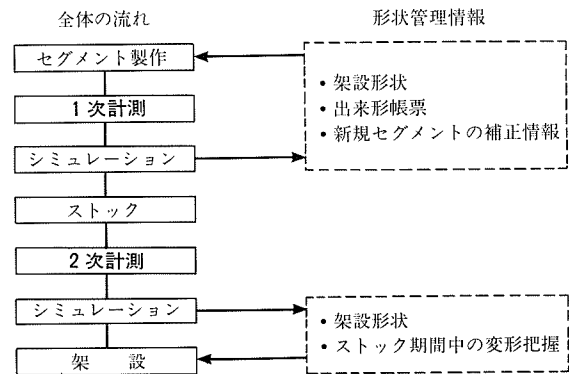


図-11 自動計測システムによるセグメント形状管理の手順

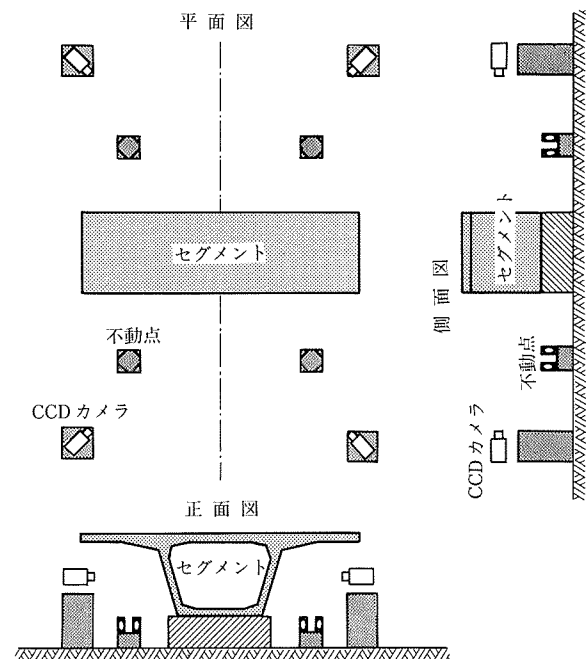


図-12 CCDカメラによるセグメント形状の自動計測

- ④ ターゲット中心座標が自動的に計算されるので、同様な作業をターゲットの数だけ繰返し行う。

2) 部材厚の計測

- ① 計測者が、パソコンのディスプレイに表示された計測場所を選択する。
- ② 計測部分に最も近いカメラの映像が小型モニター画面に出力されるので、その画面上で計測部位の始点あるいは終点の位置をマウスで指示する。
- ③ 部材厚が自動的に計算されるので、同様な作業を測定したい部材厚の数だけ繰返し行う。

3) 出来形調書の作成

3次元形状計測結果および部材厚の計測結果から、パソコンで、自動的にセグメント幅、長さ、高さ、部材厚などが記載された出来形調書を作成することができる。

(5) 架設形状シミュレーション

架設形状シミュレーションは、1次計測結果（製作直後の3次元形状計測）および2次計測結果（架設直前の3次元形状計測）について行う。

シミュレーションにあたっては、前述の3次元形状計測

結果から、接合されるセグメント相互のマッチキャスト面の4点が共通であるという条件により、パソコンで1径間分のセグメントを順番に接合させて算定する。

シミュレーション結果は、各セグメントが製作されるたびに出力できる。1次計測結果から、セグメント架設先端部の形状誤差を逐次把握し、新セグメント製作形状補正の必要性の有無および程度を検討することができる。また、2次計測結果から、1径間分の架設形状のシミュレーションを行い、架設形状管理および架設時の補正を行うことができる。

5. あとがき

本橋のように、現場製作ヤード以外でプレキャストセグメントを製作する場合は、監督員が鉄筋および型枠などの検査を全数実施することが困難であること。また、ショートラインマッチキャスト方式で製作される場合は、通常の場所打ち工法と比較して、高度の品質管理および形状管理が必要なことから、本文で述べた品質管理方法の検討を行ったものである。

本文に示された方法は、従来のPCプレキャスト製品の品質管理方法と比べて、製造業者にとって厳しい内容となっていると思われる。しかし、昨今のコンクリート構造物の耐久性・品質管理などに関する大きな課題や当該構造物の

重要性・施工の困難さを考慮すれば、必要不可欠なものであると考えている。

また、今までのプレキャストセグメント工法に関する報告は、計画や設計施工などの話題が多く見受けられた。プレキャストセグメント工法によるPC橋が、将来ますます発展するためには、適切な品質管理方法の確立が望まれるので、品質管理に関する議論も大いに必要となってくると考えられる。本文に示した非破壊検査の義務化や自動計測によるセグメントの3次元形状管理が、適切な品質管理方法の確立の一助となれば幸いである。

最後に、本橋の設計および施工に関する諸課題の検討にあたり、「都市内PC高架橋のプレキャスト化に関する技術検討委員会（委員長：池田尚治 横浜国立大学 教授）」の委員の皆さまに多大のご指導、ご助言をいただいたことに感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 日本道路公団：コンクリート施工管理要領，1999.7
- 2) 日本道路公団：構造物施工管理要領，1999.7
- 3) 鈴木，酒井，上杉：工場製作プレキャストセグメント工法によるPC連続箱桁橋の計画と設計，橋梁と基礎，Vol.35，No.4，pp.15～21，2001
- 4) プレストレストコンクリート技術協会：外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準(案)，1996.3

【2001年4月26日受付】