

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

— 第二東名高速道路 上和会高架橋 —

日本道路公団 中部支社 豊田工事事務所 正会員 酒井 秀昭
八千代エンジニアリング株式会社 技術本部 ○ 正会員 上杉 泰右

1. はじめに

上和会高架橋は、現東名高速道路と第二東名高速道路とが交差する豊田JCT(仮称)から名古屋方面に約2km、愛知県豊田市和会町に位置する橋梁である。架設地点は比較的平坦な住宅地域となっており、地元住民からは騒音・振動等の少ない橋梁建設が要望されている。また、下部工を含めた工事期間が約2年半余りの短期間での施工を余儀なくされている。

このような背景のもと、環境保全、耐久性向上、工期短縮、工事費削減、省力化を目的とした工場製作プレキャストセグメント工法によるPC連続箱桁橋を採用している。重信高架橋・弥富高架橋を始め、近年プレキャストセグメント工法を採用した橋梁建設が多くなってきている。しかしながら、そのほとんどは架設地点近傍に大きな現場製作ヤードを確保し、架設を行っているのが現状である。本稿は、大きな現場製作ヤードの確保が困難である都市部においてプレキャストセグメント工法を採用したPC連続箱桁橋の計画、設計ならびに品質管理手法について報告を行うものである。

2. 計画概要

(1) 橋梁概要

本橋の橋梁概要を以下に示す。また、断面図を図-1に示す。

路線名 : 高速自動車国道第二東海自動車道 横浜名古屋線 (第1種第2級)
構造形式 : PC17径間連続箱桁橋
橋長 : 631.0m
支間 : 10×35.80m+7×39.00m
幅員 : 全幅 15.5×2 (上り線3車線、下り線3車線)

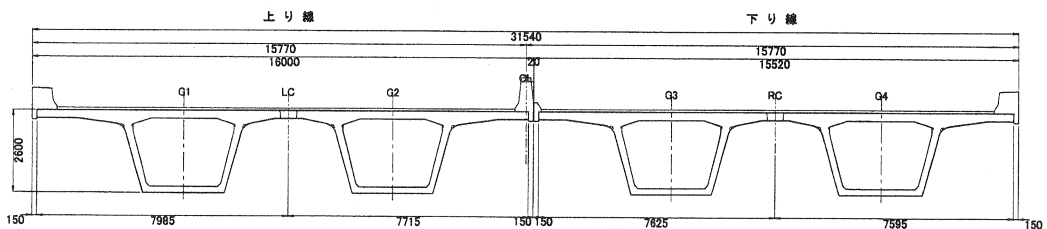


図-1 上和会高架橋断面図

(2) 上部工形式

1) 形式選定の課題

上部工形式選定にあたっての課題を以下に示す。

- ①上下部工施工期間を2年半以内とするために、大幅な工期短縮が可能な工法とする必要がある。
- ②交差条件から最大径間長が30m以上となるため、当該径間長が可能な形式とする必要がある。
- ③用地買収状況から本橋中間付近の橋脚施工が遅延する可能性が高く、連続施工が前提の架設工法の採

用が困難である。

- ④住居と近接しており地元住民より騒音低減を目的とした橋梁連続化による伸縮装置減少およびコンクリート橋採用を強く要求されている。
- ⑤工事費削減が可能な形式とする必要がある。

2) 形式の比較

上部工構造形式は、『工場製作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によるPC17 径間連続箱桁橋』を採用することとした。採用理由を以下に示す。

- ①現場以外のPC 工場でセグメントを製作するため、現場工期を大幅に短縮することが可能である。
- ②セグメント重量を公道運搬可能な30 t以下としても、径間長40 m程度まで適用可能である。
- ③大型架設機材によらず既存架設機材により施工するため、連続施工が出来なくとも経済的である。
- ④鋼少数鉄桁橋と比較し、同程度の工期で経済的な施工が可能となる。
- ⑤PRC 2主版桁橋と比較し、工期の大幅短縮が可能でかつ経済的な施工が可能である。

(3) 上部工の設計施工上の課題

工場製作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を採用した場合の上部工設計施工上の課題を以下に示す。

- ①セグメントの軽量化
- ②耐久性の確保
- ③架設工期の短縮および架設費削減

(4) 上部工の基本計画

上部工の基本計画は以下の通りである。

- ①施 工
 - ・既存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
 - ・既存架設桁を利用したスパン・バイ・スパン工法 (サポートタイプ)
- ②構 造
 - ・セグメント橋軸直角方向のプレストレス導入は、セグメント製作箇所でのプレテンション工法
 - ・セグメント橋軸直角方向の接合は、ダブルループ継手によるRC 床版場所打ち工法
 - ・セグメント橋軸方向のプレストレス導入は、全外ケーブル構造
 - ・セグメント橋軸方向の接合は、柱頭部セグメントと径間部セグメントは場所打ちコンクリート目地、径間部セグメント相互はエポキシ樹脂目地
- ③材 料
 - ・軽量化を目的とした高強度コンクリート (60N/mm²)
 - ・耐久性、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)
 - ・耐久性を目的としたセグメント橋軸方向場所打ち目地への繊維補強コンクリート、橋軸直角方向RC 床版接合部への膨張コンクリート+繊維補強コンクリート

3. 設計概要

(1) 設計方針

本橋の設計に当たり、特筆すべき点を以下に示す。

- ①設計は、限界状態設計法 (使用限界状態、終局限界状態、疲労限界状態に区分) による。
- ②定着部、偏向部の設計は、ソリッド要素3次元FEM解析による。また、実物大模型の載荷試験により定着部・偏向部の安全性の確認を行う。
- ③セグメント橋軸直角方向床版接合部は『ダブルループ継手』により接合する。

(2) 床版接合部の設計

1) 床版接合部の課題

本橋では、プレキャスト箱桁断面間の床版を橋軸直角方向に接合する必要がある。接合部床版は、橋軸方向と直角方向の2方向をマッチキャスト方式とすることが不可能であるため、場所打ちRC構造で計画している。床版接合部の課題は以下の通りである。

- ①工場製作プレキャストセグメント工法の利点を最大限に生かすため、場所打ち接合部を極力狭くする必要がある。
- ②一般的に、鉄筋継手は重ね継手を用いる事が多いが、本橋では、製作上の施工誤差等によりプレキャスト部材相互から突出している鉄筋を重ね継手とすることは困難である。
- ③場所打ちコンクリートを後打ち施工とするため、乾燥収縮等によりセグメントとの接合部にひび割れが発生する可能性がある。耐久性を向上するため、初期ひび割れを極力抑制し長期の耐久性を確保する必要がある。
- ④自動車荷重による疲労に対する安全性を確認する必要がある。

2) 対応策

本橋では、これらの課題を解決する目的で、以下の対策を行っている。

- ①床版接合部の鉄筋継手を図-2に示すダブルループ継手とする。
- ②接合部に打設するコンクリートを繊維補強コンクリート+膨張コンクリートとする。
- ③自動車荷重による疲労に対する安全性の確認を行う。

上記対応策については、以下に示す技術試験により施工性、安全性の確認を行っている。

- ①ダブルループ継手を有するコンクリート梁の曲げ挙動確認試験
- ②繊維補強コンクリート梁の曲げ挙動確認試験
- ③繊維補強コンクリート施工性確認試験
- ④輪荷重移動載荷疲労試験

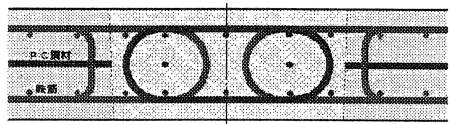


図-2 床版接合部 (ダブルループ継手)

4. セグメント製作の品質管理

(1) 課題

工場製作プレキャストセグメント工法によるセグメントの製作は、通常のPCプレキャスト工場で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。また、現場から離れた既存のPCプレキャスト工場で作成されることから、監督員が常駐し立会検査を実施することが困難である。プレキャストセグメントを工場で作成する上で解決しなければならない品質管理上の課題を以下に示す。

- ①JH『コンクリート施工管理要領』に規定されているフレッシュコンクリートの試験、硬化コンクリートの試験並びに鉄筋の検査に常時立会することが出来ない。
- ②JH『構造物施工管理要領』に規定されているPC鋼材の検査に常時立会することが出来ない。

(2) 品質管理方法

1) コンクリート、鉄筋の品質管理方法

本橋においては、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)』を作成し品質管理を行っている。基本的にはJH『コンクリート施工管理要領』に基づき、製作工場の自主管理に委ね品質管理を行うこととしている。特徴的な点を以下に示す。

- ①セグメント架設前に架設現場において、非破壊検査法 (シュミットハンマー法) によりコンクリートの圧縮強度の確認を行う。
- ②セグメント架設前に架設現場において、非破壊検査法 (電磁誘導法) により耐久性上重要となる鉄筋かぶりの確認を行う。

2) PC 鋼材の品質管理方法

PC鋼材についても製作工場の自主管理が原則となる。特徴的な点を以下に示す。

- ①プレテンション方式の緊張結果は自記記録によるものとし、パーソナルコンピューターにより出力された緊張管理図を、監督員に緊張翌日までに電子メール等により報告する。

5. セグメント製作の形状管理

(1) 課題

ショートラインマッチキャスト工法によるセグメント製作は、製作ヤード縮小や工事費削減等数多くの利点がある。一方、既設セグメント端面を次のセグメントの型枠として使用するため、ロングライン方式に比べ製作誤差の蓄積が起りやすく、高度な製作精度が要求される。また、セグメントは若材令時に脱型やプレストレス 導入を行うため、プレストレス導入に伴う弾性変形や製作以降のクリープ、乾燥収縮等により変形する。ストック時においても不等沈下等不測の変形が生ずる可能性もある。このように、ショートラインマッチキャスト工法を採用した場合、セグメントの形状を如何に簡便で精度良く計測するかが重要な課題となる。

(2) 形状管理方法

1) 形状管理システム

セグメント形状の計測は、測量機器を使用して行われるのが一般的である。本橋においては、第二名神高速道路木曾川橋及び揖斐川橋で実績のある CCD カメラを使用した 3 次元自動計測システムにより形状計測を行うこととした。このシステムは、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あり、高性能 CCD カメラを使用することにより、計測誤差を±1.5mm以内(標準偏差)とすることができるものである。システムの特徴を以下に示す。

- ①人為的誤差やミスが少ない計測が可能である。
- ②計測時間が短縮される。
- ③セグメントの3次元形状と部材厚が同時に計測できるため、出来形調書の自動出力が可能である。

2) 計測原理

セグメントの3次元自動計測は、三角測量をカメラで行う写真測量の原理を用い、セグメントに取り付けたターゲットを2台の CCDカメラで計測するものである。ターゲットを用いた計測方法を図-3に示す。

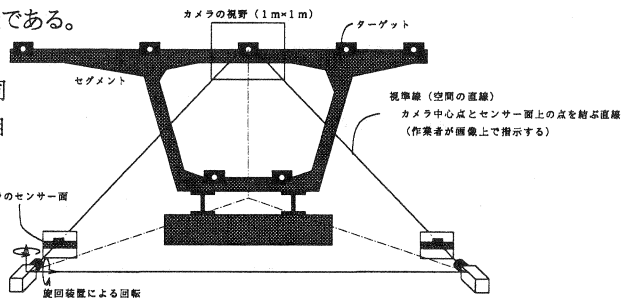


図-3 ターゲットを用いた計測方法

また、部材厚は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に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。実際の計測ルーチンでは、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。CCDカメラによる部材厚計測方法を図-4に示す。

3) 形状管理手順

本システムによるセグメントの形状管理手順を図-5に示す。1次計測(製作直後の3次元計測)および2次計測(出荷直前の3次元計測)の2度の計測により、以下に示す形状管理を行うことが出来る。

- ①1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規セグメント補正情報
- ②1次計測値並びに2次計測値を用いたストック時の変形管理
- ③2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

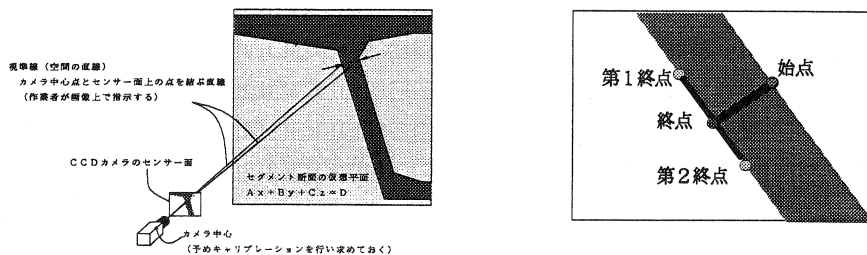


図-4 CCDカメラによる部材厚計測方法

4) 計測機材の配置

計測機材の配置を図-6に示す。CCDカメラおよび不動点はセグメントの4隅に配置し、セグメントを立体的に三次元計測する。

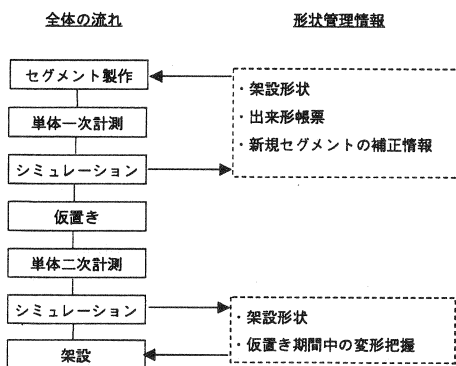


図-5 CCDカメラによる計測管理手順

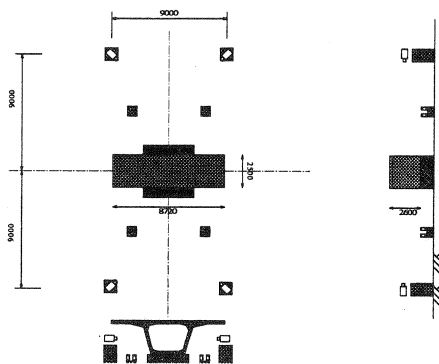


図-6 計測機材の配置

5) 計測作業

計測作業は、基本的にはWindows対応のアプリケーションソフトが組込まれたパーソナルコンピュータを操作することにより行う。従って、計測は空調設備が整った室内で行うことになるため、従来の現場での計測作業に比べ、計測環境が大幅に改善される。計測作業の手順を以下に示す。

a) セグメントの3次元形状計測

- ①計測者が、パーソナルコンピュータのディスプレイ上に表示された計測場所を選択する。
- ②CCDカメラが自動的に旋回し、当該箇所側の点が自動撮影される。
- ③撮影された画像が小型モニターに映し出されるため、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指示する。
- ④ターゲット中心座標が自動計算される。
- ⑤計測者は、上記作業をターゲットの数だけ繰り返す。

b) 部材厚の計測

- ①計測者が、パーソナルコンピュータのディスプレイ上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CCDカメラが自動的に旋回し、当該箇所が自動撮影される。
- ②撮影された画像が小型モニターに映し出されるため、計測者は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部材厚が自動計算される。
- ④計測者は、上記作業を計測する部材数だけ繰り返す。

6) 計測結果

a) 出来形調書

3次元形状計測および部材厚の計測結果から得られたデータをパーソナルコンピュータで自動処理することにより、セグメント幅、長さ、高さ、各部材厚等が記載された出来形調書を出力することが出来る。従来の測量作業による出来形調書作成に比べ、人為的なミスが少なくなるばかりでなく、短時間で同等以上の精度の確保が可能である。

b) 架設形状シミュレーション

セグメント架設形状のシミュレーションは、セグメント製作直後の1次計測結果およびセグメント架設直前の2次計測結果について行う。シミュレーションは、マッチキャスト面の上床版張出し先端部2点および下床版2点の計4点が共通であるという条件により、隣接したセグメント同士を架設順序に従って順次接合することによって行う。

シミュレーション結果は、各セグメントの計測が終了するごとに出力することが出来る。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や補正程度を把握することが出来る。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出来る。

6. おわりに

我が国の狭隘な国土事情を考えると、架設地点に十分な製作ヤードを確保できる箇所は少なく、従来から採用されてきた現場製作のプレキャストセグメント工法を採用する機会は少なくなって行くものと思われる。本橋は、既存PC工場を有効利用した工場製作のプレキャストセグメント工法である。本橋の提案により、製作ヤードが確保出来ない都市部においてもプレキャストセグメント工法が採用できるようになったのではないかと考えられる。

また、昨今コンクリート構造物の耐久性・品質管理が大きな話題となっているが、監督員が鉄筋、型枠などの検査を全数実施することが困難である場合においても、本橋のような品質管理方法を取ることにより、高品質なセグメントの製作が可能であると思われる。本稿が、今まで適用が困難であると考えられていた市街地等へのプレキャストセグメント工法採用の一助となれば幸いである。

最後に、本橋の設計・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)』の委員の皆様にご多大のご指導、ご助言をいただきありがとうございますことに感謝いたします。

【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) (社)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
- 4) 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
- 5) 酒井、上杉：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、プレストレストコンクリート、Vol.43、NO.3、pp.62~67、2001