

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方法に関する研究

中日本高速道路(株) 正会員 博士(工学) ○酒井 秀昭

1. はじめに

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(Precast Segmental Construction)は、現場ヤードまたはPCプレキャスト工場等でセグメントの製作を行うため、従来の場所打ち工法と比較して良好な環境下で適切な品質管理が可能となる。一方では、分割して製作したセグメントを架橋地点で一体化するため、適切なセグメントの形状管理を行う必要がある。しかし、従来までのセグメント製作の品質管理は、場所打ち工法で実施されている品質管理システムを適用しており、本工法の特性を十分に反映した品質管理システムとはなっていないのが現状である。このため本研究においては、合理的なセグメント製作の品質管理システムを開発することを目的に、実橋での施工結果や試験施工結果および既存の場所打ち工法の品質管理方法を参考に、PC箱桁橋におけるセグメント製作の品質管理方法の検討を行った。

2. セグメント製作の課題

本工法の施工実績等¹⁾から、セグメント製作の品質管理について、従来の場所打ち工法による施工と比較して、検討を要する課題を列举すると以下のとおりである。

- 1). セグメントの製作が適切に行えるように、製作場所の選定、製作設備の構築、品質管理体制(技術者の配置)の構築を行う必要がある。
- 2). 場所打ち工法で使用されるコンクリート強度(36~40N/mm²)と比較して高強度のコンクリート(実績では50~60N/mm²)を使用するため、適切なコンクリートの品質管理が必要となる。
- 3). 先行して製作したセグメントの端面を型枠として新セグメントを製作する方式であるので、各セグメントの施工誤差が累積するため、適切な形状管理を行う必要がある。
- 4). 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、作業時間が長く掛かりコストも増大すること、ヒューマンエラーが発生するおそれがあること、架設形状管理のためのシミュレーションを行うシステムなどへのデータの提供が円滑に行われにくいことなどの課題がある。
- 5). 既存の場所打ち工法の品質管理方法は、完成体での検査が困難であることなどから、主として施工の各プロセスを検査することが主体となっている。しかし、セグメントについては、プレキャスト部材として完成体での検査が比較的容易なこと、不具合が発生した場合の取り替えや補修が容易なことから、完成体での確認検査を行うことにより適切な品質管理を行う必要がある。

3. 品質管理の定義

品質管理は、買い手の要求に合った品質の品物またはサービスを経済的に作り出すための手段の体系と定義される²⁾。品質管理そのものは米国で生まれた手法であるが、わが国において、全社の品質管理(Total Quality Control ; TQC)として発展してきた。

コンクリート構造物においては、一般に図-1に示すように、設計作業、施工計画、製作用業、施工作业、維持管理の順に作業が進められる³⁾。本文で論ずるセグメント製作における品質管理とは、要求性能を満足するように設計を行い施工計画を立案したPC橋を、設計作業で設定されたすべての照査を満足するように、製作用業を実施するための手法と定義する。

品質管理においては、品質方針に基づいた品質管理計画、品質管理の実践、品質保証、品質改善といったステップがあり、サイクルとして運用する必要がある²⁾。

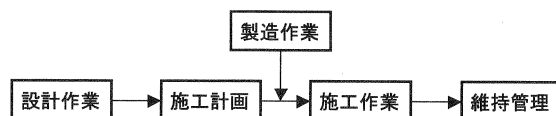


図-1 コンクリート構造物の建設作業の流れ

4. セグメント製作の品質管理

4. 1 品質管理の手順

セグメント製作の品質管理は、製作過程の各段階において、それぞれの品質を確認することにより行うものであり、品質管理計画、使用材料の製造時・施工時の品質管理の実践および品質保証のための検査、完成したセグメントの品質保証のための検査に大別される。品質保証のための検査において品質不良が確認された場合は、必要に応じて材料の交換・安全性の確認のための検討および再施工等の処置を講じるとともに、品質管理計画や品質管理実践方法の修正等の検討を行う必要がある。

本研究においては、前述の課題を解決し、合理的なセグメントの品質管理方法を確立することを目的に、筆者が設計や施工を担当した表-1に示す橋梁や過去の設計施工事例^{1), 6)}をもとに、既存の場所打ち工法の品質管理方法^{3), 4), 5)}を参考として検討を行った。

セグメント製作の品質管理については、以下に述べる6項目に大別した。セグメント製作の品質管理の概略手順を図-2に示す。

(1) 品質管理計画

セグメントの製作場所・製作設備・品質管理体制(適切な技術者の配置)・品質管理方法・品質管理基準などの品質管理計画に関する検討

(2) コンクリートの品質管理

コンクリートを製造する工場の設備や製造から現場施工までの各プロセスにおける品質管理

(3) 鉄筋の品質管理

鉄筋の材料の品質や加工から組立てまでの各プロセスにおける品質管理

(4) PC鋼材の品質管理

PC鋼材や定着具などの材料の品質および加工から緊張(床版等にポストテンション方式でプレストレスを導入する場合はPCグラウト)までの各プロセスにおける品質管理

(5) セグメントの形状管理

セグメントの製作形状管理と架設形状管理のための製作直後と運搬直前の形状検査および架設形状のシミュレーションによる架設精度管理のための検討

(6) セグメントの製品検査

セグメント架設前の形状寸法や外観性状の検査および鉄筋かぶりとコンクリート強度の非破壊検査などセグメントの製品としての品質管理

4. 2 品質管理計画

品質管理計画は、当該橋梁に使用するセグメントの要求性能に対して設計作業で設定されたすべての照査を満足するように施工するための手段について計画する作業である。その計画にあたっては、設計作業の内容を理解し、どのような手法で適正な品質の構造物を構築するかについて十分に検討を行い、品質管理計画書を作成する必要がある。したがって、品質不良が発生した場合は、必要に応じて品質管理計画書を変更す

表-1 施工事例

橋梁名	橋長 (m)	支間 (m)	標準 幅員 (m)	標準 断面	製作 方式	製作ヤード の面積 (㎡)	標準のセ グメント 分割方法	最大セ グメント 重量 (t)	運搬 距離
弥富 高架橋	1,519	最大 87.5 最小 38.0	15.3	1主 箱桁	現場 製作	80,000	橋軸直角 方向のみ	80.0	隣接
長島 高架橋	1,343	最大 50.0 最小 39.3	15.7	1主 箱桁	現場 製作	75,000	橋軸直角 方向のみ	80.0	隣接
川越 高架橋	1,298	最大 66.5 最小 36.3	15.9	1主 箱桁	現場 製作	41,000	橋軸直角 方向のみ	88.0	隣接
木曾川 橋	1,145	最大 275.0 最小 160.0	33.0	3室 箱桁	現場 製作	80,000	橋軸直角 方向のみ	400.0	15km
上和会 高架橋	631	最大 39.0 最小 36.3	15.7	2主 箱桁	工場 製作	18,000	橋軸+直 角方向	27.0	120km
安城 高架橋	916	最大 45.0 最小 31.5	15.7	2主 箱桁	工場 製作	35,000	橋軸+直 角方向	30.0	140km

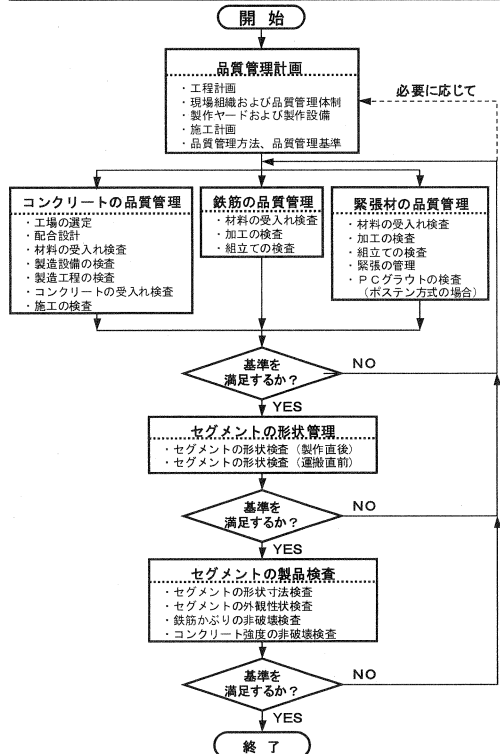


図-2 セグメント製作の品質管理の概略手順

る必要がある。品質管理計画書には、「工程計画」、「現場組織および品質管理体制」、「製作ヤードおよび製作設備」、「基本的な施工計画」、「品質管理方法および品質管理」について記載する必要がある⁴⁾、⁵⁾、⁶⁾。本文においては、これらのうち、セグメント製作の品質管理計画において、その品質確保の点から重要となる品質管理体制、品質管理方法および品質管理基準について詳述する。

(1) 品質管理体制

セグメント製作においては、特に他のコンクリート構造物と比較して、高強度コンクリートを使用すること、高強度の緊張材を使用すること、高精度の形状管理が必要となることなどの技術的な特徴を有している。このため、適切な品質のセグメントを製作するためには、当該橋梁に使用している材料や施工方法等に精通した技術者が品質管理を行う必要がある。

PC橋の施工は、そのほとんどが公共事業として実施されており、請負契約においては、請負人の建設会社としての施工経験は比較的詳細に規定されているが、現場において品質管理を実施する技術者の経験や知識については、詳細には規定されていない。したがって、施工期間中は、当該橋梁の品質管理に精通した技術者を常駐させることを明確に規定し、適切な品質管理を行うことがきわめて重要となると思われる。この技術者の能力を規定する方法としては、経験や能力を厳密に規定する手法も考えられるが、既往の学会等の技術者資格を参考に、以下のとおりの要件とすることが必要と思われる。

- 1). コンクリートの品質管理を実践する責任者は、当該橋梁に使用されるコンクリート強度以上のコンクリートの品質管理を行った経験があり、コンクリートの品質管理に関してコンクリート主任技士の資格を有するか同等以上の能力を有する技術者であること。(コンクリート専門技術者)
- 2). セグメント製作の品質管理を実践する責任者は、PC技士の資格を有するか同等以上の資格を有するとともに、プレキャストセグメント工法におけるセグメントの製作に関する十分な知識を有する技術者であること。(セグメント製作専任技術者)

(2) 品質管理方法および品質管理基準

PC橋の品質管理方法および品質管理基準については、公共事業の事業者が自ら定めた規準^{例えば4)}、⁵⁾によるか既往の学会等の規準^{例えば3)}によって実施しているケースがほとんどであり、請負契約関係書類において、適用規準等が明記されている。これらのケースに用いられる既往の規準等は、通常の施工方法や一般的な材料を用いた場合の標準的な手法が記載されているので、品質管理計画にあたっては、当該橋梁にそのまま適用することが可能かどうか検討する必要がある。検討の結果、そのまま適用した場合に、設計作業で設定されたすべての照査を満足することが困難な場合は、適切な手法に修正する必要がある。

標準的なセグメント製作の品質管理方法および品質管理基準については、本文で後述する。実構造物のセグメント製作の品質管理においては、本文で示す方法がそのまま適用できるかどうかについて検討を行い、適切な品質管理計画を立案する必要がある。

4. 3 コンクリートの品質管理

コンクリートの品質管理の概略手順を図-3に示す。コンクリートの品質管理にあたっては、木曾川橋および上和会高架橋のセグメントの試験製作結果等から、セグメント製作の特殊性を考慮すれば、コンクリート標準示方書の規定に加えて、以下に述べる点を遵守して実施する必要があることがわかった。

(1) 製造工場の選定および製造設備

セグメントには、高強度のコンクリートを使用するため、コンクリートの製造工場においては、高強度コンクリートの製造が適切に実施できる材料、設備および品質管理体制を有している必要がある。また、使用するコンクリートは、高強度コンクリートとなるため水セメント比が小さいので、

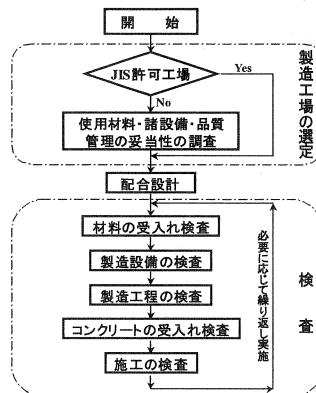


図-3 コンクリートの品質管理の手順

骨材の表面水管理を厳密に行う必要がある。

(2) 配合設計

コンクリートの配合設計にあたっては、特に高強度コンクリートとなることから、製造工場の実績を詳細に検討し配合を決定することが重要となる。一般にPC橋の施工においては、ワーカビリティの確保、強度および材料の分離等を考慮し、目標スランブを8cmとして配合設計を行っている。しかし、セグメントにおいては、そのウェブが狭く傾斜している事例が多いこと、鉄筋等が比較的密に配置されていること等から、ウェブやウェブと下床版との接合部付近などに豆板等の施工不良が発生する可能性がある。

木曾川橋のセグメントの試験製作においては、実物大の部分試験体を用いて目標スランブを変化させてコンクリートの施工性に関する試験を実施した。その結果、目標スランブ15cm未満では、適切な締固めを行っても、豆板等の施工不良が発生することが判明した。このため、目標スランブを18cmとして、セグメントの試験製作を行ったところ、施工不良や材料の分離等の不具合が発生しないことが確認された。したがって、コンクリートの配合設計における目標スランブは、事前に試験施工を行う等により、豆板等の施工不良や材料の分離が発生しないように適切な値とする。

(3) コンクリートの検査

既往のセグメント製作から、高性能AE減水剤を用いた場合は特に夏季に時間経過によるスランブ低下が大きいこと、温度変化がスランブへ与える影響が大きいことがわかった。したがって、コンクリートの受入れ検査においては、適切な頻度でスランブ試験や目視による監視を行う必要がある。

また、セグメントのウェブは、部材厚が狭くきわめて狭隘な箇所となること、高強度コンクリートのためセメント量が多く粘性が高いことから、適切なシュート構造とせずにコンクリートの打込みを行った場合は、材料分離、豆板等の施工不良およびシュート内の閉塞などのおそれがあることが判明した。したがって、コンクリートの施工の検査においては、適切なシュート構造となっているか確認を行うとともに、必要に応じて、試験施工によりシュート構造の妥当性に関して検証する必要がある。

4. 4 鉄筋の品質管理

鉄筋の品質管理の概略手順を図-4に示す。鉄筋の品質管理にあたっては、上和会高架橋のセグメントの試験製作結果等から、セグメント製作の特殊性を考慮すれば、コンクリート標準示方書の規定に加えて、以下に述べる点を遵守して実施する必要があることがわかった。

セグメントの鉄筋は、セグメント製作台に隣接した箇所鉄筋を組立て、クレーンで吊り上げて製作台に設置しており、この鉄筋のかぶりの検査については、型わくの設置後に行っている。試験製作結果から、鉄筋の組立ての検査にあたっては、ウェブの狭隘な箇所については、型わく設置前にスペーサーが適切な間隔で設置されているか、鉄筋の結束等が適切に行われているか等について、十分に検査を行う必要があることがわかった。また、試験結果から、ウェブには、鉄筋組立て時にスペーサーを1m²あたり2箇所以上、上床版および下床版の下面には、1m²あたり4箇所以上配置すること、鉄筋かぶりを適切に確保するためには、鉄筋の結束方法およびスペーサーの配置方法の妥当性を検証するため、あらかじめ試験施工を行うことが必要となる。

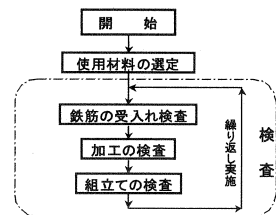


図-4 鉄筋の品質管理手順

4. 5 PC鋼材の品質管理

PC鋼材の品質管理の概略手順を図-5に示す。PC鋼材の品質管理にあたっては、コンクリート標準示方書の規定に準じて行うが、プレテンション方式のプレストレスの導入にあたっては、導入後にプレストレスの導入の程度を確認することが困難であるので、プレストレスの導入量が確認できる自記記録方式を用いることが望ましい。

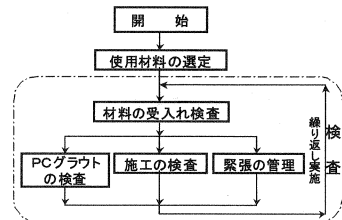


図-5 PC鋼材の品質管理手順

4. 6 セグメントの形状管理

木曾川橋および上和会高架橋のセグメントの試験製作結果等から、セグメントの製作においては、以下に述べる課題を解決するために、適切な形状管理を行う必要があることがわかった。

- 1). セグメント製作では、各セグメントの施工誤差が累積するので、セグメントの製作完了後に速やかに形状の計測を行い、施工誤差が大きい場合はセグメントの形状を調整する必要がある。
- 2). セグメントは、製作直後からクリープ、乾燥収縮等により変形する。さらに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がある。したがって、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、架設形状の管理を行う必要がある。

(1) 形状管理の手順

セグメントの形状管理の手順を図-6に示す。セグメントの形状管理においては、製作直後の3次元形状計測（以下、「1次計測」という。）と架設直前の3次元形状計測（以下、「2次計測」という。）を実施し、以下に示す管理を行う。

- 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製作形状補正の必要性の有無および補正量の検討
- 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次計測値による架設形状シミュレーションによる架設形状管理

(2) 形状計測方法

上和会高架橋や安城高架橋においては、セグメントの形状測定をCCDカメラによる自動計測システムを採用している⁶⁾。この計測システムは、筆者らが開発したものであり⁷⁾、計測誤差を±1.5mm以内（標準偏差）とすることができる。

セグメント形状の測定を、測量機器で行った場合は、ヒューマンエラーが発生するおそれがあるとともに、架設形状管理のためのシミュレーションを行うシステムなどへのデータの提供が円滑に行われにくいという短所を有しているため、このCCDカメラによる自動計測システムを採用することが望ましい。本自動計測システムでは、セグメントの部材厚などの形状寸法計測も行うことができる。

(3) CCDカメラによる自動計測システムの計測原理

自動計測システムは、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とにより、ターゲット中心の座標を求めるものである⁷⁾。ターゲットは、図-8に示すとおりであり、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。実測定においては、セグメントの長さも測定するため、片面2台のカメラで両面から測定している。

(4) セグメントの形状管理基準

セグメント各部材の位置の設計値との誤差とセグメント相互の位置の差について、適切な基準値を設定する必要がある。その値は、構造物の規模や剛性等により個別に設定すべきものであるが、上和会高架橋においては、計測精度も考慮し表-2のとおりとして実施したが、架設形状やひび割れの発生等に関する問題は発生しなかった。

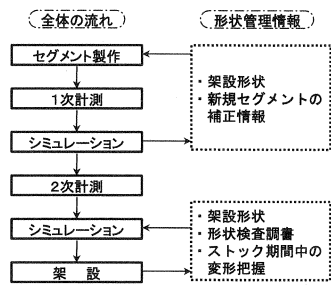


図-6 形状管理の手順

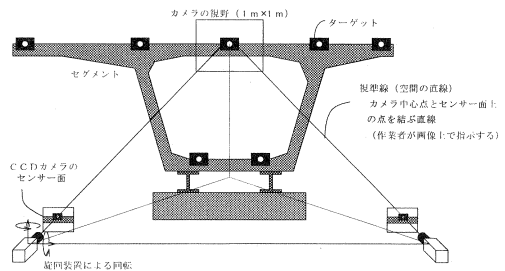


図-7 CCDカメラによる形状計測方法

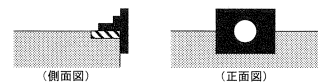


図-8 ターゲット

表-2 形状管理基準値

項目	許容値
上床版先端の位置	±10mm
上床版中間点の位置	±5mm
ウェブ中心上端の位置	±5mm
ウェブ中心下端の位置	±5mm
下床版中間点の位置	±5mm
セグメント相互の位置の差	±3mm

4.7 セグメントの製品検査

既往の施工事例および木曾川橋、上和会高架橋のセグメントの試験製作結果から、施工の各プロセスの検査を実施したとしても、以下に述べる課題が発生することがわかった。

- 1). セグメント製作時に、型枠寸法やコンクリートの打設方法などに関するコンクリートの施工の検査を実施しても、形状寸法が許容値を超えたり、豆板、角落ち、ひび割れ等の損傷が発生する場合がある。
- 2). 鉄筋の組立ての検査および鉄筋かぶりの検査を実施しても、鉄筋かぶりが許容値を超える場合がある。
- 3). コンクリートの強度は、配合ミスやその他の原因による強度低下等のおそれがあることから、可能な限りセグメント全数の強度を確認することが望ましい。

したがって、前述の課題を解決するため、「セグメントの形状寸法検査」、「セグメントの外観性状検査」、「鉄筋かぶりの非破壊検査」、「コンクリート強度の非破壊検査」を行う必要がある。このうち、「鉄筋かぶりの非破壊検査」については、上和会高架橋では作業性および経済性等から電磁誘導法により実施しているが、測定誤差が $-1.5\text{mm}\sim+2.2\text{mm}$ となっており、十分に所定の精度を確保している。

「コンクリート強度の非破壊検査」の方法としては、超音波試験やテストハンマー強度による方法などがあるが、作業性、経済性および上和会高架橋における試験施工結果から、JSCE-G 504「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法」により行えば、コンクリート圧縮強度の確認は可能である。ただし、セグメントは高強度コンクリートを用いているので、検査実施前までに、同一配合のコンクリートで作製した試験体の圧縮強度と反発度との換算式を作成することが望ましい。

5. 結論

本研究で示したセグメント製作の品質管理方法は、試験施工結果や実橋での施工結果等をもとにしたものであり、その具体的な手法については「プレキャストセグメント工法におけるセグメントの品質管理規準」を作成し、セグメント製作時の品質管理規準を文章化している。特に、セグメント製作固有の品質管理となる「セグメントの形状管理」および「セグメントの製品検査」については、第二東名高速道路上和会高架橋および安城高架橋に採用され、セグメント製作における適切な品質管理が実施されており、架設形状も所定の規準を遵守することが可能となっていることから、その実用性についても十分に検証されている。したがって、本研究の成果は、実橋のセグメント製作の品質管理方法として、十分に適用可能である。

6. あとがき

構造物が要求された性能を満足するためには、設計作業で設定されたすべての照査を満足するように製造作業や施工作業を実施することが重要となる。セグメント製作においては、詳細な品質管理規準がなかったが、本研究の成果が品質管理規準の確立への一助となることを期待する。

参 考 文 献

- 1) 酒井ほか: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
- 2) 日本技術士会:技術士制度における総合技術管理部門の技術体系, 2001. 5
- 3) 土木学会:コンクリート標準示方書 [施工編], 2002. 3
- 4) 日本道路公団:構造物施工管理要領, 1999. 7
- 5) 日本道路公団:コンクリート施工管理要領, 1999. 7
- 6) 酒井ほか: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. 5
- 7) 酒井ほか:CCDカメラによるセグメント計測システム, 土木学会論文集, No. 751, IV-62, pp. 1~11, 2004. 1