

工場製作プレキャストセグメント工法による 都市内道路橋の計画方法に関する研究

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) による PC 箱桁橋については、松山自動車道の重信高架橋 (1997 年完成) に初めて本格的に採用されてから、第二名神高速道路弥富高架橋 (1999 年完成) などの高速道路の橋梁に、現場工期の大幅な短縮、品質管理の向上および工事費の削減を目的として採用されてきた。

国内でプレキャストセグメント工法を採用している弥富高架橋などの橋梁は、架設箇所近傍に大きなセグメント製作ヤード (3 ~ 10 万 m²) を構築しセグメントを製作する現場ヤード製作方式が多く用いられている。現場ヤード製作方式においては、当該橋梁の規模に適合したセグメント (重量 40 ~ 100 t) の製作および運搬が可能となるため、一般に図 - 1 に示すように、橋軸直角方向のみに分割してセグメントを製作している。

しかし、都市部などでは、架設場所近傍に大きなセグメント製作ヤードの確保が困難なため、都市内道路橋ではプレキャストセグメント工法の採用が困難な状況になっている。これに対して、第二東名高速道路上和会高架橋などでは、既存の PC プレキャスト工場等で一般公道を運搬できる程度の規模 (重量 30 t 程度以下) に分割したセグメントを製作する工場製作方式を採用することにより、プレキャストセグメント工法の採用を可能としている。この場合は、道路幅員によっては、図 - 2 に示すように、橋軸方向にも

分割してセグメントを製作している。

このような既存の PC プレキャスト工場や架橋地点から離れた箇所でもセグメントを製作するプレキャストセグメント工法 (以下、「工場製作プレキャストセグメント工法 (Plant-Precast Segmental Construction)」という。) においては、欧米と比較してわが国におけるセグメントの運搬の制限が厳しいため、適切な規模にセグメントを分割し、架橋地点において合理的に一体化するため、計画段階において十分な検討が必要となる。また、本工法は、わが国においてもその事例¹⁾が少ないため、その適切な計画方法が明らかにされていないのが現状である。

ショートラインマッチキャスト工法による PC 橋は、国内ではほとんどが箱桁断面で実施されているため、本研究においては、都市内道路橋に工場製作プレキャストセグメント工法による PC 箱桁橋を採用する場合の計画方法について論ずるものである。

2. 研究の対象とする道路区分および横断面の構成

都市内道路橋は、当該道路の種別や利用目的により種々の幅員となる。本研究においては、すべての都市内道路橋を対象とすることは困難であるので、自動車専用道路の都市内道路橋を想定して検討を行うこととした。本研究で想定した道路区分および横断面の構成は、道路構造令および日本道路公団における規準²⁾を参考に、以下に示す 3 種類とする。また、おのおのの横断面の構成を図 - 3 ~ 5 に示す。

なお、以下に示した幅員以外の橋梁についても、本研究

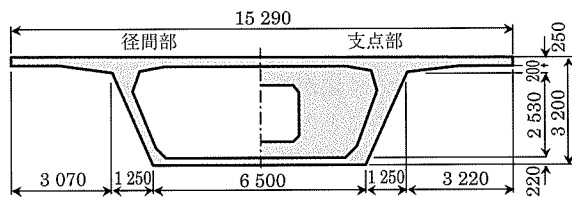


図 - 1 弥富高架橋のセグメント標準断面図

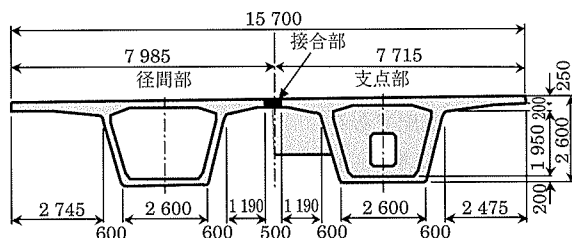


図 - 2 上和会高架橋のセグメント標準断面図

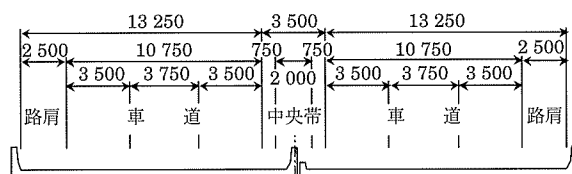


図 - 3 ケース 1 の横断面の構成 (第 1 種第 2 級)

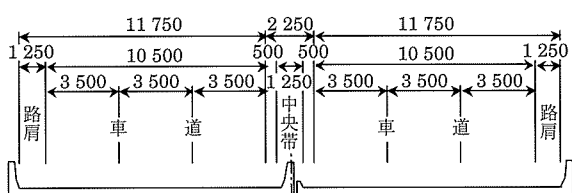


図 - 4 ケース 2 の横断面の構成 (第 2 種第 1 級)

* Hideaki SAKAI : 日本道路公団

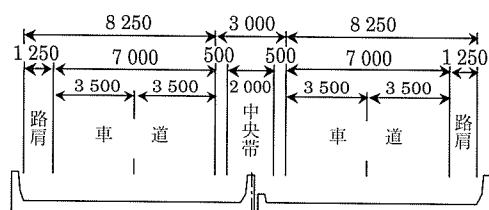


図-5 ケース3の横断面の構成 (第1種第3級)

で示す計画方法は適用できるものと推察される。

- ① ケース1 第1種第2級で6車線道路 (片側3車線)
- ② ケース2 第2種第1級で6車線道路 (片側3車線)
- ③ ケース3 第1種第3級で4車線道路 (片側2車線)

3. 主桁断面形状の計画

3.1 計画立案における制約条件

(1) セグメントの大きさおよび重量の制約条件

主桁断面形状の計画にあたっては、製作および運搬が可能のようにセグメントの大きさや重量を決定する必要がある。セグメントの大きさおよび重量に制約を与える項目としては、製作場所の位置および規模、運搬可能なセグメントの大きさおよび重量、架設機材の規模などがある。

これらのうち、製作場所の制約については、適切な製作場所を選定することにより制約条件を緩和することが可能となる。既存のPCプレキャスト工場を利用する場合は、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会のホームページ等により所在地を検索することができるので、該当する工場の規模や現場までの運搬ルートなどの調査を簡便に実施することができる。また、適切な箇所にヤードを構築し、そこでセグメントを製作する場合は、製作場所の制約を解消することができる。ただし、過去の施工事例¹⁾では、対象橋梁のセグメントの重量、大きさおよび数量に応じた製作場所を選定しているので、通常は製作場所の制約からはセグメントの規模が決定していない。

運搬可能な大きさおよび重量の制約については、製作場所から架設箇所までの運搬ルートの道路条件によって決定される。とくにわが国においては、欧米と比較して、運搬の制限が厳しいため、筆者が計画を行った国内における工場製作プレキャストセグメント工法の施工事例である古川高架橋、上和会高架橋および安城高架橋¹⁾では、これによりセグメントの規模が決定している。同様に西平尾高架橋¹⁾においても、運搬可能なセグメントの大きさおよび重量の制約からセグメントの規模が決定されている。

架設機材による制約については、既存の架設術を使用する場合に架設術の長さや断面性能により主桁の重量等の制限を受ける場合がある。過去の施工事例では、既存の架設術を改造して用いたり、主桁の重量に適合した架設術を製作したりすることにより対応している。したがって、架設箇所が狭隘で適切な規模のクレーン等の架設機材が配置できない箇所を除いては、架設機材により主桁断面が制約を受けることはないと考えられる。

(2) セグメントの大きさおよび重量

前述のとおり、工場製作プレキャストセグメント工法に

おいては、セグメントの運搬が可能な大きさおよび重量が、主桁断面形状を計画するにあたっての制約条件となる。道路を通行する車両については、道路法、道路運送車両法および関係法令により、長さ、幅、高さおよび車両総重量が定められている。セグメントの運搬は通常セミトレーラーで行っており、一般公道を特別な許可が無く通行できる限界は、表-1のとおりとなっている。

表-1 セミトレーラーの保安基準

車 種	長さ	幅	高さ	車 輛 総重量	軸重
セミトレーラー	12 m	2.5 m	3.8 m	27 t	10 t

この表-1の条件でセグメントの大きさや重量を計画すると、セグメント最大重量は約20t以下となることによりセグメント長が短くなり、セグメントの接合箇所数が増大することにより工事費が増加することが予想される。また、セグメント高さも、トレーラーの荷台高さおよび高欄の鉄筋の突出高や固定治具の高さを考慮すると、約2.6m以下となり経済的な桁高の設定において制約を受ける。したがって、古川高架橋、安城高架橋、上和会高架橋などの施工事例では、道路法第47条の2「道路管理者は、車両の構造又は車両に積載する貨物が特殊であるためやむを得ないと認めるときは、前条第二項の規定又は同条第三項の規定による禁止若しくは制限にかかわらず、当該車両を通行させようとする者の申請に基づいて、通行経路、通行時間等について、道路の構造を保全し、又は交通の危険を防止するため必要な条件を附して、同条第一項の政令で定める最高限度又は同条第三項に規定する限度をこえる車両の通行を許可することができる。」の規定に基づき通行する当該道路の管理者にあらかじめ運搬する車両の許可申請を行い、許可を得た後に当該車両（一般に、「特認車両」という。）で運搬を行っている。

特認車両は、個別審査となるので、計画時点において製作場所から架設箇所までのルートで個別に申請し許可を取る必要がある。たとえば、第二東名高速道路上和会高架橋においては、幅約8m、長さ2.5m、高さ2.6m、最大重量30tのセグメントを図-6に示す荷姿で特認車両の許可を取り運搬している。ただし、運搬にあたっては、午後9時～午前6時の間に前後に誘導車を配置し運搬するという条件が付されている。

前述のとおり、特認車両は個別申請となるため、事前に

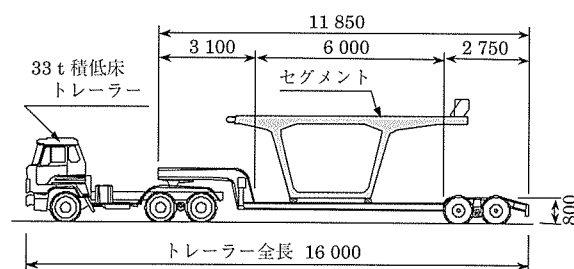


図-6 セグメントの運搬荷姿図

許可条件を確定することはできないが、過去の施工事例等から、運搬ルートにとくに障害となる橋梁や幅員が狭い道路が無い場合のセグメントの大きさや重量の運搬制限は、以下に述べるとおりである。

セグメントの幅は、セミトレーラーの積載可能な長さによって決定される。図 - 6 に示したセミトレーラーにおいては、車体からはみ出し長を全長の 10 % 以下（ただし、全長は 17 m 以下）まで許可されたとすると、積載可能な長さは約 15.5 m 以下となるので、運搬可能なセグメント幅は最大 15.5 m となる。

セグメントの長さは、セミトレーラーの積載可能な幅によって決定される。図 - 6 に示したセミトレーラーにおいては、積載可能な幅は車体幅に 1 m を加算した値以下（ただし、最大 3.5 m 以下）まで許可されたとすると、運搬可能なセグメント長さは最大 3.5 m となる。ただし、セグメントは、一般にせん断キヤが突出しているのので、積載時の積込み余裕も考慮すると、セグメント長は 3.3 m 以下で計画する必要がある。

セグメントの高さは、セミトレーラーの積載可能な高さによって決定される。一般公道を走行できる最大高さは 4.2 m であるので、低床式セミトレーラーの荷台高さ 0.8 m を除いた 3.4 m が最大積載可能高さとなる。ただし、セグメントからは、地覆や高欄の鉄筋が突出している場合があること、セグメントを固定する治具等の高さが必要となることなどを考慮して計画する必要がある。一般的には、セグメント高さを最大 3.0 m 以下とすれば突出している鉄筋や固定治具等の設置が可能となる。

セグメントの重量は、車両の総重量や軸重の制限から決定される。既往の施工事例では、セグメント重量を 30 t 以下として計画されており、この条件で特認車両の許可を得ている。また、一般的には、積載時の車両総重量は、40 t 以下に制限されている。したがって、計画段階においては、セグメントの最大重量を 30 t 以下とする必要がある。

3.2 主桁断面形状の計画

主桁の断面形状は、当該橋梁の径間長や幅員、運搬可能なセグメントの大きさや重量、経済性や施工性などから決定される。したがって、主桁断面形状の計画にあたっては、対象とする橋梁の固有の条件が大きく影響するため、本研究においては、図 - 3 ～ 5 に示した 3 種類の横断面の構成を有する橋梁を対象として検討を行った。本検討の対象とした径間長は、国内における工場製作プレキャストセグメント工法による PC 箱桁橋の最大径間長が 45 m であることから、標準径間長を 40 m とした。

安城高架橋（最大径間長 45 m）においては、上和会高架橋（最大径間長 39 m）で採用された断面形状（図 - 2 参照）とはほぼ同様な形状を用いて、外ケーブル本数を増加させることにより、径間長 45 m の設計を可能とした。したがって、本検討結果は、径間長 45 m 以下の橋梁に適用することが可能と推察される。

主桁断面形状の計画方法について以下に述べる。

(1) ケース 1 第 1 種第 2 級（片側 3 車線）

本ケースでは、上下線分離構造で片側 3 車線の橋梁とな

るので、主桁断面形状の計画にあたっては、とくに以下に述べる点を考慮する必要がある。

セグメント部の幅員が 15.5 m となるため、1 主箱桁構造ではセグメントの単位長さあたり重量が増加し、セグメント長が短くなる。セグメント長が短い場合は、接合目地数が増大し工事費が増加する。また、セグメント製作時に、新設セグメントの水和熱により、接触している既設セグメントの端面の温度が上昇し既設セグメントに橋軸方向のそりが生じ、新設セグメントがその形状に合わせて硬化するため、新設セグメントが橋軸方向に変形（「バナナ変形」と称している。）し、セグメント架設時に適切な架設形状管理が困難となる。過去の施工事例では、セグメントの幅を長さで除した値が 6 程度以上の場合に変形による問題が顕在化する⁴⁾。

2 主箱桁構造では、橋軸直角方向にも接合する必要があるため、適切な接合構造とする必要がある。また、箱桁の内空断面については、外ケーブルの配置や点検通路の確保等を考慮して決定する必要がある。

以上の点を考慮して、上和会高架橋および弥富高架橋の事例を参考に標準径間長 40 m の 1 主箱桁構造と 2 主箱桁構造の概略の断面形状を示すと図 - 7 ～ 8 となる。

図 - 7 に示した 1 主箱桁構造の場合は、セグメント長 1 m 当たり約 18.8 t になるため、運搬可能な重量を 30 t とするとセグメント長は最大約 1.5 m となる。この場合は、セグメント幅が長さの 10 倍以上となりバナナ変形を生じることが懸念されるとともに、接合目地数が増加することなどの課題がある。わが国の施工事例においては、標準的なセグメントにおいて幅が長さの 10 倍以上となった事例はない。

図 - 8 に示した 2 主箱桁構造の場合は、接合部を設けてセグメントを橋軸方向にも分割する必要がある。分割したセグメントの重量は、セグメント長 1 m 当たり約 9.3 t になるため、運搬可能な重量を 30 t とするとセグメント長は最大約 3 m となる。

(2) ケース 2 第 2 種第 1 級（片側 3 車線）

本ケースでは、上下線分離構造で片側 3 車線の橋梁となるので、主桁断面形状の計画にあたっては、とくに以下に

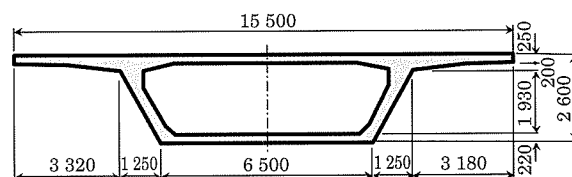


図 - 7 ケース 1 の計画事例（1 主箱桁）

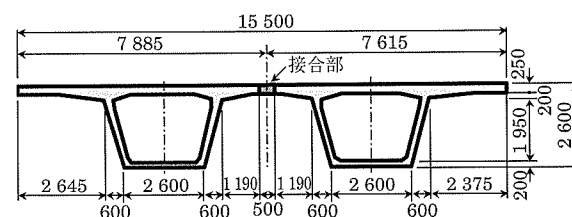


図 - 8 ケース 1 の計画事例（2 主箱桁）

述べる点を考慮する必要がある。

セグメント部の幅員が 13.375 m となるため、ケース 1 と同様に、1 主箱桁断面では、バナナ変形によりセグメント架設時に適切な架設形状管理が困難となる可能性がある。

2 主箱桁構造では、橋軸直角方向を適切な接合構造とする必要があることや外ケーブルの配置や点検通路の確保等の必要がある。

以上の点を考慮して、上和会高架橋および弥富高架橋の事例を参考に標準径間長 40 m の 1 主箱桁構造と 2 主箱桁構造の概略の断面形状を示すと図 - 9 ～ 10 となる。

図 - 9 に示した 1 主箱桁構造の場合は、セグメント長 1 m 当たり約 16.6 t になるため、運搬可能な重量を 30 t とするとセグメント長は最大約 1.8 m となる。この場合は、セグメント幅が長さの 7 倍以上となり、バナナ変形を生じることが懸念されるとともに、接合目地数が増加することなどの課題がある。

図 - 10 に示した 2 主箱桁構造の場合は、接合部を設けてセグメントを橋軸方向にも分割する必要がある。分割したセグメントの重量は、セグメント長 1 m 当たり約 8.6 t になるため、運搬可能な重量を 30 t とするとセグメント長は最大約 3.4 m となるが、せん断キー等の突出を考慮すると 3.3 m まで運搬が可能となる。

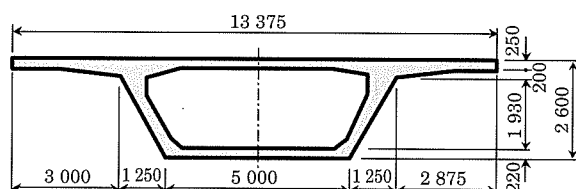


図 - 9 ケース 2 の計画事例 (1 主箱桁)

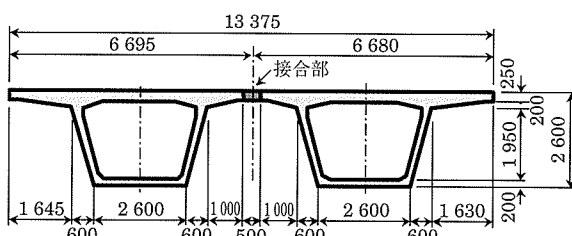


図 - 10 ケース 2 の計画事例 (2 主箱桁)

(3) ケース 3 第 1 種第 3 級 (片側 2 車線)

本ケースでは、上下線分離構造で片側 2 車線の橋梁となるので、セグメント部の幅員が 10.25 m となり 1 主箱桁構造の採用が可能となる。ただし、主桁断面形状の計画にあたっては、箱桁の内空断面について、外ケーブルの配置や点検通路の確保等を考慮して決定する必要がある。図 - 11 に、標準径間長 40 m の 1 主箱桁構造の概略断面形状事例を示す。

図 - 11 に示した 1 主箱桁構造の場合は、セグメント長 1 m 当たり約 13.4 t になるため、運搬可能な重量を 30 t とするとセグメント長は最大約 2.2 m となる。この場合は、セグメント幅が長さの 5 倍以下となり、バナナ変形を生じる

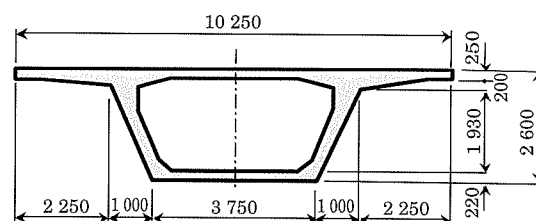


図 - 11 ケース 3 の計画事例 (1 主箱桁)

おそれはないものと推察される。

3.3 主桁部材厚の決定方法

箱桁断面の部材厚は、部材に作用する断面力、鋼材配置および施工性等から決定される。本研究においては、図 - 12 に示す標準的な箱桁断面の上床版、下床版およびウェブの部材厚の決定方法について、上和会高架橋および安城高架橋およびその他のプレキャストセグメント工法による PC 高架橋の設計事例¹⁾をもとに検討を行った。その結果、部材厚の決定においては、設計荷重に対して、耐荷力および耐久性を確保できる部材厚以上とすること以外に、以下に述べる検討を行う必要がある。

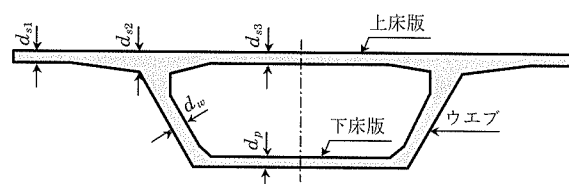


図 - 12 箱桁断面の部材名称

(1) 上 床 版

上床版の張出し床版先端部には、主に地覆、高欄および遮音壁などの死荷重、衝突荷重、風荷重等が作用する。その部材厚 (d_{s1}) の決定にあたっては、とくに以下に述べる検討を行う必要がある。

- ① 床版には、一般的に橋軸直角方向にプレストレスを導入するが、鉄筋および PC 鋼材を適切に配置できる部材厚とする。ただし、鉄筋および PC 鋼材等の配置にあたっては、内部振動機を挿入するための必要な間隔を確保しなければならない。
- ② 床版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、とくに定着具やシースを適切に配置できる部材厚とする。

張出し床版先端部の部材厚 (d_{s1}) の決定根拠について、過去の設計施工事例等¹⁾を調査したところ、張出し床版先端部は、自動車荷重が作用せず設計断面力が比較的小さいため、通常は設計断面力によらず上記の理由により部材厚が決定していることがわかった。また、その数値は、プレテンション方式で 25 cm、ポストテンション方式で 25 ～ 27 cm となる。ただし、遮音壁の高さが高い場合は、風荷重と自重による断面力に対して、その安全性の照査を行う必要がある。

張出し床版付け根部についても、先端部と同様な検討を

行う必要がある。その部材厚 (d_{s2}) の決定根拠について、過去の設計施工事例等¹⁾を調査したところ、張出し床版付け根部は、張出し床版先端部と同様な鉄筋および PC 鋼材配置になるため、通常は設計断面力により部材厚が決定していることがわかった。また、その数値は、張出し床版長により相違するが、設計断面力に応じて 35 ～ 50 cm となる。

中間床版部には、主に死荷重、自動車荷重等が作用する。したがって、その部材厚 (d_{s3}) の決定にあたっては、張出し床版先端部と同様な検討を行う必要がある。その部材厚 (d_{s3}) の決定根拠について、過去の設計施工事例等¹⁾を調査したところ、中間床版部は、一般に張出し床版先端部と同様な鉄筋および PC 鋼材配置になるため、通常は設計断面力により部材厚が決定していることがわかった。また、その数値は、中間床版の支間長により相違するが、設計断面力に応じて 25 ～ 30 cm となる。

(2) 下 床 版

下床版には、主に死荷重、自動車荷重等が作用する。したがって、その部材厚 (d_p) の決定にあたっては、とくに以下に述べる検討を行う必要がある。

① 下床版は、一般的に橋軸直角方向が RC 構造となるため、鉄筋を適切に配置できる部材厚とする。

② 橋軸直角方向を RC 構造とする場合は、とくにコンクリートの水和熱、硬化収縮および乾燥収縮等により有害なひび割れが発生しない部材厚および鉄筋配置とする。

下床版厚 (d_p) の決定根拠について、過去の設計施工事例等¹⁾を調査したところ、中間支点部付近の下床版は、橋軸方向の設計断面力により部材厚を決定し、その他の区間は、橋軸方向および橋軸直角方向の設計断面力および上記の条件より部材厚が決定していることがわかった。また、その数値は、中間支点部付近は、設計断面力により部材厚が決定されるため、20 ～ 50 cm 程度になる。その他の区間は、下床版の支間長により相違するが、20 ～ 30 cm となる。

(3) ウ エ ブ

ウェブには、主に死荷重、自動車荷重等が作用する。したがって、その部材厚 (d_w) の決定にあたっては、とくに以下に述べる検討を行う必要がある。

① ウェブは、鉄筋を適切に配置できる部材厚とする。

② 内部振動機によるコンクリートの締固めが適切に行え

る部材厚および鉄筋配置とする。

③ ウェブ内に内ケーブルを配置する場合は、シースを適切に配置できる部材厚とする。

ウェブ厚 (d_w) の決定根拠について、過去の設計施工事例等¹⁾を調査したところ、中間支点部付近のウェブは、せん断力により部材厚を決定し、その他の区間は、せん断力および上記の条件により部材厚が決定していることがわかった。また、その数値は、支点部付近は、せん断力により部材厚が決定されるため、25 ～ 70 cm 程度になる。その他の区間は、径間長や主桁構造により相違するが、25 ～ 50 cm となる。ただし、ウェブ厚を細かく変化させると、セグメント製作時にセグメントごとに内型枠を調整する必要があるため、工事費がむしろ増大することがある。このため、支点部付近以外のウェブ厚については統一することが望ましい。

4. セグメントの分割方法

4.1 橋軸直角方向の分割方法

プレキャストセグメント工法においては、製作、運搬および架設が可能な規模のセグメントに分割する必要がある。とくに工場製作プレキャストセグメント工法においては、前述のとおり、セグメントの規模が、運搬可能な大きさや重量により決定されるので、橋軸直角方向に適切な規模に分割する必要がある。

セグメントの橋軸直角方向の分割にあたっては、架設工法により分割方法が相違する。工場製作プレキャストセグメント工法においては、その架設工法として、スパン・バイ・スパン工法と片持ち張出し架設工法が想定されるため、本研究においては、この2工法のセグメント橋軸直角方向の分割方法について、筆者が計画や設計を担当した表 - 2 に示す橋梁や過去の設計施工事例¹⁾をもとに検討を行った。なお、架設工法の計画については後述する。

(1) スパン・バイ・スパン工法

スパン・バイ・スパン工法においては、以下に述べる方法で、セグメントを柱頭部セグメントおよび径間部セグメントに分類して、橋軸直角方向の分割を行う必要があることがわかった。スパン・バイ・スパン工法におけるセグメント分割方法の概略図を図 - 13 に示す。

① 支点上を運搬が可能な規模の柱頭部セグメントに分割

表 - 2 プレキャストセグメント工法による PC 箱桁橋の施工事例

橋梁名	橋長 (m)	支間 (m)	標準幅員 (m)	標準断面	製作ヤード	製作ヤード の面積 (m ²)	標準のセ グメント 分割方法	最大セグメ ント重量 (t)	架設工法
弥 富 高架橋	1 519.0	最大 87.5 最少 38.0	15.3	1 主箱桁	現場ヤード	80 000	橋軸直角 方向のみ	80.0	張出し架設 スパン・バイ・スパン
長 島 高架橋	1 343.0	最大 50.0 最少 39.3	15.7	1 主箱桁	現場ヤード	75 000	橋軸直角 方向のみ	80.0	スパン・バイ・スパン
川 越 高架橋	1 298.0	最大 66.5 最少 36.3	15.9	1 主箱桁	現場ヤード	41 000	橋軸直角 方向のみ	88.0	張出し架設 スパン・バイ・スパン
上和会 高架橋	631.0	最大 39.0 最少 36.3	15.7	2 主箱桁	既存の PC 工場	18 000	橋軸 + 直 角方向	27.0	スパン・バイ・スパン
安 城 高架橋	916.0	最大 45.0 最少 31.5	15.7	2 主箱桁	既存の PC 工場に隣接	35 000	橋軸 + 直 角方向	30.0	スパン・バイ・スパン

する。柱頭部セグメントは、支点上の横桁を有しているため、セグメントの規模や横桁部の施工方法について十分な検討を行う必要がある。上和会高架橋では、柱頭部セグメントを軽量化するため、横桁内部を中空にして製作し、架設後に横桁内部のコンクリートを打設している。

- ② 支点上以外の径間部について、運搬が可能な規模の径間部セグメントに分割する。径間部セグメントの規模の決定にあたっては、外ケーブルの偏向部等の重量を考慮する必要がある。径間部セグメントは、製作の省力化や工事費の削減を目的として、同一長とすることが望ましい。
- ③ 柱頭部セグメントと径間部セグメントとは、横桁の有無等形状が大きく相違するため、通常はべつべつの製作台で製作すること、架設形状の調整を行う箇所が必要となることなどから、無筋コンクリート目地で接合する。
- ④ 径間部セグメント相互の接合は、橋面からの雨水等の浸入を防ぐことやセグメント接合時の潤滑剤的な役割を期待して、接合面にエポキシ樹脂系接着剤やアクリル樹脂系接着剤を塗布する接着剤目地で接合する。

(2) 片持ち張出し架設工法

片持ち張出し架設工法においては、以下に述べる方法で、セグメントを柱頭部セグメント、径間部セグメントおよび閉合部セグメントに分類して、橋軸直角方向の分割を行う必要があることがわかった。片持ち張出し架設工法におけるセグメント分割方法の概略図を図-14に示す

- ① スパン・バイ・スパン工法と同様に、支点上を運搬が可能な規模の柱頭部セグメントに分割する。
- ② 片持ち張出し架設工法においては、柱頭部セグメントから径間部セグメントを逐次張出して架設する工法であるので、径間中央部に閉合部セグメントを設けて、これを最後に落とし込んで架設する必要がある。
- ③ 柱頭部セグメントと閉合部セグメントとの間について

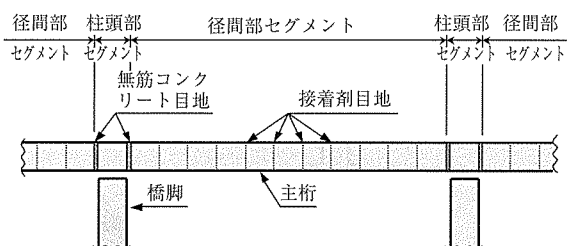


図-13 スパン・バイ・スパン工法のセグメント分割

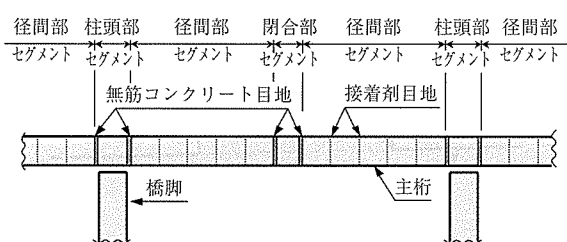


図-14 片持ち張出し架設工法のセグメント分割

は、適切な規模の径間部セグメントに分割する。

- ④ 閉合部セグメントは、最後に架設するためマッチキャストが不可能であるので、無筋コンクリート目地で接合する。

4.2 橋軸方向の分割方法

工場製作プレキャストセグメント工法においては、主にセグメントの規模が運搬可能な大きさや重量により決定される。とくに幅員が広い場合は、単位長さあたりの重量が増加することや運搬長の制限を越える可能性があることから、必要に応じて橋軸直角方向の分割に加えて橋軸方向にも分割する必要がある。上和会高架橋などの過去の施工事例では、1主箱桁構造では、セグメントの長さあたりの重量が重くなりセグメント長を短くしなければならないため、バナナ変形により架設形状管理が困難となることから、図-15に示すように2主箱桁構造に変更し、2主箱桁間の床版部を橋軸方向に分割して、架設箇所まで接合部により接合している。

橋軸方向の分割方法としては、1主箱桁構造として、セグメント中央で分割することも考えられるが、製作、運搬および架設がきわめて困難となることから国内における実施例はない。

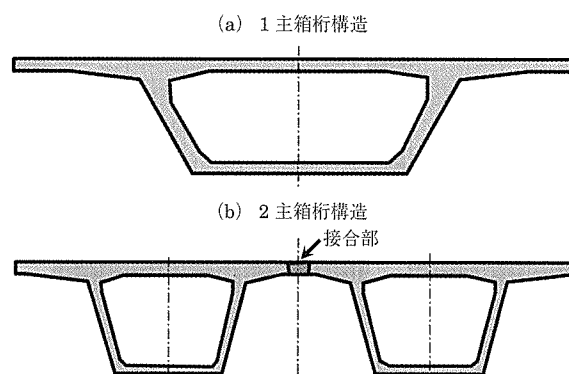


図-15 セグメントの橋軸方向の分割方法

5. セグメントの接合部の構造

5.1 橋軸直角方向に分割されたセグメントの接合部の構造

前項で述べた方法により橋軸直角方向に分割したセグメントの橋軸方向の接合構造の必要性能としては、以下に述べる条件を満足する必要がある。

- ① せん断力を隣接するセグメントに伝える構造であること。
- ② 曲げモーメントに対して、自動車荷重載荷時に安全性を有していること。
- ③ セグメント相互を密着させること。

このため、径間部セグメント相互の接合のように、セグメント製作時にセグメントの端面を型枠として隣接するセグメントを製作するマッチキャスト方式においては、図-16～17に示すせん断キーをセグメント製作時に設置し、PC鋼材によりプレストレスを与え接合する必要がある。隣

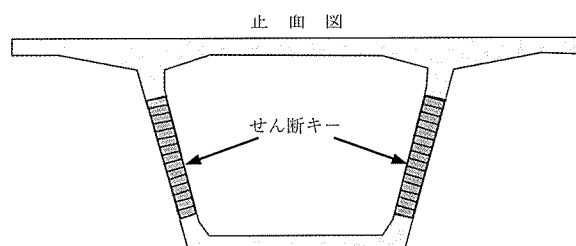


図-16 接合部の概略構造（正面図）

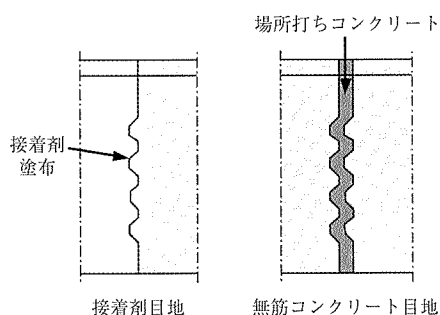


図-17 接合部の概略構造（側面図）

接するセグメント相互の接合面は、橋面からの雨水等の浸入を防ぐこと、内ケーブルやコンクリートの耐久性を向上させること、セグメント相互の密着性を向上させることなどを目的として、接合面にエポキシ樹脂系接着剤やアクリル樹脂系接着剤を塗布する接着剤目地を用いる。

柱頭部セグメントと径間部セグメントとの接合や閉合部セグメントと径間部セグメントとの接合は、マッチキャスト方式で製作を行うことができないので、図-17に示すように、セグメント間に10～20cm幅の場所打ちコンクリートによる無筋コンクリート目地を用いる必要がある。無筋コンクリート目地は鉄筋およびコンクリートが連続していないため、曲げモーメントやせん断力などに対して、プレストレスとせん断キーなどにより構造物の安全性を確保する必要がある。このため、セグメントを接合する場合は、接合面にせん断キーをセグメント製作時に設置し、PC鋼材により橋軸方向にプレストレスを与え接合する。無筋コンクリート目地には、初期ひび割れの抑制やコンクリート片の剥落防止を目的として、繊維補強コンクリートを使用するのがよい。

5.2 橋軸方向に分割されたセグメントの接合部の構造

2主箱桁構造でセグメントを橋軸方向にも分割して製作し、橋軸直角方向に接合する場合は、施工上から橋軸直角方向の接合部をマッチキャスト方式とすることが不可能であるので、図-15で示した接合部を設け、その接合部を鉄筋コンクリート目地とせざるを得ない。また、その施工は、一方のセグメントを架設し主桁を一体化した後にもう一方のセグメントを架設し、セグメントを橋軸方向に引き寄せて、プレストレスにより一体化し、その後接合部床版を場所打ち工法により施工を行い、両セグメントを一体化する手順で行なわれる。

接合部床版は、RC構造かまたはPC構造となるが、セグメント相互から突出している鉄筋を鉄筋継手により接続する必要がある。この場合に鉄筋継手としては、重ね継手は想定されるが、重ね継手では、セグメントの引き寄せの際に、セグメントから突出している鉄筋が干渉するため施工が困難となる。また、セグメント架設時の施工誤差などにより、両方のセグメントから突出している鉄筋の位置にずれが生じ、適切な重ね継手の施工ができないおそれがある。鉄筋の継手方法としては、ねじ加工継手、自動ガス圧接継手やエンクローズ溶接などの方法も考えられるが、鉄筋の位置にずれが生じた場合は、その施工や品質確保がきわめて困難である。

これらの課題を解決するため、筆者は、図-18に示すダブルループ鉄筋継手を開発した⁴⁾。

その構造は、溶接にて閉合されループ状に加工されたセンターループ鉄筋を、セグメント製作時に配置された左右のサイドループ鉄筋の間に配置するものであり、左右に2箇所の閉合ループができることから、ダブルループ鉄筋継手と名付けたものである。閉合ループの中には、ループ鉄筋に沿わせた橋軸方向鉄筋を、上下に2本、左右に2本の計4本配置する。上下の2本については、床版の橋軸方向曲げ挙動に抵抗させるためのもので、左右の2本については、左右のループ鉄筋の拘束効果を期待するとともに組立て鉄筋として配置するものである。

センターループ鉄筋は、両側の主桁セグメントの一体化が完了した後に、サイドループ鉄筋継手間の任意の位置に配置することができるため、他の鉄筋継手構造の課題を解決することかできる。その安全性については、載荷試験により検証されており^{3), 4)}、設計方法についても確立されている⁴⁾。

したがって、図-15に示した構造となる場合は、図-18に示したダブルループ鉄筋継手を有する接合部床版とする

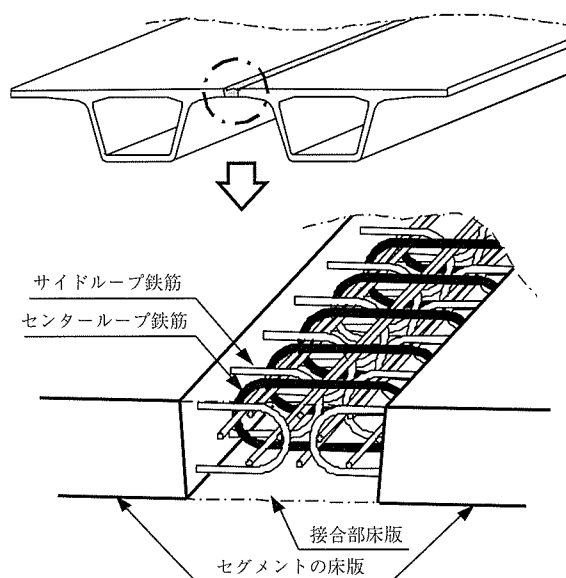


図-18 ダブルループ鉄筋継手の構造

ことが望ましい。

6. 架設計画

6.1 架設工法の種類

プレキャストセグメント工法におけるセグメントの架設は、対象橋梁の規模および架設条件等により、一般的にスパン・バイ・スパン工法と片持ち張出し架設工法とが行われている⁵⁾。ただし、工場製作プレキャストセグメント工法においては、運搬の制約からセグメントの規模が制限されること等により、国内においてはスパン・バイ・スパン工法のみで施工が行われている。また、その径間長も、安城高架橋の45 mが最大となっている。

現場ヤード製作のプレキャストセグメント工法においても、径間長50 m程度以下では、スパン・バイ・スパン工法により施工が行われている。これは、片持ち張出し架設工法は、スパン・バイ・スパン工法と比較して架設機材費は低減されるが、架設時の応力が増大し主桁の断面やPC鋼材費が増加するため、比較的中小径間の橋梁においては、工事費が増大するためと推察される。

したがって、工場製作プレキャストセグメント工法においては、架設桁の設置が困難な箇所やハンガータイプで架設桁直下へのセグメントの運搬が困難な箇所等をのぞいて、スパン・バイ・スパン工法で行うことが望ましい。

以下に、架設工法の概要を述べる。

(1) スパン・バイ・スパン工法

スパン・バイ・スパン工法 (Span-by-Span Construction) は、架設桁で1径間分の全セグメントを支持し、1径間分を一括架設して、架設完了後に次の径間に架設桁を移動しセグメントを順次架設する工法である。

この架設桁の方式としては、図-19に示すセグメントを上から吊るハンガータイプと図-20に示すセグメントを下から支持するサポートタイプとがある。スパン・バイ・スパン工法は、1径間分の全セグメント重量が架設桁に載荷されるため、径間長が長い場合は架設桁の規模が大きくなり工事費が増大する。

(2) 片持ち張出し架設工法

片持ち張出し架設工法 (Balanced Cantilever Construction) は、セグメントを橋脚上から張出して架設する工法で、左

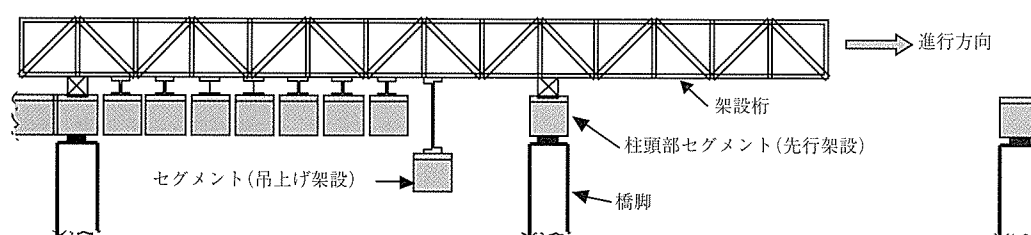


図-19 スパン・バイ・スパン工法（ハンガータイプ）概略図

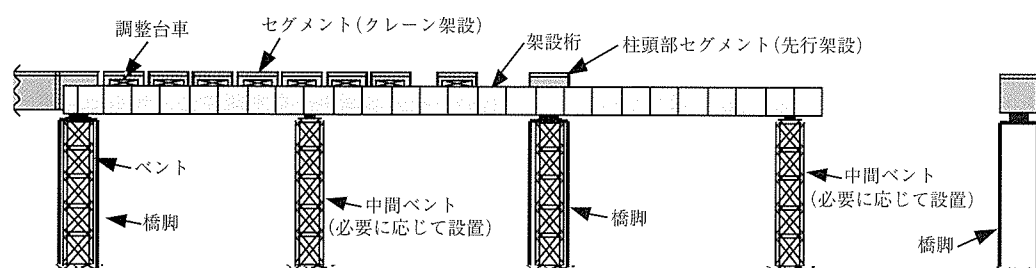


図-20 スパン・バイ・スパン工法（サポートタイプ）概略図

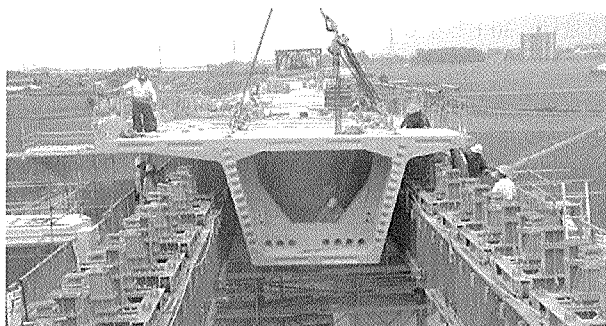


写真-1 スパン・バイ・スパン工法（サポートタイプ）



写真-2 スパン・バイ・スパン工法（ハンガータイプ）

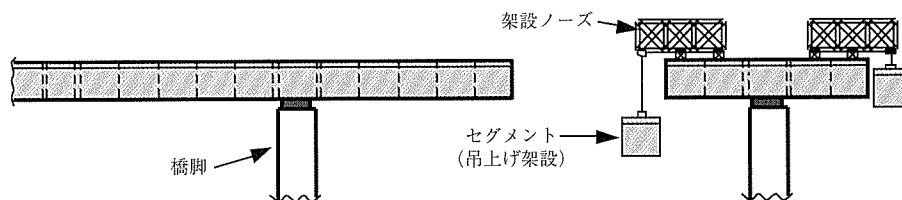


図-21 片持ち張出し架設工法（架設ノーズ使用）概略図

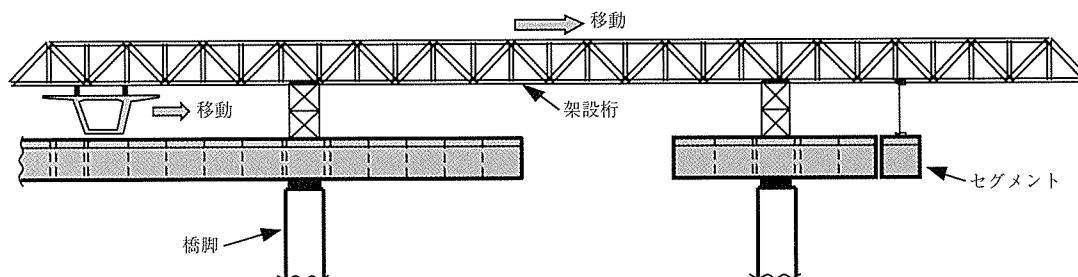


図-22 片持ち張出し架設工法（架設桁使用）概略図

右のバランスを取りながら交互に架設を行う。セグメントを架設位置直下まで運搬することが可能な場合は、一般的に図-21に示す架設ノーズを用いてセグメントの架設を行っている。また、セグメントを架設位置直下まで運搬することが困難な場合は、図-22に示す架設桁を用いてセグメントの架設を行っている。

6.2 スパン・バイ・スパン工法の計画

スパン・バイ・スパン工法においては、架設桁の選定を適切に行うことが工事費の低減の観点から重要となる。橋梁の径間長やセグメントの規模が決定されれば、必要な架設桁の長さや抵抗断面力が算定されるので、架設桁の規模や種類を決定することができる。

架設桁は、架設機材費の中ではもっとも多額の費用となるので、既存の架設桁を改良して用いる等の工事費の削減策を検討する必要がある。スパン・バイ・スパン工法には、架設桁の方式として、図-19および図-20に示したハンガータイプとサポートタイプがあるが、これらの方式を計画する場合の要点について以下に述べる。

(1) ハンガータイプ

ハンガータイプは、主桁の上側に架設桁を設置しセグメントを上方から吊ってその位置を保持し架設する方法で、通常は柱頭部セグメントを先行架設し仮固定した後に架設桁を設置する。本方式においては、トレーラー等でセグメントを架設桁直下まで運搬し、架設桁で吊り上げ、所定の位置まで移動させて架設する。本方式は、セグメントを吊り上げることから、セグメントの位置決めが容易であるが、直下に道路等の交差物件がある場合は、道路の切り回しや防護工等の設置などの対策が必要となる。

(2) サポートタイプ

サポートタイプは主桁の下側に架設桁を設置しセグメントを下方で支持し架設する方法で、通常は柱頭部セグメントを先行架設し仮固定した後に架設桁を設置する。本方式においては、トレーラー等でセグメントを架設桁近傍まで運搬し、クレーン等で架設桁上に配置した調整台車上に架

設し、調整台車を所定の位置まで移動させて架設する。本方式は、セグメントを下から支持するため、直下に交差物件等がある場合も比較的安全に架設することが可能となる。ただし、架設桁の設置や移動にあたっては、橋脚と干渉しないように架設桁の梁高を制限する必要がある場合がある。

また、本方式は、中間にベントを設置し架設桁に作用する断面力を低減することにより、ハンガータイプの架設桁よりも小規模の架設桁を使用し工事費を削減することができる。

7. 結 論

本研究では、都市内道路橋に工場製作プレキャストセグメント工法によるPC箱桁橋を採用する場合の計画手法について、筆者が責任者として実施したプレキャストセグメント橋の研究等の成果および既往の施工事例等から検討を行い、その計画手法を本研究により集約し明文化した。本研究により明文化された計画手法の要点は、以下のとおりである。

(1) 主桁断面形状の計画

主桁断面形状の基礎となるセグメントの規模や重量は、とくに製作場所の制約や架設機材による制約が無い場合に、一般公道を運搬する場合の制約条件から決定される。一般的な特認車両の条件から定まるセグメントの最大規模は、幅15.5m、長さ3.3m、高さ3.0mとなる。また、その最大重量は、30tとなる。ただし、特認車両は、個別申請となるので、計画段階において、運搬可能なセグメントの規模や重量を事前に道路管理者等（国土交通省等）と協議する必要がある。

主桁断面形状については、計画道路の区分および横断面の構成が相違する3タイプの都市内道路橋を対象としてその決定方法の検討を行い、広幅員の橋梁（第1種第2級[片側3車線]、第2種第1級[片側3車線]）には2主箱桁断面が適切であること、比較的狭い幅員の橋梁（第1種第3級[片側2車線]）には、1主箱桁断面が適切であるこ

とが示された。

(2) セグメントの分割方法および接合方法

スパン・バイ・スパン工法におけるセグメントの橋軸直角方向の分割については、柱頭部は横桁を有していることから、その形状が径間部と異なることから、図 - 13 に示したように、支点上を柱頭部セグメントとし、支点上以外の径間部は径間部セグメントとして運搬が可能な規模に分割する必要がある。径間部セグメントは、製作の省力化や工事費の削減を目的として、同一長とすることが望ましい。

片持ち張出し架設工法におけるセグメントの橋軸直角方向の分割については、図 - 14 に示したように、支点上を柱頭部セグメントとし、径間中央部は、張出し架設架設完了後に最後のセグメントを落とし込んで架設する必要があることから閉合部セグメントとして、柱頭部セグメントと閉合部セグメントとの間については運搬可能な規模の径間部セグメントに分割する必要がある。

径間部セグメント相互の接合は、マッチキャスト方式となるので、橋面からの雨水等の浸入を防ぐことや接合時の潤滑材としての役割から接着剤目地とし、柱頭部セグメントと径間部セグメントとの接合および閉合部セグメントと径間部セグメントとの接合は、マッチキャスト方式とすることが困難であることから無筋コンクリート目地として計画を行う必要がある。

橋梁の幅員が広く 1 主箱桁構造で計画することが困難な場合は、2 主箱桁構造として、中間床版部で橋軸方向に分割し、ダブルループ鉄筋継手を用いて鉄筋コンクリート目地として接合を行うことが望ましい。

(3) 架設計画

工場製作プレキャストセグメント工法においては、運搬の制約からセグメントの規模が制限されること等により、国内においてはスパン・バイ・スパン工法のみで施工が行われていること、現場ヤード製作のプレキャストセグメント工法においても、径間長 50 m 程度以下では、スパン・バイ・スパン工法により施工が行われていることから、架設桁の設置が困難な箇所やハンガータイプで架設桁直下へのセグメントの運搬が困難な箇所等をのぞいて、スパン・バイ・スパン工法で行うことが望ましい。スパン・バイ・スパン工法が用いられている理由としては、片持ち張出し架設工法は、スパン・バイ・スパン工法と比較して架設機材費は低減されるが、架設時の応力が増大し主桁の断面や PC 鋼材費が増加するため、比較的中小径間の橋梁においては、工事費が増大するためと推察される。

スパン・バイ・スパン工法は、セグメントの支持方法により、ハンガータイプとサポートタイプがある。サポートタイプは、ハンガータイプと比較して、セグメントを下から支持するため、直下に交差物件等がある場合も比較的安全に架設することが可能となることや中間にベントを設置し架設桁に作用する断面力を低減することにより、小規模の架設桁を使用し工事費を削減することができる。しかし、架設桁を橋軸方向に移動する場合に橋脚と干渉しないように橋脚形状を工夫する必要があることや曲線半径が小さい場合に架設桁の移動が困難となる場合がある。したがって、セグメントの支持方法の決定にあたっては、経済性や施工可能性等を検討する必要がある。

8. おわりに

プレキャストセグメント工法による PC 橋は、工事費の削減や現場工期の大幅な削減に効果があるが、狭隘なわが国の国土では、架橋地点に隣接したセグメント製作および貯蔵のためのヤードの確保が困難なため、その採用がきわめて限定されてきた。本研究の対象とした工場製作プレキャストセグメント工法は、この課題を解決する方策としてきわめて有効であるが、いまだで本工法の計画手法に関する研究成果や規準等は示されていなかった。

橋梁の計画においては、当該橋梁の型式および施工方法に関する専門技術を有することがきわめて重要であり、これらの専門技術が不足する場合は、適切な安全性を確保することが困難となるばかりでなく、工事費が増大するおそれがある。本研究は、『工場製作プレキャストセグメント工法』による PC 橋の計画における専門技術等を示したものであるため、本研究により、更なる経済的で合理的な計画が可能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) 設計要領第 4 集 本線幾何構造設計要領、日本道路公団
- 3) 酒井ほか：ダブルループ継手構造を有する RC 床版の力学的特性に関する研究、土木学会論文集, No.760, V-63, pp.45 ~ 61, 2004.5
- 4) 酒井秀昭：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の接合方法に関する研究、プレストレストコンクリート, Vol.47, No.1, pp.87 ~ 98, 2005.1
- 5) 米国 PC セグメント橋調査報告書、(財) 高速道路調査会, pp.1 ~ 2, 平成 5 年 3 月

【2005 年 2 月 14 日受付】