

# PC 橋のプレキャストセグメント工法の現状

## — 開発の経緯と今後の課題 —

酒井 秀昭 \*1

### 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, Jean M. Muller (1925 ~ 2005 年) が, Pierre Benite 橋 (1965 年, フランス) において, 世界ではじめて採用<sup>1)</sup>して以来, 欧米を中心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。

わが国においては, 1966 年に目黒架道橋 (首都高速道路 2 号線) において, ロングラインマッチキャスト方式による PC 箱桁橋が採用されたが, 小規模であったことなどから工事費の削減は困難であった。その後, 主として工期短縮や特殊な架設条件を克服すること等を目的として, 一部の橋梁に本工法が採用されたが, 工事費の削減を目的とすることが困難であったため, 大規模に採用されるには至らなかった。わが国におけるショートラインマッチキャスト方式の本格的な採用は, 松山自動車道の重信高架橋 (1997 年完成) であり, その後, 新名神高速道路弥富高架橋 (1999 年完成) などの主として高速道路の橋梁に, 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るようになった<sup>2)</sup>。

本報文は, Jean M. Muller が開発してから 40 年余経過した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 PC 橋の現状について, 過去の経緯と今後の課題も含めて述べるものである。

### 2. プレキャストセグメント工法の概要

PC 橋のプレキャストセグメント工法は, 製作・運搬・架設の手順で行われる。以下にその概要を述べる。

#### 2.1 セグメントの製作

##### (1) 製作方法

セグメントの製作は, 先行して製作した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し, 接合面の一体化を図るマッチキャスト方式が近年広く用いられている<sup>3)</sup>。マッチキャスト方式のセグメントの製作方法としては, 図 - 1, 2 に示すようにショートライン方式とロングライン方式とがある。ショートライン方式は, 先行して製作したセグメントの端面を型枠として次のセグメントを順次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, 高度な製作精度の確保が必要となるが, ロングライン方式と比較して, セグメントの個数が多い場合に工

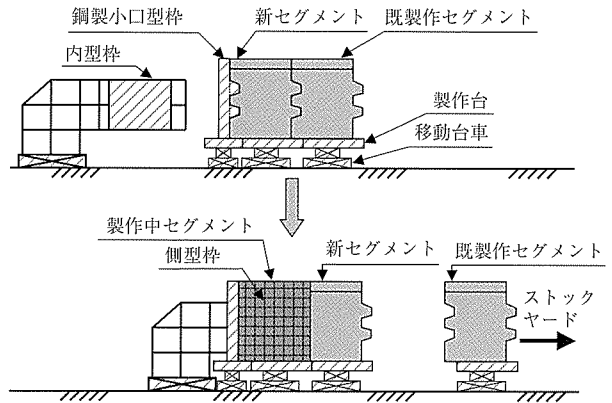


図 - 1 ショートライン方式

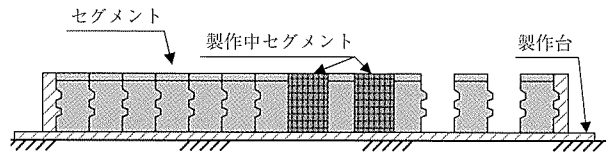


図 - 2 ロングライン方式

事費の削減および製作ヤードの縮小が可能となるため広く用いられている<sup>3)</sup>。

セグメントの製作場所には, 架橋箇所近傍に広いセグメント製作ヤードを設置するケース (現場ヤード製作方式) と架橋地点から離れた場所にセグメント製作ヤードを設置するか既存の PC プレキャスト工場を利用するケース (工場製作方式) とがある。製作場所は, 必要な面積の土地の確保状況, セグメントの規模や分割方法, 運搬方法などを十分に検討し決定される。

##### (2) 接合部の構造

マッチキャスト方式におけるセグメントの接合は, 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剂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し, 図 - 3, 4 に示すせん断キーおよびプレストレスにより一体化する方法 (接着剤目地), 接合面に接着剤等を塗布せずに, せん断キーおよび橋軸方向へのプレストレスにより一体化する方法 (ドライ目地) がある。接着剤目地は, コンクリートや PC 鋼材の耐久性の向上に対する効果もあり, わが国では多く用いられている<sup>2)</sup>。

ショートラインマッチキャスト方式では, 通常は標準的

\* Hideaki SAKAI : 中日本高速道路 (株) 博士 (工学)

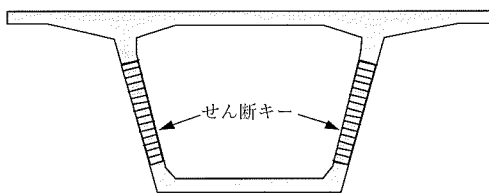


図 - 3 接合部の構造 (平面図)

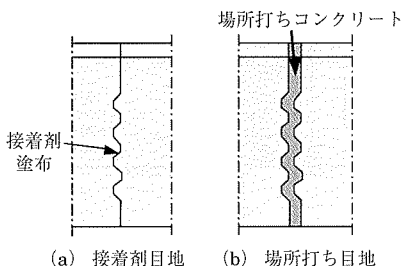


図 - 4 接合部の構造 (側面図)

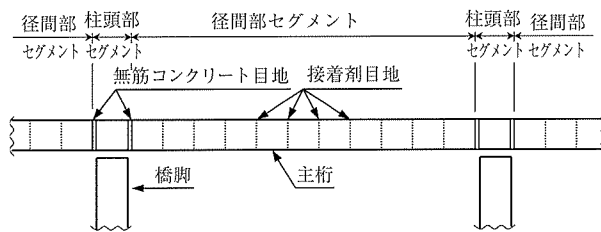


図 - 5 分割方法 (スパンバイスパン工法)

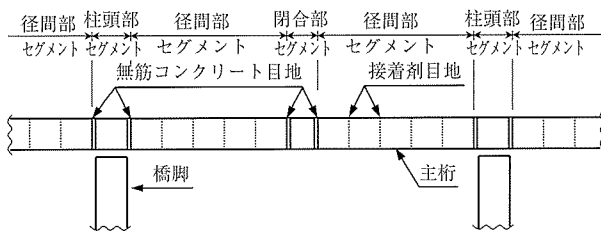


図 - 6 分割方法 (片持ち張出し架設工法)

なセグメントを、一つの製作装置あたり 1 日に 1 個製作しているが、多径間連続桁橋などでは、一つの製作装置で製作した場合は、工期が長くなり施工時の誤差が累積するため、1 径間に 2 箇所程度の場所打ちコンクリートによる目地 (場所打ち目地) を用いて、複数の製作装置でセグメントを製作している。

(3) セグメントの分割方法

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。したがって、通常は橋軸直角方向に適切な規模に分割するが、橋軸直角方向の分割のみではその施工が困難な場合は、橋軸方向にも分割したり、上床版等の断面の一部を場所打ち工法等で施工したりしている。

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。架設工法は、一般的にスパンバイスパン工法 (Span-by-Span Construction) と片持ち張出し架設工法 (Balanced Cantilever Construction) が行われている。各架設工法におけるセグメントの分割方法の例を図 - 5 ~ 6 に示す。

2.2 セグメントの運搬

製作されたセグメントは、ストックヤードに運搬され貯蔵されたのちに、架設工程にあわせて架設箇所へ運搬される。運搬方法としては、ストックヤードが隣接されている場合は、門型クレーンや自走式のガントリークレーン等によりヤードまで運搬している。架設箇所までの運搬方法としては、トレーラーを用いている事例が多いが、河川部や海上部等の水上では、台船を用いている事例もある。

2.3 セグメントの架設

架設工法は、架設桁で 1 径間分の全セグメントを支持し、プレストレスにより一体化したのちに、架設桁を隣接径間へ移動し順次施工するスパンバイスパン工法や片持ち張出し架設工法等が用いられている。架設工法の選定は、対象橋梁の規模および架設条件等により相違するが、通常は径間長 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。

片持ち張出し架設工法は、セグメントを橋脚上から張出して架設する工法で、通常は左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、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、橋脚間に架設桁を設置してセグメントの架設を行っている。

3. プレキャストセグメント工法の経緯

3.1 海外

(1) E. Freyssinet によるプレキャストセグメント

E. Freyssinet (1879 ~ 1962 年) は、1946 年に世界ではじめてのプレキャストセグメント工法による PC 橋である Luzancy 橋 (写真 - 1) をセヌ河の支流であるマルヌ河に完成させた<sup>1), 5)</sup>。同橋は、支間 55 m で、ポストテンション工法で施工され、セグメント相互の接合には、モルタル目地 (mortar joint) が採用された。

引き続き E. Freyssinet は、1947 ~ 1951 年にマルヌ河に支間 74 m の変断面ポータルフレーム橋を同一支間・同一形式で 5 橋 (Esbly, Annet, Changis-Saint-Jean, Trilbardou, Ussy) モルタル目地を用いたプレキャストセグメント工法で建設した<sup>1), 5)</sup> (写真 - 2)。これら 5 橋のプレキャスト部

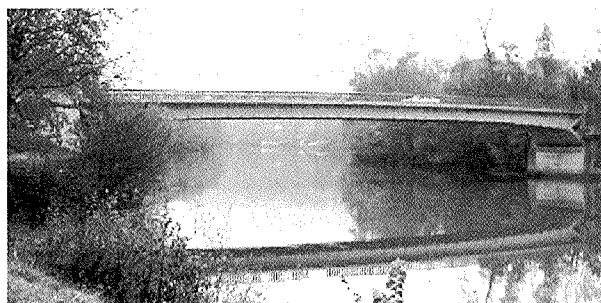


写真 - 1 Luzancy 橋



写真 - 2 Ussy 橋

材は、同一箇所で製作され、舁でおおのの架橋地点まで輸送された。

(2) マッチキャスト方式の開発

Jean M. Muller は、E. Freyssinet のもとでエンジニアとして働き、その後アメリカに渡り、Freyssinet 社のアメリカにおける Chief Engineer として、世界ではじめてのマッチキャスト方式のプレキャストセグメント橋である Shelton 橋を 1952 年に設計した。同橋は、運搬が容易なように 3 分割して製作したプレキャスト RC 桁を、架橋地点でポストテンション工法により一体化する手法で行われ、接合部はマッチキャスト方式のドライ目地が採用された。この接合方法の開発により、それまでのモルタルジョイントに比べて工期の短縮と品質が明確に改善された。

その後、Jean M. Muller は、アメリカからフランスへ戻り Campenon Bernard 社の Technical Director として、1962 年に世界ではじめての接着剤目地（エポキシ樹脂）を用いたマッチキャスト方式の PC 連続箱桁橋である Choisy-le-Roy 橋を設計した。同橋は、1964 年にオルリー空港近くのセヌ河に、支間長 37.5 + 55.0 + 37.5 m の等断面の PC3 径間連続ラーメン 2 主箱桁として上下線に平行に 1 連ずつ架設された。同橋の片側車線の径間中央部の断面形状を図 - 7 に示す。セグメント重量は約 20 t でロングライン方式で蒸気養生を用いて製作され、台船により運搬し、フローティングクレーンを使用して、橋脚から片持ち張出し架設工法により架設された。その後、同様なロングラインマッチキャスト方式で接着剤目地を用いた橋梁である Oleron 高架橋（1966 年、フランス）、Courbevoie 橋（1967 年、フランス）などが、西欧で建設された。

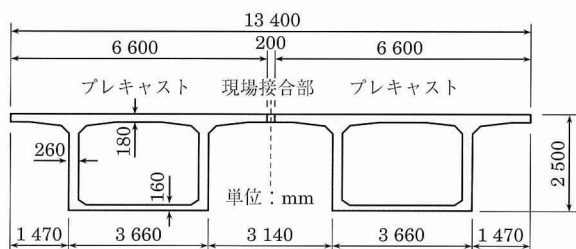


図 - 7 Choisy-le-Roy 橋セグメント断面形状

(3) ショートライン方式の開発

Jean M. Muller は、世界ではじめての接着剤目地（エポキ

シ樹脂）を用いたショートラインマッチキャスト方式の PC 箱桁橋を Pierre Benite 橋（1965 年、フランス）において採用した。同橋は、上下線分離構造の道路橋で、支間長 50 + 2@75 + 50 m の PC 4 径間連続 2 主箱桁橋と 56 + 84 + 56 m の PC 3 径間連続 2 主箱桁橋とからなり、おのこの箱桁を架設後に橋軸直角方向に接合し 2 主箱桁とする手法が採用され、長さ 3 m で重量 30 ~ 42 t のセグメントを 528 個製作し、13 箇月間で架設した。同橋の片側車線の径間中央部の断面形状を図 - 8 に示す。同橋で開発されたショートライン方式は、ロングライン方式と比べて道路線形への適合が容易で、製作ヤードの縮小も可能であり、その後は多く採用されることとなった。

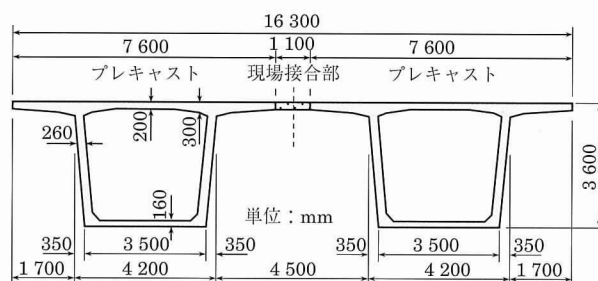


図 - 8 Pierre Benite 橋セグメント断面形状

アメリカでは Long Key 橋（1981 年、橋長 3 701 m）、Seven Mile 橋（1982 年、橋長 10 931 m）が建設され、スパンバイスパン工法や図 - 3 に示した多段式せん断キーが開発され採用された。

1993 年には、幅員が 25 m を超えるストラット付きの 1 主箱桁の断面形状を有する New Baldwin 橋が建設された。同橋は、プレキャストセグメント工法およびストラット付きの断面形状の採用により、工期の短縮および工事費の削減を達成している。同橋のセグメントの断面形状を図 - 9 に、架設状況を写真 - 3 に示す。

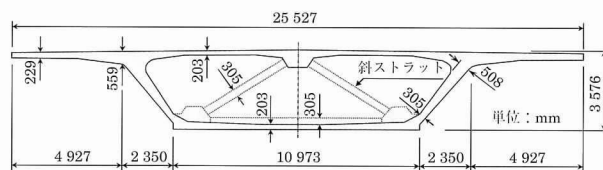


図 - 9 New Baldwin 橋セグメント断面形状

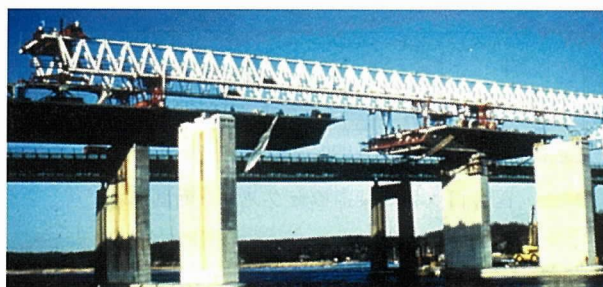


写真 - 3 New Baldwin 橋架設状況

また、1994年には、全長16kmの都市内高速道路の高架橋である"Y" bridgesがSan Antonioに建設され、都市部においても工期の短縮や工事費の削減を達成している。同橋のセグメントの断面形状の事例を図-10に、現場状況を写真-4に示す。

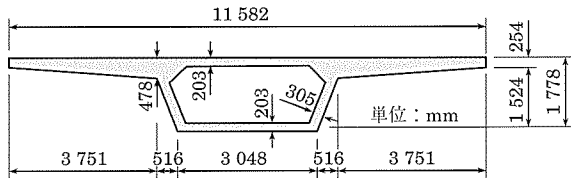


図-10 "Y" bridges セグメント断面形状の事例



写真-4 "Y" bridges

本文で紹介した海外の事例は一部であり、プレキャストセグメント工法によるPC橋は、現在に至るまで、全世界において工期短縮や工事費削減等を目的として広く採用されている。

### 3.2 国内

#### (1) 初のマッチキャスト方式

日本では、1966年に目黒架道橋（首都高速道路2号線）において、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PC箱桁橋がはじめて本格的に採用された。同橋は、支間長26.95 + 31.00 + 26.95 mと22.95 + 39.50 + 29.30 mの2連のPC3径間連続箱桁橋で、いずれも中央径間のみが片持ち張出し架設工法によるプレキャストセグメント工法で架設され<sup>6)</sup>第1回の土木学会田中賞（作品部門）を受賞した。接合部の構造は、接着剤目地（エポキシ樹脂）が採用され、ロングライン方式で図-11に示す断面形状の長さ2.5 m、重量約20 tのセグメントが製作された。同橋においては、都電上空の作業時間が約2時間であったこと

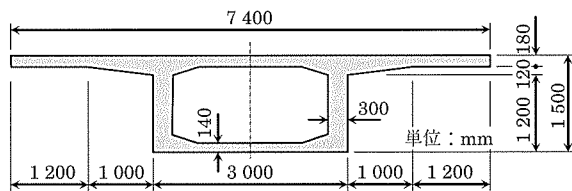


図-11 目黒架道橋セグメント断面形状

などから、本工法が採用されたが、小規模であったことなどから工事費の削減は困難であった。

その後、主として工期短縮や重要な交差物や河川・海などを横過するケースなどの特殊な架設条件を克服すること等を目的として、一部の橋梁に本工法が採用されたが、工事費の削減を目的とすることが困難であったため、大規模に採用されるには至らなかった。

#### (2) ショートラインマッチキャスト方式の採用

高速道路においては、1980年代後半から新東名・名神高速道路の計画が具体化し、橋梁においても工事費の削減や現場工期の短縮が強く望まれるようになった。1991年に、日本道路公団の角谷務氏は、ASBI（American Segmental Bridge Institute）の年次大会の講演者としてアメリカのSan Antonioに招待され、"Y" bridgesをはじめとする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PC橋を調査し、帰国後にその調査結果をもとに、本工法の新東名・名神高速道路への採用および試験工事の計画を提案した。

日本道路公団においては、この提案を受け、松山自動車道の重信高架橋（1997年、愛媛県、橋長1,901 m、図-12）において、わが国ではじめて本工法を試験的に採用した。同橋においては、最大重量40 tのセグメントが749個製作され、スパン・バイ・スパン工法により架設された。

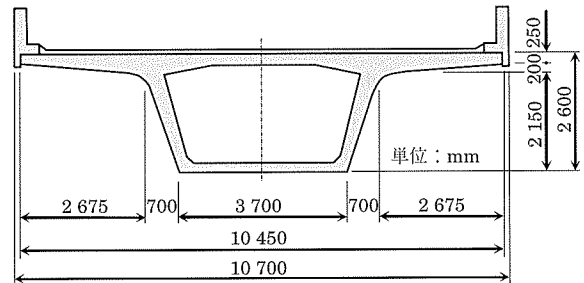


図-12 重信高架橋の標準断面図

また、筆者は、1992年にASBIの年次大会に参加するとともに、アメリカで施工中または供用中の本工法によるPC橋について現地調査を行った。

これらの結果をもとに、日本道路公団においては、工事費の削減や現場工期の短縮を目的として、新東名・名神高速道路に本工法を採用することを決定し、新名神高速道路の弥富高架橋をはじめとして木曾川橋、揖斐川橋などに採用した<sup>2)</sup>。筆者が担当し、セグメントが現場ヤードで製作された橋梁の事例を表-1に、セグメントの断面形状の事例を図-13、14に示す。また、弥富高架橋および揖斐川橋の架設状況を写真-5、6に示す。

#### (3) 工場製作プレキャストセグメント工法の開発

表-1に示した弥富高架橋や木曾川橋などの橋梁は、海岸部付近に位置しており、架設箇所近傍に大きなセグメント製作ヤード（3～10万m<sup>2</sup>）を確保することが可能であったため、架設箇所近傍にセグメントを製作するヤードを構築し、隣接地に貯蔵する「現場ヤード製作方式」が採用された。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

表 - 1 新名神高速道路で現場ヤードで製作されたショートラインマッチキャスト方式の事例

橋梁名・場所	橋長 (m)	幅員 (m)	橋梁型式	断面形状	径間長 (m)	完成年	セグメント		
							標準寸法 (m)	最大重量 個数	製作場所
弥富高架橋 愛知県	1 519	15.65 ~ 23.85	PC 連続箱桁	1 主 1 ~ 2 室	37.0 ~ 87.5	1999	長さ 3.00 高さ 3.20	80 t 1 288 個	現場ヤード
長島高架橋 三重県	1 343	15.74 ~ 23.94	PC 連続箱桁	1 主 1 ~ 2 室 2 主 1 室	41.0 ~ 50.0	2001	長さ 3.00 高さ 3.00	80 t 1 388 個	現場ヤード
川越高架橋 三重県	1 298	15.49 ~ 23.95	PC 連続箱桁	1 主 1 室 2 主 1 室	36.3 ~ 66.0	2002	長さ 3.00 高さ 3.00	100 t 1 829 個	現場ヤード
木曾川橋 三重県	1 145	33.00	PC・鋼複合連続エク ストラードード橋	1 主 3 室箱桁	160.0 ~ 275.0	2001	長さ 5.00 高さ 7.00 ~ 4.00	400 t 168 個	現場ヤード 台船運搬
揖斐川橋 三重県	1 397	33.00 ~ 44.84	PC・鋼複合連続エク ストラードード橋	1 主 3 室箱桁	154.0 ~ 271.5	2001	長さ 5.00 高さ 7.00 ~ 4.00	400 t 189 個	現場ヤード 台船運搬

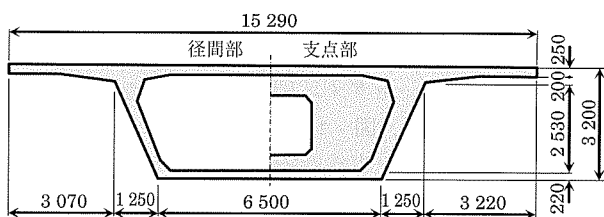


図 - 13 弥富高架橋セグメント断面形状

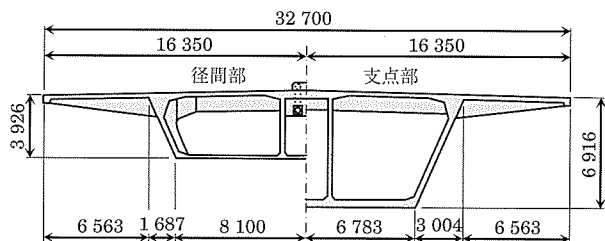


図 - 14 木曾川橋・揖斐川橋セグメント断面形状

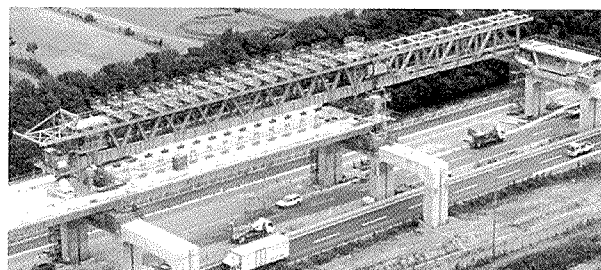


写真 - 5 弥富高架橋架設状況

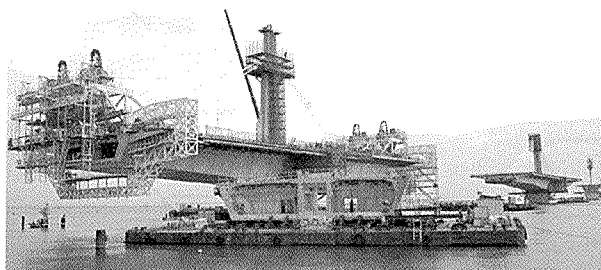


写真 - 6 揖斐川橋架設状況

搬が可能となるため、一般に図 - 12, 13 に示したような形状の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こと、国内では一般公道を運搬可能なセグメント重量がおおむね 30 t 以下に制限されることから、都市内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た。これに対して、筆者らは、運搬重量を一般公道が運搬可能な重量とするため、上床版を場所打ち工法とする方式（古川高架橋）や 2 主箱桁としてダブルループ鉄筋継手で現場接合する方式<sup>7)</sup>（上

和会高架橋・安城高架橋）などを考案して、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に分割したセグメントを製作する「工場製作方式」を開発しプレキャストセグメント工法の採用を可能とした。筆者が担当し、セグメントが工場製作方式で製作された橋梁の事例を表 - 2 に、セグメントの断面形状の事例を図 - 15, 16 に、ダブルループ鉄筋継手の形状を図 - 17 に示す。

これらの結果から、現在わが国においては、主として工事費の削減や現場工期の短縮を目的として、ショートライ

表 - 2 新東名・名神高速道路の工場製作方式のショートラインマッチキャスト方式の事例

橋梁名・場所	橋長 (m)	幅員 (m)	橋梁型式	断面形状	径間長 (m)	完成年	セグメント		
							標準寸法 (m)	最大重量 個数	製作場所
古川高架橋 三重県	1 475	15.49 ~ 17.27	PC 連続箱桁	1 主 1 室 上床版は場所打ち	34.0 ~ 38.0	2002	長さ 2.60 高さ 2.32 (桁高 2.6)	30 t 1 276 個	工場製作
上和会高架橋 愛知県	631	15.52 ~ 16.00	PC 連続箱桁	2 主 1 室	35.8 ~ 39.0	2004	長さ 2.50 高さ 2.60	30 t 1 028 個	工場製作
安城高架橋 愛知県	916	15.52 ~ 16.74	PC 連続箱桁	2 主 1 室	31.5 ~ 45.0	2004	長さ 2.40 高さ 2.60	30 t 1 592 個	工場製作

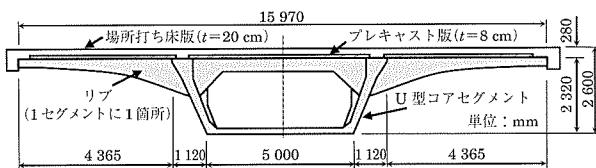


図 - 15 古川高架橋セグメント断面形状

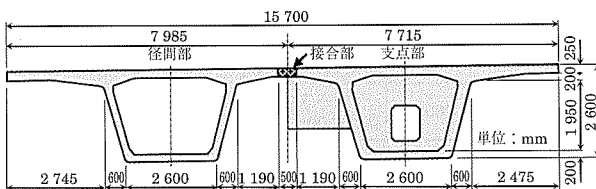


図 - 16 上和会高架橋セグメント断面形状

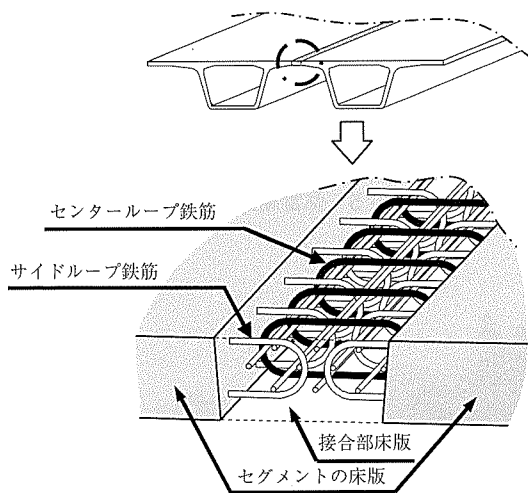


図 - 17 ダブルループ鉄筋継手の構造

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採用されている。

#### 4. プレキャストセグメント工法の課題と将来

前章で述べたとおりの経緯でプレキャストセグメント工法は開発されており、現在では世界各国で広く採用されているが、わが国においては、狭隘な国土であることなどから、本工法を採用するにあたっていくつかの課題が顕在している。

##### 4.1 課題

本工法をわが国で採用するにあたっての主な課題を列挙すると以下のとおりとなる。

- ① セグメントを製作および貯蔵するためには、過去の事例では、3～10万m<sup>2</sup>程度の広いヤードが必要となるが、現場において確保が困難なケースが多くある。
- ② 一般公道を運搬する場合はセグメントの重量がおおむね30t以下に制限される。
- ③ 発注規模を大きくすることにより、工事費の削減がより高くなる可能性が高いが、海外の事例と比較して発注規模が小さいため、その利点を十分に享受できない。

④ 本工法の利点を享受するためには、計画から設計および施工まで一貫した思想で、本工法に関する専門技術を有する技術者が行う必要がある。

##### 4.2 今後の方策

前述の課題を解決し、本工法を適切に実施することにより、工事費の削減や投資効果を早期に得るための工期の短縮による効率的な社会資本整備を行うため、今後は以下の方策が望まれる。

前項の①および②に示した製作・貯蔵ヤードの確保と運搬時の重量制限の課題の解決方策としては、セグメントを適切な規模に分割するか断面の一部を場所打ち工法とすることなどによりセグメント重量の軽減を図り、一般公道を運搬可能な規模として、工場製作方式とする方法が考えられる。ただし、運搬可能な部材の高さがおおむね3.0m以下に制限される<sup>8)</sup>ので、適用可能な径間長も制限されることとなる。また、セグメントの運搬が困難な場合は、本工法とは言い難いが、図-18に示すように、ウェブの上下方向にプレテンション方式でプレストレスを導入して、プレキャスト部材とする方法も実施されている。

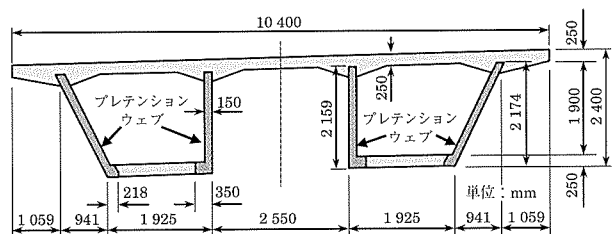


図 - 18 プレキャストプレテンションウェブの事例

前項の③の課題については、類似形状のセグメントを極力多く製作することによりコスト削減が可能となるため、計画設計の段階から、セグメント形状を類似のものとし、極力大規模発注とする必要がある。そのためには、複数の類似径間長の橋梁を同一工事として発注することや複数の橋梁のセグメントを同一工事で製作することなどの方策が必要となる。

前項の④の課題については、専門的な知識を有する事業者のインハウスエンジニアの育成や専門技術者に委託する方策などが考えられる。また、発注方式についても、一部の事業者で試行されているが、橋梁の上下部工を詳細設計を含めて一括発注する方策などが考えられる。

#### 5. おわりに

筆者は、1992年に米国で本工法の調査を行ったが、エンジニアとしての強い印象を今でも忘れることはできない。そして、わが国でも必ず本工法を実施し成功したいという強い決意をもった。その後、幸いにも弥富高架橋や木曾川・揖斐川橋などで、その決意を具現化することができた。

今後は、本工法をさらに発展させ、工事費の削減や投資効果を早期に得るための工期の短縮による効率的な社会資本整備を可能とすることが重要となっている。

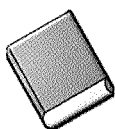
本報文は、本工法がわが国で本格的に実施されるようになってから、10余年になることを区切りとして、過去の経緯を中心に取りまとめたものである。本報文の執筆中に再認識したことではあるが、本工法を開発した Jean M. Muller の技術力と先見性に、深く敬意を表するとともに感謝いたします。また、国内で本工法が発展したのは、角谷務氏の技術力と指導力によるものであり、敬意を表するとともに感謝いたします。

中国の諺に「飲水不忘掘井人（水を飲むときには、井戸を掘った人のことを忘れてはいけない）」という言葉がありますが、先人の努力と叡智により開発された工法であることを忘れずに、更なる発展のために努力することが重要となっています。

#### 参考文献

- 1) Daniel M. Tassin : Jean M. Muller: Bridge Engineer with Flair for the Art Form, PCI Journal, Vol.51, No.2, pp.2 ~ 15, 2006
- 2) 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
- 3) 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), プレストレストコンクリート技術協会, 平成 8 年 3 月
- 4) 米国 PC セグメント橋調査報告書, (財) 高速道路調査会, pp.8 ~ 9, 平成 5 年 3 月
- 5) 池田尚治 訳監修: PC 構造の原点フレシネー, 建設図書, 2000
- 6) 池田哲夫ほか: プレキャストブロック工法, 日刊工業新聞社, 昭和 44 年
- 7) 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
- 8) 酒井秀昭: 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, プレストレストコンクリート, Vol.47, No.5, pp.96 - 105, 2005

【2007 年 5 月 25 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

## 貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3,500 円（送料 500 円）

：非会員価格 4,200 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版