

さまざまな土木構造物に適用される プレキャスト PC 部材

諸橋 明*1・佐藤 徹*2・三本 竜彦*3

昨今の建設業界において「技能労働者の不足」が大きな問題としてあげられる一方で、「生産性向上」も同時に求められている。このような状況のなか、施工の合理化・省力化が図れるプレキャスト技術は非常に有効な手段であり、工期短縮・高品質化・工事の安全性向上・環境負荷低減といった点でも優位性のある技術である。プレキャスト工法については、橋梁上部工をはじめとして古くから標準化され確立しているものも多くあるが、最近では、場所打ち部と適切に組み合わせたハーフプレキャスト工法の技術も開発され成果が上がっている。また、コンクリート材料の新たな開発により、耐久性に優れ、環境に配慮したコンクリート構造物が構築されつつあり、これら新材料を用いた構造物は、生産設備が整った PC 工場で作成するプレキャスト部材を用いることで実現することができる。

本稿は、さまざまな土木構造物に適用されるプレキャスト PC 部材と題して、標準化されているものから最新の技術も含めて紹介するとともに、今後の展望について著者らの主観を述べるものである。

キーワード：合理化、省力化、プレキャスト工法、高耐久化、環境負荷低減

1. はじめに

昨今の建設業界において「技能労働者の不足」が大きな問題としてあげられる一方で、「生産性向上」も同時に求められている。このような状況のなか、施工の合理化・省力化が図れるプレキャスト技術は非常に有効な手段であり、また、上述の現況と要求への対策だけでなく、工期短縮・高品質化・工事の安全性向上・環境負荷低減といった点でも優位性があることから、各種建設工事においても活用が望まれている。

プレストレストコンクリート（以下、PC）構造物においても例外ではなく、プレキャスト化と相性がよいという構造特性もあり古くから採用されている。とくに PC 橋梁においては、工場製作のプレテンション桁をはじめとし、大規模工事へのプレキャストセグメント工法の適用、PC コンボ橋を代表とするハーフプレキャスト工法の採用など飛躍的に技術開発が進められている。

本稿では、さまざまな土木構造物に使用されるプレキャ

スト PC 部材について、標準となっている従来工法から最新の技術までを含めて紹介するものである。

2. 各種の構造物へのプレキャスト部材の適用

2.1 橋梁上部工

(1) プレテンション桁

JIS A 5373 推奨仕様 B-1 に道路橋用橋げたとして定められているプレテンション桁を表 - 1 に示す。最大支間長 24 m まで支間長 1 m 単位に標準化されており、JIS 認定工場で作成されるため、生産性の高い構造形式である。

(2) PC コンボ橋

支間長が 24 m を超える場合は、主桁を工場で分割して製作、ポストテンション方式により接合し 1 本の桁とするプレキャストセグメント方式の主桁が採用されている。

支間長 25 ~ 45 m の中規模橋梁の合理化を目的として開発されたのが PC コンボ橋である。少数化した主桁間に、プレテンション方式でプレストレスを導入した PC 板を敷設し、これを埋設型枠兼用として場所打ちコンクリートと



*1 Akira MOROHASHI

(一社) プレストレスト・
コンクリート建設業協会
技術委員会 技術部会



*2 Tohru SATOH

(一社) プレストレスト・
コンクリート建設業協会
技術委員会 技術部会



*3 Tatsuhiko MIMOTO

(一社) プレストレスト・
コンクリート建設業協会
技術委員会 技術部会

表 - 1 JIS にて標準化されているプレキャスト桁

種類	標準断面	主たる架設方法	標準支間	参考
プレテンション方式	軽荷重スラブ桁橋	クレーン架設	5 ~ 13 m	JIS A 5373
	スラブ桁橋		5 ~ 24 m	
	T 桁橋		18 ~ 24 m	
プレキャストセグメント方式	PC コンポ橋	クレーン架設 架設桁架設	25 ~ 45 m	JIS A 5373

一体化させた床版を構築するものである (図 - 1)。省力化と経済性向上を両立させることができ、広く普及している。現在では、JIS A 5373 推奨仕様 B-2 の道路橋橋げた用セグメントとして標準化されている (表 - 1)。

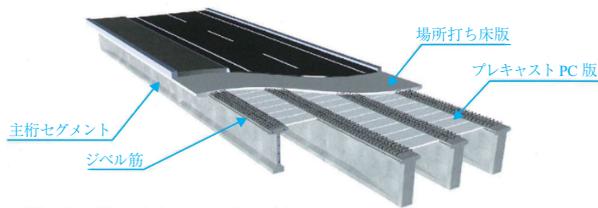


図 - 1 PC コンポ橋

(3) プレキャストセグメント工法

市街地などの大規模連続高架橋に対しては、現場付近に製作ヤードを設けて輪切りにした箱桁断面を製作、現場で接合・架設する工法が採用されている。この方式はプレキャストセグメント工法と呼ばれ、一定規模以上の工事量があれば品質面、経済性で優位性を発揮できる。セグメントの架設は、架設桁を用いて1径間ごとに接合・架設するスパンバイスパン架設工法や (写真 - 1)、架設桁や揚重機を用いて張出し架設を行う片持架設工法が採用されている。



写真 - 1 プレキャストセグメント工法 (スパンバイスパン架設工法)

(4) 部分プレキャスト化

プレキャストセグメント工法において、現場付近に製作ヤードを配備できない場合、工場製作のセグメントを現場に運搬して架設することがある。この場合、運搬重量の軽量化を図る必要があるため、断面の一部を場所打ち部材としたハーフプレキャストタイプの実績もある¹⁾ (写真 - 2)。

急速施工や品質向上を目的に主桁の一部にプレキャスト



写真 - 2 ハーフプレキャストタイプ

部材を用いた事例として、ウェブにプレキャストウェブを使用した箱桁橋²⁾ (写真 - 3)、プレキャストのストラットを用いたストラット付き床版箱桁橋も採用されている。

その他、支点付近を場所打ち中空床版、径間部をプレキャストプレテンション桁としたスプライス PC 橋 (写真 - 4) も開発され採用されている。



写真 - 3 プレテンションプレキャストウェブ



写真 - 4 スプライス PC 橋

(5) 鋼橋床版のプレキャスト化

鋼橋の床版部においても、主に急速施工を目的としてプレキャストPC床版(写真-5)が採用されている。一般に、床版としての断面力が卓越する橋軸直角方向はプレテンション方式によるPC構造、橋軸方向はプレキャスト部材をループ継手などで接合したRC構造とすることが多い。高い疲労耐久性を有するとともに、RC床版に比べて軽量化が図れるため、新設橋だけでなく、劣化した鋼橋のRC床版の更新工事に採用する事例が増加している。高速道路等の大規模更新を控え、さらなる合理化・省力化が望まれる技術である。



写真 - 5 プレキャストPC床版

2.2 橋梁下部工

PC建設の分野では、橋梁上部工以外にもPC工場を活用したさまざまなプレキャスト部材を製作し、省力化・合理化に取り組んでいる。ここでは、橋梁下部工のうちRC橋脚にプレキャスト部材を適用した事例を紹介する。

橋脚の施工は、渇水期による施工期間の制約、既設構造との近接施工による掘削の制約などを伴う場合が多い。また、耐震設計の変遷により配筋が過密化していることから、現場施工における品質確保、施工期間短縮が大きな課題となっており、プレキャスト化が有効な手段の一つとなる。

写真-6は、既設構造物が近接している条件下で、橋脚の全断面を輪切りにプレキャスト化し、現場で積み上げて施工した事例である。また写真-7は、脚高の高い円形の中空橋脚に対して、埋設型枠兼用のハーフプレキャスト部材を製作・架設し、中詰めコンクリートを打設して構築した事例である³⁾。



写真 - 6 プレキャスト橋脚



写真 - 7 ハーフプレキャスト橋脚

2.3 カルバート

(1) 大型プレキャストボックスカルバート

土中構造物にもプレキャストPC部材が利用されており、一例として大型プレキャストボックスカルバートがあげられる。従来からカルバートにはプレキャスト部材が使用されているものの運搬・敷設の制約から小規模な構造への適用が主であったが、近年、PC技術を活かした大型プレキャストボックスカルバートの技術が開発され採用事例が増えている。PC構造にすることで部材の薄肉化が図れ、PCセグメント桁の技術も応用した頂版部材のセグメント化により幅15mの構造も構築されている(図-2)。

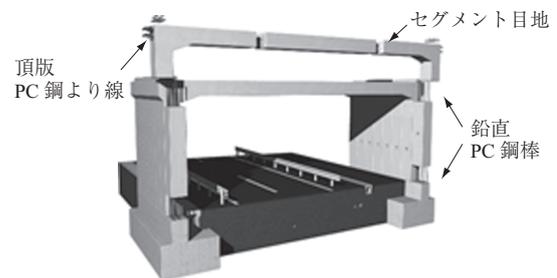


図 - 2 大型プレキャストボックスカルバート

(2) プレキャストアーチカルバート

土圧作用が大きい場合、通常の長方形型カルバート構造では合理的な設計が困難となる場合があり、アーチカルバートが採用される事例がある(図-3)。アーチ構造とすることで、部材には圧縮応力を卓越させることができ、コンクリート材料の優位性を活かせる。頂部の部材同士の接

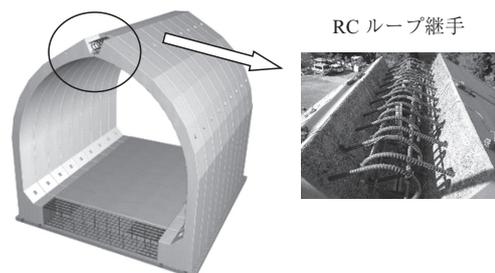


図 - 3 プレキャストアーチカルバート

合には、プレキャスト PC 床版などで実績の多いループ継手が採用されている。

2.4 防災構造物

(1) ロックシェッド, スノーシェルター

ロックシェッド (写真 - 8) や、スノーシェルターなどの防災構造物にもプレキャスト PC 部材が採用されている。また、シェルターのように道路全体を覆う規模の大きい構造物だけではなく、小さな雪崩を防ぐための簡易的な構造としてポケットスノーなどもあり、これらにもプレキャスト PC 部材が活かされている。

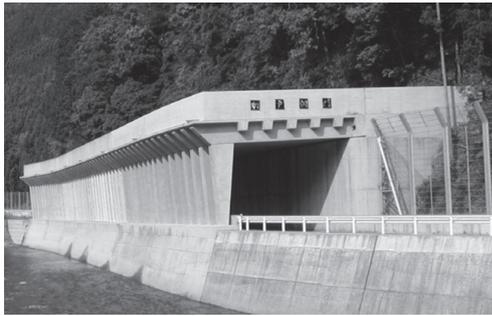


写真 - 8 ロックシェッド

(2) 津波避難人工地盤

先の東日本大震災の巨大津波の被害を踏まえ、近隣の高地への避難が困難な海岸地域では、PC 構造による津波避難用の人工地盤 (写真 - 9) の建設が進められつつある。PC 構造とすることで、柱間隔を広くすることが可能となり、津波の波圧作用面積を少なくできるだけでなく、人工地盤下の空間を有効に利用できる。また、PC 構造は剛性・じん性が高く津波に対して安定した構造が維持できるとともに、プレキャスト化によって大幅な工期の短縮と高い耐久性も確保できる。



写真 - 9 津波避難人工地盤

3. プレキャスト部材の接合部

3.1 橋梁上部工の接合部

(1) プレテンション桁と場所打ち部の接合部

プレテンション桁は、プレキャスト部材を架設した後、床版間詰め部や横桁などに場所打ちコンクリートを打ち込み、横方向にもプレストレスを導入して一体化させてい

る。場所打ちコンクリートとの一体性を確保するため、接合面のレイタンスや緩んだ骨材などを完全に取除し、充分吸水させてコンクリートを打ち込むなどの配慮が必要である。

(2) プレキャストセグメントの接合部

プレキャストセグメントの接合目地は、鉄筋が連続していないことから、設計荷重作用時に引張応力が生じないように設計されている。接合目地には、接合面に作用するせん断力を伝達し、また架設時のセグメント相互の接合を容易にする目的で、鋼製やコンクリート製の接合キー (せん断キー、写真 - 10) が複数設けられている。



写真 - 10 プレキャストセグメントのせん断キー

プレキャストセグメントの接合目地にはプレキャストコンクリート用樹脂系接着剤を塗布するのが一般的である。樹脂系接着剤には、従来から 2 液タイプのエポキシ樹脂系接着剤が用いられてきたが、最近では取り扱いやすい 1 液タイプのエポキシ樹脂系接着剤やアクリル樹脂系接着剤も使用されている。

(3) プレキャスト PC 床版の接合部

プレキャスト PC 床版の接合は、場所打ち部を設けてループ継手 (図 - 4) を用いる方法が一般に採用されている。間詰め部に用いる場所打ちコンクリートは、プレキャスト部材により収縮を拘束されるため、膨張材を混入した収縮補償用コンクリートとする場合が多い。

一方、床版取替え工事などプレキャスト PC 床版の軽量化が求められる場合、ループ継手筋の曲げ半径が制約となり部材の薄肉化が難しいことがある。またループ継手を用いた場合、床版架設時にループ継手筋とプレキャスト PC 床版の下面突出部が接触しないように注意が必要であること、ループ内への配筋が容易でないことが、施工上の課題として挙げられている。これに対し、ループ継手に代わる

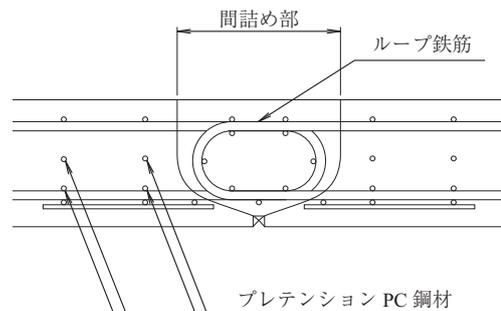


図 - 4 ループ継手

いくつかの合理化継手構造が提案され、部材の軽量化や施工性の向上を目指した開発が行われている^{4,5)}。

(4) PC コンポ橋の接合部

PC コンポ橋の床版部は、床版支間中央部においてPC板と場所打ちコンクリートが結合しPC合成床版として挙動することを前提としているため、PC板と場所打ちコンクリートの一体性を確保することが構造上重要となる。そこで場所打ちコンクリートとの接合面となるPC板上面の床版支間方向には、高さ4mmの凹凸(写真-11)を設けている。本接合構造を用いたPC合成床版は、輪荷重走行試験が実施されており、床版の疲労破壊直前まで一体性を保ち合成床版として挙動していることが確認されている⁶⁾。



写真 - 11 PC 板上面の凹凸

主桁とPC板の接合部は、主桁上フランジを切り欠いてPC板を敷設する構造となっている(図-5)。切欠き部は比較的薄いコンクリート部材でPC板を支持しており、多くの補強鉄筋の配置が困難である。そこで切欠き部を対象とした輪荷重走行試験を実施し、主桁とPC板の接合部が十分な疲労耐力を有することを確認している⁶⁾。

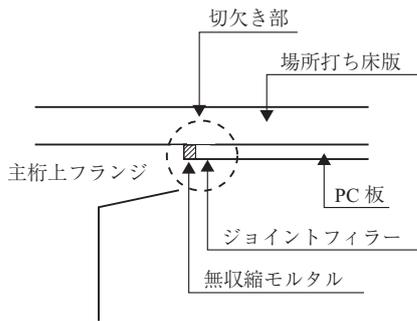


図 - 5 主桁とPC板接合部の構造

3.2 カルバート、シェッド

(1) カルバートの構造部材軸方向

カルバートの断面方向の接合は、PC接合とRC接合に分けられる。PC接合では、図-6に示すようにPC鋼棒を用いて接続し、プレストレスを与えることで継手面に圧縮力を作用させ剛結させる。プレストレスは接合面だけに有効とする設計もあるが、側壁部材を全体的にPC構造として設計する場合もありプレストレスを有効に活かした合理的な設計が可能となる。なお、接合部の位置は、断面力

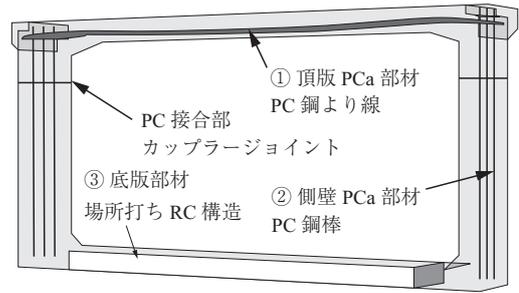


図 - 6 カルバートのPC接合

が卓越する隅角部を避けて側壁部材の上方に設けている。

鉛直部材がRC構造の場合、部材同士はモルタル充填継手などの機械式継手を用いる事例が多い。また、アーチカルバートのように頂部の接合部(図-3)やカルバートの隅角部にループ継手(図-7)を設け、RC接合とする場合もある。ループ継手は場所打ちコンクリートで接合するため、部材敷設時の施工誤差吸収にも適している。

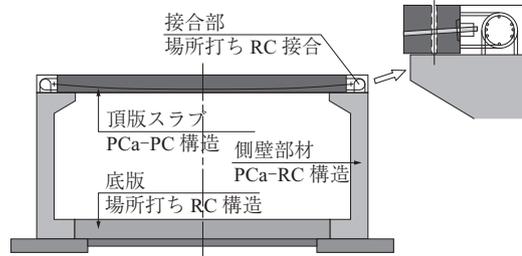


図 - 7 カルバートのループ継手

(2) カルバートの部材同士の接合

断面方向に一体化した後、組み立てられた部材同士を接合し、全体構造物を構築する。接合はPC鋼より線を用いて10~15mごとにまとめて行う場合と、敷設しながら1組ごとにPC鋼棒で引き寄せながら接合する場合がある。また、大型のカルバートでは底版を場所打ちコンクリートで施工することも多く、その場合10m単位に収縮目地を設け、底版コンクリートを一体化させて打ち込む場合が多い。

(3) シェッドの構造部材軸方向

ロックシェッドなどは、鉛直材と水平PC梁をピン接合で支持させる場合もあるが、大きな衝撃を受けることから、鉛直材と水平PC梁を鉛直材に配置されたPC鋼より線を用いてPC接合により一体化させる場合が多い。

4. 高耐久化・環境負荷低減効果

4.1 高強度コンクリートの使用

(1) 高強度コンクリート

一般的なPC橋に使用されている設計基準強度36~50 N/mm²より高強度のコンクリートをプレキャスト部材に採用する事例が近年増加している。この背景として、各種混和剤の高性能化とともに、2008年にPC技術協会(現PC工学会)から設計基準強度60~160 N/mm²のコンクリートを対象とした「高強度コンクリートを用いたPC構

造物の設計施工規準⁷⁾が発刊され、高強度コンクリートを使用したPC構造物を設計・施工できる環境が整ったことがあげられる。

高強度コンクリートは通常のコンクリートと比較して硬化体の組織が緻密であるため、劣化因子の侵入に対する抵抗性が高く、耐久性の向上が期待できる。高強度コンクリートを用いたプレキャストPCT桁橋の塩害環境下におけるライフサイクルコスト（以下、LCC）を試算した例では、設計基準強度120 N/mm²のコンクリートを用いた場合、50 N/mm²を使用した場合に比べ、初期コストは20%程度増加するが、100年後のLCCは40%程度低減できる結果が報告されている⁷⁾。

(2) 超高強度繊維補強コンクリート

モルタルに鋼繊維を混入し、設計基準強度が200 N/mm²に達する超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）は、2004年に設計基準強度150 N/mm²以上のUFCを対象とした「超高強度繊維補強コンクリートの設計施工指針（案）」⁸⁾が土木学会から発刊されたことから、橋梁などの構造物へ適用が進んでいる（写真 - 12）。

UFCは高強度であることに加え、鉄筋を配置しないため部材厚を薄くできること、W/Cが小さく緻密な材料特性により高い耐久性を有するといった特徴がある。UFCをプレキャスト部材に適用した場合、プレストレス量を増やして少主桁化や低桁高化することや、部材厚の薄肉化による軽量化や長支間化が図れる利点がある。



写真 - 12 UFCを用いたセグメント桁の事例

4.2 低炭素型セメントの使用

(1) 低炭素型セメントを用いたコンクリート

近年、低炭素社会の構築に向け、セメント生産時のCO₂排出量削減を目的としてセメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材に置き換えたコンクリートの利用が進みつつある。環境負荷に役立つだけでなく、高い耐久性も有することから各方面で研究が行われ、多くはプレキャストPC部材として採用されている。

(2) 高炉スラグ微粉末

高炉スラグ微粉末は、製鉄所の高炉より副生される高炉水砕スラグを微粉碎して製造される水硬性の混和材であり、高炉セメント原料やコンクリート混和材などとして広く使用されている。また、塩素イオンやアルカリイオンの固定能力が大きくなるため、水密性、化学抵抗性、耐海水

性、塩分遮蔽性、アルカリシリカ反応抑制などが向上するため、プレキャストPC床版など凍結防止剤の影響を受けやすい厳しい環境下で採用されている。

(3) フライアッシュ

石炭火力発電所で灰の粒子から精製されるフライアッシュをセメントに混合した場合、ポズラン反応が長期間継続するため長期強度が増進し、耐久性に富んだ構造物となる。とくにアルカリシリカ反応抑制効果は高く、JIS A 5308にも抑制対策としてフライアッシュセメントが示されている。また、水密性や化学抵抗性の向上にも寄与するため、海上橋に用いられた事例もある。

5. おわりに

プレキャスト部材を用いた構造物は、技能労働者不足に対する労務調達、合理化・省力化による生産性向上に寄与できるだけでなく、工期短縮、高品質化、工事の安全性向上および環境負荷低減効果など、多くの利点を有している。しかしながらこれまでは、主に初期コストの点で不利になると判断され、採用が見送られることも多々あった。今後は、構造選定の段階において、プレキャスト部材を用いた構造が適切に評価されるための環境整備が必要と考える。これは、初期コストだけによらない総合的評価手法の導入検討であり、省力化、工期短縮による社会的便益向上、環境負荷低減効果、耐久性向上などを客観的・定量的に評価する手法の確立である。

わが国の現在置かれている環境に対するニーズへの対応として、プレキャストPC部材がさらに積極的に活用されることを期待する。

参考文献

- 1) 諸橋 明, 河野信介, 齊藤謙一: プレキャストPC桁の製作・架設技術 — 市街地における大規模PC連続高架橋建設の合理化 —, プレストレストコンクリート, Vol.52, No.6, pp.57-64, 2010
- 2) 中須 誠, 柳野和也, 堤 忠彦: 新名神高速道路鎌ヶ瀬橋(上り線)の設計・施工, コンクリート工学, Vol.46, No.3, pp.32-37, 2008
- 3) 芦塚憲一郎, 黒川秀樹, 諸橋 明, 松原 勲, 水野克彦, 富山茂樹: 新名神高速道路武庫川橋(仮称)の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.49, No.3, pp.5-11, 2015
- 4) 阿部浩幸, 澤田浩昭, 大谷悟司, 原 健悟: 新しいRC接合構造を用いたプレキャストPC床版に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, pp.45-53, 2008
- 5) 表 真也, 吉松秀和, 中山良直, 松井繁之, 林川俊郎: 床版取替え用プレキャスト床版の合理化継手の開発, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.1169-1177, 2014
- 6) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室, プレストレスト・コンクリート建設業協会: コンクリート橋の設計・施工の省力化に関する共同研究報告書(Ⅱ) — PC合成げた橋(PC合成床版タイプ)に関する研究一, 1998
- 7) プレストレストコンクリート技術協会: 高強度コンクリートを用いたPC構造物の設計施工規準, 2008
- 8) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004

[2016年1月8日受付]