

# 新設 PC 構造物の高耐久化・長寿命化に関する最近の動向と研究

辻 幸和 \*

新設の PC 構造物の高耐久化と長寿命化に関して、耐久設計、プレキャスト化、高品質 PC グラウトとシースを採り上げ、最近の動向と研究についての筆者の考えていることを述べた。耐久設計では、その枠組、ISO の環境区分、かぶり部コンクリートの高品質化、200 年の耐用年数を有する PC 橋梁について、またプレキャスト化では、プレキャストセグメント工法、ループ継手を有するプレキャスト床版、PC 合成床版、プレテンションウェブ橋について、それぞれ例に採り解説した。

キーワード：PC 構造物、高耐久化、長寿命化、耐久設計、プレキャスト化、PC グラウト、シース

## 1. はじめに

コンクリート構造物の高耐久化や具体的な長寿命化について、近年は従来にも増して関心が高まっている。この状況は、PC 技術を適用した PC 構造物においても同様であり、むしろ RC 構造物よりも関心度が高い。これは、新設の PC 構造物だけでなく、PC が RC 構造物の機能を増すための補修・補強の分野でも有用な技術として適用されてきているためである。

本文では、新設の PC 構造物に限定して、その高耐久化や長寿命化に関する最近の動向と研究を解説する。とくに、耐久設計、プレキャスト化、高品質 PC グラウトとシースを採り上げ、それらの動向と研究について、PC 構造物の高耐久化や長寿命化を目指す視点から述べる。

## 2. 耐久設計

PC 構造物にかぎらず、コンクリート構造物の維持管理に要する費用は今後増加する。施設や構造物を造るよりは運用する時代に入ったともいわれ、アセットマネジメントの手法により、維持管理のシステムを効率化する研究や新たなシステムの開発が活発化している。

PC 構造物についても、新設や既存の構造物を性能評価する手法とともに、予防保全を含めた補修・補強などの技術の開発を進めて、耐久性の向上を図り、将来の維持管理に負担が少なくなる耐久設計の手法を確立することが急がれている。そのためには、材料の選定から設計、施工、維持管理に至る過程において、総合的かつ定量的に検討してい

かなければならない。

### 2.1 耐久設計の枠組

土木学会では、1989 年に「コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」<sup>1)</sup>を、そして 1995 年にはその改訂版の「コンクリート構造物の耐久設計指針（案）」<sup>2)</sup>を刊行している。その中では、耐久設計の概念を統一して、具体的に定量化した環境指数と耐久指数を、限界状態設計方法の断面力と耐力にそれぞれ対応させ、それらを定量的に比較して評価する枠組が提案された。この枠組は、その後のコンクリート標準示方書の〔施工編〕や〔維持管理編〕に引き継がれている。

耐久設計において、RC 構造物と比較した PC 構造物の大きな特徴は次のようである。すなわち、PC が RC に比べて高い設計基準強度のコンクリートを採用していること、および応力腐食が生じやすい PC 鋼材についても鉄筋とともに、その発錆を有効に防止することの 2 つの視点が重要である。

### 2.2 環境区分

構造物の性能評価や劣化機構の判定を行う場合には、構造物の置かれている環境区分の特定が重要である。2007 年 4 月に制定された ISO 22965（コンクリートの仕様、性能、製造および適合性）では、Part 1（コンクリートの仕様方法および仕様購入者への指針）附属書 A（参考）にも、表 1 に示す環境区分が示されている。考慮すべき環境区分は、X0, XC, XD, XS, XF, XA の記号で表示され、以下のように大別されている。

環境区分の X0 は、建物の内部のように低湿度で、鋼材の腐食や凍結融解作用、海水あるいは化学物質の侵食などの劣化外力が作用しない状態を表している。

中性化に起因する鋼材の腐食（XC）に関しては、3 区分されている。XC 1 は、低湿度の建物の内部のような乾燥状態である。また XC 2 は、水密性の構造物の一部や大部分の基礎構造物のように、まれに乾燥するが通常は湿潤状態に保たれている状態である。XC 3 は、中程度の湿度あるいは高湿度の建物の内部等のような湿潤状態、および湿潤状態と乾燥状態の繰返し状態である。

塩化物による鋼材の腐食に関しては、海水以外のたとえ



\* Yukikazu TSUJI

群馬大学大学院 工学研究科  
社会環境デザイン工学専攻 教授  
本協会理事

表 - 1 環境区分

環境区分	環境の説明
鋼材の腐食, 侵食とも無し	X0 鋼材が配置されていない: 凍結融解作用, 海水あるいは化学物質の侵食などの劣化外力が作用しない状態
	鋼材が配置されている: 非常に低湿度
中性化に起因する鋼材の腐食	XC1 低湿度あるいは水中
	XC2 湿潤状態で, まれに乾燥
	XC3 適度な湿潤状態 湿潤と乾燥の繰返し状
海水以外の塩化物による鋼材の腐食	XD1 適度な湿潤状態
	XD2 湿潤状態で, まれに乾燥
	XD3 湿潤と乾燥の繰返し状態
海水による鋼材の腐食	XS1 海岸に面するものの海水に直接接しない状態
	XS2 常時海水中
	XS3 干潮帯や飛沫帯
凍結融解作用	XF1 中程度の湿潤状態で凍結防止剤がない状態
	XF2 中程度の湿潤状態で凍結防止剤がある状態
	XF3 十分な含水状態で凍結防止剤がない状態
	XF4 十分な含水状態で凍結防止剤がある状態
化学的侵食 <sup>1)</sup>	XA1 化学的侵食の程度が軽微
	XA2 化学的侵食が中程度
	XA3 化学的侵食が著しい

1) 地下水中では,  $\text{SO}_4^{2-}$ の量, pHの値,  $\text{CO}_2$ の量,  $\text{NH}_4^+$ の量および  $\text{Mg}^{2+}$ の量による区分により, また土中では,  $\text{SO}_4^{2-}$ の量と酸の濃度による区分によって分類されている。

ば凍結防止剤による塩化物に起因するもの (XD), および海水に起因するもの (XS) に細分されている。そして XD は, 塩化物を含む物質に直接接するコンクリート構造物の表面のような湿潤状態の XD 1, スイミングプールや塩化物を含む産業用水に接するコンクリートのように乾燥がまれな湿潤状態の XD 2 と, 橋梁, 舗装, 駐車場のスラブの一部のように湿潤と乾燥が繰り返される XD 3 の3区分に分類されている。

また XS としては, 海岸の近くにある場合のように海水に直接接しない状態の XS 1, 常時海水中の XS 2, および干潮帯や飛沫帯の XS 3 に, 同じく3区分に分類されている。

凍結融解作用に関するもの (XF) としては, コンクリートが中程度の湿潤状態で塩化物がない状態の XF 1, 塩化物がある状態の XF 2, 十分な含水状態で塩化物がない状態の XF 3, 塩化物がある状態の XF 4 に, それぞれ分類されている。

化学的侵食 (XA) としては, 程度が軽微な XA 1, 中程度の XA 2, 著しい場合の XA 3 の3区分されている。それぞれ, 水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ の量, 地中の  $\text{SO}_4^{2-}$ の量, pHの値, 水中の  $\text{CO}_2$ の量, 水中の  $\text{NH}_4^+$ の量, および水中の  $\text{Mg}^{2+}$ の量から定まる3区分に分類されている。

このような環境区分は, その区分名称のたとえば XS 2 とともに, 欧州では実用分野だけでなく技術研究発表の場でも, 一般に用いられている。ISO 規格の中でも, この環境区分は今後ますます尊重されてくることになる。

### 2.3 かぶり部コンクリートの高品質化

RC 構造物においては, 強度からの要請よりも耐久性の向上を図るために, 使用するコンクリートについては, 水

セメント比を減少させること, あるいは単位セメント量を増加させることが, 配合設計においてとくに留意されている。すなわち一般の RC 構造物では, 強度については十分に発揮されるが, 耐久性が不足しているコンクリートが多いのである。

これに対して PC 構造物では, 開発された当初より水セメント比の小さい設計基準強度の高いコンクリートを用いている。さらに高強度化と高緻密化が図られていることにより, RC 構造物のように耐久性の向上の観点からコンクリートの配合上の配慮を行うことはほとんどないのである。

むしろ PC 構造物では, 低い水セメント比で多い単位セメント量のコンクリートが保有する塩化物イオンや炭酸ガス等についての優れた遮へい性および難透水性を最大限に利用して, いわゆるかぶり部コンクリートの耐久性についての性能を正当に評価する研究が重要となっている。その際, RC 構造物に比べて圧縮応力を受ける場合が多い部位においては, 有害成分の遮へい性が優れるといった, 応力場についてのコンクリートの適切な耐久性の評価がなされるべきである。

耐久設計を適用した例として, 碓氷橋をあげたい (写真 - 1)。碓氷橋の計画・設計の当時は, コンクリートクライシスがマスコミに大々的に取り上げられた時期であった。また建設地が寒冷地で凍結融解作用が厳しいこともあり, 当初は主塔には塗装をする案も出されていた。「コンクリート構造物の耐久設計指針 (試案)」<sup>1)</sup>に基づいて, 主塔や主桁に用いるコンクリートの耐久性能を検討し, 透水性枠も併用するなどのコンクリートの施工にも工夫を凝らすことで, 50年間メンテナンスフリーとなる条件を満足できることが提案された。そして, 主塔に塗装する案を採用しないこととなった<sup>3)</sup>。建設後約15年を経過したが, もし塗装をしていた場合にはその再塗装などの検討が必要になっている時期である。

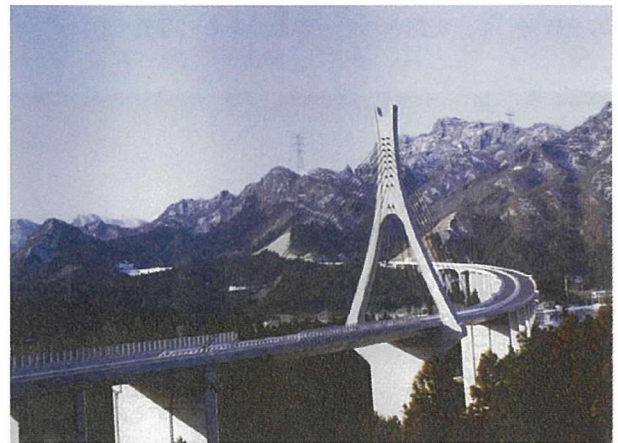


写真 - 1 碓氷橋<sup>3)</sup>

また高緻密な埋設型枠を適用することも有用である。形状寸法が複雑なため, 型枠と兼用する方法である。高耐久化が図れるとともに, 優れた景観を醸し出している。用いるコンクリートは, 充てん性の良好な高流動コンクリートである (写真 - 2)。





写真-2 木場公園大橋

#### 2.4 200年の耐用年数を有するPC橋梁

PC橋梁の設計耐用期間は、50年、100年などといわれている。土木学会のコンクリート標準示方書においても、限界状態設計法が採用されて、設計耐用期間をまず明示してから設計や施工を始めることが、明確に規定されてきている。また、すでに建設されている構造物の維持管理についても、性能照査型の示方書においては、設計耐用期間を明示することが規定されている。そして、今後の社会基盤施設の整備状況を勘案すると、設計耐用期間はより長く設定される傾向になる。

本州四国連絡高速道路(株)では、塩害環境下にある海峡部鋼長大橋に連続する取付けPC高架橋については目標とする耐用年数を200年とした長寿命化の取組みがすでになされている<sup>4)</sup>。定量的なデータに基づく予防的保全のシステムを確立して、実施されているのである(写真-3)。



写真-3 与島高架橋

このような200年あるいは300年の耐用年数をもつ構造物を、PCは少ない費用、時間と手間によって達成できる可能性が充分ある構造形式である。そして、このような高耐

久性を有するPC橋梁を構築し、維持管理するためには、PCに用いるコンクリートの緻密性に注目して、塩化物イオン濃度や中性化深さなどの実測データを蓄積すること、そしてデータに基づく予防保全を確立していくことが重要である。

### 3. プレキャスト化

一段と進む建設業界の省人化と生産性の向上方法として、プレキャスト化を導入して現場工数を減らす努力がますます盛んになってきている。PC構造物の建造においても、労働環境の改善、安全性の向上、急速施工および品質の均一性を図るため、プレキャスト化は、今後ますます推進されることになる。そして、このようなPCのプレキャスト化は、コンクリートの高強度化とともに高緻密化を容易に図ることができ、均質化も容易であることから、PC構造物の高耐久化を図る有力な手法でもある。

プレキャスト化を推進するためには、プレキャスト部材の接合方法において、プレストレス力に依存するだけでなく鉄筋あるいは部材も接合して、PRC構造として建造するために必要な研究開発を行わなければならない。軸方向鉄筋が接合面において連続していないことにより、曲げひび割れ性状や斜めひび割れ性状などが低下することを解消させて、経済性を高めることである。その場合には、接合部のせん断キーの形状寸法とその構造詳細、接着剤の種類や品質と施工方法、ならびに鉄筋同士あるいは部材としての接合方法等について、接合面に導入するプレストレス量等とともに解明していかなければならない。

#### 3.1 プレキャストセグメント工法

プレキャストセグメント工法は、1965年頃にわが国においても実用化され、多くの長大橋がこの工法で架設されたが、経済性の面からその後適用例が少なくなっていた。しかし1997年に松山自動車道の延長が約1.9kmで重信高架橋が完成し、高速道路に本格的に採用された。そして、高速道路への大規模な適用例が目ざされている。

この工法は、桁の製作や貯蔵のために必要なヤードの確保とともに、運搬が可能なセグメントの質量が、経済性や施工性を大きく左右させる。とくにセグメント1個の最大質量は、伊勢湾岸自動車道の弥富高架橋で80tであったが、木曾川橋と揖斐川橋では500tと巨大化した<sup>5)</sup>。セグメントの軽量化を図ることが、今後の課題と考えられる。

リブ付き床版を採用するとともに、コンクリートの高強度化、および張出し部への側壁に代えて斜めストラットによる支持方式を採用することなどが試みられている。そして、一般道を介してトレーラーによる運搬が可能となる質量の30t以下のセグメントへと軽量化が図られてきた。伊勢湾岸自動車道の延長が約1.5kmの古川高架橋は、その最初の試みであった。U形コア断面とリブ構造に加え、設計基準強度が60N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートを採用することにより、軽量化が図られた(図-1)。

同じく伊勢湾岸自動車道の上和会高架橋においては、セグメントを1主箱桁ごとに分割して製作・運搬している<sup>6)</sup>。そして、架設時に場所打ちにして2主箱桁に連結する構造

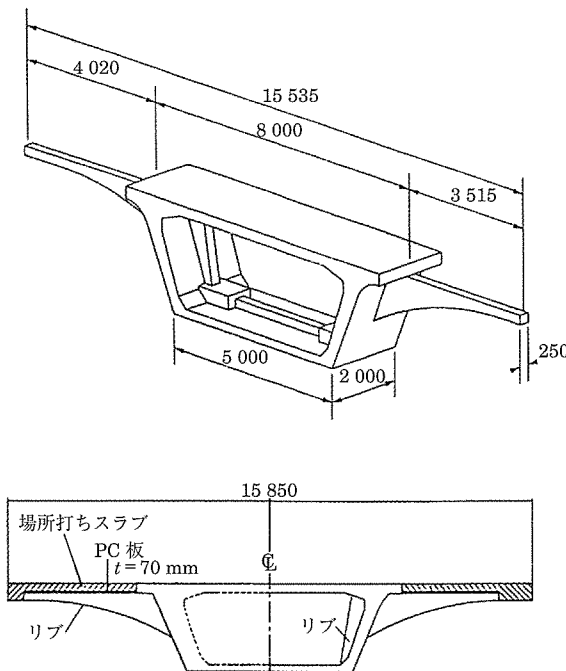


図-1 古川高架橋の1ブロック<sup>5)</sup>

を採用することにより、1個のセグメントの軽量化を図っている。

また断面分割したプレキャストセグメント工法を採用して、セグメントの軽量化も図っている。この工法は、広幅員の橋梁に有力である。すなわち、中央断面をプレキャストセグメントとして製作し架設した後に、残る張出し床版部分を場所打ちする工法である。この工法の採用により、セグメント1個の質量を20~30%軽量化している。

この工法では、等間隔に配置した斜めストラットにより張出し床版を支持する方法が一般に採用されている(図-2)。ストラットには、鋼製およびコンクリート製のいずれかが用いられている。第二東名高速道路では、芝川高架橋<sup>7)</sup>、内牧高架橋<sup>8)</sup>、実原高架橋などが建設された。その後も、10橋程度の建設が計画され、実施されている。

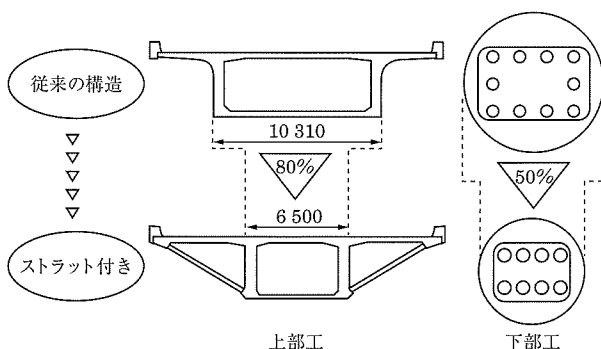


図-2 ストラットの使用による断面寸法形状の縮減<sup>7)</sup>

### 3.2 ループ継手を有するプレキャスト床版

プレキャスト床版には、橋軸直角方向にプレストレスを導入するPC床版および導入しないRC床版に大別される。

いずれのプレキャスト床版においても、間詰め部の形状寸法、ループ筋などの配置方法等が継手部の力学的性状に及ぼす影響については、すでに多くの研究成果が報告されている<sup>9,10)</sup>。RCプレキャスト床版における間詰め部の形状寸法の例を図-3に示す。厚さが230mmのRCプレキャスト床版パネルを2枚1組として設置し、その中間に間詰め部を設けている。RCプレキャスト床版が、現場において後打ちされる橋軸方向の間詰めコンクリートを介して一体となるため、間詰めコンクリートの種類、継手部の状態が完成時の橋梁の品質を大きく左右することになる。

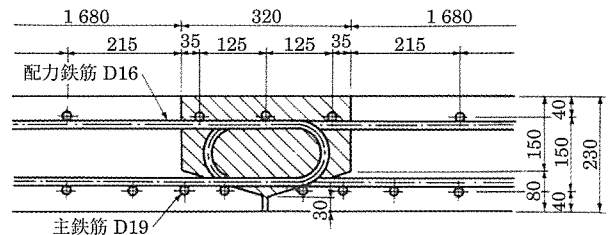


図-3 ループ継手を有するプレキャスト床版<sup>12)</sup>

このような継手部の性状を間詰め部に用いる収縮補償用の膨張コンクリートの品質とループ筋等による膨張の拘束性状に関連させて検討した報告もなされてきた<sup>11,12)</sup>。現在一般に採用されている大きな特徴は、図-4に示すように、①橋軸方向の継手部にループ筋を用いていること、②間詰めコンクリートの型枠を兼ねて下部にアゴの部分有していること、③間詰め部には収縮補償用膨張コンクリートが用いられていることである。

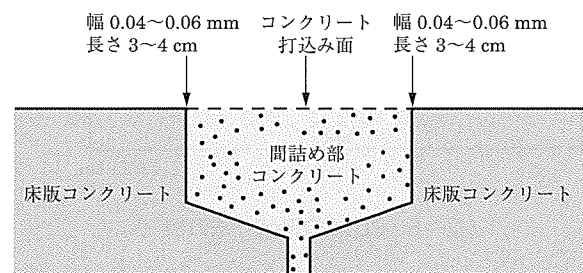


図-4 ループ継手部の形状と界面のひび割れの例<sup>12)</sup>

ループ筋とそれに直角方向に配置される主鉄筋が錯綜するため、また接合部の長さの短縮化や形状の簡略化を図るなどのために研究開発が活発になされてきた。これらの開発においては、間詰め部の収縮補償用膨張コンクリートが主としてループ筋により橋軸方向に確実に拘束されて、プレキャスト床版との打継面にケミカルプレストレスと鉄筋の膨張率であるケミカルプレストレスと鉄筋の膨張率とを一致させるための視点が不可欠である。すなわち、間詰め部における橋軸方向の膨張性状は、ループ筋による内部拘束状態と考えられる。ループ筋は端部を切断した直線状の鉄筋より拘束作用が大きいが、膨張コンクリートの材齢初期における拘束においてはループの形状は大きく寄与しないと考えた方がよい。ループの形状寸法が不適切であり、ループ筋の直線部が短い場合には、これらの付



着力による膨張作用の拘束が不十分になり、膨張コンクリートだけが膨張して、ループ筋に導入されるケミカルプレストレインが不十分となる。このような状態の程度は、膨張エネルギーの大きさにも影響される。

そのため、間詰め部にも橋軸直角方向に主鉄筋を配置して、この方向の膨張も拘束することにより、ループ筋の付着による膨張の拘束を有効に生じさせることが必要となる。プレキャスト床版の打継面の摩擦による橋軸直角方向の拘束も期待できるが、この拘束を期待するためには、主鉄筋との協働による拘束作用についても十分な検討が必要である。そして、収縮補償用膨張コンクリートの品質に応じた適切なループ筋の形状寸法とそれに直角方向に配置される主鉄筋の量と配置方法は、実験等により選定することが重要である。

### 3.3 PC 合成床版

ハーフプレキャスト PC 部材を用いた、合成床版、合成梁、合成柱も注目される。とくに、PC 合成床版は、プレキャストコンクリート製品である PC 板と現場打ちコンクリートが一体化されて、合成構造となった床版工法である。この工法の特徴は、① PC 板は工場で製造され、運搬されて、現場に敷設された後の現場打ちコンクリートの打込み時に、支保工が不必要な型枠にもなり、施工の省力化や短縮化ができること、② PC 板はプレストレスが導入され、PC 板が引張領域にあれば、そのひび割れ耐力は通常の鉄筋コンクリート床版と比較して著しく増加し、床版の耐久性や耐疲労性の向上が図れること、などがあげられる。

「PC 合成床版工法設計施工指針（案）」は、すでに 1987

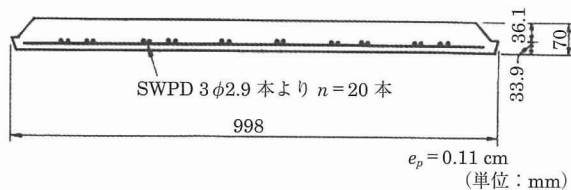


図 - 5 PC 板の形状寸法の例<sup>13)</sup>

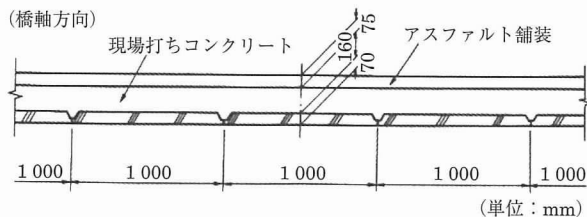
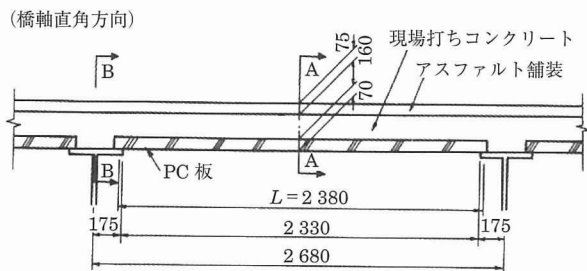


図 - 6 PC 合成床版の例<sup>13)</sup>

年 3 月に土木学会において制定されている<sup>13)</sup>。支保工や型枠を兼用させ、構造部材の一部として機能させるものである（図 - 5, 6）。図 - 1 の古川高架橋にも採用された。

これらハーフプレキャスト PC 部材は、施工の合理化や迅速化を主目的に採用される（写真 - 4, 5）。耐久性の向上および景観に優れた構造物を目指しても、今後とも多くの分野へ実用されることが望まれる。



写真 - 4 改修された聖橋（高崎市）

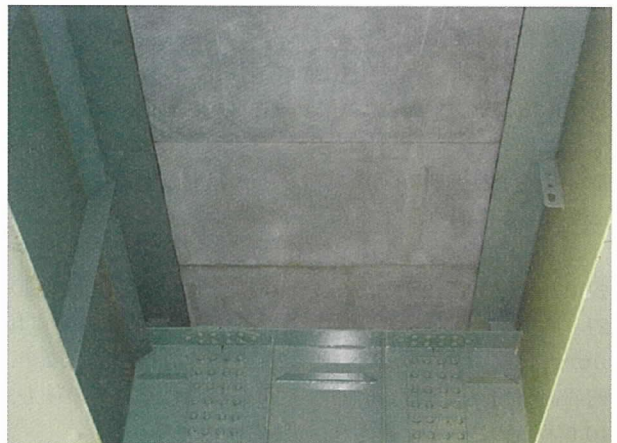


写真 - 5 聖橋の PC 板

### 3.4 プレテンションウェブ橋

プレテンション方式により製作した PC 部材を、PC 橋梁のウェブに適用する構造形式の開発が進められている。2003 年 11 月には、「プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン（案）」<sup>14)</sup>が発刊されている。プレテンションウェブ橋とは、図 - 7 に示すように、場所打ち施工される PC 箱桁橋のウェブを、工場等で製造されるプレテンション方式

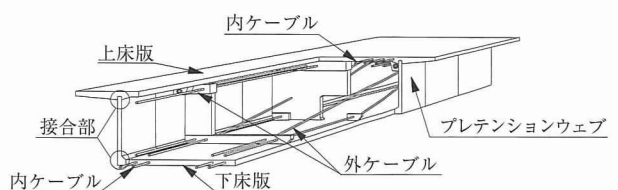


図 - 7 プレテンションウェブ橋の概念図<sup>14)</sup>

のプレキャストウェブに置き換えた合成桁橋である。波形鋼板ウェブやPC複合トラスの鋼管のように定期的な塗装が不要であり、耐久性にも優れている構造形式である。

高強度コンクリートを使用したプレテンション部材をウェブに用いることで、PC箱桁に高いせん断抵抗性が付与されるためウェブ厚を減じることが可能となり、主桁自重の軽減を図ることができる。このため、上部構造だけでなく下部構造の規模縮小にもつながり、橋梁建設の低コスト化が期待できる。また、ウェブにプレキャスト部材を使用することでウェブの高品質化が図られるとともに、ウェブ施工のための型枠作業、コンクリートの打込み作業などが省略され、現場施工の省力化に寄与する。その適用支間は、一般のPC橋と同様と考えてよい。ただし、質量が軽減されるため、架設方法によっては、より長い支間でも適用可能となる場合がある。

このほか、一般のPC橋のウェブには鉛直締めが採用されるポストテンション方式に対し、プレテンション方式を採用することにより、グラウト作業が不要になるなど、現場施工の省力化や耐久性の向上も期待できる。このように、プレテンションウェブ橋は施工性・構造的な面で優れた特性を有しており、PC橋の高品質化、軽量化、施工の省力化とともに、耐久性の向上に大きく役立つものである。そして、その実用が始まっている<sup>15)</sup>。

なおプレテンションウェブ橋は、工場等で製作されるプレテンションウェブと場所打ち施工される上・下床版で構成されるため、一般のPC橋とは異なる構造特性を示す。構造計画、設計および施工にあたっては、軽量化のメリットおよびプレテンションウェブの運搬・架設など、プレテンションウェブ橋特有の次の事項を考慮する必要がある。

#### (1) ウェブと上・下床版の接合、およびウェブ同士の接合

プレテンションウェブと上・下床版の接合部は、ずれ止め鉄筋とコンクリートせん断キーを併用する構造とし、両者の一体化を図る。すなわち、プレテンションウェブと上・下床版の接合部は、本構造を成立させるうえで、もっとも重要な部分である。この接合部の典型的な例を図-8に示す。この例では、ウェブと上・下床版との接合位置をそれぞれ床版内に設けている。そして、両者の接合部は、ずれ止め鉄筋とコンクリートせん断キーを併用して接合するのが合理的である。

ウェブとウェブの接合方法は、プレテンションウェブのウェブ厚が一般のPC橋よりも薄くなることを考慮すると、コンクリート多段接合キーを標準としている。そして、コンクリートせん断キーと橋軸方向プレストレスによる摩擦力により抵抗させることになる。なお、ウェブ同士の接合部の設計にあたっては、道路橋示方書のせん断キーの設計方法に準拠している。

#### (2) 付着定着長

プレテンション方式による場合、付着定着長を必要とすることから、部材端部にプレストレスを有効に導入することが困難となる。このため、インデント加工されたPC鋼材の使用、くさびやグリップなどによる機械定着との併用などが考えられる。さらに、近年、SD 785などのPC鋼棒

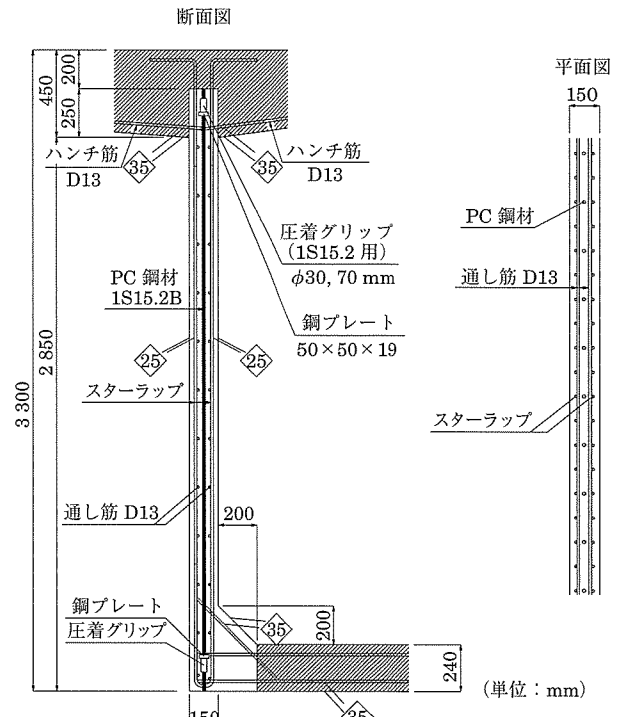


図-8 プレテンションウェブと上・下床版の接合部の例<sup>14)</sup>

クラスの降伏点強度を有する高強度鉄筋も実用化されており、付着性状の優れた高強度異形鉄筋を緊張材として利用することも有効である。

#### (3) 設計と施工

設計にあたって通常のPC箱桁の設計と異なる点は、主方向の設計において、①ウェブと上・下床版のコンクリートの材齢が異なることから、クリープ・収縮による内部応力の影響を考慮することと、②ウェブの供用限界状態を検討する際に、斜め引張応力だけでなく、斜め圧縮応力に対する照査も行うこと、③その際に主方向（橋軸方向）の曲げモーメントによる影響に加えて、箱桁としての横方向の曲げモーメントの影響を加算すること、④ウェブ厚の減少に伴う床版やウェブの変形について照査することがあげられる。②の斜め圧縮応力に対しても照査を行うのは、ウェブを過小に薄くしないためである。また、③の横方向曲げモーメントの影響を加算する場合、活荷重による応力度の1/2を考慮することとしている。このように1/2に減じているのは、主方向と横方向で想定する活荷重の載荷状態が異なることを配慮したためである。そして、プレテンションウェブ橋では最小ウェブ厚を150 mmと考えているため、④の薄いウェブ厚に伴う変位や変形量の増加を照査しておくことが必要となる。

プレテンションウェブ部材は、セパレート方式にて製作することを標準としている。セパレート方式の製作方法については、既存のプレテンション工場の製作設備を利用して製作する方法と、架設現場付近に製作設備を設置した製作ヤードを設ける方法がある。

表 - 2 高性能 PC グラウトの要求性能

要求性能		標準値
① ダクト内の 充てん性	流動性	流下時間の範囲は、あらかじめ試験により求める
	ブリーディング率	0 %
	膨張・収縮率	- 0.5 % ~ 0.5 % を標準, 0 % ~ 0.5 % が望ましい
② 部材コンクリートと緊張材を一体化させる付着強度	圧縮強度	30 N/mm <sup>2</sup> 以上を標準, 部材コンクリートの圧縮強度以上が望ましい
	有害となる残留空気	シースのリップ部断面積程度より少ない量
③ 鋼材の耐腐食性	塩化物イオン総量	0.30 kg/m <sup>3</sup> 以下

#### 4. 高品質 PC グラウトとシース

PC グラウトに要求される性能としては、表 - 2 に示すものがある。すなわち、① ダクト内の充てん性、② 部材コンクリートと緊張材を一体化させる付着強度、さらに③ 鋼材の耐腐食性が、要求性能として選定される<sup>16)~19)</sup>。

① ダクト内の充てん性は、注入方法にも関連するが、PC グラウトの流動性、ブリーディング率 (0 % を標準とする)、および膨張・収縮率 (- 0.5 ~ 0.5 % を標準とするが、0 ~ 0.5 % が望ましい) で設定してよい。PC グラウトの流動性については、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕では、JP 漏斗による流下時間が、高粘性型で 14 秒以上、低粘性型で 6 ~ 14 秒、超低粘性型で 6 秒以下に分類されており、それぞれの流下時間の範囲で選定することになる。

② の部材コンクリートと緊張材を一体化させる付着強度は、圧縮強度で代用して設定される。そして、30 N/mm<sup>2</sup>以上を標準とするが、部材コンクリートの圧縮強度以上が望ましい。部材コンクリートの高強度化に伴って、PC グラウトの高強度化が要請されている。

① と ② についての照査方法は、初回の型式試験では、実際の構造物または部材と同等の構造条件および施工条件を有する施工実験を行うことが原則である。そして、仕様で規定している性能については、それぞれの表 - 3 に示す土木学会規準や JHS に準じた試験方法により照査することとし、その後の施工時の性能確認試験や品質管理試験には、

表 - 3 PC グラウトの品質試験方法 (土木学会規準, JHS)

土木学会規準および JHS 番号	規準のタイトル
JSCE-F 531-1999	PC グラウトの流動性試験方法
JSCE-F 532-1999	PC グラウトのブリーディング率および膨張率試験方法 (ポリエチレン袋方法)
JSCE-F 533-2007	PC グラウトのブリーディング率および膨張率試験方法 (容器方法) (案)
JSCE-G 531-2007	PC グラウトの圧縮強度試験方法
JSCE-F 546-1999	傾斜管によるプレバックドコンクリートの注入モルタルおよび PC グラウトのレオロジー定数試験方法 (案)
JHS 419-2004	PC グラウトの材料分離抵抗性試験方法
JHS 420-2004	PC グラウトのブリーディング率及び体積変化率試験方法 (鉛直管方法)

同じ試験方法を用いる。

要求性能の ③ についての鋼材の耐腐食性は、PC グラウトにおける腐食性物質の含有を制限するもので、練混ぜ時に PC グラウト中に含まれる塩化物イオン量の総量で設定される。塩化物イオンの総量は、できるだけ少ないほうが良い。近年緩和された許容値が規定されているものの、プレテンション方式との整合も図って、部材コンクリートと同様な 0.30 kg/m<sup>3</sup> 以下を原則とするのが良い。その照査方法としては、練混ぜ時に PC グラウトに含まれる鋼材腐食性物質の含有量を試験するかまたは推定すること、あるいは練混ぜ時に含まれる塩化物イオンの総量を所定の試験方法で求めることとしている。ただ後者の試験方法として JIS A 5308-1998 附属書 5 (規定) (フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法) を準用するとしても、ノンブリーディングタイプの PC グラウトではブリーディング水が得られないため、PC グラウト中の水をべつな方法で求める考案をしなければならない。

高耐久性を有する PC 構造物を構築し、維持管理するためには、このような高品質 PC グラウトの要求品質を、その役割に対応させて達成しなければならない。とくに、内ケーブルの PC グラウトに関する要求品質である。そのためには、セメントをベースに用いて、前述した要求品質を達成する PC グラウトに関する材料、製造方法、品質試験方法、充てん性能評価方法、PC グラウトの注入方法、ならびにこれらの品質管理システムについて、これまでの研究、開発、発展の経緯および今後の課題を理解しなければならない<sup>20)~24)</sup>。

また、鋼製に代えてプラスチック製のシースが使用されている。シースの発錆を防ぎ塩化物イオンの侵入を防止するうえで有効な方法である。しかしながら、プラスチック製のシースは鋼製のものに比べてヤング係数が小さいため、薄い層ではあるが、シース部分の変形が周囲の部材コンクリートや PC グラウトに比べて大きくなる。このことと関連して、① PC 鋼材とコンクリートとの一体性を確保する視点から部材の力学的性状に及ぼす影響について、② 100 年を超える長期供用時におけるプラスチック製シースの耐久性の保証について、③ もし耐久性の保証が得られないケースではシースを介しての PC グラウトと部材コンクリートとの付着を低減して、あるいは考慮しないで設計することについて、それぞれ十分に検討する必要があると思われる。

#### 5. あとがき

PC 構造物の高耐久化と長寿命化に関して、耐久設計、プレキャスト化、高品質 PC グラウトとシースを採り上げ、最近の動向と研究についての筆者の考えていることを述べた。採り上げるべき項目がまだ残されているとともに、今後の展望には課題を列挙しすぎたが、更なる発展のために必要なことと考え、あえて強調した。それぞれご容赦願いたい。

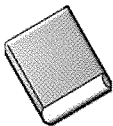
本文を作成するにあたり、多くの論文・解説・技術資料を参考にさせていただいた。論文・解説・技術資料の著者

の各位に対し厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針（試案），コンクリート・ライブラリー第65号，平成元年8月
- 2) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針（案），コンクリート・ライブラリー第82号，平成7年11月
- 3) 日本道路公団東京第二建設局富岡工事事務所：上信越自動車道碓氷橋工事誌，2003.3
- 4) 都留和彦，竹内 右，帆足博明：塩害環境下にあるPC橋への取組，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.1，pp.76～83，Jan.2003
- 5) 小川篤生：高速道路橋におけるPC橋の技術開発状況と今後の展開，特別講演Ⅱ，第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.15～22，1998.10
- 6) 池田，今泉，上野，鈴木，大野，若林：市街地における新たなプレキャストセグメント橋の設計と施工—第二東名高速道路上和会高架橋・安城高架橋—，橋梁と基礎，pp.5～14，2004.9
- 7) 寺田典生，三浦純夫，福永靖雄，中島豊茂：芝川高架橋の設計と施工—ストラットを有するPC連続桁橋—，橋梁と基礎，pp.2～8，2003.9
- 8) 源島良一，宇佐美悠，竹房秀一，齋藤公生：第二東名高速道路内牧高架橋の設計・施工—断面を分割架設するストラット付PC箱桁橋—，プレストレストコンクリート，Vol.48，No.5，pp.10～18，Sep.2006
- 9) 前田研一，橘 吉弘，柳澤則文，志村 勉，梶川康男：合成桁斜張橋・プレキャスト床版の設計法とループ状重ね継手の耐久性に関する研究，構造工学論文集，Vol.36A，pp.1305～1312，1990.3
- 10) 前田研一，志村 勉，橘 吉弘，越後 滋：プレキャスト床版合成桁斜張橋の設計と施工，土木学会論文集，No.522 / VI—28，pp.57～67，1995.9
- 11) 小森 武，森山陽一，佐藤 徹，辻 幸和：RCプレキャスト床版の間詰めコンクリートに関する一考察，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集Ⅵ，pp.46～47，1995.9
- 12) 辻 幸和：ループ継手を有するプレキャスト床版の間詰め部に用いる膨張コンクリート，プレストレストコンクリート，Vol.44，No.3，pp.18～22，May2002
- 13) 土木学会：PC合成床版工法設計施工指針（案），コンクリート・ライブラリー第62号，昭和62年3月
- 14) (社)プレストレストコンクリート技術協会：プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン（案），pp.66，CD-ROM付，2003.11
- 15) 中須 誠，柳野和也，堤 忠彦：新名神高速道路 錐ヶ瀬橋（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
- 16) 辻 幸和：PCグラウト技術，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.6，pp.43～49，Nov.2003
- 17) 辻 幸和：PCグラウトの最新の製造・注入技術，橋梁と基礎，pp.78～83，2005.8
- 18) PCグラウト&プレグラウトPC鋼材（2002年版），プレストレスト・コンクリート建設業協会，2002
- 19) PCグラウトの設計施工指針，プレストレストコンクリート技術協会，2005.12
- 20) SSEE協会グラウト特別分科会：PCグラウトの練混ぜ方法に関する基礎研究，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.1，pp.90～96，Jan.2003
- 21) 辻 幸和，広瀬晴次，北山裕康，田中和重：新型ミキサによる高粘性PCグラウトの製造，第11回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.769～774，2001年11月
- 22) 山口隆裕，広瀬晴次，笹子和弘，島根征哉：PCグラウトの流動性に関する試験システムの開発研究，プレストレストコンクリート，Vol.44，No.5，pp.77～81，Sep.2002
- 23) SSEE協会グラウト特別分科会：真空ポンプを併用したPCグラウト注入工法について，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.1，pp.97～104，Jan.2003
- 24) 山口隆裕，広瀬晴次，成沢邦彦，島根征哉：PCグラウト施工に関する技術開発への一つの取組み，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.5，pp.46～52，Sep.2003

【2010年1月14日受付】



刊行物案内

## 高強度コンクリートを用いた PC 構造物の設計施工規準

平成 20年 10月

定 価 6,000円／送料600円

会 員 特 価 5,000円／送料600円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会