

フランス・ドイツにおける PC 橋の維持管理調査 — 維持管理に配慮した PC 技術の動向 —

徳光 卓*¹・安藤 直文*²・青山 敏幸*³・板谷 英克*⁴

わが国で PC 橋が建設されてから半世紀あまりが経過し、劣化・損傷が顕在化した橋も増加している。PC の技術はもともと欧州で開発されたものであり、日本国内で独自の発展を遂げた部分も少なくはないが、根本となる技術はほぼ欧州と同じである。したがって、欧州で見られる劣化等は日本でも現れる可能性が高く、同時にその欧州における対策は日本でも応用できる可能性が高い。このような観点から、NEXCO 総研を中心として PC 橋の点検・維持管理・補修・劣化対策などの情報収集を目的とした欧州技術調査団を組織し、フランス・ドイツにおける調査を行った。フランス・ドイツでは、PC 技術およびその周辺技術について、PC 橋の耐久性確保や維持管理を「容易」かつ「確実」に行うためのさまざまな配慮がなされていた。本稿では調査結果のうち、耐久性維持・向上の観点から、PC 橋の建設・補修に関する技術に関し、主に維持管理に配慮した技術の動向について紹介する。

キーワード：PC 橋，維持管理，防錆材料，シーす，グラウトホース

1. はじめに

1.1 本稿の目的

プレストレストコンクリート（以後、PC）の技術の基礎はフランスで確立された。たとえば、フランスでは 1935 年に世界初のプレテンション橋梁が架設された。一方、わが国では日本初の PC 橋（長生橋）が 1951 年に架設されてから約 60 年が経過している。

日本における PC 橋の劣化問題には、海岸からの飛来塩分による塩害、グラウトの充てん不良、上縁定着における定着部からの水の浸入などがあり、その都度対処が行われてきた。PC の先駆者である欧州においては、同様な劣化問題が日本より先に報告されている¹⁾。このように海外で発生した問題は日本でも発生する確率が高いといえ、その対処方法も日本に応用できる可能性があるといえる。

そこで、PC 橋の維持管理に関する欧州の現状を知るため、高速道路総合技術研究所（以後、NEXCO 総研）を中心として調査団を組織し、フランス・ドイツの PC 橋の現状について調査を行った²⁾。その結果、PC 技術に関して、これまで日本ではあまり知られていなかった知見が得られた。本稿では、日本における PC 橋の維持管理や耐久性向上に役立てるため、今回の調査で明らかになった欧州の PC の技術の動向とその取組みを紹介する。

1.2 調査の概要

(1) 調査団の構成

NEXCO 総研寺田典生氏を団長とする筆者らを含む 8 名である。

(2) 調査期間

平成 22 年 11 月 15 日～平成 22 年 11 月 27 日（12 日間）

(3) 訪問国

フランス、ドイツ

(4) 調査内容

各国の公的研究機関、道路管理者、大学、企業などへのヒアリングとディスカッションを通じた情報収集と補修や新設工事の現場における実際の状況を確認した。なお、研究機関や企業とのディスカッションに関しては本稿に関連した報文である PC 橋の点検要領および資格³⁾にて報告する。

1.3 調査対象となった現場の概要

(1) イッシー橋 (Pont de Issy)⁴⁾

本橋梁はフランスのパリ市内に架かる PC3 径間連続箱桁橋である（写真 - 1）。本橋は 1974 年に竣工したが、当時の設計ではクリープと温度応力の影響が考慮されておらず、建設時における下床版・ウェブ・上床版を分割打設したことによるひび割れ発生の問題、供用後のネオプレンゴムの支承の劣化、床版の防水層の劣化等の問題が生じていた。また、交通量の増加に伴う橋梁の補強も行わなければならなかった。本工事では、外ケーブルによる補強、上床版の補強、支承の交換、伸縮装置の交換、床版防水の更新等が行われた。調査当日はすでに工事が完了していた。

(2) テレネ橋 (Pont de Térénez)⁵⁾

本橋は、フランスのフィニステール県のランデヴェネック市内オルヌ川の河口付近にある川幅の狭い箇所位置している県道である（写真 - 2）。現在の橋は、1951 年に開通した RC 脚を有する主径間 272 m の鋼吊橋であり、この

*¹ Suguru TOKUMITSU：(株) 富士ビー・エス 技術開発部

*² Naohumi ANDOU：三井住友建設(株) 土木本部 土木技術部

*³ Toshiyuki AOYAMA：(株) ビーエス三菱 技術本部 技術部

*⁴ Hidekatsu ITAYA：極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術部



写真 - 1 イッシー橋



写真 - 2 テレネ橋



写真 - 3 ルクウヴランス橋



写真 - 4 BW13/02s ランプ橋



写真 - 5 BW03 橋

橋脚と取付け部の RC 橋が ASR で劣化していること、線形が危険であることなどの理由から架け替えることになり、旧橋に隣接した場所に PC 斜張橋が架橋されることになった。調査当日は PC 斜張橋の建設工事が行われていた。

(3) ルクウヴランス橋 (Pont de la Recouvrance)

ルクウヴランス橋はフランス西部の港町ブレストにあるフランス海軍の軍港アルセナル港を跨ぐ鋼トラス桁である (写真 - 3)。本橋は 1954 年に架設されたセンタースパン 88 m、高さ 70 m の主塔を有する昇降量 26 m の鋼トラス昇降式開閉橋 (鋼重 525 t) で、現役のヨーロッパで最大の開閉橋である。主塔と側径間は鉄筋コンクリート製であり、塩害補修とともに、橋梁上にトラムを通過させるための補強工事が行われていた。

(4) BW13/02s ランプ橋⁶⁾

ミュンヘン北部の郊外では、ミュンヘンとベルリンを結ぶ高速道路 A9 とチェコ共和国やミュンヘン空港につながる高速道路 A92 が交差する単純クローバー型のジャンク

ションの改良工事が行われている (写真 - 4)。本橋は交通量の増加による渋滞や交通事故の頻発を解消するため、ミュンヘン空港とミュンヘン市街を直接ランプで接続する改良工事に伴うランプ橋であり、調査当日はその建設工事が行われていた。

(5) BW03 橋⁷⁾

ノルトライン-ヴェストファーレン州のドルトムント-デュイスブルクの高速道路 A40 は、ドイツでもっとも交通量が多く 10 万台/日の利用がある。本橋は、A40 の 6 車線拡張、ポーfum環状線と高速道路 A44、A43 を接続するためのジャンクション (JCT) 改良工事に伴って建設中の PC 箱桁橋であり、視察時はその建設工事が行われていた (写真 - 5)。

2. 耐久性確保のための基本思想

視察したフランスとドイツでは耐久性確保の基本として「水への対処」が徹底され、ヒアリングを行った両国の道

路管理者や研究所等の意見では、水の浸透さえ防ぐことができればPC橋の耐久性は確保できると判断しているとのことであった。鋼材の腐食において実際上問題となるのは、腐食に水が関与する「湿食」であり、塩化物イオンも水に溶解した状態でコンクリートに拡散浸透することを考えれば、非常に合理的な考え方といえる。

新設PC橋の耐久性に関しては、Fib Bulletin 33に基づく対処が基本となっている⁸⁾。Fib Bulletin 33では環境条件と保護層の条件の相関から3段階の保護レベル（プロテクションレベル、以後、PLと略）が定められている。

PL1：ダクトへの防錆材料充てんによる防錆

PL2：PL1に加えて、緊張材自体の全長のコーティングと、永久的な劣化因子侵入防止バリアの設置

PL3：PL2に加えて、緊張材を一体化あるいは密封し、常時モニタリングや検査を可能にする

この規準では、日本で一般的な、裸のPC鋼材を用い、鋼製シースにセメントグラウトを充てんする方法は、もっとも保護レベルの低いPL1に相当する。また、PC鋼材周囲へのグラウトなどの防錆材料の充てんは保護性能確保の前提条件としての扱いであり、グラウトなどの防錆材料の品質や施工条件は保護レベルに影響しない。PL2における鋼材の保護性能はグラウトなどの防錆材料以外の項目を耐久的な仕様（多重防護）とし、PL3では、さらに検査やモニタリングの実施により信頼性の向上を図ることで、実質的な耐久性を確保している。すなわち、PC橋の保護レベルが高くなるにしたがい、外部から作用する水に対するPC鋼材の防護というハード面の対策とともに、その点検・検査を容易に行うためのソフト面での対策を付加することが基本思想となっている。

3. ポストテンションング (PT) システム

フランスやドイツでは、現在でも多くのPC橋が建設されている。PC鋼材自体の仕様は日本と大差ないが、緊張定着工法やPC鋼材配置の形態などは、用途や要求性能に合わせて多種多様なものが使用されていた。現在欧州では、PC橋は適切なメンテナンスが必要と認識されており、各種の仕様も耐荷性・耐久性確保の確実さや、維持管理に対する配慮が前面に押し出されたものとなっている。EOTA（欧州技術認証機構）によるポストテンション関連製品等の認証ガイドラインであるETAG013には、PTシステムの

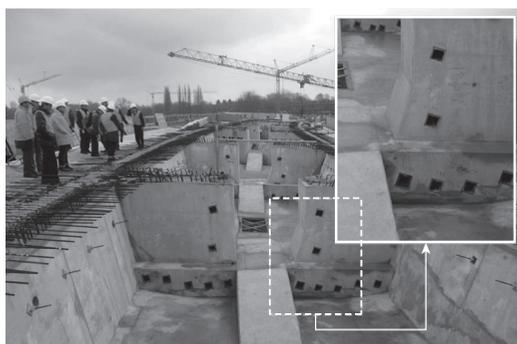


写真 - 6 BW03橋のデビエータ

性能照査項目として、再緊張や交換への対応、被覆性能、電気絶縁性（直流電気軌道における電食対策）などが規定されている⁹⁾。

(1) PC鋼材を帯状にバンドルした外ケーブル

ポーフォームウエスト JCT のBW03橋では外ケーブルのデビエータとサドルの形状として矩形の構造が採用されていた（写真 - 6）。これはバンドケーブルと呼ばれる、4本のPC鋼線を高密度ポリエチレンで並行線状に被覆した帯状ケーブルを用い、これを4本重ねて16本のマルチストランドケーブルとした外ケーブル構造に対応したものである¹⁰⁾。このシステムはPC鋼材が撻れることがなく、配置も容易であり、かつグラウトが無い目視検査も容易というメリットがある。なお、本橋では横桁の開口部が広くとられ、段差の摺付けも行われるなど、点検に配慮した構造となっていた。

(2) 亜鉛めっきPC鋼材による斜材の形成

テレネ橋の架替えて新設されている斜張橋では、高密度ポリエチレン管の中に亜鉛めっきPC鋼材を配置した斜材が用いられていた。防錆材はワックスを定着具の付近のみに充てんしていた。なお、曲線橋である本橋をワーゲンにより施工するため、各斜材で鉛直方向・水平方向の定着角度が異なることから、ワーゲンに斜材の鉛直・水平方向角度の調整装置を設け、ケーブル1本ごとに張力監視と自動張力調整機能をもたせたとのことであった。

(3) PC鋼材定着切欠き部の構造

BW13/02s ランプ橋では定着部の切欠きが二段構造となっており、定着具が切欠きの奥深くに配置され、日本に比べて密な配筋が施されていた（写真 - 7）。ドイツでは厳重な橋面防水が施されることを考え合せれば、定着具の後埋め部に水が浸入する可能性はきわめて低いと考えられる。

4. シース

鋼製シースは欧州規格EN523に¹¹⁾、プラスチック製シースは前述のETAG013に規定されている⁹⁾。EN523の鋼製シースには剛性に応じて、カテゴリ1のノーマルシース、カテゴリ2のリジッドシースという2つのカテゴリが示されている。表 - 1にEN523に示される鋼製シースの呼び厚さを示す。両カテゴリともにシース径に応じた肉厚、曲げ半径、側面荷重、引張荷重が規定されている。カテゴリ2に関しては塑性変形荷重と外径の比に限

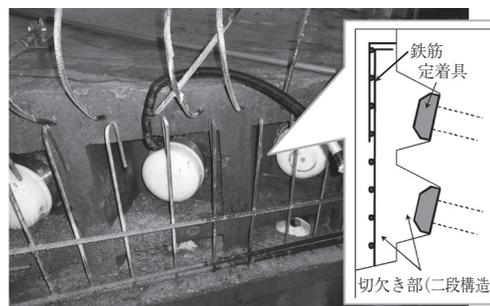


写真 - 7 BW13/02s ランプ橋の定着部

表 - 1 EN523 の鋼製シース規格における呼び厚さ¹¹⁾

	直径 (mm)	≦25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-75	75-85	85-100	100-130
シースの呼び厚さ (mm)	カテゴリ-1	0.25	0.25	0.25	0.30	0.30	0.35	0.35	0.40	≧0.40
	カテゴリ-2	-	-	0.40	0.45	0.45	0.50	0.50	0.60	≧0.60

度が設けられており、つぶれにくいことが保証されているが、曲げることは困難であり、曲線配置は想定されていない。鋼製シースはケーブル配置や鉄筋組立時に潰れ、グラウト充てん不良の原因になることが懸念される。カテゴリ-2のような肉厚のシースは直線配置に対するものだけであるため、使用は横締めなどに限定されるが、日本でも使用を検討する価値があると考えられる。

プラスチックシースは外ケーブル用として高密度ポリエチレン (HDPE) シースが、内ケーブル用として HDPE とポリプロピレン (PP) シースが規定され、Fib Bulletin 7 に準拠した規格となっている¹²⁾。

5. PC 鋼材の防錆方法

5.1 動 向

日本では、PC グラウトの設計施工指針に従い¹³⁾、高品質なセメントグラウトを確実に充てんすることに主眼を置き、ブリーディングや先流れによる空洞の発生を防止する対策がなされている。Fib Bulletin 20 には一般的なセメントグラウトに関する要求事項が定められており¹⁴⁾、ヨーロッパでは欧州規格 EN445, 446, 447 にて詳細が定められている。これに加えて、フランス・ドイツではセメントグラウト以外の防錆材料の適用や、ブリーディング水を確実に排出するための施工方法、グラウト注入・排出ホースなどの器具の改良に力を入れている。

両国では、グラウト問題にはすでに対応できているものという担当者の認識を強く感じた。これは、新設構造物では既に改良されているという判断と、既設橋においても、橋面防水や伸縮の非排水化の施工と点検・維持管理を厳格に行えば PC 鋼材が錆びることはないという信念に基づくようである。

5.2 防 錆 材 料

ETAG013 の Special filling material にはスペシャルグラウトとともにワックスとグリースが示されている⁹⁾。

(1) スペシャルグラウト

セメントグラウトであり日本の規格との大きな違いはない。異なる点は、傾斜管試験における空気とブリーディングの規定であるが、ノンブリーディングを基本とする日本の規格の方が厳しい。また、スペシャルグラウトではある程度のブリーディングを許容しているため、鉛直管試験における上下のグラウトの比重差についての規定があるが、ブリーディングを許容しない日本にはこの規定がない。グラウト材の許容塩化物イオン濃度はセメント質量の 0.1 % 以下と規定されており、日本の 0.08 % に比べて緩いものとなっている。

PC 鋼材のセメントグラウトによる防錆に関して、材料の規格は欧州より日本の方が厳しい。これは欧州がグラウト以外の項目で防錆効果の信頼性を上げるという考え方で

あるのに対し、日本はグラウトの材料と施工の現実性を上げるという考え方に立つ、設計思想の差によるものと考えられる。

(2) ワックスとグリース

ここで特筆すべき点は、フランスでは、外ケーブルではセメントグラウトが PC 鋼材に直接接しないようにすることが義務付けられていたことである。この理由は、局所的な PC 鋼材の破断を生じたときに、PC 鋼材とグラウトに付着があると、破断した PC 鋼材の応力が破断部の周辺の PC 鋼材に伝達し、局所的な応力増加を生じることによって、連続的な破断を引き起こす可能性があり、危険であるためということである¹⁵⁾。同様な規制はドイツでも行われていた。現在、外ケーブル用の防錆材料として、一般に、フランスではワックスを、ドイツではグリースを使用するとのことであった。

表 - 2, 3 に、おのおの ETAG013 に示されるワックス、グリースの品質規格を示す。なお、今回の調査では両国がセメントグラウトの代替材料としてこれらの材料を選択した経緯はわからなかった。外ケーブルの防錆方法についてはさらなる調査と研究が必要と考えられる。

5.3 グラウトホース

Fib Bulletin33 にはプロテクションレベルとグラウトホ

表 - 2 ETAG013 のワックス規格⁹⁾

特性	試験法 / 規格	合否判定基準
凝固点	NFT60-128	≧ 65 °C
-20 °C での通過率 (1/10 mm)	NFT60-119	ひび割れが無いこと
40 °C でのブリーディング	BS2000:PT121 (1982) 準拠	≦ 0.5 %
100 °C 100 時間の酸化抵抗性	ASTM D942.70	≦ 0.03 MPa
100 °C 100 時間の鋼板腐食試験	ISO2160	Class : 1a
35 °C 168 時間の腐食保護性	NFX41-002 (塩水噴霧) NFX41-002 (蒸留水噴霧)	合格すること 腐食を生じないこと
腐食性物質含有量 Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻	NFM07-023 NFM07-023	≦50 ppm (0.005 %) ≦100 ppm (0.010 %)

表 - 3 ETAG013 のグリース規格⁹⁾

特性	試験法 / 規格	合否判定基準
コーン貫入試験 60 回 (1/10mm)	ISO 2137	250-300
滴点	ISO 2176	≧ 150 °C
40 °C での油分離	DIN51817	72 時間 ≦ 2.5 % 7 日 ≦ 4.5 %
酸化安定性	DIN51808	100 °C 100 時間 ≦ 0.06 MPa 100 °C 1000 時間 ≦ 0.2 MPa
35 °C 168 時間の腐食保護性	NFX41-002 (塩水噴霧) NFX41-002 (蒸留水噴霧)	合格すること 腐食を生じないこと
腐食試験	DIN51802	グレード : 0
腐食性物質含有量 Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻	NFM07-023 NFM07-023	≦50 ppm (0.005 %) ≦100 ppm (0.010 %)

* ISO : 国際標準規格, NF : フランス規格, BS : 英国規格, ASTM : 米国工業規格, DIN : ドイツ規格

ースの関係について記述がある。日本と同様の表面が平滑なホースを結束線で止める方法は PL1 にのみ使用可能とされている。

写真 - 8 に BW13/02s ランプ橋におけるグラウトホースを示す。PL2 以上では、写真 - 8 (a)・(b) に示すような表面に凹凸を有するコルゲートホースの使用が規定されている。その理由は、ホースとコンクリートの線膨張係数の違いによってホースとコンクリートの間にすき間を生じるが表面が平滑な形状のホースでは腐食性物質がホースの表面を伝って容易に緊張材に達するためとしている。コルゲートホースには密封可能なキャップ (写真 - 8 (a)) や、ワンタッチ式の開閉治具 (写真 - 8 (b)) なども用意されており、施工性にも配慮されている。日本におけるグラウトホースはテトロンブレードホースであり、欧州のホースは表面が平滑な黒色のポリエチレンホースであるため、条件は日本と必ずしも同一とはいえない。また現在、日本におけるグラウトホースの端部には切欠き部が設けられ、これを樹脂モルタルやポリマーセメントモルタルなどの防水性が高い材料で埋めた上で、表面を防水工でシーリングする方法がとられており、過去に比べてグラウトホースからの伝い水を生じる危険性は低下している。

しかし、確実性を上げるための策として、コルゲートホースを使用するのは検討に値すると考えられる。現在、透明なコルゲートホースは存在しない。日本では、一般に透明のグラウトホースを使用する。これは充てん行為の確認と注入後の水頭低下が無いことの検査として、注入後のグラウトホース内のグラウトの目視確認が求められるためである¹³⁾。逆にいえば、コンクリートに埋まる部分は透明である必要はないことから、接続具を介してコルゲートホースと透明ホースを接続し、橋面上に出る部分のみ透明ホースとすれば日本でも適用可能と考えられる。

5.4 外ケーブルの防錆方法

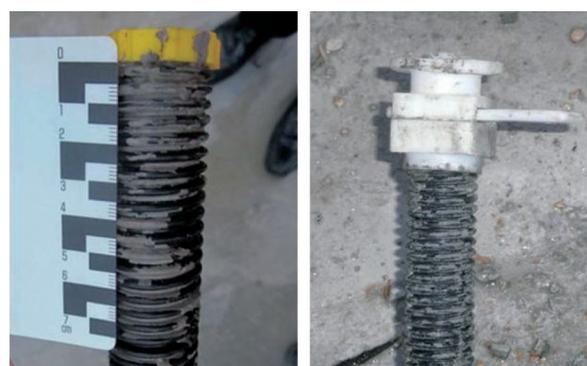
イッシー橋の外ケーブルには防錆材としてすべてワックスが用いられており、外ケーブルにはその注入と排気のためのバルブが取り付けられていた (写真 - 9)。また、外ケーブルは再緊張と取替えのために余長が長く残されていた (写真 - 10)。

ルクウヴァランス橋の外ケーブルは PC 鋼材 1 本をワックス充てんした HDPE 管で覆い、それを多数本合せたものを HDPE 製の外筒管に通し、外筒管の中にはセメントグラウトを充てんする形式がとられていた (図 - 1)。

このほか、ドイツの BW03 橋では前述のとおりあらかじめ防錆された外ケーブルが使用されており、視察の範囲ではいずれも PC 鋼材に直接セメントグラウトが接触するような形は採用されていなかった。これに関しては、今後、さらなる情報収集と検討が必要と考えられる。

5.5 鉛直グラウトの方法

テレネ橋は曲線橋であり、λ (ラムダ) 型の PC 主塔を有している。主塔には 27T15 ケーブルが本設用と仮設用を合わせて計 56 本配置されている。防錆措置は、仮設用ケーブルが垂鉛めっきケーブル、本設用ケーブルはセメントグラウトとなっている。



(a) コルゲートホースとキャップ (PL2 と PL3 に相当) (b) コルゲートホースとバルブ (PL2 と PL3 に相当)

写真 - 8 BW13/02s ランプ橋のグラウトホースの処理



写真 - 9 イッシー橋の外ケーブル排気孔



写真 - 10 イッシー橋の外ケーブル定着部

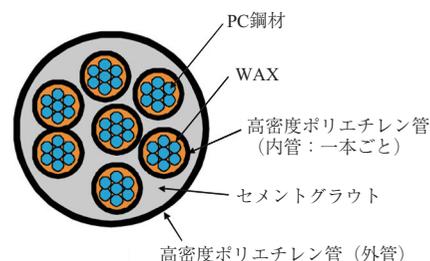


図 - 1 ルクウヴァランス橋の外ケーブル構造概念図

セメントグラウトは高さ 70 m を 3 回に分けて施工されていた (図 - 2)。この方法は、下の 35 m 区間 (一段目) をグラウトし、2 時間経過したのち一段目のブリーディング部分を押し出す形で、2 段目を 70 m までグラウトする。さらに 2 時間待ったのち、頂点より 3 m 下の部分から 3 回目のグラウトを行い 2 段目のブリーディング水を排出する

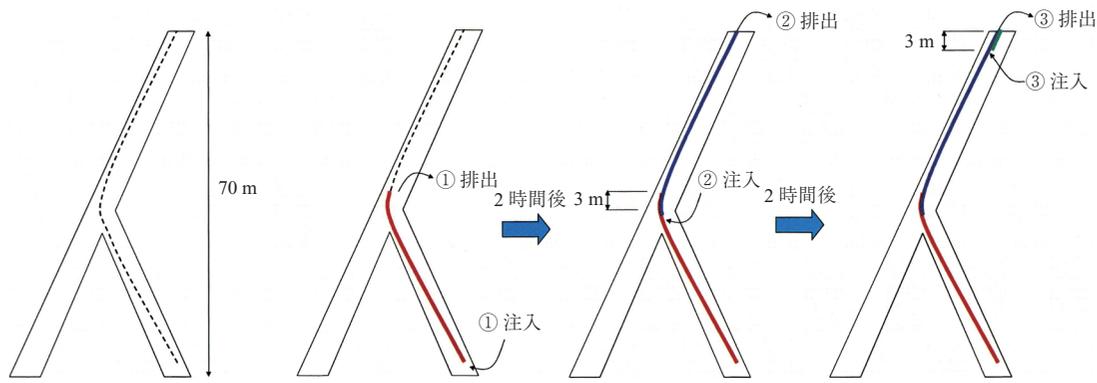


図 - 2 テレネ橋の主塔におけるグラウトの充てん方法

とのことである。

6. 排水への配慮

BW13/02s ランプ橋は曲線橋で、橋面は片勾配となっているが、橋面の横断形状は排水柵の位置が最下点になるようなV型となっており、橋面の滞水防止が確実となるよう配慮されていた(写真 - 11)。ドイツにおいては、このような配慮は一般的とのことである。

また、BW03 橋の上部工の下床版には、各内空部の最下位置に太径(直径 150 mm 程度)の水抜き孔が設けられており、桁内に滞水することがないように配慮されていた。

塩害、ASR、凍結融解などの主な劣化現象は全て水の存在により生じるため、これらの配慮は耐久性の維持に重要と考えられる。

7. おわりに

これまで欧州にはさまざまな目的で PC に関する調査団が派遣されてきたが、主として、先進的な PC 建設技術の情報収集を目的としたものであった。今回の調査は点検や維持管理の実態把握を目的としたものであり、新たな視点から調査することで、PC 橋の耐久性確保や維持管理に対する配慮を肌で感じることができた。

フランス・ドイツにおける PC 橋の施工に対するキーワードは「容易」と「確実」に集約できる。両国ではこれを確保するための規格基準の整備とともに、確実な運用を行うためのシステム構築が進んでいる印象を強く受けた。

最後に、ドイツにおける調査に同行していただいた住友電工スチールワイヤー株式会社山田眞人氏、快く調査に応じていただいた、ミュンヘン工科大学、SETRA、LCPC、バイエルン州政府道路局、bast、フレシネ社、ディビダグ社、ZMH 社に厚く御礼申し上げます。また、本調査にあたっては、社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会から多大な支援をいただいたことを付記し、厚く御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) たとえば、岡田清監訳：西ドイツ交通省道路建設局 橋梁その他構造物の損傷事例集 報告書 1982, 土木施工第 27 巻第 9 号臨時増刊, 山海堂, 1986.6.



写真 - 11 BW13/02s ランプ橋の橋面排水勾配

- 2) ㈱ 高速道路総合技術研究所：2010 欧州 PC 橋維持管理調査報告書, 2010.5
- 3) 寺田典生・野島昭二・上阪康雄・小野秀一：フランス・ドイツにおける PC 橋の維持管理調査 - PC 橋の点検要領および資格, プレストレストコンクリート, Vol.53, No.5, pp.51-56
- 4) Farid SAÏFI, Egis GMI : Réparation du pont d'ISSY, TRAVAUX N°870, pp.126-135, Mars / Avril 2010
- 5) Térénez Bridge (2010) Structurae, <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0009168>
- 6) Bundesautobahn A9 Nürnberg-München : Umbau des AK, Neufahrn mit Bau einer Direktrampe vom Flughafen München (A92) in Richtung München (A9), Autobahndirektion Südbayern, Informationen zu aktuellen Baumaßnahmen
- 7) ノルトライン-ヴェストファーレン州建設局 HP <http://www.strassen.nrw.de/projekte/a40/ausbau/bau.html>
- 8) Fib : Durability of post-tensioning tendons, Bulletin 33, Dec. 2005
- 9) EOTA : Guideline for European technical approval of Post-tensioning kits for prestressing of structures, ETAG 013, Jun. 2002
- 10) BBR VT International : BBR CONA CMX パンフレット
- 11) Comité Européen Normalisation (CEN) : EN523 Steel strip sheaths for prestressing tendons, Nov.2003
- 12) Fib : Corrugated plastic ducts for internal bonded post-tensioning, Bulletin 7, Jan.2000
- 13) プレストレストコンクリート技術協会 : PC グラウトの設計施工指針, 平成 17 年 12 月
- 14) Fib : Grouting of tendons in prestressed concrete, Bulletin 20, Jul. 2002
- 15) Sétra-LCPC : Information note to raise awareness of existing structures with external prestressing protected by cement grout in contact with the tensile elements, Information note, Civil engineering structures 29, Jan. 2008

【2011 年 7 月 5 日受付】