

fib シンポジウム 2019 (クラクフ) 参加と ポーランド・チェコ・ドイツにおける橋梁視察報告

下村 匠*1・二羽 淳一郎*2・藤代 勝*3

1. はじめに

fib (Fédération internationale du béton/International Federation for Structural Concrete : 国際コンクリート構造連合) のシンポジウムが 2019 年 5 月 27 日から 29 日までの 3 日間、ポーランドのクラクフにて開催された。

本シンポジウムに、公益社団法人プレストレストコンクリート工学会の支援を得て調査団(表 - 1) を結成して参加するとともに、開催国ならびに近隣に位置するチェコおよびドイツの橋梁を視察したのでその概要を報告する。

表 - 1 調査団メンバー

No		氏名	所属
1	団長	下村 匠	長岡技術科学大学
2	顧問	二羽 淳一郎	東京工業大学
3		二羽 ひろみ	顧問同伴者
4		辻 幸和	群馬大学 / 前橋工科大学
5		酒井 秀昭	中日本高速道(株)
6		大窪 一正	鹿島建設(株)
7		椛木 洋子	(株)エイト日本技術開発
8		寺田 聡	川田建設(株)
9		越智 祥孝	(一財)橋梁調査会
10		利波 宗典	大成建設(株)
11		藍谷 保彦	ブイ・エス・エル・ジャパン(株)
12		佐々木 亘	三井住友建設(株)
13		野並 優二	三井住友建設(株)
14		後藤 豊成	(株)富士ビー・エス
15		佐伯 奈都美	ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)
16		國枝 邦由	(株)安部日鋼工業
17		上田 昇	住友電気工業(株)
18		澤田 浩昭	オリエンタル白石(株)
19		鷺見 英信	(株)エイト日本技術開発
20		栗山 照雄	(株)オリエンタルコンサルタンツ
21		山口 徹	極東鋼弦コンクリート振興(株)
22		服部 雅史	中日本高速道(株)
23		藤代 勝	鹿島建設(株)
24		吉野 正道	三井住友建設(株)
25	添乗員	小倉 篤	(株)ユーレックス

2. fib シンポジウム 2019

2.1 シンポジウム概要

本年のシンポジウムは、“Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures” をテーマに、クラクフ市内にあるベストウエスタンプレミアクラクフホテル (Best Western Premier

Kraków Hotel 写真 - 1) にて開催された。本シンポジウムは、クラクフ工科大学 (CUT) の工学部とポーランド fib ナショナルグループが共催した。

開催都市クラクフは、ポーランド南部に位置する歴史ある都市のひとつであり、17 世紀初頭にワルシャワに遷都するまではクラクフがポーランド王国の首都であった。また、この街はポーランド最古のヤギェウォ大学や経済大学、工業大学などさまざまな大学があり、学術研究の盛んな街である。旧市街にはビスワ川が流れ 14 世紀に建てられたヴァヴェル城 (写真 - 2) を中心に、織物会館や大聖堂があるヨーロッパ最大の中央広場などがあり、歴史を感じさせる街並みが現在まで残っている貴重な場所である。

本シンポジウムには 48 か国から 500 人以上の参加者があり、セッションでは補修と補強、せん断とねじり、疲労と繰り返し荷重、耐久性と持続可能性、プレファブなど幅広いトピックが取り上げられた。参加者の多い国は、日本が最多 (78 名の参加者) で、次いでドイツ (64 名の参加者)、ポーランド (62 名の参加者) であった。



写真 - 1 シンポジウム会場



写真 - 2 ビスワ川とヴァヴェル城

*1 Takumi SHIMOMURA : 長岡技術科学大学 環境社会基盤工学専攻 教授

*2 Junichiro NIWA : 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 教授

*3 Masaru FUJISHIRO : 鹿島建設(株) 土木設計本部 構造設計部 橋梁グループ

2.2 プログラム

本年のシンポジウムの全体プログラムを表 - 2 に、プログラム表紙を写真 - 3 に示す。シンポジウム前日に開催されたウェルカムレセプションを含む4日間で開催された。今回のシンポジウムでは基調講演、一般講演に加え、ウェルカムレセプション、オープニングセレモニー、ガラディナー、クロージングセレモニー、企業による技術展示も合せて行われた。

初日の午前中に行われたオープニングセレモニーでは組織委員会の委員長である Wit Derkowski 氏によりウェルカムスピーチとして、本シンポジウムのプログラム概要の説明があった。その後、fib 会長である Tor Ole Olsen 氏よりオープニングスピーチとして、fib の目的・意義、活動内容、組織構成やポーランドと fib の関係などの説明があった。続けて fib 授与式があり、fib 組織活動に重要な貢献をさ

表 - 2 全体プログラム

月日	時間	内容
5月26日	19:30~21:30	ウェルカムレセプション
	9:30~10:15	オープニングセレモニー
	10:15~11:00	fib 若手技術者功労賞受賞者による講演
5月27日	11:30~12:15	基調講演①
	13:15~14:45	一般講演 (5/27) ①
	15:15~16:45	一般講演 (5/27) ②
	17:15~18:45	一般講演 (5/27) ③
5月28日	8:15~9:15	基調講演②
	9:15~10:15	PROFESSOR ANDRZEJ 80 歳記念講演
	11:15~12:45	一般講演 (5/28) ①
	13:45~15:15	一般講演 (5/28) ②
	15:45~17:45	一般講演 (5/28) ③
	19:30~	ガラディナー
5月29日	8:30~9:15	基調講演③
	9:15~10:00	基調講演④
	11:00~12:30	一般講演 (5/29) ①
	13:30~15:00	一般講演 (5/29) ②
	15:30~17:00	一般講演 (5/29) ③
	17:00~17:45	クロージングセレモニー



写真 - 3 プログラム表紙

れた個人に贈られる fib 2019 Honorary Life Member を Ulf Nurnberger 氏が受賞された。最後に若手技術者に贈られる Achievement Award for Young Engineers では Benjamin Kromoser 氏が受賞した。

2.3 基調講演

本シンポジウムでは表 - 3 に示す基調講演 (Keynote Lecture) が行われた。また2日目の基調講演の前には Professor Andrzej Ajdukiewicz の功績を紹介する特別講演が行われた。

表 - 3 基調講演テーマ

	Speaker	Title
1日目	Marco di Prisco	Critical infrastructures in Italy: state of the art, case studies, rational approaches to select the intervention priorities
2日目	Rudy Ricciotti	Untitled
3日目	Renata Kotynia	Is FRP reinforcement alternative to steel in future structural concrete perspective?
	Mikael Braestrup	Concrete plasticity - a historical perspective

2.4 一般講演

一般講演のトピック名および発表件数を表 - 4 に示す。今回は、プログラムにも示されたように8項目のトピックに関してセッションが設けられた。一般講演は3日間を通じて合計283件行われており、国別の発表割合を図 - 1 に示す。講演は1演題あたり質疑応答も含め15分程度分け与えられていた。

表 - 4 一般講演のトピックと発表件数

Topics	講演数	日本分
INNOVATIONS IN MATERIALS	54	5
INNOVATIONS IN DESIGN	61	3
INNOVATIONS IN STRUCTURES	67	10
STRENGTHENING & REPAIR	20	4
SHEAR & TORSION	27	1
FATIGUE & CYCLIC LOADS	12	0
SUSTAINABILITY & DURABILITY	30	4
PREFABRICATION	12	0
合計	283	27

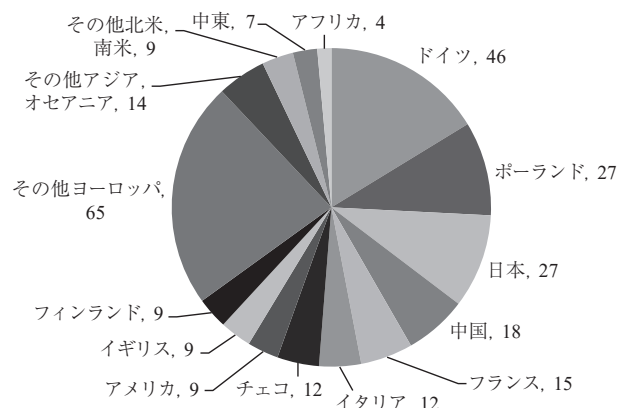


図 - 1 一般講演の国別発表件数

日本からは27件の講演が行われ、本調査団からは下村団長が座長を務め、9件の講演を8名が行った。以下に本調査団が行った講演の概要を記す。

中日本高速道路(株)酒井氏は、主桁、塔、斜材システムからなる斜張橋やエクストラード橋において高精度で効率的な重要部位の点検方法に関する講演を行った。鹿島建設(株)大窪氏は、PCケーブルの張力管理手法として、光ファイバー内蔵のPCケーブルを高架橋に適用し、建設から供用まで全長にわたる張力分布を測定した結果を報告した。三井住友建設(株)佐々木氏は、産業副産物を多く含む超低収縮高強度繊維補強コンクリートの開発に関して、同材料を使用した主桁の試験施工結果を報告した。三井住友建設(株)野並氏は、緊張材としてアラミドロッドを用いたPC梁の曲げ特性に関して、28年前にアラミドロッドを用いて製作したプレテンションPC桁の一部を取り出し、曲げ試験を実施した結果を報告した。住友電気工業(株)上田氏は、プレグラウトされたストランド材の耐食性試験や化学抵抗性試験、接着強度確認のための引抜試験による性能確認を行い、ポストテンションの定着システムに適用するカップラーシステムを開発したことを報告した。中日本高速道路(株)服部氏は、斜張橋の健全度評価のため張力部材の状態評価手法に関し、振動法に基づいた張力推定方法や斜張橋の健全度評価方法を提案した。鹿島建設(株)藤代氏は2件の講演を行い、1件目は平板型UFC床版を既設道路橋の床版取替えに日本で初めて適用した事例を紹介し、2件目はワッフル型UFC床版を開発し、一般的なコンクリート床版の重量を半分にできた設計に関して報告した。三井住友建設(株)吉野氏は、橋脚高125mの施工にSPER工法を用い、上部工の急速施工のためRap-Con工法を用いた施工報告を行った。講演会場の様子を写真-4に示す。



写真 - 4 一般講演会場の様子

2.5 クロージングセレモニー

クロージングセレモニーでは、組織委員長からfibシンポジウム2019を運営したクラクフ工科大学(CUT)の工学部とポーランドfibナショナルグループのスタッフへの感謝の気持ちが述べられた。シンポジウムのテーマは「コンクリート-材料、設計、構造の革新」で、283の論文の

うち、54の論文が材料の革新に関するもの、61の論文が設計の革新に関するもの、そして67の論文が構造の革新に関するものであったことが報告された。

組織委員会から、基調講演者、委員会メンバー、議長、プレゼンターのすべての参加者に感謝の言葉とともに成功裏に終わったことが報告された。また次回のfibシンポジウムは中国の上海で行われることが発表され、パトントッチが行われた(写真-5)。

fibシンポジウム2019は、BASF(ダイヤモンドスポンサー)、ドカ(コランダムスポンサー)、CONSOLIS(トパーズスポンサー)の寛大な支援を受け、イベントを成功させることができたとの紹介があった。



写真 - 5 クロージングセレモニーの様子

3. ポーランドの橋梁視察報告

3.1 視察概要

ポーランドでの橋梁視察は、fibシンポジウムの日程および他国での橋梁視察日程の関係から、ビスワ川橋のみの視察となった。ビスワ川橋はシンポジウムが開催されたクラクフの郊外にあり、夏は快適だが冬は凍える寒さで、1年を通して気温は-5℃から25℃で年間を通じて曇りの多い地域に架設されている。

3.2 ビスワ川橋(マハルスキ橋)

ビスワ川橋は、ビスワ川に架かる高速道路S7号線の一部であり、北と南の地方を結ぶ斜張橋である。橋長は706mあり、斜張橋部の最大支間長は200m、主塔はA型で高さは63mである。マハルスキ卿にちなんでマハルスキ橋とも呼ばれており、マウオボルスカ地方でもっとも長い橋である(写真-6)。

河川を渡河する部分が斜張橋で構成されており、側径間の主桁構造はPC箱桁構造である。もっとも支間の長い中央径間部は主桁および横桁が鋼、床版部が鉄筋コンクリートの合成構造となっており軽量化が図られている。主塔の構造は、内部は空洞となっておりサドル部のみコンクリートが充填されている。なお主桁は箱型となっており主ケーブルが定着された構造である。



写真 - 6 ビスワ川橋 (マルハスキ橋)



写真 - 7 フラビンカ高架橋

4. チェコの橋梁視察報告

4.1 視察概要

fib シンポジウムの開催中に、隣国であるチェコにおいて橋梁視察を行った。視察したフラビンカ高架橋は、クラクフから西に約 200 km 離れたチェコのモラヴィア・シレジア地方にある都市高速道路で、丘陵地域の谷を跨ぐ高架橋である。

4.2 フラビンカ高架橋

フラビンカ高架橋は、チェコのオストラバ市とオパヴァ市を結ぶ高速道路でありフラビンカ渓谷を跨ぐ高架橋として建設されたものである。ストラット付き鋼箱桁橋で床版はコンクリートである。橋長 327 m で最大支間長は 66 m、幅員は 25.7 m、架設は送出し架設工法で 2015 年に完成している (写真 - 7)。

本橋は、片側 2 車線の上下線一体構造であり、全幅員 25.7 m を有する広幅員断面の橋梁である。断面は鋼箱桁と鋼製ストラットにより支持されたコンクリート床版からなっており、鋼箱桁は下部フランジと傾斜ウェブによる開断面である。箱桁には断面中央と左右外側に縦桁が配置されており、外側の縦桁にストラットが接合されている。床版は、プレキャスト部材と場所打ちコンクリートにより構成されている。

架設は、鋼箱桁・ストラット・縦桁で構成される主桁断面を、橋軸方向に 20 セグメントに分割した送出し架設により行われている。主桁架設が完了したのち、プレキャスト部材の床版を設置し、その上に場所打ちコンクリートを打設して床版断面が構築された。

視察では、橋梁下まで近接することができた。ストラットのウェブ側の接合では、切れ目を入れたストラットをウェブに溶接された 1 枚板に差し込んだ様に見える接合方法が特徴的であった。また橋脚の支承部が非常にコンパクトであったのも印象的であった。

5. ドイツの橋梁視察報告

5.1 視察概要

ドイツでの橋梁視察は、まず最初にポーランドへ移動する前に宿泊したフランクフルトで第 2 マイン橋を視察した。*fib* シンポジウムに参加したあと、再びドイツに移動し、デュッセルドルフにてフレエ橋とラインクニー橋の視察を行った。その後、ケルンのドイッツァー橋、リンブルクのリンブルク高架橋、ヴォルムのニーバルンゲン橋、ブラウンスバッハのコッハタール高架橋、バックナングのムルバレー高架橋を視察した。

5.2 第 2 マイン橋

第 2 マイン橋は、フランクフルトにあるヘキスト工業地域内のマイン川を跨ぎ、工業地域内の輸送用道路・鉄道橋の併用橋でディビダーク工法により架設された PC 斜張橋である。橋長 294 m、最大支間長 148 m、幅員 31 m、主塔高さ 52 m で 1972 年に完成した (写真 - 8)。

主桁は PC 箱桁であり、橋軸方向 3 m おきに横桁が配置されている。また、本橋は 2 面吊りの斜張橋であるが、約 31 m の幅員に対して、2 本の主塔の間隔は約 8 m となっている。つまり、斜材定着部は幅員の両側にある張出し床版の先端付近ではなく、床版を幅員方向に 3 分割するような位置に配置されている。斜材より外側が 2 車線の車道および歩道となっており、斜材間に鉄道用のレールが敷設されている。竣工は 1972 年であるが、道路・鉄道併用の斜張橋として、そして斜材に並列ケーブルを用いたハープ型の斜張橋としては世界初の橋梁であった。



写真 - 8 第 2 マイン橋

5.3 フレーエ橋

本橋はデュッセルドルフ市フレーエにおいてライン川を跨ぐ、鋼とコンクリートの複合斜張橋である。橋長は1148m、幅員は41.7m、主塔はRC逆Y字型で高さ145m、1979年に完成した（写真-9）。

ライン川を跨ぐ主径間部分が鋼桁構造、アプローチ橋がPC構造となっており、主塔の横梁位置で連結されている。上下線一体断面で、斜材を中央に配置し、鋼桁側がファン型、PC桁側がハープ型配置となっている。鋼桁とPC桁は鋼製の横梁を介して連結されており、14000本のスタッドとPC鋼材で軸力を、6000本のスタッドでせん断力を伝達する構造となっている。また横梁は、主塔の脚より支承を介して単純支持されている。

本橋は完成から40年が経過しており、2012～2013年に伸縮装置の交換、2017年にコンクリートの補修工事、2015年にケーブルの点検工事が実施されている。現在も大規模な補修工事が行われており、移動式台車を使った鋼桁の点検、補修を行っている状況が見られた。



写真 - 9 フレーエ橋

5.4 ラインクニー橋

本橋もライン川に架けられた鋼斜張橋で、デュッセルドルフ市のフリードリヒシュタットとオーバーカッセルを結んでいる。橋長は561m、最大支間長319m、幅員28.9m、主塔は鋼製T形断面で高さ114m、1969年に完成した（写真-10）。

本橋は、都市計画上の理由からライン川左岸に位置する2本の主塔を挟んで、河川側の主径間は支間長300m強の鋼桁、河川敷側は4基の橋脚を設けた支間長50m弱の鋼桁という非対称の構造である。斜材は、平行に4段設けられ、主径間側は中間にて、河川敷側は中間支点ごとに定着されている。鋼製主塔はT形断面のため、そのエッジの存在によりさらにスレンダーさが強調されている。主塔は外側のみにテーバーが設けられ、基部5.2m×4.2mから頂部3.4m×3.0mへと変化している。なお、主塔は、地表面の基礎上に直接設けられている。斜材ケーブルにはロックドコイルロープを使用しており、桁側面に設けられたコンソールにて、分岐定着されていることが現地を確認できた。



写真 - 10 ラインクニー橋

5.5 ドイツァー橋

ドイツァー橋はケルンの大聖堂にほど近いライン川に架かる橋梁であり、同一支間、同一な桁形状で鋼橋とコンクリート橋が並列する珍しい橋梁である。橋長は437m、最大支間長184m、幅員16.3mであり1980年に完成した（写真-11）。

下流側の鋼橋は1948年に架橋された世界初の鋼3径間連続箱桁橋であり、レオンハルト氏による設計である。PC橋は鋼橋のすぐ上流側に32年後に架橋されたPC3径間連続箱桁橋で外形が細部にわたって揃っている。本橋は増加する交通量への対応のために計画され、経済性に優れたPC橋が採用された。上流側の鋼橋の形状に合わせることを前提であったため、鋼橋の桁高変化形状に合わせるため中間支点上付近のせん断が厳しいことから、自重低減のために軽量化を図る必要が生じ、ウェブ厚さの低減や高強度コンクリートの採用、支間部への軽量コンクリートの使用、架設用移動作業車の軽量化などさまざまなことを取り入れて設計された橋梁である。



写真 - 11 ドイツァー橋

5.6 リンブルク高架橋

本橋はアウトバーン3号線の高架橋で、リンブルクのライン川に位置する橋梁である。PC2主箱桁橋で上下線が隣接している橋梁である。橋長は450m、最大支間長95m、幅員21.8m、橋脚高さは最大約60mの上下線分離構造で2016年に完成した（写真-12）。

橋脚は自動クライミングフォームを用いて施工されたRC製で、上部工は張出し架設工法により施工されている。



写真 - 12 リンブルク高架橋

5.7 ニーベルンゲン橋

本橋はドイツ連邦道路 47 号線のライン川に架かる橋梁で、ラインランド・プファルツ州の町ヴォルムスとヘッセン州の町であるランペルトハイム市を結んでいる。現在、旧橋と新橋の 2 橋が並行して架橋されており、ニーベルンゲン塔が旧橋に設けられている。橋長は 744 m、最大スパン 114 m の PC 4 径間箱桁橋で旧橋は 1953 年、新橋は 2008 年に完成した（写真 - 13）。

旧橋の河川部は、世界で初めて支間長 100 m を超えた張出し架設工法による橋梁で、その建設中に、日本の技術者（齋藤武幸氏ら）が現地を訪れ、張出し架設工法に感銘を受け、その技術を日本に導入し、日本初の張出し架設工法となる嵐山橋につなげたとのことである。新橋は交通量の増加と旧橋の補修・補強の必要性から、旧橋の数 m 上流側に、河川部の支間長が旧橋と同じ新ニーベルンゲン橋として架設された。旧橋は、補修・補強工事において中央ヒンジ部間で外ケーブルを定着する補強工法が採用されており、外ケーブル定着のために桁内に設けたコンクリート製横桁（もしくはブロック）固定のための横締め鋼材端部がウェブ外面に確認された。



写真 - 13 ニーベルンゲン橋

5.8 コッハタール高架橋

本橋はアウトバーン 6 号線にあり、ハイルブロンとニュルンベルクの間のコッハ渓谷を跨ぐ橋梁である。桁下高は谷底から最大 185 m（橋脚高：最大 178 m）で、ドイツでもっとも橋脚が高い高速道路橋である。橋長は 1 128 m、最大支間長 138 m、幅員 31 m で 1979 年に完成した（写真 - 14）。

本橋の箱桁部は幅 8.6 m、高さ 6.5 m の一室断面であり、

左右 11.2 m の張出し床版をコンクリート製のストラットが 7.67 m ピッチで支えている。高くスレンダーな橋脚も本橋の特徴であり、上に行くほど曲線状に細くなっている。また、8 基の橋脚のうち中央の P3～P6 は主桁と剛結されたラーメン構造である。橋脚はクライミングフォームを用いた施工、主桁は架設桁を用いた張出し架設工法により施工されている。



写真 - 14 コッハタール高架橋

5.9 ムルバレー高架橋

本橋はドイツ連邦道路 14 号線の高架橋で、バーデン・ヴュルテンベルク州レムス・ムル郡バックナング市を流れるムル川の渓谷を横切っている。橋長 419 m、アーチ支間 108 m、幅員 14.3 m で、2011 年に完成した（写真 - 15）。

2 つの連続したアーチ構造で、アーチリブ上の支柱と両岸斜面部の橋脚は上部工と一体となっており、橋台上のみ支承構造となっている。アーチリブおよび上部構造は固定式支保工にて施工されている。上部構造は 2 主桁構造で、主桁側面に突起形状が確認でき、主方向に PC 鋼材が配置されている。



写真 - 15 ムルバレー高架橋

6. おわりに

今回の視察では、シンポジウムの参加によって欧州を中心とした各国の技術動向を知ることができ、橋梁視察では天候に恵まれながら、世界的に有名な多くの PC 橋を間近に見学することができた。ご支援いただいた公益社団法人プレストレストコンクリート工学会と視察団対応でご尽力いただいた(株)ユーレックス社の小倉氏に感謝の意を表す。

【2019 年 12 月 3 日受付】