

fib シンポジウム 2011 とチェコ, スロバキアにおける橋梁視察報告

二羽 淳一郎*1・寺島 善宏*2・熊坂 徹也*3・平 陽兵*4

1. はじめに

fib (国際構造コンクリート連合, federation internationale du beton) 2011 年国際シンポジウムが, チェコの首都プラハで 2011 年 6 月 8 日から 10 日まで開催された。fib シンポジウムは, 4 年ごとに開催される fib コンgress が開催されない年に開催されるものである。

今回, 本シンポジウムに参加するとともに, (社)プレストレストコンクリート技術協会の支援を得て橋梁調査団を結成し, オーストリア共和国 (以下, オーストリア) のウィーン工科大学への訪問を始め, スロバキア共和国 (以下, スロバキア) とチェコ共和国 (以下, チェコ) の橋梁視察を実施したので, その概要を報告する。

2. fib シンポジウム 2011 の概要

2.1 概要

シンポジウムは, チェコの首都プラハの市街地から地下鉄で 10 分ほど離れたクラリオンコンgressホテルで開催された (写真 - 1)。今年のシンポジウムは 12 回目となり, “Concrete Engineering for Excellence and Efficiency” をテーマに 6 つのセッションが用意され, 開会式ののち, 基調講演・一般講演での最新技術の報告のほか, ポスターセッション, 技術展示, およびテクニカルツアーなどが行われた。表 - 1 にシンポジウムのプログラムを示す。

今回のシンポジウム参加者は総勢 475 名であり, その内の 51 名が日本からの参加ということで, 開会式では主催



写真 - 1 シンポジウム会場

者側から, 過酷な震災にも関わらず多くの参加者があったことへの感謝の言葉があった。

2.2 基調講演

基調講演は, ドイツのドレスデン工科大学の Manfred Curbach 教授, 三井住友建設 (株) の春日氏, チェコの Červenka Consulting の Vladimir Červenka 氏の 3 名によって行われた。春日氏からは, 日本におけるコンクリートアーチ橋技術の変遷と将来についての講演があった。また, 3 月の震災時には多数の欧州の友人から見舞いの連絡をいただいたことに謝辞を述べられ, 講演を締めくくられた。

2.3 一般講演

一般講演は, 表 - 2 に示すテーマに分かれ, 4 会場で行われた。論文集に収められた論文は 44 カ国から全 268 編で, その内 231 編について口頭発表が行われ, 活発な討議が行われた。日本からは, 14 編の発表があった。また, 同時にポスターセッションが行われ, 37 編の発表があった。

なお, 次回は “Concrete Structures for Sustainable Com-

表 - 1 fib シンポジウム 2011 のプログラム

	6月8日(水)	6月9日(木)	6月10日(金)
9:00 ~ 10:30	開会式	セッション 1, 2A, 2B, 3	セッション 1, 2B, 3, 5
	休憩		
11:00 ~ 12:30	基調講演	セッション 1, 2B, 3, 5	セッション 1, 2B, 3, 5
	休憩		
14:00 ~ 15:45	セッション 2A, 2B, 4	セッション 1, 2B, 3, 5	セッション 1, 2A, 2B, 5
	休憩		
16:15 ~ 18:00	セッション 2A, 2B, 3, 4	セッション 1, 2B, 3, 5	閉会式

表 - 2 セッションと発表数

		発表数
1	New Model Code	41
2A	Concrete Technology	27
2B	Construction Technology	62
3	Modeling, Design	48
4	Environment	13
5	Composites, Hybrids	40
	Poster Session	37

*1 Junichiro NIWA : 東京工業大学大学院 教授

*2 Yoshihiro TERASHIMA : 首都高技術 (株) 企画部

*3 Tetsuya KUMASAKA : (株) オリエンタルコンサルタンツ SC事業本部 東北支店

*4 Yohei TAIRA : 鹿島建設 (株) 技術研究所

munity”をテーマに2012年6月11日から14日までスウェーデンのストックホルムで開催される予定である。

3. ウィーン工科大学訪問

3.1 オーストリアの概要

オーストリアはドイツの南方、中部ヨーロッパの内陸に位置し、西側はリヒテンシュタインとスイス、南側はイタリアとスロベニア、東側はハンガリーとスロバキア、北側はドイツとチェコに隣接する。首都は「音楽の都」・「楽都」とも呼ばれるウィーンである。

オーストリアは、人口834万人、面積83,871 km²である。面積的には北海道程度、人口密度は100人/km²で、秋田県や島根県程度である。なお、公用語はドイツ語である。

オーストリアは9つの連邦州からなり、首都州ウィーンを除く各州の下にはその出先機関である郡または独立した自治体である憲章都市が置かれ、さらに郡の下には基礎自治体である市町村が置かれている。オーストリアはウィーンのみならず、国全体が音楽を中心に文化大国としての歴史を有する。

3.2 ウィーン工科大学

オーストリアにおいては、ウィーン工科大学（Vienna University of Technology）の橋梁研究室を訪問し、コレガー教授（Prof. Dr. Johann Kollegger）のご好意により、大学研究室および大学構内に加えて、大学実験場におけるバランスド・リフト工法（Balanced Lift Method）の実験状況および協力企業工場内で実施した同工法の大型実験橋梁の視察を行った。

3.3 大学実験場における開発中工法の視察

コレガー教授の研究室においては、バランスド・リフト工法と呼ばれる特徴的な架設工法による橋梁について研究しており、大学実験場における実験状況も視察することができた。同工法は、2006年にウィーン大学で開発され、国際特許を取得しているとのことである。

同工法の詳細はシンポジウム抄録集¹⁾に収録されているので参照されたい。

今回、実験場で視察した供試体は、運河を横切る自転車道へ可動橋として適用する目的で開発中とのことである。橋梁を開閉させる機構の概要は、円柱形の筒内に水道水の貯留および放出を行い、その重量増減を利用して橋梁を開閉させる仕組みであるが、ヒアリングによると実際の自転車道の開閉においては運河の水を利用する計画とのことである。また、この機構は傘の開閉にヒントを得た発想ということであった（写真 - 2, 3）。

3.4 大型実験橋梁の視察

大学実験場における視察ののち、協力企業工場内で実施した同工法の大型実験橋梁についても視察することができた（写真 - 4）。大型実験橋梁はオーストリア高速道路管理会社（ASFINAG）におけるS7高速道路のプロジェクトに向けた実験で用いたものであるとのことである。S7高速道路は、ブルゲンランド州とシュタイアーマルク州に計画された道路網である。S7高速道路においては、4箇所



写真 - 2 桁部分が開閉途中の状況（大学実験場）



写真 - 3 桁部分が水平になった状況（大学実験場）



写真 - 4 大型実験橋梁 全景

の橋梁で現地状況を勘案した場合の架設費用の面における優位性が確認され、バランスド・リフト工法が採用されたとのことであった。

協力企業工場内の大型実験橋梁は、架橋された状態で存置されており、写真に示すように桁とストラットの接合部は架設中のヒンジ構造が見える状態であった。実構造においては、接合部は高強度モルタルなどにより充てんされ、剛結構造となる。

4. スロバキアの橋梁視察

4.1 スロバキアの概要

スロバキアは中央ヨーロッパに位置し、北西側はチェコ、北側はポーランド、東側はウクライナ、南側はハンガリー、南西側はオーストリアに国境を接している、内陸の国である。国土は東西に約 400 km、南北に 200 km という細長い形であり、国土面積約 4 万 9 千 km²、人口約 544 万人（2010 年）である。

第一次世界大戦後、オーストリア・ハンガリー帝国よりチェコスロバキアとして独立、その後 1993 年 1 月 1 日に分離独立して、現在に至っている。気候は変化に富んでいるが、基調となっているのは大陸性気候である。首都ブラチスラバの位置する西部は西岸海洋性気候（Cfb）、中央部は温暖湿潤気候、東部は湿潤大陸性気候である。ブラチスラバの平均気温は - 0.7 度（1 月）、19.1 度（7 月）、年平均降水量は約 650 mm である。このような気候を受け、国土の 1/3 が森林であるほか、ステップ性の草原も残っている。スロバキアは昔から農業国であったが、最近ではフランスの PSA・プジョーシトロエンや韓国の起重自動車が進出し工場を建設している。2009 年 1 月 1 日に通貨をスロバキア・コルナからユーロに切り替えた。

スロバキアの高速度道路は、国土をほぼ東西に横断する D1 を中心に枝分かれして隣国につながる D2 ~ D4 路線とこれを補間する、R1 ~ R6 が自動車専用道路として位置づけられている。また、2 桁ナンバーの 1 級国道と、3 桁ナンバーの 2 級国道、そのほかの地方道が国土全体の道路網を構成している。

スロバキアにおける新規路線の新設橋梁はそれほど多くないと思われる。今回は、ブラチスラバ市内のドナウ川に架かる新旧橋梁のほか、高速度道路 D1 延伸に伴い、新設されたポヴァスク・ビストリツェ市の高架橋の視察を行った。

4.2 ブラチスラバ市内のドナウ川に架かる橋

スロバキアの首都ブラチスラバは、国土の最西側に位置し、オーストリアおよびハンガリー国境に接する人口約 43 万人の中核都市である。市内を流れるドナウ川には、5 本の橋が架かっている。上流より、高速度道路 D2 の橋、新橋、旧橋、アポロ橋、高速度道路 D1 の橋である。このうち、高速度道路の橋を除く 3 橋を視察した。

4.3 ブラチスラバ (Bratislava) 新橋

通称ブラチスラバ新橋（写真 - 5）は、橋長 431.8 m、支間割り 74.8 + 303.0 + 54.0 m、4 車線の車道と両側の張出し床版下に歩道を有する全幅員 21.0 m の鋼 3 径間連続斜張橋である。1972 年に完成し、供用されている。高さ 84.6 m の傾斜した主塔より道路の中央分離帯に配置された 1 面の非対称斜材という特異な形状と、主塔の上に有料の展望台とレストランが設けられていることにより、ブラチスラバ市を象徴する有名な橋となっている。

張出し床版の下に設けられた歩道は幅員が片側 3.5 m と広く、高さも十分確保されていることから、開放感がある心地よい空間であった。また、両岸からの歩行者および自

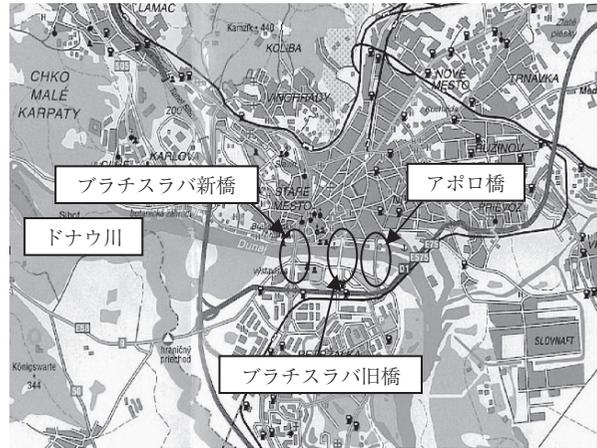


図 - 1 ブラチスラバ市内の視察橋梁位置



写真 - 5 ブラチスラバ新橋



写真 - 6 ブラチスラバ旧橋

転車のアクセス性にも十分配慮されており、われわれの視察が日曜日の夕方であったこともあってか、家族連れなど多くの歩行者や自転車が通行していた。また、日本とは異なり、アプローチの高架橋桁下が有効に利用されていることも深く印象に残る風景であった。

4.4 ブラチスラバ (Bratislava) 旧橋

新橋のやや上流には、鉄道橋と道路橋が並行する 5 径間の鋼トラス橋が架けられている（写真 - 6）。建設は第二次世界大戦の終戦直後で、現在では老朽化がかなり進んでおり、鉄道は廃線、車道もすでに通行止めの措置がとられていた。上流の新橋および下流のアポロ橋までは、おのこの約 1 km あるため、歩行者や自転車が迂回するには無理がある。そのため、歩道の通行を許容しているようである

が、桁下から見るとかぎり、木床版が敷かれているのみであり、安全が確保されているとはいえない状況であった。

4.5 アポロ (Apollo) 橋

アポロ橋は旧橋の下流に架かる橋である(写真-7)。ブラチスラバ市内の交通渋滞緩和のために建設され、2005年に完成した。アーチ支間 231 m、主構高 36 m のバスケットハンドル型の 2 主構アーチ橋である。本橋はやや傾けて張られた鉛直材と美しいアーチ形状が特徴的であるが、その架設方法も独創的で、河川堤防沿いに設けた仮設構台上で組み立て、台船で回転させ一括架設を行ったようである。詳細はウェブページ²⁾を参照されたい。

4.6 ポヴァスク・ビストリツエ (Povazka Bystrica) 橋

ポヴァスク・ビストリツエ橋は、高速道路 D1 がポヴァスク・ビストリツエ市内で、鉄道と 2 級国道 517 号を越える箇所に建設された PC10 径間連続エクストラード橋である(写真-8、9)。橋長は 968 m、最大支間は 122 m、最大の橋脚高さは約 33 m、主塔の高さは約 14 m であり、中央帯に設けられた主塔より片側 8 本の斜材ケーブルが 1 面で配置されている。

ストラットで張出し床版を支持するスレンダーな 1 室箱型断面となっており、上下 6 車線の幅員の広さを感じさせない橋である。主塔を有する中間橋脚は剛結合ではなく、橋軸方向に 2 点支承を設け、回転変形を抑制する構造となっている。橋脚は橋軸方向 2 点支承を受けるために 2 枚壁となっており、外面は白色に、つなぎ部材と内側の壁面は上部工のストラットと同じ緑色に塗装されている。橋脚には、ライトアップ用の照明器具が設置されており、住宅地の近隣を通過する高速道路の高架橋として景観への配慮が十分なされているようである。架設は、プレキャストセグメント工法による張出し架設工法が採用されている。設計は Strasky, Husty and Partners Ltd による。

なお、日本の高速道路高架橋とは異なり、桁下への立ち入りを制限するような柵は設置されていない。日本の管理状況とは異なる様子が見受けられた。

5. チェコの橋梁視察

5.1 チェコの概要

チェコは、1993年に「チェコスロバキア」が「チェコ」と「スロバキア」に平和的に分離し成立した共和国であり、その首都は今回の *fib* シンポジウムが開催されたプラハである。

人口は約 1 050 万人で、国土は東西に長い六角形をしており、北はポーランド、東はスロバキア、南はオーストリア、西はドイツと国境を接し、その面積は約 79 000 km² と北海道程度である。

チェコは、政府自身のイメージ宣伝もあって、「優れた技術を有する国」ということが世界的に過大評価される傾向にあり、EU に加盟する直前から自動車産業などの製造業を中心に工場が乱立したため、現在では極度の労働力不足や労働者の賃金急騰に悩んでいるとのことである。

1990 年代前半の民主化以降、チェコは社会資本整備に



写真-7 アポロ橋



写真-8 ポヴァスク・ビストリツエ橋



写真-9 ポヴァスク・ビストリツエ橋 (桁下から)

も注力してきているが、道路網の総延長 127 693 km のうち高速道路は 7 路線 498 km に留まっており、まだまだ整備途上にあるものと推察される。なお、高速道路の利用料金は、車両重量 3.5 t 以下であれば、年間チケットが約 6 000 円であり、日本と比較すると格段に安価である。

○ 会議報告 ○

5.2 ウヘルスキー・ブロード (Uhersky Brod) 歩道橋

ウヘルスキー・ブロード歩道橋 (写真 - 10) は、橋長 214 m で支間長 9.75 ~ 49.0 m の 8 径間の歩道橋であり、設計は、前述のボヴァスク・ビストリツエ橋と同様に Strasky, Husty and Partners Ltd による。鉄道駅構内に架かる本橋は、1970 年代に架橋された旧橋の架替え事業として 2005 年より計画が開始され、2010 年 6 月に完成した。今後、本駅には新ターミナルが建設される予定であり、本橋の完成は町の悲願であった。

鉄道跨線部は、最大支間長 49.0 m の 2 径間連続 PC 斜張橋 (A 形鋼管主塔のファン形斜材配置) で、跨線部以外は橋脚が鋼管柱の PC 連続ラーメン 2 主版桁形式である。ヨーロッパの橋梁全般にいえることであるが、地震が少ないためか、日本と比較して主塔・橋脚ともに非常にスリムに感じられた。

また、本斜張橋は供用目標が 100 年であるとのことで、排水管がすべてステンレス製であるなど、耐久性への配慮がうかがわれたが、日本の感覚からすると耐久性確保の点で少々疑問をもつ部分もあった。たとえば、チェコのほかの橋梁と同様に橋面に舗装は施されておらず、プレキャスト床版の継目は歩行面にそのままさらされていたり、支承は防錆剤が雑に塗布されただけの鋼製線支承であった。

ただし、主塔には太陽光発電パネルが設置されており、環境配慮については進んでいることが感じられた。

5.3 ストレス・リボン橋 (DS-L 橋)

ストレス・リボン橋 (写真 - 11) はチェコ第 2 の都市ブルノの郊外コーミンに位置するスヴラトゥッカ川に架かり、橋長 102 m で 1980 年頃に施工された吊床版橋である。市街地から公園への架け橋となっている。

チェコを代表するデザイナーである Jiri Strasky 氏が設計した橋梁で、厚さ 0.3 m のプレキャストセグメントにより構成されている。河川表面から桁下までのクリアランスがあまりないせいか、一般的な吊床版橋と比べたわみが小さいように感じた。

スヴラトゥッカ川の両サイドには木々が植えられているので木陰ができ、夏の暑い季節でも家族連れや犬を連れてのんびりと散歩できるコースとなっていた。

5.4 ヴラノフ湖 (Vranov 湖) の歩道橋

ヴラノフ湖の歩道橋 (写真 - 12) は、チェコ第 2 の都市ブルノから南東へ約 80 km に位置するヴラノフ湖に架かる橋梁で、橋長 312 m (支間割り 30 + 252 + 30 m)、幅員 6.6 m の吊橋である。ヴラノフ湖は 1930 年代にダムとして作られ、緑豊かなレクリエーションエリアに位置しており、この吊橋は宿泊施設やレストランが隣接する側と、反対側の公共ビーチを繋ぐ場所に位置している。また、水やガスなどのライフラインを輸送する役割も果たしている。

この橋梁の形式選定では、湖内に高価で施工困難な橋脚を建てるか、あるいはその橋脚を回避するために上部工のメインスパンを 250 m 以上とする必要が生じた。また、上部構造直下においてセールボートが航行するため、その移動を制限しないように湖表面から上部工まで十分なクリア

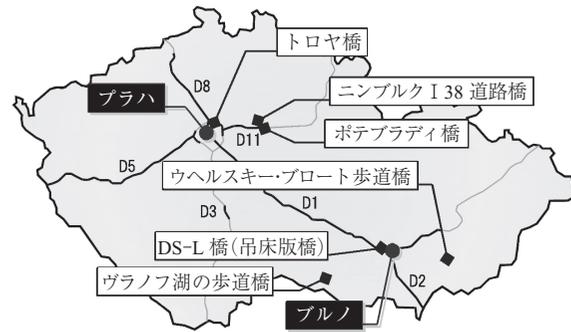


図 - 2 チェコの視察橋梁位置



写真 - 10 ウヘルスキー・ブロード歩道橋



写真 - 11 ストレス・リボン橋 (DS-L 橋) 全景



写真 - 12 ヴラノフ湖の歩道橋

ランスが必要であり、上部構造を縦方向に曲線として計画しなければならなかった。

計画段階で4つの案が提案されていたが、最終的に所定の場所に適切に構造物を構築できるうえ、経済的であることから、吊橋が採用された。

吊橋が採用されるうえで、早い段階から風の影響の問題があげられた。この問題を解決する方法として、十分なねじり、曲げ剛性をもったデッキを補強材やトラスにより形成することや、高速道路でよく用いられる鋼箱桁とすることが多い。しかし、この吊橋では、構造的に重たくなることと、高価になることから採用されていない。デッキは薄いコンクリート床版とし、ケーブルの緊張力で補強する形式を採用し、この吊橋に対応したとてもスレンダーな新しい構造システムが開発されている。

また、計算上、風の影響がとくに大きかった水平方向に対して、上部構造の両端アンカー部を横方向に広げる方法を採用している。これは、デッキの曲げ剛性を高めるとともに、デッキとケーブルの複雑な接続数を減らすことのできる利点もあったためである。

視察当日、この吊橋を含めたヴラノフ湖周辺は中学生の団体がキャンプを楽しみ、ほかにもサイクリングを楽しむ団体や家族連れが数多く見られ、市民の憩いの場として人を集めていた。この吊橋は景観を損なうことなく、湖と緑豊かな自然の中に同調している橋梁といえる。

5.5 ニンブルク (Nymburk) I 38 道路橋

ニンブルク I 38 道路橋 (写真 - 13) は、チェコのニンブルクの北東で、エルベ川 (チェコ語でラベ川) の低地の平坦な平原に位置し、交通渋滞を緩和するために構築されたバイパスの一部である。橋長は 530 m、メインスパンは 132 m、上部構造の中央部分は比較的軽量の複合鋼コンクリートドロップイン構造で低パイロン (主塔) を可能とした。橋梁は 2007 年 5 月に開通している。橋梁下でサイクリングやジョギングを楽しむ人に圧迫感を与えない橋梁である。

5.6 ポテブラディ (Podebrady) 橋

ポテブラディ橋 (写真 - 14) は、チェコからドイツを経て北海に流れ込むエルベ川に架けられた 3 径間連続複合斜張橋である。橋長 253 m、支間長 61.6 + 123.2 + 61.6 m、全幅員 32.3 m の高速自動車道である。

構造形式は中央 1 室箱桁 (プレキャストセグメント) と現場打ちコンクリートを組み合わせた構造である。斜材は、主塔に対して対称に等間隔で密に配置され、総幅員が 32.3 m と広いが 1 面吊りの斜材で支持され、斜材がはっきりと見えるのでスマートさを感じた。景観的に非常に見栄えのする構造であった。橋台と橋脚の側面に縦に溝が切っており上部構造のスマートさをさらに引き立てていた。

5.7 トロヤ (Troja) 橋

トロヤ橋 (写真 - 15) は今回のシンポジウムのテクニカルツアーとして見学会が設定されたもので、現在建設中である。橋長 243 m、幅 30.36 m で、プラハで最大の 200 m のスパンを有する。車道 4 車線の内、中央の 2 車線は路面電車が通行し、車道の外側に自転車道が配置され、



写真 - 13 ニンブルク I 38 道路橋



写真 - 14 ポテブラディ橋

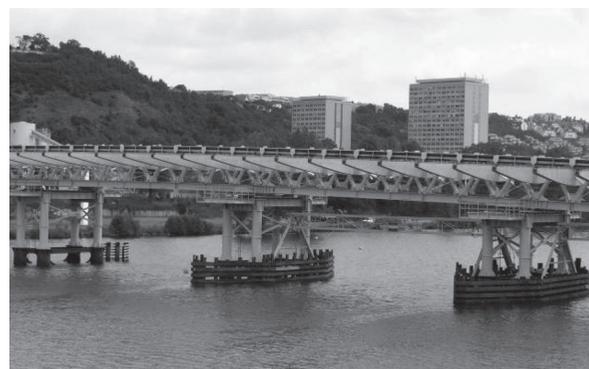


写真 - 15 トロヤ橋 (建設中)

周辺地区と市街地を結ぶ整備の一環である。

構造は鋼製のアーチと PC 桁、そしてそれらを接続するタイロッドからなる複合アーチ橋である。鋼製アーチ部が橋の両端部で分岐しているが中央部で一体化するデザインである。施工は、まず仮設の橋脚と鋼製トラスを組み、その上に橋桁を製作し、床版は現場打ちである。橋桁完成後にアーチを接続し、その後タイロッドに張力を導入して、仮設の橋脚、鋼製トラスの順に撤去する。2010 年秋に建設を開始し、2012 年末に完成の予定である。

○ 会議報告 ○

今回の視察の際には、仮設橋脚と鋼製トラスが完成し、PC桁が架設中の状況であった。歴史ある橋梁の立ち並ぶザルタヴァ川（ドイツ語名：モルダウ川）に架かる橋梁ということで、デザインも美しく、完成が切望される橋梁である。

完成予想図など詳細はウェブページ³⁾を参照されたい。

6. おわりに

今回、多くの橋梁設計を手がけている Jiri Strasky 氏 (Strasky, Husty and Partners Ltd) が設計した橋梁を中心に視察したが、いずれもデザイン性に優れた橋梁であった。一方、本稿で紹介できなかったがプラハ市内を流れるブルタバ川には、歴史ある橋梁が架かっており、その中でも有名なカレル橋は観光客で溢れかえっていた。このように、デザインおよび構造的に新規性のある橋梁と歴史ある橋梁を一度に視察できたことは、非常に有意義であった。

本稿は、表 - 3 に示す団員がそれぞれ担当した報告を取りまとめたものである。視察にあたっては、事前準備から実施までグロリア・ユーレックスの松澤氏、小倉氏に大変お世話になった。ここに感謝申し上げます。

最後に、本視察にあたり (社) プレストレストコンクリート技術協会にご支援いただいたことをご報告するとともに、ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Johann Kollegger, Susanne Gmainer, David Wimmer : Full-Scale Test of Building a Bridge by the Balanced Lift Method, *fib Symposium*, pp.471-474, 2011
- 2) <http://www.most.pokorny.sk/>
- 3) <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1228171>



写真 - 16 ウィーン工科大学にて

表 - 3 調査団員名簿

氏名	所属
二羽 淳一郎	東京工業大学
二羽 ひろみ	同伴者
池田 尚治	(株) 複合研究機構
春日 昭夫* ¹	三井住友建設 (株)
大塚 昭夫	首都高技術 (株)
寺島 善宏	首都高技術 (株)
入江 友規	(株) 富士ビー・エス
伊藤 雄一郎	極東鋼弦コンクリート振興 (株)
平 陽兵* ²	鹿島建設 (株)
梶木 洋子	(株) エイト日本技術開発
板倉 正和	(財) 首都高速道路技術センター
向野 元治	プイ・エス・エル・ジャパン (株)
熊坂 徹也	(株) オリエンタルコンサルタンツ
梅田 勇人	(株) 安部日鋼工業
及川 雅司	住友電工スチールワイヤー (株)
伊藤 利雄	(財) 海洋架橋・橋梁調査会
小倉 篤	グロリア・ユーレックス

※1：基調講演 ※2：シンポジウム発表

【2011年7月14日受付】



刊行物案内

PC斜張橋・エクストラードズド橋 維持管理指針

2011年4月

定価 4,800円 / 送料 500円

会員特価 4,000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