

fib シンポジウム 2016 参加と 南アフリカ共和国・UAE における橋梁視察報告

片 健一*1・中上 晋志*2・下村 匠*3・二羽 淳一郎*4

1. はじめに

2016年11月21日から23日までの3日間、fib (Fédération internationale du béton : 国際コンクリート連合) の2016年国際シンポジウムが、南アフリカ共和国のケープタウンにて開催された。

このたび、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、本シンポジウムに参加するとともに、開催国である南アフリカ共和国および経由地となったアラブ首長国連邦(UAE)の橋梁視察を実施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	所属先
1	団長	二羽 淳一郎	東京工業大学
2	副団長	下村 匠	長岡技術科学大学
3		酒井 秀昭	中日本高速道路(株)
4		諸橋 克敏	(株)ピーエス三菱
5		国富 康志	(株)安部日鋼工業
6		石井 武	(一財)橋梁調査会
7		森田 秀人	大成建設(株)
8		Pornpen LIMPANINLACHAT	東京工業大学
9		喜多 俊介	鹿島建設(株)
10		千草 亮介	(株)富士ビー・エス
11		片 健一	三井住友建設(株)
12		三加 崇	三井住友建設(株)
13		栃木 謙一	清水建設(株)
14		野田 一成	神鋼鋼線工業(株)
15		中上 晋志	住友電工スチールワイヤー(株)
16		安藤 誠	(株)オリエンタルコンサルタンツ
17		奥出 久人	(株)竹中工務店
18		藤原 慎八	ジオスター(株)
19		並木 智和	オリエンタル白石(株)
20	添乗員	篠崎 実	グロリア・ユーレックス

2. fib シンポジウム 2016

2.1 シンポジウム概要

今年のシンポジウムは、“Performance-Based Approaches for Concrete Structures”をテーマに、ケープタウンのビジネス中心街から近い Victoria and Alfred Waterfront 地区にあるケープタウン大学 Breakwater Campus 内の Graduate School of Business (写真-1)にて開催された。同大学は1829年

に設立された南アフリカ最古の大学であり、Breakwater Campus は、かつては受刑者の牢獄であった建物を1990年代に改装したものであることで知られている。本シンポジウムではプログラムや論文集の表紙には、オーストリアとイタリアを結ぶ世界最長の鉄道トンネルである Gotthard Base Tunnel の写真が用いられている(写真-2)。



写真-1 シンポジウム会場

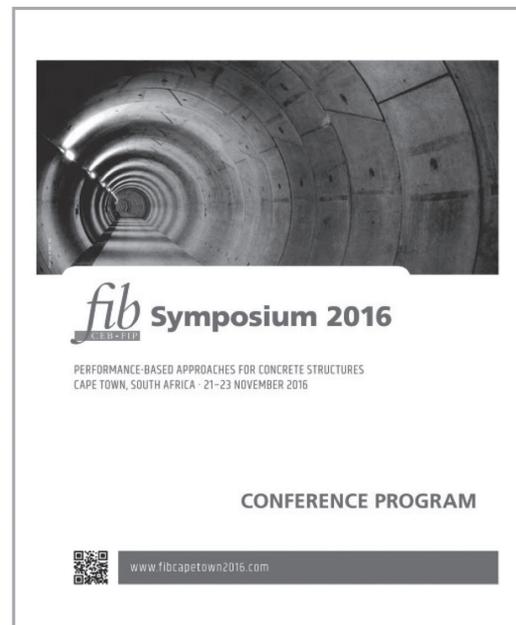


写真-2 プログラム表紙

*1 Kenichi KATA : 三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部

*2 Shinji NAKAUE : 住友電工スチールワイヤー(株) PC技術部

*3 Takumi SHIMOMURA : 長岡技術科学大学 工学部 環境・建設系 教授

*4 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

2.2 プログラム

今回のシンポジウムのプログラムは表 - 2 に示すように、14 のトピックスでセッションが振り分けられており、1 セッションはおおよそ 2 時間で、5 セッションが同時に開催されるものであった。

初日の午前中に行われたオープニングセッションでは *fib* 会長の Harald S. Müller 氏と組織委員長の Hans Beushauen 氏から開会スピーチがあり、そのあとに、本年の *fib* Medal の授与式が行われ、John Cairns 氏が *fib* 組織活動に重要な貢献をされた個人に贈られる Honorary Life Membership を、Stuart Matthews 氏と Michel Moussard 氏がコンクリート構造分野および *fib* 組織活動に重要な貢献をされた個人に贈られる The 2016 Medal of Merit を受賞した。

表 - 2 シンポジウムプログラム

Time	Topic	Structure	Material	Analysis	Other
8:00 ~ 10:00	Welcome Keynote lecture				
10:30 ~ 12:15	Structural analysis and design of members and structures	Structures exposed to seismic loading	Precast technology	Fibre reinforced concrete	Analysis and design Flexual and prestressed members
13:15 ~ 14:15	Keynote lecture				
14:20 ~ 15:30	Structural analysis and design of members and structures	Structures exposed to seismic loading	Precast technology	Fibre reinforced concrete	Analysis and design Flexual and prestressed members
16:00 ~ 17:45	Structural analysis and design of members and structures	Case studies	Precast technology	Fibre reinforced concrete	Analysis and design Flexual and prestressed members
8:00 ~ 10:00	Keynote lecture				
10:30 ~ 12:15	Structural analysis and design of members and structures	Bridge Structure	Material production, testing, modeling construction	Analysis and design Shear and torsion	Durability and service life
13:15 ~ 15:00	Structural analysis and design of members and structures	Bridge Structure	Material production, testing, modeling construction	Analysis and design Shear and torsion	Durability and service life
15:30 ~ 17:15	Structural analysis and design of members and structures	Bridge Structure	Material production, testing, modeling construction	Analysis and design Shear and torsion	Durability and service life
8:00 ~ 10:00	Keynote lecture				
10:30 ~ 12:15	Structural strengthening	Bridge Structure	Material production, testing, modeling construction	Deterioration mechanism and reinforcement corrosion	Durability and service life
13:15 ~ 15:00	Structural strengthening	Protection and repair of structure	shrinkage and creep	Deterioration mechanism and reinforcement corrosion	Condition assessment of structures
15:30 ~ 17:15	Structural strengthening	Protection and repair of structure	shrinkage and creep	Deterioration mechanism and reinforcement corrosion	Condition assessment of structures
17:30 ~ 17:45	Closing session				

2.3 基調講演

オープニングセッションに続き、表 - 3 に示す 2 題の基調講演が行われた。

表 - 3 基調講演テーマ

Title	Speaker
Performance-Based Design of Bridge and the Brenner Base Tunnel	Konrad Bergmeister
Sustainability and Performance Design of Structure with Precast Elements	David Fernandez-Ordenez

本シンポジウムのプログラムの特徴として、オープニングセッションでの基調講演のほかに、各セッションの合間や各講演日の冒頭で Keynote Lecture を設けている点がある。ここでは表 - 4 に示すように本シンポジウムのメインテーマに即した内容で講演が行われた。耐久性やサステナビリティに関する講演も複数あり、現在のコンクリート構造分野が持つ研究課題や動向が世界的に共通であることがうかがえた。

表 - 4 Keynote Lecture の内容

Title	Speaker
<i>fib</i> Model Code 2020 A New Development in Structural Code: Towards a General Code for Both New and Existing Concrete Structure	S.L. Matthews
Performance-Based Service Life Design in the 2021 Version of the European Concrete Standard Ambitions and Challenges	Steinar Helland
Durability Requirements for Concrete Nowadays and in the Future Key Parameters for Performance Concept	Christoph Müller
Performance-Based Concrete Durability Design and Specification in South Africa Background, Implementation, and Quo Nunc ?	M.G. Alexander
Concrete Bridge Design for Aesthetical Performance	Edwin Kruger
Forensic Engineering: Need for a New Professional Profile	Joost Walraven
Performance-Based Approach for Mechanical Concrete Properties Roadmap Towards Constitutive Coherences	Frank Dehn
Sustainable Concrete and Concrete Structures Challenge for a Sustainable Future	Petr Hajek

2.4 一般講演

一般講演のトピックス名および発表件数を表 - 5 に示す。今回は、プログラムにも示されたように 14 のトピックス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 254 件行われ、1 講演あたり質疑応答も含め 20 分程度分け与えられていた。

日本からは 12 件の講演が行われ、本調査団からは 6 名が講演を行い、中日本高速道路(株) 酒井氏が日本の高速道路における複合橋の設計と施工に関して、(株)ピーエス三菱 諸橋氏が劣化した RC 床版の取替え工法に関して、(株)竹中工務店の奥出氏が吹田サッカースタジアムの設計と施工に関して、三井住友建設(株)の三加氏が建設後 25 年経過した AFRP を緊張材とした PC 橋の調査報告に関して、住友電工スチールワイヤー(株)の中上氏がエポキシ被覆した高強度 PC 鋼材 IS17.8 の開発に関して、東京工業大学の Limpaninlachath 氏がプレテンション UFC パネルにより補強された RC 梁の力学的挙動の評価に関してそれぞれ講演を行った。講演会場の様子を写真 - 3 に示す。

表 - 5 一般講演のトピックスと発表件数

Topics	講演数	日本分
Structural Analysis and Design	36	0
Analysis and Design: Flexural and Prestressed Members	14	0
Analysis and Design: Shear and Torsion	14	0
Structures Exposed to Seismic Loading	12	1
Shrinkage and Creep	12	0
Material, Production, Testing, Modelling, Construction	26	1
Fibre-Reinforced Concrete	15	0
Precast Technology	15	1
Bridge Structures	24	4
Durability and Service Life	22	1
Deterioration Mechanisms and Reinforcement Corrosion	21	1
Condition Assessment	10	1
Protection and Repair	15	1
Structural Strengthening	18	1
合計	254	12



写真 - 3 一般講演会場の様子

2.5 クロージングセッション

クロージングセッションでは *fib* 会長の Harald S. Müller 氏がスピーチを行い、本シンポジウムの成功とスタッフへの感謝の気持ちを述べた。また、2017年の Symposium (Maastricht)、2018年の Congress (Melbourne)、2019年の Symposium (Krakow) が紹介された (写真 - 4)。



写真 - 4 次回以降のシンポジウムの紹介

3. 南アフリカ共和国の橋梁視察報告

3.1 調査概要

南アフリカ共和国はアフリカ大陸で唯一 G20 メンバーに含まれている国であり、アフリカを代表する経済大国である。そのため、インフラは欧米なみに整備されている地域が多数存在する。本視察では、南アフリカの橋梁として「Bloukrans 橋」と「Gouritz River 橋」の2橋の視察を行った。両橋梁ともアフリカ大陸の南端をインド洋沿いに東西に延び、庭のように美しい景色が続くことからガーデnlルートと呼ばれている国道2号線に架かる橋梁である。両橋の位置を図 - 1 に示す。



図 - 1 橋梁位置図

3.2 Bloukrans (ブルー克蘭ズ) 橋

ブルー克蘭ズ橋 (写真 - 5) は、東ケープ州と西ケープ州の境にあるネイチャーズバレー近くに位置する橋長 450.0 m、アーチスパン 272.0 m、アーチライズ 62.0 m のコンクリートアーチ橋である。アーチリブは幅 12.0 m の3室の RC 構造で、高さはスプリング部の 5.6 m からクラウン部で 3.6 m まで変化している。鉛直材も RC 構造で、19.0 m ピッチで 23 本配置されており、もっとも高いところでは 67.5 m の高さを有している。補剛桁は桁高 1.37 m の PC 構造のホロー桁であり、アーチクラウン部でも鉛直材上に配置されている (図 - 2)。



写真 - 5 Bloukrans 橋

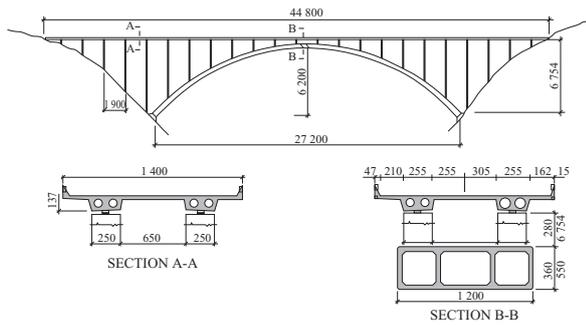


図 - 2 橋梁一般図

本橋は1980年～1983年にかけて建設されており、アーチリブは河床から216mの高さに位置する。完成時においてアーチスパン272mは世界で4番目（アフリカでは最長）であり、河床からの高さ216mは世界で7番目であった。また、この高さを利用した世界屈指のバンジージャンプ場として有名であり、世界各地から挑戦者が訪れている場所でもある。そのため架橋位置は観光地として整備され、橋の展望台近くには当時の建設状況写真などを展示している資料館も建てられている。

本橋は施工費の低減を考慮して、アーチリブは斜吊り張出し架設工法で施工されている。スプリング部近傍ではアーチアバット上の鉛直材に定着された斜材により斜吊り張出しを行い、張出しが進むとその鉛直材上方に構築したピロンを併用して、さらに斜吊り張出し架設を進めていく。斜材による水平力は、すでに後方に施工したほかの鉛直材および補剛桁、バックステイで負担している。31ブロックに分割されたアーチリブが閉合すると鉛直材間隔ごとに補剛桁を施工する。架設ステップを図-3に、資料館に掲示されていた張出し架設状況を写真-6に示す。

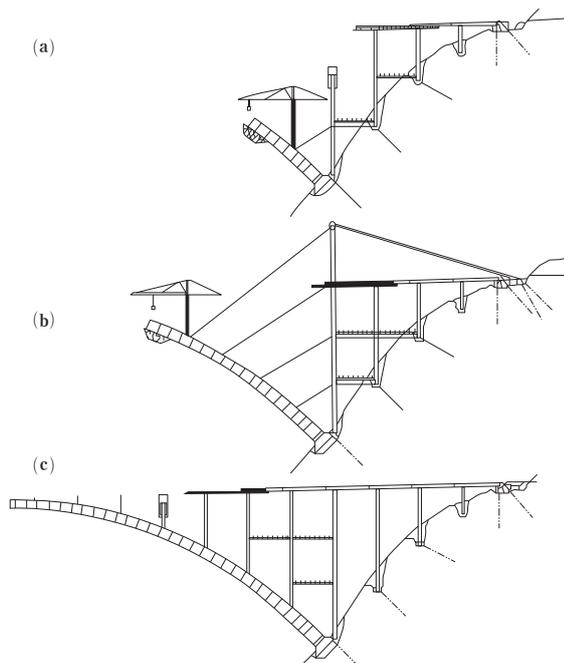


図 - 3 架設ステップ

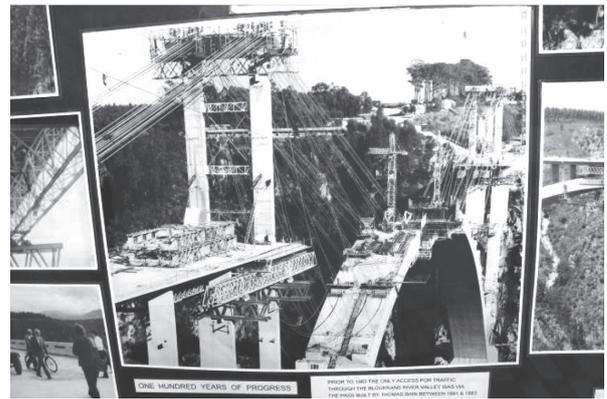


写真 - 6 張出し架設状況

張出し架設では、使用する斜材の容量を低減するために、張出し架設できるブロック数を最大限にして4ブロック張出してからPC鋼材で斜吊りするサイクルを用いており、更なるコスト縮減を目的として、架設鋼材の一部を補剛桁での本設鋼材として利用している。

3.3 Gouritz River (ゴウリッツ川) 橋

ゴウリッツ川橋(写真-7)は、西ケープ州の南東に位置するモリソン湾の近くのゴウリッツ川溪谷に架かる橋梁で、1978年に建設された、橋長210m、支間割55.0m+105.0m+65.0m+45.0mの4径間連続PCπ型ラーメン橋である。主桁は箱桁断面であり桁高は支点上で5.8m、支間中央で2.8mであり13.98mの幅員を有する。主桁は河床から75.0mの高さに位置しており、斜材基礎部の間隔は170mに達する。本橋の北側には、旧ゴウリッツ川橋と鉄道橋が並走しており、両橋とも鋼トラス構造の橋梁である。旧ゴウリッツ川橋は1892年に建設された鉄道と道路の併用橋であったが、現在は使用禁止となっている。

本橋の斜材部は水平方向の打継面が確認されたことから、分割施工されたと推察される。また主桁にも張出し架設を想起させるような鉛直打継目も確認された。なおBloukrans橋、Gouritz River橋とも南アフリカ共和国の同じ設計会社によって設計されている。



写真 - 7 Gouritz River 橋

4. UAE・ドバイの橋梁視察報告

4.1 調査概要

UAEでは帰路の経由地であるドバイの橋梁を視察した。ドバイは、1971年に建国されたUAEを構成している7つの首長国のうちのひとつであり、首都であるアブダビに次ぐ第二の都市で中東を代表する金融都市である。石油埋蔵量に恵まれていないため早くから石油依存型の経済からの脱却を図っており、とくに21世紀に入り急速に観光都市化を進められ、道路や超高層ビルなどの建設が盛んに行われていることで有名である。2009年のいわゆるドバイショックで金融市場の株価下落なども起きたが、今なお中東を代表する金融都市の地位は確保しており、視察時は建国45周年であることにより一層の発展が行われている最中で、2020年の国際博覧会（万博）の開催も決定している。視察した橋梁の位置を図-4に示す。

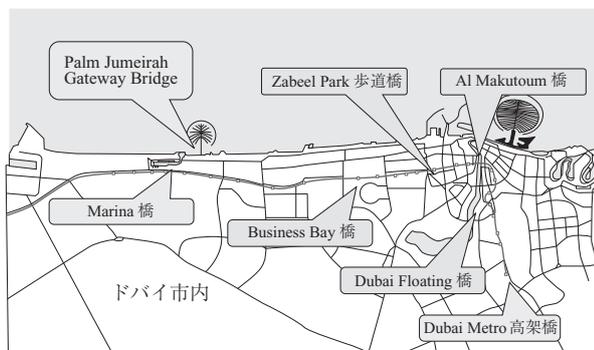


図-4 橋梁位置図

4.2 Zabeel Park (ザビール公園) 歩道橋

ザビール公園歩道橋は、ドバイ市の北西に位置するザビール公園に架かっており、3つのエリアに分かれている公園を繋ぐ歩道橋のひとつで、2005年に完成した同国初の斜張橋である（写真-8）。構造形式はコンクリート床版を有する鋼斜張橋で主塔高は52m、最大支間は65mであり、約300tの鋼部材が用いられている。なお、ドバイには親日家が多く、家族向けの施設が多いこの公園内には1/10サイズの大坂城も建造されている。



写真-8 Zabeel Park 歩道橋

4.3 Dubai Floating Bridge (ドバイクリーク浮橋)

ドバイクリーク浮橋は増加する車両交通量による朝夕の渋滞に対応するために2007年に完成した入り江に架かる浮橋である（写真-9）。橋長は365mで上下線はそれぞれ並行に独立して架橋された2列の浮橋となっており、各橋とも幅員22mで3車線の車両レーンと歩道を有している。本橋は主に長さ115mのコンクリート製ポンツーンで構成されており、おのおの2支間分有している。橋の中央部になるポンツーンどうしの間は鋼構造で、鉛直軸まわりに回転できる構造となっており、橋梁が開くことで船舶の航行を可能にしている（写真-10）。歩車道境界にはプレキャスト化された壁高欄が用いられており、現場での橋梁の架設を昼夜施工でわずか23日で完了させたことに寄与していると推察される。



写真-9 Dubai Floating Bridge



写真-10 中央部の回転軸

4.4 Al Maktoum (アルマクトゥーム) 橋

アルマクトゥーム橋は、ドバイクリーク浮橋の下流側に架かる橋梁である。ドバイクリークを横架する道路はトンネルを含め全部で5本あり本橋は橋梁の中でもっとも古いもので1963年より供用されている。この橋梁は、5径間の鋼桁橋と大型船舶の通行が可能な跳ね橋で構成されている。5径間の鋼桁部は支間が30.5mで特徴的なウェブ形状を有している（写真-11）。

開通当初は通行する自動車には通行料を課していたが、1973年に償還が完了して一旦廃止された。その後、2007年に交通量の増加に対応するために拡幅がされており、そのために2008年より通行料が再び課せられた。ただし隣接するドバイクリーク浮橋が閉鎖する時間帯は無料になるということである。



写真 - 11 Al Maktoum 橋

4.5 Dubai Metro (ドバイメトロ) 高架橋

ドバイメトロプロジェクトは急速な成長にともなう交通渋滞の解消や都市インフラ整備の一環として計画され、2011年に竣工した総延長75kmの世界最長の全自動無人運転鉄道システムである。本橋では、夏場の40℃を超える自然環境や、中東初の鉄道開通を目指す工期など厳しい架設条件から、徹底したプレキャスト化が図られている。

高架橋の大部分は写真 - 12 に示すように支間長30m前後の単純桁橋であるが、道路との立体交差部など比較的長い支間が要求される16箇所においては中央支間72mの3径間連続桁橋の同一構造が採用されている。

高架橋の上部構造はすべてプレキャストセグメントが使用されている。架設については、単純桁橋部はスパンバイスパン工法により行われ、連続桁橋部はバランスドカンチレバー工法が採用された。橋脚は単柱式の鉄筋コンクリート橋脚で、柱頭部でもプレキャスト横梁が用いられている。



写真 - 12 Dubai Metro 高架橋 (単純桁橋部)

駅舎や駅構内のデザインにもみられるように外観へのこだわりが強く、支承部もカバーで覆われている。また厳しい環境条件下で構造物の設計寿命が100年とされていることもあり、上部工および下部構造物には防水膜および保護膜の塗装が施されている。

4.6 Palm Jumeirah Gateway (パームジュメイラゲートウェイ) 橋

パームジュメイラゲートウェイ橋は、世界最大級の人工

島で有名なパームジュメイラとドバイ本土を結ぶ道路橋でサウスブリッジとノースブリッジに分かれており2006年に完成した。橋梁形式はPC箱桁橋で橋長は約350m、幅員は約25mで片側5車線と歩道を有している。2橋の道路線形は湾曲した左右対称形である(写真 - 13)。



写真 - 13 Palm Jumeirah Gateway 橋

4.7 Marina (マリーナ) 橋

マリーナ橋は、人工の運河都市ドバイマリーナ内の人工運河に架かる橋で、橋長192.4m、中央支間126.4mの同形式PC3径間連続箱桁橋が4橋架橋されている。側径間長が33mであり、アンバランスな支間割に対応するため桁高を大きくしており、外観からは土工の擁壁のようにも見えるほどであった(写真 - 14)。



写真 - 14 Marina 橋

5. おわりに

今回の視察では、シンポジウムにおいては欧州を中心としたコンクリート構造物の設計や技術動向を知ることができ、橋梁視察では南アフリカ共和国の高い橋梁技術と今なお続くドバイの精力的なインフラ建設にふれることができ非常に有意義なものとなった。ご支援頂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現地対応でご尽力いただいたグロリア・ユーレックス篠崎氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) A.C.Liebenberg, M.G.Latimer: Bloukrans Bridge, ARCH'01-3^{ème} conférence sur les ponts en arc, Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris, 2001
- 2) 齋藤ら: メトロプロジェクト3径間連続桁橋のセグメント製作と架設, プレストレストコンクリート技術協会 第17回シンポジウム論文集, 2008年10月

[2017年1月23日受付]