

第4回 *fib* コンgressとインドにおける 橋梁視察報告

下村 匠^{*1}・齋藤 公生^{*2}・妹川 寿秀^{*3}・増田 貴充^{*4}

1. はじめに

第4回 *fib* (federation internationale du béton：国際構造コンクリート連合) コンgressが、2014年2月10日から14日の5日間、インド最大の都市であるムンバイにおいて開催された。*fib* コンgressはコンクリート構造に関する国際会議として、4年ごとに開催される国際会議であり、前回のワシントン大会に次いで開催となる。

このたび、*fib* コンgressに参加するとともに、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、写真-1)を結成し、インドの橋梁視察を実施したので、その概要を報告する。

表-1 調査団員

氏 名	所 属
下村 匠	長岡技術科学大学
池田 尚治	(株)複合研究機構
春日 昭夫	三井住友建設(株)
増田 貴充	(株)オリエンタルコンサルタンツ
大塚 敬三	(一財)首都高速道路技術センター
妹川 寿秀	(株)富士ビー・エス
伊藤 朋紀	(株)安部日鋼工業
繪鳩 武史	(一財)首都高速道路技術センター
内山 周太郎	極東鋼弦コンクリート振興(株)
毎田 悠承	東京工業大学
松本 修一	首都高技術(株)
鴨井 智也	神鋼鋼線工業(株)
菅野 晶夫	首都高技術(株)
阿部 洋	(株)竹中工務店
齋藤 公生	鹿島建設(株)
松宮 直規	アイレック技建(株)
伊藤 武文	アイレック技建(株)
関 基成	アイレック技建(株)
出海 経太郎	アイレック技建(株)
篠崎 実	グロリア・ユーレックス(添乗員)
松澤 均郎	グロリア・ユーレックス(添乗員)



写真-1 調査団

で開催され(写真-2)、今日の変化する社会ニーズに焦点をあてた“Improving Performance of Concrete Structures (コンクリート構造の性能向上)”をテーマに、4日間で250を超える論文が発表された。開会式では*fib*会長のGordon Clark氏らより、ニューデリーで開催された1986年FIPコンgressと2004年シンポジウム以来となるインドでの*fib*開催に対して感謝の意が伝えられた。



写真-2 コンgress会場

2. *fib* コンgressの概要

2.1 概 要

今回の*fib* コンgressは、ムンバイ市のボワイ湖のほとりにあるルネッサンスホテル・コンベンションセンターに

2.2 プログラム

今回のコンgressは、表-2に示す日程に沿って実施され、特別講演および論文発表と並行して、ポスターセッションや展示が行われた。

^{*1} Takumi SHIMOMURA：長岡技術科学大学 工学部 環境・建設系 教授

^{*2} Kimio SAITO：鹿島建設(株) 土木管理本部 土木技術部

^{*3} Toshihide IMOKAWA：(株)富士ビー・エス 関東支店 土木部

^{*4} Takamitsu MASUDA：(株)オリエンタルコンサルタンツ 中部支店 技術部

表 - 2 *fib* コングレスのプログラム

月/日	9:30-11:15	11:45-13:15	14:15-16:00	16:30-18:00	18:30-
2/10	Inaugural & Awards	—	Plenary Session	Dinner	
	—	Poster Session	—	Entertainment	
2/11	Session 1-4, 12-15, 23-26, 34-37, 45-48				Dinner
	—	—	Invited Lectures	—	Entertainment
2/12	Session 5-8, 16-19, 27-30, 38-41, 49-52, 60-63				Gala Dinner
	—	Invited Lectures		Invited Lectures	
	—	On forefront of Technology			
	—	—	—	National Reports	
2/13	Session 9-11, 20-22, 31-33, 42-44, 53-55, 64-66			Valedictory Session	—
	—	Invited Lectures			
	National Reports		—		
	On forefront of Technology		—		
	MC 2010 Course				
2/14	Workshop on Durability				—
	Workshop on Fiber reinforced Concrete				
	Meeting By Invitation MMRDA				

2.3 基調講演

基調講演は、Giuseppe Mancini 氏と木村秀樹氏および Joost Walraven 氏の 3 名により行われた。木村氏からは “Large scale application of HS-HP FRC in Japan” と題して発表があった。

2.4 一般講演

一般講演のテーマと論文数を表 - 3 に示す。全 261 編が 6 会場で発表された。日本からは表 - 4 に示す 9 編の論文が発表され、本調査団より毎田氏が座屈拘束筋違を取り付けた鉄筋コンクリート部分架構のせん断抵抗、春日氏が錆びない非鉄製材料を採用した橋梁の開発、繪嶋氏が既設 PC 橋の横締めシースグラウト充填度非破壊検査技術に関する論文を発表した。また、国内の PC 橋については、高橋脚を有する長支間のカンチレバー工法による PC 橋の構造計画と施工などの発表があった。

表 - 3 一般講演のテーマと発表件数

	テーマ	件数
1	Existing Concrete Structure	49
2	Codes of practices for General Use and Special Applications	15
3	Model Codes and their Influence on National Codes	28
4	Design, Construction and Maintenance of large and/or innovative structures	65
5	Pre-cast Concrete Structures	15
6	Steel-Concrete Hybrid Structures	7
7	Earthquake Engineering (General Aspects)	8
8	Improving Understanding of Currently Used Materials	14
9	Improvements in Prestressing Systems	9
10	Improved Understanding of New Materials	25
11	High Performance and Ultra High Performance Concretes	16
12	Other Topics	10
	合 計	261

2.5 *fib* 表彰

コンgressでは開会式において *fib* より Freyssinet Medals, Honorary Memberships, *fib* Awards for Outstanding Concrete

表 - 4 日本からの発表テーマ (発表者)

1	Deterioration prediction of the concrete structure exposed to actual acid river water based on phase equilibrium calculation (Shintaro Miyamoto)
2	Shear Resistance of Deep Reinforced Concrete Corbels in Continuously Buckling Restrained Braced RC Frames (Yusuke Maida)
3	Effect of volume change of concrete on shear capacity of RC beam and its evaluation (Kenichiro Nakarai)
4	A new repair method of honeycombing by resin infusion without removing attached aggregates (Naomi Sasaki)
5	Replacement of Bridge Decks with High Strength Lightweight Precast Prestressed Concrete Slabs (Hideyuki Satoho)
6	Development of Non-Metal Bridge (Akio Kasuga)
7	Construction and maintenance of cement-based adhesive anchor system with short bond length (Katsuhisa Ueda)
8	Construction and Geometry Control of a Large Balanced Cantilever Bridge with Tall Pier Column -New Meishin Expressway Kawashimogawa Bridge Project- (Masashi Hada)
9	The development of a diagnosis method for transverse prestressing tendon grout condition on existing bridges using impact-echo NDT (Takeshi Ebato)

Structures が授与される。Freyssinet Medals は、4 年ごとのコンgressで授与され、今回は Joost Walraven 氏（オランダ）と Armando Rito 氏（ポルトガル）が受賞した。Honorary Memberships は、毎年 *fib* 開催時に表彰されるもので、今年は C.R.Alimchandani 氏（インド）と Fernando Stucchi 氏（ブラジル）および Arnold van Acker 氏（ベルギー）へ称号が贈られた。*fib* Awards for Outstanding Concrete Structures は、4 年ごとのコンgress開催時に建築分野と土木分野における秀逸かつ斬新なコンクリート構造を表彰するものである。今回は、表 - 5 に示す日本のパークシティ武蔵小杉など 5 つの優秀賞（Winners）とフーバーダムに架かるアーチ橋など 6 つの特別賞（Special Mention）が贈られた。

表 - 5 *fib* Awards for Outstanding Concrete Structures

分野	区分	作品名 (国名)
建築	優秀賞	Centro Ovale Concrete Shell (Switzerland)
		Park City Musashi Kosugi (Japan)
		Bella Sky Hotel (Denmark)
	特別賞	Shenzhen Vanke Center (China)
土木	優秀賞	Trollstigen View Point (Norway)
		Egg-Graben Bridge (Austria)
	特別賞	Térénez Bridge (France)
		Hoover dam Bypass/Mike O'Callaghan-Pat Tillman Memorial Bridge (USA)
		Kalisindh Thermal Power Project (India)
		Pedestrian Bridge Albstadt Lautlingen (Germany)
		Sustainable Modular Uhpfrc Bridge (The Netherlands)

2.6 ナショナルレポート

今回のコンgressでは、計 13 カ国によるナショナルレポートの発表が行われた。ナショナルレポートでは、各国を代表するコンクリート構造物や最近の研究などが報告された。表 - 6 にナショナルレポート参加国を示す。

表 - 6 ナショナルレポート参加国

No.	国 名	講演者
1	France	Michel Mousard 氏
2	Hungary	Balazs 氏
3	India	D.A.Bjide 氏
4	Japan	Takumi Shimomura 氏
5	Brazil	—
6	Czech Republic	Michel Kalny 氏
7	Denmark	Mikael Braestrup 氏
8	Norway	Tor Arne Martius Hammer 氏
9	Portugal	Joao Almeida 氏
10	Slovakia	MilanChandoga, Peter Paulik 氏
11	Switzerland	Aurelio Muttoni 氏
12	Tunisia	Atef Daoud 氏
13	United Kingdom	Charles Goodchild 氏

(1) インド

今回の kongress 開催国であるインドでは、ムンバイ Metro を始め大規模な交通インフラの整備が急速に行われており、Jaipur の地下鉄の高架道路や *fib* Award を受賞した Jhalawar の Kalisindh 火力発電プロジェクトなどの構造物が紹介された。

(2) 日本

本調査団の下村教授より、*fib* Award を受賞したパークシティ武蔵小杉を含む建築構造物 9 件、橋梁 32 件、海洋構造物 3 件、容器構造物 3 件、補修・補強 4 件の 51 作品が紹介された。

3. 橋梁調査

3.1 ムンバイの橋梁調査

(1) Bandra-Worli Sea Link の橋梁

正式には「Rajiv Gandhi Sea Link」と呼ばれる「Bandra-Worli Sea Link」は、MAHIM BAY の湾口に位置し（図 - 1）、南ムンバイのワーリとムンバイ西部郊外のバンドラを結ぶ高架橋であり、ムンバイのビジネス地区であるナ



図 - 1 Bandra-Worli Sea Link の位置

リマン地区につながる高速道路の一部である。マハラシュトラ州道路開発公社からの委託によりヒンドゥスタン建設会社が建設し、工事費は約 2.6 億ドルである。8 車線のうち 4 車線が 2009 年 6 月 30 日に開通し、2010 年 3 月 24 日に全 8 車線が開通した。日平均交通量は約 37 500 台である¹⁾。

橋梁の南側には本橋梁の資料館があり、橋梁の概要や模型が見学できるようになっている。

高架橋の構造は、3 室の PC 箱桁橋であり、支間長 50 m が連続するアプローチ部と、最大支間 250 m を有する斜張橋に分かれる（写真 - 3）。主桁の施工はプレキャストセグメント工法で、1 セグメントの長さは 3 m、重量は約 140 t である。アプローチ部はスパンバイスパン工法で、斜張橋部分はカンチレバー工法が採用されている。プレキャストセグメントの製作ヤードは、近くの埋立て地に約 470 個のセグメントの保管が可能な用地を確保している。

基礎構造は、杭長 6 ～ 34 m の RC 杭で構成され、斜張橋部分の杭径は $\phi 2000$ mm、アプローチ部は $\phi 1500$ mm となっている。



写真 - 3 Bandra-Worli Sea Link

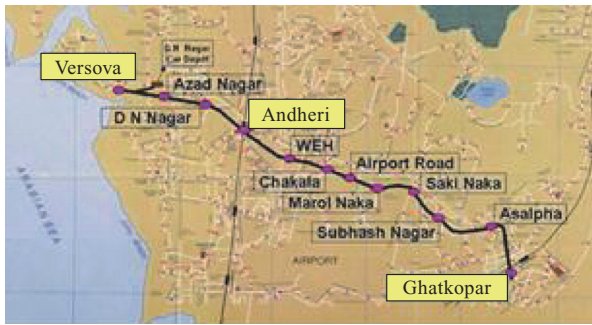
主塔は、ダイヤモンド型で高さ 128 m を有し、デザインは、スリットを有する曲面で構成されている（写真 - 4）。



写真 - 4 Bandra-Worli Sea Link の主塔のデザイン

(2) Mumbai Metro Line 1 の橋梁

ムンバイ市内では鉄道網の整備が進められており、現在 9 路線が整備中である。このうち、ムンバイ市内を東西に結ぶ約 11 km の Line 1 は、Versova 地区と Ghatkopar 地区を結ぶ路線であり、その総事業費は約 6.9 億ドルとされている（図 - 2）。現在は 2014 年 4 月に供用を開始すべく、

図 - 2 Mumbai Metro Line 1 の路線図²⁾

試験走行を通じて、運行システムの最終チェックが実施されている。Line 1 には 12 の駅が作られており、6 両編成の 18 車両を運転間隔は 3 分で運行する予定である。

Mumbai Metro Line 1 は高架構造であり、標準的な構造は、U 型断面を有する PC 桁となっており、クレーンによるプレキャスト桁架設工法が採用されている（写真 - 5、6）。



写真 - 5 Mumbai Metro Line 1 の高架構造

写真 - 6 U 型断面の PC 桁の架設³⁾

3.2 デリーの橋梁調査

(1) Wazirabad のアプローチ橋

Wazirabad のアプローチ橋は、Yamuna 川に建設中の Signature Bridge へのアプローチ区間であり、Yamuna 川の東岸では Khajuri Khas 交差点で東岸道路と、西岸では 45

号線（外環状道路）とつながる（図 - 3、写真 - 7）。

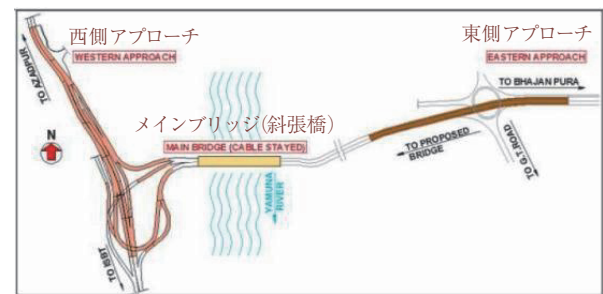
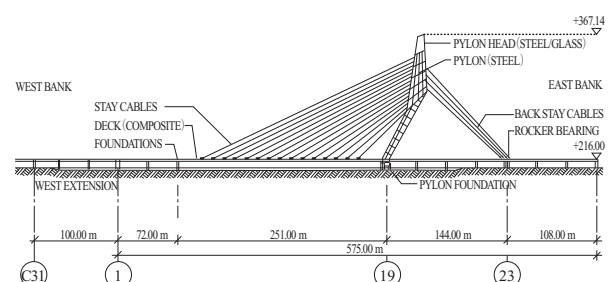
図 - 3 Signature Bridge とアプローチ橋⁴⁾

写真 - 7 45 号線から臨む西側アプローチ

Signature Bridge プロジェクトは Delhi Tourism and Transportation Development Corporation (DTTDC) により計画され、Gammon India 社がメインブリッジである斜張橋とそのアプローチの建設をとともに受注している。本プロジェクトは、デリーに特徴的なモニュメントを造り、インドの首都に現代的な観光地を開発するというコンセプトで進められている。

メインブリッジである Signature Bridge は主径間 251 m・全長 675 m・片側 4 車線で、図 - 4 のように主塔は高さ 150 m の弓型をしている。

図 - 4 Signature Bridge の全体図⁵⁾

アプローチ橋の上部構造は、プレキャストセグメント連続箱桁のスパンバイスパン工法が採用され、3 または 4 スパンを 1 ユニットとするインテグラル（一体化）構造となっている（写真 - 8）。上床版張り出し部のストラットとして、1 セグメントあたり両側に 2 本、計 4 本のプレキャストトリブが配置されている（写真 - 9）。スパンバイスパン



写真 - 8 上部構造

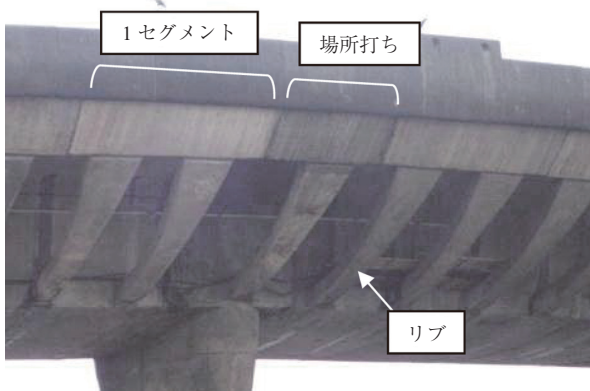


写真 - 9 プレキャストセグメントのリブ

工法としては、架設術を使用する方法と、架台と起重機または門型クレーンを使用する方法が用いられている。施工手順は、第1段階でセグメントをドライマッチングした後、スパンごとに自重に耐え得るだけの一次プレストレスを導入し、橋脚部分のコンクリートの場所打ちを行う。1ユニット（3～4スパン）のインテグラル化が完了すると、第2段階で、PC 鋼より線（12.7 mm 19 本）を配置し、本緊張を行っている。

橋脚は、上下端と中間部の厚さが変化しており、1ユニットの両端では、変形に追従しやすいスリムな橋脚が配置されている（写真 - 10）。本橋は、完成が当初計画の2008 年 8 月の予定だったが現在では2015 年 6 月とされており、建設費についても当初の約 2.5 倍と見積もられている⁶⁾。

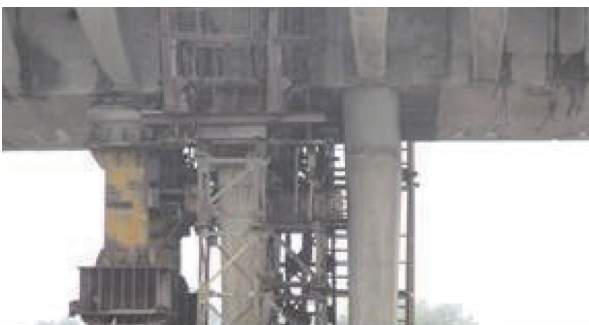


写真 - 10 ユニット間の橋脚

(2) デリーメトロの橋梁

デリーメトロは、1998 年に建設が始まり、2006 年全線開通したフェーズ 1 の約 65 km と 2011 年全線開通したフェーズ 2 の約 125 km が完成しており、6 路線が開通（図 - 5）している。現在は、フェーズ 3 の建設を行っている。デリーメトロの建設には、総事業費約 6 667 億円のうち、JAIC より約 3 748 億円の円借款を供与しており、日本のコンサルタント会社、建設会社も参加している^{7,8)}。

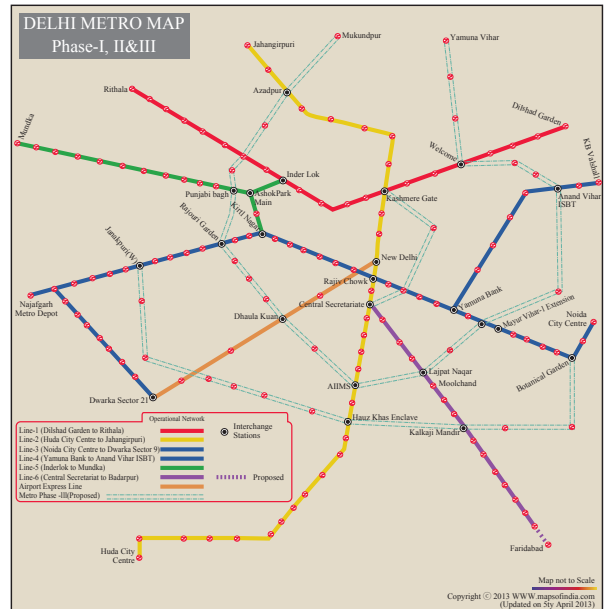


図 - 5 デリーメトロ路線図⁹⁾

以下にデリー市内で視察したフェーズ 1 およびフェーズ 2 で建設された供用中の高架橋をいくつか紹介する。

写真 - 11 は、Moolchand（ムールチャンド）駅付近に架かる支間 51 + 65.5 + 51 m の 3 径間連続エクストラード橋で、中間橋脚を道路に配置できなかったため、中間スパンを長くする必要があったことと、桁下空間が制限されていたため、この構造形式が提案され、片持ち架設工法で施工されている¹⁰⁾。



写真 - 11 Moolchand 駅付近に架かるエクストラード橋

写真 - 12 は、同じく Moolchand 駅付近に架かる PC 連続ラーメン箱桁橋で、4 m 程度のプレキャストセグメント



写真 - 12 Moolchand 駅付近に架かる高架橋

をスパンバイスパン工法により架設し、柱頭部の調整目地部で一体化している。

写真 - 13 は、Mavur vihar Extn (マユールビハール) 駅付近に架かる PC 単純箱桁橋で、プレキャストセグメント工法で架設されている。また、支点上には点検用のスペースが設けられており、維持管理にも配慮されている。



写真 - 13 Mavur vihar Extn 駅付近に架かる高架橋

デリーメトロでは、地下鉄区間は少なく、ほとんどが地上区間や高架橋で建設されている。また、上部工は急速施工が可能なプレキャスト工法が多く採用されている。

(3) デリー・ノイダ橋

デリー・ノイダ橋は、ヤムナ川を渡る支間 42.5 m、延長 552.5 m の 13 径間連続 PC 箱桁橋 (写真 - 14) である。本橋の構造形式は、インド初の全外ケーブル方式プレキャストコンクリート橋で、あらかじめ分割して製作されたプレキャストコンクリート桁を、架設径間に架け渡した架設桁上に 1 径間分敷き並べた後、一度に PC 鋼材を緊張して一体化する「スパンバイスパン工法」が採用された。これにより当初の工期 (29 ヶ月) に対して 4 ヶ月の工期短縮が図られ、2001 年 2 月に開通している¹¹⁾。



写真 - 14 デリー・ノイダ橋

4. おわりに

以上、fib コンgressとインドにおける橋梁視察について報告した。今回の報告が今後の橋梁計画等に少しでも参考になれば幸いである。

視察にあたっては、事前の綿密な準備と、柔軟な対応をしていただいたグロリア・ユーレックスの松澤氏ならびに篠崎氏に感謝する。とくに、日本からの出発に際しては、45 年ぶりの大雪に見舞われ、スケジュールの大幅な変更を余儀なくされたが、無事コンgressへの出席と橋梁視察を行うことができたのは、両氏の迅速かつ的確な対応によるものであった。

最後に、本報告は表 - 1 に示す調査団員の報告に基づき取りまとめた。また、公益社団法人プレストレストコンクリート工学会の本視察へのご支援に対して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) http://en.wikipedia.org/wiki/Bandra%E2%80%93Worli-Sea_Link
- 2) <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=451426>
- 3) <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=450976&page=275>
- 4) J. Kurian, S. K. Rustagi, P. Garg, M. Tandon, J. S. Pahuja : Approaches to Signature Bridge at New Delhi, fib Congress 2014 Mumbai, pp.1405-1424, 2014.
- 5) <http://www.gammonindia.com/media-centre/pdfs/signature-bridgearticle.pdf>
- 6) <http://www.thehindu.com/todays-paper/tp-national/tp-newdelhi/signature-bridge-loops-to-be-ready-by-june/article5759241.ece>
- 7) <http://www.delhimetrorail.com/>
- 8) <http://www.jica.go.jp/india/office/information/event/2011/110907.html>
- 9) <http://www.mapsofindia.com/maps/delhi/delhi-metro-map.html>
- 10) <http://www.ingentaconnect.com/content/iabse/congr/2012/00000018/00000002/art00003>
- 11) <http://www.smcon.co.jp/2001/0303762/>

【2014 年 5 月 8 日受付】