

fib シンポジウム 2015 とデンマーク・フランス における橋梁視察報告

二羽 淳一郎*1・下村 匠*2・鴨谷 知繁*3・片 健一*4

1. はじめに

2015年5月18日から20日までの3日間、fib (Fédération internationale du béton: 国際コンクリート連合) の2015年国際シンポジウムが、デンマークの首都コペンハーゲンにて開催された。

このたび、本シンポジウム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)を結成し、デンマークおよびフランス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	東京工業大学大学院
2	二羽 ひろみ	同伴者
3	副団長 下村 匠	長岡技術科学大学
4	酒井 秀昭	中日本高速道路(株)
5	荒関 正二	(株)オリエンタルコンサルタンツ
6	中司 秀憲	(一財)首都高速道路技術センター
7	白鳥 明	(一財)首都高速道路技術センター
8	梶木 洋子	(株)エイト日本技術開発
9	長尾 賢二	大成建設(株)
10	鴨谷 知繁	(株)ピーエス三菱
11	大城 敦	(株)富士ビー・エス
12	関口 豪賢	鹿島建設(株)
13	片 健一	三井住友建設(株)
14	岡田 稔	極東鋼鉄コンクリート振興(株)
15	荒木 茂	神鋼鋼線工業(株)
16	齋藤 幸治	オリエンタル白石(株)
17	白石 俊英	アイ・エス・エル・ジャパン(株)
18	松原 喜之	住友電工スチールワイヤー(株)
19	石田 大	川田建設(株)
20	村坂 宗信	調査設計会社 水空舎
21	佐々木 雅敏	(一財)橋梁調査会
22	小島 卓也	東日本高速道路(株)
23	添乗員 小倉 篤	グロリア・ユーレックス



写真-1 シンポジウム会場

ると発表され、プログラム等の表紙は、同市に建設された2014年のfib Awardsを受賞したBella Sky Hotelが飾っている(写真-2)。



写真-2 プログラム表紙

2. fib シンポジウム 2015

2.1 シンポジウム概要

今年のシンポジウムは、“Concrete-Innovation and Design”をテーマに、コペンハーゲン駅から徒歩で10分程度の距離にあるチボリコンGRESSセンター(写真-1)にて開催された。開会式では46カ国から合計388名が参加してい

2.2 プログラム

今回のシンポジウムのプログラムを、表-2に示す。初日の午前中に行われたオープニングパフォーマンスではHarald S. Müller fib会長とKaare K. B. Dahl組織委員長の開会スピーチのあとに、今年のfib Medal of Meritの授与式が

*1 Jyunichiro NIWA: 東京工業大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 教授

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

*3 Tomoshige KAMOTANI: (株)ピーエス三菱 技術本部 技術部

*4 Kenichi KATA: 三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部

表 - 2 シンポジウムプログラム

	9:00~10:30	Opening Performance			
	11:00~12:30	Keynote Speakers			
5/18	14:00~15:30	Young Engineer Award Session	Civil Works	New Materials and Structures	Life Cycle Design
	16:00~17:30				
	19:00~	Welcoming Reception			
5/19	9:00~10:30	Analysis and Design	Modeling of Concrete	New Materials and Structures	Life Cycle Design
	11:00~12:30				Conservation of Structures
	14:00~15:30		Analysis and Design		
	16:00~17:30	Gala Dinner			
	19:00~	Gala Dinner			
5/20	9:00~10:30	Analysis and Design	Numerical Modeling	New Materials and Structures	Conservation of Structures
	11:00~12:30			Safety and Reliability	Innovation in Buildings
	14:00~15:30			Analysis and Design	
	16:00~17:30	Closing Lecture and Closing of Symposium			

行われ、上田多門 北海道大学大学院教授と堺 孝司 日本サステナビリティ研究所代表が受賞した(写真 - 3, 4)。同賞はコンクリート構造およびfib組織活動に大きな貢献をされた個人に贈られる賞であり、本年の受賞者3名のうち2名が日本人という同分野における日本のプレゼンスの高さを示すものであった。



写真 - 3 授賞式の様子(上田教授)



写真 - 4 授賞式の様子(堺代表)

2.3 基調講演

基調講演では表 - 3 に示す3題の講演が行われた。

表 - 3 基調講演テーマ

Topics	Title / Speaker
Civil Works	The Development of the Concrete Requirements Fehmarnbelt fixed Link Ulf Jönsson
	Digital Fabrication of a Full-Scale Sculptural Concrete Structure Thomas Juul Anderson
Life Cycle Design	The Role of Limit State Selection in the Design and Management of Sustainable Reinforced Concrete Infrastructure Micheal D.Lepech

2.4 一般講演

一般講演のトピックスとセッション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9つのトピックスに関してさらにテーマに沿って各セッションに分けられ、合計191の発表が4会場に分かれて行われた。日本からの発表は18件と約1割を占めており、調査団からも中日本高速道路(株)酒井氏が斜材を有する複合構造橋梁の診断方法、東日本高速道路(株)小島氏が圏央道桶川第2高架橋の設計・施工、(株)ピーエス三菱 鴨谷氏が亜硝酸リチウムによるグラウトの補修方法に関してそれぞれ発表を行った。

表 - 4 一般講演のトピックスと発表件数

Topics	Session	講演数	日本分
Analysis and Design	Shear	54	2
	Columns and Elements		
	Fibre Reinforced Concrete		
	Mechanics		
	Special Loadings and Conditions		
	Crack and SLS		
Civil Works		13	3
New Material and Structures	Structures	40	3
	Structures and UHPC		
	Materials		
Life Cycle Design	Material Properties	14	2
	LCA, LCC and Service Life		
Modeling of Concrete	Mechanics	16	-
	Cracking and Transport		
Conservation of Structures	Asset Management	22	7
	Asset Management and Diagnosis		
	Repair		
	Repair and Strengthening		
Numerical Modeling		17	-
Safety and Reliability		6	1
Innovation in Buildings		9	-
合計		191	18

一般講演の合間にはポスターセッションが実施され、全20件のプレゼンテーションが行われた。このうち日本からの発表は3件であり、こちらも日本の積極的な姿勢が現れる結果であった。

3. デンマークの橋梁視察報告

3.1 調査概要

デンマークにおいては Øresund 橋と Great Belt 橋を調査

した。両橋は島国であるデンマークをスカンジナビア半島およびユトランド半島の大陸圏と結ぶ連絡路の一部を形成している。両橋の位置を図 - 1 に示す。

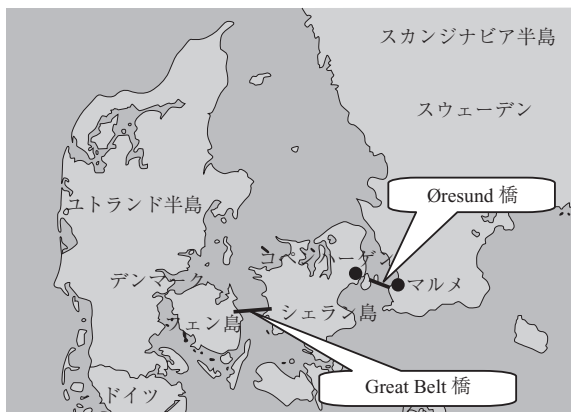


図 - 1 橋梁位置図

3.2 Øresund (オーレスン) 橋

オーレスン・リンクは、デンマークの首都コペンハーゲンが位置するシェラン島とスウェーデンの南端の都市マルメを結ぶもので 4 050 m の沈埋トンネル部、4 055 m の人工島部、そして全長 7 845 m のオーレスン橋から構成されている。オーレスン橋は同名の海峡に架かっている道路鉄道併用橋で、4 × 120 + 14 × 140 m の桁橋による西側アプローチ部、中央支間 490 m を有する斜張橋部、24 × 140 m + 3 × 120 m の桁橋による東側アプローチ部から成っている (写真 - 5)。斜張橋部の主塔は高さ 203.5 m を有し、桁下高さは 57 m を確保している。主桁は図 - 2 に示すように鋼トラスと RC 床版による複合構造であり幅員は 23.5 m である。アプローチ部は鋼トラスの地組と同時に床版を打設した合成構造であり、斜張橋部は鋼トラス閉合後に床版を打設している。橋梁規模が大きいため数量も非常に大きく、橋梁部での鋼重は 8.8 万 t、コンクリート量 26 万 m³、鉄筋量 4.3 万 t に達している。また、下部工のケーソン基礎や橋脚はプレキャストブロックにより施工



写真 - 5 オーレスン橋

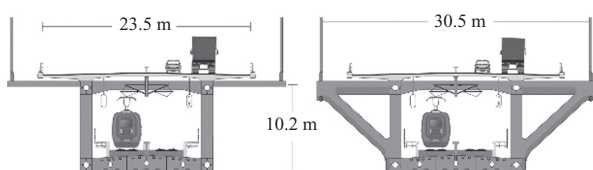


図 - 2 主桁断面図 (左アプローチ部, 右斜張橋部)

されており、鋼トラス桁は 140m 規模の長大ブロックで製作されている。同橋の建設は 1995 年から始まり 1999 年に完成し、2000 年より供用されている。なお、2002 年には IABSE の "Outstanding Structure Award" を受賞している。

3.3 Great Belt (グレートベルト) 橋

グレートベルト・リンクはストレ海峡で隔てられたシェラン島とフェン島を結ぶ複線鉄道および 4 車線の自動車道路の交通路である。フェン島はリトルベルトでユトランド半島と結ばれており、グレートベルトによって東西デンマークがつながっている。同リンクは海峡の真ん中に位置するスプロー島で東ベルトと西ベルトに分かれており、東ベルトは鉄道トンネルの全長 8 024 m のイーストトンネルと道路橋の橋長 6 790 m のイーストブリッジ (写真 - 6) にて構成されている。西ベルトは鉄道・道路ともウェストブリッジと呼ばれる橋長 6 611 m の鉄道橋と道路橋が並行して架けられている (写真 - 7)。イーストブリッジは中央に支間 1 624 m の吊橋部分を有しており 1998 年、明石海峡大橋の約 2 か月後に完成している。主塔は RC 構造で高さは 254.1 m ありこれは国土の最高地点が標高 171 m のデンマークにおいて国内最高地点になっている。主塔横梁は塔天端と中間位置の 2 カ所のみで補剛桁との交差部には配置されていないため、見た目の印象が非常に軽やかである。また、主ケーブルは直径が 827 mm で、直径 5.38 mm の素線 18 648 本で構成されている。両側あわせて総重量が 19 700 t に達するこの主ケーブルは、エアスピニング工法にてわずか 137 日にて架設された。



写真 - 6 イーストブリッジ



写真 - 7 ウェストブリッジ

4. フランスの橋梁視察報告

4.1 調査概要

フランスでは、南部地方で Millau 高架橋と Gard 橋、中

央部でマルヌ川にかかる橋梁と Mouex 高架橋，北西部にて Térénez 橋，Plougastel 橋，Iroise 橋を視察した。各橋の位置を図 - 3 に示す。

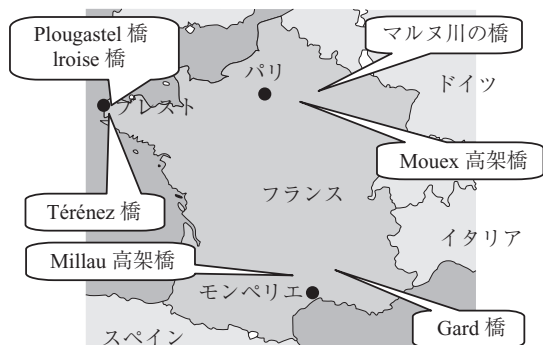


図 - 3 橋梁位置図

4.2 Millau (ミヨ) 高架橋

ミヨ高架橋は南フランスのミヨ市のタルン渓谷に架橋された高速道路 A75 線の一部である (写真 - 8)。ミヨ市は北フランスから地中海地方へのぬける道路の難所であり，本橋は毎年起こる渋滞を解消するために計画され 2004 年に完成した。構造形式は，橋長が 2 460 m の 8 径間連続鋼斜張橋で側径間長が 204 m，主塔間の支間長は 342 m である。P2 は地上から主塔最高点までの高さが約 340 m ありエッフェル塔 (324 m) より高いことで知られている。設計は M. Virlogeux 氏がフランス運輸省 (SETRA) にて実施したもので，意匠は英国の建築家 N. Foster 卿が中心となっている。



写真 - 8 ミヨ高架橋と調査団

主桁は幅員 32 m，桁高 4.2 m の逆台形鋼床版箱桁構造で，降伏強度 355，420，460 Mpa の厚板が用いられており製作総重量は約 32 000 t におよぶ。これらは背面のヤードで組み立てられ，仮支柱を併用して 1 ステップあたり 600 mm ずつ送出し工法によって架設された。

斜材は亜鉛めっきとワックス塗布さらに高密度ポリエチレン被覆した 3 重防食仕様の $\phi 15.7$ mm ストランドで，45 ~ 91 本のシステムが 1 主塔 11 段ずつ 1 面吊りで配置されている。

また同国の造幣局では観光用としてミヨ高架橋を印刷した 0 ユーロ紙幣を発行している (写真 - 9 購入価格は 2



写真 - 9 ミヨ高架橋が印刷された 0 ユーロ紙幣

ユーロ)。デンマークでは実際のクローネ紙幣にも橋梁が印刷されている。ユーロ紙幣の裏面でも見られるように橋梁が紙幣デザインの対象となることは，欧州において公共構造物への関心や敬意がいかに高いかを表していると言える。

4.3 Gard (ガール) 橋

ガール橋はフランス南部のニームから北東 21 km に建設されたガルドン川を渡る石造アーチ橋である (写真 - 10)。建設時期は明確ではないが建設後 2000 年以上が経過している。もともと，水源地ユゼスからニームの町まで水を運んだ水道橋で，9 世紀頃までその機能を有し，その量は 20 000 m³/日であったと推察されている。アーチは全長 275 m で 3 段からなり，連数は下段から 6，11，35 で同形状をなし，全高は 48.8 m となる。使用材料には比較的脆い石灰質岩が使われ，ブロック間にはセメントは用いられず単なる積み重ねである。一方，水路床はコンクリートとタールで防水されていたとのことである。



写真 - 10 ガール橋

両都市の距離は約 50 km，高低差は 17 m であるから平均勾配が 34 cm/km となり "Chorobate" と呼ばれる水準器を用いて高い測量精度を確保していた。また当時はすでにホイストやギヤ，ボールベアリングの技術が存在しており，併設されている資料館には "Polyspaston" と呼ばれる揚重装置等当時の建設技術が展示されている (写真 - 11)。石材ブロックの製作においても，同形状のものを多数製作し，文字や数字で管理するプレハブ技術を使って効率化しており，わずか 5 年で本橋を完成させている。

4.4 マルヌ川の橋

パリの東部を流れるマルヌ川には E. Freyssinet による 2

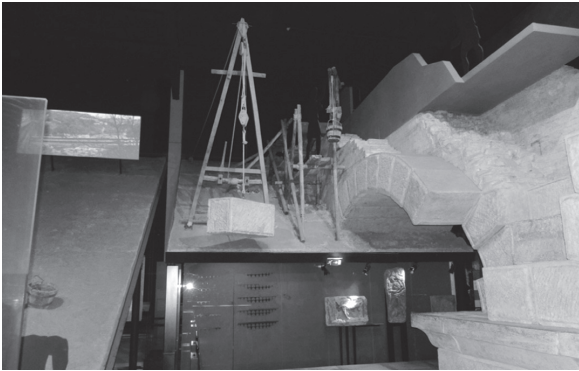


写真 - 11 資料館での展示の様子

ヒンジアーチ橋が複数架けられている。今回の視察では Luzancy (ルザンシー) 橋, およびマルヌ 5 橋のうち Ussy (ユシー) 橋と Changis (シャンギス橋) を視察した。

ルザンシー橋 (写真 - 12) はパリ東部約 50 km のところに 1945 年に架橋された支間 55 m の単径間 2 ヒンジアーチ橋であり, 本格的なプレキャストセグメント工法の最初の橋といえる。同橋は橋面計画高と航路確保の制約から桁高が 1.3 m 以内に制限された結果, 非常に直線的な側面形状を有している。主桁は 3 つの箱桁とその間の場所打ち間詰め部よりなり, 各箱桁は長さ 2.44 m のプレキャストブロックで構成されている。上下床版には床版横締めを配置して一体化させており定着部の保護コンクリートが側面にアクセントを加えている。主桁のウェブは厚さ 100 mm でせん断補強のためにプレストレスが導入されている。また支点部の負曲げ区間には上床版にあらかじめ設けた溝に PC 鋼材を配置して上から 50 mm 厚の被覆コンクリートを打設することで補強している。



写真 - 12 ルザンシー橋

架設方法は 1 本あたり 22 個のプレキャストブロックを端から 3 ブロックと中央部 16 ブロックの 3 ユニットに分けて橋台背面で組み立て, スプリング部を場所打ち施工したのちにケーブルクレーンで架設している。

マルヌ川の橋梁はいずれもプレストレスや乾燥収縮にともなうアーチに発生する曲げモーメントに対してアーチスプリング部にフラットジャッキとコンクリート製楔を用いてこれを緩和するよう解決している (写真 - 13)。このような技術が供用後 70 年近くを経ても色褪せることなく, 橋梁の健全性と外観の美しさを保つことを証明しており, 改めてフレッシュナーのプレレストコンクリート技術の偉大さを感じさせてくれる橋梁である。



写真 - 13 コンクリート製楔

マルヌ 5 橋 (写真 - 14) はルザンシー橋の技術を活用した橋長 74 m の同一形式, 同一形状の橋梁である。ルザンシー橋が箱桁であったのに対しマルヌ 5 橋では 6 本の I 桁で主桁を構成している。またウェブには高強度鋼材を配置したのち, 上下床版を打設し, ジャッキを備えて高強度鋼材に張力を導入後, ウェブコンクリートを打設するプレテンション方式を採用している。



写真 - 14 ユシー橋

4.5 Mouex (モー) 高架橋

モー高架橋はパリ東方約 30 km に位置し, パリ第 3 環状道路を構成する A104 の一部, モー南西バイパスがマルヌ川を渡河する部分の橋梁である。同橋は 2004 年に完成し 2006 年より供用を開始している。橋長は 1 196 m の 22 径間連続鋼・コンクリート複合構造で標準支間が 49 ~ 55 m, 渡河部の支間は 93 m である。片側 3 車線の上下線一体構造で, 桁高は全橋に渡り 4.5 m で一定, 31.1 m の広幅員のため張出し床版はφ326 の鋼製ストラットで支持し, 1 室箱桁の桁内にはコンクリートトラスが配置されている。ウェブの構造はウェブに厚さ 20 ~ 25 mm の鋼板に 1.55 m 間隔でφ508 の鋼管を溶接した構造で波形鋼板ウェブと同様, アコーディオン効果を期待している。93 m の渡河部は張弦構造となっており, 27T15 の PC 鋼材 6 本が配置され合計 30 000 kN の張力が導入されている (写真 - 15)。道路平面線形は $R = 1\ 000\text{ m}$ で架設は全橋に渡り押出し工法が採用された。

4.6 Plougastel (プルガステル) 橋・Iroise (イロワーズ) 橋

プルガステル橋はフランス北西部の港町プレストの東部



写真 - 15 モー高架橋

を流れるエルロン川に1930年に架けられた橋長880mのコンクリートアーチ橋である(写真-16)。3連のアーチ支間は186.4mでありライズは27.5mである。設計はE.Freyssinetによるもので、当初は鋼橋が有力視されていたが合理的な設計・施工による経済性が評価され本形式が採用された。本橋の施工ではセントル工法が用いられ、木製のセントルを陸上部で製作し、台船を用いて施工済のスプリングに設置してこれらを各径間で転用することで合理化している。補剛桁はトラス構造で完成時は上路部を道路橋、下路部が鉄道橋となっていたが、第二次世界大戦で大きな爆撃被害を受け、鉄道部が途中で寸断された痕が現在でも分かる。



写真 - 16 プルガステル橋

イロワーズ橋は1994年、プルガステル橋の上流側に平行に架橋された橋長800m、中央支間長400mの7径間のPC斜張橋である(写真-17)。主桁は幅員23.1mの1室箱桁構造で張出し床版と箱桁内部はストラットによって支持されている。本橋では側径間を押し出し工法にて施工後、中央径間を張出し工法にて架設している。主塔高さは115mで、斜材は亜鉛めっきされたPC鋼より線φ15が37～61本一面吊りで各主塔26段配置されている。また、主桁には自重軽減を目的として比重1.8の軽量コンクリートが使用されている。地元の住民は架橋位置の地名にちなんで新プルガステル橋とかプチ・ミヨー・ブルトン(プルーニュ地方の小さなミヨー橋)と呼ぶそうである。

4.7 Térénez (テレネ) 橋

テレネ橋はプレストの南側に位置するクロゾン半島に流



写真 - 17 イロワーズ橋

れるオーネ川に2011年に架けられた橋長515m、中央径間が285mのPC斜張橋である。本橋は旧橋の架け替えにより建設されたもので、道路線形の制約から側径間が $R = 200\text{ m}$ 、中央径間で $R = 800\text{ m}$ の平面線形を有している曲線斜張橋である。そのため横方向の力に抵抗するように、主塔が傾斜したλ型の印象的な形状を有し、プレストレスで補強されている(写真-18)。本橋の設計にはM.Virlogeux氏が関わっており2014年の*fib Outstanding Structure Award*を受賞している。



写真 - 18 テレネ橋

5. おわりに

今回は、シンポジウムでは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、世界遺産から現代の最新技術の橋梁まで幅広く見ることができ非常に有意義なものとなった。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綿密な計画と現地対応でご尽力いただいたグロリア・ユーレックス小倉氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 辻 幸和：fib シンポジウムとフランス・スペイン・ハンガリーにおける橋梁調査報告、プレストレストコンクリート、Vol47, No5, 2005
- 2) J.A. Fernandez Ordonez：PCの原点フレシネー、建設図書
- 3) W. Podolny 他：ブロック工法によるPC橋の設計と施工、九州大学出版会、1992

【2015年6月29日受付】