

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

辻 幸和*

1. はじめに

2005年のfibシンポジウムは、ハンガリーの首都ブダペストで開催された。シンポジウムのテーマは、「Keep Concrete Attractive (コンクリートの魅力を維持して)」であった。

このたび、このシンポジウムに参加するとともに、フランス・スペイン・ハンガリーにおける橋梁を調査する恒例のプレストレストコンクリート技術協会主催の調査団を企画して実施したので、その概要を報告する。

2. fib シンポジウムの会場

ハンガリーは、カルパチア盆地に位置する小さな国である。紀元前1世紀にローマ領パンノニア州の州都となり、紀元4世紀にはフン族がローマ人を駆逐して、896年にハンガリー民族が定住し、ハンガリー王国を建国した。そして、この国がヨーロッパの中心部に位置して以来、ハンガリーは、東西をつなぐ役割を担ってきた。また、2004年5月には、ハンガリー共和国はEUに加盟した。

ハンガリーは、大変魅力的な国であり、著者も2回目の訪問であったが、また訪れたい国の1つである。古くからの文化、特有の気候、民族と伝統のさまざまな融合がなされている。この小さな国の首都のブダペストが、2005年fibシンポジウムの開催地となった。

今回の会場となったハンガリー科学アカデミーは、ハンガリー語および文化の高揚を目的として、有志により1825年に建設された。そして1860年には、国の保護により学園の中心となった。



写真-1 会場のハンガリー科学アカデミー

講演は、ハンガリー科学アカデミー内の会場(写真-1)で行われた。そして、会場に隣接するドナウ川に寄港している客船「EUROPA」は、ランチ会場として、また、Freyssinet, Dywidag, Sika, Mapei, Mekano4, PFLeidererなどの企業ブースの設置場所として利用された。また、会場に近接して有名な鎖橋(写真-2)があり、ブダとペシュトの両市街地を結んでいる。

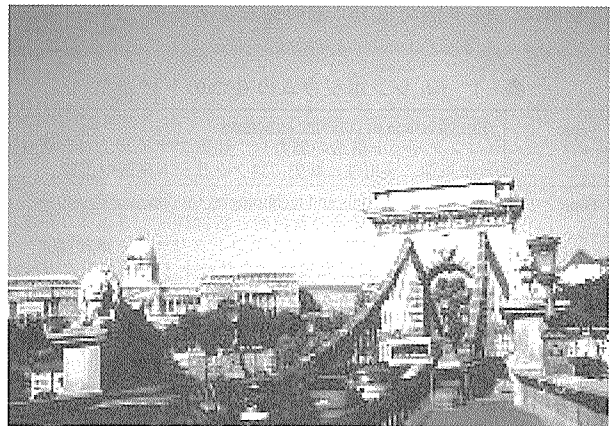


写真-2 ブダペストの鎖橋と王宮

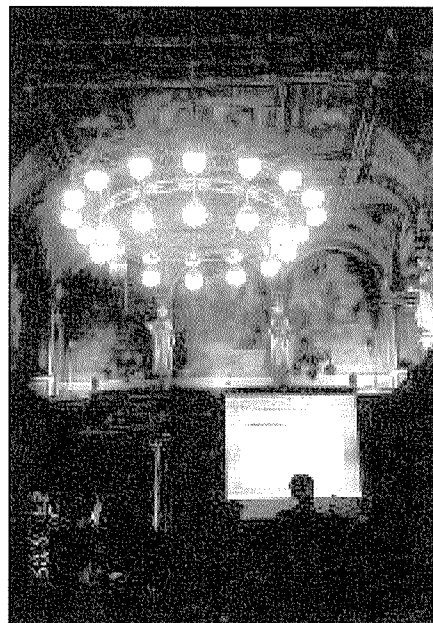


写真-3 fib シンポジウム会場内部

* Yukikazu TSUJI : 群馬大学 工学部 建設工学科 教授 本協会会長

3. fib シンポジウムのテーマとセッションの概要

シンポジウムのテーマは、「Keep Concrete Attractive (コンクリートの魅力を維持して)」とされ、表 - 1 に示す6つのトピックが設定されて、セッションが構成された。表 - 2 に示すように、基調講演以外には、4会場に分かれて、合計182編の論文が発表された。表 - 2 のセッション番号の最初の数字が、表 - 1 の6つのトピック番号に対応している。

基調講演は、オープンセッションにおいて、開会式に引き続いて行なわれた。表 - 3 に示す4名の方が、シンポジウムのテーマに合致した演題で、興味深く講演された。わが国からは、山崎 淳日大教授が、主としてトピック1と3に関連させて、最近建設されたわが国の豊富な橋梁を事例に挙げて講演された。

講演は、44カ国から182編の発表があった。表 - 1 に示

表 - 1 fib シンポジウムの6つのトピック

Topic	トピック
1	Attractiveness of concrete structures (コンクリート構造の魅力) : 建築デザイン, コンクリート表面, 実用性と歴史, コンクリート構造の美観
2	Innovative materials and technologies for concrete structures (コンクリート構造の新技术と新材料) : コンクリートの性質, ハイパフォーマンスコンクリート・繊維補強コンクリート・自己充填コンクリート・軽量コンクリート・エココンクリート, 鋼および非鋼材による補強, 施工と建設技術
3	Modeling of structural concrete (コンクリート構造のモデリング) : 設計とモデリング, ひび割れモデル, 損傷と変位
4	Sustainable concrete structure (持続可能なコンクリート構造物) : 設計の根拠, 環境に調和した材料, 供用期間, コンクリート構造の修復, モニタリングとメンテナンス
5	Prefabrication (プレハブ組立て一架設) : 施工技術, 自己充填コンクリートの適用, 構造継手
6	Fire design of concrete structures (コンクリート構造の耐火設計) : 火災時の材料と構造挙動, 耐火設計, ケーススタディ

表 - 2 fib シンポジウムの日程

	時間	会場			
		1. A	1. B	2. A	2. B
5/23	9:00 ~ 12:00	オープニング セッション			
	12:00 ~ 13:30	ランチタイム			
	13:30 ~ 15:45	Session 1.2	Session 4.1	Session 5.1	Session 2.2
	16:15 ~ 18:30	Session 1.3	Session 4.2	Session 5.2 Session 1.5	Session 2.2
	20:00 ~ 21:00	コンサート			
5/24	9:00 ~ 11:00	Session 3.1	Session 4.3	Session 1.4	Session 2.3
	11:30 ~ 13:45	Session 3.2	Session 4.4	Session 6.1	Session 2.4
	13:15 ~ 14:30	ランチタイム			
	14:30 ~ 16:45	Session 3.3	Session 2.6	Session 6.2	Session 2.5
	18:45 ~ 23:00	バンケット			
5/25	9:00 ~ 11:00	Session 3.4	Session 3.6	Session 6.3	Session 4.5 Session 2.7
	11:30 ~ 13:15	Session 3.5	Session 3.7	-	Session 2.8
	15:00 ~ 16:00	クロージング セッション			

表 - 3 基調講演

トピック	講演者	国
Opening Session		
Keep the concrete attractive. If structural concrete is attractive why do we need to keep the concrete attractive (コンクリート構造の魅力を維持せよ: なぜコンクリート構造の魅力を維持する必要があるのか)	Hugo Corres Peiretti	Spain
Attractiveness of shape and making of concrete (魅力的な形状とコンクリートの創造)	Jun Yamazaki	Japan
What makes some very old concrete structures still attractive? Thoughts and comments (いくつかの非常に古いコンクリート構造をいまだに魅力的にしているものは何か?)	Jean-Philippe Fuzier	France
Sustainable concrete structures (持続可能なコンクリート構造物)	Steen Rostman	Denmark

した6つのトピックに分類されて、論文発表が行われた。設計・施工の報告などの実務的内容から、実験・解析的な研究論文まで、広い範囲にわたっていた。わが国からは、9編の論文が発表された。このうち、4編が実構造物に関するものであり、猿田川橋、矢作川橋、青雲橋、栗東橋など、最新の鋼・コンクリート複合構造の橋梁に関する設計・施工の報告であった。

4. 橋梁調査

今回は、fib シンポジウムの参加の前に、フランスとスペインの橋梁を、fib シンポジウムのテクニカルツアーとしてハンガリーの橋梁を、それぞれ調査した。その中で、フランスの Meaux (モー) 高架橋と Millau (ミヨ) 高架橋、ハンガリーのクールシュヘイジ高架橋のほかに、スペインの特徴ある橋梁について報告する。なお、調査したフランスのマルヌ5橋、モー市内の橋、パリのセヌ川の橋梁、スペインのバルセロナ市内のオリンピック競技場やアントニオ・ガウディの建造物、およびブダペスト市内の橋梁などについては割愛する。

4.1 Meaux (モー) 高架橋

Meaux (モー) 高架橋 (写真 - 4, 写真 - 5) は、パリの東方約 30 km の Meaux 市において、建設されているモー南西バイパスの一部を構成している。モー南西バイパス建設工事は、パリ第3環状道路を形成する高速道路の一部で、上下各2車線 (高架橋区間は上下3車線で計画) を有し、その延長が約 6 km である。本橋は、マルヌ川に架かる高架橋として、2001年から建設が開始され、2004年6月に完成した。そして、2006年に供用が開始される。

本橋は、橋長が 1 200 m、桁長が 1 196 m の 22 径間連続鋼・コンクリート複合構造の橋梁である。標準支間長は 49 ~ 55 m であるが、マルヌ川を渡るところのスパンは 93 m である。このスパンが 93 m の渡河部には、補強材として主桁下面に張弦梁が併設されている。そして、道路平面線形は $R = 1\ 000\ m$ の単区間に位置し、上部工は全長にわたり押し出し工法により架設された。

下部工は、21基の橋脚から成り、橋脚高さは 15 ~ 35 m である。橋脚は RC 中空断面であり、橋脚の頭部が V 字にデザインされているのが特徴的である。基礎には $\phi\ 1.8\ m$



写真 - 4 Meaux (モ一) 高架橋の外観



写真 - 5 $\phi 32.6$ cm の鋼管ストラットとプレート・鋼管ウェブ



写真 - 6 ミヨ一高架橋の橋脚、主塔、斜材



写真 - 7 ミヨ一高架橋

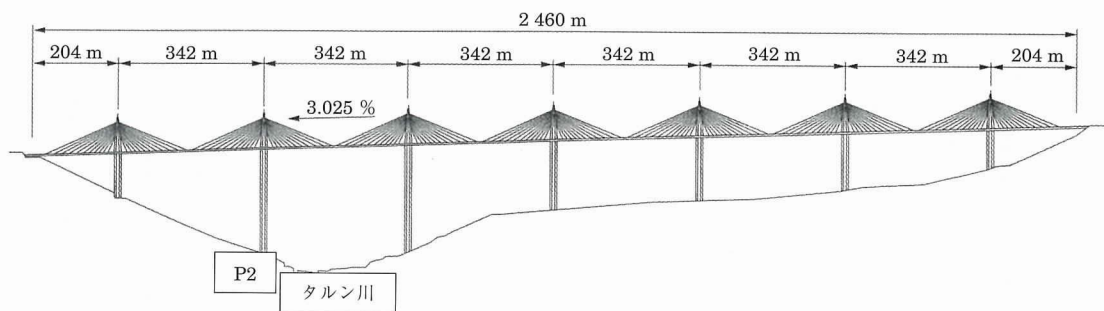


図 - 1 ミヨ一高架橋の側面図

の場所打ち杭が用いられている。

上部工は、ウェブに鋼部材（鋼板と鋼管）を用い、張出し床版に $\phi 32.6$ cm 鋼製のストラットを有する複合構造の PC 橋梁である。ウェブは、鋼管の径 ϕ は 508 mm で、厚さが 12.7 mm のものが 1.55 m の間隔で配置され、厚さが 20 ~ 25 mm の鋼板と溶接されている。ウェブは、波形鋼板と同様に、軸方向に容易に変形することで、アコーディオン効果を期待している。

マルヌ川渡河部の張弦梁には、6 本の PC 鋼材 (27 T 15) により 3 000 t の張力が導入されている。その大きな偏心量とシンプルなディテールが印象的であった。

4.2 Millau (ミヨ一) 高架橋

フランス南部ミヨ一 (Millau) 市で建設が進められていたミヨ一高架橋 (写真 - 6, 写真 - 7, 図 - 1) が完成し、2004 年 12 月 14 日にフランスのシラク大統領が出席して、開通式が盛大に行われた。ミヨ一高架橋は、パリからフランス南部の地中海方面にのびる A 10 の延伸となる A 75 高速道路の、クレルモンフェラン (Clermont-Ferrand) ~ ベジエ (Beziers) 間にある。そして、夏のバカンスシーズンには自動車の渋滞が激しいことで有名なミヨ一市にあるタルン川の峡谷に、ミヨ一高架橋は位置している。従前のルートで地中海方面に抜ける高速道路のバイパスとして、南北方向の交通の緩和に大きく貢献することが期待されている。工事は、2001 年 10 月より開始され、総事業費 3 億 9 400

○ 会議報告 ○

万ユーロ（約 550 億円）をかけて、38 ヶ月という短期間で完成された。この事業のために設立されたミヨー高架橋会社（Compagnie Eiffage du Viaduc de Millau）が、高架橋および関連施設の建設資金の調達、計画、設計、施工、維持管理の費用を負担し、75 年間の運営管理を実施する。

ミヨー高架橋は 8 径間連続鋼斜張橋で、橋長が 2 460 m、南から北にかけて約 3 % の下り勾配でわずかに曲線が入っている。7 基の橋脚のうち、タルン川直近の P 2 橋脚は主塔も含めた高さが 340 m で、パリのエッフェル塔の高さ（321 m）より高い

ミヨー高架橋の 7 基の橋脚は、高さが 77 ~ 245 m の RC 構造である。橋脚基部は 1 本柱で、上部 90 m は 2 軸に分かれた形状になっている。基礎形式は場所打ち杭（ ϕ 4.0 ~ 5.5 m）で設計され、杭長は 10 ~ 15 m である。

下部工に使用されたコンクリートは約 85 000 m³ で、うち 50 000 m³ が設計基準強度が 60 MPa の高性能（高強度）コンクリートである。橋脚にはプレストレスが導入されて、ひび割れが制御され、耐久性の向上が図られている。下部工の施工は 2001 年 10 月に開始され、2003 年 11 月に全橋脚が完成した。

桁の構造形式は鋼床版箱桁で、幅が 32 m、高さが 4.2 m の逆台形断面をしている。主桁の総製作重量は約 36 000 t で、国内数箇所の工場で作製された。各部材は長さが 15 m から 24 m、最大重量が 90 t で、現場に搬入された。

主桁は現地の組立てヤードで組み立てた後、押し出し装置によって全長にわたり押し出し工法により架設された。架設時は、各橋脚間に 1 基の仮支柱を設置して行われたが、タルン川渡河部には仮支柱の設置が不可能であった。そのため、主桁はこの径間で閉合された。架設は 1 回にスパンの半分の 171 m が押し出され、2003 年 2 月から開始され、2004 年 6 月に連結された。

1 組のケーブルは、引張強度が 1 860 MPa の ϕ 15.7 mm のストランドを主塔付近で 45 本、支間中央部で 91 本組み合わせて用いた。11 組のケーブルがハーフファン形状で 1 面配置され、12.5 m の間隔で主桁中央部を吊っている。

4.3 スペインの橋梁

a) リエラ・マジョール高架橋

スペインのサンサドルーに架設されている 高速道路の 13 径間連続 PC 張弦橋（写真 - 8）である。主桁と橋脚の形式が統一され、径間長がほぼ同じせいか、非常にシンプルですっきりして見える。

b) エブロ川に架かる高速鉄道橋

長大鉄道橋の鋼トラスの概念を、PC 橋の構造および施工の領域に適用させる試みを行なった革新的な橋梁（写真 - 9）である。橋長が 384 m の主橋梁部の主桁は、フィーレンデル構造となっている。この構造形式が採用されたのは、高度な解析が安価となり、高速化された賜物と思われる。コンクリート外面は、表面処理が施されている。スペインの新幹線 TGV では、白と青の色彩の統一が見られる。

c) サラゴサ市内の特徴ある橋梁

団員の春日氏に、スペインの知人の構造技術者からの推薦を受け、選定していただいた橋梁である。サラゴサ市内

にあり、いずれも特徴のある橋梁である。

高速道路 E 90 のオーバーブリッジ（写真 - 10）は、4 径間連続コンクリート橋である。構造形式は不明であるが、張出し部にはプレキャスト床版が敷設されている。床版下面のブラケットは、構造部材ではなく化粧板のようなものである。



写真 - 8 リエラ・マジョール高架橋

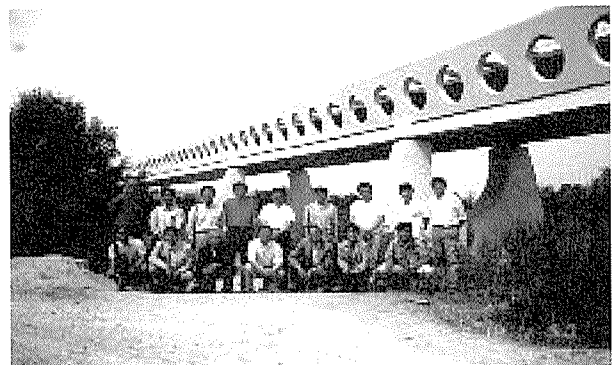


写真 - 9 エブロ川に架かる高速鉄道橋



写真 - 10 高速道路 E 90 のオーバーブリッジ

鋼床版中路アーチ橋（歩道橋）は、アーチ支間が 56 m の 3 径間連続橋（写真 - 11）で、平行弦やバスケットハンドルのアーチ橋を見慣れたわれわれの眼には、一見特異な形状と映る。デザインの柔軟性やそれを受け入れているこの国の度量には敬服する。

このアーチ橋の主構造にはすべて、パイプを用いているのも特徴である。そして、アーチの基礎を橋台からストラットで橋軸方向を抑えているのも独創的である。

3 径間連続の PC 水路橋（写真 - 12）は、2002 年に完成した中央部の水路と両側が歩車道の併用橋である。逆アーチ状のシェル構造をしており、古代ローマ時代からの古い歴史の影響か、発想がユニークである。わが国で、この規模の水路橋といえば通潤橋程度しか思い浮かばないわれわれには、独創的な橋である。

単弦ローゼ桁（道路橋）の渡河部は、鋼アーチとコンクリート桁の複合構造であるが、コンクリート桁の取合い部は橋脚上でゲルバー構造（写真 - 13）となっている。

鋼アーチと鋼トラス（鉄道橋）は、5 径間連続トラスに加えて、渡河部がアーチの鉄道橋（写真 - 14）である。なんでも連続桁にする（？）という欧州流のコンセプトから発生した形状寸法の橋であろうか、不可思議なデザインである。いずれにしても、形状寸法の決定の理由が、理解で

きない橋である。

d) バック・デ・ローダ＝フェリベⅡ世橋

バルセロナ市内に、1987 年に完成したこの跨線橋（写真 - 15）では、「橋は都市の象徴となりえる。・・・」という、カラトラバ氏による“魚の骨格”をイメージした斬新なデザインが採用されている。このため、このフェリベⅡ世橋は単に社会基盤としての役割に留まらず、バルセロナ市のランドマークとなっている。

4.4 クールッシュヘイジ高架橋

ブダペストから南西の Balaton1 湖の南岸に位置する M 7 高速道路の丘陵地に架橋されている KORÖSHEGY（クールッシュヘイジ）高架橋（写真 - 16、写真 - 17）が、今回の fib シンポジウムのテクニカルツアーに加わっていた。会場からは、約 140 km の距離である。

架橋付近は、のどかな草原と小さな沼や湿地帯が広がる中にあり、自然の緑の中で工事用道路のラインだけが黄土色に鮮やかに浮かんでいた。工事進捗状況は、始・終点橋台とその前数脚ができあがっており、始・終点の 1 支間目の上部工の施工を開始したところであった。

17 径間連続 PC 箱桁（外ケーブル方式）は、120 m のスパン長が 13 径間で、残りは 95 m と 60 m のスパンで構成されている。そして、1 主桁 2 室で、中間支点上の桁高が



写真 - 11 鋼床版中路アーチ橋（歩道橋）

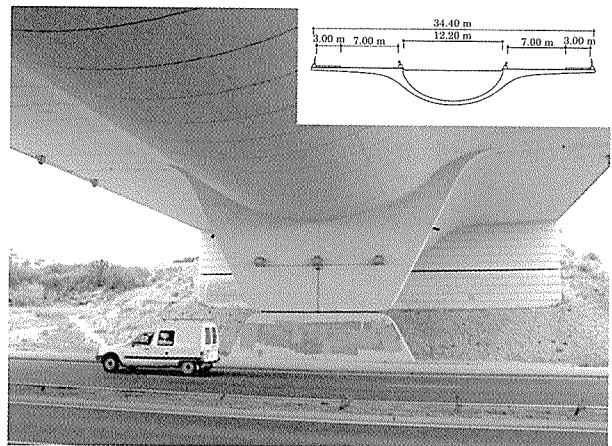


写真 - 12 3 径間連続 PC 水路橋

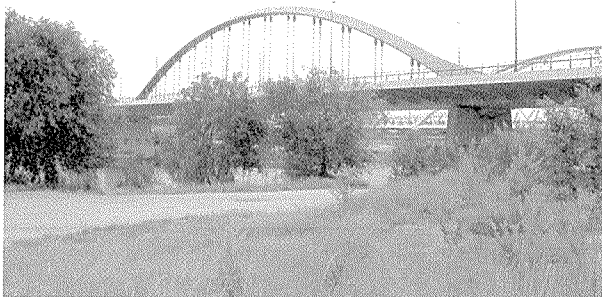


写真 - 13 単弦ローゼ桁（道路橋）



写真 - 14 鋼アーチと鋼トラス（鉄道橋）

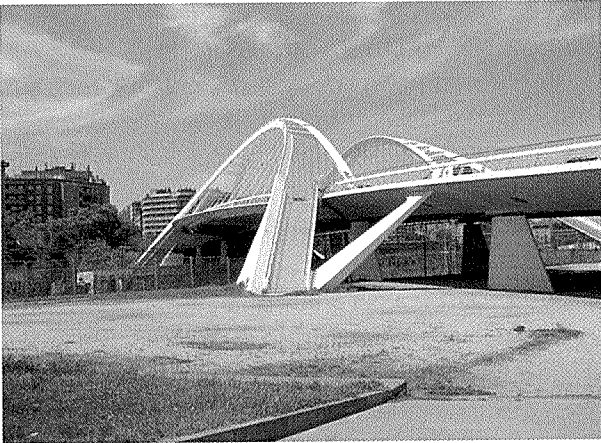


写真 - 15 バック・デ・ローダ＝フェリベII世橋

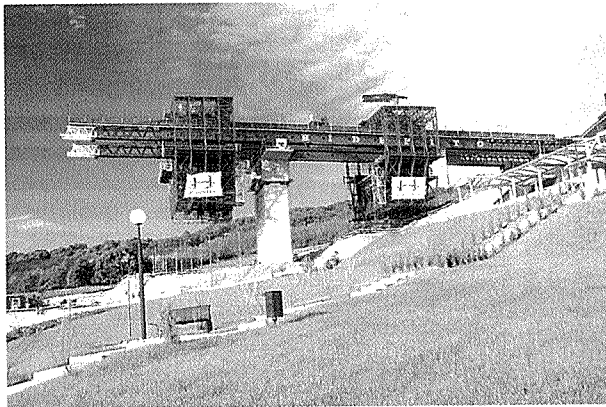


写真 - 16 クールッシュハイジ高架橋の-spanバイspan工法

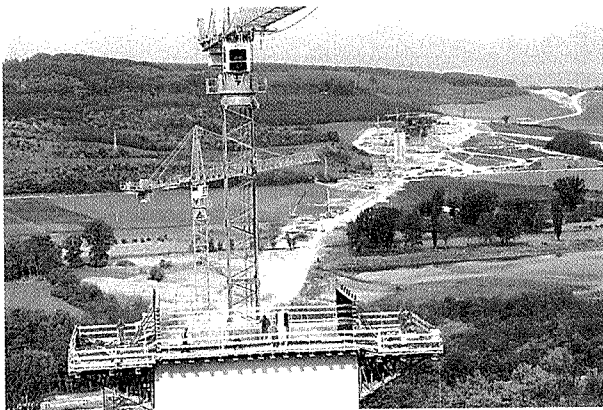


写真 - 17 クールッシュハイジ高架橋 (全景)

7 m, 支間中央部の桁高が 3.5 m である。コンクリート設計基準強度は 40 N/mm² である。

施工は、spanバイspan工法による。長さが 158 m で、1 600 t の鋼製ガーダーと移動型枠を用いて、A1 橋台と A2 橋台の両側から架設を行っていた。なお、1 エレメントは、約 11 日の施工である。

基礎構造は、RC 杭である。杭径 ϕ が 1 200 mm で、杭長が 22 m ~ 29 m であり、杭の本数は 35 本 ~ 48 本である。

コンクリートの強度 σ_{ck} は 20 N/mm² である。

橋脚は、最大の高さが 80 m である。スリップフォーム工法により 5 m ずつ施工されていた。橋脚の柱断面は 16 m × 6 m で、2 室の中空形式である。コンクリートの設計基準強度は 30 N/mm² である。

施工済みの橋脚や上部工のコンクリートの出来上がりは、非常に綺麗であった。また、上部工の鉄筋が非常に密に配置されていた。なお今回の他の橋梁調査では、供用開始前の橋梁でもすでに補修が必要なほどひび割れやコンクリートの施工の粗悪なものがあった。

5. おわりに

今回の fib シンポジウムへの参加と橋梁調査を通じて、海外の技術者と交流ができ、調査団の皆様と緊密な懇親を深めたことは、大変有意義であった。またフランス、スペイン、ハンガリーの特徴ある橋梁に直接に接して、これらの個性豊かなデザインの斬新さや大胆な構造形式の採用と施工に驚かされた。

来年は、4年に1回の第2回 fib コンgressが6月5日から8日の予定で、イタリアのナポリで開催されることになる。今後も素晴らしいシンポジウムやコンgressが世界の各地で開催され、参加者の交流と PC 技術の更なる発展がなされることを期待する。

最後になりましたが、調査団に参加いただいた池田尚治本協会顧問、橋梁の調査地点を選定いただいた春日昭夫部長はじめ、シンポジウムの参加にあたりご尽力頂いた関係各位および調査団の方々に、心より感謝の意を表する次第である。また本文は、調査団員の栖原健太郎、堅田茂昌、土谷政治、三浦一博、菅原洋樹、鷺見英吾の各氏が作成された調査報告書に基づいて、取りまとめたものである。付記して、厚くお礼を申し上げる。

表 - 4 調査団の名簿

氏名	所属
辻 幸和	群馬大学 工学部 建設工学科
池田 尚治	(株)複合研究機構
春日 昭夫	三井住友建設 (株) 土木事業本部 PC 設計部
三浦 一博	JR 東日本コンサルタンツ (株) 技術本部 技術第 1 部
菅原 洋樹	JR 東日本コンサルタンツ (株) 技術本部 技術第 2 部
上村 實	エフエムテクノ (株)
深谷 芳孝	(株) 浅羽製作所 営業部門 新規海外 G
堅田 茂昌	(株) 安部工業所 技術開発部
山本 徹	鹿島建設 (株) 土木設計本部 設計管理部
鷺見 英吾	八千代エンジニアリング (株) 名古屋支店 技術第 1 部
森 拓也	(株) ピーエス三菱 技術本部 土木技術第 1 部
広瀬 晴次	極東鋼弦コンクリート振興 (株)
山下 直樹	太平洋マテリアル (株) 営業本部 高機能建材営業部
土谷 政治	財団法人 海洋架橋・橋梁調査会 企画部
栖原健太郎	電気化学工業 (株) 無機材料研究センター
松沢 均郎	(株) グロリアツーリスト

【2005 年 8 月 18 日受付】