会議報告

fib シンポジウム 2009 とフランス・イギリスにおける橋梁視察報告

魚本　健人 *1・椛木　洋子 *2・小林　正紀 *3・田口　松義 *4

1. はじめに

イギリスの首都ロンドンで2009年6月22日から24日までの3日間 *fib*（国際構造コンクリート連合，federation internationale du beton）2009年国際シンポジウムが開催された。

今回，本シンポジウムに参加するとともに，㈳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視察団を結成し，フランスのミヨー高架橋，ノルマンジー橋をはじめとするセーヌ川下流部の長大橋梁およびイギリスのセバーン橋・第二セバーン橋，セバーン川上流のセバーン峡谷に位置するアイアンブリッジ等の歴史的橋梁の視察を実施したので，その概要を報告する。

写真 - 1　*fib* シンポジウム 2009 会場
(The business design center, London)

2. *fib* シンポジウム 2009 の概要

2.1 テーマおよびプログラム

今年のロンドンで行われたシンポジウムは11回目で，"Concrete : 21st Century Superhero" をテーマに，46カ国から400名近くの参加によって基調講演，一般講演など最新技術の報告が行われた。シンポジウムのプログラムを表 - 1 に示す。

表 - 1　*fib* シンポジウム 2009 のプログラム

	6月22日（月）	6月23日（火）	6月24日（水）
09:00 ~ 10:30	オープニングセッション	セッション A,B,D,E	セッション A,C,D,E
休憩			
11:00 ~ 12:30	基調講演	セッション A,B,D,E	セッション A,B,C,D
Lunch 休憩			
14:00 ~ 15:30	セッション A,C,D,E	セッション A,C	セッション A,B,C,D
休憩			
16:00 ~ 17:30	セッション A,C,D,E	セッション A,C,D	クロージングセッション

2.2 基 調 講 演

基調講演は，アメリカ WSP Cantor Seinuk の社長，Dr. Ahmad Rahimian，香川大学工学部の堺　孝司教授，ノルウェーのノルウェー科学技術大学構造工学部（Depertment of Structural Engineering, Norwegian University of Science and Technology）の Odd E. Gjϕrv 教授によって行われた。基調講演のテーマは表 - 2 に示すとおりで，いずれも興味深い内容であった。

表 - 2　基調講演

講演者名	講演タイトル	国名
Dr. Ahmad Rahimian	Concrete high rise buildings コンクリートの高層建造物	USA
堺　孝司教授	Sustainability in Concrete コンクリートにおける持続性	日本
Odd E. Gjϕrv 教授	Durability of Concrete コンクリートの耐久性	ノルウェー

2.3 一 般 講 演

一般講演は，168題の講演が4会場に分かれ，表 - 3 に示す5テーマに分類されて行われた。テーマ別では，設計と解析（Design and Analysis）に関する講演が47件ともっとも多く，続いて構造と建設（Structures and Construction）が43件であり，設計や構造に対する関心が高いことが感じられた。つづいて，持続性（Sustainability）29件，材料（Mater-ials）28件，耐久性（Durability）20件であった。

日本からの講演は，持続性（Sustainability）が11件と多かった。これは，社団法人日本コンクリート工学協会（JCI）に設置された研究委員会「コンクリート構造物の環境性能に関する研究委員会」の活動の一環として，本シンポジウムが英国コンクリート協会と JCI との共催となったためであり，堺　孝司教授の基調講演とはべつに，委員会活動の

*1 *Taketo UOMOTO*：芝浦工業大学 工学部 土木工学科 教授
*2 *Yoko KABAKI*：㈱エイト日本技術開発 道路・交通事業本部
*3 *Masaki KOBAYASHI*：㈶首都高速道路技術センター 企画部
*4 *Matsuyoshi TAGUCHI*：㈶海洋架橋・橋梁調査会 九州支部

成果の一部が本セッション内で報告された。

なお，次回の *fib* 国際会議は “Think Globally, Build Locally” のテーマのもと，アメリカのワシントンDCで2010年5月29日から6月2日にかけて開催される予定である。

表 - 3　一般講演のテーマと発表件数

テーマ	発表件数	日本から
A. 設計と解析(Design and Analysis)	47	3
B. 耐久性　(Durability)	20	3
C. 材料　(Materials)	28	4
D. 構造と建設(Structures and Constrution)	43	2
E. 持続性　(Susutainability)	29	11
計	168	23

図 - 1　フランス視察橋梁位置図

3. フランス橋梁視察

3.1 フランスの概要

フランス（Republique Francaise）はヨーロッパの中西部に位置し，東側はイタリア，スイス，ドイツ，ベルギー，ルクセンブルグ，西南側はスペインと国境を接し，南は地中海，西は大西洋，北はイギリス海峡を挟んでイギリスが位置している。東西・南北とも1 000 km程度の外接円に入るおおむね六角形の，国土面積約55万km^2（海外領土を加えると67万km^2），人口約6 234万人（2008年）の国である。

西ヨーロッパ最高峰のモンブラン（標高4 810 m）を有するイタリア，スイスとの国境に近い地方がヨーロッパアルプスの西端にあたり山岳地形となっているが，この地方と南部の中央高原およびスペイン国境のピレネー山脈地方を除き，比較的なだらかな準平原の地形を有している。このため，国土の34 %が農地であり，EU最大の農業国である。

今回視察したフランスの橋梁位置を図 - 1に示す。

3.2 ミヨー高架橋

ミヨー高架橋は，フランス南部の高原地域アヴェロンのミヨー近郊のタルン川渓谷に架かる高速道路A75号の一部として建設された8径間連続鋼斜張橋で，その橋長は

L=342 m×6+204 m×2の2 460 mである。

ミヨーは地中海沿岸の主要都市モンペリエから北西へ約80 kmに位置し，大西洋にそそぐガロンヌ川の支流であるタルン川のほとりの小さな町であるが，この高架橋ができるまでは，ミヨー近郊は夏のバカンスシーズンには，パリから地中海方面へ向かう車で渋滞することで有名な町であったが，この橋ができたことによって渋滞は解消され，そのかわりにこのミヨー高架橋を目当てに訪れる観光客で市内は賑わうようになっている。

ミヨー高架橋のコンセプトを案出したのは後述するノルマンディー橋のデザインをも手掛けた仏人技術者・デザイナーのミシェル・ヴィルロジュー氏であり，設計はロンドンのミレニアムブリッジを手掛けた英国人建築家・ノーマン・フォスター卿である。

工事は2001年10月から開始され，工期38カ月をかけて，2004年12月に完成した。総事業費は3億9 400万ユーロであった。

ミヨー高架橋の特徴は7基の高橋脚にあり，そのうちタルン川にもっとも近いP 2橋脚は橋脚高さ245 mである。橋脚は高強度コンクリート製で，使用されたコンクリート量は85 000 m^{3}である。7基とも高橋脚であるため，温度変

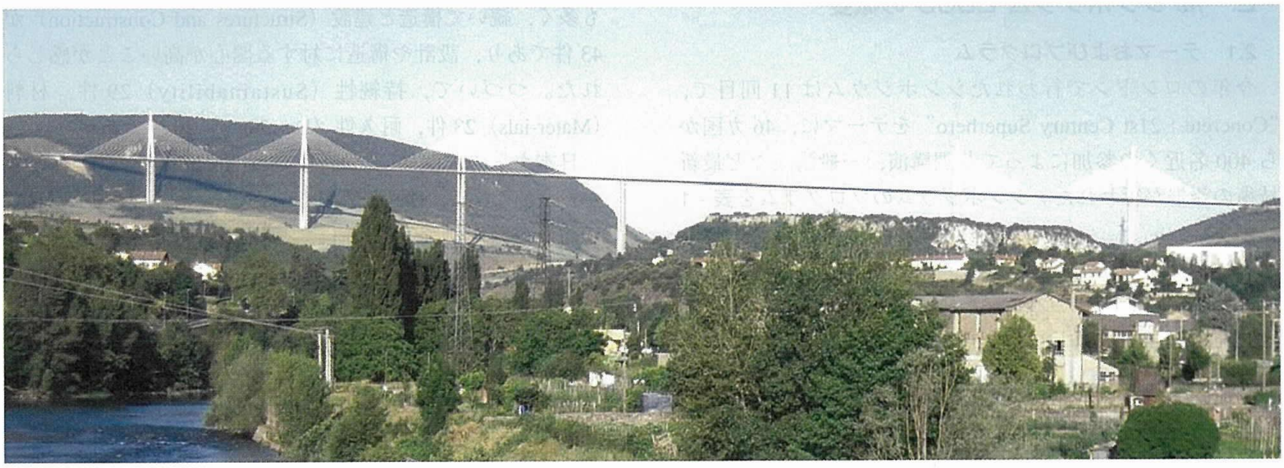

写真 - 2　ミヨー市街から観たミヨー高架橋

化や風の影響で発生する引張力を制限するためにプレストレスが導入されている。また各橋脚下部は1本構造であるが，橋脚上部および主塔部は2軸に分割されている。これは剛結された主桁の軸方向の変位に対して，橋脚に発生する変位および断面力を吸収するために採用された。

主桁は鋼床版箱桁で，全幅32 m，桁高4.2 m，製作総鋼重は36 000 tである。主桁は橋梁背面に設置したヤードで順次組み立て，送出し架設工法により架設された。

架設の際には各径間に仮支柱が設けられたが，タルン川を挟むP 2～P 3径間は仮支柱の設置が困難であったために，同径間で閉合した。

本橋の斜材（PC鋼材）は中央一面吊りであり，主桁側の取付け間隔12.5 mピッチで11段，合計154本のケーブルがおのおのの主塔に配置されている。

斜材は，亜鉛メッキ仕様のPCストランドにワックスが塗布され，その上から高密度ポリエチレン（HDPE）被覆で覆われた3重防食仕様のPCストランドを使用している。

3.3　ノルマンディー橋

ノルマンディー橋は，フランス北西部，セーヌ川河口付近の港町ル･アーブルと工業都市オンフルールを結ぶ斜張橋である。施主はル･アーブル商工会議所，設計はミヨー高架橋の橋梁デザイナーとしても著名なミシェル・ヴィルロジュー氏である。本橋は1988年に施工開始，1995年1月に開通しており，橋長2 141 m，メインスパン長856 mは，1999年に多々羅大橋に破られるまでは世界最長の斜張橋であった。ちなみに本橋と多々羅大橋は姉妹橋の関係にある。

幅員は23.6 m，片側2車線＋自転車道＋歩道という構成で，その施工は，2本の主塔近傍はPC張出し架設，中央の鋼床版部（624 m）は縦断方向で32個のブロックに分割され，台船からの吊上げ架設で行われた。

逆Y形の主塔は鉄筋コンクリート製で高さ214.77 m，総重量は20 000 t，うち鉄筋が11 700 t，PCケーブルが150 tである。また，床版から上の高さは155.7 mある。

ル･アーブルとオンフルールの間は，従来はこの橋の上流側に位置するタンカーヴィル橋（後述）を渡らねばならず，所要時間45分のところ，この橋の完成により，所要時間15分と30分程度短縮された。

本橋は，バイクと自転車，歩行者は通行料が無料である。

フランスでは，著名な橋梁の付近に資料館が設置されている例が多く，ここでは架設当時の状況を写真や模型で説明している。館内には地元の子供が描いた本橋の絵も展示されており，地元の本橋への親近感がうかがえる。また，館外の広場には主塔やケーブルの断面模型，工事に携わった方々の名前が記されたパネルも展示してある。

3.4　タンカーヴィル橋

タンカーヴィル橋は，前述のノルマンディー橋からセーヌ川の上流約12 kmに位置する吊橋で，1955年に施工開始，1959年7月に開通した。本橋もノルマンディー橋同様，ル･アーブル商工会議所が施主である。

橋長1 420 m，主径間長608 mは，吊橋としては開通当時ヨーロッパ最長である。主塔は鉄筋コンクリート製で高さ123 m，主桁はワーレントラス，床版は鋼製である。また，幅員は12.5 m，片側2車線＋歩道という構成である。

この橋は開通後間もない1965年頃よりメインケーブルの腐食という問題に直面し，1998年から1999年にかけてメインケーブルの架替えが行われた。

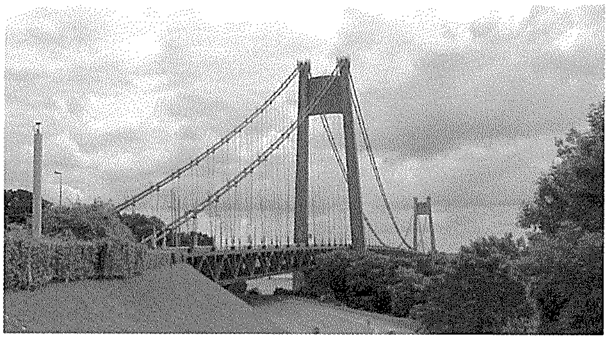

写真-4　タンカーヴィル橋

3.5　ブロトンヌ橋

ブロトンヌ橋は，前述のタンカーヴィル橋よりさらにセーヌ川の上流に位置する一面吊りPC斜張橋である。本橋はその優美な外観でも有名だが，橋長1 278 m，メインスパン長320 mは1977年の開通当時，PC斜張橋として世界最長であった。主塔は鉄筋コンクリート製で高さ125 m，幅員は19.2 m（片側2車線×2），各主塔からの張出し架設で施工された。

なお，本橋は2006年末から無料化されている。

写真-3　ノルマンディー橋

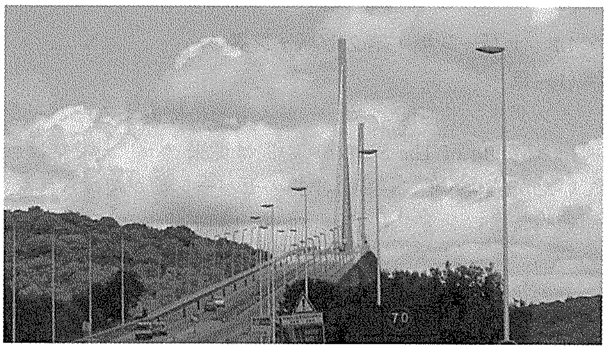

写真-5　ブロトンヌ橋

4. イギリス橋梁視察

4.1 イギリスの概要

イギリスはヨーロッパ大陸の北西部に位置する島国で，大ブリテン島とその周辺の島々およびアイルランド島の東北部からなる国土面積 244 820 km²，人口約 6 156 万人（2008 年）である。正式国名はグレートブリテンおよび北アイルランド連合王国（United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland）で，イングランド，スコットランド，ウェールズ，北アイルランドから構成されている立憲君主国である。

イギリスは国土の 9 割が可住地といわれているが，今回調査したイングランド南部は平原が広がっている一方，ウェールズは標高 1 085 m のスノードン山をはじめとして，調査した北ウェールズの海岸線近くには千メートル級の山が迫っており，急峻な印象を受けた。

今回視察したイギリスの橋梁位置を図 - 2 に示す。

図 - 2 イギリス視察橋梁位置図

4.2 セバーン橋・第 2 セバーン橋

（1）概　　要

イングランド西部とウェールズ南部に位置するセバーン河口（Mouth of The Severn）の間は従来フェリーで結ばれていたが，1966 年に往復 4 車線のセバーン橋が架けられた。開通当時はロンドンとウェールズ南部を結ぶ高速道路 M 4 の一部であった。

その後の交通量の増大や強風による通行止めへの対応，さらにはそれらによる橋梁の劣化に対する補強が必要となり，航路部を PC 斜張橋とした往復 6 車線の第 2 セバーン橋が建設されて 1996 年に開通した。そのときから第 2 セバーン橋が M 4 に，セバーン橋が支線扱いの M 48 となって現在に至っている。

（2）セバーン橋

セバーン橋は橋長 1 597 m（中央径間 3 240 ft，各側径間 1 000 ft），主塔高さ 445 ft の吊橋で，設計風速 100 マイル/h（約 45 m/s）である。使用された鋼重は主塔 2 700 t，主ケーブルおよびハンガー 4 600 t，補剛桁 11 200 t である。

また，ウェールズ側にはセバーン川の支流ワイ川を渡る橋長 408 m の斜張橋であるワイ橋が連続している。

セバーン橋の特徴は，桁に従来採用されていた補剛トラスではなく流線型の箱桁としたことおよび斜めハンガーによる補剛である。しかし，これらの試みに対して，比較的低風速での振動の発生による斜めハンガーの損傷や活荷重による鋼床版部の疲労などの問題が発生し，1980 年代以降にさまざまな補強・補修が施された。

写真 - 6 セバーン橋

（3）第 2 セバーン橋

第 2 セバーン橋はセバーン橋よりも河口側に位置しており，全長 5 128 m，中央の航路部は橋長 948 m，中央径間 456 m の PC 斜張橋である。アプローチ部は PC 橋梁で，上

写真 - 7 第 2 セバーン橋（斜張橋部分）

部工は2 300のプレキャスト部材から構成されており，イングランド側は25径間（橋長2 103 m），ウェールズ側は24径間（橋長2 077 m）である。

この橋はPFIの一つであるDBFO方式（設計，建設，資金調達，運営を民間が実施）で事業化されている。1984年のF/S調査に始まり，1990年にコンセッション契約締結，1992年から建設が開始され，1996年に開通した。

4.3 クリフトン吊橋

クリフトン吊橋はイングランド西部の主要都市ブリストル（Bristol）の西側に位置し，エイボン川が作り出したエイボン峡谷を渡る吊橋で1864年に完成した。主径間214 m，幅員9.5 mで水面から75 mの高さに位置しており，大型車両の通行は禁止されているが，今でもブリストルとリーウッヅ（Leigh Woods）を結ぶ重要な路線である。構造的にはアイバーチェーンによる単径間吊橋で後述のコンウェイ道路橋と同様の構造である。

この橋は1830年24歳の時に設計コンペで優勝したブルネル（1806～1859）の設計によるものである。そのコンペはトーマス・テルフォードが審査委員長を務めていたとのエピソードもある。

1831年に着工されたが，資金不足に陥り1853年に工事が中止された。ブルネルが他界した翌年の1860年にイギリスのエンジニアリングに汚名を残さないよう，ブルネルの偉業を讃えるようにと，工事が再開されて1864年に完成した歴史をもつ。

写真 - 8　クリフトン吊橋

4.4 アイアンブリッジとコールポート橋

アイアンブリッジは，セバーン川上流のセバーン峡谷に位置する1779年に完成した世界最古の鋳鉄製アーチ橋で，橋長60.0 m，アーチ支間長30.5 m，ライズ18.0 mである。

この一帯は，鉄や磁器の原料となる石炭，鉄鉱石，石灰岩などが露頭しており，簡単に採掘できたこと，またセバーン川の川幅と水深が船舶の航行に適しており，材料や製品を船で海まで容易に運べたことから，産業の発展に伴い，溶鉱炉，製鉄所，陶磁器工場などが数多く立地された。

アイアンブリッジのアーチ部材は，最大で長さ21.3 m，重量約6 tである。当時の製造能力では一度に4 t以上の鉄

写真 - 9　アイアンブリッジ

を作れる炉は無く，この橋の部材を製造するために特注の炉が作られ，周辺にあった3箇所の製鉄所は，アイアンブリッジのために他の生産を一時中止，378 tの鋳鉄の製造に注力したようである。

一方，コールポート橋は，陶磁器などを運ぶために作られた運河に架けられたアイアンブリッジと同形式の橋で，アイアンブリッジより約40年後の1818年に完成した橋であるが，両者を比較するといろいろな違いが見えてくる。

アーチライズが低いこと（これは，道路の線形上やむをえないことであるが），部材が非常にシンプルであり極力装飾を排除した橋に徹している。鋼重ミニマム，コストミニマムを意識したためか，橋梁技術の進歩により構造上必要な部材だけを配置したためか，おそらくその両者により合理化された結果であろう。

写真 - 10　コールポート橋

4.5 コンウェイ道路（吊）橋，コンウェイ鉄道橋

コンウェイ道路橋はコンウェイ川に架かる橋梁で，橋長99.7 m，アイバーチェーンによる単径間吊橋で，トーマス・テルフォードによって設計され，1826年に完成した。

この橋の特徴は，チェーンを支える塔やチェーンの定着部が，エドワードⅠ世により作られた要塞コンウェイ城と一体となった景色を創り出している点である。

現在ここには，コンウェイ鉄道橋，A 547道路橋が隣接

写真 - 11　コンウェイ道路(吊)橋(右)と
コンウェイ鉄道橋(左)

して架設されて，かつてはチェスターとバンゴールを結ぶ幹線道路として利用された本橋もその役割を終え，史跡自然美保護協会で管理されている。現在の道路橋はアーチ系の橋梁となっている。

本橋が完成した1826年には同じくテルフォードによって設計されたメナイ橋も完成しており，約180年前同時に二つの吊橋を完成させた高い国力と技術力を感じた。

一方，コンウェイ鉄道橋は約150年前にロバート・スティーブンソンによって設計された箱桁橋で，現在も箱桁の中を列車が走り続けている。鉄道橋としてブリタニア橋が箱桁形式によって架設されたのと同時期に建設された本橋も箱桁が採用された。

なお，現在ブリタニア橋はアーチ橋に架け替えられているため，当時からの箱桁橋としては本橋だけである。

4.6　メナイ吊橋

メナイ橋はメナイ海峡の中央部に位置し，バンゴールとアングルシー島を結ぶ橋梁で，コンウェイ道路橋と同じトーマス・テルフォードによって設計された中央径間176.5 m，アイバーチェーンによる3径間吊橋である。100 ftの桁下空間を確保するために吊橋形式が採用された。

1940年に，増加する自動車交通に耐えられるよう，高強度鋼チェーンに取り替えられ，本数も4本から2本になっている。同時に補剛トラスも補強されている。

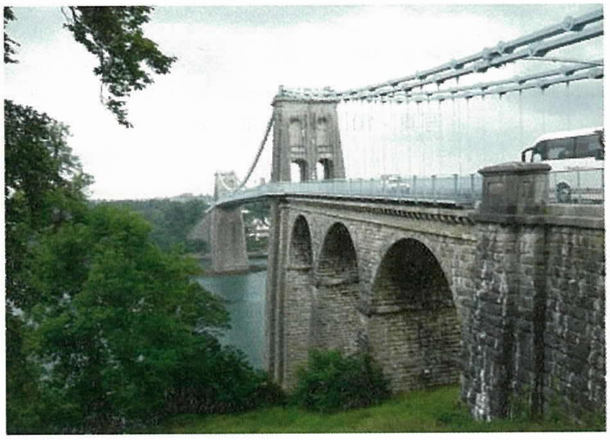

写真 - 12　メナイ吊橋

4.7　ブリタニア橋

今回ブリタニア橋は，メナイ橋から望むことになった。現在のブリタニア橋は，1970年5月火災により大きな損傷を受けたため，中央2径間はブレースドアーチに，側径間は桁橋に架け替えられたものである。ダブルデッキ構造で上路は高速道路A 55，下路は複線の鉄道が走っている。

写真 - 13　ブリタニア橋

5.　おわりに

今回，*fib* シンポジウムへの参加によって海外の技術動向を知ることができた。また，斬新なデザインの橋梁であるフランスのミヨー高架橋や，産業革命発祥の地であるイギリスの歴史的な橋梁などの視察団に参加できたことは大変有意義であった。

本視察は，プレストレストコンクリート技術協会のご支援を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したい。

紙面の都合上，紹介できなかった橋梁も多くあり，べつの機会に紹介できればと考えている。

最後に本報告は，表 - 4に示す視察団員の報告に基づき

表 - 4　視察団員名簿

氏　名	所　　　属
魚本　健人	芝浦工業大学 工学部 土木工学科
池田　尚治	㈱ 複合研究機構
山崎　淳※1	日本大学 理工学部 土木工学科
井元　晴丈※2	BASF ポゾリス ㈱ 開発センター
春日　昭夫※2	三井住友建設 ㈱ 土木管理本部 土木設計部
椛木　洋子	㈱ エイト日本技術開発 道路・交通事業本部
紙田　晋※2	住金鉱化 ㈱ 技術部
川田　成彦	㈶ 首都高速道路技術センター 企画部
小林　正紀	㈶ 首都高速道路技術センター 企画部
田口　松義	㈶ 海洋架橋・橋梁調査会 九州支部
宮島　朗	㈱ 安部日鋼工業 技術本部 開発部
安岡　富夫	㈱ 梶川土木コンサルタント 技術部
吉田　雅彦	㈱ 川金コアテック 技術本部
松澤　均朗	㈱ グロリアツーリスト

※1：シンポジウム参加のみ　※2：シンポジウム発表者

取りまとめたもので，付記して篤く感謝申しあげる。また，グロリアツーリストの松澤氏には視察の実施にあたり，大変なご苦労をおかけしたことも記しておきたい。

【2009 年 8 月 4 日受付】

刊行物案内

第 17 回
プレストレストコンクリートの
発展に関するシンポジウム
論 文 集

（平成20年11月）

本書は，平成20年11月に高松市（サンポート高松）で開催された標記シンポジウムの講演論文集です。

CD 版論文集：定価：12,000 円，会員特価　10,000 円／送料 300 円
体　　　裁：プラスチックCDケース入り
書籍版論文集：定価：31,500 円，会員特価　25,200 円／送料 500 円
体　　　裁：B 5 判，箱入り