

# fib シンポジウム 2013 とイスラエルの橋梁視察報告

齋藤 公生\*

## 1. はじめに

fib シンポジウム 2013 が、2013 年 4 月にイスラエル国のテルアビブ（写真 - 1）において開催された。fib シンポジウムは、fib（国際構造コンクリート連合、federation internationale du beton）が、毎年開催国を変えて開催する国際シンポジウムであり、コンクリート構造に関する世界各国の研究者・実務者が数多く参加する。この度、fib シンポジウム 2013 への参加とイスラエル国の橋梁視察の機会を得たので、ここに報告する。



写真 - 1 テルアビブの海岸



写真 - 2 シンポジウム会場（Dan Panorama Hotel）

“Award for Young Engineers” のセッションが設けられ、3 名の受賞者が講演した。

講演以外には、技術展示が催されたほか、レセプションパーティーやバンケットのソーシャルイベントも催された。今回のシンポジウムへは、40 カ国から 256 名が参加した。このうち、開催国イスラエルから 88 名が参加し、日本を含む 7 カ国から 10 名以上の参加があった（写真 - 3）。

## 2. fib シンポジウム・テルアビブ 2013

### 2.1 シンポジウム概要

fib シンポジウム・テルアビブ 2013 は、イスラエル建設・社会基盤技術者協会（The Israel Association of Construction & Infrastructure Engineers, IACIE）およびイスラエル工科大学（The Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion-Israel Institute of Technology）が主催した。会場には、地中海に面したテルアビブ市内の Dan Panorama Hotel（写真 - 2）の会議場があてられ、開催期間は 2013 年 4 月 22 日～24 日の 3 日間であった。

今回のシンポジウムのテーマは、“コンクリートの将来の計画：テクノロジー、構造モデル、施工（Engineering a Concrete Future: Technology, Modeling & Construction）”であり、コンクリートの発展に向けて、さまざまなテーマの基調講演および一般講演が行われた。本年のシンポジウムでは、基調講演と一般講演に加えて、“2013 fib Achievement



写真 - 3 日本からの参加者

前年にストックホルムで開催された fib シンポジウムへの参加者は 260 名であり、本年のシンポジウムは、前年とほぼ同規模であったといえる。

なお、来年は 4 年に 1 度となる fib コングレスが、2014

\* Kimio SAITO：鹿島建設(株) 土木管理本部

## ○ 会議報告 ○

年2月10日から14日にインドのムンバイにて開催される予定である。

### 2.2 基調講演

今回のシンポジウムでは、4題の基調講演が行われた(表-1)。例年は欧州からの講演が多くを占める傾向にあるなか、今年は4題中2題が米国からの講演であった。また、4題中2題が耐震に関する講演であり、講演者・演題の選定には主催者側の意図が感じられる。

表 - 1 基調講演のタイトルと講演者

タイトル / 講演者
高くスレンダーな構造物でのコンクリートの優位性 Superiority of Concrete Material in Tall Slender Structures Silvian Marcus, WSP Cantor Seinuk, USA
環境的な制約を受ける時代における建設へのコンクリートの使用 Construction with Concrete in An Era of Environmental Constraints Arnon Bentur, National Building Research Institute, Israel
損傷を受けやすいコンクリート構造の耐震解析 Seismic Analyses of Damageable Concrete Structures Andrei M. Reinhorn PE, PhD, University at Buffalo, USA
欧州におけるコンクリート構造の耐震への取組みの規準化 The European Approach to Seismic Engineering and Codification for Concrete Structures Michael N. Fardis, University of Patras, Greece

#### (1) Silvian Marcus 氏の講演<sup>1)</sup>

4月22日のシンポジウムの開会式に引き続き、米国のSilvian Marcus氏が“Superiority of Concrete Material in Tall Slender Structures”と題して講演した。高強度コンクリートの登場によって、減衰性能の高いコンクリートが鋼に取って代わり、高層ビルの構造材料として利用されるようになってきたことが紹介された。

#### (2) Arnon Betur 氏の講演<sup>2)</sup>

Silvian Marcus氏に続いて、イスラエルのArnon Bentur氏が“Construction with Concrete in An Era of Environmental Constraints”と題して講演した。環境負荷低減が求められる時代に、コンクリートを構造材料として使用し、建設を進めて行くうえでは、セメントの製造段階およびコンクリートの配合段階での環境負荷低減の必要性に加え、環境負荷低減を意識した構造物全体の設計の必要性が訴えられた。同時に環境負荷を定量化するツールの開発の必要性も説明された。

#### (3) Andrei M. Reinhorn 氏の講演<sup>3)</sup>

4月23日の午前中のプログラムの最後に、米国のAndrei M. Reinhorn氏が“Seismic Analyses of Damageable Concrete Structures”と題して講演した。同講演では、耐震設計における非線形解析の必要性が論じられた。

#### (4) Michael N. Fardis 氏の講演<sup>4)</sup> (写真 - 4)

4月24日の閉会式の前に、ギリシャのMichael N. Fardis氏が“*The European Approach to Seismic Engineering and Codification for Concrete Structures*”と題して講演した。1980年代からの欧州の耐震基準の変遷が振り返られるとともに、性能および変形に基づく設計を取り入れた、最新の*fib Model Code 2010*の内容が紹介された。そのうえで、欧州における今後の耐震基準の改定の見通しが紹介された。



写真 - 4 Fardis 氏の講演

### 2.3 一般講演

一般講演には9のトピックが用意された。それぞれのトピックに関する合計168題の講演が、最大5会場に分かれて行われた。表-2に示す通り、基調講演と同様に耐震に関する講演の比率が高かった。講演件数では、前年の137件から約30件の増加した。

表 - 2 一般講演のトピックと講演件数

トピック	講演件数
先進のセメント系材料とコンクリート Advanced and innovative cementitious materials and concrete	21
セメント材料および複合材料の構成モデル Constitutive modeling of cementitious and composite materials	6
設計思想および構造モデル Design concepts and structural modeling	28
RC、PCのせん断および押し抜きせん断 Punching and shear in RC and in PC (prestressed concrete)	33
橋梁工学における課題 Challenges in bridge engineering	14
先進のプレキャストおよびPC工学 Advances in precast and PC engineering	12
地震など強荷重条件下でのコンクリート構造 Concrete structures under seismic and extreme loads	36
新たな構造および施工方法の開拓 Pioneering structures and construction methods	11
トンネルの設計・施工における構造的特徴 Structural aspects of tunnel construction and design	7
合計	168

#### (1) 日本からの講演

日本からは4件の講演があった(表-3)。以下では、そのうち3件の講演について概説する。

東京工業大学の松本浩嗣助教は“Mechanical behavior & repair and strengthening method of RC beams having anchorage corrosion”と題して講演した<sup>5)</sup>(写真-5)。同講演では、鉄筋の腐食に伴い、引き抜き試験による定着部の破壊モードが、鉄筋降伏から付着切れに変化することが実験結果に基づいて示されるとともに、定着部の補修によって引き抜き耐力が回復することが示された。一方で、鉄筋がある程度腐食したRC梁のせん断耐力が、タイドアーチの効果により鉄筋が腐食する以前のRC梁より増加することが示された。

三井住友建設(株)の春日昭夫氏は“Development of the high strength fiber reinforced concrete for butterfly web bridge”

表 - 3 日本からの講演のタイトルと講演者

タイトル / 講演者
定着部が腐食した RC 梁の力学的挙動と補修補強法 Mechanical behavior & repair and strengthening method of RC beams having anchorage corrosion 東京工業大学 松本浩嗣
バタフライウェブ橋への高強度繊維補強コンクリートの開発 Development of the high strength fiber reinforced concrete for butterfly web bridge 三井住友建設(株) 春日昭夫
超高強度線補強コンクリート製プレキャスト型枠を使用した 高耐震性橋脚の開発と適用 Development and Application of High Seismic Performance Concrete Pier Column Utilizing Precast Form with Ultra-High Strength Fiber Reinforced Concrete 鹿島建設(株) 齋藤公生
せん断破壊後に樹脂で補強された単柱の耐震挙動 Seismic performance of shear failed short columns repaired by resin 広島工業大学 荒木秀夫



写真 - 5 松本助教の講演

と題して講演した<sup>6)</sup>。同講演では、バタフライウェブ橋のウェブパネルに使用する鋼繊維補強コンクリートの開発に関する報告がなされた。新たな材料開発では、必要な圧縮強度を確保しつつも、せん断強度の低下と自己収縮の抑制が図られている。

筆者は“Development and Application of High Seismic

Performance Concrete Pier Column Utilizing Precast Form with Ultra-High Strength Fiber Reinforced Concrete”と題して講演した<sup>7)</sup>。橋脚基部に超高強度繊維補強コンクリート製のプレキャスト型枠を使用することで、変形性能を大幅に改善するコンクリート橋脚を紹介した。同時に、同橋脚を初めて適用した阪神高速道路三宝ジャンクションでの施工事例を報告した。

(2) その他の一般講演

ここでは、以上に報告した日本からの講演以外から、新設のプレストレストコンクリート橋を紹介した1件の講演を報告する。

Wroclaw University of Technology の Jan Biliszczuk 氏による講演“Pioneering concrete cable-stayed bridges in Poland”では、現在急速に道路整備が進められているポーランドで、近年建設されたもの、建設中のもおよび計画中のものから、特筆すべき斜張橋やエクストラロード橋が紹介された<sup>8)</sup>。紹介された橋には、橋長 612 m (50 m + 2 × 256 m + 50 m) の4径間連続 PC 斜張橋である Rędziński Bridge (写真 - 6, 図 - 1) や、橋長 808 m (70 m + 130



写真 - 6 Rędziński Bridge (写真提供：Jan Biliszczuk 氏)

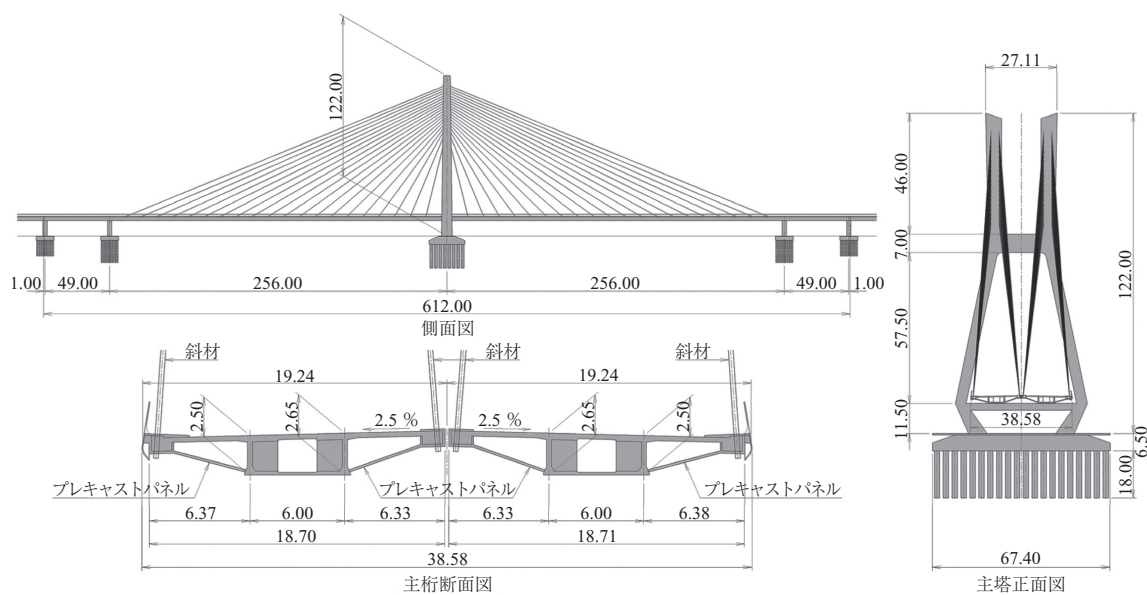


図 - 1 Rędziński Bridge 一般図 (単位：m)

## ○ 会議報告 ○

m + 2 × 204 m + 130 m + 70 m) の 6 径間連続エクストラード橋などが含まれている。さらに講演内で、上述の 2 橋の比較によりエクストラード橋の適用支間が論じられた。

### 2.4 その他の行事

#### (1) 技術展示

講演会場に隣接したホールでは、基調講演・一般講演と並行して技術展示が行われた。本年の技術展示には、材料メーカー、コンサルタントなど 8 団体からの出展があった。展示会場には飲み物や軽食類が常時用意され、講演の休憩時間に多くの会議参加者が訪れていた（写真 - 7）。



写真 - 7 技術展示会場

#### (2) レセプションおよびバンケット

シンポジウム第 1 日目の夜には、レセプションパーティーが立食形式で開催された。会議参加者が比較的少なかったことに加え、パーティー参加者に対して比較的広い会場が用意されたためか、会場内の移動がスムーズで、多くの参加者との交流ができた（写真 - 8）。



写真 - 8 レセプション風景

バンケットは、シンポジウム 2 日目の夜にテルアビブ近くのレストランにて開催された。一歩外に出れば波の音が聞こえる海岸沿いのレストランで、生演奏を聴きながら食事を楽しんだ（写真 - 9）。



写真 - 9 バンケットでの生演奏

## 3. イスラエルでの橋梁視察

### 3.1 イスラエル国概要

イスラエルは南北に細長い国土を有し、地中海に面する西側以外はレバノン、シリア、ヨルダンおよびエジプトと国境を接している（図 - 2）。ヨルダンとの国境付近には、死海がある。国土の面積は、四国と同程度の 22 072 km<sup>2</sup> であり、人口は 742 万人を数える。



図 - 2 イスラエル地図

イスラエルでは、自動車为主要な交通手段であり、近年の急速な自動車の増加に対応して、道路網が拡充されている。同時に、道路の渋滞を緩和するために、鉄道の建設も進められている。道路交通網の拡充および鉄道の建設に伴って、各地で橋が建設されている。

イスラエル国内の視察を通して、同国では鋼橋に比べてコンクリート橋の比率が高く、コンクリート橋には多くのプレキャスト部材が使用されているとの印象を受けた。実

際に、イスラエルの生コンは非常に安価であり、生コン価格をビックマック価格で除したビックマック指数は、日本の40弱に対し、イスラエルは2以下である。また、レイミクストコンクリート工場における1従業員あたりの年間出荷量は、日本の2000 m<sup>3</sup>に対し、イスラエルは9000 m<sup>3</sup>である<sup>9)</sup>。

以下では、今回視察した橋梁のうち Quarry Bridge と Jerusalem Chords Bridge の2橋を紹介する。

### 3.2 Quarry Bridge

Quarry Bridge は、ナザレ近郊の採石場 (quarry) 跡地上空に、2008年に建設されたプレストレストコンクリート橋である。(写真 - 10)。North Bridge と South Bridge が平行し、それぞれの橋長は414 m と409 m、総幅員は両橋とも11 m、最大支間長は78 mである。構造形式は、両橋とも6径間連続ラーメン箱桁橋である。主桁には一室箱桁断面が採用され、桁高は3.3 mの等桁高である。橋脚には、2つのC形を組み合わせたユニークな断面形状が採用されている(図 - 3、写真 - 11)。この断面は、橋軸方向と直角方向の剛性のバランスを考慮した結果、採用されたものと推察される。

5橋脚のなかでもっとも低く、他の橋脚より剛性の高いP2の頂部と箱桁の間には、鋼殻ストッパーのような装置が設置されている。この装置により、地震時には他の橋脚が先行して水平力に抵抗し、箱桁に所定の水平変位が生じたのちにP2橋脚が水平力に抵抗するように設計されている。

本橋の西側は押し出し架設工法によって、東側は場所打ち



写真 - 10 Quarry Bridge (写真提供：Raz Mor 氏)

張出し架設工法によって建設された。本橋の西側が押し出し架設された際には、P2-P3間およびP3-P4間にプレキャストコンクリート製の仮支柱が設置された。場所打ち張出し架設されたP5およびP6の柱頭部の施工では、下床版とウェブがプレキャスト化され、橋脚上に架設された。さらに、壁高欄の外側にはプレキャストパネルが使用されている。

本橋周辺には平坦な農地が広がり、広範囲から本橋の全景を眺めることが出来た。壁高欄外側に設置されたプレキャストパネルが作る明るい桁のラインと橋脚の2つのC形の間にできる暗い鉛直のラインのコントラストが印象的であった(写真 - 12)。

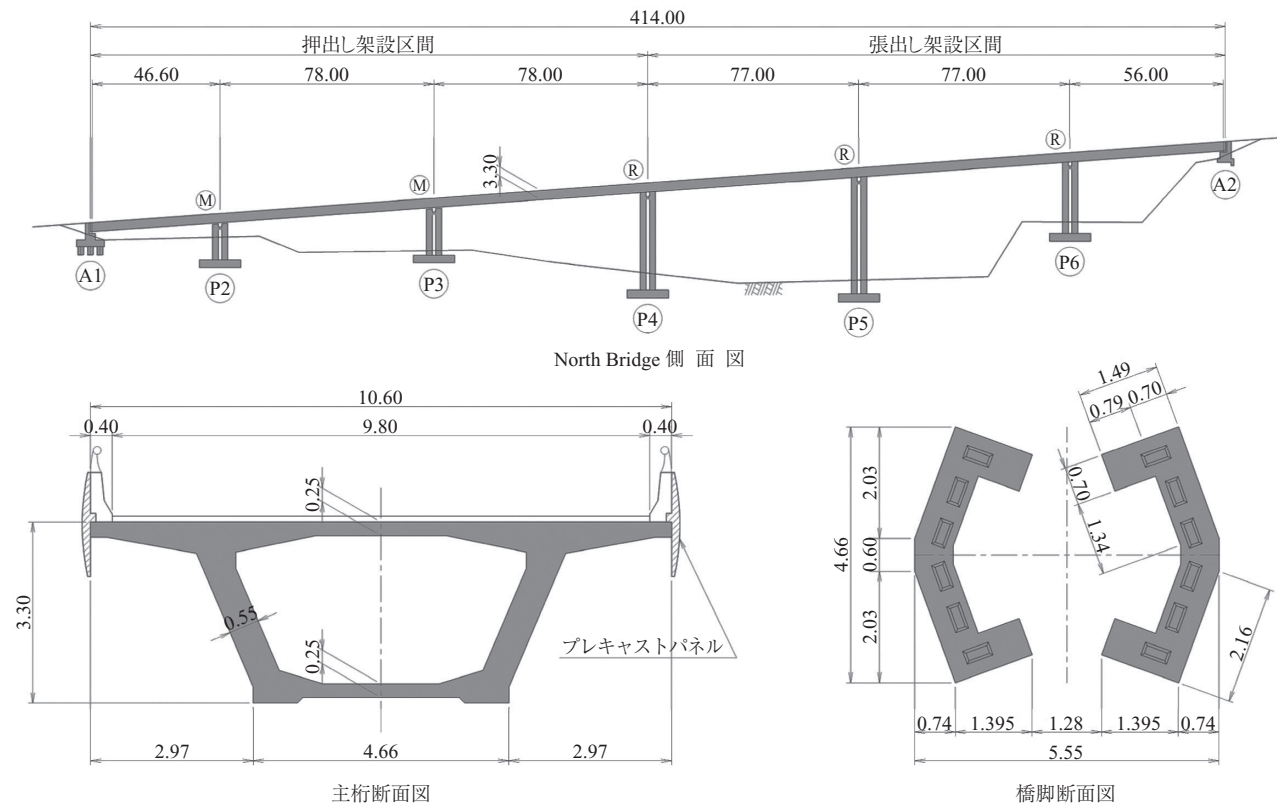


図 - 3 Quarry Bridge 一般図 (単位：m) (資料提供：Raz Mor 氏)

## ○ 会議報告 ○



写真 - 11 Quarry Bridge 橋脚



写真 - 12 Quarry Bridge 遠景

### 3.3 Jerusalem Chords Bridge<sup>10)</sup>

Jerusalem Chords Bridge は、2008 年にエルサレムの入り口に建設された新交通システムと歩行者のための斜張橋である（写真 - 13）。橋長は 360 m、幅員は 14.82 m、最大支間長は 160 m である。主塔高は 118 m であり、完成当時エルサレムで最も高い構造物であった。



写真 - 13 Jerusalem Chords Bridge (写真: Little Savage)

本橋のデザインは、世界的に著名なデザイナーであるスペインのサンチャゴ・カラトラバ氏によるものであり、エルサレム市の西の入り口で、都市のシルエットを描き出すようにデザインされた。傾斜し途中で屈曲している主塔、空中で交差するように配置されその輪郭が曲線を描く斜材、大きくカーブし片側のみが斜材に吊られる桁など、斬新なデザインがなされている（写真 - 14）。



写真 - 14 斬新な斜材配置 (写真提供: 松本浩嗣氏)

完成から 5 年が経過した現在、本橋に対する評価は、未だ定まっていないうである。エルサレム市の発展に寄与するとして、本橋を歓迎する意見がある一方で、7 千万ドルの建設費を高くする意見もある。また、混雑した市の入り口に建設されたため、本橋の芸術的価値を十分に享受できないとの意見もある。視察時には、建物が近接し交通量の多い本橋周辺で、橋全体を見渡せる視点を見出すことができず、筆者も本橋のスケールが架設地の状況に対して過大だとの印象を抱いた（写真 - 15）。



写真 - 15 Jerusalem Chords Bridge 周辺  
(写真提供: 松本浩嗣氏)

## 4. おわりに

*fib* シンポジウム 2013 およびイスラエルにおける橋梁視察について報告した。現在の社会情勢を考えれば、多くの

方がイスラエルを訪れる機会を得られるとは考え難い。そのなかで、本報告が少しでも読者の皆様の参考になれば幸いである。

本年度、公益社団法人プレストレスト工学会の支援による調査団の結成が残念ながら見送られた。調査団への参加は、プレストレストコンクリートに関わる日本の方々と親交を深める絶好の機会でもあり、来年度から継続した結成を強く望む。

最後に、グロリア・ユーレックスの小倉氏の例年と変わらぬ綿密な準備によって、充実した視察ができたことに對し、深く感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) Silvan Marcus: Superiority of Concrete Material in Tall Slender Structures, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.17-28, 2013.
- 2) Arnon Bentu: Construction with Concrete in an Era of Environmental Constraints, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.13-16, 2013.
- 3) Andrei M. Reinhorn: Seismic Analyses of Damageable Concrete Structures, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.312, 2013.
- 4) Michael N. Fardis: The European Approach to Seismic Engineering and Codification for Concrete Structures, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.29-42, 2013.
- 5) Koji Matsumoto et al.: Mechanical behavior & repair and strengthening method of RC beams having anchorage corrosion, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.265-268, 2013.
- 6) Akio Kasuga et al.: Development of the high strength fiber reinforced concrete for butterfly web bridge, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.407-410, 2013.
- 7) Kimio Saito et al.: Development and Application of High Seismic Performance Concrete Pier Column Utilizing Precast Form with Ultra-High Strength Fiber Reinforced Concrete, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.525-528, 2013.
- 8) Jan Biliszczuk et al.: Pioneering concrete cable-stayed bridges in Poland, *fib Symposium TEL-AVIV 2013*, pp.657-610, 2013.
- 9) 加藤佳孝他：委員会報告社会情勢とコンクリート産業構造の関連性検討委員会，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.25-32，2012
- 10) [http://en.wikipedia.org/wiki/Jerusalem\\_Chords\\_Bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Jerusalem_Chords_Bridge)

【2013年7月15日受付】

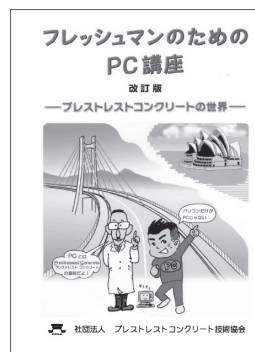


#### 図書案内

## フレッシュマンのためのPC講座・改訂版 — プレストレストコンクリートの世界 —

大変ご好評をいただいております「フレッシュマンのためのPC講座」も平成9年に第一版が発刊されてから約10年が経過いたしました。

その間に、基準値・規格値をはじめとした技術基準が従来単位系からSI単位系に移行しました。また、プレストレストコンクリート構造物においても、複合構造等の新しい構造物が誕生しています。そこで、これらの項目を新しく見直して、改訂版を発刊することにいたしました。これからの技術者を育てるためには、大変有意義な図書であると確信しておりますので、是非有効利用されることをお勧めいたします。



#### 主な改訂項目

- ・従来単位系からSI単位系に変更しました。
- ・PCを利用した構造物の紹介に、最近の新しい構造物を盛り込みました。

発刊日：2007年3月

定価：3,600円／送料300円／冊

会員特価：3,000円／送料300円／冊

体裁：A4判，140頁

申込先：公益社団法人プレストレストコンクリート工学会