

# プレキャストコンクリートおよびプレストレストコンクリートの革新的な利用に関する国際シンポジウム報告

近藤 真一\*1・水谷 淳\*2

## はじめに

1990年11月28日、29日の両日、PPCS(Prestressed & Precast Concrete Society)主催のプレキャストコンクリートおよびプレストレストコンクリートの革新的な利用を主題とする国際シンポジウムが、シンガポールのホテルニューオータニで開催された。このシンポジウム参加のために、プレストレストコンクリート技術協会がスタディーツアーを主催したが、筆者らはこのツアーのメンバーとしてシンポジウムに出席したので、その概要を報告する。

### 1. シンポジウムの概要

シンポジウムは12か国から89名の参加者を集めて開催された。その内訳は表-1に示すとおりである。日本からの参加者が最も多く、以下開催国のシンガポールに続き、フィリピン、マレーシア、インドネシアなどの順で、そのほとんどがアジアからの参加者であった。日本からは、横浜国立大学の池田教授、大阪大学の鈴木教授をはじめ、ゼネコン、PC専門家、鋼線メーカーなどの技術者が参加した。

講演論文は全部で26編で、そのうち12編が日本からの論文であった。論文の内容別分類は表-2に示すとおりである。



写真-1 シンポジウムの会場

表-1 参加者の内訳

国名	参加人数
日本	36
シンガポール	22
フィリピン	7
マレーシア	5
インドネシア	5
タイ	4
フランス	2
オーストラリア	2
インド	2
バングラデシュ	2
中国	1
アメリカ	1

表-2 発表論文の内訳

分類	論文数
設計および解析	7
プレストレストコンクリート橋	4
プレキャスト部材	6
合成構造	3
新素材、新材料	4
その他	2
計	26

りである。

シンポジウムは28日午前10時より始まり、オープニングセッションではシンポジウムの議長 Dr. C.K. Murthy の挨拶に引き続き、PPCS 会長 Mr.R. Ganeshalingam, 来賓のシンガポール公共事業局の局長 Dr. Tan Swan Beng らが挨拶に立ち、シンポジウム成功への期待を述べるとともに参加者に対する歓迎の意を表した。

その後、二日間にわたって各論文のプレゼンテーションが行われた。プレゼンテーションは各セッションごとに分けて行われ、基調講演として4編、一般講演として21編の論文の発表が英語で行われた。質疑応答はセッションごとに行われ、それぞれ意見の交換が行われた。また、各セッションの間にはコーヒーブレイクが設けられており、和やかな歓談のうちに意見の交換が行われていた。そして、参加者全員に参加証が、講演者には記念品が授与された。

\*1 Shinichi KONDOH : 住友建設(株)土木部設計第二課

\*2 Jun MIZUTANI : 住友建設(株)土木部土木開発課

## 2. 発表内容

以下に日本からの一般講演論文と講演者を紹介する。

- (1) 日本におけるプレストレストコンクリート杭の現状（新井厚生，伊大知伸明）  
講演者：新井厚生（(社)コンクリートパイル建設技術協会）
- (2) ハーフプレキャスト梁・柱接合部の耐震性状（ホワン ホセ カストロ，山口輝彰，今井弘）  
講演者：ホワン ホセ カストロ（筑波大学大学院生）
- (3) 新素材を用いた吊床版橋の設計・施工（久保田宗孝，鷹尾 武，村山八洲雄，山本 徹）  
講演者：山本 徹（鹿島建設㈱）
- (4) 単径間 PC 斜張橋の設計と施工（則久芳行，近藤真一，瀬間 優）  
講演者：近藤真一（住友建設㈱）
- (5) アラミド FRP プレテンション道路橋について（則武邦具，熊谷紳一郎，水谷 淳，益子 博）  
講演者：水谷 淳（住友建設㈱）
- (6) クレーン船の衝突により損傷を受けた PC 橋の復旧工事（則武邦具，石川真一郎，井谷計男）  
講演者：水谷 淳（住友建設㈱）
- (7) 東光大橋の設計と施工（佐々木誠也，佐々木寿一，本間英世，近藤真一）  
講演者：近藤真一（住友建設㈱）
- (8) 白屋橋の施工（プレストレストコンクリート斜張橋）（品川正典，平林貞之，横山雅臣，山村正人）  
講演者：山村正人（鹿島建設㈱）
- (9) 高強度鉄筋によってプレストレスが導入されたプレキャストパネルによる合成スラブ（鈴木計夫，大野義照，中川隆夫，堀 裕弘，斉藤駿三，鳥居 洋）  
講演者：鈴木計夫，堀 裕弘（大阪大学）
- (10) 高強度鉄筋によってプレストレスが導入された合成ラチススラブの曲げ特性（鈴木計夫，大野義照，中川隆夫，松谷輝雄，太田 寛）  
講演者：太田 寛（㈱鴻池組）
- (11) 大開口を持つ実大 PC 梁の実験的研究（鈴木計夫，辻 英一，北川 勝，森高英夫，築谷朋也，土居健二，田中宏幸）  
講演者：森高英夫（安井建築設計事務所）
- (12) プレキャストコンクリート柱用に開発された鉄筋継手の性能（ロドルフォ ジャニエス，山口輝彰，今井 弘）  
講演者：ロドルフォ ジャニエス（筑波大学大

学院生）

## 3. 基調講演

一般講演のほかにシンガポールの Lee Seng Lip 教授，日本の鈴木素彦氏，フランスの R. Lacroix 教授，インドの R. Sundaram 博士らによる基調講演が行われた。以下にその概要を紹介する。

- (1) フェロセメントのプレキャスト構造部材について

Lee Seng Lip（シンガポール）

L.S. Lee 氏は国立シンガポール大学土木工学科の教授である。講演の内容は，最近シンガポールや東南アジアで注目を集めているフェロセメントのプレキャスト構造物についてであり，スライドを用いて実際の使用事例を交えながらの紹介であった。

フェロセメントは 1970 年代の前半より，発展途上国において盛んに使用されるようになった。その理由は，大がかりな設備や機械を必要とせず，誰にでも容易に製作可能というところにあった。ところが，最近ではシンガポールのような都市や先進国でも，工期短縮化の必要や熟練技術者の人件費の高騰によりフェロセメントの使用実績が増えてきている。シンガポールでは，適切な補強方法を選択することにより工業生産されたプレキャストのフェロセメント部材が公団住宅の屋根スラブ，隔壁，窓の日除け部材などに使われていると紹介があった。

窓の日除け部材としては，ガラス繊維補強コンクリート，アルミニウム，従来の鉄筋コンクリートなどが考えられるが，取付けの容易さ，耐久性やその他の建築物としての適合性などが考慮されてフェロセメントが選ばれている。

そのほかの最近の事例としては，高層ビルの断熱用の屋根材としての利用がある。使用に際してはスラブとしての機能に関する試験のほかに，耐侯性や温度応力の試験も実施され高い性能が示された。コスト的には従来の物より高いが，高所での取替え作業などの維持管理が少なくすむ分フェロセメント製のほうが有利になるという説明であった。

また発展途上国では，雨水を蓄えて飲料水や生活用水とする水瓶としての水タンクにフェロセメントが用いられているほか，都市では高層ビルの屋上に設置される給水タンクなどにも用いられている。水タンクとしては鋼製タンクが一般的であるが，コストや錆の問題，耐用年数，また水質や維持管理などの面を考慮してフェロセメントが用いられてきているとのことであった。

- (2) 桁高を低減できるプレストレス工法について  
鈴木素彦（オリエンタル建設（株））



写真-2 基調講演の状況

日本では、架橋地点の条件により桁高制限を受ける場合がしばしばあり、桁高の小さいコンクリート橋の需要が高まっているが、鈴木氏はスライドを用いて、バイプレッシング工法（以下、バイプレ工法と略す）によりPC桁の桁高を低減できることを理論的に示し、日本における適用例を紹介した。

バイプレ工法は、ポストコンプレッシング工法にポストテンショニングまたはプレテンショニング工法を組み合わせることでプレストレスを与える工法である。PC桁をできるだけスレンダーに設計しようとしたとき、圧縮縁の圧縮応力度が許容値に達することが限界となってしまう。したがって、コンクリート単純桁で桁高を低くする必要のある場合や、支間をできるだけ長くする必要のある場合に、この工法が合理的と考えられる。

バイプレシステムは、ポスト（プレ）テンショニング鋼材により断面に与えられる圧縮力（ $C$ ）とポストコンプレッシング鋼材による引張力（ $T$ ）の比  $\alpha = C/T$ 、およびポストコンプレッシング鋼材の偏心（ $e_u$ ）とポスト（プレ）テンショニング鋼材の偏心（ $e_t$ ）の比  $\kappa = e_u/e_t$  をできるだけ大きくとること、また箱形断面のように  $\kappa$  を大きくとれる断面形状の桁を選ぶことが設計上効果的であることが示された。

ポストコンプレッシング鋼材としては圧縮応力下で高い降伏点を有していることが重要である。伸線後高周波誘導加熱により焼き戻し処理を行い製造されるPC鋼棒と、ストレッチング、ブルーイング処理により製造されるPC鋼棒とでは、前者の方が圧縮降伏点が高いため、ポストコンプレッシング鋼材として選定された。また、リラクセーション率も前者の方が小さいことが確認されている。

ポストコンプレッシング鋼材用のシースは、鋼材の座屈抵抗性の高い異形フレキシブルシースが用いられる。

バイプレ工法の実橋への適用例としては、川端橋側道

橋（支間 57.58 m）、薪寄橋（支間 29.20 m）、新町橋（支間 20.656 m）などがあり、実績は 30 橋を超えている。

最後に結論として、一般的なPC単純桁道路橋では桁高支間比は 1/20 程度であるが、バイプレ工法によれば 1/30～1/35 に低減できることが示された。

### （3）プレストレストコンクリート構造物の設計基準

#### R. Lacroix（フランス）

Lacroix 教授は、コンクリート構造物の設計法と規準の変遷について紹介し、将来の発展の方向について講演を行った。

構造物の設計基準は、この半世紀の間に構造設計技術の進歩と多様化にともない急速に発展してきた。しかし、基準の取り扱う範囲は拡大し続け一層大がかりになってきており、設計者はこの現状を評価する必要性を認識する必要がある。

許容応力度法における安全率の概念では、曲げと軸力が作用する鉄筋コンクリート構造に対して必ずしも十分であるとは限らないため、確率論を導入した限界状態設計法が推奨されている。しかし、これを実際に適用することはそれほど容易ではない。Lacroix 教授は、一例としてある博覧会の開催期間中に供用されるパビリオンの破壊確率が一般の建物の百ないし千倍であることが容認できるか、地方道路の小橋梁が交通量の多い橋梁と同じ破壊確率を適用することが正しいかという問題をあげた。また、多数のストランドで構成される緊張材の強度に対して確率論を導入することは合理的な設計強度を設定できる反面、緊張材の長さにより所定の値より小さい強度のストランド断面の存在確率が変わるという複雑な問題もある。

構造物の安全性は、終局限界状態、使用限界状態および疲労限界状態で照査されるが、極端な変形が生じている場合には終局限界状態と使用限界状態の境界があまり明確とはいえず、また疲労限界状態は通常の荷重強度でも繰返しによって破壊に至る状態であり、前の二つとはその性質を異にしている。このように、異なる性質の荷重がさまざまな形式の構造に作用する場合に、同質の安全を保障する一貫した基準をつくることには困難がある。しかし、条文が簡明で適用が簡便な共通言語の統一基準を持つことは大いに意義があり、ユーロコード（Eurocodes：コンクリート構造物の設計、鋼構造物の設計、複合構造物の設計、耐震設計など9つの基準から構成されている）の発展に注目すべきである。

また、40年代のはじめにパーシャルプレストレスによる構造物が建設されているが、その概念はごく最近発達した。教授は、これまで鋼材の腐食によるひびわれの影響は過大視されてきたが、現在の基準はひびわれ幅の算出精度に対して十分な考慮が払われていない、同様に

## ◇報告◇

PCフラットスラブも、基準が良く整備された国々でも発展していないと述べた。

外ケーブル構造は第二次大戦直後にヨーロッパで開発されたが、防錆技術の不備のためにしばらくの間採用されていなかった。70年代になりPC橋の補修工事に用いられるようになった。この構造は、緊張材が断面内に配置されていないので、鉄筋コンクリートに適用される基準を適用できる可能性がある。現在のプレストレストコンクリートに対する基準は外ケーブル構造を対象としておらず、ほとんどの国でこの技術は、基準から逸脱してのみ採用されているのかも知れない。

Lacroix 教授は結論として、設計基準は現在ある技術だけを取り扱うことができるのであり、このことはすべての革新が基準の逸脱を必要条件としており、基準が明確であればあるほど一層の逸脱を必要とすることを意味していると述べた。

### (4) 工場屋根のプレキャストPC構造について

#### R. Sundaram (インド)

工場の建屋の中でも屋根は最も重要な部分の一つであり、Sundaram 博士は工場屋根のプレキャストPC構造のありかたについて実例を示しながら講演を行った。

従来の設計はコスト面のみを重視してきたが、今後は特に快適性や環境面を重視した設計が必要である。多くの発展途上国では、屋根部材にアスベストセメントや鉄およびコンクリートトラスが使われているが、アスベストは健康上の理由から現在使用が禁止されている。さまざまな面からみて、工場の屋根にはプレキャストPC構造が適している。

工場の梁の長さは工場の目的によってさまざまであるが、多目的型の工場では14m~20m、繊維工場などでは45m~50mは必要となる。博士はこのうち、多目的型工場のプレキャストPC部材を用いた屋根について以下のような7つの構造を提示した。

- ① プレキャストの固定板とPC梁を用いたもの
- ② プレキャストの連続シェルを斜めに用いたもの
- ③ プレキャストの連続シェルを水平に用いたもの
- ④ プレキャストのY形の梁を用いたもの
- ⑤ プレキャストの片勾配シェルを用いたもの
- ⑥ 鋼材でつくったハイパーシェルと薄いプレキャストスラブの組合せ
- ⑦ プレキャストの大型シェルを架設したもの

このほかに実例として作業環境に優れた3つのユニークな工場屋根の紹介があった。

### 4. シンポジウムに参加して

今回のシンポジウムでは、直前になってプログラムが一部変更になり、講演者をあわてさせるという一幕が



写真-3 質疑応答の状況

あった。また、当然ありうることではあるが、講演中にスライドプロジェクターが故障するというトラブルもあったが、2日間のプログラムは順調に消化された。

プログラムでは、PC斜張橋と吊り床版橋に関するセッションが設定されていたが、講演者はすべて日本人であった。このテーマについては、アジアでは日本が一番すすんでいると思われる。質疑応答の時間になると座長は、「どの講演も興味あるテーマであり、じっくり討論しましょう」と聴講者に呼びかけた。案の定、なかなか答えにくい内容の質問も飛び出し、今思い出しても冷汗のでる状況もあった。

また新素材、特にFRPに関しては、参加各国ではまだあまり研究されていないせいか、参加者の関心を集めていたようである。

日本人のプレゼンテーションについては、上手な人も何人かおられたが、筆者らはもっぱら原稿をしっかりと読んで説明をするという方法であった。プレゼンテーションももちろん大切であるが、基本は情報の新しさと掘り下げ方であり、これが評価されることになるのではないかとと思われる。国際的に発表し得るテーマを地道に作っていくのが先決であり、語学が不得意でも慣れることでプレゼンテーションに対する不安は解消するのではないだろうか。英語が不得意だからと積極的になれない技術者も、これからはどしどし国際シンポジウムに参加して頂きたいものである。

### おわりに

オーチャードロードのクリスマス用のイルミネーションはまさに圧巻であった。空の玄関チャンギ国際空港も第二ターミナルがオープンし一段と便利になった。市内の中心部では地下高速道路の建設が佳境に入っている。ラッフルズホテルも建て替えられてさらに豪華になるそうである。シンガポールがこういうイメージの国に発展してきたのは、リー・クアンユー首相の手腕に負うとこ

ろが大きいと言われている。我々がシンガポールに滞在していた11月28日にこのリー首相が退任し、ゴーチョクトン第1副首相兼国防相が新しい首相になった。

リー首相は、1959年の英連邦自治州時代から31年にわたってシンガポールを統治し、最も汚いと言われた街を最も美しい庭園都市にまで育てあげた。建設産業に身を置く筆者らにとって非常に興味ある展開であり、新聞の社説のタイトル「サンキュー・ミスター・リー」が印象的であった。

今回の国際シンポジウムには、シンガポールの街その

ものが快適な空間であることや、シンガポリアンがそもそもサービス精神旺盛であるせいなのか、気持ちよく参加することができた。1993年には、我が国でFIPシンポジウムが開催されることもあり、いろいろな面で参考になることが多かった。

最後に、このスタディーツアーの期間中公私にわたりご指導いただいた関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

【1991年1月8日受付】

◀刊行物案内▶

## 第29回研究発表会講演概要

体 裁 : B5判 116頁

頒布価格 : 3000円 (送料 : 350円)

内 容 : (1) プレストレストコンクリート部材の累加最大曲げ耐力について、(2) プレストレストコンクリート梁と鉄骨柱との接合法に関する基礎実験、(3) プレストレスト鉄骨鉄筋コンクリート梁部材の曲げ強度について、(4) アウトケーブルを用いたはりの支持点の力学的性状試験、(5) 高強度鉄筋を用いてプレストレスを導入した格子状変厚プレキャスト板に関する実験的研究、(6) プレストレスト鉄筋コンクリート合成断面部材の応力計算、(7) 新綾部大橋実橋載荷試験について、(8) 大反力ゴム支承を用いたPC多径間連続橋の振動試験、(9) PC鋼材突起定着部の設計手法に関する一考察(その1)、(10) PC鋼材突起定着部の設計手法に関する一考察(その2)、(11) 生口橋PC桁部の設計、(12) 3%食塩水におけるPC鋼より線の応力腐食割れ試験、(13) PC板埋設型枠を用いた合成床スラブの多数回繰返し載荷実験、(14) プレキャストPC版を用いた床版打替工法用スラブ止めの実験、(15) PC合成床版の耐火性について、(16) ポストテンション方式によるPC舗装版の摩擦低減試験およびジャッキアップ試験、(17) 沈下したプレキャストコンクリート舗装版のリフトアップ工法の開発、(18) ロックアンカーを用いた片持ち式ロックシェッドの載荷試験について、(19) 合成アーチ巻立て工法による城址橋の施工、(20) 三井野原ループ6号橋の施工、(21) 現場製作ケーブルを用いたPC斜張橋(上妻橋)の施工、(22) 横浜博覧会「海のパビリオン」H.M.S.の設計と施工、(23) 横浜新道(拡幅)藤塚工事に伴うPCフレームアンカー工事、(24) プレキャストブロックによるPC耐圧板工事、(25) 国道115号横向1号橋の設計と施工について、(26) 吊床版橋の設計施工と振動実験—鳥山城カントリークラブ歩道橋—、(27) 新十勝大橋(仮称)の設計と施工、(28) プレキャストPCタンクの設計・施工、(29) 牛滝川橋の設計と施工、(30) 製紙用PCタンクの設計について