

第12回 New Zealand PCI 年次大会および 1976年 FIP Sydney Symposia に出席して (II)

六 車 熙*

7. Sydney Symposia の概要

中小スパンPC橋梁および建築物におけるPCに関するFIP Symposiaは、1976年8月30日～9月3日の5日間にわたり、41か国から約500名の参加者を集めてSydney Hilton Hotelで開かれた。わが国からの参加者はわずか十数名であり、不況の深刻さをまざまみせつけられた。

シンポジウムの前半は中小スパンPC橋梁、後半は建築物におけるPCに分けられ、以下の各Sessionに分けて研究発表等が行われた。

Session 1: Opening Session

○Symposium on Short to Medium Span Bridges

Session 2: Design (発表論文7編)

Session 3: Materials and Construction (発表論文6編)

Session 4: Particular Structures (発表9か国)

○Site Inspection Tours

Tour A: Sydney City-Buildings and Bridges

Tour B: Site Visit to Canberra City

○Symposium on Prestressed Concrete in Buildings

Session 5: Design Concepts (発表論文6編)

Session 6: Design Details (発表論文7編)

Session 7: Construction (発表論文6編)

Session 8: Particular Structures (発表10か国)

Session 9: Closing Ceremony

Opening Sessionにおいては恒例のFIP Medal授与式が行われ、W.P. Brown (オーストラリア) およびA. H. Gustaferrero (アメリカ) の2氏にこれが授与された。Brown氏はオーストラリアにおけるPCの実際面での開拓者の1人であり、また、Gustaferrero氏はPortland Cement Associationの耐火性研究部門の責任者として精力的な研究を行い、PCの耐火設計マニュアルの作成者として有名である。

8. Symposium on Short to Medium Span Bridges 発表論文の概要

Opening Session に続いて中小スパンPC橋梁に関する

* 京都大学教授、工博

るシンポジウムが開かれ多数の研究発表がなされた。以下にその内容を概説する。

(a) Session 2: Design (発表論文7編)

○H. Wittfoht (西ドイツ), Design of Short and Medium Span Prestressed Concrete Bridges

Session 2のGeneral reportであり、中小スパンPC橋梁の設計、施工、標準化など最近のすう勢を実例をあげて述べ、さらに、将来の発展について論じている。

○J. Laurie & N.D. Tickner (オーストラリア), The Australian Scene, Including Railway Bridges

オーストラリアにおける道路橋、鉄道橋の設計および施工について概説したものである。設計荷重は道路橋についてはアメリカのA.A.S.H.O. 荷重規定とほぼ同じであり、最近の自動車荷重の増大を考慮して1976年に改訂され、旧規定値の28%増となっている。鉄道橋についてもアメリカAREA指針によっており、設計荷重としては一般にはE40～E50、鉱山鉄道ではE70を用いている。設計はFIP-CEB国際指針に準拠した限界状態設計を採用している。中小スパン橋梁としては、プレキャスト桁橋またはプレキャストスラブ橋が多く、15～20m程度のスパンではボイドスラブ形式、それ以上はBox Girderが用いられている。ポストテンションによるブロック工法も盛であり、定着システムとしてはVSL-System (12.5mm 7本より高強度ストランド使用)、BBR-Multi-wire System (7mm PC鋼線使用、1本のケーブルに使用する本数は109本まで)、PSC-System (12.5, 15 および 18mm より線使用) などが多い。

○D.J. Lee & E.C. Chaplin (イギリス), Design and Analysis of Skew Bridge Structures

PC Skew bridgeの応力解析および設計方法を概説したもので、PC鋼材の配置、支点の形式と配置位置によって曲げモーメント、せん断力、支点反力、ねじりモーメントなどの分布形と大きさが変化するが、最適鉄筋配置を目的とする設計はいかにすべきかを論じ、限界状態設計の適用についてもふれている。

○G.F. Janssonius (オランダ), Rapid Passenger Transport

超高速鉄道の建設は今や世界的関心を呼んでいるが、超高速になるにしたがって構造物の疲労特性が極めて重

要となる。また、枕木は不向きであり、これに代るべきレール支持構造の開発が急がれるなど、超高速に関連する構造物の諸問題を述べたものである。

○T. Brondum-Nielsen (デンマーク), Partial Prestressing.

ここにいう Partially prestressed member とは長期設計応力のもとでコンクリートのひびわれを許す部材で、FIP-CEB 国際設計指針のⅢ種部材のことである。もちろん、普通鉄筋を併用する PRC 部材である。本論文はこのような部材の長期応力に対する設計方法について述べたものである。筆者は、まず、図-5(a) に示すように中立軸位置が PC 鋼材配置位置 (多段配置の場合はプレストレス力作用位置) となる場合の曲げモーメント M_{pn} と設計モーメント M (ただし、 $M \geq M_{pn}$) との比

$$\chi = M_{pn}/M \quad (5)$$

を相対プレストレス (Relative prestress) と定義し、普通鉄筋とコンクリートの複合体である RC 断面に対するプレストレスの寄与率を χ で間接的に表わすことを提案している。 M_{pn} の値は 図-5(a) のように設定した中立軸より上のコンクリート圧縮側応力分布を三角形分布とし、その合力がそのときの PC 鋼材引張力 P_n (Neutralized Prestressing force という) と一致するものとしてその作用位置 R を求め、そこまでの距離 Z_p を P_n に乗じて求める。図-1 の長方形断面に対しては次のようになる。

$$M_{pn} = P_n Z_p = 2 P_n d / 3 \quad (6)$$

d : PC 鋼材有効高さ

次に設計モーメント M が作用すると、断面応力分布は 図-5(b) のようになり、断面の軸方向力の釣合から次式を得る。

$$\beta^2(3-\beta)\chi + 4(1-\beta)\sum\alpha\rho - 2\beta^2 = 0 \quad (7)$$

$$\sum\alpha\rho = \alpha_{ep}\rho_p + \alpha_{es}\rho_s \quad (8)$$

β : 有効高さ d に対する中立軸までの距離の比

α_{ep} : PC 鋼材とコンクリートのヤング係数比

α_{es} : 普通鉄筋とコンクリートのヤング係数比

また、コンクリートの圧縮縁応力 σ_c , PC 鋼材引張応力 σ_p および普通鉄筋引張応力 σ_s はそれぞれ次のようになる。

$$\sigma_c = 6 M / \beta(3-\beta)bd^2 \quad (9)$$

$$\sigma_p = \sigma_{pn} + 6 M(1-\beta)\alpha_{ep}/\beta^2(3-\beta)bd^2 \quad (10)$$

$$\sigma_s = 6 M(1-\beta)\alpha_{es}/\beta^2(3-\beta)bd^2 \quad (11)$$

b : 断面幅, σ_{pn} : Neutralized prestressing stress

断面の設計には $\sigma_c, \sigma_p, \sigma_s$ がそれぞれの許容応力度をこえないことが条件となり、とくに、コンクリートのひ

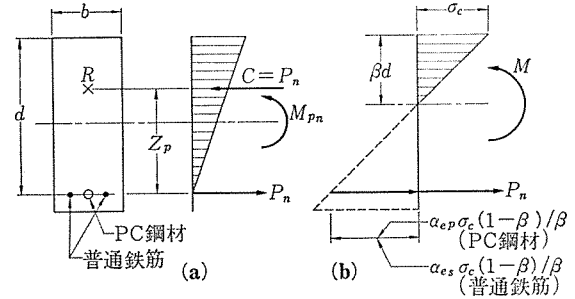


図-5 パーシャルプレストレス断面の応力分布

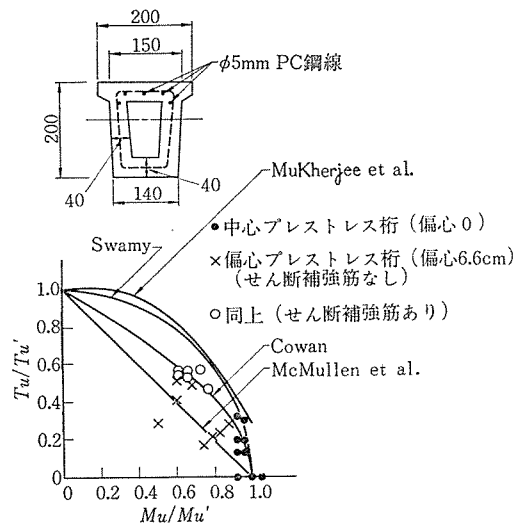


図-6 PC 桁の曲げねじりせん断実験結果の一例 (Dayaratnam らの実験)

びわれ幅の制限からあたえられる σ_s, σ_p に対する許容応力度を用いることによって、ひびわれ制御条件のもとでの設計ができる。本論文にはひびわれ幅を考慮した許容応力度はあたえられていないが、CEB-FIP 国際指針に準拠するのも一方法であると述べている。なお、本論文には設計図表も示されており、利用者の便をはかっている。

○P. Dayaratnam & J.Y.T. Populi (インド), Behaviour of Prestressed Concrete Box Girders made of Precast Segments and Subjected to Combined Bending, Torsion and Shear.

図-6 に示す Box 形セグメントを 5- ϕ 5mm アンボンド PC 鋼線によりプレストレス導入した、全長 3m のプレキャストセグメント PC Box 桁 36 本の曲げねじりせん断実験を行い、従来の曲げねじり耐力推定式との比較、接合部の耐力およびひびわれ状況におよぼす影響などを考察したものである。使用供試桁は中心プレストレスおよび偏心プレストレスの 2 シリーズに分け、さらにせん断補強筋の有無の影響についても調べている。載

荷方法は桁の一端を固定し、他端に偏心荷重をかけることによって曲げ、ねじりおよびせん断を同時に作用させている。破壊耐力は図-6に示すとおりであり、Cowan および McMullen 他の曲げねじり耐力 Interaction Curve によくのっている。セグメント接合部の有無、セグメントの長さ（接合部の数）は破壊耐力にほとんど影響しないが、ひびわれ耐力については、本実験ではアスペクト比（セグメントの長さを全高さで割った値）3.75 以下になると影響を受け、ひびわれ耐力の低下をきたすことが明らかになった。

(b) Session 3: Materials and Construction (発表論文 6 編)

○G.P. Cook (オーストラリア): Stage Prestressing and Prestressing as a Construction Aid.

PC 構造物の現場架設施工法に Stage Prestressing がある。この方法はヨーロッパにおいて発達したものであるが、オーストラリアでの利用は 15 年前に Silverwater Bridge (シドニー市パラマタ川) の架設が最初であり、現在では建築物にも応用の範囲が広がっている。有名な Sydney Opera House はこの手法を利用して建設されたものである。筆者は種々の例をあげて Stage Prestressing の利用方法と問題点を述べるとともに、構造物施工の際の建方、現場試験、構造部材の耐力増強などの目的でプレストレスングの技術の広範な応用が望まれることを強調している。筆者の例示した応用例のうち、とくに興味を持たれたのは Tie-down 工法とよばれる基礎ぐいの地盤への定着工法である。これは、いわゆる土留壁に利用する Tie-back 工法を基礎ぐいに応用したもので、図-7 に示すように大口径の鋼管ケーシングを支持地盤に達するまで沈め、鋼管内を清掃して支持地盤表面を露出させた後、支持地盤内に Rock anchor 用 PC 鋼材を挿入施工し、鋼管底部にコンクリートを打設、PC 鋼材を緊張定着して地盤との緊結を終る。上部には普通鉄筋を配置してコンクリートを打設し、鋼管コンクリートくいとす。このような地盤との緊結方法は、地下水圧の著しい基礎底板の緊結などにも利用できる。また、このような Rock anchor をくい体内部を貫通して上部まで伸ばし、これを反力受けとしてくいの載荷試験も可能である。

○M. Höptner (東ドイツ), Thrust Method for Constructing Railway Bridges

東独 Erfurt 中央駅の輸送力増大を目的とする同駅アプローチ部の鉄道橋の増設工事に、現場近傍で製作されたプレキャスト橋桁部材をスパン方向と直角方向に移動架設する方法がとられた。この鉄道橋はこれと直角に交

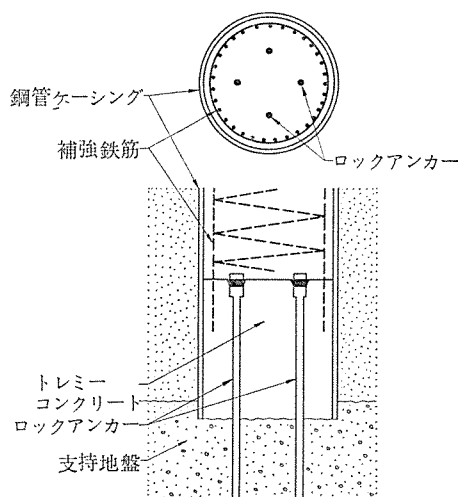


図-7 Tie-down 工法

又する道路の上に乗架されるもので、スパンは 16m×2 スパン、完成時の幅が 66.7m、橋桁、支持アバットおよび中央ピヤ等は現場近傍で製作され、組立てたものを基礎コンクリートをレールとしてスパンと直角方向に移動架設されている。

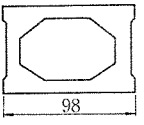
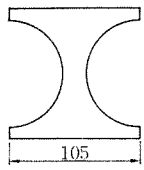
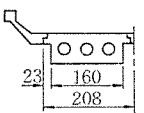
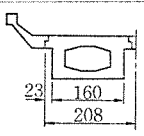
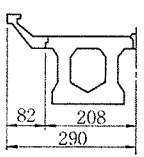
○F. Kulka & P.Y. Chow (アメリカ), Prestressed Concrete Bridge Concepts in Developing Countries.

発展途上国における PC 橋梁の設計、施工については、多くの場合、その国における Local condition をわきまえない設計がなされ、現場施工に困難をきたす場合が多い。この報告ではいくつかの実例をあげてその実態を示し、開発途上国における労働力および労働条件、入手可能な材料の選択、可能と思われる工法の採択など、多くの考慮すべき要素をあげ、これらを十分考慮した上で設計を行うことがいかに大切であるかを述べている。

○Y. Ishiguro & Y. Miyasaka (日本), Prestressed Concrete Through-Girder Bridges and High Strength Concrete Bridges for Railways.

騒音問題から PC 鉄道橋が今後のわが国新幹線建設工事には主として用いられる予定であるが、この中でも橋下クリアランスが極度に制限される場合には、U 形断面を持つ Through-girder bridge が極めて有効である。現在まで国鉄では約 30 橋が建設されているが、本報告においてはこれらの橋梁の設計および施工上の諸問題を述べて今後の参考に供している。さらに、経済性の面からは圧縮強度が 600~800 kg/cm² の高強度コンクリートの利用が、橋梁自重の軽減に極めて有効であることも強調し、圧縮強度 800 kg/cm² のコンクリートの製造方法、性質、現場施工方法を、実例をあげて説明している。参加者の関心が極めて高い発表であった。

表—4 チェコスロバキアの道路橋および鉄道橋用
プレキャストPC標準桁

断面および種別	記号	スパン (m)	高さ (cm)	重量 (t)	備考
	KA 9	9	45	7.67	全長を一体で製造
	KA 12	12	60	10.95	
	KA 15	15	70	14.20	
	KA 18	18	85	18.28	
	KA 21	21	105	24.05	
	I 24	24	100	34.90	4~5等分のブロックに分けて製造
	I 27	27	110	41.00	
	I 30	30	120	47.60	
	KDP 9	9	70	20.5	全長を一体で製造
	KDP10.5	10.5	70	24.0	
	KDP 12	12	80	26.0	セグメントに分割製造
	KDP 15	15	100	37.2	
	KT 18	18	115	54.9	
	KT 21	21	135	70.8	
	KT 24	24	155	90.5	

○T. Javor (チェコスロバキア), Standardization of Bridges in Czechoslovakia.

チェコスロバキアにおけるPC橋梁の多くは、標準化されたポストテンション部材を用いて建設されている。道路橋としては表—4に示す長さ9~21mのBox桁、長さ24~30mのI形桁の2種類がある。前者は一体で製作され、プレキャスト工場から200km以内の範囲に運搬供給される。後者は4~5等分のブロックに分けて製造し、現場でプレストレスを導入して一体とする。鉄道橋においては長さ9~10.5mのコアスラブ、長さ12~24mのBox桁が標準化されている。以上の他にスパン30~60mの橋梁としてはBox桁が標準化されており、プレキャストブロックセグメントの現場ポストテンション組立工法が多く用いられている。なお、これら標準品のコンクリート圧縮強度は500kg/cm²以上、ポストテンションPC鋼材としては12-φ4.5mm~21-φ7.5mmケーブルが主として道路橋に、24-φ7mmケーブルが主として鉄道橋に用いられている。定着装置はフレシネー法を改良したくさび定着のようであるが詳細は不明である。この他にφ15.5mm 7本より線の使用も現在検討中である。

○C.J.M. Mirdal (デンマーク), Steam Injected Concrete in Modern Prefabrication Factories.

Hot concreteの利用はプレファブ工場の生産能率を高めるのに極めて有効であり、通常は製造サイクルとして約4時間といわれている。しかし、その利用については限界のあることを十分知る必要があり、比較的小型部材でDry concreteを用いるのは有効ではないこと、人工軽量骨材コンクリートでは熱吸収は少ないが骨材の吸水が多いことを考慮しなければならないことなど、利用上の問題点を概説している。

○その他

以上の発表に引続いて討論が行われた。予め予定された討論としては

S. Suzuki (日本), The Construction of Short to Medium Span Highway Bridges Consisting of Prefabricated Members

H.G. Wolfram & J.T. Phillips (オーストラリア), Prestressed Concrete in a Developing Country
があり、前者はわが国における道路橋のプレファブ部材による建設例を、後者はサラワクにおけるPC橋桁の標準化を例にとって発展途上国におけるPC技術のあり方を論じたものである。

(c) Session 4: Particular structures (Bridges)(発表表9か国)

最近のPC橋梁の建設例が各国、各地区別に報告された。発表国は下記のとおりである(カッコ内は発表者)。North America (G. Adam), South America (J.A. del Nero), Europe (L.U. Zakharov & J. Muller), Japan (S. Suzuki), South-East Asia (M. Barcham & S. Pong), New Zealand (J.B.S. Huizing), Australia (J.D.F. Snelling)

わが国からは鈴木慎治氏(日本道路公団)が代表して数多くのPC橋梁の建設例を発表した。

9. Symposium on Prestressed Concrete in Buildings 発表論文の概要

会期の後半2日間は建築物におけるPCに関するシンポジウムにあてられ、4つのSessionに分けて研究発表および報告が行われた。

(a) Session 5: Design Concepts (発表論文6編)

○F. Levi (イタリア), The Use of Prestressing in the Design of High Rise Buildings.

PC技術の高層建築物への利用は、世界各国において盛になりつつあるが、その特徴が巨大な基礎構造への利用、耐震または耐風連続壁への利用、吊構造など、工法や構造形式の著しい進歩を可能にしている。筆者

は具体例をあげてP C技術の高層建築の設計施工への寄与を論じ、あわせて将来への展望を述べている。

○W.F.G. Crozier (イギリス), Design Problems in Low-Rise Buildings.

建築物においてとくに問題とすべき寒冷地または酷暑地における断熱問題, 交通機関等の発する騒音問題, 耐火性 (または防火性) 問題などにつき, いくつかの例や諸規定をあげて概説し, とくに低層建築物にP Cを利用する場合のこれら諸問題との関連を論じたもので, 従来みられなかったユニークな研究発表として参加者の注目を集めた。なお, 発表者の Crozier 氏は FIP Technical Secretary である。

○M.G.K.C. Soni (インド), Building in Developing Countries.

発展途上国における建設事業は, その設計から施工に至るまで先進国からの技術援助に負うところが多い。この場合, 発展途上国における技術レベル, 入手可能な材料, 労務条件などを十分に考慮した技術援助がなされなければならない。本報告ではインドにおける住宅建設を例にとり, P C技術の同国における発展過程を述べ, たとえば, 都市周辺部においてはプレキャスト製品の利用が好ましいが, 都市部以外ではそれぞれの地方に適した工法による現場打ち工法を考える必要があるなど, 発展途上国に対する技術援助のあり方について論じている。最新の技術, 考え方をあてはめようとする先進国の傾向に対し, 再考をうながすものとして評価される。

○J. Bobrowski & B.K. Bardhan-Roy (イギリス), The Application of Prestressing in Building.

英国ではP C技術の発展の歴史は 40 年におよぶが, 使用状態においてコンクリートに引張応力の発生を許さないとする従来の基本的考え方は, 今日では必ずしも重要でないと考えられるようになってきた。すなわち, プレストレスを導入する目的は単に設計曲げモーメントの一部を打ち消すことにあるとする考え方にかわりつつあり, たとえば, 使用状態でもひびわれの発生を許すパーシャルプレストレスの設計や, 終局限界状態に根拠をおく終局耐力設計など, 最近新しい設計理念が打ち出されつつある。また, 温度応力, 収縮応力, 変形などを打ち消すことを目的とするプレストレスの導入, プレファブ建築における構造物全体または構成要素の一体化を図るためのプレストレスの利用など, 従来とは異なる使用目的を持つP C技術の応用も考えられるようになった。本報告は実施例をあげてこれらP C技術の広範な利用法を説いたもので, 今後のP C技術の発展の道を示唆している点で興味深い。一例として地下土留壁へのP Cの利用を図-8に示す。この例は西ドイツ大使館増築工事に

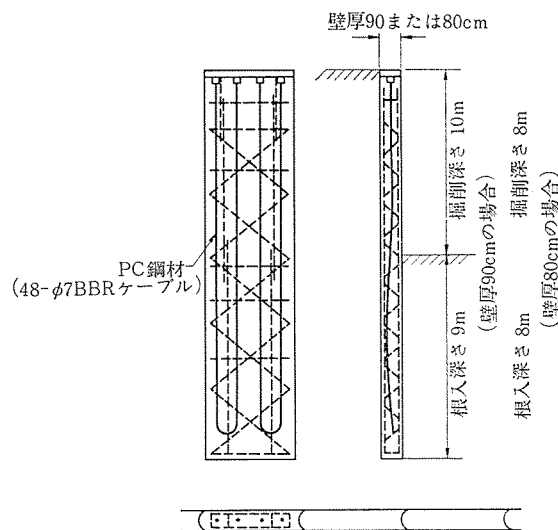


図-8 現場打ちP C土留壁 (イコス工法)

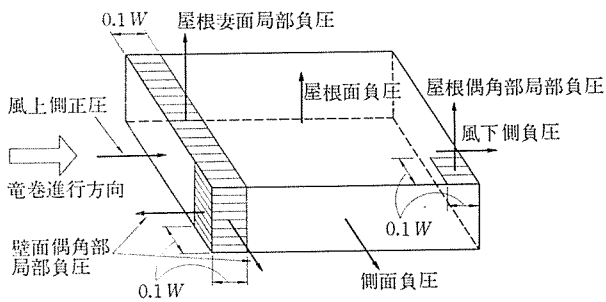
用いられたもので, イコス工法によって自立式土留壁が現場打されたものである。壁厚は 800 mm, 全高さ 16 m, 掘削深さ 8 m のものと, 壁厚 900 mm, 全高さ 19 m, 掘削深さ 10 m のものが併用されており, ベントナイト液を用いて掘削後に 48-φ 7 mm ケーブルをU字形にした BBR PC ケーブルを組立鉄筋中に配置して挿入し, トレミーコンクリート打設を行ったものである。コンクリート設計圧縮強度は 400 kg/cm² であり, 所要強度に到達後にプレストレス導入およびグラウトを行っている。

○S. Inomata (日本), FIP Recommendations for Design of Aseismic Prestressed Concrete Structures.

New Zealand PCI 年次大会における発表と同じ内容であるので省略する。詳細は前報 (I) を参照されたい。

○K.C. Mehta, T.S. Cheema & J.E. Minor (アメリカ), Tornado Resistant Design of Industrial Prestressed Concrete Buildings.

アメリカではプレキャストP Cによる平屋建商店または工場建築が極めて経済的に建設されているが, このような組建構造物にとって竜巻は衝撃的荷重をもたらすものとしてこれに対する設計法の確立が望まれている。本論文は建築物の竜巻に対する設計荷重を決めるにあたって考慮すべき諸因子について述べ, あわせて米国規格協会 (American National Standard Institute, 略号 ANSI) 規準 A 58.1 (1972 年) に示されている竜巻に対する設計荷重規準を紹介したものである。図-9 は一層建築物に対する設計用風圧力の種類と作用方向を示したもので, 竜巻進行方向に対して風上側壁面に作用する正圧, 屋根面, 風下側および側面壁面に作用する負圧などの平均風圧力のほか, 風上側における屋根面および壁面隅角



図—9 竜巻による設計風圧力の作用方向
(W は建物の最小幅)

表—5 圧力係数 C_p および C_{pi} の値

平均風圧力計算用			局部風圧力計算用		
作用面	C_p	C_{pi}	作用箇所	C_p	C_{pi}
風上側壁面	+0.8	+0.3	屋根裏面	-2.4	-0.3
風下側壁面	-0.5	-0.3	屋根隅角部	-5.0	-0.3
側壁面	-0.7	-0.3	壁面隅角部	-2.0	-0.3
屋根面	-0.7	-0.3			

部や風下側屋根面隅角部に作用する局部風圧力に対して設計することになっている。設計用風圧力 p は次式によって算定する。

$$p = q(C_p - C_{pi}) \quad (\text{単位 psf}) \quad (12)$$

$$q = 0.00256V^2 \quad (\text{単位 psf}) \quad (13)$$

q : 有効速度圧 (psf), C_p : 外部圧力係数

C_{pi} : 内部圧力係数, V : 設計用風速 (mph)

圧力係数 C_p および C_{pi} の値は表—5 に示してある。また、設計用風速 V については竜巻の強さに応じて次の3段階に分けている。

通常の竜巻…………… $V = 120$ mph

中程度の強さの竜巻…………… $V = 160$ mph

著しく大規模の竜巻…………… $V > 160$ mph

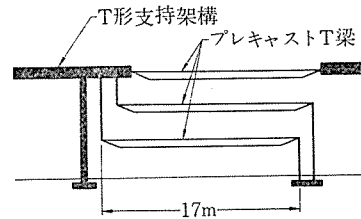
で実状による。

プレキャストPCによる建築物では中程度の竜巻に対する風速 $V = 160$ mph を慣用しており、著しく大規模の竜巻に対しては、建設地の実状に応じて風速を決める。ちなみに、1972年における記録によると、最大級の竜巻として風速 318 mph が記録されている。

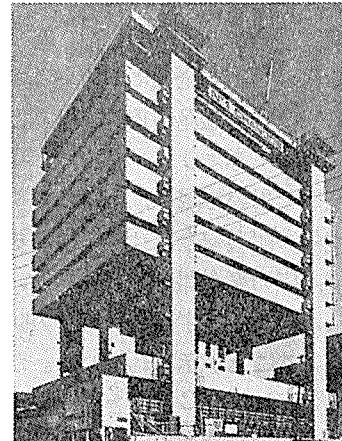
(b) Session 6: Design Details (発表論文7編)

○A.C. Whitting(オーストラリア), Prestressed Concrete Buildings—Industrial and Commercial Buildings—The Australian Scene.

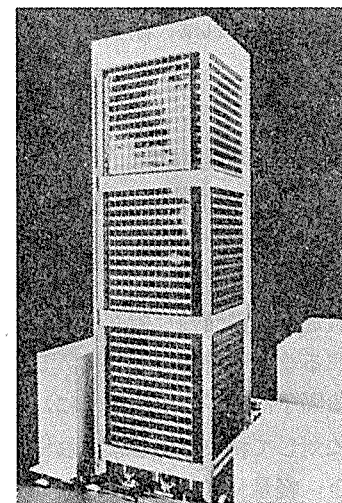
オーストラリアにおける最近の商工業ビル建築7例を紹介したものである。そのうちの2, 3をここに紹介しておく。図—10(a)は3階建のCameron Office Building(Canberra)の構造概要であって、図の左側にあるT



(a) Cameron Office Building の架構 (Canberra)



(b) 建設中の No. 1 Chandos Street Building (Sydney)



(c) Capital Tower Building の模型 (Melbourne)

図—10 オーストラリアにおける商工業ビル建築の例

形支持架構からスパン 17 m の床スラブT形梁を吊下げ支持する形式の構造ユニットを、いくつも連続して建物架構を構成するものである。同図 (b) は 24.75×34.4 m の一体打リ付PCスラブを6本の柱に添わせて吊上げるいわゆる Lift Slab 工法により建設された No. 1 Chandos Street Building (Sydney) で、12階建である。中央には耐風コアを持っている。同図 (c) は40階建のCapital Tower Building (Melbourne) で、高さ方向にほぼ3等分した位置に外壁架構支持用のPC大梁を通し、垂直荷重を集中支持する設計となっている。したがって、設計荷重の大部分は四隅の柱に伝達され、これに

報 告

よって集中的に支持される。荷重支持用PC大梁は高さ6m, 幅1m, 四隅の柱は4m×2mの大型断面である。

○T.Y. Lin (アメリカ), Unbonded vs. Bonded Tendons for Building Construction, with Particular Reference to Flat Slabs.

アメリカにおける Flat slab 構造のほとんどはアンボンドPC鋼材を用いたPCスラブである。この論文ではアンボンドPC Flat slab 構造の発達の過程を述べる中で、同構造の構造安全性、力学的特性、経済性などを論じている。とくに、耐震安全性についてはアンボンドPC鋼材定着部の安全性の確保が重要であり、現在アメリカで使用されている7本よりアンボンドPCストランドのくさび定着装置を用いる限り、グラウトを行ったものと比較して構造体の耐震安全性は同等であることを強調している。また、応力腐食問題については、数多い建築物の中で1例しかみあたらず、防せい材の防せい効果は極めてすぐれていることが示されている。なお、この発表に対し筆者(六車)はPC鋼棒を用いたアンボンドPC単純梁の低サイクル疲労試験結果から、PC鋼棒母材部に比べて定着部の低サイクル疲労耐力の劣化ができるだけ少ないものを用いれば、耐震安全性は十分確保できることを討論した。

○K. Kordina (イタリア), Fire Rating in Buildings.

本論文の発表は B.H. Spratt (イギリス) が代って行ったものである。一般に耐火度を決める指標は、柱および梁については設計荷重を支えきれなくなるまでの耐火時間で表わされる。スラブおよび壁については以上の他に焰やガスの貫通や加熱面の反対面における温度の異常上昇などが始まるまでの時間で表わす。このような耐火時間に影響する因子は数多いが、とくに、部材両端の支持条件が伸びに対して拘束されるような場合には耐火性が良くなること、軽量骨材コンクリートの方が普通骨材コンクリートより耐火性がすぐれていること、PC鋼材の加熱により品質劣化が早いものほど耐火性が劣ること、断面寸法が大きいほど耐火性が良くなることなどを、数多くの実験結果をあげて説明し、あわせて耐火設計の方法について論じている。ここでは紙数の関係で全部を紹介できないが、耐火設計を行うにあたって要求耐火時間に対する鉄筋コンクリート柱およびプレストレストコンクリート単純支持梁の断面最小寸法を表-6に参考までにあげておく。

○P. Matt (スイス) & W. Thorpe (イギリス), Alternative Design Procedures for Post-tensioned Flat Slabs in Buildings.

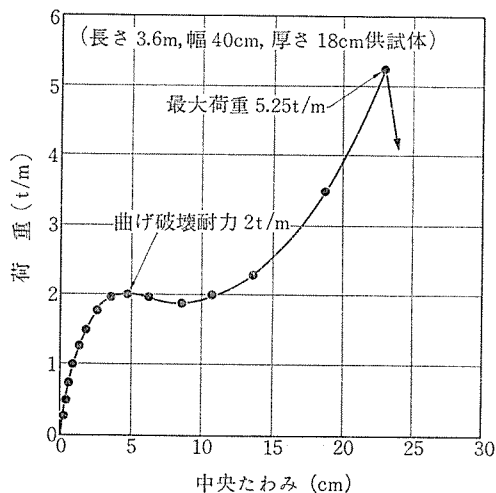
本論文はアンボンドPC鋼材を用いたPC Flat Slab

表-6 耐火時間と断面最小寸法およびかぶり厚さ標準値

(a) 鉄筋コンクリート柱							
コンクリートの種別	加熱面	断面最小寸法(上段)およびかぶり厚さ(下段)(mm)					
		耐火時間(分)					
		30	60	90	120	180	240
普通骨材コンクリート	四面	150 10	200 25	240 35	300 40	400 40	450 40
	一面	100 10	120 25	140 35	160 40	200 40	240 40
軽量コンクリート	四面	150 10	160 25	190 35	240 40	320 40	360 40
	一面	100 10	100 25	115 35	130 40	160 40	190 40

(b) 鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリート梁 (普通骨材使用)					
耐火時間(分)	断面最小寸法(上段)およびかぶり厚さ(下段)(mm)				最小ウェブ厚(mm)
	a_{sf} (側面かぶり)+10mmのとき	a (底面かぶり)のとき	$a_{sf}=a$ のとき		
30	80 25	120 15	160 10	200 10	80
60	120 40	160 35	200 30	300 25	100
90	150 55	200 45	280 40	400 35	100
120	200 65	240 55	300 50	500 45	120
180	240 80	300 70	400 65	600 60	140
240	280 90	350 80	500 75	700 70	160

構造に関する FIP 設計施工指針作成グループの活動について述べたもので、論文の前半では等価フレーム法、有限要素法、終局限界状態設計法などの Flat Slab 構造の弾性または終局応力計算法を概説し、それぞれの長所、短所を論じ、指針作成グループとしては K.W. Johansen の降伏線理論に準拠する終局限界状態応力計算法によるのが妥当であるとの見解を示している。後半においては寸法 3.6×3.6m, 厚さ 18cm のコンクリートスラブに 1/2" アンボンドストランドを2方向に配置して各方向それぞれ 14.8 kg/cm² の平均プレストレスを加えた供試体5体、および、上記供試体を幅 40cm で切りとった帯状供試体5体(ただし、導入平均プレストレスは 15.8 kg/cm²)の静的破壊実験の一部を報告している。実験は継続中で結論を出すには至っていないが、最も興味ある結果は、供試体端部の水平移動を拘束すると、図-11に示すように通常の曲げ破壊耐力計算値付近で一旦ピーク荷重が記録された後、再び荷重が上昇して最初のピーク荷重の2~2.5倍の荷重に達するとPC鋼材が破断し、崩壊に至ることである。設計上は最初のピーク荷重で示される曲げ破壊耐力を終局限界状態とするのが妥当

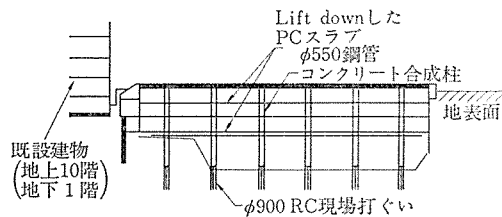


図一11 両端の伸縮を拘束したアンボンド単純支持スラブ供試体の荷重たわみ曲線実測結果の一例(Matt 他)

であるが、その後も十分な余力を持つ点は、構造安全率が極めて大きいことを物語るものとして説得力のある結果といえよう。ただし、供試体端部の水平移動の拘束が0の場合は、最初のピーク荷重以上にはほとんど荷重上昇が期待できないことを付記する。

○J.W. Parkin (オーストラリア), Shortening and Jointing in Post-tensioned Floor Systems.

建築物のスラブへのPCの利用が盛であるが、プレストレス導入による弾性変形のほかに収縮、クリープ、温度変化によりスラブの面内変型(軸方向縮み変形)がおこり、これらの値がどの程度になるかを推定することは常にスラブ設計上の問題点として設計者をなやませている。本報告は実物または模型スラブの縮み変形実測結果をあげ、どの程度の変形を考えるのが妥当かを論じたものである。たとえば、24.4m×17.7m、厚さ20.3cm、平均プレストレス27.6kg/cm²を導入した実物建物のPCスラブの縮み実測結果では、導入時弾性ひずみ 0.9×10^{-4} に対し、材令616日で全ひずみが 8.5×10^{-4} に達している。さらに、47m×19.2m、厚さ11.4cm(含トッピング)、18cm幅のリブを120cm間隔で配置した病院建築のPCスラブ(平均プレストレス24kg/cm²)の実測結果では、大気条件の同じ条件のもとにおかれた最初の200日間での収縮が $2 \sim 3 \times 10^{-4}$ であったのに対し、以後室内空気調整条件下におかれて材令717日で 7.6×10^{-4} を記録している。このような実測結果から、空気調整下におかれるスラブについては乾燥収縮が著しく大きくなるものと判断され、少なくともコンクリートの乾燥収縮ひずみとして 6×10^{-4} 程度を仮定する必要があると述べている。このようなスラブの著しい縮み変形による支持架構の拘束応力について設計に考慮する必要がある



図一12 Lift down 工法

り、また、組立構造の場合には支持架構との接合部をこのような著しい縮み変形に対して耐えられるよう工夫すべきであることを述べている。

○R. Walther (スイス), Lowering Slab Method for the Construction of Underground Garages.

Basel市の市立病院の地下5階建ガレージを、既設病院棟に隣接して建設する際、図一12に示すように地上でスラブをコンクリート打設し、周囲の土留壁およびスラブ支持柱を地中に施工後内部掘削を行い、支持柱に沿ってスラブを吊りおろして所定の位置で柱と剛接する、Lift down工法を紹介したものである。平面寸法は50m×150m、スラブ厚は30cm、ひびわれ防止の目的で平均プレストレス5kg/cm²を導入したPartially prestressed slabとして設計されている。支持柱は外径550mm、肉厚12mmの鋼管柱に圧縮強度800kg/cm²のコンクリートを打設した合成柱であり、柱間隔7.5mで配置されている。基礎は柱脚直下に予め施工された直径900mmのRC現場打ぐいである。

○E.G. Nawy & P. Chakrabarti (アメリカ), Serviceability Deflection Behaviour of Two-way Action Prestressed Concrete Plates.

2方向にプレストレスを導入したPC Flat Slab構造は、経済性の面でも機能の面でも極めてすぐれている。本論文は、平面寸法76.2×76.2cm、厚さ3.3cm、平均プレストレス約18kg/cm²を2方向に導入したPCスラブ模型を、周辺固定条件で中央に集中載荷して、主としてひびわれ発生までの挙動を詳細に実験した報告である。上記の載荷方法は連続スラブの一部を支持柱を中心に切り取ったモデルであり、プレストレス導入にともなうスラブのむくり、載荷にともなうたわみ等の計算式を示し、実験結果とよい一致を示している。

(c) Session 7: Construction (発表論文6編)

○G. Pash(オーストラリア), Post-Tensioned Building Structures. Economic Trends and the Influence of Construction Time.

ポストテンション工法によるスラブシステムに着目して、コストスタディを行ったものである。対象とした建築物は多層および多スパン建築物で、とくに施工期間が

表一7 ポストテンションPC架構建設単価

(1976年5月現在, 単位オーストラリアドル, 1ドル375円にあたる)

	型わく (m^2 あたり)	コンクリート (m^3 あたり)	鉄筋 (ton あたり)	PC鋼材* (ton あたり)	労務費 (1時間あたり)	
					工場	現場
オーストラリア	12	50	450	1800	5.00	7.00
アメリカ	8	36	500	2000	8.00	11.00
イギリス	16	31	240	1200	3.00	3.50
シンガポール	3	24	365	1300	1.30	1.30
マレーシア	3	24	365	1300	1.30	1.30
ホンコン	7	38	253	1200	0.60	1.00
インドネシア	3	47	400	1800	0.25	0.25
東南アジア(平均)	4	33	346	1400	0.86	0.96

* シース, 定着装置などの材料費, グラウト費を含む。

表一8 ソビエトのプレキャストスラブに用いられているプレテンション異形PC鋼棒の品質規定値

異形PC鋼棒種別		径 (mm)	降伏点応力度* (kg/mm^2)	破断強度 (kg/mm^2)	伸び (%)
A-IV	熱間圧延	10~32	> 60	> 90	> 8
A _T -IV	通電加熱硬化				
A-V	熱間圧延	10~25	> 80	> 100	> 7
A _T -V	通電加熱硬化				
A-VI	熱間圧延	10~25	> 100	> 120	> 6

* 0.2% 永久伸び応力

短縮できる点でPCスラブが経済的であることを強調している。参考までにポストテンションPC架構の建設単価を表一7に、柱間10m, 3×3スパンの典型的な高層建築物をRCとPCとで建設したときの建設費の比較例を図一13に示す。

○K.V. Mikhailov & G.I. Berdichevsky(ソビエト), Pretensioned Floor and Roof Slabs with High-strength Deformed Bars.

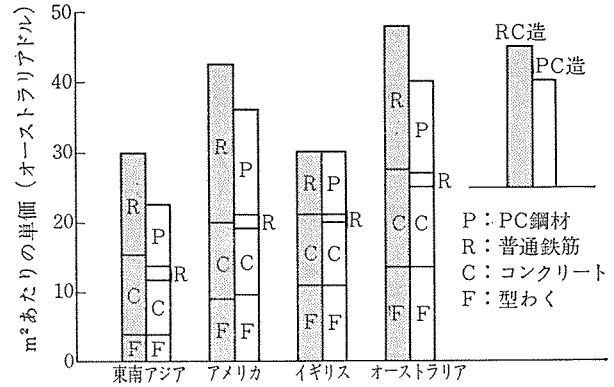
ソビエトにおけるプレキャストプレテンションPCスラブの種類, 使用先, その製法, 品質等を概説したものである。スラブの種類は次のようなものがある。

(1) リブ付屋根スラブ(幅1.5および3m, スパン6mおよび12m, 常時使用状態で0.1~0.2mmひびわれ幅が許容されている)

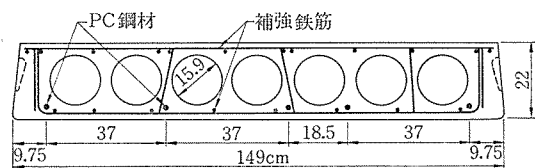
(2) 3×12m テーパー付スラブ(長手方向リブ高さが材端26cm, 中央45cm, この間直線的に変化しているリブ付スラブ)

(3) スパン18m および24m チャンネル形スラブ(幅3m, 中央高さ90~100cmのテーパー付スラブ, 屋根スラブに用いられる)

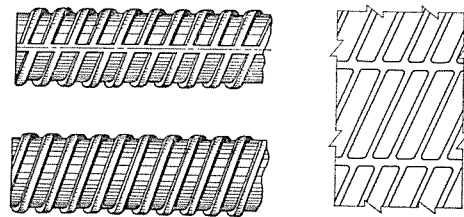
(4) 穴あきスラブ(スパン5.86~6.26m, 厚さ22cm, 幅1, 1.2 および1.6m, コア径15.9cmのもの, スパン12m, 厚さ30cm, 幅1m, コア径20.3cmのものが標準化されている。いずれもコア間



図一13 柱間10m, 3スパン×3スパン高層建築物でRCスラブまたはポストテンション現場打ちPCスラブを用いた場合の建設費比較例



図一14 ソビエトの穴あきスラブ断面の一例(スパン6.26m)



図一15 ソビエトで用いられているプレテンションPC鋼棒

のコンクリートウェブ部分の厚さは3.0~3.5cmで極めて薄く, 軽量化をはかっている。図一14にその断面概要図を示す)

(5) 断熱材付スラブ(リブ付スラブ等に断熱材を貼ったものが多く使用されているが, 特別のスラブとして厚さ40cm, フランジおよびウェブ厚さ5cmのボックス形スラブのボックス内に断熱材を封入したものがあ。スラブ幅は1.5m, スパン5.55および5.95mが標準である)

これらのスラブのコンクリートの品質は, 屋根スラブで圧縮強度200~300 kg/cm^2 , その他は設計荷重の大きさに応じて200~400 kg/cm^2 である。また, プレテンションPC鋼材としては表一8および図一15に示す異形PC鋼棒が用いられている。これらは熱間圧延鋼棒と通電加熱硬化鋼棒との2種類があり, とくに後者は型わくにPC鋼棒を配置する直前に通電加熱を行ってPC鋼棒を熱膨張させ, これを直ちに型わく中に配置して型わく

両端に定着し、冷却時の縮みを型わくが拘束することによって所定の引張力をPC鋼棒にあてる仕組みになっている。加熱温度は所要引張力の大きさに応じて200~500°Cの範囲に選定される。このような加熱温度のもとでは鋼棒品質の劣化はおこらないことが確かめられている。

○A.G.K. Parsons (オーストラリア), Influence of Construction Access on Post-tensioning.

オーストラリアにおけるPC建築物は、現場打ポストテンション工法による場合が多い。筆者は2, 3の例をあげてポストテンション工法におよぼす施工方針の影響について詳細に報告している。とくに、ポストテンション工法の採用によって構造設計が単純化され、これが施工を促進するのに大いに役立っていることを強調している。

○J.B. Whittakar (ニュージーランド), The Curing of Precast Prestressed Concrete Products.

プレキャストPC部材は、通常は常圧蒸気養生されるが、一般には著しい熱損失、蒸気のチャンパー内分布の不均一、品質管理用シリンダー供試体と製品本体のマス相違による養生効果の相違など、多くの問題点を持つ。筆者は型わくに厚さ30mmの硬質ポリウレタン吹付けを行って型わく断熱を可能にし、蒸気パイプによる型わく加熱を行うことにより、型わく内コンクリートの温度との差を可能な限りなくすることができ、結果的には促進養生の効率をあげる方法を開発した。さらに、養生温度としては50°C程度の比較的低温で12時間養生を行うことがコンクリートの長期強度の伸展にとっても好結果をあてることを示したものである。この方法の採用により、硬化促進材をほとんど使用しなくても良いこと、熱応力によるひびわれ発生が防止できること、熱効率を大幅に高めることができることなど、数々のメリットが期待できるようである。

○J.E. Ferris (オーストラリア), Load Bearing Facades and Transfer Beams.

近代的高層建築物の正面ファサードは、全面ガラス窓といった骨組をできるだけ細くすることが要求されることが多い。このような場合の解決法として、たとえば、図-16(a)に示すように建物重量を外側柱に移行集中させるためのLoad transfer beamを適当に設けるが、このような梁は極めて大きい設計荷重となり、PC工法が極めて合理的に使用される。同図(b)の例は建物周辺の柱、梁架構を大きくして、これより各階を吊下げる方式、同図(c)は中段にもLoad transfer beamを入れて上部の荷重を分割負担させるようにしたもので、オーストラリアではこのようなファサードを持つ高層ビ

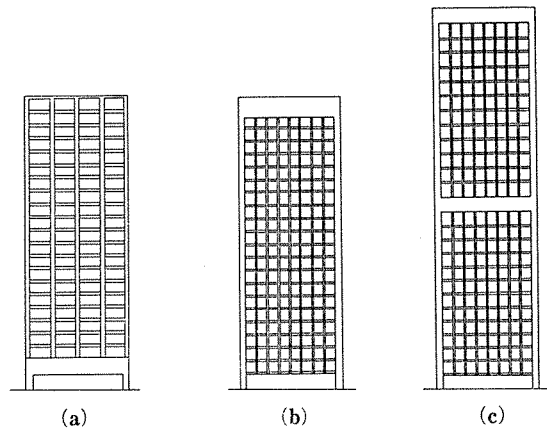


図-16 PCを用いるための高層ビル正面ファサードの一例

ルが極めて多い。

○N. Padilla(フィリッピン), Post-tensioning Achievements, Activities and Future in the Philippines.

フィリッピンにおけるポストテンション工法の普及の歴史、現状および将来の展望について概説したものである。

(d) Session 8: Particular Structures (発表10か国)

最近のPC建築物実施例が各国から報告された。発表国は次のとおりである(カッコ内は発表者)。

North America (W.B. Bennett), South America (J. A. del Nero), Europe (G.J. Zunz & L.N. Zikeev), Japan (H. Muguruma), South-East Asia (H. Rust, M. O'Neill & R. Surjadi), New Zealand (N.W. Allardice), Australia (P.I. Mahaffy)

10. Sydney 市内 PC 構造物の見学

シンポジウムの1日をさいて見学会が催された。筆者はシドニー市内のPC構造物の見学に参加したが、折あしく1日中雨にたたられ、傘をさしての見学会であった。いくつかの構造物の写真はすでに本誌18巻6号(昭51. 12)の口絵写真に説明をつけて紹介してある。なかでもSydney Opera Houseとシドニー港内遊覧船よりの市内および近郊の景観は忘れ難いものであった。写真-6はシドニー港よりシドニー市を写したもので、林立する高層建築物のほとんどにPCが利用されている。写真-7はSydney Opera Houseの全景で、サドル状のゴシックアーチ形曲面屋根が三層に重なった美しい姿をみせている。写真-8はアーチ形曲面屋根の裾梁支持部分の下部(ピロチーになっている)において、説明を聞く見学会参加者を写したもので、T.Y. Lin教授、B.C. Gerwick FIP会長の顔もみえる。写真-9は建設中の

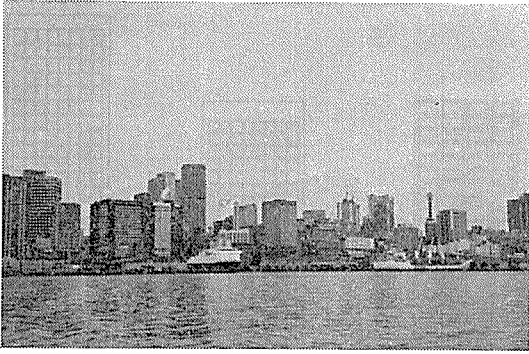


写真-6 シドニー港から眺めたシドニー市（多くの高層建築物のほとんどにPCが用いられている）

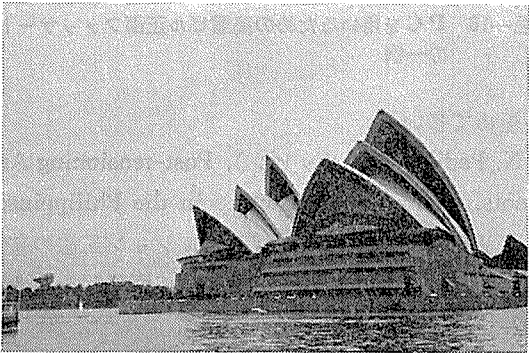
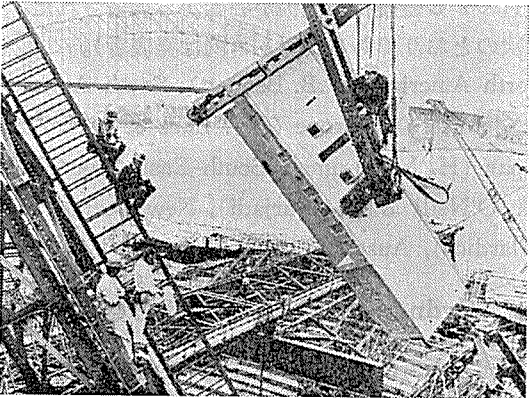
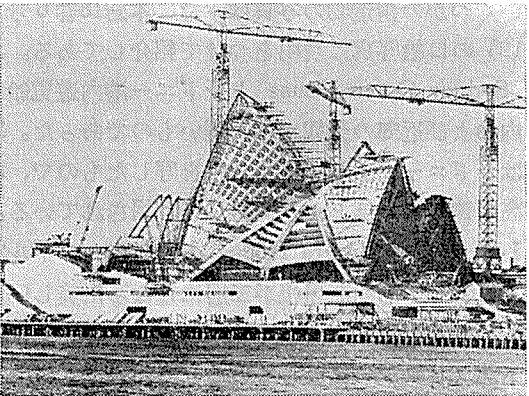


写真-7 シドニー港からみた Sydney Opera House



(a) アーチ形曲面屋根のコンクリートブロック構成材

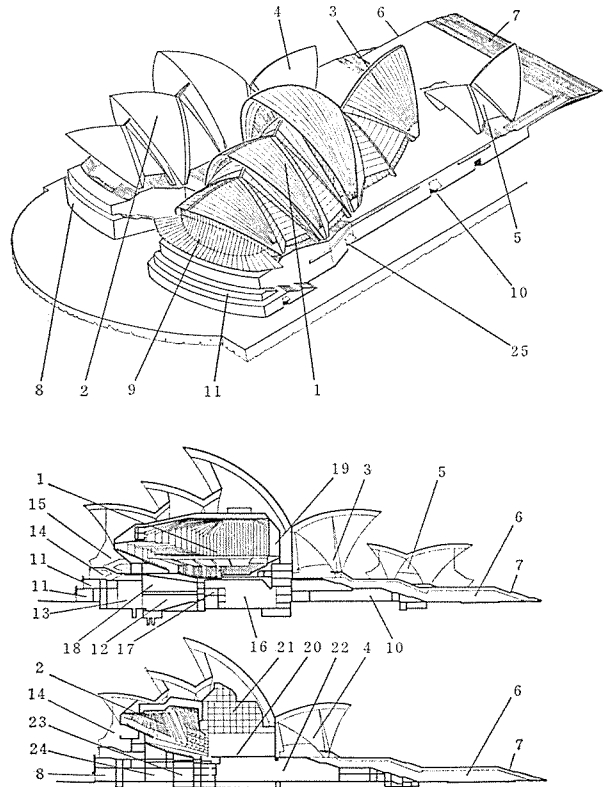


(b) アーチ形曲面屋根の施工状況

写真-9 建設中の Sydney Opera House



写真-8 Sydney Opera House のアーチ形屋根根拠梁の下で説明を聞く Symposium 出席者



- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Concert Hall | 2. Opera Theatre |
| 3. Concert Hall Foyer | 4. Opera Theatre Foyer |
| 5. Bennelong Restaurant | 6. Car Concourse |
| 7. Podium Stairs | 8. Self Service Restaurant |
| 9. Glass Wall of Concert Hall | 10. Exhibition Hall and Chamber |
| 11. Administrative Offices | 11. Music Hall/Cinema Foyer |
| 12. Drama Theatre | 13. Drama Theatre Stage |
| 14. Public Lounges | 15. Harbourside Foyer |
| 16. Rehearsal/Recording Hall | 17. Control Room for Rehearsal/Recording Hall |
| 18. Production Rehearsal Room | 19. Concert Organ |
| 20. Stage of Opera Theatre | 21. Machinery |
| 22. Scenery dock and Stage Machinery | 23. Chorus Rehearsal Room |
| 24. Production Rehearsal Room | 25. Entrance to Drama Theatre |

図-17 Sydney Opera House 概略図

Opera House を参考までに示したもので、曲面板部分はプレキャストセグメントを鉄骨スレージング上でエポキシ樹脂接着、ポストテンションングにより一体とされている。14年の歳月を経て建設されたものである。図-17はOpera Houseの概要図で、2700名収容のコンサートホール(長さ400ft、幅176ft)、1500名収容のオペラ劇場(長さ352ft、幅128ft、高さ174ft)をはじめ大小900室が設けられている。これを覆うサドル形曲面屋根は海面よりの高さ221ft、2194個のコンクリートセグメントで構成されている。接合に使用したエポキシ樹脂は15ton、ポストテンションケーブル総延長

は217mileという。屋根の全重量は26800ton、直径3ftの円柱ピア550本と4ft~8ft角の正方形断面柱32本で支持されている。

かけ足で忙がしい見学会であったが、十分堪能することができた。シンポジウム終了後、メルボルン、キャンベラ等他の都市を訪問することなく帰国したが、帰国の航空機からみたオーストラリア大陸ははるか地平線まで続く原野の連続であった。いつかまたこの雄大な原野に立ってみたいという衝動にかられたのは、単に筆者だけではなかったであろう。

1977.8.15・受付

◀刊行物案内▶

プレストレスト コンクリート構造の高層建築設計例

本書は、プレストレストコンクリート構造の普及発展のため、1977年10月より11月に至り、日本建築学会関東支部と当協会が共催して行った建築のPC技術講習会に使用されたテキストであります。

内容は15階建のオフィスビルを想定し、構造体の設計に当ってはできるだけ実際に建てる場合に無理のない、経済的で、かつ工法的にも特に難しい点のないようなものを選んであります。

若干余分があります。ご希望者は料金を添え、下記へお申し込み下さい。

体 裁：B5判 63頁

頒布価格：1,000円 送料：200円

申 込 先：社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麴町1丁目10番15号 紀の国やビル2階

電話 03(261)9151 番 振替口座 東京 7-62774 番

転勤（または転居）ご通知のお願い

勤務箇所（会誌発送、その他通信宛先）の変更のご通知をお願いいたします。

会誌発送その他の場合、連絡先が変更になっていて、お知らせがないため郵便物の差しもどしをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく、当協会としましても二重の手数と郵送料とを要することになりますので、変更の場合はハガキで結構ですから、ただちにご一報下さるようお願いいたします。

ご転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されないでご入手に出来ない場合は、当方として責任を負いかねますからご了承下さい。