

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

六 車 熙\*

### まえがき

昨年8月30日から9月3日の5日間にわたり、中小スパンPC橋梁およびPC建築物に関する FIP シンポジア (FIP Symposia on Short to Medium Span Bridges and Prestressed Concrete in Buildings) がオーストラリアコンクリート協会 (Concrete Institute of Australia) の協力を得てシドニー市で開催された。これに先立ち、8月26日、27日の2日間、ニュージーランドプレストレストコンクリート協会 (New Zealand Prestressed Concrete Institute) 第12回年次大会がオークランド市において開催され、筆者はこの2つの会議に出席する機会を得た。会議の様態と発表論文の概要を述べて参考に供する。

### 1. New Zealand PCI 第12回年次大会と 発表論文

今回の年次大会は、FIP シドニーシンポジアの関係で、特別のプログラムが生まれ、New Zealand 国内からの研究発表に加えて、B.C. Gerwick FIP 会長 (カリフォルニア大学教授)、R. Lacroix FIP 副会長 (フランス土木工科大学客員教授) および猪股俊司 FIP 耐震委員会委員長の3名の特別講演が行われた。大会には外国からの出席者も加えて約200名が出席し、終始活発な論議が行われて盛況であった。わが国からは猪股博士と筆者の2名だけの出席であった。

研究発表は Rock Anchor Walls, Off-shore Structures, Falswork for PC Bridges, Seismic Design Problems の4テーマについて行われた。以下にテーマ別に発表論文の概要を述べる。

### 2. Rock Anchor Walls 関係

次の5題の研究発表が行われた。

\* 京都大学教授 工博

- R. Lacroix: Ground Anchored Walls (特別講演)
- R.W. Irwin: A Review of the Use of Ground Anchors in New Zealand
- P.J. Wilcox: Some Examples of Ministry of Works and Development Approach in the Use of Permanent Anchors
- D.E. Hollands: Ground Anchored Walls-The Designer's Attitude
- B.C. Hadfield: Drilling Techniques for Ground or Rock Anchors

R. Lacroix は Tieback 工法による土留壁の設計および施工のすう勢について論じ、とくに PC 鋼材先端部定着のためのグラウト施工法と定着耐力の現場確認方法、地盤のクリープ等による PC 鋼材引張力の変化の荷重計による確認の重要性、PC 鋼材の防せい工法など、主として現場での経験が大いに関係する諸問題について述べた。

New Zealand における Ground Anchor 工法の現況については R.W. Irwin, P.J. Wilcox の発表にみられる。とくに Irwin は同工法の設計指針について紹介し、現場技術者の便宜をはかっている。New Zealand では近年同工法の利用が急速に高まっており、仮設土留壁等に利用する Temporary Anchor のほかに永久構造物に用いる Permanent Anchor も用いられている。設計指針には Ground Anchor 先端のアンカーゾーンの長さを決めるための地盤との間の許容付着応力度および最大許容定着力、穿孔最小径 (かぶり厚さ 15~20 mm の孔径が適当)、Anchor の許容応力度および安全率などが示されている。表-1 には参考として Anchor の許容引張応力度および安全率を示した。

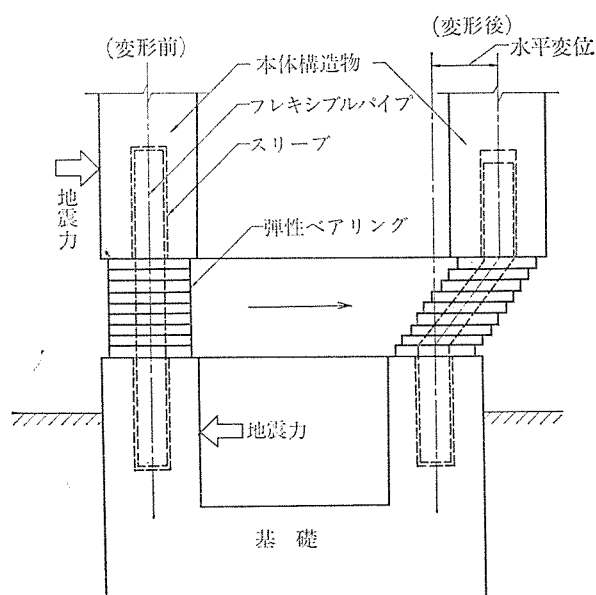
Ground Anchor 工法は、設計および施工が過去の経験に多くもとづいていることから、設計者と施工者の協力関係が極めて重要な要素となる。D.E. Hollands, B.C. Hadfield はこの問題について興味ある報告を行って

表一 Rock Anchor の許容引張力および安全率規定

Rock Anchor の種類	Permanent Anchors	Temporary Anchors
設計引張応力	$0.5 f_{su}$	$0.625 f_{su}$
現場での引張試験応力*	$0.75 f_{su}$	$0.78 f_{su}$
P C鋼材の破断強度に対する安全率	2.0	1.6
現場での引張試験応力のP C鋼材破断強度に対する安全率	1.5	1.25
アンカー定着部引抜耐力に対する安全率	2.0	2.0

\* Rock Anchor はすべて現場において引張試験応力をかけてその安全性を確認することが規定されている。

\*\*  $f_{su}$  は P C鋼材破断強度規定値



図一 海洋構造物における免震継手の一提案

る。詳細は省略するが、とくに現地盤の調査、施工方法の検討、施工途中での設計変更対策など、設計および施工に直接関連する諸問題については、過去の経験の集積が必要であることを強調している。

### 3. Off-shore Structures 関係

このテーマについては B.C. Gerwick FIP 会長の特別講演だけであった。プレストレストコンクリート海洋構造物の本格的なものはノルウェイ北海の Ekofisk 海上貯油タンク(1973年)が最初であるが、以後この種の石油貯蔵タンクの建設が盛んになりつつあり、水深 150 m の海上貯油基地が北海において、また、70 000 ton 貯蔵浮函基地がジャワ海においてそれぞれ建設または建設計画中である。これらの海上貯油基地は暴風時の波圧に対する安全性とともに、地震地帯では地震に対する安全性とをかね備えておらなければならない。B.C. Gerwick はとくに耐震設計について従来からの研究成果をまとめて報

告し、たとえば Ekofisk 貯油タンクの場合には、地震力は暴風時波圧の約 2~4 倍にも達すること、動的解析にあたっては構造物および構造物内の貯蔵物全重量に加えて、周辺の海水のマスを加算する必要のあること、加算量は円筒形構造物の場合はその構造物の占める空間と同量の海水重量、基礎盤ブロックの場合はそのマスの 0.5~0.7 倍の海水重量とすればよいことなどを示した。このような極めて大きい地震力に耐えるように設計することは種々の困難をともなうが、その対策の 1 つとしていわゆる免震構造をとることも、将来考える必要がある。とくに、海中地盤に基礎をおく構造物については、たとえば図一のように基礎と本体構造物との接続部を暴風時波圧に対してのみ安全であるように設計しておく、これ以上の力が地震時に作用するときには接続部の支持パイプが挫屈して基礎と本体構造物とが水平にずれるようにする考えもある。免震構造としては、極めて興味深い。なお、FIP においては海洋構造物の設計施工指針 (Recommendations for Design and Construction of Concrete Sea structures, 1975) を公表していることを付記しておく。

### 4. Falswork for P.C. Bridges 関係

次の 3 編の研究発表があった。

- L.G. Cormak: The Design of Falswork for Prestressed Concrete Structures.
- R.W.G. Blakeley: Falswork for Prestressed Concrete Bridges
- A.J. Routley: Falswork for Prestressed Concrete structures

これらの研究発表は P C 橋梁における支保工の本体構造物の施工の進展にもなる力学挙動の現場における実測結果、および、これら実測結果にもとづく支保工設計上の問題点等について論じており、現場技術者にとっては極めて興味深い報告であろう。L.G. Cormak は Skew Bridge における無計画なプレストレス導入順序による支保工部材応力の増大例、Box Girder の支保工を用いた現場打片持梁工法における現場打コンクリートの水和熱による支保工荷重の大幅な増大例(橋梁自重の 40% 程度の増大が観測されている)、連続桁橋のスパン中間におけるコンクリート打継ぎおよびプレストレス導入による支保工荷重の予期せざる増大例など、多くの支保工応力実測結果を示して、支保工設計における多くの不確定要素の考慮の重要性を論じた。R.W.G. Blakeley は本体構造物の温度差による挙動やプレストレス導入による変位が支保工応力に著しく影響し、とくに、基礎地盤や本体構造物の剛性が支保工応力の再分布の度合をかえる

重要な要素であることを指摘して、支保工設計指針の粗案を公表している。この中で支保工部材の許容軸力として Perry-Robertson 挫屈式による挫屈荷重の 1/2 または Euler 式によるその 1/3 のどちらか小さい方の値をとることを推奨しており、不確定要素による支保工応力の予期せざる増大に対する配慮をしていることは注目される。A.J. Routley の発表でも支保工応力の安全率を高めることが必要であること、従来、支保工の設計は本体構造物と比較して軽視しがちであり、これが支保工の崩壊等の事故につながることを、また、施工にあたって管理を十分に行わなければならないことなどを強調し、技術者のモラルの向上を説いている。

5. Seismic Design Problems 関係

4 編の研究発表がなされ、New Zealand における PC 耐震研究の進歩をうかがうことができた。下に論文題目を示す。

- S. Inomata: FIP Recommendations for Design of Aseismic Prestressed Concrete Structures
- G.W. Butcher: The New Zealand Loadings Code and Its Application to the Design of Seismic Resistant Prestressed Concrete Structures
- R. Park & K.J. Tompson: Some Recent Research in New Zealand into Aspects of the Seismic Resistance of Prestressed Concrete Frames
- A.L. Andrews: Design of Seismic Resistant Prestressed Concrete Structures

このうち猪股博士は特別講演として FIP 耐震委員会(本協会が幹事学会であり、猪股博士は委員長である)で原案作成中の耐震設計指針の概要を紹介されたものである。PC 構造物または部材は他の構造とくらべて一般に弾性に富み、高度の復元性を備えた構造であるので、じん性の点で劣るのではないかという基本的疑念が持たれているが、同博士はとくに曲げに対するモーメント曲率関係を PC 鋼材鉄筋係数をパラメーターにして計算し、図-2 を示して十分なじん性確保が可能であることを強調している。図-2 はコンクリートの応力ひずみ関係をパラボラー長方形の仮定、PC 鋼材のそれは 7 本よりストランドの実測曲線を用い、断面は長方形、有効プレストレス力は PC 鋼材引張強度の 60%、有効高さは全高さの 0.9 倍として計算したものであり、じん性率はそれぞれの鉄筋係数に対して図中の表に記載したとおりである。出席者にとってきわめて感銘深い講演であった。New Zealand においては、NZS 4203 “Code of Practice for General Structural Design and Design Loadings for Buildings” が 1970 年に立案され 1976 年に規準とし

鉄筋係数 $q$	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35
じん性率	60	28	16	11	8	6

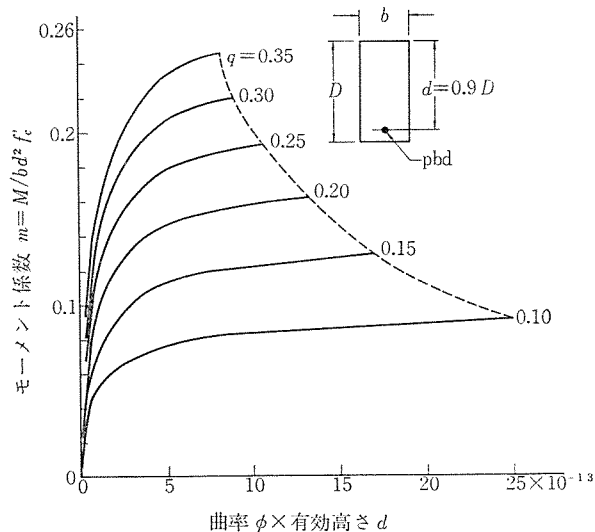


図-2 PC はり断面のモーメント曲率関係計算例 (7 本よりストランド使用、有効引張応力は破断強度の 60%)

表-2 終局耐力設計のための設計用応力組合わせ

状 態	荷 重 係 数
常 時	$1.4 D + 1.7 L$
暴 風 時	$1.0 D + 1.3 L + 1.3 W$ または $0.9 D + 1.3 W$
地 震 時	$1.0 D + 1.3 L + E$ または $0.9 D + E$
積 雪 時	$1.4 D + 1.4 S$ または $1.2 D + 1.2 S + 1.1 W$
特別多雪地域	$D + S + E$

(記号)  $D$ : 自重 (固定荷重),  $L$ : 活荷重 (積載荷重),  $W$ : 風荷重,  $E$ : 地震荷重,  $S$ : 雪荷重

て制定されたが、この中に PC 構造物の耐震設計も含まれている。この規準は単に建築物ばかりでなく橋梁、塔、ダム、タンクなどの主要構造物にも適用されるものであり、G.W. Butcher の発表では PC 構造物の耐震設計に適用する地震荷重規定をとりだし、詳細に説明している。耐震設計の思想は、地震による入力エネルギーを構造物の塑性変形によって吸収するいわゆるじん性設計であるが、設計の手順としては、設計用応力組合わせに対して終局耐力設計を行い、構造細則によって必要なじん性が確保されるよう考慮している。設計用応力組合わせとしては表-2 が示されている。同表中の地震荷重による応力  $E$  については、構造物に作用するベースシャー  $V$  を

$$V = C_d \cdot W \dots\dots\dots (1)$$

$C_d$ : ベースシャー係数,  $W$ : 構造物全重量  
 であたえ、 $C_d$  の値としては基本ベースシャー係数  $C$  に構造物重要度係数  $I$ , 構造種別係数  $S$ , 材料種別係数  $M$

表-3 重要度係数, 構造種別係数および材料種別係数規定値

重要度係数 $I$	特に重要な構造物	1.6	
	公共構造物	1.3	
	一般の構造物	1.0	
構造種別係数 $S$	(1) 梁に適当な数のプラスチックヒンジが生ずるじん性のあるフレーム構造	0.8	
	(2) 梁のプラスチックヒンジの数が多く発生するじん性のあるフレーム構造	1.0	
	(3) じん性のあるカップル耐震壁構造	0.8	
	(4) 2またはそれ以上の平行かつほぼ対象に配置されたキャンティレバー耐震壁を持つ構造	1.0	
	(5) 単一のじん性あるキャンティレバー耐震壁構造	1.2	
	(6) 曲げ降伏せず, かつ, 地震による入力エネルギーの大部分を吸収するよう設計された耐震壁構造	1.6	
	(7) 引張降伏をおこすプレースを有する建物	1階建の場合	2.0
		2~3階建の場合	2.5 または別途考慮
		4建以上の場合	別途考慮
(8a) プレースの引張降伏とじん性のあるフレームの変形で地震による入力エネルギーを吸収する構造	別途考慮		
(8b) 圧縮および引張の両方向に対し降伏するプレースを持つ建築物	1.6 または別途考慮		
(9) 煙突, タンク類	2.0		
材料種別係数 $M$	(1) 構造用鋼材 (鋼構造に適用)	0.8	
	(2) 構造用木材 (木構造に適用)	耐震壁を持つ場合	0.8
		その他	1.0
	(3) 鉄筋コンクリート	1.0	
	(4) プレストレストコンクリート (耐震構造部材として用いる場合)	1.2	
(5) 補強組積造	1.2		

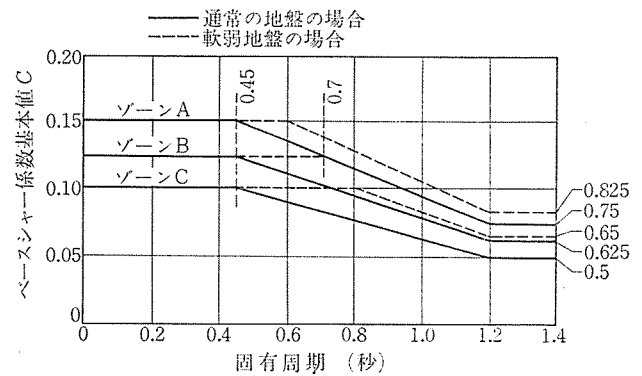
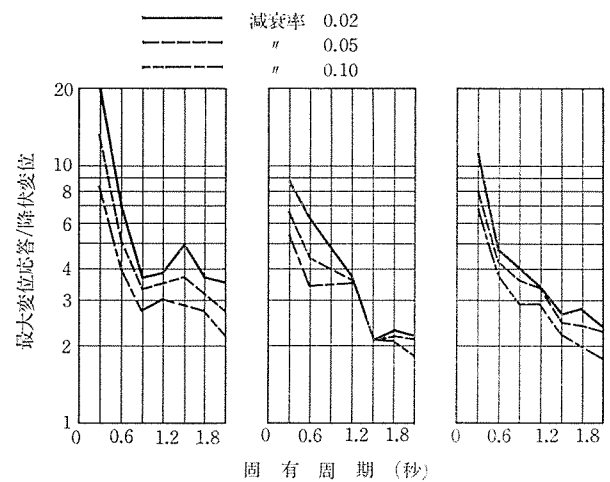


図-3 ベースシャー係数基本値  $C$  の値



(a) PC構造 (b) RC構造 (c) PRC構造

図-4 最大変位応答から計算したじん性率の構造種別による比較例 (1 自由度系, El Centro N-S 成分使用, PRC 構造は曲げ耐力の RC および PC の分担率がそれぞれ 50% の場合である)

を乗じて求める。すなわち,

$$C_d = C \times I \times S \times M \dots\dots\dots (2)$$

基本ベースシャー係数  $C$  は種々の固有周期, 地盤状況, 地震地帯のゾーン分けに対する応答解析スペクトラムから図-3のようにあたえられている。その他の係数については表-3にまとめて示しておく。

R. Park, K.J. Tompson の発表は Canterbury 大学におけるプレストレストコンクリートの実験的研究を総括したもので, 耐震設計に有用な示唆をあたえるものである。すなわち, 数多くのはり-柱接合部の高応力繰返し载荷試験においては, 接合部コアのせん断補強の重要性を指摘し, コア部分のコンクリートのせん断に対する抵抗は無視してせん断補強筋を設計することを提案している。設計式は次のとおりである。

$$V_j = n A_v f_y \dots\dots\dots (3)$$

$V_j$ : コア部分に作用する最大水平せん断力

$A_v$ : 1段のせん断補強筋断面積

$n$ : せん断補強筋の配置段数

$f_y$ : せん断補強筋の降伏点応力

New Zealand ではすでに述べたようにじん性に富む架構を要求しているが, そのためには部材断面のモーメント  $M$ -曲率  $\phi$  関係が重要な要素となる。Park らは数多くのプレストレストコンクリート梁の実験および  $M$ - $\phi$  関係の解析を行って, 十分なじん性確保のためには鉄筋係数  $q$  が以下の条件をみたすことが必要であると述べている。

$$q = \rho_p f_{ps} / f_c' \leq 0.2 \dots\dots\dots (4)$$

$\rho_p$ : PC 鋼材鉄筋比 (有効高さ使用)

$f_{ps}$ : 部材曲げ破壊時の PC 鋼材応力

$f_c'$ : コンクリートのシリンダー圧縮強度

通常的设计では  $f_{ps}$  は PC 鋼材降伏点応力  $f_{py}$  に達するものと判断されるから, (4) 式の鉄筋係数はいわゆる一般に定義されている  $q = \rho_p f_{py} / f_c'$  に等しいと考えてよく, したがって, ACI 建築規準やわが国でいわれている限界値  $q \leq 0.3$  よりもかなり苛酷な制限値といえよう。ちなみに図-2に示した猪股博士の  $M$ - $\phi$  計算結果

では、 $q=0.2$  に対するじん性率は  $\mu=16$  である。さらに Park らの研究は、繰返し応力を受ける場合の  $M-\phi$  関係のモデル化、および、これを用いた PC 部材や架構の動的解析にも及ぶ。図-4 は 1 自由度振動系として取扱った PC、PRC および RC 構造の El Centro 1940 地震波 N-S 成分に対する変位応答値から、構造物の固有周期と最大変位を最初の降伏変位で割って求められるじん性率との関係を計算した結果を示した 1 例で、RC 構造物にくらべてエネルギー吸収能力の少ない PC 構造物では、同じ終局耐力、固有周期、減衰率を持つ場合には、大きい変位応答となる。図-4 の例では PC 構造物の最大変位応答は RC 構造物のその平均 1.3 倍であるが、固有周期や減衰率によって倍率は著しく変動し、図-4 では、0.7~2.4 倍の範囲にある。また、地震波の性質によってもこの倍率は異なり、このようなことから必ずしも PC と RC とではじん性率の要求値をかえる必要はないと結論している。なお、これら一連の研究成果は New Zealand 耐震規定の作成に反影されていることを付記する。

A.L. Andrews の報告は New Zealand の地震荷重規定を用い、かつ、Park らの研究成果を反影させたじん性のある PC 架構の耐震設計実用手法について述べたもので、規準および研究成果を十分にとり入れた設計が可能であることを示している。

## 6. オークランド市内現場見学

わずか 2 日間の New Zealand PCI 年次大会の半日をさいて、オークランド市内の PC 橋梁建設現場の見学が行われた。種々の Type の橋梁が精力的に建設されており、わずか 70 万の人口の都市とは思えないほどであった。いくつかの現場写真はすでに本誌 18 巻 6 号 (昭 51. 12) の口絵写真に説明をつけて紹介した。現場見学の途中 B. & B. Concrete Co. Ltd の PC 製品工場の 1 つを見学することができたが、規模はそれほど大きくはないがチャンネルスラブ、ダブル T スラブをはじめ多種類の品物を生産していた。写真-1 は同工場製品置場であって、右側の L 型 PC 部材はオークランド港を渡る Mangere Motorway Bridge のボックスガーダー両サイド下部の歩道吊下げ部材であって、コンクリート 28 日圧縮強度  $600 \text{ kg/cm}^2$  で設計されている。また、同工場には Dy-Core システムによる穴あき床板製造設備を持ち、幅 120 cm、厚さ 20 および 30 cm の 2 種類が生産されている。Dy-Core 穴あきスラブの特徴は高周波振動による 0 スランプコンクリートの打設が可能であり、きわめて緻密なコンクリート組織を得ることができること、および、内部中空部が他の穴あきスラブにくらべて大き

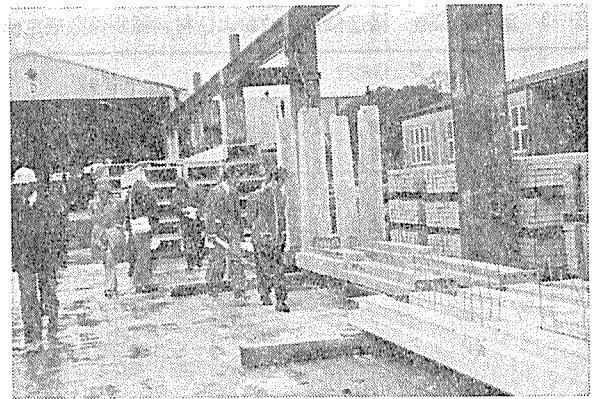


写真-1 B. & B. Concrete 社製品置場

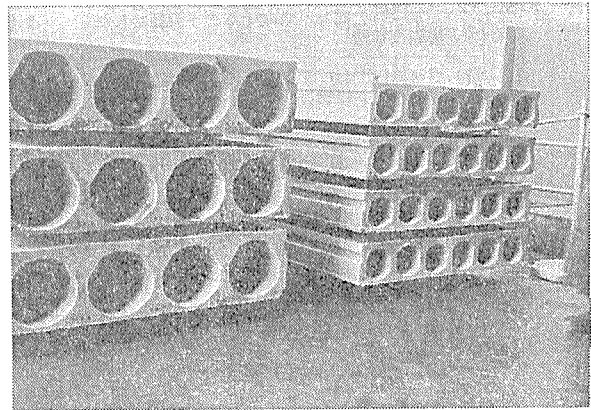


写真-2 Dy-Core スラブ

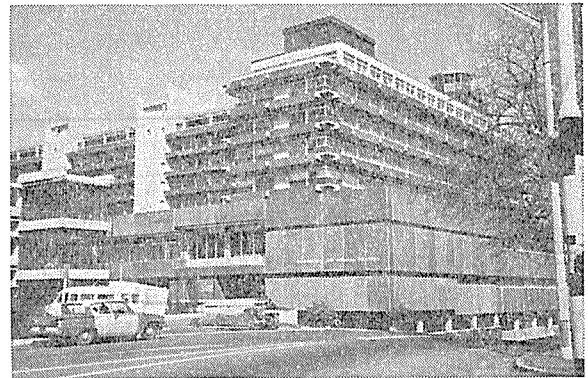
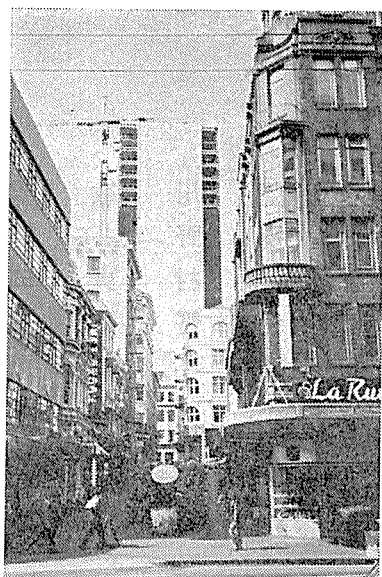


写真-3 オークランド大学数理工学教室

く、そのため重量が軽いことである。写真-2 に同工場での製品を示す。

オークランド市は New Zealand 最大の市であるが、人口が少ないためにきわめて静かな町である。わずか 3 泊 4 日の滞在で見物もほとんどすることができなかったが、シドニーでの FIP シンポジウムに出席するため同市を離れるあわただしい一刻をさいて、市内の見物にかけた。市内には数多くの高層ビルが建設途中であり、その大部分がコンクリート構造である。PC も広く利用されているようである。写真-3 はオークランド大学の数理工学科教室の建物であるが、ポストテンション PC



写真—4 新旧建物の混在する風景  
(Queens Street の一角にて)



写真—5 オークランド大学本部

組立構造で建設されている。この他にも大学の建物にはPCが多く使用されており、同国におけるPCの利用が盛んであることもうかがうことができる。一方、同市には古い建物もあちこちに点在しており、写真—4 にみるように新旧の建物が混在するのが目につく。中世の名残

りを止める オークランド大学本部(写真—5)を眺めつつオークランドを後にしたのである。

1977.4.7・受付

## 発行図書一部品切れのお知らせ

PC技術協会発行の図書目録の中

『プレストレスト コンクリート構造物の設計法と現況』

『最近のPCの動向について』

の2点についてはお陰様にて全部売れつくしましたのでここにお礼少々お知らせ申し上げます。したがって、今後の注文はおうけできませんので、御了承下さいますようお願い申し上げます。

なお、再版でき次第、本会誌図書目録の掲載でお知らせ致します。

社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会