



新潟地震におけるPC構造物の被害状況を報告中の筆者

## 第 5 回

# FIP 国際会議報告

猪 股 俊 司\*

### 1. はじめに

第5回 FIP 国際会議は、本年 6 月パリ・シャイヨー宮殿に 50カ国、約 1400 人の参加者を集めて盛大に開催された。

本会議では、主として各委員会報告とこれに対する討議という形式で進められた。その他、世界各国における PC に関する研究現況に関する総括報告がなされた。

各委員会報告の題目と委員会委員長はつぎのようであった。

- 1) PC の腐食問題……Lobry de Bruyu 委員長
- 2) PC の耐火性……Kordina 委員長
- 3) PC 石油タンク……Ostenfeld 委員長
- 4) プレキャスト……New 委員長
- 5) PC 構造物設計施工規準……Cestelli Guide 委員長
- 6) プレストレスト軽量コンクリート……Gerwick 委員長
- 7) 高強度コンクリート製造法……Duriez 委員長
- 8) 機械基礎への PC の応用……Harris 委員長
- 9) 地震地方における PC 構造物……武藤委員長

以上各委員会報告をすべて紹介することはページ数の関係で不可能であるので、とくに興味ある題目についてのみ記することとする。

会議中および会議後現場見学が行なわれ、完成したまたは施工中の PC 構造物を見学した。パリ市では、現在外郭高速道路を建設中であるが、プレストレストコンクリートの使用が圧倒的であって、鋼構造の建設を見ることはその例が非常に少なかった。また PC 橋建設にあたっては、プレキャストブロックを利用することが、非常に

多くなってきていると思われた。この理由の第一は労働力不足と労働賃金の上昇によるものである。すなわち単純労働力の不足は当然コンクリート施工を集中的に実施する方向に向かわざるをえなくしている。一方重量物取扱いはすべて機械化され、なんらの困難もなくなっている。この両者の組合わせの結果はプレキャスト部材を集約的に製造し、これをプレストレスングによって組立てる方法が経済的に有利となってきたのである。現場での話によると、プレキャストブロックによる片持り施工ではまったく機械的作業のくり返しであって、現場には特別な技術者をほとんど必要としないとのことであった。しかしブロック製造時のブロック製作精度については非常に厳密さが要求されている。しかしこれは設計段階での問題であり、型わくさえ正確に造られるならば特別な問題はないのである。すなわち、流れ作業的な工業化手段によって従来手仕事のであったコンクリート工事を近代化しようとしているのである。たとえば近代的な流れ作業の代表である自動車工業に比較して、コンクリート工事がどれほど前近代的であるかを考えてみれば明らかであると思われる。土木工事における技術者不足がさげばれて久しい。しかしこれは人間の数の問題よりも、その生産手段を近代化しようとしない日本のコンクリート界の問題であると考えられるのである。この問題は FIP 国際会議とは無関係であるが、筆者のヨーロッパの友人が一様に認めていることであった。

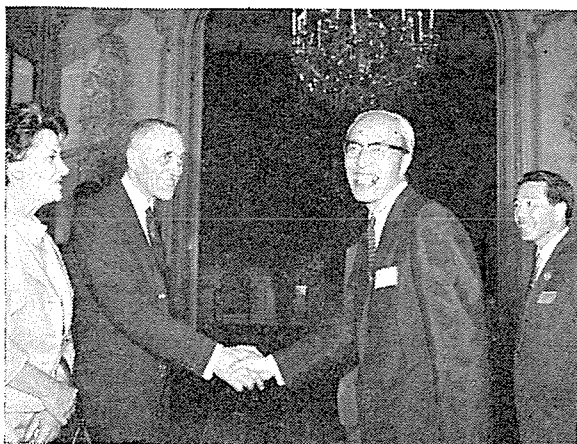
以下各委員会報告題目の内容を簡単にのべることにする。

### 2. プレストレスト軽量コンクリート

本報告の軽量骨材は、プレストレスングに用いるのに適当な良質、高強度コンクリート配合用のものに限ら

\* 工博 日本構造橋梁研究所 設計部長

写真-1 フランス P C 技術協会 デュマ会長夫妻と筆者



れている。

1) 単位重量：1 400～2 000 kg/m<sup>3</sup> の範囲で同じ強度を有する普通コンクリートの 60～80% である。

2) 圧縮強度：単位セメント量のわずかな増加で普通コンクリートと同様 500 kg/cm<sup>2</sup> までえられる。ある種の軽量骨材ではセメント量の増加は不要なものもある。

3) せん断(斜引張)：普通の使用応力の範囲では、普通コンクリートと同じであるが、破壊強度は斜引張応力を受けたとき、普通コンクリートの 65～100% である。軽量コンクリートの斜引張強度は圧縮強度によるよりも、引張強さ試験(標準供試体を横にした試験)による引張強度に、より関係が密である。

4) 引張強度：コンクリートの乾湿に関係がある。湿った状態では普通コンクリートと同一である。普通細骨材を用いる乾燥時の引張強度が改良される。

5) 曲げ引張強度：湿った状態では普通コンクリートと同様であるが、乾いた状態では減少する。

6) 付 着：引抜き試験によると付着強度は大体普通コンクリートと同一であるが破壊時は少しく小さい。

7) 付着長(プレストレス伝達長)：セメントペーストが付着に関係するから、普通コンクリートと同一である。しかし軽量コンクリートのヤング係数が小さいのでこの伝達長はわずかに増加するようである。

8) ヤング係数：140 000～210 000 kg/cm<sup>2</sup> (極端な場合には 115 000～280 000 kg/cm<sup>2</sup>) であって、普通コンクリートの 1/2～2/3 である。軽量コンクリートのヤング係数は小さいが、同一断面を有する普通コンクリートを用いた P C ばりの自重たわみに比較して 15～25% 大となるに過ぎない。

9) クリープ：クリープひずみと弾性ひずみとの比は一定であると仮定しているが、実験結果はこの比が一定とならないことを示す例が多い。したがって、この報告では持続圧縮荷重下のコンクリートの時間的変形として

クリープを示すこととする。

良質な構造用軽量コンクリートでは、クリープは普通コンクリートの場合より、わずかに大きいのみである。

柱の長期にわたる試験では、軽量コンクリートの短縮は同一圧縮強度を有する普通コンクリートの短縮と実用上ほとんど同一であることを示している。クリープは載荷時の圧縮強度と作用応用との比に大体比例する。

ソ連の報告では、最初の 2 ヶ月でクリープの 60～80% が起こるといわれ、アメリカでは同じくいちじるしいクリープたわみは 90 日以後はおこらないといわれている。

10) 乾燥収縮：骨材品質に関係する。アメリカの報告では、普通コンクリートよりわずかに大きいといわれているが、蒸気養生をすると 20% 以上小さくなるとされている。ソ連では軽量コンクリートの乾燥収縮は相当大きく(190% まで)なるといわれている。

11) 全プレストレス減少量：同一養生状態では、普通コンクリートのそれに比較して 110～115% となっている。蒸気養生をしたときは、普通コンクリートのその 124% である。しかしながら、蒸気養生をした軽量コンクリートに対する全プレストレス減少量は、普通養生状態の普通コンクリートのそれと大体同一である。蒸気養生によって、全プレストレス減少量は普通養生の場合の 30～40% 減少する。

12) 疲 勞：アメリカでは、軽量コンクリート箱桁について疲労試験を実施し、200 万回までのくり返しによっても静的強度の低下は認められていない。ソ連での試験によると、普通コンクリートの場合と同一であるが、破壊は傾斜ひびわれによっており、静的荷重に対して必要なもの以上にくり返し荷重を受ける構造物での斜引張鉄筋の必要性を示している。

13) 衝撃荷重：

a) 杭打込み応力；ヤング係数が小さいので最大圧縮応力は 18%、最大引張応力は 22% 減少している。衝撃波の速度は 20% 小さいが、波長は普通コンクリートの場合と大体同一である。

b) 耐震性は良好と思われる。構造物の周期は伸び、レスポンスは少しく小さくなるであろう。破壊時ひずみ大きいこと、14) とともに耐震性はさらに良好となる。

c) 衝撃およびエネルギー吸収は増大すると考えられる。

d) ダンピングは普通コンクリートよりも有利であろう。

14) 破壊強度：軽量コンクリート柱についての現在の研究では、同一強度の普通コンクリートよりも大きい破

壊ひずみを示しているのも、より大きい破壊強度能力を有している。

利 用 面

PC 軽量コンクリートが広く用いられ、経済性を発揮している方面は、屋根、壁および床などである。この場合、死荷重の減少は、構造的荷重、地震荷重および基礎への荷重減を生じ、熱絶縁および耐火性の良好なことがプレストレスト軽量コンクリート採用の重要な要素である。

3. プレキャスト

(1) プレキャスト部材の組合わせ—目地モルタルまたはコンクリートを用いない場合—

a) 付着のない目地 目地の両面間に何もそう入しない場合には、両面が完全に一致するようなものでなければならない。サンフランシスコの Oakland Bay 橋では、目地部面積は 50×100 cm で 220 個のプレキャストブロックが用いられた。乾燥収縮差による変形は認められなかった。目地の縁には面取りを付けて局部的な破壊を防止している。部材は前の部材を型わく代りにしてコンクリート打ちをしている。

イギリスでは大径の杭を短い部材（直径 53 cm, 長さ 3~5 m）をプレストレッシングで組み合わせている例がある。目地にはネオプレンをそう入している。ストランドを用いているが、カプラーによって必要なだけ現場で杭の長さを調節できる。

b) 付着のある目地（接着剤目地） 目地の強度は引張り、圧縮およびせん断ともにコンクリートのそれよりも大きく、目地の水密性も確保される。一般にエポキシレジンが望ましい。エポキシレジン混合材の重要な性質は、使用できる時間—pot-life—（一般には 45 分~3 時間）、polymerization time（数日間）、温度変化に対する敏感性、許容最低温度（約 10°C）などである。

良好な付着がえられるためには、コンクリート面は清浄でかつ余りしめっけてはならない。フランスでの試験によると、エポキシ目地の引張強度は、継目面が乾燥している場合には、硬化コンクリートの引張強度よりも 80% 大であるが、継目面がしめっけている場合には、30% しか大とはならない。ポリエステル レジンも同様しめっけたコンクリートでは弱くなる。

Johnson によると、コンクリート面の仕上げ方法が目地強度にいちじるしく関係することは明らかである。表面処理に対して特別な入念さが必要となることを強調している。すなわち、サンド ブラッシング、表面の油類の除去、乾燥、化学薬品による清掃などが必要であるとされている。

Alexandre の報告では、サンド ブラッシングと、圧縮空気を併用したブラッシングが現場では有効であるし、付着面のグリースを除去するようによく注意しなければならないとしている。

ファイラーを用いない場合の目地はその厚さを 10 分の数 mm となるようにして、経済性と同時に目地の変形を減少させる必要がある。したがって目地は硬化前にプレストレスを与えて、レジンを出し出すようにする。

ファイラーを用いた場合には数 mm までの厚さの目地とすることも可能である。Franz によると、この場合の目地は 1~2 cm とするのがよい。理由として厚い目地をつくるよりも正確なコンクリート端面をつくる方が工費の増加をきたすからであるとしている。ソ連ではエポキシ レジンとセメントの混合物を用いて 0.2~0.8 m の目地としている。

目地材が硬化する前にプレストレスを与えるような場合には、両接合部材の相対的滑動がおこらないようにする必要がある。このため部材にキーを取付ける。ソ連では目地のこのキーが設計せん断力に抵抗できるようにしている。

アメリカの南西部では、16 ft の遠心力パイプをポストテンションで組合わせて長さ 160 ft, 直径 54 in までの杭が造られているが、目地にはエポキシを用いている。鉄筋コンクリートの例ではあるが、45 cm 直径の杭を Epikote をベースとした材料で継いでいる。すでに打ち込まれた杭頭に取付けたカラー中に約 20 kg の接着剤を入れ、つぎに継ぐための杭をこの接着剤中に入れ約 20 分蒸気養生を続けて 10 分間水で冷却し、打込みを続けている。

1) マレーシアの橋脚に用いた例：内径 70 cm, 外径 90 cm, 長さ 3 m のコンクリート部材をポストテンションで結合した。目地は 1 mm 程度で配合は下記のような。

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| Pine Oil                  | 20 g  |
| Epikote 828               | 100 g |
| DTA (diethylene triamine) | 13 g  |
| 細砂 (0.15 mm-0.30 mm)      | 250 g |

コンクリート部材の製造にあたって非常に平坦な端面がえられるような遠心力締固めを採用した。

2) インドネシアの岸壁の杭：上記と同様なものであるが、コンクリート部材は長さ 5 m で真空締固め方法によったので端面の十分な平坦性がえられなかった。それで目地厚さ 3 mm 程度とできるようにするため、部材端面をみがいた。

接着剤の配合はつぎのようである。

|          |      |
|----------|------|
| Pine Oil | 50 g |
|----------|------|

写真-2 Porte de La Chapelle のインターチェンジ  
PC 高架 (パリ市内)

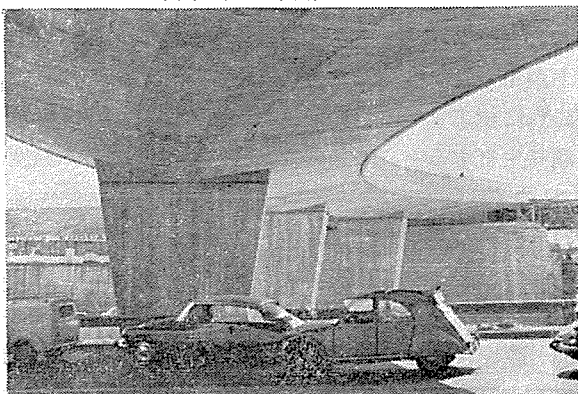


写真-3 Porte de La Chapelle のインターチェンジ  
PC 高架 (パリ市内)

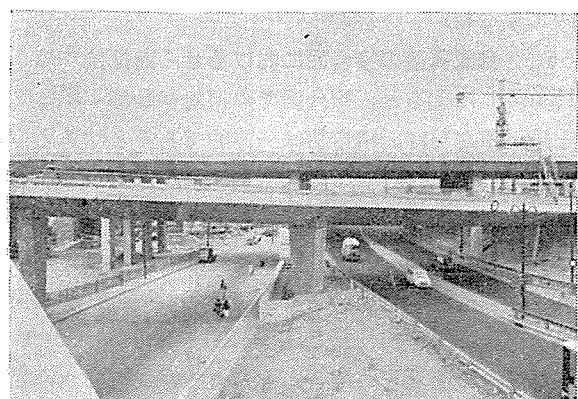


写真-4 Saint-Denis のプレキャスト ブロックを用  
いた連続曲線 PC 橋 (パリ市内)

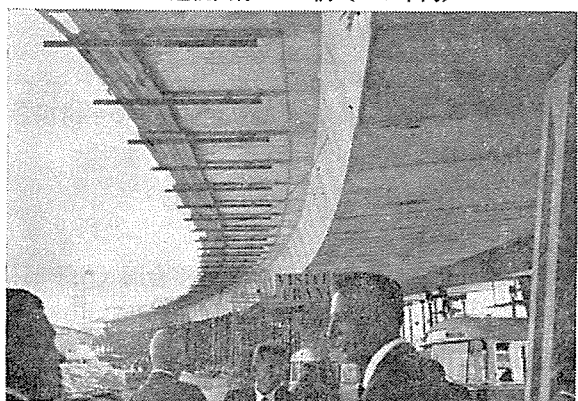
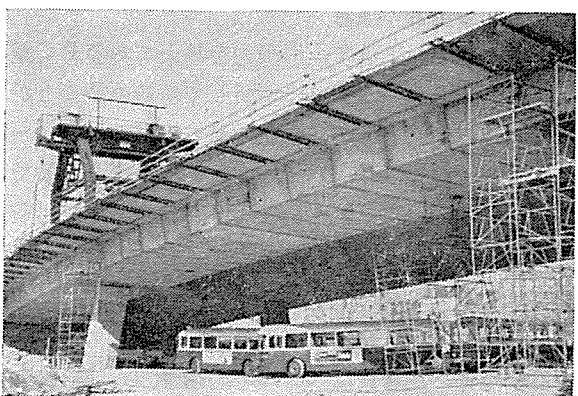


写真-5 Saint-Denis のプレキャスト ブロックを用  
いた連続曲線 PC 橋 (パリ市内)



|             |         |
|-------------|---------|
| Epikote 828 | 450 g   |
| DTA         | 75 g    |
| 細砂          | 1 025 g |

3) セーヌ川ショワジ・ル・ロワ橋: プレキャストブロックを用いた片持ばり施工の 37.5-55-37.5 m の道路橋である。接着剤は ROX TP 38 であって A 液と B 液とを等量混合して用いられる。普通の気温で 1~1.5 時間までは利用でき、凝結時間は 6~8 時間である。温度に対してあまり敏感ではなく 10°C 以下まで利用できる。完全な硬化は 18°C で 4 日後にえられている。

(2) 大量生産技術の発展に用いられた高強度鋼棒の電気的加熱方法

電気的加熱による異形鋼棒のプレストレスングはソ連で発達し、24 m 長さまでの部材が造られている。鋼棒は電流によって加熱され、電源を切ってから型わく内の位置にセットされる。端支承があって鋼棒は移動できないので、鋼棒が冷却されると自動的に引張力が作用する。

この方法によって、すでに数百万 m<sup>3</sup> の建築用 PC 部材がつかられ、この方法の信頼性と経済性とが立証されている。鋼棒は鋼型わく内のアンカーに定着されるから鋼棒の冷却によって生ずる全引張力に抵抗できるような強固なものでなければならない。しかし型わく的设计がうまくできているので、軸方向を受けない場合の型わくに比較して鋼重が 15~20% 増しとなっているに過ぎない。

つぎの事項が新しく開発されている。

1) 折曲げ PC 鋼棒の使用: 直線鋼棒を上側サポートに置いて電気的に加熱し、サグを生じたらこれを型わくの特別な下側アンカーに定着してから、冷却させると、鋼棒の傾斜区間、直線区間ともに一様な引張応力が与えられる。

2) 曲げモーメント図になるべく合致するような応力分布を与えるため、また両端の定着力を低減させるため鋼棒はその中央区間に沿ってのみ支持されるようにするので、冷却したときの両端部分は応力を受けないようになる。

3) 鋼棒の定着および連結は、鋼棒につけられた変形に円筒型の鋼材をプレスすることによってなされ、これは従来の加熱または溶接によって定着キャップをつくる方法よりも有利で、鋼棒強度を低下させることはない。

異形鋼棒は一般に 8~24 mm 直径で熱間ロールの低合金高炭素鋼で、引張強度は 6 000~9 000 kg/cm<sup>2</sup> である。コンクリートに作用する応力度は一般に軽量コンクリートに対しては 150 kg/cm<sup>2</sup>、普通コンクリートに対しては 200 kg/cm<sup>2</sup> である。

実際のプレストレスは多くの異なる場合について求められたが、仮定値の 10% 以内にある。

(3) 部材圧縮部における初期ひびわれの問題(運搬の影響をふくめて)

PC 部材の取扱いおよび運搬中に、つり上げ点または仮支点から先、片持ばりとなることがある。ときには部材圧縮部にひびわれを生じさせることがある。

圧縮部のひびわれの不利な点は、鋼材防錆能力の低下、いちじるしい上向きまたは相互に異なったキャンバーを生ずること、正のひびわれモーメントの低下などである。

適切な設計によって、圧縮側の初期ひびわれは幅の小さいものとするができる。ひびわれ発生に抵抗させる鉄筋量、分布および応力によって影響される。この鉄筋は普通鉄筋であって、普通の鉄筋コンクリートと同様腐食に対して敏感性は少ない。ひびわれは設計荷重作用時ほとんど口を閉ざすので、とくに腐食性の大きい外気中におかれる場合以外は、腐食の問題はそれほど重大とはならない。

負のモーメントに関する剛度の低下は、設計荷重作用前貯蔵中に過大なキャンバーを生じさせたり、各桁間のキャンバーにいちじるしい差を生じさせたりする。この影響は非可逆的である。同一のキャンバーの要求される T スラブ、負のモーメントを受ける部材および合成構造に用いられる部材ではひびわれを許容してはいならない。しかし長い部材でキャンバーの問題は、部材圧縮部ひびわれ禁止の理由とはならない。

ソ連の実験によると、負のモーメントによって曲げひびわれの生じた PC 桁では正のひびわれモーメントが低下し、このひびわれが深いほど、正のひびわれモーメント低下がいちじるしいものとなる。したがってソ連の規定では、部材圧縮部がひびわれしたとしたとき、正モーメント抵抗能力は 10%、剛性は 15% それぞれ低下するものと考えている。

ひびわれの発生はその断面における圧縮応力の再分布を生じさせ、クリープによるプレストレスの減少に影響がある。載荷時にひびわれが閉じて、応力分布はひびわれなき場合と異なったものとなり、正のひびわれモーメントに関係があることになる。しかし本問題については、圧縮応力度、クリープおよび乾燥収縮などについて考慮し、さらに将来検討すべきである。

(4) プレキャスト部材の貯蔵(レラクセーション、クリープおよび変形による特別な注意)

乾燥収縮、クリープによる変形は最少となるようにしなければならない。プレキャスト部材を架設するときコンクリートは十分材令の古いものである必要がある。養

生および貯蔵について、つぎのような方法がよいであろう。

1) コンクリート打ち直後の重要な時期ではコンクリートが十分な湿度を有するようにする 15°C で 4 日およびこれに相応するのが最低と考えられる (15°C で 7 日湿潤養生をすると、高品質コンクリートの立方体強度は 28 日の予定強度の約 80% となる)。

2) 寒冷な冬期では、乾燥したままの放置は屋内とし、他の季節よりも長期間としないと、乾燥収縮やクリープがわずかしか起らない。

3) 乾燥状態で放置する場合には屋根をかけると同時に側面も保護する必要がある。このようにすると部材が一方からのみ日照を受けて反ったりわん曲したりするのを防止できる。

(5) 合成構造の接合面におけるせん断抵抗

Hanson によると、接合面での相対移動が 127 ミクロンを越えるならば、構造物は一体的であるとは考えられない。

Hanson およびイギリス・セメントコンクリート協会の試験では、粗面での接合部せん断強度は 35 kg/cm<sup>2</sup> である。また接合面を貫通する鉄筋 1% 当りせん断強度は 12.3 kg/cm<sup>2</sup> の増加となる。Zelger と Dashner は平滑な面、粗面などの接合面を有する合成桁について試験をした結果は Hanson の値より小さく、つぎのようであった。

小形部材でスターラップなく平滑接合面

: 7~13 kg/cm<sup>2</sup>

スターラップ(接合面の 0.9%)を有する平滑接合面

: 13~19 kg/cm<sup>2</sup>

スターラップなく粗接合面(小形部材)

: 8~19 kg/cm<sup>2</sup>

スターラップ(0.9%)を有する粗接合面(小形部材)

: 10~14 kg/cm<sup>2</sup>

また垂直方向プレストレスは 20~35 kg/cm<sup>2</sup> までのせん断抵抗増加を示している。

(6) プレテンション PC 鋼材引張力を急激にゆるめる場合の注意

プレテンション工法で、引張力を与えてある PC 鋼材をジャッキでゆるめる代りに切断してゆるめることがときどき利用されている。注意深く PC 鋼材の長さ 6~9 in にわたって加熱するので、切断はそれほど急激ではない。しかし、ときにはこの切断が急激であって付着が乱されていることもあるので、設計にあたってこの点を考慮する必要がある。

定着長に関する試験結果によると、急激にストランドをゆるめると、定着長は 20~30% 増大し、直径 1.25



写真-6 プレキャストブロックを用いた片持り施工中のPC橋(バリ・セヌ川 Courbev 橋)

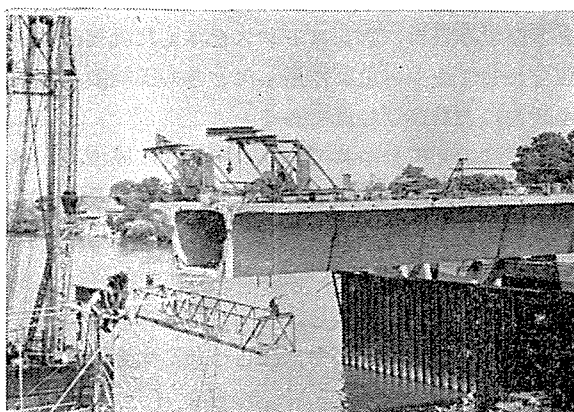


写真-7

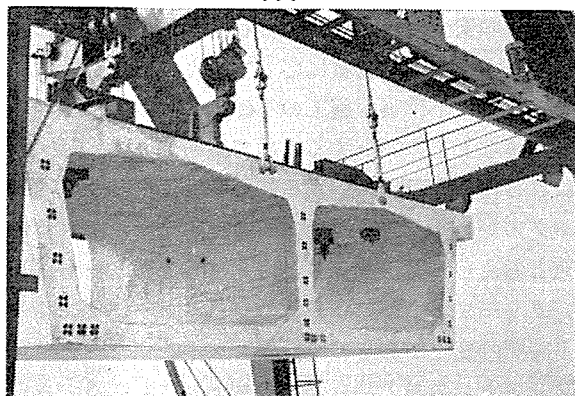
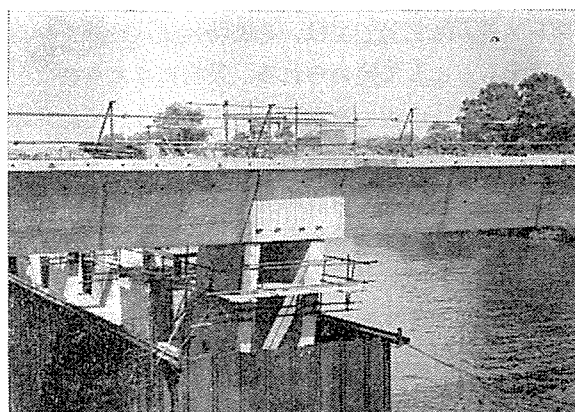


写真-8



cm 以上のストランドでは、端から 30 cm 位まですべて付着が破壊されてしまうようである。これはせん断強度に対して非常に大きい影響がある。

AASHTO と PCI の指針によると、1本のストランドを加熱でゆるめる場合 5 秒以上加熱してストランドが切断されるよう最小 5 in の区間にわたってストランドに炎をあてるようにしなければならない。また両端で必要ならば中間で、同時に切断する必要がある。

PC 鋼材引張力を急激にゆるめると付着は破壊されるから、もしこの種の施工法が採用されるときには設計にあたって十分考慮し、この影響を計算に入れておくことが大切である。ときには設計者が禁止すべきである。

#### 4. PC についての腐食問題

PC では鋼材応力が非常に高い(引張強度の 70~80 % となることもある)ので、普通の鉄筋コンクリートよりも腐食について危険性は大である。

現在もっとも広範囲に用いられているパテンチングをした冷間引抜き PC 鋼線は熱処理 PC 鋼線よりも腐食のある種の型式に関しては大きい安全性がある。これは内部構造のみならず、表面状況の差によるものである。冷間引抜きでは、表面をふさぐような製造法であるのに対して熱処理鋼では開いた状態の製造法となるからである。

腐食による破断をそれぞれ分類して示すと以下のようである。

##### (1) Pitting Corrosion

腐食作用の結果として、線表面がピッチングを受けると、断面積が減少し、引張力によって切断される。この種破壊は塩化物をふくむコンクリート中で認められている。

腐食試験をプレテンションの桁で実施した結果、pitting は主として鋼線の下側に生じている。その理由は振動締固めの結果、鋼線下側に水げきが生ずるためである。また深い pitting の生ずる確率はコンクリートかぶりの増加とともに減少するようである。この種の塩化物腐食に対する鋼線の感受性は、鋼線製造物によってはあまり影響されない。

塩化カルシウムその他塩化物使用は多くの国で禁止されているが、ときには有害な塩化物がふくまれていることがあるので注意を要することである。

G. Rehm および R. Schneider の報告では、塩化物をふくまない PC で、海風および工場廃気を受ける場所での腐食試験では、1.5~2.0 cm のかぶりでは 4 年後鋼線の腐食はまったく認められないが、0.5~0.7 cm のかぶりでは腐食が認められ、引張荷重の低下とともにもろくなっていた。

##### (2) Inter-Crystalline Stress Corrosion

この種腐食は硝酸塩によってのみ起るもので、あまり一般的ではない。また温度が非常に高い場合をのぞけば、硝酸塩に長期間さらされている必要がある。

ごく最近までは塩化物もまたこの種型式の腐食を生ぜしめると考えられていたが、研究の結果によるとこの種可能性のまったく認められないことが明らかである。また、硫化物、燐化物および各種酸およびアルカリの薄い溶液は、いかなる品質の引張力を受けている PC 鋼材にも結晶間腐食ひびわれを生ぜしめることはない。

##### (3) Hydrogen Embrittlement

この種 PC 鋼線がもろくなる現象は、主として水素に

よるもので、もっとも多いのは硫化水素（工場地帯および農業地区の空气中に非常に多量に認められる）によるものである。このガスが1リットル中に数ミリグラムでも水溶液の状態でふくまれていると、引張力を受けている鋼材の切断を引き起こすので非常に危険である。

アルミナ分の大きいセメントを用いたPC部材の破壊はドイツで多くの例がある。その理由は、高アルミナセメントは、特別な場合には相当量の硫化物をふくんでおり、時間とともに構造に破壊的な変化を与える。これは比較的広い気孔をつくり、これをとおして大気から炭酸ガスが侵入して鋼材に達し、接触しているコンクリートからわずかながら硫化水素が出る。これが湿気とともに作用して鋼材をもろいものとする。G. Smolczyk が X線を用いて研究したところでは、硬化した高アルミナセメントの構造が長期にわたって不安定な結果によるものであることが明らかである。

#### (4) 保護の方法

プレテンションでは安全なセメント（高アルミナセメント以外のもの）の使用、腐食促進剤をふくむ混和剤の使用禁止（塩化物をふくむ物は使用しない）、コンクリートの施工を入念に（密度の大きいコンクリートをつくる）すると同時に適当なかぶりを取ることが大切である。ポストテンションでは、グラウトを入念に注入しシーラントと鋼線との間を完全につめることである。さらに現場でグラウト前に現場に存在するかも知れない有害な腐食性物質から保護することが大切である。

腐食を防止するための被覆膜の利用も注目されている。各種表面処理剤を用いて引張力を受けているPC鋼材のもろくなる性質を防止する試験が A. Hache によってなされている。この研究によると、鋼線がもろくなる傾向は、サンドブラッシングかまたは電解けんまによって、大いに減少されるとのことである。

エポキシレジを表面に塗ったPC鋼材についても相当な進歩がなされている。

### 5. PC 構造物の設計施工に関する指針

この指針の主なる目的の一つは、鉄筋コンクリートとプレストレストコンクリートの間に連続性を与え、より広範囲にPCが利用できかつ工費の節減が可能となるようにするためのものである。

本指針は CEB によって採用されている鉄筋コンクリートに対する規定と同じ原理を用いることとし、各種の限界状態に関する検討がなかな確率論的考え方によって行われている。この限界状態は構造物が使用不能、たとえば過大な変形、静的または動的な不安定、有害なひびわれおよび破壊などの状態をいう。PCではこの限界状態は、鉄

筋コンクリートよりもその数が多くなる。すなわち4つの新しい限界状態すなわちプレストレス減少、コンクリートひずみ限界、プレストレスを与えた直後の引張力と組合わせて最少荷重が作用したときの圧縮破壊およびせん断力によるひびわれである。

本規定は二部に分かれており、第一部は原理で、第二部は第一部の原理を利用するときの指針である。

第一部原理では、応力および荷重の設計値を定める場合の基準を定めている。

平均試験値から特性値を求める。これは試験値のばらつきを考慮に入れたもので、ばらつきが大きいほど平均値を大きく減少させる。

これらの特性値を用い安全率を考慮して設計値が定められる。この安全率は考える限界状態、材料（鋼またはコンクリート）および荷重に応じて変えられる。これら安全率は設計の不確実、施工の不確実および予想できない過大荷重などをカバーするものである。

これら材料と荷重に対する特性値の外にプレストレス力がある。これは外力と考えることができるので荷重と考えられる。しかしこの力はコンクリート乾燥収縮、クリープおよびPC鋼材のリラクゼーションなどにより時間的変化があるので、プレストレスを与えた直後のプレストレスおよび有効プレストレスがある。さらに施工中におこる前二者の中間値とがある。

プレストレスに対しては、その特性値は設計で与えられた値をもとにして定められる。最初に与えられた引張力の特性値は、引張力を求めるときの誤りの可能性を考慮に入れて求め、有効引張力の特性値ではプレストレス減少の見積りの誤まりの可能性を考慮に入れる。プレストレスの特性値から安全率を考慮して設計値を定める。この安全率は、ある限界状態が達せられる結果として生ずる与えられた限界状態の危険さに関係する。同時にこの安全率は、設計および施工中の不確実さに関係がある。

PCではRCよりもしばしば荷重の減少が不利となることがある。同様にプレストレスに乗ずる係数は考える限界状態に応じて変化させ、プレストレスの増加または減少が不利な場合に、それぞれこの係数は1より大きくしたり小さくしたりする。

各限界状態に対して外荷重およびプレストレス力に対する係数は、もっとも不利な組合せで考えられる。規定が真に興味を有しかつ現状をより発展させようとするのはパーシャルプレストレスである。すなわちコンクリートの伸びをある程度まで許容し、かつひびわれ限界状態を定めた。このようにしてフルプレストレスと鉄筋コンクリートとを結合できる。この両者および中間のものをクラスに分類できる。このクラ

ス分けは、肉眼で認められるひびわれの許容範囲に関する。

ひびわれの制限は腐食の危険性からのものであって、これがPCとRCとを異なるものとして取扱ってきた主な理由であった。しかし、現在までの経験によるとひびわれの危険は一般に考えられているほど重大なものではないことが明らかである。

他の条件はコンクリートの伸びの限界状態を定めるものであって、疲労が問題になる場合のことである。

破壊の限界状態に対してはRCの破壊計算に用いられている既知の仮定が受け入れられている。

コンクリートの伸びに関しては3種の限界状態がある。すなわちプレストレスの減少、最初の損傷の生ずる伸び、およびひびわれの与えられた開口に関するひびわれである。

プレストレスの減少は弾性範囲で計算される。

第二の伸びの限界状態もひずみは中立軸からの距離に比例するとして定められ、限界伸びの値は塑性またはマイクロひびわれに関する試験資料を考慮して定めるべきである。鋼材とコンクリート間の完全な付着を仮定する。

第三のひびわれ限界状態は、いったんひびわれの開口が規定されると、RCに関すると同様に計算される。すなわちプレストレス減少の限界状態と鉄筋またはPC鋼材およびコンクリートの応力変化に関する。

せん断力に関しては Morsch のトラス理論をPCに適用できるようにした。

指針の部では、すでに原理の部でのべたように、クラス分けは構造物の作用に関して定められ、2つの使用時主状態を考慮している。

構造物が置かれる外気がそれ自信腐食性のあるとき作用荷重の型式およびくり返しのあるもので疲労が問題となるとき、

すでに原理の部でのべたように、PC鋼材の保護について特別な注意が大切となる。

**a) 1 類** 腐食性大気中または疲労が問題となり、プレストレスが打ち消されてのちコンクリートの伸びが許容されない構造物では、ひびわれの危険性はのぞかれる必要があり、フルプレストレスの場合である。

**b) 2 類** 腐食に対して保護され、非常に大きい過大荷重や疲労は例外的と考えられる構造物。このような例外的荷重に対してコンクリートの伸びは、プレストレスを打ち消してから伸びの限界状態に達するまでの間で許容される。これはひびわれの危険性は望ましくはないが、許容されるものである。

しかしひびわれの危険を避けることが望ましい普通の

状態では1類の制限が成立する。

**c) 3 類** 疲労の問題はなく、また腐食性の大気中になき場合にのみ用いられる。ひびわれは許容されるが、ひびわれの幅は制限される。議論はあったが一応ひびわれはPC鋼材位置で開口したままであってはならないという制限を付している。またこの3類では相当断面積の鉄筋を配置して、破壊に対する安全性を確保するのはもちろん、ひびわれの分布状態の改善をはかる必要がある。

重要なことは同一構造物は上記の一つの類のみでなく多くの各類で設計してよいことである。たとえば橋梁を、静荷重および普通のオーバーロードに対しては1類で、例外的荷重に対しては2類で、地震荷重に対しては3類でそれぞれ設計できる。

リラクゼーションについての最大値は提案されていないが、長期間試験が望ましい。このような試験値のないときは1000時間試験値から100年までを推定してよい。

PC鋼材に与える最初の引張応力は、特性値の75~85%の間で定めるべきであるが、引張作業中における非弾性的ひずみを避けるため0.1%残留ひずみに相当する応力度の95%以上としないのがよい。

有効引張応力度は各断面で考える必要がある。しかしプレストレスの増加が有利なときには最大許容値は特性引張強度の60%以下とする。

最大荷重による破壊時(PC鋼材が引張側にある)の計算は一般に用いられる方法によっている。

最小荷重による破壊時(PC鋼材が断面の圧縮応力を受けている側にある)の計算には安全率をプレストレス引張力に乗じている。

T断面の圧縮フランジ有効幅についてはつぎのように規定してある。

- ① 考える桁の支承状態(単純か連続か)
- ② 荷重作用方法(集中荷重か分布荷重か)
- ③ フランジ厚さと桁高との比
- ④ モーメント0間の距離とリブ幅およびリブ間隔の比

などを考えて定めるが、一般には片側有効幅はモーメント0間距離の1/10またはフランジの片側幅を越えないようにとる。

1および2類の破壊限界状態での安全度の検討および3類に対しては上記の断面を用い、その他の検討で1および2類ではプレストレスモーメントと、プレストレス軸力との作用を区別する必要がある。一般には

a) プレストレスモーメントについては上記の有効幅を用いてよい。



b) プレストレス軸力はT断面フランジの中央面または腹部内に軸力の作用方向に対して $\alpha$ なる傾斜をする2本の直線にかこまれた角内にひろがるものとする。  $\tan \alpha = 2/3$  としてよい。

破壊モーメントの計算仮定は平面保持、破壊までの代表的応力-ひずみ曲線、および普通のコンクリート応力分布などである。

せん断に関する安全検討では、腹部のひびわれを制限するためコンクリート引張強度よりも小さい主引張応力

の制限または圧縮斜材の破壊を避けるため主圧縮応力度の制限とがある。

スターラップの計算には Mörsh のトラスが用いられているが、単純曲げの場合（鉄筋コンクリートでは一般的である）と軸力と曲げとの組み合わせの場合（PCの場合）との間の相違を考慮してある。よってPCでは圧縮斜材の傾斜は  $45^\circ$  以下としてある。また破壊直前の内力の再分配、これによるスターラップ応力軽減を考慮してある。  
(1966.8.30・受付)

## PC に関する講習会

— プレストレスト コンクリート最近の進歩について —

主催 土木学会 関西支部  
 協賛 日本建築学会 近畿支部  
 日本材料学会 PC 構造研究委員会  
 プレストレストコンクリート技術協会

1. 期 日：昭和 41 年 11 月 30 日（水）～12 月 1 日（木）
  2. 場 所：大阪科学技術センター 8 階大ホール
  3. 講 師：岡田 清・武尾武之助・藤井 学・鈴木計夫・六車 照・猪股俊司・岡本 剛・乙藤憲一・尾坂芳夫
  4. 参加費：主催・協賛学協会会員 1 500 円  
           非会員 2 000 円
  5. 申込期限：昭和 41 年 11 月 14 日（月）
- なお、詳細については、本誌 Vol. 8, No. 3, 会告欄を御参照下さい。

## 1967 年 開催 国際 会議

| 月 日        | 会 議 名                          | 開 催 地             |
|------------|--------------------------------|-------------------|
| 2/ 5～10    | ASTM 委員会                       | デトロイト (アメリカ)      |
| 3/13～17    | PC 圧力容器に関する会議                  | ロンドン (イギリス)       |
| 4/ 1～ 7    | ACI 年次大会                       | トロント (カナダ)        |
| 5/ ~       | 圧縮空気を用いる施工に関する IASS シンポジウム     | シュトゥットガルト (ドイツ)   |
| 5/ ~       | 建築部材工業生産品の設計、生産および使用 UNEC セミナー | パ リ (フランス)        |
| 5/ 1～ 6    | プレキャストに関する IVBH シンポジウム         | (オランダ)            |
| 5/22～24    | プレキャストコンクリート国際シンポジウム           | ロンドン (イギリス)       |
| 5/16～20    | IABSE の常置委員会                   | デリフル (オランダ)       |
| 6/25～30    | ASTM 第 70 回年次大会                | ボストン (アメリカ)       |
| 10/ 8～12   | PCI 年次大会                       | モントリオール (カナダ)     |
| 10/31～11/3 | ACI 秋季大会                       | Des Moines (アメリカ) |
| 11/ 5～12   | 第 13 回国際道路会議                   | 東京                |