

# FIP シンポジウム 1968 報告 (1)

## ——大量生産 P C プレキャスト部材——

猪 股 俊 司\*

1968 年 6 月 3~4 日の 2 日間にわたってマドリッドにおいて大量生産の P C プレキャスト部材に関するシンポジウムが開催され、P C 杭、P C ポール、P C パイプ、P C まくらぎの 4 種製品に関する各国報告の一般報告および討議が行なわれた。以下簡単にこれらの内容について報告することとする。

### 1. P C 杭 (報告者 Ben C. Gerwick Jr.)

P C 杭の製造方法には各種のものが利用されている。

1) ロングライン方式:長さ 65 m までの杭の製造に用いられ、直径 130 cm までの例がある。断面は中空の場合もある。このロングライン方式では、(a) 型わくは固定されている場合、(b) 型わくが移動する押し出し式の場合、等がある。

2) プレキャスト部材をポストテンション方式で結合する場合:目地はコンクリートまたはエポキシ樹脂とする場合がある。各部材は遠心締固めまたは鉛直打ちの場合とある。

3) 遠心力締固め杭:長さは約 12 m までであって、杭継手は溶接による。この製法では、(a) 型わくまたは型わく内の心棒をストラットとして P C 鋼材を緊張定着したプレテンション方式によるもの、(b) ポストテンション方式によるもの、の 2 つの方法が利用されている。

養生はすべての場合について蒸気養生が利用されている。

ロングライン方式で円形または八角形断面の杭の製造にあたって型わくの上側型わくは取去ることが可能になっており、コンクリート打ち後、蒸気養生前に取去って仕上げを実施している。いま一つの工法は移動型わくを用いるものであって、毎分 30 cm 程度の速度で型わくを移動させながらコンクリート打ちをするものである。

中空断面の杭をロングライン方式で製造する場合には内部に固定または分解可能な内型わくを利用する。直径 30 cm 程度までの場合、これらの内型わくは紙型わくまたは膨張させたゴム管などからなっている。イギリスで

は、一時的 P C 鋼材を緊張定着してこのまわりに紙または間隔の狭いワイヤーメッシュを巻きつけて、これを内型わくの代用とし、養生後にこの一時的 P C 鋼材をゆるめることにより、杭断面内に中空部を形成する。この P C 鋼材は再用可能である。

内型わくを滑動させる方法で 110 cm 直径の内空断面を造ることも可能である。

プレキャスト部材を製造し、これを約 10 cm のコンクリート目地 またはドライパッキング モルタル目地によって杭とすることもあり、ときにはエポキシを目地に利用している。この方法でオランダの Oosterschelde 橋では直径 4 m の杭が製造されている。

杭の継手に関しては非常に多数の例がある。理想的な継手は打込み中継手施工のために余り時間がかからないこと、必要な強度が発揮可能で、耐久であると同時に安価であることなどの性質を有しているものであることが大切である。日本では溶接継手が主として利用されているが、エポキシ樹脂を用いた継手は大きい曲げ抵抗が必要な場合にも利用可能である。ノルウェーでは、電熱を用いてエポキシの硬化を促進することで、継手施工に要する時間は 10 分程度であるといわれている。アメリカでは蒸気養生による促進硬化法が利用されている。

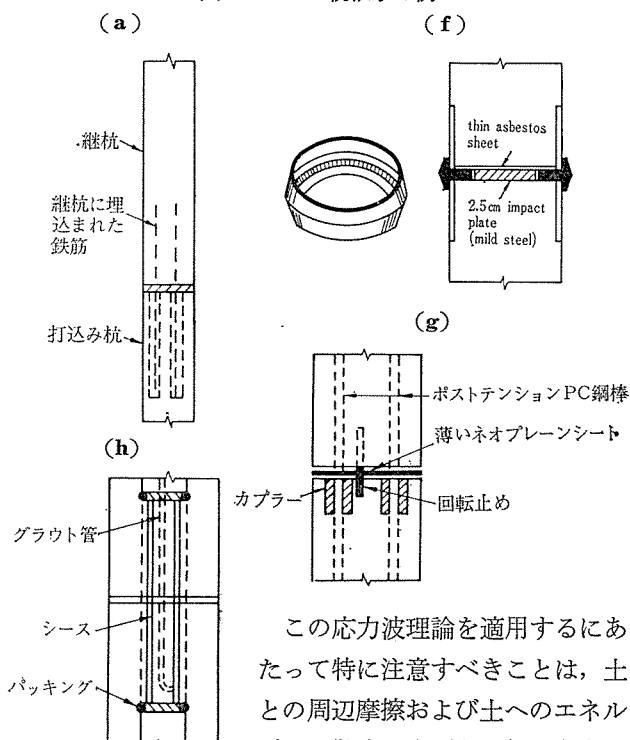
図-1 にはこれら継手の例を示してある。図中(a)はエポキシ樹脂と鉄筋埋込みによる継手の例で、ノルウェーおよびアメリカで利用されているものである。(f)はアメリカの特殊な“Brunsplice”継手であり、(g)はイギリスのポストテンション継手の例である。(h)は、ノルウェーの中空断面杭に用いられる鋼パイプ継手の例である。

応力波理論は杭の打込み中に生ずる現象を説明するためのものであって、衝撃の時間は  $4 \times 10^{-3} \sim 8 \times 10^{-2}$  秒程度のものであって、圧力波は音速程度で杭中を伝わり、杭の先端で反射されて先端が柔らかい場合には、引張応力波として先端が硬い時には圧縮波としてかえってくるものである。この結果、水中で硬い岩に対して杭を打込むと頭部では 2 倍程度の圧縮応力度となり、やわらかい基

\* 工博 株式会社日本構造橋梁研究所

礎中に打込む場合には、圧縮応力度の 50% 程度の引張応力度となることがある。実際に引張応力度によって水平ひびわれが頭部から杭長の約 1/3 位置で発生することが非常に多いのである。現在打込中応力度の計算にあたって考慮すべき要素は約 21 個ある。電算用プログラムも用意されており、変数の主なるものは杭重量、長さ、ヤング係数、ダンピング特性、ラム重量、衝撃速度、クッションの剛度、土の抵抗、杭先端条件等である。

図-1 PC 杭継手の例



この応力波理論を適用するにあたって特に注意すべきことは、土との周辺摩擦および土へのエネルギーの散逸の事項を一般に考慮しないので、理論適用には限界のあることことに注意する必要がある。さらに理論によると、杭長の 1/3 の中央区間で最大引張応力度が生ずることになるが、実際には杭頭から杭長 1/3 断面でひびわれが発生していることも、この理論適用に限界のあることを示している。

この理論によると杭頭クッションの重要性を示しており、同一エネルギーに対して、低速でラムの重い場合は高速でラムの軽い場合よりも生ずる応力度の小さいことを説明できる。衝撃の速度を減少させること（ストロークを短くしたり、落下高を低くする）およびクッションの厚さを増加させて、応力波の振幅を減少させることが可能となる。これは柔らかい基礎で、杭が途中の砂層のような硬い層を打ちぬく場合などに大切なことである。

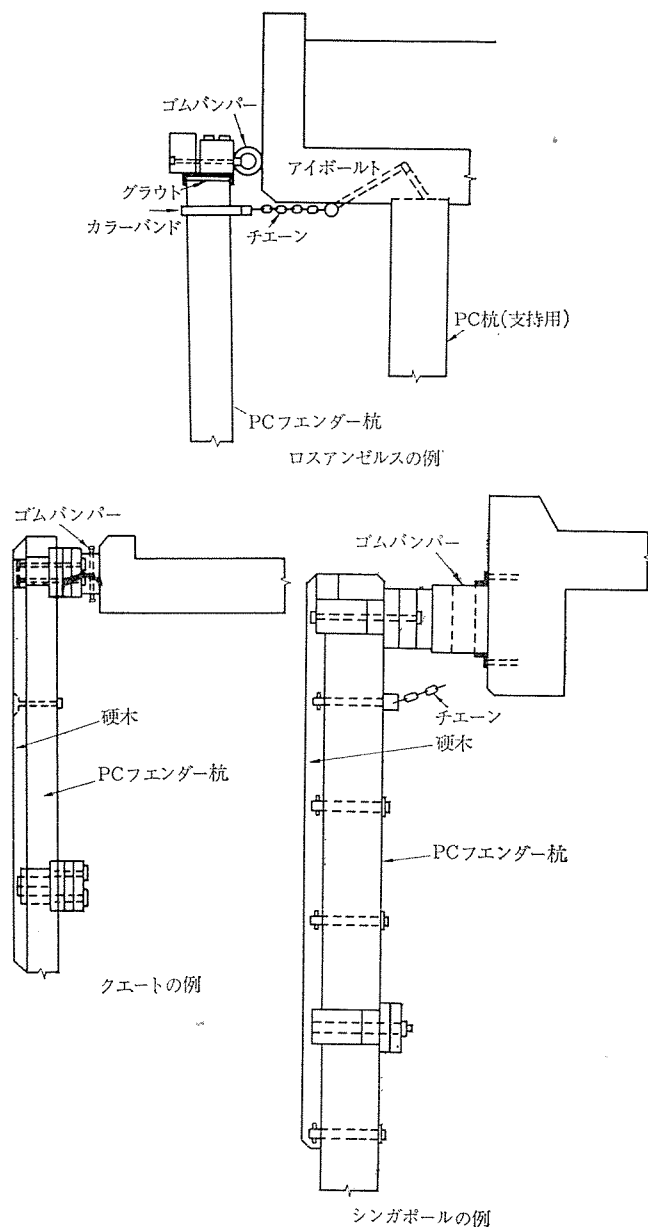
軽量コンクリートはそのヤング係数は小さいので、波の速度を減少させることが可能であり、最大応力も相当小さくなることになる。さらにダンピングも大きいので有利となるであろうが、コンクリート引張強度が普通コンクリートに比較して小さいので、これらの利点も打消

されるであろう。

PCフェンダーパイル。PCパイルは水平力に抵抗するためのフェンダーパイルとして非常に有利なものである。これはその強度に比較して断面 2 次モーメントの小さいものとして、最大たわみとエネルギー吸収とに対して設計される。これらの例を図-2 に示してある。クエート、シンガポール、ロスアンゼルス、サンフランシスコなどで実用化されている。軽量コンクリートはヤング係数が小さいので、たわみも大きく、エネルギー吸収も大きくなるので、この種構造物には最適かと考えられている。フェンダーパイルの外に橋脚保護用フェンダーとして、カリフォルニアでは盛んに用いられている。

PCパイルが、フェンダーパイルとしてエネルギー吸収の面から有利であるとする意見に対して、ヨーロッパ

図-2 PC フェンダーパイルの例



で一般的に考えられているPCのエネルギー吸収能力過少論による反対論も表明されたが、この種考え方、すなわちPCはエネルギー吸収能力が非常に小さいので、地震などのような衝撃的力に対して不適当な材料であるとする一般的風潮は相当根強いものであることがわかる。もちろんこの問題については将来の検討を必要とするであろうが、要は設計方法の問題と考えられる。

## 2. PCポール（報告者 S. Dmitriev）

PCポールはその断面形状から分類すると、(a) 充実断面（正方形、矩形、チャンネル、IまたはY断面）、(b) 中空断面（円形、多角形、正方形、矩形）、(c) 格子形（腹部に穴を設けたI断面）などに分類される。I断面、チャンネル断面などは材料の面からは有利であるが、表面積の大きいこと、取扱いの不便（方向性のあること）等の欠点がある。中空円形ポールはこれに対して a) 取扱い中、建込み中および使用時にも方向性が全くない。b) ねじり抵抗が大きい、c) 表面に角がないのでここが破損することもない、d) 表面積は比較的小さく平滑であるので、耐久性が大である、等の利点があるとされている。

コンクリートはその圧縮強度が  $600 \text{ kg/cm}^2$  程度のもので用いられており、試験的ではあるが、 $400 \text{ kg/cm}^2$  程度の圧縮強度を有する軽量コンクリートも用いられている。コンクリートの許容圧縮応力度はコンクリート圧縮強度の  $0.45 \sim 0.50$  倍であるが、ソ連では  $0.5 \sim 0.7$  倍までとしている。

製造方法として 1) 工場で1本のポールを、鋼型わくを用い遠心力締固めで造るが、水平に置かれた型わくでロングライン方式で振動締固めによって造り、内型わくをあとで引抜く方法による。2) 現場で水平に置いて造る。3) プレキャスト部材を組合せてポストテンション方式で現場でポールを造る、などがある。

ソ連では、熱間ロールPC鋼棒、異形PC鋼線、7本よりPC鋼線などが利用されている。スイスのBBRVではPC鋼線端を釘頭状に造ってアンカワッシャを用いて定着している。この場合、型わくを支承材とし遠心締固め方法を用いている。

PC鋼材に油をぬって付着を切り、テーパしたポール上方部分でのプレストレスまたは圧縮応力度が過大となるのを避ける工法が利用されている。

PCポールはすでに長年月にわたって実用されてきており、西ドイツでは外側のスパイラル鉄筋に対するコンクリートかぶりは  $15 \text{ mm}$  としているが、良好な結果がえられている。チェコスロバキア、ソ連などではすでに長い使用実績があって全く良好な結果がえられている。

PCポールの利点は各国の国情によって異なるのは当然ではあるが、ソ連では  $35 \sim 330 \text{ kV}$  送電線用ポールは鉄塔に比較して  $10 \sim 50\%$  も安価であるといわれる。東ドイツでの各種ポールについての経済比較によると、表-1 のようであって、60年間の保守費を含めてある。

表-1 送電用ポールの比較

	PC	RC	鋼	木材(注1)
製 造	100	115	85	95
保 守	—	—	25	70
合 計	100	115	110	165

以上はすべてPCポールを100とした場合である。

鉄塔の鋼材量を100とした場合、RCポールでは  $60 \sim 80$  であり、PCポールでは  $20 \sim 30$  となる。したがって、鋼材量はPCでは約  $1/3$  でありよいことになり国家経済上重大な意味を有している。

現在各国では標準が設けられて大量生産が可能になってきている。例えば、東ドイツでは最適断面を定めるため、コンクリート品質、直径、壁厚、プレストレスの程度、運搬状態、必要な曲げモーメント等を考えて図表を造っている。

ある与えられた曲げモーメントに対して、断面の直径およびコンクリートの品質は、与えられた壁厚に対して、コンクリート28日強度を増加させると、 $10 \sim 15\%$  減少させることが可能である。各種研究結果から標準設計が定められ大量に利用されている。西ドイツではねじり試験をも実施し、軸方向プレストレスはねじりによる斜ひびわれ発生に対しては大きい安全度を有していることが確かめられている。ひびわれに対する安全度は大体  $1.5$  であった。このねじり試験での破壊はテーパのついたポールでは、ポール先端から  $50 \text{ cm}$  程度の断面で生じている。コンクリート圧縮強度を  $700 \text{ kg/cm}^2$  に増加させようとしている。

ソ連にあっては、30年間にわたって、中空断面およびその他形状断面の部材に関して、各種載荷状態での研究がなされ、設計法の改善が続けられてきた。

遠心力締固め送電ポールの広範囲な応用の結果として、設計方法の改良、その品質、耐久性の増加のために製造方法についての改良が必要である、と考えられている。

振動締固めポールとの比較もなされているが、遠心力締固めコンクリートと同じ配合の振動締固めコンクリートとの強度間の正しい比がどれほどであるかを定めることは困難である。遠心締固めコンクリートの強度は同一配合コンクリートで、振動締固めしたものより  $25\%$  程度大きい。しかしながら、この値は多くの要素に関

係があるようであって、この問題についてさらに検討をする必要が認められる。

### 3. PCパイプ (報告者 F.W. Williamson)

PCパイプ設計の基本は確立されていると考えてよいか、最近の内圧と外力との組合せ作用について多くの注意がはらわれている。

アメリカにおいては、シリンダーパイプはこの両荷重組合せ状態に対して設計されることを必要とし、2つの設計方法が実用化されている。

第一の方法は全く実験式をもととしたものであって、多数の試験結果をもととして、図式が用意されており、任意方法のものに対しても利用可能となっている。クリープについてもひずみ計を用いたパイプの水圧試験から求められ、圧縮応力度の減少は圧力-ひずみ関係を時間的変化で求めてプロットすることで定めてある。よって任意の設計に対して、コアでの合成圧縮応力度およびこの圧縮応力度を打消すに必要な圧力が計算可能である。これらの値は設計用ノモグラムでの数値を定めるのに用いられるもので、曲線は、つぎの方程式で与えられている。

$$w = w_0^3 (p_0 - p) p_0$$

ここに、 $p_0$  : コアでプレストレスを打消すに必要な圧力 (外力の影響を含む)。 $w_0$  : 内圧作用なき状態でコアに最初のひびわれを発生させる3点支持荷重の0.9。 $p$  : 3点支持荷重  $w$  との組合せでの最大設計圧力。ただしライナーを有するパイプに対しては  $0.8 p_0$  をこえてはならない。 $w$  : 設計圧力  $w$  との組合せで、土圧と同等な3点支持荷重の最大値、図-3 にこれら曲線の基本形式が示してある。

第二の設計方法は、次式で示される設計用曲線を用いる。

$$p = \left( f_{cr} + 7.5 f_c' - \frac{M}{S} \pm \frac{F}{A_t} \right) \cdot \frac{A_t}{12 R_y}$$

ここに、 $p$  : 外荷重との組合せでの最大設計圧力でライナーを有する場合  $0.8 P_0$  をこえてはならない。 $f_{cr}$  : 合成圧縮応力度、 $7.5 f_c'$  : 許容引張応力度  $M$  : パイプ重量、水の重量および外荷重によるパイプ断面での全モーメント、 $F$  : 水の重量、外荷重、パイプ重量によるパイプ断面に生ずる軸力、 $S$  : 断面係数で、クラウンとインパートでは全壁厚を、側面ではコアのみを考えて求められる。 $A_t$  :  $S$  を求める場合の断面での換算断面積、 $R_y$  : 鋼シリンダーの外半径、図-4 にはこの図の代表的なものを示してある。

イギリスでは、PCパイプの規格を定めるにあたって多くの試験を実施し、これを理論的に検討している。図

図-3 PCパイプ設計用ノモグラム

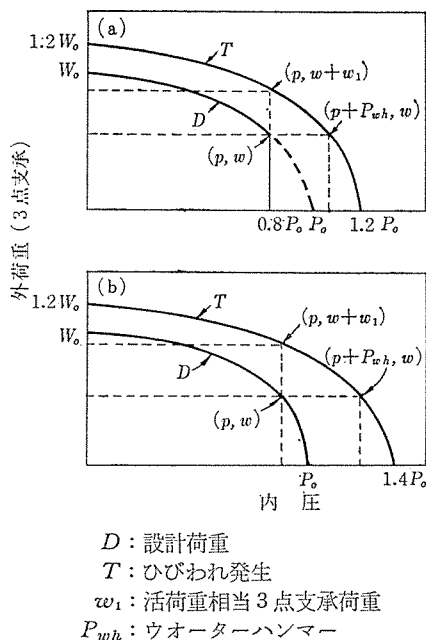


図-4 PCパイプ設計用ノモグラム

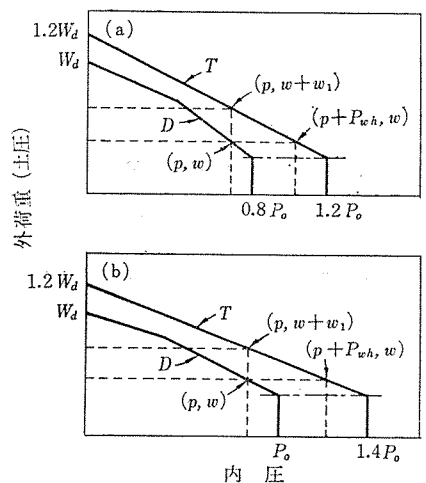
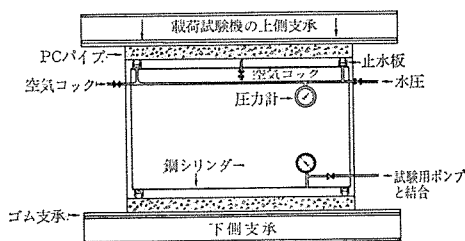


図-5 試験装置



—5 にはこの種試験方法の概要を示してある。図-6 にはこれら試験結果の一例が示してある。

PCパイプの円周に沿って配置されたPC鋼線の保護は、一般にモルタルまたはコンクリートによってなされている。モルタルを高速で吹付けるのが最も一般的であるが、アメリカおよびイギリスでは、モルタル吹付け前にセメントスラリーをPC鋼線表面に吹付けてアルカリ性を増加させている。コンクリートの場合は型わくを

用いて、振動締固めをしたり、パイプを回転させながら、コンクリートを振動締固めながら保護層を造る。

ソ連の一例では、保護層を設ける際には、パイプに内圧を作用させておき、保護層が十分硬化してから、内圧をゆるめる方法によって、パイプ耐久性が改善されるとしているが、コンクリートのクリープ、乾燥収縮によ

ってこの効果は消えてしまうようであって、効果はあまり期待できない。スイスではエポキシ樹脂による保護層について検討中である。この試験によると高圧になっても保護層のひびわれは防止可能であるといわれている。

カソードによる防食法の利用がアメリカおよびイギリスで検討されている。PCパイプにはこの種の防食方法は経済的に応用可能であると考えられている。

#### 4. PC まくらぎ (報告者 J.W.A. Ager)

道床砂利の面は完全に平らとはならないので、まくらぎに生ずる曲げモーメントは、非常に変化するものである。このため、まくらぎの設計にあたって2つの考え方がある。

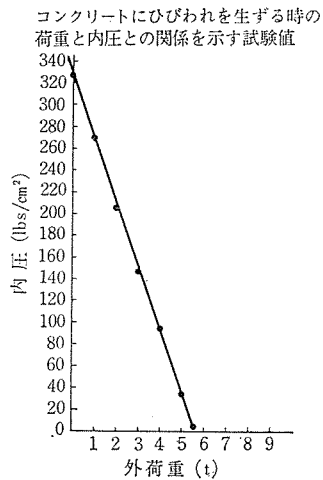
第一は中央断面で曲げに対する抵抗を最少として、バラストの水平面の変化に適応できるため、コンクリートまくらぎはフレキシブルな物であるという意見であり、

第二はバラスト面の水平面の不完全性に関係なく、作用する曲げモーメントに十分抵抗可能なようにし、かつ一本のものとするべきであるという意見とある。

フレキシブル形式のまくらぎは本質的には3つのブロックからなっており、各部材間または中央部材自身での継目で、この可撓性を与えるものである。しかし、この種まくらぎはゲージの保守の点で欠点があるので、高速運転の軌道では常に1本物のまくらぎが用いられているのが普通である。

多くの国で1本物まくらぎが用いられているが、まくらぎからバラストへの反力の分布については国々で異なっている。すなわち形状の変化、バラストの入れ方の変化等に異なる考え方が認められているが、まくらぎ中央曲げモーメントを減少させるようにしていることは各国とも同一である。このため、中央区間での幅は軌条下よりせまくしている(ドイツの例)、中央区間の下端面積を

図-6 33 in PCパイプについての試験結果



減少させてバラスト反応を減少させる(ポーランド)、中央区間を傾斜面として平らな面をなくする(アメリカ)、中央区間を高くするなどの形状を用いている。

この種の考え方の一つとしてまくらぎ下バラストを軌条下のみとし、中央のバラスト部分に溝を設けた例もある。これは十分な保守をしないと、次第にこの溝が埋められて、まくらぎ中央区間でも反力を受けるようになる欠点がある。

まくらぎの製造方法として一般にプレテンション方式とポストテンション方式の両方式が利用されている。またプレストレスを与える時のコンクリートの圧縮強度にも、国によって異なるが、表-2にはこれらの一例を示す。

表-2 製造方法とプレストレスを与えてよいときのコンクリート立方体圧縮強度

国名	製造方法	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
東ドイツ	型わくを支承とするプレテンション	400
西ドイツ (Thosti)	型わくを支承とするプレテンション	450
西ドイツ (Dywidag)	ポストテンション	450
ポーランド	ロングライン プレテンション	420
ソ連	型わく支承およびロングライン プレテンション	350
イギリス	ロングライン プレテンション	350
アメリカ	型わく支承およびロングライン プレテンション	570

プレテンション方式の場合のPC鋼材の伝達長の問題は大切であって、これは軌条下断面とまくらぎ端断面との距離をこえてはならないと考えられる。この点に関してアメリカの試験結果を示すと、表-3 のようである。

表-3 直径 11 mm ストランド伝達長

PCストランド表面状況	ストランド端引張力解放法	まくらぎ端からの伝達長
表面光輝	ガスによる急激切断	71 cm
表面一部錆	" "	58.5 cm
錆付	" "	48.5 cm
異形	" "	56.0 cm
表面光輝	ストランド端をゆっくり解放	38.0 cm

上記試験まくらぎの軌条は、まくらぎ端から 53.5 cm 位置にあるから、アメリカのまくらぎが軌条下断面で必要なモーメントに抵抗できないかが表-3 から明らかである。ガスで切断する方法によったのでは信頼できるまくらぎの製造は困難である。

イギリスでは直径 5 mm の異形 PC 鋼線を用いて、

伝達長が 50 cm 以下となるようにしている。

上記プレテンション方式以外ポストテンション方式を利用しているのは西ドイツの Dywidag まくらぎのみである。

PC まくらぎで最も問題となるのは、軌条とまくらぎとの結合方法であって、各種のものがそれぞれの国で利用されている。

ヨーロッパ各国ではスラブ形式の軌道床版の研究試験が現在実施されてはいるが、二方向にプレストレスを与えた床版の製造方法に関する問題は完全に解決されていないようである。

以上簡単に FIP シンポジウムでの PC プレキャスト製品について報告を終るが、最後に筆者の一般的感想を二、三つけ加える。

世界的にみてプレキャスト PC 製品の使用は非常に盛んであって、非常に大規模な機械化された工場が盛んに

建設されている一般的な感じを受けた。日本の家内工業的な生産設備とは比較にならない大きい工場を二、三見学する機会があったが、主として建物用部材として非常に広範囲な販路を持っているようである。大量生産によるコストダウンと同時に新しい利用面の開拓努力とがうまく両立していると考えられる。現在の日本の状況は各種製品ごとに協会などがあり、プレストレストコンクリート製品としての一貫した統一に欠ける所があると考えられる。このためプレストレストコンクリートそのものに関する統一的な思想に不備な面があることは事実であると思われる。このため利用者側に対する説得力にも不十分な所が生ずる結果、諸外国に比して販路の拡張におくれをとっているのではないかと考えられる。将来は国内の PC プレキャスト業界の連絡をよくし、新しい研究とともに新利用面の開発につとめられる態勢の強化が望まれる。

1968.7.30・受付

## PC 構造物設計図集発売について

当協会では、先に「PC 構造物設計図集」の出版を企画し、予約募集いたしました。諸般の事情にて大幅に発刊が遅れ、ご予約された方々に大変ご迷惑をおかけし誠に申し訳ございません。

このほど本会編集、(株)技報堂発行の形で出版となりましたのでお知らせ致します。

本書は、本協会誌「プレストレストコンクリート」の末尾に掲載致しております折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PC の設計・施工に携わる方々のご使用に便利なように、土木編 (32 編)・建築編 (28 編)・その他 (4 編) の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元に是非お備え下さいませよう、おすすめ申し上げます。

出版社と協議のうえ、500 部に限り会員特価を設けましたので、希望者は本誌貼付の申込用紙御使用の上お申込み下さい。特価部数が売切れますと定価となります。

体	裁：B 4 判	138 ページ	活版印刷
定	価：1500 円	会員特価：1200 円	
送	料：150 円		