

第4回 FIP 国際会議報告

猪 股 俊 司*

第4回 FIP 国際会議が去る5月27日～6月2日にわたり、イタリアのローマおよびナポリにおいて開催された。筆者は当協会代表として出席を求められ、幸い日本学術会議の推薦を受けることができた。ここに会議参加報告をすることにする。

会議開催の前日 FIP の総会があり、新会長および新副会長には、それぞれ Y. Guyon 氏および Franco Levi 氏が選挙された。会議参加国は45カ国、その人員は1500名（会員同伴婦人を含む）にも達し、常時会場には1000人程度の参加者があり、非常な盛会であった。

今回の会議における議題は I～V の5つであり、さらに PC 舗装および滑走路に関するシンポジウムが最終日に開催された。

議 題 I 特に耐久性、疲労、等に関する研究結果

一般報告者は S.S. Daoydov 氏で、その報告において特に強調した点はずぎのようであった。現在までのところ PC 構造物の破壊荷重については多くの注意がはらわれてきたが、構造物使用中における状態についてはまだ十分な研究がなされていない。PC構造物の安全性

写真—1 会場人口にて（渡辺、筆者、岡田の各氏）



* 工博 極東鋼弦コンクリート振興 KK 設計部長
本協会理事、編集委員長

としてプレストレスの減少量に関係するものであるが、この値は各種の状況について、まだわからない点が非常に多い。ひびわれ抵抗の低い PC 構造物を用いる場合には、構造物剛性をより正確に研究する方法、および PC 鋼材の腐食をより効果的に防ぐ方法、等が必要になる。圧縮を受けるスレンダーな部材の安定性に関するプレストレスの影響の問題は、まだ十分に検討されていない。このような場合には、構造物の変形がとくに重要である。

ソ連の報告中にスレンダーな PC 圧縮機の安定性に関する試験結果があり、これによるとプレストレスが増加するとともに安定度が増加すると報告されている。これと似た報告がオーストラリアからもなされている。またスパイラルを用いて三軸方向にプレストレスを与えたコンクリート部材についての試験もなされ、構造物の強度および剛度を増加させるのに役立つので、大スパンまたは高さの高い PC 構造物を建設するのに役立つであろう。

パーシャル プレストレッシング PC 構造物においてひびわれ幅の制限、たわみの計算法、この種 PC 部材断面算定法、等について、ドイツの P. Mlosch、イタリアの G. Macchi の報告があった。PC 構造物においてひびわれを時に許容することは、合理的である場合もあるので、特にこの方面に関する研究が今後とも必要である。ポーランドの報告ではひびわれ発生前の PC 部材の状態が論ぜられまた、弾性範囲をこえた場合のモーメントの再分配による耐荷力の計算法が述べられている。これによると危険断面の変形可能性が不十分な場合には、実際の破壊荷重が弾性論による破壊荷重より小さいことさえあることを示している。

PC 構造物の応力および変形に対する時間の影響に関する報告のうちで、イタリアの Levi はコンクリートのレオロジカルな性質とコンクリート配合との関係を定める方法について提案をしている。Levi はコンクリートを弾塑性材料（セメントペースト）および弾性材料（骨材）から成るものと考えた。レオロジカルな方程式を用い、理論と試験結果とが定性的にも定量的にも一致できるようにレオロジカルな模型を考えている。この種の考察は将来発展するものとして非常に興味深いものがある。

イタリアの報告に材令14年のプレテンション PC

プレストレス コンクリート

びり (7.20 m スパン) についてプレストレスの減少程度を測定するための実物試験がなされた。このはりは事務所建物の一部として利用されているものである。ひびわれ、および、ひびわれ再開試験結果と、計算プレストレスとを比較してプレストレスの減少は非常に小さく、3.3~10.9% にすぎなかったと報告している。しかし、これらのはりが 14 年間利用されていたときの状況についての観測がないのは、資料として不十分である。長期間にわたって載荷された PC 構造物の状況を検討するための、統一的な方法が用いられるようになることが望まれる。

PC 鋼材のレラクセーションについては多くの報告があり、ハンガリーの実験式は、100 000 時間においてつぎの式で与えている。

$$\Delta\sigma_r = \alpha \frac{\sigma_V - 0.19 \sigma_B}{1.35 - \frac{\sigma_V}{\sigma_B}}$$

ここに、 σ_V : 最初の引張応力度、 σ_B : 引張強度、 α は kg/cm^2 で表面平滑な $\phi 5 \text{ mm}$ PC 鋼線 (120/150) について次表のような係数である。

α の値 (kg/cm^2)

α	引張応力度を 1 回で与えたとき	10% 増しの引張応力で 10 分間ストレッチしたとき	5% 増しの引張応力で 5 分間ストレッチしたとき
	1 230	730	920

フランスでは (147/153) の $\phi 5 \text{ mm}$ PC 鋼線について 7 年間の試験結果が報告された。

(1) 初引張応力度 107.6

kg/mm^2 ($\approx 0.7 \sigma_{pu}$) レラクセーション試験

(2) 初引張応力度 122

kg/mm^2 ($\approx 0.8 \sigma_{pu}$) レラクセーション試験

時間	引張応力減少 (kg/mm^2)	時間	引張応力減少 (kg/mm^2)	時間	引張応力減少 (kg/mm^2)	時間	引張応力減少 (kg/mm^2)
1 時間	0.8	3 年	4.0	1 時間	1.9	3 年	6.3
1 日	1.3	4 年	4.1	1 日	2.7	4 年	6.6
10 日	1.6	5 年	4.4	10 日	3.3	5 年	6.9
100 日	2.3	6 年	4.6	100 日	4.2	6 年	7.1
1 年	3.0	7 年	4.7	1 年	5.2	7 年	7.3
2 年	3.6			2 年	5.8		

以上は PC 鋼線を単独にレラクセーション試験したのであるが、同じ鋼材を用いてコンクリート部材にプレストレスを与えたときの鋼材引張応力度の減少の測定をした例を (3), (4) に示す。

以上の表では 7 年でプレストレスの減少は 17~18% で従来考えられている値と大体一致している。

オーストラリアの PC 鋼線についてのレラクセーション結果も報告された。またオーストラリアでは PC 鋼線の腐食に対する保護としてエポキシを塗ることについて試験がなされ、また付着の効果についても試験された。引抜試験ではエポキシを塗ると付着が非常に増加

(3) 初引張応力度 120.8

kg/mm^2 ($\approx 0.8 \sigma_{pu}$)

材令 1 カ月でプレストレスを与えた。初プレストレス = 92 kg/cm^2

(4) 初引張応力度 120.5

kg/mm^2 ($\approx 0.8 \sigma_{pu}$)

材令 1 カ月で 116 kg/cm^2 のプレストレスを与えた。

時間	引張応力減少 (kg/mm^2)	時間	引張応力減少 (kg/mm^2)	時間	引張応力減少 (kg/mm^2)	時間	引張応力減少 (kg/mm^2)
1 時間	2.2	3 年	18.2	1 時間	2.4	3 年	19.6
1 日	3.5	4 年	18.9	1 日	4.1	4 年	20.5
10 日	6.7	5 年	19.4	10 日	7.4	5 年	21.1
100 日	12.2	6 年	19.7	100 日	13.3	6 年	21.6
1 年	15.5	7 年	20.1	1 年	16.8	7 年	22.0
2 年	17.3			2 年	18.8		

プレストレスの減少は 7 年で 15.5 kg/cm^2

プレストレスの減少は 7 年で 21.3 kg/cm^2

し、さらにエポキシを塗って砂をつけたものが最も有効であった。塩化カルシウム 2% を用いて蒸気養生したとき、エポキシを塗ったものはほとんど腐食の傾向を示していないので、十分防錆効果が期待できると報告している。PC 鋼線の腐食による PC サイホンの破壊例がフランスから報告され、再び PC 鋼材の腐食に関する研究の強化が要望された。

疲労に関する報告のうちイタリーでは 5~7 mm の PC 鋼線の疲労強度に対する荷重速度の問題が研究された。380~1 000 c/min の範囲では回数の増加とともに疲労限も増加するが、5 500 c/min では疲労限は 8~14% も増加するとのことである。したがって疲労試験に際してはこの影響を考慮に入れる必要がある。スイスでは 6 年間使用した 38.8 m の PC 橋をくり返し載荷によって破壊させたが、動荷重の 2.54 倍で、 6.65×10^6 回のくり返し載荷で支承付近で破壊を生じた。

ベルギーの報告では桁の疲労強度に対する付着の影響について試験をし、その結果について、つぎのように報告している。1.6×(設計荷重) すなわち、ひびわれ前までの桁の作用はシース内に注入したのも、桁の外側に注入しない PC 鋼材を配置したのも、またプレテンション方式によるものもすべて同一であるから、この荷重範囲内では疲労に対して付着の有無は関係がないことが確かめられる。

ひびわれ後に差が現われ、付着のある桁ではひびわれ本数が 11~17 本であるのに対し、付着のない場合には 6 本にすぎない。また 1.8×(設計荷重) では平均ひびわれ幅は付着のあるシース内注入をしたものは、0.14 mm プレテンション桁では 0.08 mm; 付着のないものでは 1.95 mm と、いちじるしい差が認められた。疲労破壊の安全率は付着のある場合は 2 以上であるが、付着のないものでは 1.8 にすぎないのである。

なおスイスの報告では合成桁、プレストレスを与えた合成桁、PC 桁について疲労限の検討をなし、PC 桁

が有利となることを示している。すなわち（疲労破壊モーメント）/（静的破壊モーメント）の比は PC では 70～78% となるが、合成桁では 62～65% にすぎないことを明らかとしている。

以上のほかにシャーレ、送電柱などについても報告された。

議 題 II 現場問題、補修、その他

一般報告者は D. Vandepitte 氏であった。ニュージーランドでは次第に早強セメントが使用されるようになるにしたがって、しばしば乾燥収縮ひびわれが認められるようになった。オーストラリア、ポーランドでは部材の下突縁や腹部コンクリート締固めが困難となる例が多いことを述べ、現在普通に用いられる腹部幅は一般に狭すぎると考えられている。また、定着装置背面のコンクリートが破壊する例も多いので、強硬なコンクリートを打つと同時に、スパイラル鉄筋も併用するのが望まれる。また PC といえども保守の面である程度の注意が必要であることをドイツは Aue 橋 (1935～37) の例について報告している。

PC 鋼材のダクトを造る各種方法(金属板シース、ゴムチューブ、等)についてイギリス、チェッコ、等から特種なものが報告されている。

プレキャスト部材間の目地についてイギリスおよびオランダより報告され、イギリスでは特殊な場合には合成樹脂が目地材として利用され、目地部の引張強度が期待できるようにし、また寒冷時の施工に応用しようとしているが、まだ単価の点で一般的とはなっていない。オランダの報告は Haringuliet の Nabla 桁のプレキャスト目地についての試験についてであって、目地部が特に大きいせん断力に抵抗できるものでなければならなかった。各種試験の結果ほとんど三角形断面(9 cm 巾, 4 cm 深さ)の切欠きを打継面に造るのが最適であることを示している。

PC 鋼材の事故としてイギリスでは PC 鋼棒が定着部に直角となっていないため、プレストレスング時に切断した例が多いとのことである。PC 鋼材の腐食切断についてイギリスおよび日本より報告され、再びオイルテンパーものが冷間引抜 PC 鋼線よりも応力腐食を受けやすいことが問題となっている。イギリスの報告によると、応力腐食は次の 2 つの条件のいずれか一方でおきている。a) 通常の冷間引抜 PC 鋼線よりも Bainite 量が多い PC 鋼線で、普通的设计状態におけるよりも大きい応力を受ける場合。b) 普通の冷間引抜 PC 鋼線で非常に腐食性の大きい状況にさらされた場合。イギリスでは海岸地帯の工場地帯に造られた汚水タンクが破

壊し、米国でも同様な破壊事故が報告されている。

プレストレスングの問題で、測定値と計算値との間のばらつきについて解析をした日本の報告は重要視された。ドイツから、現場においてプレストレスング作業中に引張力と伸びとの関係を自動的に記録する装置について報告があった。

摩擦に関してイギリスでは PC 鋼材をコンクリート部材の外側にサドルを置いて配置することにより、摩擦損失を 30% から 6% に減少させることができたことが報告されている。このような PC 鋼材をコンクリート部材側に配置する例は、すでに広くベルギー、イギリス、ドイツ、その他の国でも用いられている。しかしこれに関しては付着のない場合の構造物強度低下、たとえばあとでコンクリートで巻いたとしても、PC 鋼材腐食防止が完全に行なわれうるかどうかについて、多くの疑問と討議とがなされた。

グラウトおよび注入に関しては FIP-RILEM 合同の指針が報告された。また各国の報告(チェッコ、ソ連、オランダ、日本、等)はいずれも w/c を 0.45 以下とする点では完全に一致している。ニュージーランドおよび日本の報告はともに注入口と排出口とでグラウト流動性を測定することを求めている。イギリスの報告では、特別な混和機(流動性を増したり、膨張させたりする目的のもの)を用いるよりも注入に関する基本的な注意の方が重要であると強調している。またニュージーランドではシースのかぶりが小さいとき、あまり高圧で注入したため、桁フランジを破壊した例があると報告している。

凍結によるひびわれはチェッコ、ソ連でも認められるとのことであって、ソ連では石油工業の廃物をグラウトに混合して凍結抵抗性を増加させている。

PC の耐火性についてはイギリス、日本、米国からの報告があり、いずれも PC の耐火性について一般には安全であるとの感じを与えている。米国では火災を受けた PC 部材の再使用可能の判定規準として、つぎの事項について検討するとのことである。最初のそりの消失、たわみ、ひびわれ、または PC 鋼材に沿っての腹部コンクリートのはく落、あるいは定着部付近の破壊、等。

コンクリートのひびわれ修理について、イギリスではひびわれの中にエポキシ樹脂を注入しているとのことであった。フランスからは現存構造物の修理、補強、等にあって、コンクリートまたは石材の内部または外側に沿って配置された PC 鋼材を用いた実施例について報告されている。

ベルギーの報告に、長大スパンの PC 桁の施工につ

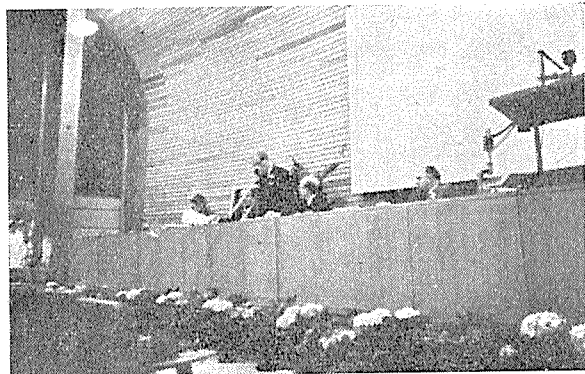


いて新しいアイデアが示された。すなわち、示された例によると、スパン 120 m、高さ 6.0 m の箱断面の道路橋を考え、最初全断面のコンクリートを施工するが、断面の上部 4 m 区間は連続的にコンクリート打ちしてあるが、下部 2 m 部分は水平目地によって上部とは絶縁され、スターラップで吊ってある。また下部の部分は多数の鉛直目地によって分割されている。パラボラ配置のケーブルによって全自重を上部の桁で受けられるようにする。支保工を取りのぞいて、腹部および下部分の水平および鉛直目地のコンクリートを打ち、さらに P C 鋼材を配置してプレストレスを与える。このような施工法によって 15%以上の節約が可能とのことである。

議 題 III 規定、安全度、パーシャル プレストレッシング、軽量骨材、等に関して、P C の経済性

本議題の一般報告者は H. Bay 氏であり、筆者が議長をつとめ、副議長はローマ大学教授 Domenico Gentiloni Silvers 氏であった。論文は、米国、英国、ルーマニア、オーストラリア、日本、ソ連、ハンガリー、ベルギー、ポーランド、ドイツより提出されたものであって、P C 構造物の経済性と、P C に対する規定または指針との関係を論じたものと、構造物を経済的に建設するための P C 部材についての試験とその理論とに大別することができる。

写真—2 議題 III の開会



向って左より FIP 事務局 Dr. Andrew, 一般報告者 Dr. Bay, 議長(筆者), 副議長 Prof. Domenico Gentiloni Silvers, FIP 副会長 Franco Levi

パーシャル プレストレッシングが世界各国で次第に広範囲に利用され始めている。米国では 1950~1959 まではフル プレストレッシングが要求されきたが、今では設計荷重に対して引張応力を許さないのは、あまりにもきつすぎる、ということがわかってきた。特にフルプレストレスとした場合のそりが過大となりやすい点が強調され、またパーシャル プレストレッシング とすれ

ば、ひびわれおよび破壊の安全率を低下させることなしに他の構造材料と経済的に対抗できることになることが、米国では特に重要なことである。

イギリスの報告によれば、プレ テンションおよびポスト テンションではそれぞれ、53 および 46 kg/cm² までの引張応力度を受けても、ひびわれは全くおこらないとのことである。特に部材に作用する荷重の増加にしたがって順次プレストレスを与えるようにすれば、パーシャル プレストレッシングは非常に有利となることを、ビル建築の例について述べられた。

コンクリートのクリープ、乾燥収縮の値は非常に多くの未知の要素すなわち、用いられたコンクリートの内部構造(骨材、モルタル量、水量、養生状況)および構造物の周辺の状況(コンクリート打ち中の温度、湿度、風の方角および強さによる乾燥差、等)などに関係するもので、これらはあまりにも多要素に関係するから、現在のところは限界値を考え、その値を規定する以外にはないであろう。特に不静定構造物ではクリープおよび乾燥収縮による内部応力の変化および再分配があり、これを上記限界値を用いて計算すると、構造物の経済性に影響するものであるから、将来この方面の研究が、さらに進められることが望まれた。

軽量骨材の使用によって自重を減少させ間接的に経済性をえようとする研究は広く行なわれている。P C を用いると R C に比較して断面寸法を小さくすることができるので構造物の自重を大いに減少することはできる。しかし従来の骨材を用いたコンクリートの重量は 2.4~2.5 t/m³ である。したがって強度低下、クリープおよび収縮の増加をきたすことなしに比重を減少させようとするのは当然のことである。細粗骨材をいずれも軽量骨材とする場合についても研究(米国)がなされている。1.6~1.68 t/m³ の軽量コンクリートでも P C 鋼材を用いて P C とすることができるとのことである。以上のほかに軽量コンクリートを用いる理由として、2次部材(小ばり、スラブ、等)の材料に軽量コンクリートを利用すると、全自重は構造物全体として 20~30% も軽減できるので、主構造 P C における P C 鋼材量が 15~25% も節約となる。しかし一層の建築物では軽量コンクリートを用いてもコストの軽減は全体で 2~5% に過ぎないとのことである。英国の報告によると 1.7~1.8 t/m³ の軽量コンクリートが用いられたが、弾性係数が非常に小さく、またクリープが非常に大きいとのことである。しかし 12 時間加熱養生をすると圧縮強度は 350 kg/cm² のものが求められ、スパン 10 m までの P C 床版、小ばりが製造できるといわれる。

P C 部材の工場製造の方向は一般化されており、米

国、英国、ソ連、ハンガリーの報告ではプレキャスト部材の使用による PC の経済性が強調されている。米国の報告によればプレキャスト PC 部材は引張材として広範囲に利用される可能性がある。すなわち、これらを型わく代用として利用し、これをそのまま部材の一部として使用するものであって、これは従来の一時的型わくよりも安価であるとのことである。英国では建築中の建物の 1/2 以上のものが、プレキャストおよび組立構造である。

ソ連では近年まではポストテンションがよく用いられてきたが、現在はプレテンションの方も広く用いられるようになってきている。これは従来古い設備が新しいものと取りかえられ、多数の新しい PC 工場が建設されたことによるものである。ポストテンションが用いられるとすれば、上記部材の組立用に用いられるとのことである。

議 題 IV プレキャスト工場生産と標準化の進歩

一般報告者は B.C. Gerwick Jr 氏であった。一般的にはあらゆる点においてプレキャスト PC 工業の発達も現在も続いているという感を深めるものばかりであった。

標準化は世界一般に広く行なわれ、生産技術は大いに進歩し、すべての点で機械化され、工場の流れ作業が行なわれている。

全体としてプレキャスト部材の新しいものとして、三軸方向構造物に用いる部材に広く用いられていることである。

工場製標準化部材としてイギリスより報告討議された 30~50 ft の道路橋用桁（スラブ橋用で日本の JIS 桁に似ている）の製作にあたって同一の型わくを用い PC 鋼材量のみを変えているのである。断面を変えると高価な型わくが多数組必要である。これに対して英国の標準桁では下突縁部の型わくはすべての場合について同一であって、桁高を変えるために腹部の型わくを鉄板の継ぎたしによって実施するものである。したがって工場では下突縁部分の型わくと、腹部高さを調節するための鉄板のみを用意しておけば、断面は容易に変えられ、非常に多くのスパンの桁が造れることになる。また英国では、この種スラブ橋では横方向には鉄筋コンクリートとしている。すなわち、桁の腹部の穴を通して鉄筋を配置して間詰めコンクリートを施工するものであって、日本のように横方向にプレストレスを与えていない。このため非常にコストの安い橋梁が施工できる。横方向プレストレスについては英国でも多くの議論があったが、試験の結

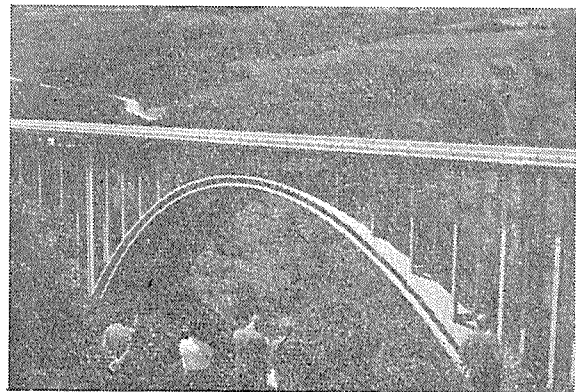
果によって、RC としても十分な安全度が認められたので、このような設計になったとのことであった。日本においても JIS 桁についても一考を要する時期にあると考えられる。

議 題 V 第 3 回国際会議以後に建設された PC 構造物

各種 PC 構造物についてスライド、映画を用いて説明があり、特に大きい構造物の例として最大スパン 235 m を有する総延長 8.7 km の Lake Maracaibo 橋の工事スライドが示された。工事規模の大きいことは日本の従来の PC 工事を見なれた目には驚異であった。またオランダの Haringvliet におけるデルタプランの一環として施工中のゲート橋の映画があった。ピヤール間隔 60 m、全体で 17 スパンあり、桁断面は三角形で上巾 22.40 m、高さ 12 m、壁厚 60~50 cm の巨大なものである。すべてプレキャスト部材からなり、1 個の部材重量は 250 t で、巨大な門型クレーンによって取扱われていた。プレストレスは、フレシナー、BBRV、ディビダーク鋼棒、を 1 個の桁に併用している。映画の説明中に、「かくのごとく各種工法が平和的に共存している……」という言葉があったとき、会場一杯に大拍手がおこったのには感銘を深くした。

会議終了後イタリー太陽道路に沿っての各種構造物の

写真—3 太陽道路のアーチ橋



写真—4 太陽道路の PC 橋

