

ヨーロッパにおけるPCの現状 1

菅 原 操*

1. まえがき

筆者は昭和 35 年 8 月より 36 年 6 月までの間、鉄道建造物の諸問題と、PCの設計、施工の問題の研究のため欧州に留学し、この間欧州各地をまわって、PCの現状を調査する機会を得た。

橋梁に対するPCの利用状況から見ると、わが国では鉄道橋約 500 連、道路橋約 20 000 連がすでに施工され、その数において欧州諸国をはるかにしのいでいるが、設計、施工の細部においては、まだいくらかの研究問題を有しており、これらの問題点についての欧州の実情を調査し、また欧州において発達している橋梁以外の構造物に対するPCの適用について学ぶことが留学の一つの目的であった。またここに一つの問題があった。すなわち、わが国鉄においてはすでに約 500 連のPC鉄道橋を施工しているが、PC技術発祥の地であるフランスにおいては、すでに施工されたPC鉄道橋はわずか1橋にすぎず、またイギリス、ドイツ、スイスを除いては、一般にPC鉄道橋の施工例が少ない、ということが(表-1 参照)、そこに技術上になんらかの疑問が内蔵されている結果ではないかという点について、国鉄構造物設計事務所 友永所長が心配されて、本誌上にも討論となって現われていた^{1) 2)}。そこで、これらの各国の担当者から直接にこの点について意見を聞くことも今回の訪欧の重要な課題であった。

表-1 欧州諸国におけるPC橋梁の施工概数 (1960 年末まで)

国 名	鉄 道 橋	道 路 橋	備 考
スウェーデン	1 橋 (スパン21m ラーメン)	450 連	
ノルウェー	0	40 連	
デンマーク	1 橋 (スパン20m 13 連)	180 連	
オランダ	3 橋	450 連	
ベルギー	5 橋	150 橋	
スイス	20 橋	150 橋	
西ドイツ	130 橋	1 000 橋	
イギリス	200 橋	1 000 橋	
フランス	1 橋(スパン60m, 5連) 1 橋(PC合成桁)	1 000 橋	
スペイン	1 橋	100 橋	
ポルトガル	0	200 連	
イタリア	0	1 200 連	現在スパン 20m 220 連の鉄道橋の設計中

*国鉄東京工事局土木課長

以下調査の概要を御報告するに当たって、今回の訪欧につき御尽力頂いた皆様に厚く御礼申上げる次第である。

2. ヨーロッパのPC橋梁の概況

PC技術の進展は、橋梁、建物、水槽、舗装、まくら木、電柱その他多くのものに見られたが、まず橋梁についていうならば、その経済性のために、国情によっても異なるが、スパン 10 m から 100 m までの橋梁についてPCが多く使用されてきている。

しかし鉄道橋の場合には、設計荷重に近い荷重が、列車回数に応じて1日数十回から数百回も載荷されるので、疲労破壊に対する安全性の問題があり、各国それぞれの見解をとっている。表-1 について見れば、鉄道橋に積極的にPCを用いているのはイギリス、ドイツ、スイスの3国であり、フランスにおいては、純PC鉄道橋としては1橋にすぎない。

この点についてフランス国鉄の技師は次の二とおりの考え方をもっている。

ある中・下層技師の考えは、

- (1) PCは新しい技術でまだよくわからないが、鉄筋コンクリートは長い経験があって安心である。
- (2) 現場施工がデリケートである。
- (3) 死荷重と活荷重がほとんど等しいので疲労の問題を検討する必要がある。
- (4) まず地方線で施工してその成果を見て幹線で施工したい。

しかしフランス国鉄本社施設局土木課長の Carpentier 氏および土木課の技師はつぎの見解をもっている。

- (1) PCを施工できる専門業者で、かつ、鉄道工事に経験ある業者の数が少ないので見積がどうしても高くなる。よい業者が多くあれば、経済競争ができるが、現在はそれができない。そのため工事費において、他の材料より有利となっていない。
- (2) 道路橋では巾が広く、プレキャスト桁並列の施工ができるので量産の利点があるが、鉄道橋ではそういえないので工事費が高い。
- (3) PCそのものは技術的に見て、鉄道橋に適用してなら心配はない。

筆者は後者の考えが実情に近いものであると考える。なぜならばフランス国鉄における最近の橋梁工事では必

写真-1 きれつを生じた鉄桁のPC補強 (フランス)

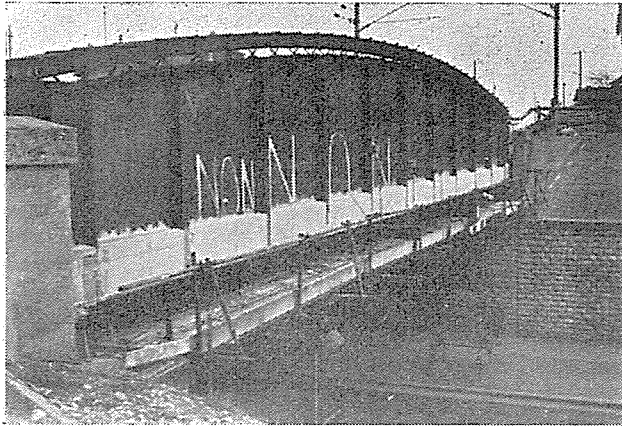


写真-2 Bébéra 橋復旧工事 (フランス)

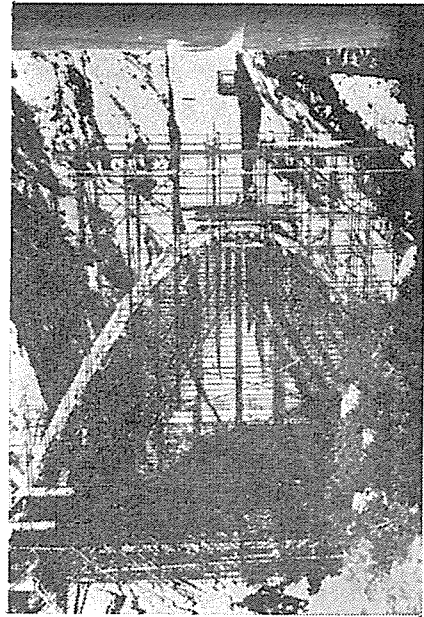
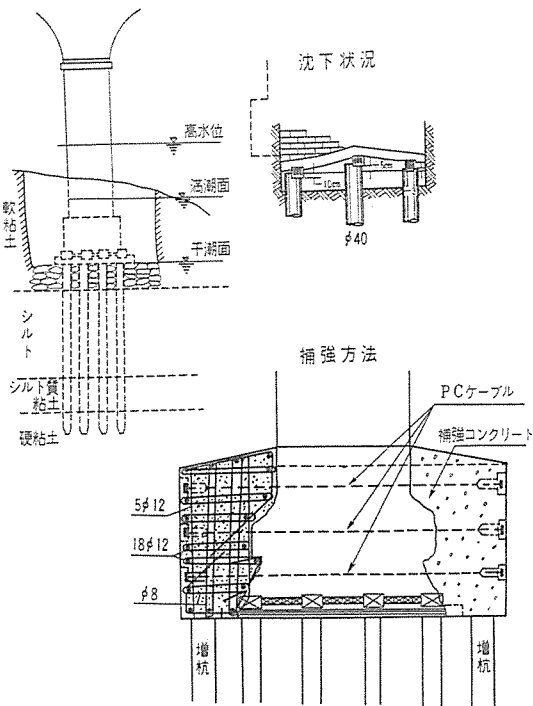


図-1 ボルドー付近高架橋の沈下とその補強



ずPC橋が比較案として上っており、入札の結果、鉄筋コンクリートまたは鋼橋が採用されている結果をしばしば見聞したからである。

しかし Carpentier 氏のPC技術の適用についての意欲はかなりなものであって、きれつを生じた鉄桁のPC補強(写真-1)、不等沈下を生じた高架橋基礎のPC補強(図-1)、橋梁こう上工事を行なったため高さの高くなったロッカー支承のPC補強など鉄道建造物にPC理論を取り入れた、いくつかの例を見ることができた。

写真-2 は Nice の近くの鉄道橋 Bébéra 橋の復旧工事であるが、ここではPC合成桁が使用された。2 径間連続の中央支点の高さの調節により、床版鉄筋コンクリートにプレストレスを与えるもので純PC鉄道橋ではないが、やはり、フランス国鉄のPC理論の研究心の現われであろう。イギリス、ドイツ、スイスの3国において

は、すでに相当数のPC鉄道橋が施工され、オランダ、ベルギーおよびデンマークにおいてはその数は少ないが、おのおの特異性のある設計が行なわれていた。

結局、PC鉄道橋のあまり施工されていない国は、一般的に技術のおくれている二、三の国であって、それらの国々でもそれぞれ、PC鉄道橋の計画、検討が行なわれていた。欧州諸国におけるPCの緊張、定着方式は、それぞれの国において、数種から数十種まで用いられていることは、今まで多く報告されているとおりであり、これらの方式はいずれが適当ということはいえないが、地形条件に応じた架設方式から、その方式が制限される場合もあり、またスパン長によっても適当な方式が選ばれる。

フランス建設省高速道路課長の Thiebault 氏の言をかりれば、フレシネ式は実績において圧倒的であり、B. B. R. V. 方式は定着装置にすぐれ、G. T. M. 方式は理論的によいといわれる。

筆者は、プレストレスを適当に分布させること、曲げモーメント、Shear の変化に応じてPC鋼材の量と配置を適宜変化させることなどの理由で、ある程度、小規模のケーブル、例えば 12-φ7 mm を分散配量する方式が合理的であると考えているが、欧州における一つの傾向としてPCケーブルの大型化の問題がある³⁾。

橋梁型式として、わが国においては連続ばりは比較的少ないが、欧州においては多くの橋梁が連続ばりで施工され、例をフランスにとれば約 20% が連続ばりになっている。連続ばりが常に経済的であるとは限らないが、条件によっては、単純ばりにくらべて相当有利な設計が行なわれ、また特に高速運転のときに支承上の不連続点をなくするために連続ばりの採用が必要となる場合も生

じて来るであろう。桁下の余裕が少ないとき、下路鉄道橋が施工されることになるが、PCが鉄桁にくらべ特に経済性をあらわすのは下路橋においてである。PC下路橋の例はまだ少ないが、オランダの Twello 橋の場合には³⁾

鋼桁のとき 1100 000 フローリン (1f は約 95 円)
PC桁のとき 550 000 フローリン

というように、その経済性からPC桁が採用されており、今後開発すべき大きな問題である。

PC橋の施工方法としては、猪股博士、小寺、野口両氏等の報告があるが、特別なものとして前記 Twello 橋その他二、三変わった工法を見た。しかし鉄道営業線において鉄桁をPC桁にかけかえた例は全くなく、わが国鉄の百間川、米代川、小丸川等におけるこの種の工事は世界最初のものであろう。特に小丸川におけるものはその規模において世界最大級のものであり、その報告は Technique des Travaux 誌上にも掲載された⁴⁾。

PC構造物に生じた根本的な欠陥はまだ見られていないが、欧州におけるPC用のコンクリートはわが国におけるそれより一般にお粗末で、下縁コンクリートの品質が悪くなって、桁が反り上って高欄が変形してしまった例などを見た。PC桁施工中のひびわれ、その他の事故防止の問題について何回か検討会が開かれているが、その検討記録などについてもいずれも報告の機会をもちたい。わが国で検討されている、グラウトの凍結などによる桁のひびわれ発生の問題については、各国とも同様な検討が行なわれており、グラウトの問題についてはオランダにおいて Herbschleb 氏が主査となって大規模な実験が行なわれており、また各国の研究者が研究成果を持ちより検討会が行なわれていた。以下各国におけるPC一般の現況について御報告する。

3. イギリスの PC

パリ北駅を直通寝台列車 Night Ferry 号で 22 時に発って、寝ている間に Dover 海峡をこえ、眼がさめるとロンドンである。イギリス国鉄の訪問をおえたのちウエストミンスター寺院の近くの P S C equipment 社を訪ね Bailey 氏の案内で Uxbridge にある本社工場に行く。途中二、三の工事現場を見せて貰った。

写真-3 は市中心から空港に至る自動車道路の高架橋工事である。スパン 40 m のもの 24 スパンを施工中で、各スパンは巾 3 m のプレキャストブロック 13 片を現場で組立て締めつける方式である。車道のはね出し部分やダイヤフラムに当る部分もプレキャストである。プレキャスト部分はメタルフォーム、継手の現場打ち部分は合板を用いた木製型わくによって施工されていた。

写真-3 ロンドン空港行の自動車道路 PC 工事

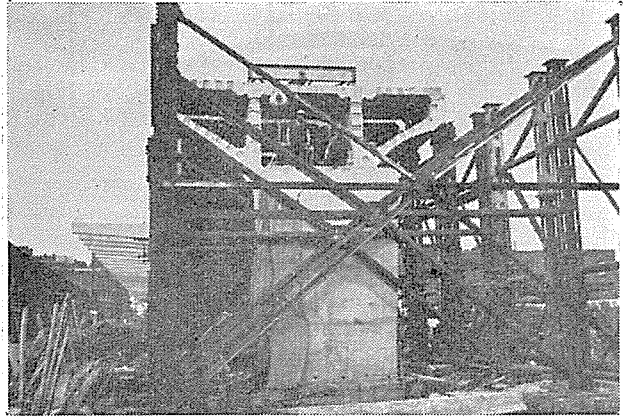


写真-4 立体交差 PC 橋 (イギリス)



PC鋼材は 1/8" のケーブルである。これは断面の中空部分に配置し、あとでコンクリートで埋める方式によっている。写真-4 は 1959 年に施工された Chiswick の Flyover で 15 本のプレキャストの主桁を並列したのち横締めする方式のもので、ケーブルは 12-φ7 mm が用いられた。スパンは 30 m, 40 m, 40 m, 30m の 4 径間であるが桁高が高く、重く感じる感じがする。支承部には固定側はフレシパッド、可動側は鋼製ロッカーを用いていた。道路橋の支承には各国ともフレシパッドの使用が圧倒的で、これはフレシネ方式の橋梁のみならず多くの方式の橋梁その他の支承に、この種のもので採用されていた。その寿命については 25 年とも 50 年ともいわれ、Bailey 氏は 50 年後に 10% くらいの品質の低下があるだろうといていた。

Uxbridge の工場ではフレシネ式およびモノワイヤ式の各種の器具を見せて貰った。ここではフレシネ式の Male cone にカーボランダム粉を吹きつけており、これは特に硬い PC 鋼線のときに滑り止めに有効である。ケーブルの緊張は手動、電動を並用しているが 8~9 台のジャッキを同時に扱える電動ポンプも用いられていた。

12-φ7 mm 用のアンカーとして、普通のフレシネ コーンのほか、各鋼線を 1 本ずつ定着できる方式のものも用いられていた。イギリスでは、同一ケーブルの各鋼線の

引張力が均等になることに特に注意しており、この定着装置を用いて鋼線1本ずつを緊張すると、それができて有利であるといわれている。この考え方が、Mono-wire System の発展した所以であって、単線用の緊張機、定着具もいろいろ見せて貰った。

イギリスで施工されたポストテンションのPC橋を方式別にわけるとつぎのようになる。

フレシネ式	55%	Lee McCall 式	4%
PSC 式	35%	G.U. 式	1%
Magnel 式	4%	C.C.L. 式	

鉄道橋は一般に単純ばりで、道路橋は約 1/3 が連続ばりである。鉄道橋でPCの有利といわれる範囲は12~30 mくらい、道路橋では 12~18 m にプレテンション、18~35 m はポストテンションのPCが有利で、それ以上は鉄筋コンクリート、また 35 m 以上は鋼橋が有利となっている。しかし、すでにスパン 150 m のPCトラスも施工され、また現在スパン 170 m のPCトラスが施工されているが、鋼橋よりも経済的になっている。

グラウトについては、セメント・コンクリート協会がかなり大がかりな試験を行なっているが、フレシネケーブルを用いるときは、 $w/c=0.45$ 以下のセメントペーストまたはモルタルが用いられ、分散剤の使用をあまり好まないようであった。フラット ジャッキによる施工については現在 100 m のアーチの計画、道路舗装の計画などがあるが、まだ行なわれていない。

本社工場で Terner 氏ほかの人たちに説明を受けたのちに帰途 C.D.C 工場に寄ってPC杭の製作を見せて貰った。ここでは主として港湾の工事に用いられるPC矢板、PC杭などが製作されていた。杭は 30×40 cm の矩形断面のものと径 50 cm の中空八角形のものなどあった。写真-5 は後者のもので $\phi 7$ mm のPC鋼線を用いたプレテンション式で、1本の長さは 30 m である。遠心力締固めではなくて、内外面とも型わくを用いて施工されていた。早強セメントを用い配合は 1:1.5:3、 $w/c=0.45$ で、コンクリート打ち後 2~3 日で 5000 lbs/in² (350 kg/cm²) になるとプレストレスを導入し、設計強度は 6000~8000 lbs/in² である。

その他のプレテンション桁も製作していたが、わが国のものにくらべると表面に気泡が多く、できばえはよくないが、あとでトロを流して表面を仕上げるとのことであった。

4. 北欧3国のPC

北欧3国には鉄筋コンクリート構造は多いが、PC構造については多くの研究発表がなされているだけで、施工数は比較的少ない。

鉄道橋は特に少なく、筆者の訪れた 36 年 2 月にちよ

写真-5 プレテンション PC 杭 (イギリス)

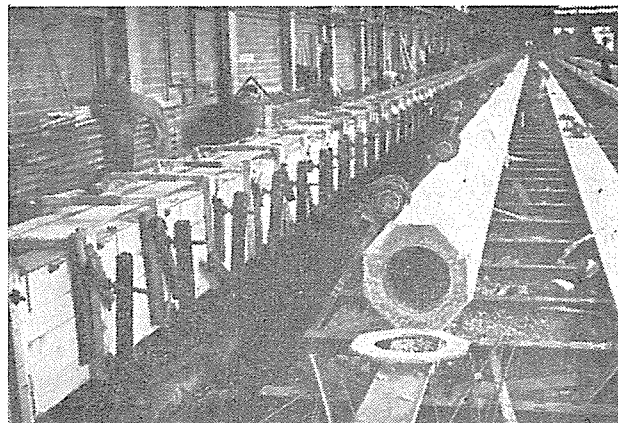
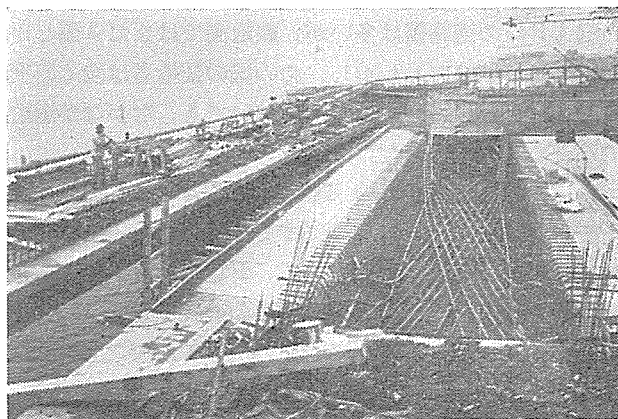


写真-6 デンマーク最初の PC 鉄道橋の工事



うどデンマーク国鉄最初のPC鉄道橋を施工中で、その他はスウェーデン国鉄でスパン 21 m のラーメン1橋が $\phi 26$ mm の鋼棒を使ったスカンジナビヤ方式で施工されたのみであった。道路橋には相当数が施工されている。

デンマーク国鉄最初のPC橋については、すでに本誌海外ニュース欄で報告したが⁵⁾、海上 300 m にわたる大規模のもので、配筋は写真-6のようにループ式になっていて、アンカーの数を節減するとともに、1回の緊張作業により、縦横方向に同時にプレストレスを入れることができる特徴がある。北欧3国におけるPC橋の数はフレシネ式が圧倒的である(表-2)。

表-2 北欧3国におけるPC橋の方式別分布

方 式	スウェーデン	デンマーク	ノルウェー
フレシネ式	60%	99%	85%
B B R V 式	15%	0	0
Dywidag および SCA式	25%	1%	14%
PSC モノワイヤー式	0	0	1%

これらの国ではポストテンションの単純桁の場合スパン 10 m 以上はPCが有利とされ、経済的なPC橋の最大スパンは単純桁の場合 30 m、連続ばりの場合 50 m くらいとされている。

寒い国であるのでPC技術の初期に施工された橋梁にグラウトの凍結により、10カ所くらいひびわれの発生

が見られたが、現在は注意して施工されているので、この種のひびわれのことは全くない。

冬季の注入については、デンマーク土木学会でも検討されているが、桁のコンクリートの温度を $+5^{\circ}\text{C}$ 以上に保てば、グラウトの凍結に対して安全であり、 $+2^{\circ}\text{C}$ で2日保てば、なんら危険な現象は生じないといっている。コペンハーゲンでは冬季2カ月間は、ほとんど 0°C 以下になるので、この間の施工は天幕をはって温度を上げて行なっている。

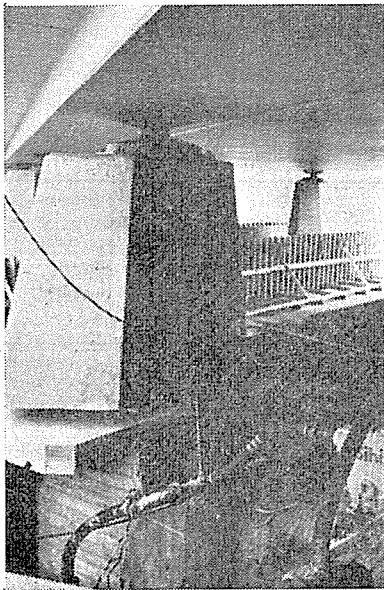
5. オランダの PC

オランダでは IBIS の Herbschleb 氏、国鉄の Steur 氏などの案内でいろいろ面白いものを見せて貰った。この国も PC の道路橋は多いが、鉄道橋ではまだ3橋しか施工されていない。しかし、この国の技術者は全く研究ずきで、PC の設計、施工法についても、なかなか意欲的なところが見られた。

鉄道橋では第3番目の Twello 橋がちょうど完成した所で、これについては本誌にすでに紹介した³⁾。本線路の列車運転に支障することなく、PC 橋を施工し、架道橋を新設した工事であるが、下路の連続ばりで、斜角を有しており、しかも欧州でもまだ例の少ないフレシネ式 100 t ケーブルを使用したものである。

施工法は、線路の両側にコンクリートパイプを沈下させて基礎橋脚を施工し、線路下を掘削りて床版を施工して線路を受けかえ、残部の床版を施工して床版を完成し、両側の橋脚の上部に両主桁を現場施工し、主桁、床版を縦横に締めつけて PC 橋を完成し、列車荷重をこれに受けかえ、最後に線路下の路盤を掘削したものである(写真-7)。床版を現場打ちしている所は少し不徹底の

写真-7 Twello 下路 PC 鉄道橋工事 (デンマーク)



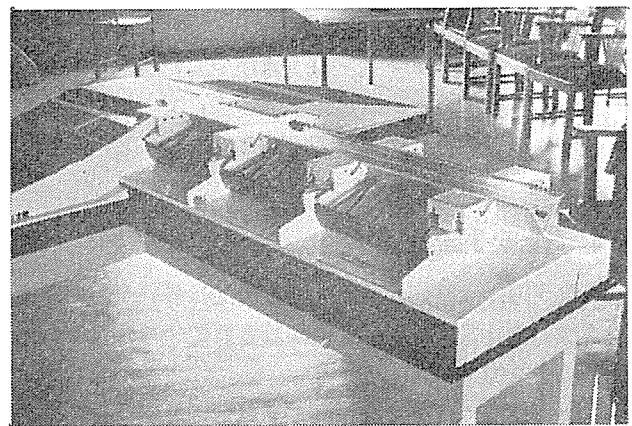
感もあるが、列車運転中の安全施工法としてわが国鉄でも活用する所が多い工法である。オランダの3つの鉄道橋は全部フレシネ式で、道路橋はわずかな Magnel 式、IBIS 式を除くと全部フレシネ式である。

オランダにおける PC 工事の最大の規模のものは、Haringvliet 付近における湾口締切工事に用いられているものである。1953年オランダ西南部マース河のデルタ地帯における大水害で、200人の人命を奪われたのを契機として、オランダ政府は根本的な国土保全政策をたて、デルタプランとして行なわれるこの地方の大締切り工事がはじめられた。これによって、高潮の危険を防ぎ、同時に感潮河川の淡水化によって農地かんかいをよくすることができるのである。Haringvliet における工事はその第1ダム地点にあたっている。湾口を締切るため、まず中央部に延長4kmにわたる矩形の囲堰堤防を設置し、ここにスパン約60mのPC桁17連を施工し、これにスライスゲートを取りつける工事が行なわれている。中央部の完成後、両側の締切り工事が行なわれる。この工事は1957年にはじめられ1964年完成の予定で総工事費約90億円である(写真-8)。PC桁は二重デルタ断面であって、それぞれのスパンは22個のプレキャストブロックからなっている。各ブロックの重量は250tで50cm間隔に配置され、目地コンクリートを施工される。主ケーブルはB.B.R.V.式55- ϕ 6mmのものと同フレシネ式12- ϕ 7mmとを並用している。

オランダではPC橋の施工範囲が広くスパン10~100mくらいが適当なスパンであるとされている。技術研究に関心が深く、現在20近い問題について毎月1回またはデータのでき次第、委員会を開いて検討が行なわれている。問題となっている点は、荷重の分配、塑性計算、コンクリートの締固め、鋼材のリラクセーション、グラウト、桁のきれつ、耐火性、PC杭その他である。

グラウトの凍結による桁のひびわれは二、三発見されており、グラウトの品質については大がかりな実験が行

写真-8 デルタプラン湾口締切工事 PC 桁 (オランダ)



なわれていた。試験は3種の Viscosity のものについて、20°C および +2°C における、練混ぜ1時間後の分離、および分離の最大値（6時間後くらい）、1週、4週の圧縮強度、モルタルテストピースの収縮、練混ぜ後の Viscosity の変化、空気量の変化などが検討され、現在150種近い配合のものが試験中であった。ブリージングの測定は、普通のメスシリンダーでは少な目に出る傾向があるので、ビニール製の上開き截頭円すい形のプラスチックを用いていた。グラウトには6~7%の空気量を入れることが適当とされている。凍結防止の最後の手段はアルコールを混入することで、それによって、-10~-20°C まで凍結しないようにできるがブリージングが多くなり、また強度が低下する欠点がある。凍結温度は

水：アルコールの比が	5：1のとき	-5°C
	3：1のとき	-10°C
	2.5：1のとき	-13°C

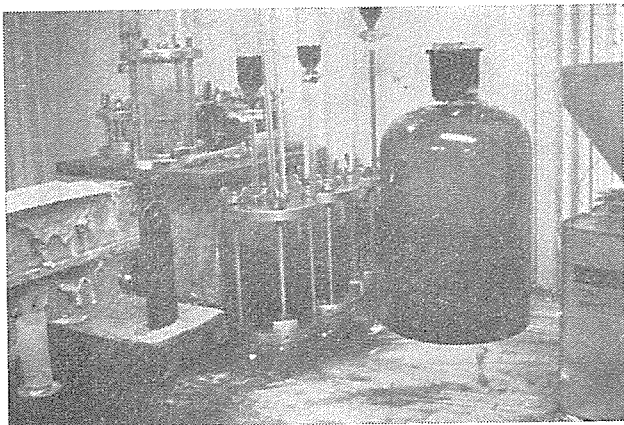
であるが、アルコールを用いることは一般には許可されていない。先の締切り工事では、建設省がこれを要求していて、12月~3月の間だけは用いることになっている。試験中グラウトが凍結したことを確かめるには写真-9の装置により行なっているが、凍結時の膨張を利用して、その時期が容易に判定される。この試験の総合結論は1960年末までに出る見込みであったが、暫定結論ではセメント、ポゾラン、分散剤および水または、この配合からポゾランを除いたもので、必要によりアルコールを混入するのがよいことになっていた。

6. ベルギーのPC

ベルギーでは Keyser 氏や国鉄の Soete 氏の世話で、いろいろ現場を見せて貰った。

ベルギーは Magnel 氏などを有するPCの研究国の一つであって、橋梁、滑走路、水槽、サイロ、建物などにPCの施工例が多い。この国は起伏が少なく、また大きい川がないので、スパン50~60m くらいまでの橋梁が多い。20m 以下ではプレテンションのものが多く用い

写真-9 グラウト凍結試験（オランダ）



られる。ポストテンションは、連続ばりまたはスパン25m以上の単純ばりに多く用いられる。道路橋ではプレポスト式、鋼PC合成式なども施工された。Bruxelles 飛行場の滑走路は巾35m、厚18cmで、長さ3kmにおよぶ長大なものであるが、縦方向にはフレシネ式フララットジャッキが、また横方向には12-φ7m ケーブルが用いられ、縦横にプレストレスを与えられたものである。道路舗装も、厚さ8,10,12cm、巾7m、長さ1500mの区間で試験されている。PC鉄道橋には Magnel 式のものがあるが、現在はほとんどフレシネ式でこれが3橋ある。PCを鉄道橋として用いることは試験の結果なら心配することではなく、鉄筋コンクリート桁より振動は大きいとその振動は正常で弾性的であるからよいといっていた。現在各種の問題について研究が進められているが、グラウトについては、混合物を2時間放置してブリージングが4%以上にならないようにしている。混和剤として Intigele と称する、アルコールをもとにした液を水の10%以下使用している。

ちょうどアンバール東駅付近で4線区間に24m 径間連続のPC鉄道橋を施工中で(写真-10)、まず2線を閉鎖して施工し、線路切りかえ後残部を施工する方式をとっていた。フレシネ ケーブル12-φ7mm を使用し、横方向には鉄筋のみであるが、施工中のケーブルの位置の変化を防ぐために、鋼製パイプからなるスペーサーを特に使用していた。

参 考 文 献

- 1) 友永和夫：“わが国におけるPC 鉄道橋の問題点について”，プレストレスト コンクリート, Vol. 2. No. 2, 1960年4月
- 2) 仁杉 巖：“友永博士の論説を読んで”，プレストレスト コンクリート, Vol. 2. No. 6, 1960年12月
- 3) 菅原 操：“欧州におけるフレシネ式100t ケーブル使用の現況”，プレストレスト コンクリート, Vol. 3. No. 4, 1961年8月
- 4) M. SUGAWARA et T. NOGUCHI：“Le Remplacement, par des Poutres en Béton Précontraint, du Tablier du Pont OMARU (JAPON)”, La Technique des Travaux 1961年7.8月
- 5) 海外ニュース：“デンマーク国鉄最初のPC 鉄道橋”，プレストレスト コンクリート Vol. 3. No. 3 1961年6月

1961.12.15・受付

写真-10 PC 連続鉄道橋の工事（ベルギー）

