

小特集

—PCの思い出と今後—

プレストレストコンクリート (PC) 事始め

仁杉 巖*

1. ま え が き

私は1915年の生まれだから今年84歳になる。若い頃コンクリートの勉強をしていたが、それから鉄道の現場に出てもう50年になる。昨年からまたコンクリートの仕事をするようになって、本を読んだり資料を見たりしていると、その頃考えもしなかった斜張橋やエクストラード橋などたくさんある反面、まだそんなことが解決できないのかと思うこともある。いずれにしても百聞一見に如かずと思い老齢の特権を活用してその道の大家の先生方に教えていただくのが一番早いと思って、先生方の研究室通いを始めた。横浜国立大学の池田尚治先生の所では最近のPSの構造物の実験を見せていただいたり、それらについての興味深い話を伺ったが、その後グラウトの問題が議論を呼んでいるので、最近の事情を聞きたいと思って群馬大学の辻幸和先生の研究室を訪れ、辻さんからいろいろな話を伺った。そのとき私はプレストレストコンクリート(以下、PCと略)に絡む昔話をしたが、辻先生はそのときの話から連想されたのか、先日「プレストレストコンクリート」誌の編集長として私に今度小特集「PCに関する思い出と今後」を企画したので私に当時の思い出、当時のPC技術の特徴、エピソード、泣き笑いなどを書いてほしいという要望があった。

私も50年以上前の話を書いても現在の人達にお役に立つのかと心配する一方、終戦直前から終戦後にかけて、苦心しながらPCの勉強をした記録を残しておきたいといった気持ちもあったので、辻さんの要望を受けてこの文を書いたわけである。

2. PCの勉強を始めた経緯

私は1938年学校を出て鉄道省に入り、すぐに鉄道官房研究所(以下、鉄研という)に配属された。それから1年足らずコンクリートの構造物の設計に携わっていたが、1939年正月から1942年末まで兵役に服していた。1943年正月に兵役解除となるとすぐ鉄研のコンクリート研究室兼コンクリート設計室勤務になった。実はこのときが私の人生のあ

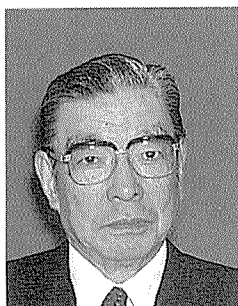
る部分に大きな影響をもったPCと私との初めての出会いであった。その頃、鉄研には東京大学教授でコンクリートの権威であった吉田徳次郎先生(以下、吉田先生という)が鉄研の顧問をしておられ、毎週月曜日の午前中には鉄研のコンクリート研究室にいられてわれわれの指導をされていた。研究室には後に東京大学の教授をされた沼田政矩さんをはじめ数人の研究者がおられたが、お忙しいこともあり、毎週吉田先生に何うほどの課題もなかったので、いつしか私が吉田先生のお相手を毎週務めることになってしまった。吉田先生はたいへん真面目で厳しい方であって、私が実験結果などをもって行き自分の考え方を説明すると、時々そんな赤ん坊のようなことを言っただめだよなどと叱られることもあった。しかし、若くてまったくの素人の私が吉田先生という当時のコンクリート界の大先輩から個人教育を受けたというたいへんな幸運に巡り会うことになったわけである。吉田先生はコンクリートのことは言うまでもないが、禅などにも深い興味をもち古武士のような風格をもたれていて、勉強の仕方、人生に対する処し方、いろいろな価値観の考え方などまで教えていただき、その教えに従ってその後の私の人生を生きてきたように思っている。

こうした状況の中で私が1943年に復員して鉄道官房研究所に勤務するようになった直後に、当時の研究所長の吉田謹平さんから、欧米でPC(その頃にはこの言葉でなく鋼弦コンクリートと言われていた)が発展していると吉田先生が言われているので研究所の緊急課題にすることになった。ついては君に実務をやってもらうので頑張ってもらいたいとの命令を受けた。急な話だったが、戦時中鉄などの資材がなくなってきたので、鉄を節約する一つの方策として取り上げたようである。今思うとそんなことができるのかと思うかも知れないが、戦争をしている最中には勝つためにはとといった焦りからか、そんな発想もたくさんあったのである。私は学生時代コンクリートには興味をもっていたが、そのときには4年ほど兵役で学問から離れていたのだから、どうなることかと心配したが、ご命令とあればやるしかあるまいと腹を括ってPCの勉強を始めたわけである。幸い研究所には少ないながらも文献が揃っていたのでそれらの勉強から始めた。

3. 1943年頃のPCについての情報

私がPCについて初めて勉強を始めたのは1943年であったが、この頃日本にはPCについての情報は極めて少なかった。当時欧米を敵に回して熾烈な戦争をしていたのだから外国からの技術情報はほとんど入ってこなかった。

しかも当時の日本のコンクリートの技術水準は今と違っ



* Iwao NISUGI

本協会名誉会員
極東鋼弦コンクリート振興(株)
取締役最高顧問

て欧米と比較するとかなり低く、とくに戦争になってからはその差が一層開いていた。具体的な例をとると土木学会の「コンクリート示方書」は1931年に初めて制定されているが、その後戦争が終わるまでは改訂されることがなかった。終戦後、欧米からコンクリートの資料がどっと入ってくると、日本の技術レベルの低さにびっくりしたものである。そんな中で「コンクリート示方書」の改訂が吉田先生の主導で行われたのである。1931年の示方書はドイツのDINを参考にして作られたが、1949年の改訂では主としてアメリカの考え方を取り入れて改訂した。このとき私も鉄筋コンクリートの主査としてこの改訂作業に参画したが、アメリカの示方書を丸写しせざるを得なかったことが多かったのを非常に残念に思ったものである。

終戦後でもこのような状況であったから、ましてや戦時中の日本ではほんの一部の人しか知らないPCのことを勉強するには今では考えられないような苦勞があった。

日本で初めて1939年にPCについて建築雑誌に紹介したのは建築の福井大学教授だった吉田宏彦先生であろう。1938年頃からヨーロッパの関係雑誌などにPCコンクリートに絡む論文などが数多く出るようになったと言われているが、吉田先生は九州大学で1937年頃から講義の中にPCの話を取り入れていたと言われていた。しかし東京大学では私の卒業した1938年頃には講義の中にPCの話はなかった。

4. 1943年PCの実験を始める

私はまず日本での吉田宏彦先生の解説記事をはじめとしてドイツ、アメリカ等の論文なども勉強したが、当時ドイツのホイヤーの「Der Stahlsaitenbeton」という本が一番PCの本質を実験なども含めて説明しているように思えたので、この本を中心に勉強を進めることにした。勉強を始めてしばらくすると吉田先生から「仁杉君、机の上でいくら勉強しても実際にやってみないと本当のことは分からないよ。PCのことも早く実験を始めなさい」という注意を受けた。実はそれまでいくら文献を読んでもPCの本質が分からず壁にぶつかっていたので、吉田先生の言葉を伺って目から鱗が落ちたように思い、さっそく浜松町のコンクリート研究室で実験を始めることにした。私がこのとき始めた実験が1949年に土木学会論文集第7号「鋼弦コンクリート桁の設計法に関する実験的研究」という論文に繋がるのだが、この前にも吉田宏彦先生が京都大学でPCの桁を造り実験されたことや、日本放送電で1941年頃からPCの勉強を始められ実験桁を造り試験をされたことなど記録に残っている。しかし、いずれも戦争が激しくなり中止されたようで、はっきりした細かい記録は公表されていない。したがって、戦時下の1943年から44年の秋にかけてのPCの実験や研究を継続していたのは鉄道官房研究所だけだった。こうした研究が戦時下で、実験する材料もままならないときに継続して進められたのは、吉田先生のPCにける情熱と化学者でありながら、なかなかの行政的、政治的手腕の持ち主であった吉田謹平所長の考え方が一致して、PCの研究を進めようということになったためであったと思っている。

5. いよいよPC桁の製作を始める

しかし実際にPCの桁を造ろうとすると、戦争中なのでピアノ線、セメント、型枠材料、骨材などどれをとっても容易には手に入らない。とくにピアノ線は日本でも作られていたが、兵器の発条に使われるのでほとんど手に入らない。しかも日本製のピアノ線はヨーロッパの製品に比べるとかなり質が悪いようであった。しかしピアノ線は吉田先生に満鉄方面から実験用に送られたものを頂戴したので、なんとか解決することができた。その他の材料は、鉄道の先輩やら仲間の人達にお願いして現場で使っているものを分けていただき間に合わせることもできた。

こうして私は1944年2月から10月末までに主として高さ12cm、幅8cm、長さ100cm程度の桁を14本造って、曲げ破壊試験をした。この間材料はどうやら集めることができたが、ピアノ線をどうして引っ張るかということが解決の難しい問題であった。幸い研究所に試作工場があり、吉田研究所長の直々のお声掛かりもあって機械の技術関係者の最大の協力が得られたので、写真-1に示すようなピアノ線つかみ装置が出来上がり、比較的早く実験を始めることができたようになった。こうして実験を始めて高さ5cm、幅10cm、長さ1mの桁を造り、コンクリートが固まってからピアノ線に入れておいた張力を緩めたら桁の下面のピアノ線の収縮とともにコンクリートも縮み、桁が凸型に反り返ったときには関係者一同万歳を叫んで喜んだものである。吉田謹平所長はすぐ現場に来られて喜んでいただいたし、吉田先生に報告すると励ましの言葉をいただいたりした。こうした中にも戦争が激しくなって本土の空襲も視野に入ってきたのか、茨城県の射爆演習場で掩体えんたいにPCを使いたいと言って2mくらいのPCの桁を何本か造って納めたことがあった。しかしこの桁がどういう実験に使われたのか、どんな

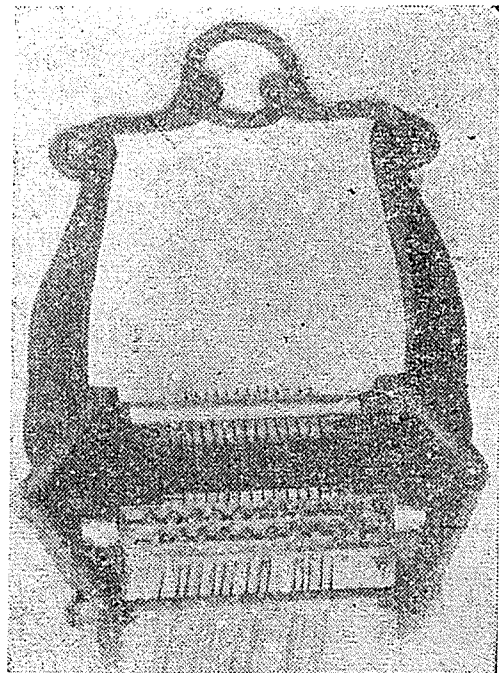


写真-1 ピアノ線つかみ装置

結果が出たのかについては何も知らされなかった。

6. 戦争末期にPCの実験を中断する

そのうち本土への空襲が始まり、研究所での実験を続けられるような状態ではなくなったので、1944年の秋に私どもの行った一連のPC桁の実験を中断した。

7. 終戦後1946年秋、PCの研究を再開する

1945年8月には終戦となり、その後の混乱が収まって再び研究所でPCの実験を始めたのは1946年の秋頃からになる。この間私は戦争中は地下工場の建設現場におり、終戦後は熱海建設事務所まで戦地から帰還してくる後輩の人達の世話係を務めたりしていたが、その後社会情勢も落ち着いてきたので、1946年の秋からはまた東京の研究所に戻ってPCの研究を再開した。こうして鉄道関係者が終戦後逸早くPCの実験を再開できたのは、戦争中に曲がりなりにPC研究を始めていたことにたいへん大きな影響があったと思っている。こうしたことを考えると戦争中にこの技術に注目されてその研究を強力に推進された吉田先生と吉田謹平所長の炯眼に深く敬意を表するものである。

しかし、研究を進めるわれわれはこの頃も資材不足が酷く、これらの材料を集めるのに苦労したが、戦時中と違って兵器にピアノ線を使わなくなったので、ピアノ線をどう活用するかということが問題となり、当時の商工省の鉄鋼委員会の下にピアノ線を活用するための小委員会ができて、当時MK鋼の発明でたいへん有名な三島徳七先生が委員長になられてPCを推進するという事になった。その委員会には当時の土木、建築界でPCを勉強していた先生方が参加していたが、私もその末席に連なっていた。この委員会はPCの技術的議論をするのではなく、PCの発展を推進するというのが使命だったので、私のように実験をする者にとってはお役所がいろいろ手配して資材を集めてくださるのでたいへんありがたかった。

こうして終戦後の実験、それに伴う研究は戦前に比較すると比較的順調に進行することができた。1947年の夏から1948年の夏までの1年間にいろいろと形を変えた30本ほどの実験桁を造り、曲げ試験を繰り返した。

1948年夏に私の計画した実験を終わり、1949年春にその研究をまとめて「鋼弦コンクリート桁の設計法に関する実験的研究」として発表したのである。この研究は前にも述べたようにホイヤーの本に書かれている内容が私の実験と合うかどうか、そうした実験を通してPCというものをどう考え、どう取り扱うかを勉強したものである。したがってこの論文で実験した桁は全部プレテンションの桁で、コンクリートの強度は500 kg/cm²ぐらいを、ピアノ線は1 mm～3 mmの径で強度は150 kg/mm²～200 kg/mm²ぐらいのものを使っている。

8. 実験研究の結果

私の実験した桁の破壊状況の代表的なもの3例を写真-2に示し、上から(1)桁、(2)桁、(3)桁とする。

私の実験の結果でホイヤーの主張と大きく違ったのは、

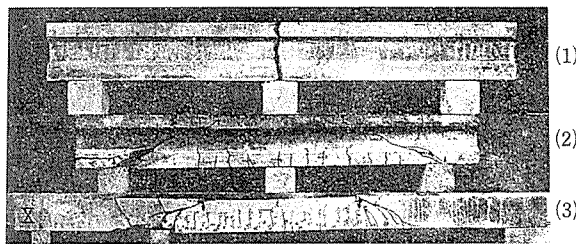


写真-2 桁の破壊状況の例

ホイヤーが桁における斜引張応力度は初期応力があると初期応力がない桁より減るので、腹鉄筋をとくには配置しなくてもよいと主張している点である。しかし、私が実験した結果を見ると、I型の桁の場合、写真-2の(2)桁のようにウェブの厚さを小さくすると曲げ破壊をする前に斜引張応力によってウェブに斜めの亀裂が出て桁が破壊することがあり、またウェブの厚さを大きくしてピアノ線に十分な強さがあれば、写真-2の(3)桁のように曲げによるひび割れが斜めに進行して鉄筋コンクリートと同じようなせん断破壊を起こす場合もあった。この点についてホイヤーの主張は簡単すぎると思う、私はPCでは斜引張応力でウェブが破壊しないようにウェブの厚さを十分とるとともに、曲げ破壊を起こす間にせん断破壊を起こさないように腹鉄筋は必ず配置すべきだと考えた。

またPCが曲げ試験をしているときに鉄筋量が少ないと、極限の状態写真-2の(1)桁のように桁が真二つに折れて落下してしまうこともあった。こうした破壊はピアノ線が降伏点を超えてからの伸びが小さいために起こる現象で、鉄筋コンクリートでは鉄筋が降伏点を過ぎると大きく伸びるので、突然鉄筋が切れて桁が落下するという事は起こることはない。こうしたことを考えると、ピアノ線を使うPCを実用化する場合には、設計でも施工でも相当慎重に取り扱う必要があると思った。

しかし、そうした細かい議論を別にして、私が実験を重ねながらこの論文を書いたことによって、私はPCの本質を理解することができ、鉄筋コンクリートとPCとが兄弟のような関係にありながら、PCは鉄筋コンクリートより遥かに優秀な構造材料であり、それは普通の荷重状態では亀裂が出ないし、コンクリートも鋼材もそれぞれまで使っていたものより遥かに強い材料を使うことによって安価に鉄に負けない大きな構造物ができると自信をもてたことである。それと同時に鉄に負けないような大きな構造物に使うとなるとそれだけ良質のコンクリートを使わないとPCが成り立たないことを実験を通して実感し、PCでは現場で打つコンクリートの扱い方を根本的に強化しないといけないと思ったものである。

こうしたPCの日本での出発に携わった研究者として振り返ってみると、案外つまらないことに精力を使ったような気がする。当時扱ったピアノ線は1mm～3mmぐらいの細いものであったが、このピアノ線を10本、20本をつかんでそれを全部同じ強さに引っ張るのをどうするかといったことは当時たいへんな問題であった。前にも述べたが、このピアノ線のつかみ装置ができないことには実験が前進しな

い。この装置の設計や製作は研究所の試作工場が担当して、それなりの協力をしていたが、戦時中のことなので熟練工も不足して私が期待していたようには進行しない。せっかちな私は、思い余って吉田謹平所長につきかみ装置製作の促進を直訴したこともあった。こうした状況の中1944年末頃から関係者の非常な努力が実って、このつきかみ装置を使い始めることができるようになり、PCの実験が始まったのである。

もう一つ私が悩んだのは、油を塗ってピカピカした状態のピアノ線を油を取り除いたぐらゐの状態を使って、コンクリートが固まってからピアノ線に入れた張力を解除したときピアノ線が滑ってしまわないかということであった。ホイヤーは桁の端部でピアノ線がウエッジアクションをするような形になるので滑ることはないと書いていた。しかし実験を始めてみると、私が心配していたようにせっかく苦心して造った桁でコンクリートが固まってからピアノ線に入れておいた張力を開放すると、ピアノ線がつるんと滑ってしまってコンクリートに圧縮力が入らないという事態が起こった。このとき私は言うまでもないが、協力してくれた助手の人達もがっかりしたことを鮮明に記憶している。

それから私はピアノ線を少し錆びさせて使うことにした。この方法をとってからピアノ線に加えておいた張力を開放したときピアノ線が滑ることはなくなったので、その後の実験では少し錆びさせたピアノ線を使っている。このピアノ線を錆びさせるということについては強度が減るのではないかと、耐久性に問題があるのではないかなどと心配があったが、取りあえずこの方法で実験を進めた。私が1952年にヨーロッパに留学したとき、この点について関係者に尋ねてみると、プレテンションの場合には私どもと同じようにピアノ線を錆びさせて使っているという話を聞いてやっと安心したのである。

私はこの研究の成果を発表したのを契機に研究所から離れて鉄道の現場の仕事に移った。そのとき私の関係していたPCの仕事は研究所におられた猪股俊司さんに引き継いでもらったが、猪股さんはその後PC界で大活躍されPCの発展に大きな功績を上げられたことは喜ばしいことであった。

9. 1950年代に入ってからPC界の動き

戦後逸早くPCの実用化が進んだのは枕木である。鉄道では戦前から枕木にコンクリートを使いたいと研究していたが、鉄筋コンクリート製のものは亀裂が入るために成功しなかった。戦後は研究所でPCの枕木の研究が進んでいたが、1950年頃から実用化の目途がつき国鉄直営の工場が津田沼に造られ、これがパイオニア工場となってその後コンクリート枕木が急速に発展していった。

日本には戦前からフランスのフネシネーがPCの原理特許をもっていてその代理店として1952年に極東鋼弦コンクリート振興(株)(FKK, 社長 藤田亀太郎氏)が設立され、1958年まではすべてのPCに絡むことはFKKと契約することが前提となった。こうした中、ゼネコン、専業者など建設業界にもPCに関心をもつ業者も出てきたが、まだ大型の橋梁な

どを造るまでにはならなかった。

私は1952年に3ヶ月間国鉄から派遣されて欧州留学をしたが、このときの研究課題はPCであった。この留学は連合国の平和条約発効後の初めての欧州留学であったが、その研究項目にPCが選ばれたということは、当時日本の建設界でPCに大きな期待が寄せられていたということである。私はその頃、今後のPCは地震のある日本ではプレテンション型のものは発展しなくてポストテンション型のPCが発展すると思ったので、欧州ではその辺に重点をおいて勉強した。何しろ長い間、欧米の技術に直接接触しなかったので、PCはもちろん鉄道分野でも忙しく勉強したが、帰りのチューリッヒから東京までの飛行機の中の40時間余りの間に、日本に帰ったらポストテンション型式の鉄道橋を何とか造ろうと決心したのであった。

10. 日本で初めてのポストテンション型のPC橋の建設

その後大阪工事局の次長として関西地区の工事を担当していたが、1953年の水害で信楽線の大戸川の川幅30m(10mの鉄桁3連)の橋梁が流され、その復旧工事をどうするかということになった。私はその線が支線であること、長さも初めてPCを造るには大きすぎないことなど、ちょうど適当だと思い本省に相談すると、本省でも応援するということになり、写真-3に示すような日本で初めてのポストテンション型PCの橋梁ができることになった。今にしてみれば小さな橋だが、未経験のポストテンション型のPC橋をいざ造るとなると心配事あれもこれもと出てくる。

まず設計は当時、極東鋼弦コンクリート振興(株)に来ていたフランス人のコバニコ氏に頼み、国鉄の構造物設計事務所に検討してもらい、施工については吉田先生をはじめ東京大学の国分先生や京都大学の小西先生などの指導を受けた。しかし日本初のポストテンション型のPC橋になるので、私自身が十分納得できない次のような事項については工事を始める前に実験をすることとした。

- ① PC鋼線を緊張した場合、鋼線とシースの間の摩擦をどのくらい考えるか。
- ② シース内に注入するグラウトの配合と注入作業をどうしたらよいか。

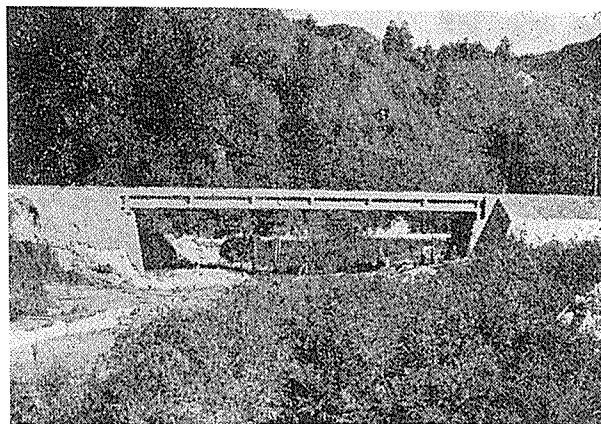


写真-3 完成した第一大戸川橋梁

- ③ PC鋼線を引っ張ることによって計算どおりのプレストレスが導入できるか。
- ④ ポストテンション桁のひび割れ荷重、破壊荷重の大きさは。
- ⑤ 桁のコンクリートに起こる乾燥収縮、クリープ量およびこれらによって起こるピアノ線の応力低下はどのくらいか。
- ⑥ 硬練りコンクリートをどうして打ち込むか。

その詳細については土木学会論文集第27号「支間30mのプレストレストコンクリート鉄道橋（信楽線第一大戸川橋梁）の設計、施工およびこれに関連して行った実験研究の報告」を参照していただきたいが、最近読み直してみるとよくここまで勉強したと思うし、また、終戦後で日本全体が新しい技術に熱心に取り組んでいたときとはいえ、上司の方々が私のこうした実験などを自由にやらせてくださったことを思い、当時のこれを推進していただいた先輩の方々に心から感謝している。しかし、この橋の建設が一つの契機になってポストテンション型のPCが日本で発展し、今日、日本のどんな僻地にもPCの橋梁があることを思えば、この研究費は効率の良い投資であったと言えると思っている。

これらの実験の結果、①、③～⑤についてはほぼ期待どおりの結果が出たし、⑥についてはいろいろ試行錯誤があったがまずまずの成果を得ることができた。しかし、②のシース内へのグラウトの注入については、当時今日のように各種の添加剤などが開発されていなくて、僅かにフライアッシュ、ボゾリス、アルミ粉ぐらいしかなかったので苦労したが、そんな中でいろいろな配合、裸のシース、コンクリートに埋め込んだシースの中の鋼線を緊張させるなど、各種のテストを繰り返し、結論としてセメント3、フライアッシュ1、フロー16秒の配合のものを使うこととし、注入作業にも当時としては最大の努力を払ったつもりであるが、今私がこの桁の耐久性で心配が残っているとすれば、それはグラウトが十分シースの中に行き渡って鋼線を保護しているかどうかという点である。

こうした私の若い時代の研究報告などを読み直しながら考えてみると、私が鋼橋に追いつけ追い越せを目標に勉強していた頃の夢はもうすっかり実現して、私が想像もしていなかった長大橋ができている姿を見ると、あれから40年余の間に常に新しい方向を提示され得た学界の方々、道路、鉄道、建築、その他いろいろな分野の発注者の方々、これを受けて立派な構造物を造られたゼネコン、事業者の方々、それに良質な鋼線やセメント、混和剤などを供給された業界の方々など関係者の努力でPCが今日のように大きく発展したことに敬意を表する次第である。

11. おわりに

私は1950年頃から50年足らず鉄道の建設や経営の仕事をしていたので、その間PCの技術とほとんど関係することが

なかった。それが今年の半ばからPCの世界に再び関係するようになって一年半になる。もちろん、勉強不足でPCの技術上の問題について意見を言うほどの見識をもっていないが、最近のPC界を見ていると、PC橋の一番大きな問題はPCの耐久性だと思っている。PC橋の基本の材料は鋼線、コンクリート、防錆剤ということになると思うが、そのうち鋼線は工場生産なので材質に心配はほとんどないと思うが、コンクリートという材料はほとんど現場で造られるので、造り方によって非常に高い品質のものから極めて弱い品質のものまでいろいろのものができると言うことがコンクリートの耐久性にとって大きな問題をはらむことになると思っている。しかしPCに関する限りコンクリートについてはあまり問題がないようである。それよりPCにとって大きな問題は鋼材の防錆をどう確保するかということであろう。この問題については、グラウトが必ずしも信用できないということからいろいろな提案がされていると思っているが、事実横締めバーが腐食で切断してバーが外に飛び出した事故も起こっているし、イギリスではPC橋が落下したため1992年から4年間グラウトを使うPC橋の建設を禁止されたこともあったので、グラウトが信用を失っても不思議はないわけである。私が昨年PC業界での仕事を再開してからよく問題になるのは、鋼線の防錆のことである。グラウト以外に鋼線にメッキするとか、いろいろな材料でコーティングするとか、カバーを被せるとかの防錆方法が行われているが、それらの方法のうちには、耐久性について必ずしも十分自信をもてないものもあるようである。前に述べたように大戸川橋梁の建設時でも、シースの中へグラウトを行き渡らせるのは簡単ではなかったが、最近では添加剤もいろいろな性能をもつ材料も出ているので、これらを活用してシース内へ行き渡らせながら空隙の残らない薬剤とその注入方法を確立するのはそう難しいことではないと思っている。この点について関係者の努力と協力をお願いしたい。

最近山陽新幹線でコンクリート剥落の問題が社会問題となっているが、今後PC橋でも耐久性について問題の起こる心配があるので、関係者は慎重の上にも慎重に検討したうえで新工法や新技術を採用すべきではないかと思っている。「プレストレストコンクリート」誌の1999年1月号に神田昌幸さんが「今、起ころうとしていること」という論文を発表されているが、この論旨はPC関係者にとって傾聴に値すると思っている。とくにこの論文の中で「今、PC橋に欠落しているのは、長中期のビジョンではないだろうか」と言われているのにはまったく同感である。現在PCは多方面に発展しているが、私には技術をはじめとしていろいろな分野でその中心軸が欠けているように思えるのだが。

この論文を紹介することで、不勉強な私のPC界に対する要望を補うこととした。

【1999年11月16日受付】