

友永博士の論説に関して

本誌の Vol. 2, No. 2 に掲載された友永博士の論説およびこれについての仁杉博士の討議を非常に興味ぶかく読んだ。実はうかつな話で申しわけがないのであるが、問題の論説は最近になって読んだものである。いつもは、本誌がくれば必ずまず目を通すのであるが、たまたま何か非常に忙しかったときで、読まないでそのまま研究室内の回覧にまわしてしまっただけに違いない。ところが最近になって、ある資料をうるため創刊号からの本誌を調べる必要が生じた。そしてこの論説を読む機会に恵まれたという次第である。

友永博士の論説と仁杉博士の討議を読んで、筆者の同感するところ、そうでないところがある。また両博士とも、あるいは誤解されているのではないかと思われる点があり、これについては筆者ら北海道の PC 研究グループがその責任の一端を負わなければならないのではあるまいかと思われた。そういうわけで、同じ問題に関心を有する一人として、筆者もなんらかの見解を発表するのが適当であると考え、この文を寄せて大方の御批判を得たいと思う次第である。以下説明の便宜上、友永博士の論説の項目番号をそのまま用いることにする。

2. PC 橋の縦ひびわれ では、友永博士はこれがグラウトの凍害によるものとしたときの付着力および端部定着の信頼性などについて論及し、グラウト注入が PC 施工上もっとも大切なことであると述べ、仁杉博士もこれに同感されている。PC グラウトの重要性については筆者も全く同感であって、昭和 31 年北海道土木技術会に PC 研究委員会が設けられたとき、まず問題にとり上げたのは PC グラウト注入施工に関する指針の作製であった。当時は全国的にいて、これについての関心がうすく、その施工上の欠陥からと思われる被害についても非公式な報告があったからである。グラウトに関する組織的な調査研究も開始されたが、その結果を待たずに、とりあえず昭和 32 年春に暫定的な指針を制定するとともに、フレシネ、マニエル、BBRV などの工法におけるシース内のスペーサの使用、グラウト ミキサおよびポンプ、グラウト配合などの現場指導にあたった。そして調査および実験による研究結果を反映させた第 1 回の改正指針が昭和 34 年の春に作製されたのである。これについてはさきに本誌においても述べたところである

が、その後、これにもとづいた現揚実験や多くの調査実験による研究結果が得られたので、近く第 2 回の改正を行なう予定である。

さて縦ひびわれの問題であるが、両博士とも、これをグラウトの不良、不完全からくる水分の凍結だけによるものと考えておられるようである。もしそうであるとすれば今後この問題の解決を正しい方向に乗せるためにもその誤解をといて頂く必要があると思われる。なんとなれば、今までに行なった多くの調査および研究の結果によれば、問題はそう簡単に、もっと多くの因子がふくまれていることが判明したからである。

この問題を最初にとりあげたのは北海道の研究グループであって、はじめは寒中グラウトの不備によると見られる、ひびわれの発生したことから始まった。従って一般には、これが寒地特有の局地的問題であるとの印象を与えたのは止むを得ないことである。また本州においても、監督官庁によって北海道にならった調査を文書によって全国的に照会したのであるが、その結果は北海道に比して、少ない発生事実の回答しか得られなかったようで、このことも誤解を招く原因となったと思われる。しかし文書による照会だけでは実態はつかめないであって、北海道においても最初はそうであった。数班の調査隊を組織して現地調査を行なった結果はじめて順次その実態が明らかとなったのである。この調査は非常に困難な仕事であって、単に下から見上げるだけでは発見しにくく、はしご、足場、とくに流水部分は吊足場を用い、架線夫のような移動作業を必要とし、コンクリート表面に近接して測微計による確認をしなければならない。このような調査を北海道全体の橋について、各径間、各主桁ごとに全部行なったのであるから、この調査を許可しかつ積極的に支援した開発局および道当局の英断に対しては全く敬服と感謝のほかはない。おそらく、このような大規模な調査は外国にもその例を見ないと信じられる。この調査の結果、縦ひびわれの発生は、寒中グラウトを施工した橋だけでなく、その施工時期には春、夏、秋の区別のないことがわかった。もしグラウトの凍結以外の原因があるとすれば、本州の温暖地方においても同様のひびわれ発生があるものと推定され、この点に関しては鉄道橋も例外であり得ないと思える。ただ実験の結果で

は、断面寸法が比較的大きく、シースのコンクリートかぶりの大きいものほど、ひびわれ抵抗は大となるから、鉄道橋はこの点について有利と考えられる。筆者ら研究グループの一人が九州の PC 道路橋を視察したとき、ひびわれを発見し、案内した技術官も驚ろいたということもあるから、本州においても、さらにくわしい現地調査がほしいものである。筆者はしかし、この縦ひびわれが、かりに凍害だけによるとした場合でも後述するように、友永博士の論及されたような心配はないと考えており、また他の原因の場合でも、これがただちに PC 橋の将来についての悲観的材料となるとは考えておられない。ただし、この現象に対する正しい認識と究明が行なわれるためにも、より広はんな実態調査と研究が得られるよう、全国的な協力を望むものである。

北海道において PC グラウトの組織的研究が始まったのは昭和 32 年で、前述の実地調査を始めたのは昭和 33 年のことであって、現在まで多くの貴重な資料が得られた。このうち PC グラウト注入施工指針の改正の基礎となった部分については、さきに本誌に発表したごとくである。しかしそれ以外の実験結果、とくに実態調査の結果については、まだ発表しておらない。これについては筆者はその関係者の一人として大いに責任を感じている。発表をさしひかえているのは、関係当局の深い考慮にもとづく要請によるものであるが、筆者としてはできるだけ早い機会にこれが公表されて、この問題の正しい認識をうる一助となることを強く望むものである。

さて、寒中もしくは晩秋に施工されたグラウトのごとく、若令期に凍害をうけて発生するひびわれについては、これを実験的に再現することも可能であり、またその発生機構についても大いに究明されてきた。一般には、シーす内においてグラウトから分離した水が局部的に集中するか、またはある範囲に存在し、しかも密閉されたシーす内であるため乾燥によって失なわれることがなく、これが凍結することによって縦ひびわれが生ずるもの、と考えられやすい。しかし実際は、このような現象のおこることはほとんどないのである。シーす内に注入されたグラウトは間もなくブリージングを生ずるが、これは約 3 時間でその最大量に達し、その後は再吸収されて約 10 時間以内に消失するのが普通である。ある場合、例えばフライアッシュを混合した場合には、まれにこの分離水が数週間も残っていることがあるが、これは特殊な場合である。従って PC グラウトでは分離水はほとんど重要な問題とはならない。ひびわれの原因は、グラウト硬化体内の微細空けき中にふくまれる水分の凍結によって容積の膨張がおこることである。このような容積膨張の有無は、凍結安定性試験として、実験的に確

かめることができる。そして実際に、模型 PC 桁によって、この容積膨張とひびわれとの関係を確認したのである。凍害による縦ひびわれの発生が以上のものであるかぎり、友永博士の言われる、付着力の減少もしくは端部定着の信頼性については、それほど心配はないものと考えられる。またこのことは、実際の PC 桁から取出したシーす内のグラウトと PC 鋼との付着状況からも考えられる。

ただし、すでにたびたび述べたごとく、ひびわれの原因としては、上記の凍害以外の多くのものが考えられるのである。これについて、ここに詳述することは避けたいが、言えることは、縦ひびわれの発生は被覆コンクリートの横方向の引張ひずみとそのコンクリートの極限值を超過することによるものである。PC 桁では、プレストレスによってすでに相当の大きい横方向引張ひずみがプレストレーンとして生じている。もし必要以上のプレストレスが導入されると、横方向プレストレーンはかなりの値となる。これに対し、さらに二次的ストレーンが追加されれば、極限值を越える可能性が生ずる。前記の凍害膨張によるものはその顕著な一例である。要するに、シーすの配置など施工上の欠陥によるもの、グラウトとコンクリートの物理的性質の差によるもの、およびその他種々の原因が考えられる。例えば、グラウト注入後比較的早い時期に縦ひびわれの発生した例があるが、これは明らかに凍害以外の原因によるものである。プレストレスによる横方向のプレストレーンはかなりの大きさであるから、とくに注意が必要である。

また前述の凍結安定性試験によって膨張を認めたグラウトであっても、材令が増加すると膨張が減少し、全く安定となってしまうものが多い。しかるに実際は前述のように夏期以前に施工したのも、ひびわれの発生したものがあるのであるから、この問題が北海道など寒地だけのものでないことは理解されると思う。

筆者らは、以上のことから、少なくとも二次的ストレーンの原因となる疑いのあるものはこれを避けることにしている。例えば、アメリカの示方書のごとく、膨張剤の使用によって 10% までの膨張を許すようなことは、これが縦ひびわれの発生上まったく無害であることが、あらゆる種類のセメントおよび配合その他の条件において確認されないかぎり決して採用しない方針である。

ここでなお少し付言したいことは、PC グラウトに関する統一された品質試験方法が全国的に行なわれ、今後の正しい認識と究明の資料が得られるようにしたいことである。問題の重要性にかんがみ、多少の手数または経費を必要としても、できるだけ正しい値の得られる方法を採用したい。この見地から、筆者は例えば現在グラ

ウトの流動性を測定する方法として、沈入試験を行っており、なお改良の余地はあるとしても、理論的にも比較的正しい粘性値を与えるので引続き採用してゆく方針であるが、流動性をむしろ粘性何ポアーズといった表わし方にするのも一方法であると思っているほどである。

以上グラウトについて意外の紙数を費やしたので、以下は簡単に述べることにしたい。**3. PC 鉄道橋の剛度と衝撃** について友永博士は鋼橋と同じ程度の衝撃係数を主張されている。筆者は、これには死荷重と活荷重との比 D/L が大きな要素を占めると考える。この点からいって同じ荷重条件下の構造物では、コンクリートの品質 $\sigma_{28}=300 \text{ kg/cm}^2$ を一応の境界とし、これより高い PC および RC 橋に対しては従来の RC 橋と鋼橋の間くらいにとってよいと考えている。

4. PC 鉄道橋の支承について、5. 各種方式および材料について は筆者もほぼ同感である。

6. PC 橋の疲労について における友永博士の論説は広はん、かつ周到なものであって、ここにその全体について所感を述べることは容易なことではないが、まず疲労に対する安全計算を PC 橋に対して行なうべきであることには同感である。ただこれに関する国内の資料は少ないのであるから、今後もっと広く研究の行なわれることを望むものである。つぎに静的荷重に対するひびわれ安全計算の問題であるが、従来ややもすると曲げひびわれにおける PC の有利性を強調するあまり、必要以上にプレストレスを与える傾向が見られる。このことはすでに述べたように縦ひびわれとも関係があるので、合理的な考慮が望ましい。一般には、コンクリートに引張応力が生ずれば、これがただちに、ひびわれに結びつくという考えがまだかなりあるように思われる。これが誤解であることは、正しく設計施工された既往の RC 橋を見れば了解されると思う。必要なのは、(1)ひびわれは絶対に許されないのかどうか。また許されるとしたときその許容巾はいかにとるべきか (欧州では RC に対し

0.2~0.25 mm にしている)、(2)ひびわれ安全率をいかにとるべきか、ということである。(1)は RC と PC では少し条件が異なると思われるのでここではふれないとしても、(2)についてはこれを必要以上にとるとは、仁杉博士の言われるごとく PC も不経済なものになってしまうおそれがある。筆者は、道路橋の場合の例では、友永博士の言われる全荷重に対する 1.4~1.5 の安全率は、パーシャル プレストressingでも十分に得られると考える。ただこの場合、現在の土木学会指針にあるような弾性理論による計算でよく、塑性理論を用いての話である。塑性理論を用いれば、友永博士の言われるような、断面形状の差による引張強度の変化は考慮しなくてもよいと考えられる。

つぎに PC 鋼の許容応力度をドイツ規格のように、 $\sigma_{pa} \leq 0.55 \sigma_{pB}$ または $\leq 0.75 \sigma_{py}$ に下げたいという友永博士の説は、筆者も同様な考えを持っている。わが国の指針では緊張作業中 $0.90 \times \sigma_{py}$ まで許しているが、実際の現場では σ_{py} を超過していることも相当に見られ、レラクセーションが問題となる。また現在の許容応力 $0.60 \times \sigma_{pB}$ は、ほぼクリープ限界値に等しいのであるから、この点からもこれより少し低い値の方がよいのではあるまいか。 σ_{pa} を下げた場合、ひびわれ安全率が低くなるという仁杉博士の討議ではあるけれども、これは A_p を一定にした場合であって、 A_p をそれだけ増加させて $P=A_p \sigma_p$ が同じ場合には、そのような差は生じないと考えられる。ただ PC 鋼の量が増加するのは止むを得ないことであるが……

以上筆者の所感を述べたが、仁杉博士も言われるごとく、友永博士の論説は、PC 関係者にとって重要な多くの問題をふくんでおり、その論旨を深く理解することが大切であると思う。

(筆者：工博 北海道大学教授，工学部土木教室)

1961.2.25・受付

PC 鉄道橋のすう勢

国鉄において架設した PC 鉄道橋は昭和 27 年度を出発点とし、その後次の表のような経過で増えてきている。道路橋にくらべればその数は非常に少ないが、それでも世界一多くの PC 橋を数えている。年度別の表は次のようである。プレテンションの橋はあまり増加していないが、ポストテンションの橋は 34 年度以降急速に増加し、橋の平均スパンも昭和 36 年度になって 20 m をこえた。

	プレテン橋数	ポストテン橋数	橋の平均スパン
27 年度	0	1	4.9 m
28 "	2	0	5.2
29 "	5	1	10.8
30 "	2	0	9.4
31 "	3	0	7.9
32 "	2	2	12.0
33 "	1	2	17.0
34 "	4	12	17.0
35 "	3	25	16.4
36 "	0	17(施工中)	21.2