

PC グラウトを膨張性グラウトとすることの 可否についての私見

樋 口 芳 朗

1. 序 言

「アルミニウム粉末をコンクリート中に混和すると水素ガスを発生し、このガスがモルタル内に一様に分布するためブリージングおよび沈下収縮を起すのを、いちじるしく軽減する」と Concrete Manual に書かれている。

AEコンクリートが普通コンクリートにくらべて約半分といった小さいブリージング率を示すことから以上の記述はきわめてスムーズに私達の頭に受け入れられる。ところで実際にアルミニウム粉末を混和したグラウトのブリージング率を測定してみると、私達はすぐに反対の現象にぶつかってしまう——アルミニウム粉末を増加してガスをたくさん発生させると、いよいよブリージングは増えるのである。さてはどこかでぬかったのかと実験をくりかえしてもやはり大勢はかわらない（おそらく Concrete Manual の著者は軽はずみにあの文章を書いたものと筆者も邪推するが）。しかしここで Concrete Manual にだまされたといいきってしまうのもやや短見にすぎようである。というのは測定時間を 20 時間以上にのぼすとブリージング水が再びグラウト中の空げきに吸い込まれてしまうからであり、このような空げきがアルミニウム粉末の増加とともに増大することは明らかだからである。短時間の測定でアルミニウム粉末の混和によりブリージングが増えるのは、ガス発生による圧力増大に帰することができると思われるが、事態は実に複雑であり、故吉田徳次郎先生がいわれた昨是今非、昨非今是というのは、このような現象をいわれたのではないかと思われる次第である。

はじめに長々と以上のようなことを書いたのは、限られた実験結果から（あるいは実験をしないで）早急に結論を出すと、往々にして誤まった（あるいは一方的にすぎる）結論に落ちつきやすい、ということを示して自戒の種にするとともに、本小論に記した私見が誤っていた場合のいいわけとして、予防線をはらせて頂いたものであることを、最初にお断わりしておかなければならない。

2. 今までに公表された文献

世界的に見てもきわだって対立した意見の出されている表題の問題について考察を加えるまえに、今までにこの問題についてどのような研究がなされ、どのような意見が述べられているか概観しておくことは重要であろう。以下年代を追って過去における研究者の主張をべっ見してみよう。

Arthur Röhnisch¹⁾ はアルミニウム粉末によるグラウトの膨張が望ましい空気泡を生じさせる点で有用なものであることを指摘したのち（Röhnisch は空気量と未結合水の比が 9% 以上であればグラウトの凍結膨張による害が現われないと主張している。もっとも後になって 12% 以上と訂正したようである）、Ytong 軽量コンクリートに用いられているアルミニウム粉末のガス発生作用は大体分以内に終わってしまうので PC グラウト用としては不適であり、もっと小さな表面積を持ったアルミニウム粉末（フレーク状とちがって球状）のものをを用いるべきだと主張し、セメントの種類によって反応速度が変わることと、反応は特にセメント中の遊離石灰量によって決定されるといっている。

1957 年に制定されたドイツの PC グラウト注入指針案²⁾ の混和材料の項にはグラウトの流動性を増し、できればまだ固まらないグラウトを少し膨張させるものではないと示されている。

Fritz Leonhardt³⁾ は上記の指針案の解説において次のように述べている。膨張剤が所期の目的を果すかどうかについては長い間論議が重ねられてきた。これまで膨張はアルミニウム粉末によって得られてきたが、この反応は温度によって影響を受ける。膨張作用はこれまで避けることのできなかつた純セメントモルタルの収縮に對抗し、PC 導孔上部に空げきが出るのを防ぐために望まれる。わづかばかり膨張させれば十分であるし、微細な空げきは、ほんの少ししか強度を減少させない。膨張している間 PC 導孔の端部は解放しておき、高圧力を生じないようにしなければならない。グラウトを密閉容器中に入れておくと固体部分が圧力のために圧縮され、ガ

スの一部が逃げ、上部に集まるようになる。この場合、グラウトの強度はきわめて大きくなるが大きな空けきがあるのは望ましくない。PC導孔にあっては継目が気密でないから、そんなに高い圧力は生じえない。PC導孔が大きい場合は、一定間隔ごとに上部排気管を設けておき、高圧を生ずるのを防ぐことができる。

Walter Albrecht¹¹⁾ は収縮率を2%以下という規定は膨張剤を用いないかぎり満足することが困難であることを指摘するとともに、アルミニウム粉末に油脂分の被覆を施す必要があることを示している。——圧縮強度への影響および過大の圧力のことを考えて膨張率を2%以下とするのが目的にかなっており、空気量が増えると圧縮強度は減るが、PC導孔に過大圧を生ずることは心配の必要がないといっている。

オランダのSTUVO-CURグラウト委員会⁵⁾ はPC導孔内におかれた膨張性グラウトの性状を調べるため、練り混ぜたのち、ある時間たったPCグラウトを密閉する実験を行なった。この結果、容器を閉じると膨張はとまり、また容器を再び開くと普通の収縮がはじまった。換言すると収縮を後に補償するための圧力を形成することは、混和材料に期待できないといえる。委員会の意見としては、このような混和材料の使用は意味が認められない、というのは閉じられたPC導孔内では体積膨張は不可能であるし、普通の収縮は起るからである。

猪股俊司氏⁶⁾ はグラウトの膨張を生ずる点でアルミニウム粉末の使用は有利であるが、セメント重量の0.01%の使用でも、いちじるしい圧縮強度の低下を生ずる結果となるので使用量を0.005%程度におさえ、かつポゾリスを併用することが必要であるとしている。

Oskar Völter⁷⁾ は第3回国際PC会議でオランダその他の代表がアルミニウム粉末の混和に疑点を表明しているのは、アルミニウム粉末だけを用いたため悪い結果を得たからであるとし、油脂分によるアルミニウム粉末の被覆、流動化剤およびレターダーの併用により、十分満足な結果が得られるとし、PC導孔を切断した場合、膨張剤を用いたときの方が、ずっと、すみずみまでん充されていたことを示している。

横道英雄氏⁸⁾ は脂肪質膜で包まれたアルミニウム粉末を使用することをすすめ、収縮率を±2%とするにはセメントの0.0025%で十分であるとし、圧縮強度を減少させるので必要量以上の使用は避けなければならないとしている。

米国PCIで1960年に制定したPCグラウト施工指針⁹⁾ 中では「適当な粒度のアルミニウム粉末あるいは、他の認可された混和材料を混和することにより、抑制し

ないで測ったときのグラウトの膨張率が最大10%を示すようにしなければならない」としている。

読者のページでGerwickが以上の点につき疑点を表明しているが、明確な解答は与えられていない。

Walter Albrecht¹⁰⁾ は種々のミキサを用いて試験を行ない、収縮率を2%以下とするためには膨張剤を用いなければならないことを確認している。

横道・藤田・林・松井氏¹¹⁾ はポゾリス、アルミニウム粉末、ビンゾールがグラウトに凍結安定性を与えるのに有効であることを実験で確かめている。

Milos Polivka¹²⁾ は、米国PCIの規定を支持する実験結果を発表し、膨張率が $10 \pm 2\%$ となるのが適当と主張している。そして、セメント：フライアッシュ：砂(0.59mm以下)=5:2:6 $W/(C+F)=0.45$ のグラウトに0.015%のアルミニウム粉末を混和したところ膨張率は10.5%であり、28psi(約2kg/cm²)の圧力を密閉容器中で示すことを記している。また、このようなグラウトの強度を求めるには水密気密のモールド内にグラウトを密閉して抑制しなければならないとしており、このようなモールド内に密閉した膨張性グラウトは抑制しない場合と比較して、きわめて大きい圧縮強度を示すことを確かめている。

中野清司氏¹³⁾ は「膨張剤は使用方法、使用環境によってその効果が影響されやすく、適正な使用は有効であるが、使用方法をあやまると構造物に損傷を与えるおそれがあるので用いないことにする」と記している。

土木学会でこの夏に改訂されたプレストレストコンクリート設計施工指針中のPCグラウト指針案¹⁴⁾ では「膨張率は0~5%を標準とする」と示している。

3. 膨張性グラウトを用いることの可否について論ずる場合の問題点

以上で各研究者がPCグラウトにアルミニウム粉末を用いることの可否について、どのように考えているかがわかったので、ここで、この問題を論ずる場合の問題点で検討を要すると思われるものをあげると次のとおりである。

- (1) アルミニウム粉末の混和によりPCグラウトの圧縮強度が下がること。
- (2) 膨張圧によりコンクリートにひびわれがはいるおそれのあること。
- (3) 膨張剤としての有利な作用を確実にうるためのアルミニウム粉末の種類、使用方法が確立されていないこと。

以下、順を追って検討してみよう。

4. 膨張性グラウトを用いることが結局推奨されるとする私見の根拠

(1) アルミニウム粉末の混和により自由に膨張させた場合のグラウトの圧縮強度が下がることは確かである。この圧縮強度の落ち方には2つの場合があり、ごく少量のアルミニウム粉末の混和で大きく落ち、以後はアルミの増加とともにおだやかな落ち方を示す場合と、はじめからおだやかな落ち方を示す場合とがある。前者の場合は、わづかのアルミニウム粉末の混和により不十分な膨張しか期待できないのに強度の落ち方は格段に大きいという不利を受けることになり、中途半ばでつまらない気がする。

また Polivka¹²⁾ も指摘しているとおおり、そもそも膨張性グラウトの強度を求めるときに自由に膨張させたグラウトの強度自体をうんぬんするのは当を得ていないと思われる。筆者はPC導孔内のグラウトが水密気密に保持されているとする Polivka の見解には必ずしも賛意を表するものではない。シースをを用いない場合はもちろん、シースをを用いた場合でもシースの継目、コンクリート、流出孔を考えるとグラウトからの脱水は、ある程度起りうると考える方がむしろ適当であろう。抑制および脱水の程度を、現場で施工されたグラウトおよび供試体のグラウトについて同じにすることが、きわめて困難であることは確かであるが、ある程度の抑制を与え、ある程度の脱水を許した供試体について求めた強度の方が実際に施工されたグラウトの強度により近いと考えるのが適当であろう。土木学会グラウト専門委員会では広範な共通試験を実施したが、脱水を許した場合 Polivka の示しているような大きな強度は得られなかったため Polivka の方法によると危険側になるのではないかとと思われる。

ここでPCグラウトのおかれる状態について考えると、PCグラウトについて圧縮強度を求めると自体に疑問を生ずる。PC鋼材の配置してある箇所が荷重を受けた場合、大きい圧縮応力を生ずるということは一般的でないといっても不当ではないであろう。PCグラウトがプレストレスとしての大きい圧縮応力を受けないことは断わるまでもない。PCグラウトの強度としては、付着強度を取るのが適当であり、この試験が日常試験として実施するのが困難であれば、一足とびに圧縮強度までとばず、曲げ引張強度を求める方が適当ではなからうか？膨張させた場合の強度の落ち方、膨張を抑制した場合の強度の増進などの点が曲げ引張強度と圧縮強度はいささか異なっているようである。

コンクリートの鉛直割目にセメントグラウトを注入して付着強度を調べたところ、膨張性グラウトを用いた方が、はるかにすぐれた結果を示したし、プレパックドコンクリートの埋込鉄筋との付着強度は膨張率の増加とともに着実に増大することを筆者は実験的に確かめたので、この点からも筆者は膨張性グラウト——しかも確実に膨張による効果の期待できるような膨張率の得られるグラウトを推奨したいと私見する次第である。

(2) 膨張圧によりコンクリートにひびわれが入るのを助長するのではないかと心配するのは、理論的にいってもっともな話である。PCグラウトが目されるに到った理由がPCげたのシースにそったひびわれであることを考えると、特にこの点の検討を行なっておく必要が認められる。

まずアルミニウム粉末の混和によって、どの程度の膨張圧を生じうるか検討してみよう。ドイツの文献には密閉空間内で10 kg/cm²程度の圧力を生じうるとしているが、筆者は多量のアルミニウム粉末を入れると45 kg/cm²以上の圧力を生じうることを確かめた。しかし、このような圧力は、常用のアルミニウム粉末量とけた違いの量を入れなければ生じないこと、完全に気密水密にグラウトを密閉しなければ生じないこと、このように大きい膨張圧を生じさせるような大きい膨張率を示すPCグラウトをかぶりの小さい無筋コンクリート中のシースのない孔に密閉した場合、グラウトよりの脱水ははげしく起るがコンクリートに全然ひびわれを生じないこと、このひびわれを生じないことはシースがある場合でも同様であること、膨張率が10%程度のPCグラウトであれば、Polivka¹²⁾ も指摘しているとおおり3 kg/cm²以下の膨張圧しか生じないことを筆者も確かめていること、等の諸点から筆者はやはり膨張率が10%程度のグラウトを推奨したいと私見する次第である。

(3) 膨張性グラウトをうるための膨張剤としてはアルミニウム粉末とセメント分散剤の組み合わせとすべきことを筆者はすでに1953年に指摘している。両者を併用することによりアルミニウム粉末が水中でよく分散するきともきわめて有利である。ところでアルミニウム粉末として Röhnisch¹³⁾ のいうようにフレーク状とちがった球状のものを用いた方が有利であろうか？筆者の実験した範囲では答えはノーである。現在入手しうる範囲のアルミニウム粉末——粒状、針状、アトマイズド状、フレーク状——について実験してみたところ、ガス発生剤として有効だったのはフレーク状のものだけであった。これはフレーク状のアルミニウム粉末の製造過程においてステアリン酸を添加しないと爆発するため適量の油脂性

被覆がほどこされアルミニウム粉末の酸化が防止されるためと思われる。このステアリン酸被覆によってガス発生剤として有効なアルミニウム粉末を湿気の多い場所に長期間おいても無効とはならないこと、従って当初有効であったアルミニウム粉末が普通の貯蔵状況によって無効になったなどというのは、寒期にアルミニウム粉末を増量しなければならないのを忘れたり、暑期にアルミニウム粉末の過早な発泡を防がなかったために起った現象に対する認識を誤まったものであると思われる。適量のステアリン酸被覆を有するアルミニウム粉末は水中に数日おいても決して無効とはならないものである！ 従って例えば紙包みにした少量のアルミニウム粉末が風に飛ぶなどということを防ぎ、またグラウト中でのアルミニウム粉末の分布をより均一にするため、分散剤水溶液中にアルミニウム粉末を分散させておき、使用前に攪拌して用いるなどという施工方法をとることも可能となることを筆者は確かめた。またステアリン酸被覆の量をふやすことによって、ガス発生作用の継続時間をのばすことは不可能であることも確かめたので、暑中においてガス発生作用が過早に終了するのを防ぐにはアルミニウム粉末の投入時期を遅らせることが必要であり、この場合でも適当な練り混ぜを行なうかぎりアルミニウム粉末は均一に分布するものであることも筆者は確かめた。

将来Yシャツ用の紙糊のような形で分散剤とアルミニウム粉末を組合せたものが入手されるようになったら、計量投入の作業が簡易化され実に有難いと思われる。しかし今の段階でもアルミニウム粉末の使用をためらわなければならないほど、この方面の研究が進んでいないとは筆者には決して思えない。

5. 結 言

以上に述べた根拠に加えて、アルミニウム粉末を混和して満足な結果の得られた国鉄の多くの施工例、アルミニウム粉末の混和量不足が原因となってん充不十分を露呈した多くの試験工事例（切断してん充状況を調べた）を考えると、筆者はむしろ多目の膨張率をすすめたという私見を強めざるをえない。米国の指針が一足先にこの線を打ち出してしまい、後じんを拜するかっこうになってしまったのは遺憾であったが、しかしこれからでも、わが国独自の主張をする機会はいくらでもあると思われる。例えばコンシステンシー試験方法一つをとっても欧州の大勢が回転式粘度計を用いる方向に向っているからといって、いたづらに追随するのはやめ「日本では特別に回転式粘度計を用意したりはしませんよ。ミキサの駆動を停止してから羽根のとまるまでの時間でコン

システンシーをコントロールしていますよ」と主張する程度の反骨を持ちたいと考えるのは筆者が子供っぽいからであろうか？ 寒中のPCグラウト施工に当たってもシース付近に被覆電熱線を配置しておけば問題は一ぺんに解決するのではなかろうか。計画的に多数の通水気用小孔を設けたシースの方が特に膨張性グラウトを用いる場合にはすぐれていないだろうか（コンクリートから水をしばり出すことも可能であろう）etc.....。もはや戦後ではなく、わが国最初のケネディ・フルシチョフ工法などという大活字が技術新聞を横行するのには少々あきかきてもよい頃であり、もう少しパイオニヤームードを持ったネオバーバリズムが台頭してきてもよい頃ではなかろうか.....妄言と脱線をおわびしつつこのへんで終らせて頂く（本文内の私見にわたる部分の責任はすべて筆者個人が負うべきものである）。

参 考 文 献

- 1) Arthur Röhnisch "Die Einwirkung von Frost auf den Einpressmörtel von Spanngliedern" Beton-und Stahlbetonbau, 1955-3
- 2) Vorläufige Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle" Beton-und Stahlbetonbau, 1957-12
- 3) Fritz Leonhardt "Zur Neubearbeitung der,, Vorläufigen Richtlinien für das Einpressen von Zementmörtel in Spannkanäle" ib.
- 4) Walter Albrecht "Über die Raumänderungen des Einpressmörtels" ib.
- 5) STUVO-CUR Committee on Grouting "Some facts and conclusions about grouting" F.I.P. 1958
- 6) 猪股俊司「プレストレスト コンクリート用グラウトの研究」セメント コンクリート No. 138, 1958-8
- 7) Oskar Völter "Der Einpressmörtel, die Einpresstechnik und die Spanngliedkonstruktion" Beton-und Stahlbetonbau, 1959-3
- 8) 横道英雄「プレストレスト コンクリート用グラウトの品質と試験方法に関する研究」セメント コンクリート No. 158, 1960-4
- 9) Tentative Recommended Practices for Grouting Post-tensioned Prestressed Concrete, Journal of the Prestressed Concrete Institute 1960-6
- 10) Walter Albrecht "Versuche mit Sondermischern für Einpressmörtel" Beton-und Stahlbetonbau, 1960-11
- 11) 横道英雄・藤田嘉夫・林 正道・松井 司「PC グラウトの凍結安定性に及ぼす各種セメントの影響」第16回土木学会年次学術講演会講演概要 1961-5
- 12) Milos Polivka "Grouts for Post-tensioned Prestressed Concrete Members" Journal of the Prestressed Concrete Institute, 1961-6
- 13) 中野清司「プレストレスト コンクリート用グラウトの特性」セメント コンクリート No. 174 1961-8
- 14) 昭和36年度土木学会改訂・プレストレスト コンクリート設計施工指針 PCグラウト指針案, 1961-8

1961.9.16・受付

(筆者：MS 国鉄技師，鉄道技術研究所主任研究員)