

土質基礎の回顧と点描・補遺

4. わが国における薬液注入工法

—開発当時の回顧—

山崎 慎二*

出席者

丸安 隆和 工学博士・東大名誉教授
 沼田 政矩 工学博士・国土館大教授
 古賀 昇 日本薬液注入協会副会長
 (三信建設工業株式会社専務取締役)
 星宮 求 日本薬液注入協会総務委員長
 (日本総合防水株式会社常務取締役)
 野上 明 日本薬液注入協会常務理事
 (株式会社地巧社常務取締役)
 柴崎 光弘 日本薬液注入協会技術委員長
 (ケミカルグラウト株式会社次長)
 佐野 栄 日本薬液注入協会技術委員
 (東亜グラウト株式会社専務取締役)
 蓮尾 一二 日本総合防水株式会社取締役
 営業部長

山崎 これから座談会を始めたいと思います。最初に丸安先生、薬液注入に目を向けられたいきさつについてお願いいたします。

丸安 当時私は薬液注入というのがなんであるか全然知らなかったんですが、私の上に釘宮先生という大変偉い方がおられまして、この方は国鉄の関門トンネルの初代所長でしたがこの先生から教えられました。

当時の薬液注入というのはユーステン工法といって、塩化カルシウムと珪酸ソーダの液を使ってやる、今でいう2ショット工法であって、なかなか思うようにいかない、効果も上がらない。これからの土木工事には、セメント注入のほかに薬液注入が必要である。薬液注入としては注入するまでは完全に液体であって、土中に入ってから固まる。それには相当時間的な調整のできるものがあるといいんだということで、「お前少し勉強してそういうものを見つけ出せ」という命令を受けた。これが薬液注入を始めたいいきさつです。

そのとき先生からポケット・マネーでおそらく、1000円だったと思います。われわれの月給500円では封鎖されたとき500円にならなくて困っていた時代ですから、大変な

ポケット・マネーをいただいたということになります。それで真剣に仕事を始めなくてはならないということになったわけです。

今でもそういう傾向がありますがその当時は土木のことは、土木の中だけで片付けようということになりがちだったんですが、こういう薬液を使うということになると、やはり化学の知識が必要だということで、私のいた生産技術研究所と一緒にいた応用化学の今岡先生と2人で相談して共同で薬液注入の仕事を始めました。

ずいぶんたくさんの方の薬液について、いろいろの試験をしました。そのとき釘宮先生から与えられた条件が、いま申したように薬液注入ですから、はじめは液状であること、それから固まるまでに相当時間の調節ができるということ。そのほかに土木で使うとなると大量に入手できるものでなくてはならない。そうしてある程度経済的なものであるということが必要なんだ。その時分から高分子材料が、いろいろ出はじめていたんですが、高分子材料を使ったのでは、とても土木には使えないぐらい高いものであった。ですから、どうしても無機物で考えていかななくてはならないということで、ずいぶんいろいろな実験をやったわけです。結果、一番これがよさそうだということで研究を進めていったのが、珪酸ソーダとアルミン酸ソーダの組み合わせということで、それを主体にしているいろいろな実験を進めていったというのが研究の初期の経過です。

古賀 そうすると昭和22,3年ですか。

丸安 24,5年です。これらの組み合わせで凝結時間の調節ができるということがわかってまいりまして、レポート(土木学会論文集第12号“薬液注入による地盤の固結方法に関する研究”昭和27年2月・工学博士・丸安隆和、沼田政矩、黒崎達二)を見ていただくとわかりますが、非常にいろいろの実験がしてあります。時間の調節と強度の関係をいろいろな濃度その他の条件を変えてやりました。

結局一番凝結時間に関係のあるのは液の温度、それを調節できるのはアルカリ、たとえばこの中に入れる苛性ソーダの分量によるということがわかったものですから、初期は大体そういう形で調節していきました。

* 日本薬液注入協会会長・日本総合防水(株)会長

講座

いま、水ガラスについて1号品、2号品、3号品とありますが、その時分にもずいぶん試してみたんですが、溶かすのが大変なものですから、結局は3号品になりました。その中のアルカリ分を、別に苛性ソーダの溶液を溶かして調節するという方法で作業を進めていきました。

実験的なことは大体それで終わったわけですが、これを実際に野外でどう使うかという問題……。

山崎 少しさかのぼるかも知れませんが、薬液注入という問題がとり上げられて研究がスタートされた。丸安さんと今岡さんが研究者として、その時分にながしかの費用が必要なために政府から研究費を出してもらおうということで、沼田さんが委員長になられて、注入研究委員会が設けられたということですが、その辺の事情を沼田さんにお話し願います。

沼田 今の生産技術研究所、元の第二工学部にいるころやったんです。昭和25年ごろですね。そのころ丸安先生と今岡さんと2人で協力されてやっておられたんですが、研究費を政府から出してもらう関係があるので、なんとか委員会をこしらえろというわけで、そのとき同じ学部にした関係で委員長になった。

注入研究委員会のメンバーは、

「薬液注入研究委員会委員」

- | | |
|-------|---|
| 釘宮 馨 | パシフィック・コンサルタント社長
元国鉄関門トンネル工事初代所長 |
| 平山復二郎 | P・Sコンクリート社長 元国鉄建設局長 |
| 沼田 政矩 | 第二工学部教授，元国鉄研究所長 |
| 広田 孝一 | 電源開発調査役 |
| 神谷 貞吉 | 電源開発中央研究所土木課長 |
| 黒崎 達二 | 電源開発中央研究所 |
| 磯崎 伝作 | 国鉄研究所 |
| 山内 寛 | 国鉄研究所 |
| 研究者 | 丸安隆和・今岡 稔 |
| 幹事 | 山崎慎二 日本総合防水株式会社社長
小林紫朗 日本総合防水株式会社取締役
元国鉄建設局長
星野茂樹 日本総合防水株式会社取締役
元国鉄関門および熱海工事事務所所長 |

山崎 釘宮さん、平山さんはともに建設局出身ですし、大学も同クラス、仲がよくて、平山さんは非常に活動的な方で何事にも熱心でありました。釘宮先生は関東大震災後、復興局にも行かれて、永代橋など隅田川の5大橋工事で潜函基礎工事を日本で初めて使用されました。

沼田 そのほかに電源開発の広田さん、神谷さん、黒崎さん。黒崎さんは丸安先生の研究にも直接関係されました。磯崎さんは教習所出身ですが、非常な勉強家でした。

丸安先生は高等学校時代はボートの選手で大いに活躍さ

れたのが、大学では航空写真測量も研究され、また最近には法隆寺の仏像の木像写真をとられた。

丸安先生はこうした優れた幅の広い技術家であられるので、薬液注入というような発明もできたと思います。

いろいろ研究を進められていましたが、実験室だけでもなんですから、現場でどこか試験をやろうということになって、前の国鉄総裁の藤井松太郎さんが、そのとき信濃川国鉄発電所の所長でしたが、藤井さんも非常に技術の研究に熱心な方で「あなたの所でやらしてもらえないか」と言ったら「ああ、やれやれ」というわけで早くやらせてもらいました。

私がこの特許注1)を山崎さんのところに「あなたの所で使ったらどうか」と持っていったのです。いい研究をしても、そいつを自分だけでボロもうけをする人がチョイチョイあるんですよ。山崎さんはボロもうけが下手ということを知っていたものですから……。

山崎 そのことは大変有難いことでありました。ちょっと加えさせていただけば、事実、ある大きい現場で「自分でもこの薬液注入の特許工事ができるんだ」と言って注入工事をやろうとしている者がありました。やはり私どもの先輩の金子源一郎さんという方が、その施主の会社の役

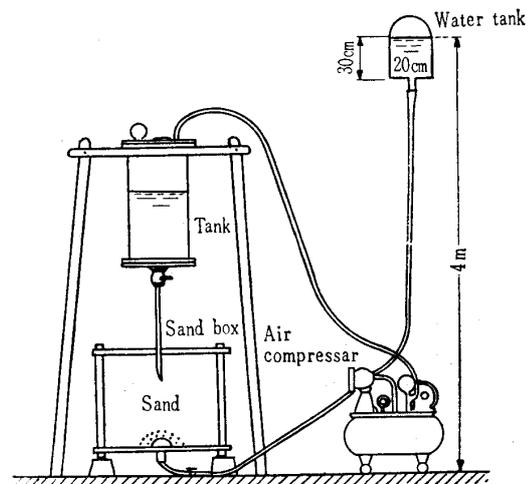


図-1 当時の試験注入装置の概要

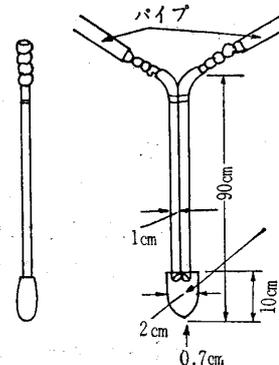


図-2 Y字管の当初のアイディア（埋込みの浅いものに使用）

注1) “薬液注入による地盤の固結法” 特26-6630, 出願昭和24年5月14日, 公報昭和26年10月26日

員をしておられて、「特許を軽視して、これを冒すとは悪いことだ」と言われて、それを止めさせ、私のほうでやらせてもらったようなことがありました。

丸安 実験室的なものは先程申したように大体終わったので、これを実際に野外でどう適用するかという問題。いろいろ失敗しましたが、結局野外でやるとき一番うまい方法というのは、薬液を別々のパイプで注入箇所になるべく近いところまで持って行って、そこで現地盤に注入するという方式をとることを、その時分始めておったんです。

薬液注入って割合早く固まるものですから非常に苦労する、途中で固まって入らなくなってしまうのではホースも何も全部メチャメチャになる。今から考えるとなんでもないので、そういうことをどうしたら解決できるかというので、まずチェック・バルブを使ってのリターン・パイプ方式というのを考え出して、入らなくなったらリターン・パイプで返すんだという形で、圧力と入る量を調節した。配合するのも、初めから混合してしまうと液が余ったり、グズグズしているうちに液が固まって使えなくなったりします。

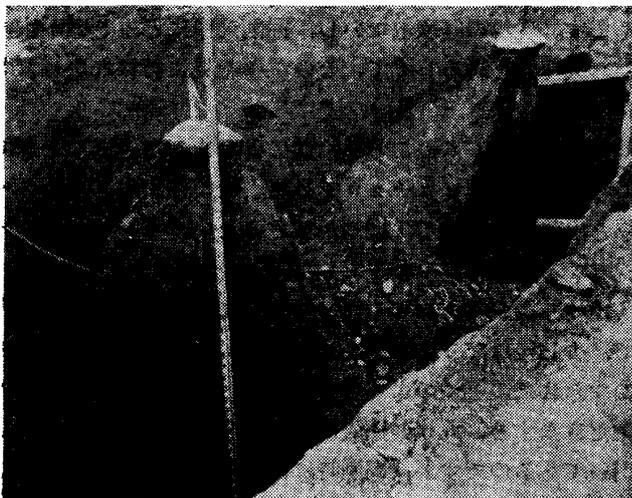
入れるほうからは2液が等量というのが一番やりやすい。こんなことも現場では大切です。それに粘性が違う液を混ぜるときに問題が生ずる。

つまり、今日いう一ショット半工法の始まりでありました。さらにまただんだん改良されて、今日の簡明なY字型注入パイプとなりました。

あの時分としては大変な試みだったと思いますが、この方法を現場で最初にやらせてもらったのは国鉄信濃川発電所の調整池の中でした。

その前に電源開発中央研究所の黒崎君が、彼も途中から実験に加わったのです。実験で、ドラムかんや穴を掘って注入する操作をやったときには、すでにそういう方法を考えてました。

山崎 信濃川でおやりになったのもあの報告に出ていま



写真—1

すね。同一箇所にある量注入すると円スイ状の固まりができて、下には入っていかない……。

丸安 それも新しい発見だったと思うんです。

昔は地盤注入の場合も、ドラムかんの底にできるように注入パイプの底に丸く固まるというのが常識だったですね。

どんな本を見ても底に丸く固まりができるよう書いてある。いま山崎さんからお話があったように、それを一度実験したいと考えておったところ、沼田先生のご紹介で、前藤井国鉄総裁がおられた信濃川事務所であつたので、調整池で実験をやらせてもらいました。

そのとき、リターンパイプ・サーキットの手法が出来上がったんです。信濃川の現場に大野さんという方がおられまして、その方に見ていただいて、パイピングの方式とか、チェックバルブの付け方など、いろいろご指導いただきました。それで今日の注入、あるいは1.5ショットの方式をとるとき基本的な注入の仕方ができたと思っています。

古賀 それが25,6年ごろですね。

丸安 そうですね。そのときのデータの原稿がこれです。(山崎に渡される)。

山崎 大変克明に出ていますね。

丸安 捨てようかと思っていたんです。

信濃川でやらせていただいて、今のお話のように、底に丸く固まると思っていたら、そうでなくて、注入パイプから下のほうにはいかない。結局、入るといのは、土の中の空ゲキにある水を押し出しながら入っていくもんだ。それで当然、押し出した水の通りやすい方向にしか進まないということ、今思えばあたり前のことですが、再発見しました。

もう一つそのときに、今岡さんと信濃川の一室で大激論をやりました。何をやったかという、彼はクリスチャンで学者としてもすごく頑固なんです。私は注入するのに、掘って見たときに、入っていないということになると大変やっかいだから、まず入れるということが大事だ。だから濃度も少しおとして入れようといった。

今岡さんは、「それはだめだ」というんです。掘って見たときに固まったものが、せっかく入ってもできるだけ強い形で固まっていないと評価が下がるというわけです。

だから一番条件のいい状態で注入しなさいということで大激論をやったんです。結局私が負けまして、その時分、アルミン酸の原液7に対し水3の割合、比重で1.30ぐらいの濃度が一番いいんだから、それでやろうじゃないかということになった。

幸いにうまく入りましたからよかったです、入らなかつたら、ぼくの勝ちだったんですが……。きちんとテストピースを作って、それで圧縮試験ができるくらいに固まった。

ちょっと話が前後しますが、その前に、磯崎さんは国鉄

講 座

のトンネル工事の大家ですが、その方といろいろな話をしたときに、薬液注入というのは何もそれほど強度はいらないといわれるんです。ですから強度としては、ある程度の形を保てるという程度でけっこうです、固まったのが水を通さなければいいんだ、薬液注入の効果はそれで十分です、という話が磯崎さんあたりから出ていて、それはたしかにそうであろうけれども、掘って見たときドロドロではいかにもみっともない。やっぱりある程度の強度を保っているということが必要じゃないか。よくわかりませんが、おそらく5キロか10キロ/cm² ぐらいの強度は出ていたと思います。

それで、「これだけあればすごく有効なものだ」ということを磯崎さんからも言っていたで大分力づけられたわけです。

また釘宮先生のサディスションで、これは大事だ。安心してこの研究を進めれば役に立つ仕事なんだ、というお墨付きをもらったことと、藤井さんとか磯崎さんという大先輩にも、これなら大丈夫だというお墨付きをいただいたことが、私ども研究している者にとっては大変な力づけになりました。

山崎 図-2のようなアイデアで実験をやられて、それがさらに進んで注入パイプの頭部にY字型パイプをとりつけ、A・B 2液をここに2台のポンプで送って合流させ注入する今日の1.5ショット方式となった。

当時はY型の両角にリターンサーキットのホースと圧力計もとりつけた。Y字管の合流点にはミキシング・ボックスを装置したきわめて複雑で重たい装置となっておりましたが、だんだん簡単になって今日のようにになりました。いうところの1.5ショット工法の始まりであります。今日になって、これがいかに大きい発明であったかということがわかりますが、当時特許申請しましょうかどうか丸安先生とも話題にしたことはありましたが、私も手続きなどよくわからないし、ついそのままにして時を過ごしてしまいました。少なくともこの発明が丸安先生の発明であるという記録を明らかにして残しておくうえからも、大変な手ぬかりをしたと申し訳なく思っております。

もう一つは、先ほど先生からお話がありましたように空ゲキと、水を追い出したその跡に薬液が入っていく。まだ乱されていない自然の地盤内に薬液が充てんされるともとの地盤がはるかに改善された状態となり、コンパクトで支持力も大となるということなどもだんだんにわかってまいりました。

丸安 いろいろ実験させてもらいました。

そのつぎにやりましたのが五十里ダムの仕事です。その時分にもう一つ発見したんです。

地盤に注入する場合、液というのは上へ上へといきやすい。ですから、たとえば、ある層をまんべんなく固めようとするなら、まず上の層を固めておいて、上をふたしてお

いて、下から注入をしていけばよく固まるんだということをいろんな所で確かめた。それを五十里に应用したわけです。

今では大したことはないと思いますが、五十里ダムでは20mぐらいの砂利層がありまして、そこで仮締切りをやられたんですが、さて掘って本体のダムを作ろうとすると流水が多くて掘り進めない。危ないということで、水を止めなくてはならない。建設省の所長をしておられた、今前田建設におられる荒井さん、そのとき工事請負をしていたのが鹿島の松尾さん。そのとき「一つやってみよう」と2人が私に全部をまかせられた。まかせられてみるととても心配でしたよ。

ともかくも砂利層というのはボーリングするのがむずかしく、砂利がグルグル回って、苦心惨たんしてやったわけです。有難かったのは、鹿島の所長さんが大変協力的でした、この水止めが全部終わったという私の保証があるまでは、掘方には手を付けないという約束をして下さった。それですっかり現場で陣頭指揮をしながらやらせてもらいました。今だったらできないことだと思います。

このとき、もう一つ重要な点は、水が止まったか止まらないかを確認する必要があるわけです。それをどうしてやったかと申しますと、ダムの位置の上流側と下流側にウォーター・コラムを作りまして、ずっと水位の変化を調べたわけです。始めはツーツーで上流と下流の水位差はなかったんです。自然に流れる水位差だけぐらい。ずっと注入して真中のほうにせめていきまして最後のせめになりますと水の流れがものすごい勢いになるわけです。そのとき初めて薬液注入が効果を発揮したのを見ました。薬液を注入すると見る見るうちに水位差ができるんです。それで一応とめておいて、前と後に強度を保つためにセメント注入して仕上げをやったわけです。

そのころ夏休み前で講義があっていましたが、東京に帰って講義を終えるとすぐ出かけてやったんです。夏休み中と9月初めごろまでかかって。それから掘削が始まったんです。現場の経験もないし、掘削最中にどっと底が抜けたら大変だと恐ろしくて、その現場を見に行けなかったわけです。

その五十里ダムのことを論文に書きました。ほんとうによく止まってチョロチョロでした。船の横腹から水がスーッと出ている程度で、掘削ができるというインスピレーションを論文の中に書きました。

山崎 今お話を詳しく伺っておりますと、九州の遠賀川で、少し後になります(36年2月)、ちょうど丸安先生のやられたのと逆のようなやり方で、ちょっと申させていただきますと、九州の遠賀川の下流で低いダムから上水を引いてあるのですが、満潮時に潮が逆流して水道の水にならないから、ダムを少し高くし、同時に潮の逆流を防がねばならないということで、丸安先生のお話と逆ですが。

丸安 あれは非常にうまくいきましたね。

山崎 ダムのこわれているところからと、ダムの広いコンクリートのエプロンのところに10cmの穴をいくつもあけて、この穴から砂、砂利を流し込んで空洞を一通り充てんして、薬液MIを注入して海水の逆流を防ぐことができました。

丸安 あの時分にはもう蓮尾さんと接触があるんですが、五十里の話はその以前の事です。

もう一つ大きな仕事をやったんです。それは北海道のオホーツク海に面した雄武という町、そこから大分行ったところに戦争中作ったダムがあって、そのダムがまだ発電もしないうちにひっくり返った。何でという、底がガサガサの砂利層に処置をしないで、その上にダムを作っちゃったわけです。水の力というのは大したものですね。穴がだんだん掘れてスーッと水が吸い込まれる、上から流れてくる大きな丸太棒が底に吸い込まれて、グーッと持ち上げる力が働いてダムがひっくり返った。

そのとき貯水が流出して家もろとも流された話を聞きました。この復旧工事は飛島さんでやられたんですが、注入のほうのお手伝いは電源の黒崎君でした。

丸太棒は、立って流れていった。ダムの崩壊による流れは壁のように襲い家ごと流された人が屋根から救いを求めているという話を聞きました。

大学の先生で工事現場の監督をやるとい話は聞きませんが、私は薬液注入のおかげでだんだん工事監督のまねができるようになりました。このほかにもいくつか工事に関係しましたが、その時分から日本総合防水の注入の手伝いを、やれと沼田先生の命令で関係することになりました。その時分には大体そんな工事経歴がありました。

沼田 ダムのひっくり返った話は、今日初めて聞きました。

山崎 私感じますのは、トンネルの工事にしましても丸

安さんは非常に詳しいんですよ。いつの間に覚えられたのかと思います。トンネル工事のいろんな現場を歩かれたんですね。

丸安 まさにそのとおりです。注入では大井川の近くの蒲原水路トンネルの水止めも関係しました。トンネルにはずいぶん入っています。

今一つは、四国のなんという川だったか。ともかくも水でトンネルの天井が落ちちゃった。室戸岬のほうでした。トンネルの中は水でいっぱい、船で現場に行くほかない。そこへも、行って水を止めたことがあります。これは薬液注入とセメントを使いました。プレキャスト工法が日本でまだ体系付けられなかった以前のことですね。

山崎 今トンネルのお話が丸安先生から出ましたので、ここで少し私の感想を申させていただきますと思います。

昭和の初めごろ、国鉄の「トンネル会議」の議事録が時々報告が出て、私も読ませてもらっておりました。薬液注入研究委員会が釘宮さん、平山さん、それに沼田さん方によってできて丸安先生の研究をバックアップされ、これについての特に釘宮さんのご厚意と熱意が大きかったお話が丸安先生からありました。つまりその熱意のよところは何かであろうか。大正の中ごろから昭和の初期にかけて国鉄のトンネル工事が非常に盛んになった。そのうち丹那トンネルは大正7年から昭和8年まで16年もかかって出来上がった。世界にもまったく例のない難工事であった。昭和11年3月発刊丹那隧道工事誌の中の特殊編によると、「掘進に難渋を極めた原因には色々数えられるが、高圧多量の出水、断層、悪土、悪地盤などであったが、トンネルが出来上がって、何に一番悩んだかと言えばそれは水である。水さえなかったなら何でもなかったとさえ言えるほど、水との戦いであった。」とありますがその難渋をきわめた工事を、丹那トンネルの東西両口から各3か所とりあげて次表のように記録されております。

表一 丹那隧道工事誌（鉄道省熱海建設事務所）

昭和11年3月

	東 口（熱海口）			西 口（大竹口）		
坑 門 起 点	9000フィート	10,000フィート	11,200フィート	4,950フィート	7,000フィート	12,000フィート
地 質	温 泉 余 土	安山岩・集塊岩	集 塊 岩	安山岩, 集塊岩	火 山 荒 砂	火山砂およびレキの集塊岩
断 層	二条の大断層介在	多 数	丹 那 副 断 層	断層幅 9 m 余		丹 那 大 断 層
湧 水 量	21 ton/分 (水圧 19kg/cm ²)	最大 10 ton/分	切端 5 ton/分	33 ton/分	最大 200 ton/分	最大圧力強度 14 kg/cm ²
掘削困難の原因	温泉余土と湧水	断層破砕帯が著しい	同	断層と湧水	含 水 砂 層	断層と湧水
貫通に要した月数	42か月	12か月	12か月	14か月	44か月	34か月
水 抜 き 坑 数	10本	5本	6本	3本	5本	21本
水 抜 き 坑 延 長	1,400m	270m	330m	820m	1,000m	2,370m

注：断層幅および水抜き坑延長はメートルに換算した

講座

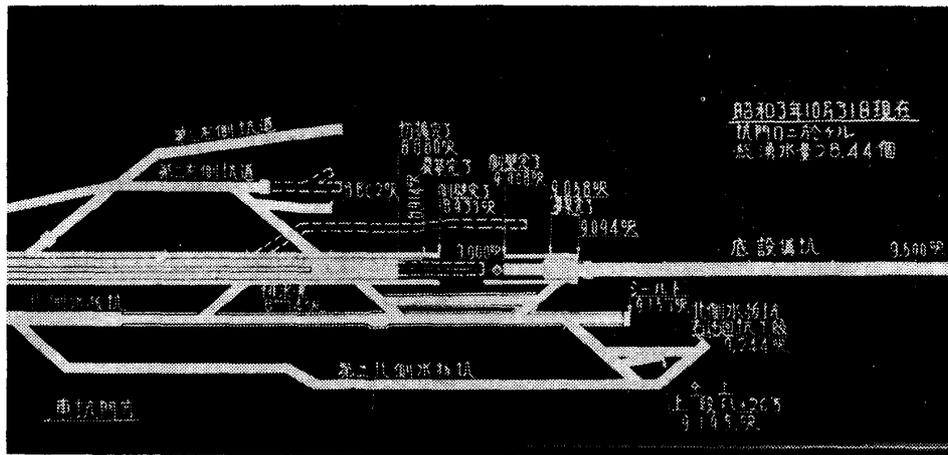


写真-2

これを見ますと湧水最大量200トン/分，最大水圧 19kg/cm²，難所を突破するのに1か所に12か月から44か月を要しており，水抜き坑を迷路のごとく掘った。その延長も1か所で1kmから2km以上となっています。

種々研究されたが，その結論的のものは

- (i)導坑の崩壊跡埋めにはセメントも入る。
- (ii)断層帯の粘土状の固結にはセメントでは入らない。
- (iii)いろいろ文献も読み研究もしたが粘土層の中にはセメントの注入は不可能である。

(iv)滑剤として水ガラスと硫酸礬土を多少用いたが潤滑剤としての効果はあった。

(v)水ガラスと塩化石灰を用いれば崩壊土砂の固結に有効なることを認め，セメント注入不能の部分には薬液注入による外はない。

ということが記録されております。

と云って山岳トンネルの掘削の場合において，単に薬液注入で補えば簡単に行けるといえるものでは決してない。その水圧と水量のうえからどうしても水を抜く，ということは緊要事で避けられないことももちろんである。最近松本有さん方が提唱されている，(i)17m²程度の補助坑を先行させ水を抜く (ii)本坑よりのボーリングによって土質調査を行なう (iii)その調査に基づいて必要な場合には土質に応じた薬液など注入を行なう (iv)これによって全断面掘削機の使用を有利にすることができるというものであります。

また関門トンネルの工事については，先般加納さんの追悼録を見ますと，詳細のことはわからないが，下関側から進んで420mのところまで切羽から60m³の崩壊があつてこの復旧に切羽までに3万袋，切羽から奥に7万袋合計10万袋のセメントが注入された。これは結果から見て，セメント注入は入り難いのでつい圧力を上げる，すると意表の遠隔のところへ無用に行ってしまう。この場合も海底にタイ積されていたものが見つかったようです。

丹那トンネルや関門トンネルでこうした経験をつぶさになめられた釘宮さんはなんとかしてこのトンネル工事の苦勞と危険をなくしたい，という念願をもって薬液による注

入工法の開発を有能な丸安先生に託されたのでないか，今は釘宮さんはおられません，私には以上のように察し上げられます。丸安先生は見事薬液注入による止水ないし地盤改善の問題を解決されました。誠に偉大な業績と申さねばならぬと思います。

アルミン酸ソーダと水ガラスの両液による工法は，丸安先生と今岡さんの頭文字を拝借させていただいてChe-MI-Ject またはMI工法と致しましたが，その工法の最初の適用は止水でありました。戦後再開された営団地下鉄の池袋-新宿間，丸ノ内線が昭和26年4月に着工され第1期工事のお茶の水駅までができた28年12月，窪町付近で漏水がかなりひどいところで初めて丸安先生のご指導の下で止水工事をやりました。

丸安 委員会の中に平山さんという偉い方がおられました。平山さんのサディションをずいぶんいただきました。その例が大塚窪町の実験です。そのとき初めて総合防水で薬液注入を使うということになった。蓮尾さんと三島さんと社長ぐらいいしかなかったわけですね総合防水には。

山崎 まあそうですね。

丸安 私が夜間技術指導に行きましたよ。

蓮尾 もう電車が営業しておりましたから終車と始業の間に短時間のうちに水を止めねばならない。初めてでありますので先生に薬液の配合から注入ポンプのすえつけから取扱いまですべて指導していただいたんです。

丸安 夜中の徹夜作業でしたよ。そのときの注入はいまでは想像もできないような注入だったと思うんですよ。

防水膜が作つてあるのに膜を通して水が漏れているんですね。あまりきいてないですね(笑)。水が漏れているところは防水膜を作ってもいいのができない。おそらくコンクリートも水の出るところはすごく悪いのでしょう。しかし防水膜を破ったら水がドーンと出てくるから防水膜を破らないで水を止めるというのが平山さんのお考えです。結局コンクリートの壁に穴をあけて，出口をコンクリートの中で止めて注入を始めたわけです。コンクリートにクラックがあるならそこに回って止めてくれるだろう。私の一

つの考えは、クラックよりもおそらく水みちの一番大きいのは、あの時分のコンクリートですからあまり上等ではないはず。おそらく鉄筋の下側にはすき間があるに違いない、そこにうまく入れれば水が止まるだろうということが頭の中にあったわけです。それで注入したらとんでもないところに回りましてね。考えて見ると結局鉄筋の裏側を通っているんですね。それでそのところの壁はくずさないで、コンクリート壁に注入して水を止めました。平山さんにこの新しい事実を土木学会誌に出しなさいと言われてましたので発表しました。

山崎 水の漏れるところには何本もパイプを埋めそれにキャップをしておいて注入しますと全部一辺で止まっておいたのには皆驚きました。あそこは窪町の線路の低いところで、たしかポンプ場の付近だったと思います。

丸安 ずいぶん遠いところまで液はいきましたね、あれは。

蓮尾 1本の注入パイプで全部が止まりましたので私どもびっくりしました。

丸安 天井までいくんですもの。

蓮尾 この水止めが会社の薬液注入工事の最初でありましたので薬液の調合から機械の取扱いが皆目わかりませんので、丸安先生に手を取って教えていただいたものです。このとき電力中研の黒崎さん、神谷課長もたしかこられて指導してもらいました。線路はお茶の水駅まで延びておまして、窪町に引き続きお茶の水駅の注入をやりました。ホームから下の連絡通路に降りる階段の側壁から2~3ℓも出ておりました。これは工事中線路の中間にあった釜場の押えが不十分で出ていると思われましたが、路盤コンクリートも打ってありますし、うまく注入がそこへ行ってくるかどうか不安もありましたが1発でピツタリ止まりました。無論この工事も丸安先生のご指導の下でやりました。懐かしいそのときの写真が残っております。窪町ではリターンサーキット付きのプランジャーポンプとカニフミキサー2台1組とを生研から拝借してやりましたが、お茶の水では利根から新しく求めたものでやりました。ここで使用したミキサーは下からエアーでふかすジョーゴ型のもので、Y形パイプにはリターンサーキット式にそれぞれにホースを取り付け、Y字の交差部に両液の混合をよくするために、ミキシングチェンバーを取り付け、両液のホースには逆止弁を設けましたが、ミキシングチェンバーの中でゲルが詰まってやっかいであり、圧力をかけてYパイプから送り込むので注入パイプの中を通る間に十分ミキシング作用が行なわれることもわかり、ミキシングチェンバーは不用としました。リターンパイプもその必要が感ぜられなくなり、今日のようなきわめて簡明なY字管形式となりました。

星宮 地盤注入は昭和29年に銀座プレイガイド、大阪の大和銀行本店増築工事などでやっておりますが注入パイプ

の設置は径10~12cmにアースオーガーで穴をあけてこの中に注入パイプを3ないし4本を1.5ないし2mの段差をつけて埋め込むのです。パイプの周囲は砂と小砂利をよく詰め込みます。注入は短いパイプから順次下段に注入してゆく方法で31年2月に施工しました。錦糸町大和銀行支店の工事までこの方式でやっております。つぎにやったのが注入パイプの先端に矢尻を付けて打ち込む方法ですがパイプの頭をつぶしY字管がねじ込めなくなったり、曲がったりしてあまりよい方法ではありません。それでパイプに水を送りジェットングを行なう方法をとったのですが粘土か砂層で深さ10m程度ならこの方法で結構やれたわけである。35年ごろまではそうした方法でやっておりました。都営地下鉄1号線の駒形橋付近の建物防護注入をやることになったのですが押上から隅田川を横断して右岸に出た所ですから注入も25mという深さになり、しかも砂利層があるのでジェットングではだめなので東邦地下工機からハンドフィード式のボーリング機械を購入して使用したのです。

山崎 話が少し前後しますが、薬液注入が地盤や構造物の沈下防止に効果があるということはこの前年の34年に銀座線（池袋—新宿線）の赤坂見付付近の工事の際初めて発見しました。今の東急ホテルの端のあたりになりますが、山王病院というのが地下鉄掘削でひどく沈下し始めたということで試みにMI注入をやりましたところ一晩のうちに沈下が止まった。これは面白いということで日枝神社の高さ6mくらいのコンクリート擁壁が約50mの間で少し沈下しましたときにもこの沈下防護注入をやりました。その並びに弁護士邸宅がありまして、相手が弁護士だから沈下したら問題になる……とこも沈下予防の注入をやりました。

37年に高速道路の宝町付近の堀のところを工事中のビルの中1つが少し沈下しだしたので堀ぞいに大規模に沈下防止の注入をやりました。赤坂見付一帯の工事でも沈下防止の効果があることに自信が得られたことは薬液注入工法のうえに大きい発見でありました。

柴崎 いずれにしてもそういう人達が当時使っていた技術というのは1.5ショットの全盛ですから、丸安先生のお考えになったことは非常にいいものを残していただいたと思っております。

山崎 多目的富士川用水トンネル工事は大分困られた工事で事故もたびたび犠牲者も出たようですが、36年11月工事が熊谷組さんに移ってから圧気工法が採用され併せて堀ぞいのための固結注入をすることになりました。1ロットというか9m注入して6m掘削し、3mを残してつぎの注入を行なうパターンでやりました。記録によると約1年半にわたって67ロットの注入を繰り返しました。粘土層をかんでいる部分についてはMI液では浸透が不十分であった。そのころ鹿島さんがアメリカからAM9を輸入され、これと類似の日東化学が開発した高分子系薬液が採用され

講 座

るようになったのです。これがわが国での高分系薬液のはじめであるかと思えます。

柴崎 AM9の日本版、日東SSがでてくるんですね。AM9は37年ごろだったと思います。ダムで使ったんです。非常にセンセーショナルなキャッチフレーズで入ってきたんですが、その扱いのむずかしいこと、毒ガスでも発生するんじゃないかというような印象を最初に受けましたね。

佐野 AM9が入ってきたのは37年の末か38年の初めてで、柴崎さんが言われたように、防毒マスクを用意して、スキンドビングするようなメガネをかけて重装備をしたんです。これはシルティな地盤だったんですがAM9がすべてによいということでテスト工事を鹿島さんとタイアップしてやりましたね。

柴崎 確かに高分子の登場というのは、反応形態が全然違うということに大きな意味を注入業界にもたらしたと思うんですよ。高分子といっても、アクリルアミドの場合はその反応のうえから革命的なことだと思いますね。

山崎 樋口さんのLW工法を私のほうで使わせてもらいましたのが37年7月のようです。MIが高い高いと小言を頂戴しておったところ安い薬液が開発されて薬液の応用が非常に急激に広がり、そのうちに高分子が高いということがほとんど問題にならないで取り入れられてきた……。

古賀 あのころはLWが10円もかからなかった、AM9がいくらでしたか。

柴崎 130円じゃなかったですか。

佐野 材料費だけで120円。

古賀 きくことはきくけど、天文学的数字やな……こんなものを使いだしたら大変だ、という話をしておったがそれが見事国内で消化されたわけですね。

柴崎 いまの段階で振り返ってみますと大きなことが一つあると思います。さっき佐野さんも言われましたけど、粘土にもよく浸透する……という全国に一大キャンペーンを巻き起こした。これがあたかもタイミングよく企業者と元請業者の理解を得た。それは実験室的なことであり現実には脈状に入る。そういう注入のメカニズムですからね。にもかかわらず高いものが使われだした。そういうふうに変わってきたこともわれわれ専門業者にとっては大きいできごとだと思います。LW工法については発明者の樋口博士はその特性について「セメントの注入と薬液注入と2工程に分けて実施されていたのを1工程ですませる時間的な効率の良さでセメント注入でよくみられたロスを減らした材料的効率のよさ、それに強度の必要な大空ゲキにはCement-rich、あまり強度の必要でない小空ゲキにはCement-poorなものという適材適所的なてん充が行なわれる」と説明されております。

柴崎 第一経済的であり、それまで薬液は高いというイメージを変えて薬液大量使用のきっかけをつくったことは大きかったですね。

佐野 前に戻りますが、もう少し苦心談のほうを聞きたいのですが……Y字管の話はわかりましたが、使用ポンプのほうはどういう経過で……

蓮尾 28年12月営団地下鉄窪町の漏水止注入には前にお話したとおりプランジャーポンプとカニフミキサーを2台ずつ生研より拝借してやりましたが、お茶の水では利根からセメント注入用プランジャーポンプを新しく求めて注入しました。だからそのまま機械が利用されればよかったです。漏水止めということになりますと注入量もわずかでよい。現場も何箇所も転々とするということで重い機械を持って歩くのが大変なんです。それでアスファルト防水をやっておりましたからプライマーの散布に使う手押ポンプで試験してみて使えることがわかったんです。簡便で持ち運びにもよいのでトンネル、地下道の漏水止めには30年末まではもっぱらこれを使用しました。しかしこれではドラムかん1本の薬液を注入するのに30分も1時間もかかる、これではしょうがないということで31年から発動機を動力とする噴霧機に代わったわけです。

このポンプも発動機の故障が多くモーターに取り替え2台のポンプを1台のモーターで動かすように改良してこれはMI用として39年ごろまで使用しました。

37年からLWを使用するようになりましたが噴霧機ではセメントの懸濁液が使えないのでボーリング機械の送水ポンプを使いました。38年営団5号線飯田橋工区でLWを多量に使うことになったので東邦地下工機のBG-5型グラウトポンプを購入したんです。1液1ポンプで2台1組で使用し4段変速器を取り付けて2台で吐出量20ℓまで調節できるようにしました。

野上 ハイドロックは変速器はもっと早かったです。

あれは普通のセメントヘッドのポンプに全部付けましたからね。35年ごろでしょう。

星宮 二液同時注入ポンプの使用は40年になってからですね。

古賀 そういう種々の経過を経て、お聞きおよびと思いますが山崎会長に指導していただきまして、私たちの協会がちょうど10年目になるわけなんです。先程からいろいろお話をくださった方は協会の技術を担当していただきまして今後の技術上のこと、公害問題につきましても進歩向上を志しております。今後とも先生のご指導のほどよろしくお願い致します。

山崎 どうも長い間、皆さんありがとうございました。

(原稿受理 1976. 3. 1)

本稿は、日本薬液注入協会で開催した座談会を山崎同協会会長にまとめていただいたものです。