

セメント及び薬液注入を利用したダムの仮締切 および既設ダムの漏水どめの施工例について

正員 工学博士 丸 安 隆 和*
准員 黒 崎 達 二**

REPORT ON CEMENT AND CHEMICAL INJECTION WORK APPLIED TO COFFERDAM CONSTRUCTION AND LEAKAGE-STOP OF FLOATING DAM

(JSCE June 1953)

Dr. Eng., Takakazu Maruyasu, C.E. Member, Tatsuji Kurosaki, C.E. Assoc. Member

Synopsis The author proposed a new method of chemical injection (Trans. of JSCE, No. 12, Feb. 1952). In present paper, two applications of this method to field works are described.

1. Application to the cofferdam work of Ikari dam, where there are deep stratum (about 18 m) of sand and gravel deposit, and, furthermore, many large cobbles. This base was consolidated by means of chemical and cement grouting, leakage through the base of gravel was checked effectively, and the excavation of dam site could be done very economically and speedily.
2. Application to repair work of dam.

This dam is of a so-called floating type, and considerable quantity of water leaks through the gap between dam body and foundation soil which is not rock, but sand and gravel deposit. Cement grout was injected, but could not stop the leakage. This was due to the fact that injected cement was washed away before setting. But, as soon as the chemicals (Na_2SiO_3 , NaAlO_2) newly proposed which was prepared before injection contacted with the water flow, the surface of mix gellanized and successive gellanization proceeded to interior part. Then the void was packed and seepage was checked.

This application completed with very successful results.

要旨 建設省五十里ダムの仮締切および新潟県所在の既設ダムの漏水どめに薬液注入及びセメント注入を利用し、相当の効果を収めることができた。本報告は、その作業の概要を収録したものである。

I. 五十里ダムにおける仮締切への利用例

1. 概 要

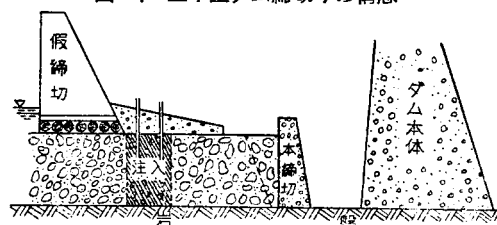
五十里ダムは、建設省の手によつて鬼怒川支流男鹿川に造られている高さ 107 m のダムである。この地点は、地層の状況からみると、施工上から必ずしもよい地点であるとはいえないようである。その理由の1つは河床から岩盤までの間に、直径 1 m 以上もある玉石の混じつた砂利層が 15~20 m の深さに堆積していることである。このような深い砂利層を締切つて岩盤掘鑿を行うことは非常に面倒な仕事である。それは表面水を締切することはできても、砂利層中を流れる地下水を締切することはなかなか困難であるからである。

一般に、このような場合に考えられることは、矢板を打ち込むとかケーソン工法を用いるとかの方法であるが、玉石があつたり場所が非常に狭いところでは、これらの工法を期待することができない。

五十里ダムの築造に当つては、一応次のような方法によつて締切を行うことに計画された(図一)。まず、砂利層の上に第1次の締切を行つて河の表面水を放水トンネルを通じて下流に放流する。このすぐ下流に本締切を造る。本締切は砂利層を掘鑿し、岩盤上に高さ約20mのアーチダムを造る。この2段の締切りによつて地下流をとめ、本体部分の掘鑿を行うのである。

本締切の掘鑿を行うときには、第1次締切の下から

図一 五十里ダム締切りの構想



* 東京大学教授, 生産技術研究所

** 電力中央研究所

地下水流の湧出が予想されるが、その量がそれほど大量でなければ、出てきた水は所要の能力のポンプを用いて排水すればよいと考えた。

しかし、実際に掘鑿を始めると、透水量が予想外に多く、この水をポンプで排水すると、砂利層中に含まれていた細かい粒子がどんどん移動し、ポンプ排水によつてますます透水を加速する現象があらわれた。

それで、まず砂利層を何等かの方法で固めることが必要となり、著者が依頼をうけて昭和 26 年 7 月から 10 月にかけて、現場におけるセメント注入および薬液注入を行い砂利層の固結を行つた。

このような方法で仮締切を行つた例がこれまでになく、その効果も、後述するように相当有効であつたと思われるので、その概要を報告しようと思う。なお、この工法は、建設省五十里工事事務所長荒井力氏、鹿島建設横尾誠吾氏の理解ある援助によつて成功したものである。

2. 注入計画

価格の点からいつても、固結された後の強度の点からいつても、できればセメント注入を用いる方が望ましい。しかし、セメント注入の不可能な場合 a. 間隙の小さい場所、b. 水流がはげしくてセメントミルクが固まるまでに流されてしまう場合がある。これらの場合を考えて、セメント注入を主体とし、薬液注入をこれに併用する工法をとることにした。

薬液注入の工法としては、著者らの研究による水ガラスとアルミン酸ソーダを用いる方法*を用いた。それは凝固するまでの時間の調整が割合容易であるため、施工も簡単にできるからである。

3. 注入方法

五十里ダムは 1 次締切の下流に厚さ約 1.5 m のコンクリートのエプロンが施工されている。これをバルクヘッド(逆噴防止壁)として注入を行うことにした。注入を行うには 2 つの方法が考えられる。その 1 つは最下層まで一気にボーリングして下から注入してくる方法であり、他は、上層から固めて次第に下層に到る方法である。五十里では、第 2 の方法を用いることにした。それは次の理由からである。

注入するにはボーリングにより注入孔を掘るが、普通砂利、砂層ではドライブパイプを用いて周囲の土砂の崩れるのを防ぎながら掘進する。しかし、ここではドライブパイプを用いることを避け、ボーリングの可能

な範囲を掘つて機械を移動し、他孔をほる段取りにしたこと。注入されたセメントミルクまたは薬液は一般に注入孔の下端より下部に滲入することは少なく、上方に向つて移動しやすい傾向をもっているから**、上層から順次かためて行つた方が、空隙をのこすことなく、万遍に注入効果が期待できること、の 2 点である。

従つて 1 回の注入で固めることのできる深さは、先回に注入し終つた点から、1.5~2.0 m でコアチューブの長さに大体一致する範囲である。

注入の方法として、カニフミキサとグラウトポンプの両方を、透水の程度を調べた結果によつて使いわけた。

空隙の大きい所では注入はいくらでも続けられるが、注入の目的は防水壁を狭い範囲に造ることであるから、カニフミキサを用いるときには 10 回分を、ポンプを用いるときには 10~12 パッチを 1 回の注入の限度として一時中止し、それが固まるのを待つて同じ部分に注入を繰返し行つた。

セメントミルクには鋸屑を混入した場合もある。また CaCl₂ をセメントの約 10% 混入した。これによつて凝結試験で始発は 1 時間 20 分から 15 分に縮まつている。

4. 注入孔の配置

注入孔の配置をどのようにするかは非常に重要な問題である。注入孔の間隔が狭くなると、なるべく狭い巾の防止壁を造るという点からみると非常に材料の節約ができるが、穿孔作業に手数と費用がかかり、間隔を大きくすると、1 つの孔の受持つ範囲が大きくなり、お互いに連結させる時には防水壁も必要以上の巾をもつことになる。また、確実な注入効果をあげる上からは前者に及ばないことが想像される。

また、注入箇所の選定に当つても同様のことが考えられる。注入孔の数を減らすにはなるべく川巾のせまい所はよいが、このような所は一般に岩盤が深く、地下水の流れも速いと考えられる。

これらの点を考えて、図-2 のように 2 m 間隔の注入孔を 1 m 離して 2 列に千鳥に配置した。

5. 注入効果の判定

注入によつてはたして防水の効果があつたかどうかを判断するために、注入孔の列を境にして、その上流側に 2 箇所、下流側に 3 箇所、水位を観測するための孔を掘り、周壁に小孔を多数あけたパイプを打ちこみ、毎日午前 8 時に水位の観測を行つた。もし、注入効果があれば、上流側の水位は上昇し、下流側の水位は逆に低下するであろうと考えたからである。

* 沼田、丸安、黒崎：“新しい薬液注入による地盤の固結方法に関する研究”土木学会論文集、第 12 号、昭和 27. 2。

** 前掲論文集、23 p 参照。

図-2 注入孔の配置

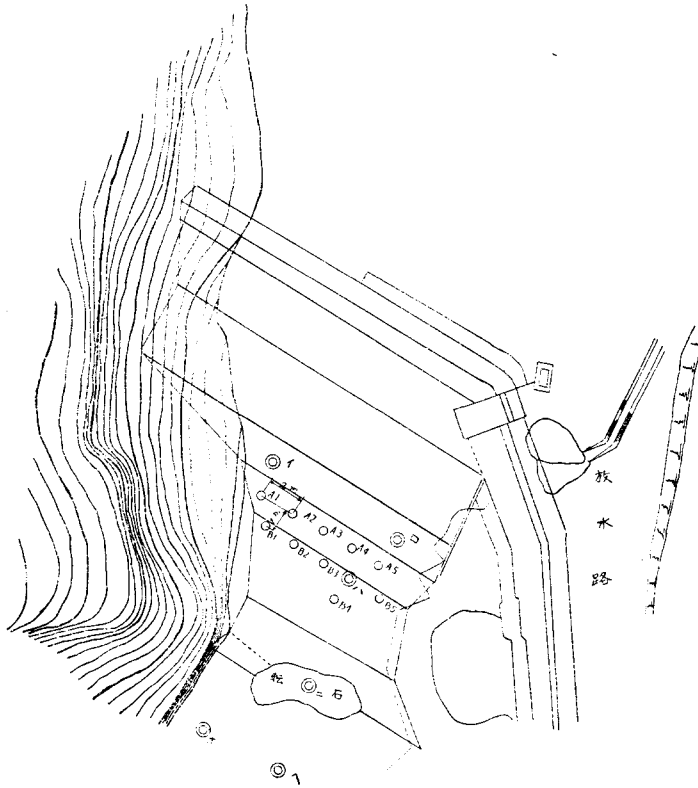
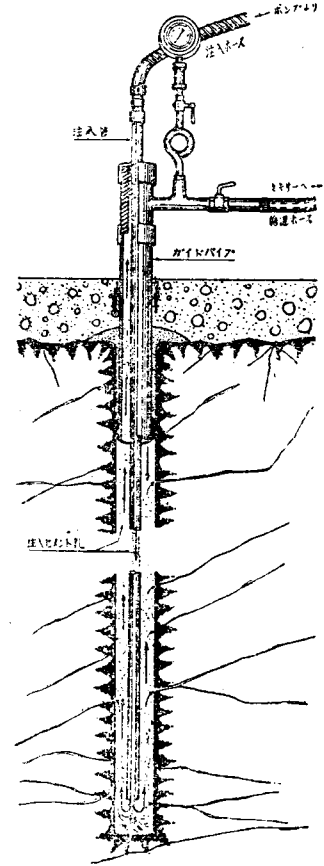


図-3 セメントの循環方法



6. 注入作業の経過

2台のボーリング機により注入孔の掘鑿を行い、注入にはカニフミキサ1台、グラウトポンプ2台を用意した。1つの孔は何回も繰返し注入を行うので、孔の上部にはガイドパイプを埋め、これに注入口金を取付け、この部分から逆噴しないようにした。

注入作業中は、注入圧力の調整に注意し、圧力があまり上昇しないように、すべて *circulating-cline system* を用いた。圧力をあまり高くすると、砂利中にはさまっている微粒子の砂がおし出されて、せつかくつまつた空隙がやぶれていくだけでも注入を続けなければならない状態になるからである。

セメント粒子が孔の底部に沈殿することをさけるために、注入管をできるだけ孔の底部に達するまで入れて、セメントミルクを循環させた(図-3)。

注入液に、砂を混合することは、経済的な面からばかりでなく、ミルクが水中に逸散するのを防ぐ上からも非常に効果のあることがわかつた。

注入作業は各孔が大体一樣な速さで進められたのであるが、右岸側がまず着岩した。右岸から約半数の注入孔が着岩する際には、最初右岸より(イ)の方が左岸より(ロ)より水位が低かつたのが、逆に右岸が高

くなり、下流側水位の変動に関係なくほとんど一樣の水位を保つようになった。これにより、一応右岸側の水の滲透が少なくなつたことを確認した(図-4)。

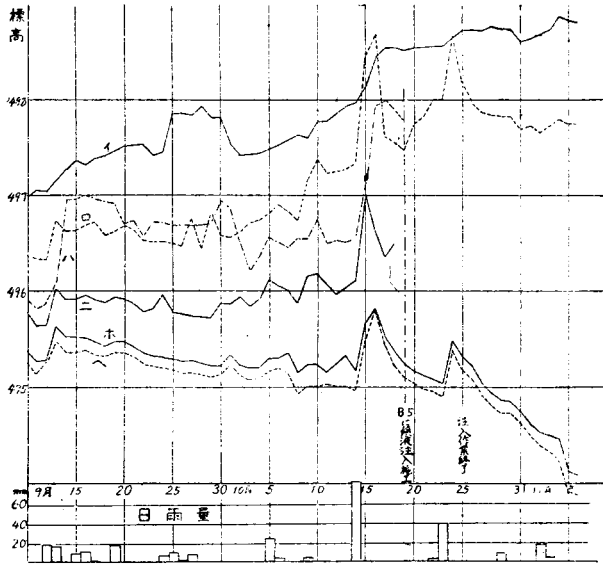
7. 薬液注入の利用

右岸側の注入が完了し、最後に B-5 の注入孔を注入することになつた。しかし、ここではセメント 70 袋を3回に分けて注入したにもかかわらず全然注入効果がなく依然として空洞であつた。これは、恐らく右岸の注入は完了し、そのため地下水はこの部分に集中し、注入されたセメントが固結する前に流されてしまうためであると考えられた。従つて、ここで薬液注入を利用し、一応水をとめる方法をとつた。もし、上下流の水位を同じに保つことができ、地下水流をなくすればセメント注入でも同じ効果があがるはずである*。

注入薬液は、アルミン酸ソーダ(昭和電工製)でアルミナ含有量 180 g/l、水ガラスは旭化成の2号品でも比重 1.35 にして用いた。使用時の液温は 8~10°

* この方法は、その後建設省物部川永瀬ダムで利用され、効果をあげている。

図-4 水位観測資料



C 凝固時間は18~15分である。

注入はまずカフミキサを用いた。ミキサであらかじめ2液を混合し、さらに砂を加えて注入するのであるが、薬液注入でこのような方法を用いることのできたことは、薬液注入工法としては全く新しいもので、あると確信している。

約10回分の注入が終了した直後上流側水位を調べたところ、朝の測定時から2時間あまりを経たに過ぎないのに、約1mも水位の上昇がみられ薬液注入の効果を知りえた。

なお、補助的にグラウトポンプ2台を同時に運転し

写真-1 注入開始前



て薬液注入を行った。薬液注入後、セメントを補強の意味で注入したが、それら一連の効果は図-4の水位の変化の状況から知ることができる。写真-1, 2はエブロン下流の水溜りの状況であるが、写真-1は薬液注入前、写真-2は注入後約12時間を経た時の状況で、下流の水溜りは間もなくなくなった。注入に使用したセメントは約2000袋、薬液はドラム缶10缶ずつ用意したが全部は使用しなかつた。

8. 下流側掘鑿時の状況

上述の状態になつたので一応止水の目的を達したと考え注入作業を打ちきり、下流側の掘鑿を開始した。掘鑿が岩盤に達する頃には、水位差が15~18mもあつたが、その最大湧水量は42l/secで、この中には兩岸からの湧水も含まれており、このことは、掘鑿が進んでも湧水量は増加せず、かえつて減少

し、また釜場の水温をはかつても確かめられた。このようにして、ポンプ1~2台をしぼつて排水する程度に止水の効果をあげることができたことは、深い砂利層の締切工法としては、工費の点からも工期の点からも1つの新しい方法であると考えられる。

これらの詳細の報告は東大生産技術研究所報告に発表する予定である。

写真-2 注入後



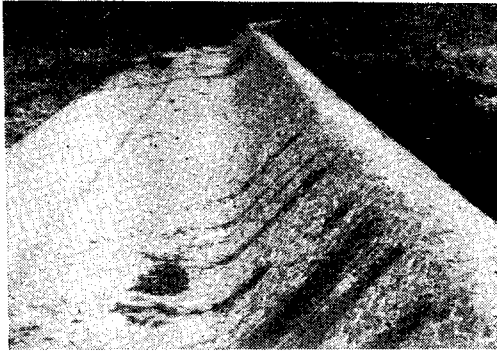
II. 既設ダムの漏水どめ工事への利用例

1. 現場の状況

工事を行ったダムは高さ5m、堤長140m、巾約

10 m で堤体は玉石コンクリートで表面は張石が施されている（写真一三）。大正 15 年に建設されたもので、砂礫層の上に築造されているいわゆるフローチングダムである。ダムの上流側には、その天端近くまで堆砂石しており、少しひどい降雨があると河水はダムを溢流し、そのため下流側は深く洗掘されている。堤体自身も転落する玉石などのために堤体張石の目地からわずかに漏水する箇所がある。

写真一三 ダムの状況



ダムの基礎からの漏水は、ダム全長に及んでいるが特に左岸排砂門よりの部分と右岸 30 m の間にはなほだしく、右岸よりの部分からの全漏水量は $0.46 \text{ m}^3/\text{sec}$ に及んでいる（写真一四）。このため、ダムの補強の目的でエプロン下流に接続して木工沈床が設置されている。

写真一四



いままでこの漏水をとめるため何回かセメント注入が行われたそうであるが、漏水ははげしいため、全然その効果を示すに到らず、毎年各種の補強工作がなされている現状である。

これに対し、薬液注入工法が凝固時間の点その他から漏水どめ工法として利用できるが、はたしてこの程度の漏水をとめることができるかどうかを確かめる目的で、昭和 27 年 8 月より約 3 週間現場において注入工事を行った。使用した薬液の数量についても、注入範囲についてもわれわれの行った実験としては最初の

例である。

なお、本工事は現場の担当の方々にいろいろお世話になって行われたものであることを深く謝する次第である。

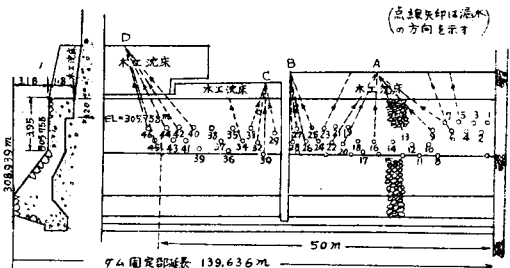
2. 注入の方法

注入は、ダムのエプロン（コンクリートの厚さ約 1 m）をバルクヘッドとして施工することにした。漏水の状態から推定すると、エプロンと基礎砂礫との間は滲透水のために相当の空隙ができて、水はほとんど自由に流れていると考えられたので、その空隙に薬液注入を行って、まず薬液による止水壁をつくり、一応水をとめてからその上流側にセメント注入を行うことにした。このようにすれば、セメントミルクは上流側の空隙に十分行きわたり漏水を防止すると同時に、堤体の補強にもなると考えたのである。

エプロンは、石張がしてあるので、2 人 1 組で手のみによつて穿孔し、2" のガイドパイプを埋込んだ。その深さはエプロンの厚さ程度である。

注入の予定は右岸より 50 m の部分で、ここに 2 m 間隔の注入孔の列を 2 列に、1 m 間隔に千鳥になるように配置した（図一五）。注入に先立つて、注入孔から染料（ニグロシン）を流し、地下水の流れの状況を知ると同時に流速を判断する資料をえた。流れは図一五のように大きい漏水箇所 A、B、C、D に集中しているようであつた。これによつて、最大漏水箇所をとめるために、最も有効であると思われる注入孔を選定し、まずその場所に集中的に注入を行うことにした。

図一五 注入孔の配置図



注入には、カニフミキサとグラウトポンプの両方を用いたが、そのいずれを用いるかは、注入孔にあらかじめ水を注ぎその滲透状況によつてきめた。すなわち、滲透のいちじるしい所では、カニフミキサを、滲透の緩慢な場所ではグラウトポンプを用いた。ポンプは 2 台同時運転し、Y 字管を通じて注入孔に各液を導き各ポンプ別に循環方式をとつた（写真一五）。

カニフミキサで注入するときは、1 孔に対して 1 回 5～7 回とし、状況により砂を混入した。

注入効果は、漏水箇所から非常によく判断できた

写真-5 グラウトポンプによる注入作業

(中央は注入直前に2液を混合しているY字管)



が、なお、これを確認するために、下流に測水ぜきを設けた。

3. 注入経過

注入作業は8月下旬であつて、日中の気温は20~25°Cである。薬液の温度もほぼこれに近いので、これを冷却するために氷を用い8~15°Cに保つた。薬液の試験管で求めた凝固時間は5~10分くらいである。

アルミン酸ソーダは昭和電工横浜工場製で、アルミナ含有量は160g/l、比重1.50、水ガラスは旭硝子製の3号品、比重は1.40、これを水で稀釈し1.30~1.35として使用した。その総量は両液とも23ドラムづつである。

カニフミキサに用いる圧縮空気をうるために、左岸排砂門のそばに30HPのコンプレッサーをおき、これからパイプで現場に連結した。パイプは、増水したときに備える意味で、ダム上流面にそつて水中に通しておいたが、このため、空気がミキサに達するまでに相当冷却され、ミキサで薬液を混和する場合圧縮空気の温度が高いため薬液の温度が上がり凝固時間が急に短くなることを防ぐ上に非常に効果的であつた。

漏水のいちじるしい所では、最初1~2回は下流に液の一部が流れ出すこともあつたが、回を重ねるうちにこれもとまり、漏水も目に見えて減少していつた。場所によつては、エプロンの張石の目地から噴出することもあつたが、木のクサビでボロをつめておく程度で噴出が防止できた。

カニフミキサの注入圧力は3.5~4kg/cm²とした。しかし、これでも空隙の大きい所では、注入の初期に固まつたゲルが破壊して流れ出る場合があるので、このような場合には、カニフミキサを用いた後で、グラウトポンプで静かに注入することにした。

右から30mはなれると、この付近では、注入孔の

水位が高いたのでカニフミキサを用いるには多少高圧で注入しなければならなくなつたが、これでは堤体をいためることもあると考えグラウトポンプで静かに注入した。

注入が進むに従つて、それまで全然漏水のなかつた上流側に堤体の目地から水がふき出し、相当程度の漏水どめの成果のあつたことが認められた。

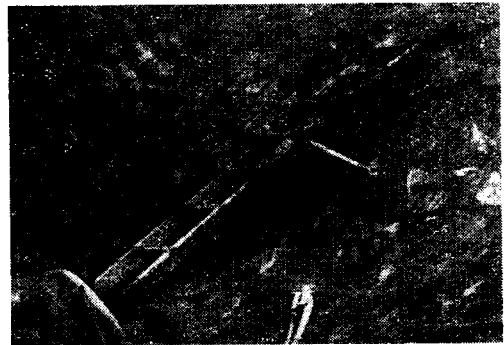
4. セメント注入

薬液注入によつて一応エプロンの部分に止水壁ができたので、このままでは、堤体本体に相当の揚圧力がかかること、さらに、薬液だけでは、まだ安全性には疑問があるので、薬液注入孔の上流側にセメント注入用の孔をあけ、セメント注入を施した。

いままで、セメント注入を何回か施工した前例があるが、いずれもミルクが下流に流されて効果が認められなかつたが、薬液注入後に行つたセメント注入では、ミルクがほとんど上流に向つて滲透し、堤体の目地からミルクが噴出する箇所が相当多かつた。噴出する部分には、ボロ布を木クサビで打ちこんでとめた(写真-6)。

写真-6 セメント注入の効果

(下流に注入薬液がきいているのでセメントミルクは上流に滲透、堤体の相当上方まで行きわたつた。クサビはセメントミルク噴出どめ)



セメント注入は、引続き基礎中にも施工する予定であるが、これによつて、漏水防止の目的を果たすと同時に堤体の補強に大いに役立つものであると信じている。

謝辞 これらの試験研究には、現地における諸氏の絶大な援助を受けたが、さらに、施工方針その他については、東大沼田教授、釘宮磐、平山復二郎、神谷貞吉の諸氏に負うところが大きい。深く謝意を表する次第である。研究の一部は文部省科学試験研究費によつた。

(昭.28.1.20)