

## セメントおよび薬液注入を利用したダムの假締切

—五十里（いかり）ダムにおける施工例—

丸 安 隆 和

ダム—これはコンクリートの大きい塊りである。これによつて河の流れを堰き止め水を貯めて発電に利用したり、洪水を防いだり、灌漑用水として用いたりする。最近では電源開発の必要がさげられてダムの築造も活発になつてきた。

ダムが完成されれば、それから受ける恩恵は非常に莫大のものであるが、逆に一度破壊する場合を考えると、その災害の大きいことも想像に難くない。それでダムを造るに當つては、その安全性について充分検討しなければならないわけである。

ダムの安全性を支配する一つの大きい要素としてダムを築造する地点の地盤の良否が問題になる。特に、ダムの高さが高くなればそれだけ確りした岩盤上に造らなければならないことになる。

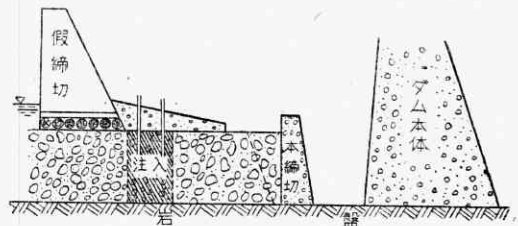
(1) ダムのコンクリート打ちが初められるまでの仕事 ダム本体のコンクリート打ちが初められるまでには非常に多くの準備工事が必要である。セメントの運搬骨材の採集と運搬、コンクリートを造る設備などもその中の仕事である。さらにこれと同時に重要な問題は、確りした岩盤が出るまで、表面の比較的柔かい、透水性の地層を掘鑿して取り除かなければならないことである。そして、この部分の水をすつかりなくして、直接大気に曝された状態にした岩盤上にコンクリートを打つのである。この部分のコンクリートは将来最も大きい壓力を受けるし、また最も大きい水壓をうけることになるので、充分じょうぶなよいコンクリートを打つことが必要である。それで岩盤上には、少しの水溜りもあつてはならないのである。また、水があつては掘鑿も容易ではないから、岩盤掘鑿を行うには、まずダム地点の上流を締切つて、水を別にほつたトンネルによつて下流側に放流し、水をなくして掘鑿が進められることになる。

(2) 五十里ダムで行つた締切工法 男鹿川が鬼怒川に合流する点から約1km 上流に、現在建設省の手によつて高さ約107mのダムが施工されている。この地点は、地層の状態から見ると施工上非常によい地点であるとは必ずしもいえないようである。その理由の一つは河床から岩盤までの間に、直径1mもあるような玉石混りの砂利層が15~20mの深さに堆積していることである。このように深い砂利層の地点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。それは表面水は締切ることができても、砂利層中を流れる地下水を締切ることが非常に困難であるからである。

日本では今までその例がなく、またケーソンその他の方法で締切ることができても、その費用は莫大なものとなり、このような現場では実用的とはいえないのである。

五十里ダムの築造に當つては、一應次のような方法によつて締切りに行くことに計畫された(第1圖参照)。まず砂利層の上に、木枠を組みこの上に岩石を積上げて造



第1圖 五十里ダム締切の構想

つたロックフィル型のダムを造つた。これによつて表面流を放水トンネルで下流に導くのである。不同沈下が起つても自由にその態勢に従えるように、また洪水の時水が溢流しても洗い流されることのないように、表面は鐵線蛇籠の中に岩石をつめて保護されている。(第2圖)これを假締切とよぶ。



第2圖 假締切りの全貌

そのすぐ下流に本締切を造る。本締切には岩盤まで砂利層を掘鑿し、ここに高さ約20mのアーチダムを造る。このように2段の締切を行つて地下水流を止めてから、

ダム本體の掘鑿を行うのである。本締切を行うには、砂利層の掘鑿が必要である。この時當然假締切の下層から滲透水が豫想されるが、その量はそれ程大量ではないであろうから出てきた水は所要量のポンプを運轉して排水すればよい。このようにして本締切のコンクリートを打ち上げようと考えたのである。

さて、假締切が完了して本締切のための掘鑿を初めようとしたが、豫想外に透水量が多く、この水をポンプで排水すると、砂利層中に含まれている細かい粒子がどんどん移動し、ポンプをかければますます透水を加速するという現象が現れたのである。

そこで、まず砂利層を何らかの方法で固めておかなければならないということが必至となり、著者が依頼を受け、昨年7月から約2箇月にわたつて現場におけるセメント注入および薬液注入による砂利層の硬化および防水工事を計畫し施工したわけである。

(3) セメント注入と薬液注入 軟弱な地盤や漏水の多い地盤を掘鑿したりトンネルを掘つたりするのに、セメント乳をあらかじめ注入しておいて地盤を固結してから掘鑿する方法は、今までも丹那トンネルや關門トンネルにおいても廣く利用されてきた。しかし、セメント乳を注入する方法では、その濃度をいくら薄くしても結局はセメント粒子の懸濁している液であるから、注入しようとする地盤の龜裂がセメント粒子より小さい場合はもちろん、空隙は大きくても砂層である場合には、セメント粒子が濾過作用のために内部に滲入することができず、表面にいわゆるフィルターケーキをつくつてしまい固結の目的を達することができない。従つて、このような地層を固結しようとする場合には、注入前には完全に液状であるが、注入されてから凝固して固結の目的を達するものでなければならない。この方法が薬液注入である。従来薬液注入に用いる材料として、水ガラスと鹽化カルシウムが用いられてきた。しかし、この方法では、兩液の反應が極めて早くすぐ沈殿が生ずるため、實際に注入しようとする時には、非常な手数がかかりしかもその効果が狭い範囲に限られていたのである。

薬液注入の方法については、今日まで種々研究が行われてきたが、その主眼となつている點はいかにして混合してから凝固するまでの時間を延ばすことができるか、ということであつた。

さらに、薬液注入は漏水防止に利用する場合がある。例えば相當な速さで流れている地下水を防止する場合を考えると、セメント乳では急結材料を用いるにしても凝固するまでには相當の時間がかかるので、その中にセメント粒子が洗

い流され固結しないのである。このような場合、あらかじめ混合した薬液を注入して速かに凝固させ水をとめるのに用いる場合がある。

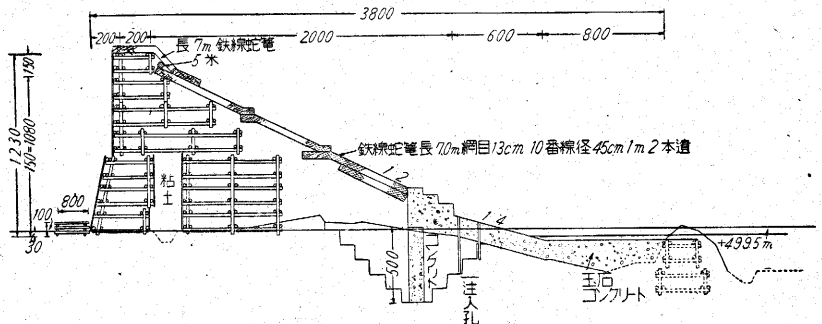
薬液注入には、上述の2つの利用面があるが、第1の目的に對しては凝固するまでの時間が充分長いことが必要であり、第2の目的に對しては、施工上差支えない範囲でなるべく早く凝固することが望ましいわけである。従つて、凝固時間が施工の目的によつて適當に調節できるような方法が得られれば、薬液注入の利用性が非常に増大することになる。

著者が今岡助教授らと共同でこれらの問題について研究し、水ガラスとアルミン酸ソーダを用いることによつて、上述の目的が容易に達せられることを發見し、實驗室における基礎實驗から現場實驗まで一連の研究をなしてそれを確めた\*。

このように、薬液の凝固時間が調節できれば、兩液を豫め混合しておいて1臺のポンプで注入することもできるし、場合によつては2臺のポンプを同時に運轉して注入管で兩液を混合して注入することもでき、鹽化カルシウムを用いる従來の方法にくらべると、材料がむだになることもなく極めて能率的に作業ができることになる。

しかし、アルミン酸ソーダや水ガラスは、セメントを用いる場合にくらべるとやはり高價になるのが普通であるから、セメント注入が可能な所ではまずセメント注入を行い、セメント注入ではどうしても不可能である場所に對してだけ薬液注入を用いるという2段階の工法が必要となる。

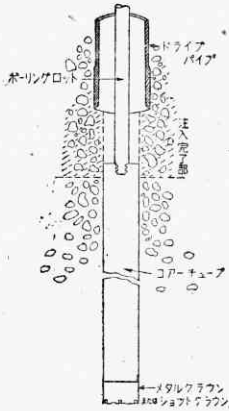
(4) 五十里ダムにおける注入の方法 五十里ダムのロックフィルダムの下流に厚さ約1mのコンクリートのエプロンが施工された(第3圖)。これをバルクヘッド(逆噴防止壁)とし注入を行うことにした。注入によつて流水を伴う砂利層を固結するには2つの方法が考えられる。その1つは最下層から固めて次第に上層におよぼす方法であり、他は上層から次第に下層におよぼす方法である。五十里では2の方法を用いることにした。それは次のような理由からである。



第3圖 假締切の断面圖

\* 沼田, 丸安, 黒崎著 “新しい薬液注入による地盤の固結方法に關する研究” 土木學會論文集, 第12號, 昭和27年2月。

注入するためにはまずボーリング機によつて注入孔を掘るが、普通砂層や砂利層のボーリングを行うときには孔の掘鑿が進むにつれてドライブパイプを打ちこんで掘つた孔の周壁がくずれ落ちるのを防ぐのである。ボーリングは、ボーリングロッドの先に取りつけたコアチューブに、掘鑿しようとする地盤に應じて種々のクラウンをつけ、これを回轉させて岩石を切り取つて進められるわけである。しかし、第4圖に示すようにコアチューブの径がボーリングロッドの径より大きいため、砂層や砂利層であれば掘進が進むにつれ、ロッドの部分に土砂がくずれ落ちる心配がある。ロッドの部分に土砂がくずれると、回轉することも、引上げることもできなくなり、作業が非常に困難となる。これを防止するために普通には掘り進むに従つてドライブパイプを打ちこんで崩壊を防ぎながら掘るわけである。ボーリングが完了すれば、ドライブパイプは抜き取られる。



第4圖 ボーリング  
ロッド

しかし、注入作業の伴う場合には、ドライブパイプを打ち込むと、その周囲が固結されるためにこれを引抜くことが困難になると共に、打込むためのやぐらが必要となり、数多くの孔をほる時には非常に不便なのである。

また、ボーリングを行うには、クラウンでけずり取られた岩屑を外部に流し出すためにロッドおよびコアチューブの内部を通して水を送る。この水が岩屑の排除に對して十分な効果をあげないと、岩屑がつかまつて掘進が不可能となる。透水性のいちじるしい砂利や砂層に達すると、送つた水が上方に吹き上げられることなく全部砂利砂層に吸いとられ、従つてロッドの回轉がとまることになる。

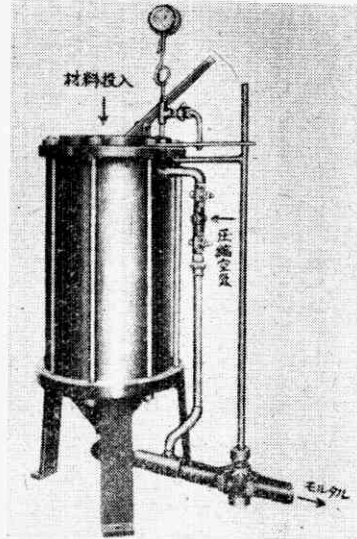
上述の理由から、まず上層部から固結して不透水層を造り、周囲の崩壊を防ぎながら、何回にも分けて、注入ボーリングを繰返し行いながら1つの注入孔の作業を行うことにしたのである。

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點から1.5~2.0mで、ちょうどコアチューブの深さから少し多い長さの範囲である。

(5) 注入方法の選定 注入をどのような方法で行うかを定めるために、ボーリングの後で水を注ぎその滲透する状況を調べた。水を注いでも全然水が上面まで達することなく滲透するか、上面に達しても注水を止めると急速に減水して行く場合にはモルタルを注入するため

に、カニフミキサを用いた。また上面に達した水が徐々にしか減水しない場合には注入用ポンプによつてセメント乳を注入した。

空隙の非常に大きい個所では注入が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で造ることが目的であるので、カニフミキサを用いる時には10回分を限度として注入を中止し、翌日再び同じ孔をボーリングして注入する方法をとつた。ポンプを用



第5圖 カニフミキサ

いる時も同様に10~12バッチを1回の注入量とした。

砂利層中に砂や粘土分を含んでいるような場所では、例えば1kg/cm<sup>2</sup>で注入している時には一應注入が止まつたように思われる状態になつても、注入圧を増すと砂利層中の流動しやすい細粒の物質がおし出され、いつまでもその壓力で注入が續行できるような場合が多かつた。このような場合には、セメント乳の中に鋸屑を混入し一應注入の限度をおさえるようにした。

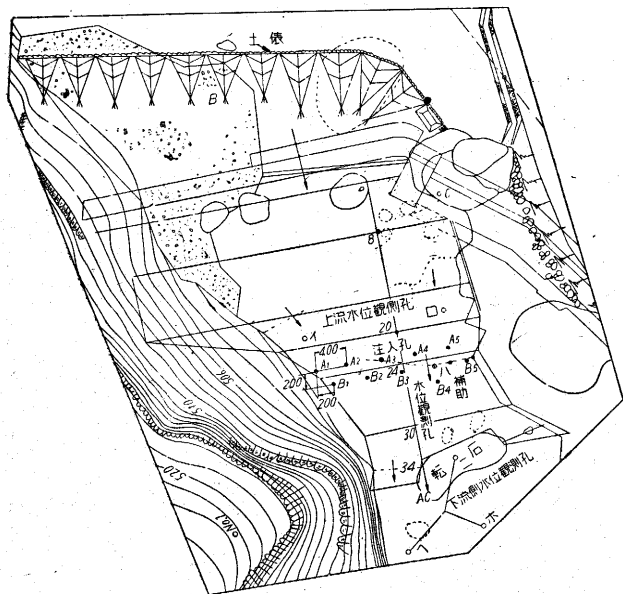
(6) 注入孔の配置 注入孔の配置をどのようにするかは非常に重要な問題である。注入効果の點から考えれば、なるべく密に注入孔を配置することが望ましいが注入作業に要する費用の中で、ボーリングに要する費用が極めて大きい部分を占めることを考えると、なるべく少い孔で注入されることが必要となる。この配置を決定するためには、1つの孔でどの程度の範囲に注入効果が期待できるかということが基礎となる。

また、注入箇所の選定に當つても同様のことが考えられる。注入孔の数を減らすためにはなるべく幅の狭い所がよいが、一般に谷間のけわしい間を流れる河では、狭い部分は概して深さが大となり、流速もこれに應じて速くなるであろうということが考えられる。

これらの點を考慮して、この現場では第6圖に示すように2m間隔の注入孔を2列に千鳥に配置することにした。後で、特に注入効果をあげるために2本その中間に追加した。

(7) 注入効果の判定の方法 注入によつて果して防水の効果があがつたかどうかを判定する方法については、種々検討の結果、次のような方法を用いることにし

た。すなわち、注入箇所を境にして、その上流側に2ヶ所と下流側3ヶ所水位を観測するための孔を掘り、これに周壁に多数の小孔をあけたパイプを打ちこんだ。これによつて毎日一定の時間に水位の観測を行った。



第6圖 假縮切平面圖注入孔の配置圖

もし、注入効果が現われれば、上流側の水位は上昇し逆に下流側の水位が低下して行くに違いないと考えたからである。

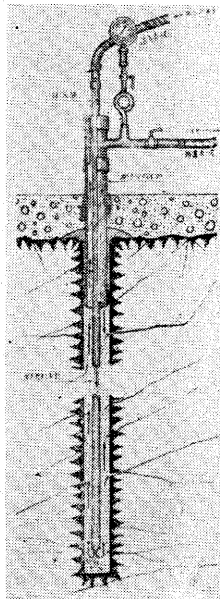
(8) 注入作業の経過 2臺のボーリング機により注入孔の掘鑿を進め、注入はカニフミキサ1臺、注入ポンプ2臺を用意した。注入孔の掘鑿が終るのを待つて注入方法を決め、注入作業に移る。1箇の注入孔を何回にも繰返し使用するので、注入孔の頭部には注入用のガイドパイプを埋め、これに注入口金を取付け、この部分から逆噴することのないようにした。

注入作業に當つて重要なことは、ポンプで送るセメント乳の量と、その壓力の許で地盤中に滲透して行く量とが均衡が保たれているということである。地盤に滲透する量が少いの無理にポンプで送りこむと、壓力が急激に上昇して、逆噴その他の事故のために注入が不可能になるものである。また、五十里ダムでは、前述したように、砂利層の中に流動しやすい粒子が含まれているため無闇に壓力を上げると、これらが押し流されて注入が無駄に浪費されることになる。従つて適當な壓力のもとで地層を亂さないようにして防水工を施すことが非常に大切である。このような條件を満たすために circulating line system が用いられる。セメント注入の場合には、凝結するまでの時間が相當長いことと、セメント粒子が底部に沈澱することを防ぐために第7圖に示すような方法でセメント乳を循環させた。

下流側の列の注入を行うとき、開始してから約 10 分

位たつと、エプロンの下流の水溜りにセメント乳が噴出して来る。しかしカニフミキサによつてモルタルを注入する場合にはベストの流出が見られず、壓力で押れた土砂の濁りが猛烈に吹出してくる。これは、砂を混合して注入することは、經濟的な面だけではなく、セメント粒子が水中に擴散することを防ぐのに有効であることが知りえた。

各注入孔は大體一樣な速度で作業を進めて行つたのであるが、仕事の都合で右岸側が先に岩盤面に達した。右側よりに約半数の注入が完了する頃には、最初右岸より左岸の方が高い水位であつたのが、逆に右岸の水位が高くなり、しかも天候の状況によつて下流側の水位が變動しても、右岸



第7圖  
セメント注入の  
循環注入方法

上流の水位だけはほとんど一樣な水位を維持するようになり、一應右岸側の水の滲透がとまつたことを確認した。

(9) 薬液注入の利用 右岸側の注入が完了し、最後に第5の注入孔について注入を行うことになつた。しかしここでは、セメント約 70 袋を3回に分けてカニフミキサを用いて注入したにかかわらず、毎回、孔の表面近くにはモルタルの固結した部分があるが、孔の底には全然モルタルがなくほとんど空洞であり全く注入効果が認められなかつた。これはおそらく右側の注入が完了して今まで河底を一樣に流れていた水が左岸に集中し、注入されたセメントが固結する前に流されてしまうものと考えられた。従つて、ここで薬液注入によつて一應水をとめることを考えた。薬液注入は、水ガラスとアルミン酸ソーダを用いる著者考案の方法によつた。使用した薬液中、珪酸ソーダは旭ガラス製の三號品、アルミン酸ソーダは昭和電工鶴見工場のものでアルミナの含有量は 18) gr/lit のものである。共に比重を 1.35 として用いた。使用時の液温は 8~10°C で凝固時間は 8~15 分である。

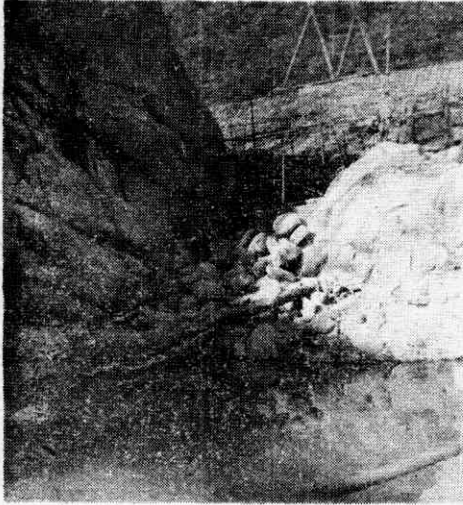
注入には2種の方法を用いた。その1つはカニフミキサを用いる方法であつて、兩液をミキサの中であらかじめ混合し、これに砂を加えて壓縮空氣によつて一氣に注入するのである。この方法は今までの薬液注入では全然考えられない方法である。しかし、投入口の蓋についた液が硬まつて完全なバックリングができなくなるため、大

體 10 回しか連続して注入できなかった。

しかし、第 5 の注入孔で 10 回分の注入が終了した直後上流側の水位を測定した所、朝の測定時から 2 時間餘を経たに過ぎないのに、約 1 m 水位の上昇が見られ、薬液注入の効果があらわれたことを知りえた。

その後、補助的に掘った注入孔について、2 臺のポンプを用いて同時に注入する方式を用いて薬液注入を行った。この時は、セメント注入の場合と異つて注入口金から循環させることができないので、各ポンプに連なるホースの途中から各薬液をそれぞれ循環させなければならない。この作業は極めて順調に行われ、豫定量の注入が約 10 分間で完了した。

薬液注入による地盤の固結は、強度の點からはセメント注入にはおよばない。それで、下流側を掘鑿中、水壓のために地盤がゆるむことのないように、薬液注入のあとにさらにセメント注入を行い、強度の確保をはかつた。第 8 圖は、注入箇所のすぐ下流側の水溜りで薬液注



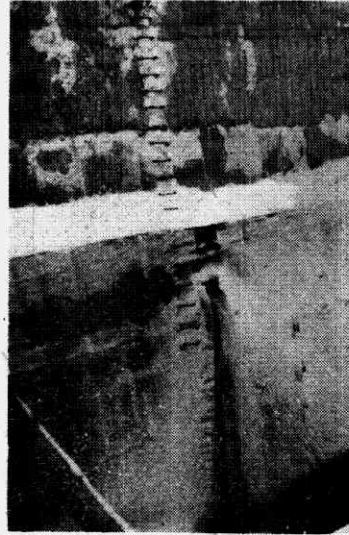
第 8 圖



第 9 圖

入直前の状況、第 9 圖は最初の薬液注入の翌日の状況である。約 12 時間後には圖のように下流側の水位はいちじるしく低下し、遂に水溜りがなくなつた。

(10) 下流側掘鑿時の状況 上述の状態になつたので一應止水の目的が達したと考え注入作業をこれで打ち切り、下流側の掘鑿を始めた。掘鑿が岩盤面に達する時には、水位差が約 15~18 m にもなるので、相當の湧水が當然なお残るものと考え、8", 12" のポンプを 4 臺準備して排水に備えた。



排水された水は矩形ぜきによつて測定したが、掘鑿中の最大湧水量は 40 lit/sec で、12" ポンプ 1 臺をしばつて使つて充分であつた。しかも、掘鑿が深くなつても湧水量は増加せず、ほとんど一様な湧水を示していることは、上流側からの湧水よりむしろ両側の岩盤の割目から湧出する水が相當多いのであ

らうということが推定できる。第 10 圖は排水される状況を示した。

(11) 結び 上述のように、深い砂利層の掘鑿をするについては、その締切が非常に困難であるが、一應注入による固結法により、ケーソン工法などに比べると非常に短期間に、しかも非常に少い費用で締切が成功したことは、たしかに新しい施工法を提示したものといふと思う。現在では掘鑿もすでに完了し本締切工もほとんど竣工に近い。

止水の効果が、土木工事の作業に時間的にも工費の點でも極めて重要な問題である。實驗室から始めた一連の研究の結果が實際の現場に應用されて、お役に立ち、電源開發が盛んになろうとする時に、その施工法の新しい分野の開拓に多少でも貢献できたことは誠にうれしい。これらの應用研究は建設省五十里工事事務所長荒井力氏、鹿島建設五十里出張所横尾誠吾氏の理解ある御援助によつてのみ完成できたことを附記し、謝意を表する次第である。なお、研究の一部は文部省科學試驗研究費によつた。(27. 3. 31)

× × ×