

## 討 議

第十九卷第七號 昭和八年七月

## 水 壓 隧 道 の 漏 水 に 就 て

(第十九卷第二號所載)

會 員 工 學 博 士 神 原 信 一 郎

著者石井穎一郎君は庄川筋小牧發電所工事に就き各方面に涉り精密なる研究を遂げ 諸多の有益なる論文を發表せられた。吾々は君の努力に對して心から敬意と謝意とを表する。題記の問題も重に小牧に關してあるが、引證の範圍廣く特に興味を感じたから、私をして以下數項の討議を試みしめられたい。

壓力隧道に於ける卷立の目的に就て著者は世間一般と同一の見解を持たるゝやうである。此點は寧ろ筆者たる予の見解が世間の夫と異なることを表明するものであらう。併し之があるが爲、一層著者の論旨に興味を惹いたのであるから、討議旁々卑見を述べさせて頂き度い。そして大方の御參考に供したい。

第一章緒論に「壓力隧道の漏水防止は卷立を完全に施工するより外に途が無い。水壓隧道の卷立は漏水防止を第一義とすべきで云々」之が先づ筆者に取つて全面的賛成を躊躇する所以である。尤も著者は卷立を絶體必要とするので無いことは第四章結論の初めに於て述べられて居る。即ち「水壓隧道卷立の目的は、水が地山に滲透するを防ぐこと、岩石の崩壊を防ぐこと及び隧道の内面を平滑にすること等であると云へやう。而して無卷とすべきか、如何なる種類の卷立とすべきかは、専ら地質に依つて決定すべきである。岩質良好で單に岩盤の目貫にて漏水を防ぎ得るやうな場合には、實際問題として 隧道断面の大ならざる限り無卷立でよいと思ふ。然し一般に此様な場合に遭遇することは少ない。」此段は筆者の所見に近づいて居る。良好なる地質に遭遇することの多少は別として、筆者は壓力隧道なるが故に卷立を施さなければならぬと云ふ世間の考へには不審を懷くものである。

筆者は先づ疑問を發して見度い。壓力隧道の漏水を防ぐが爲に卷立をするといふが、1:3:6 以下の貧弱配合にして硬練のコンクリート而も其厚さ僅か 1, 2 尺のものが壓力水の滲透を防ぎ得るであらうか。モルタルを上塗するといふけれども夫がどれ程の効果あるものであらうか。勿論漏水に對して或程度の抵抗を有することは否めない。併し地表面より常に數百尺以上の奥にある 隧道周圍の岩盤即ち數百尺以上の厚さある 岩盤の抵抗と對比して大小如何であらうか。

机上の論を離れ之を實際に照して見度い。東京電燈會社八澤發電所の水路には亘長 2800 間の壓力隧道がある。其水槽最寄の横坑の位置に於て最大 25 尺程の水壓力が加る。其時の漏水量は 1.5 個餘であるが、見えない處を流るゝ分量をも加へる時は 2 個程にならうか。此處の隧道卷立には鐵筋コンクリートを用ひモルタル上塗を施したがモルタル注入はせなかつた。隧道内水面が卷立天端背面の高さ以下の時は漏水が極めて少なく、之より上るときは急に漏水を増し壓力の加はるに隨つて益々増加する。之を精細に檢するに同横坑附近の卷立に斯く多量の漏水を生ずるやうな箇所は全く見當らない。其上流に位する次々の横坑に於ても漏水量は漸次減少するが皆似寄つた現象を呈して居る。即ち之に對しては次の如き事實を認めざるを得ない。該壓力隧道の全長に亘つて卷立を浸透した水が卷立の天端背面を傳ふて横坑箇所不到り、地盤の弱點即ち裂罅を見付けて漏出するものである。其譯は比較的入念に施工された横坑箇所の卷立の若干の長さ例へば其前後 10 間の區間から 1.5 ~ 2.0 個の水が漏るとするならば、隧道全長 2800 間から漏る水量は 10 間に付き平均 1 個として 280 個に達すべきである。斯か

ることは事實あり得ない。故に之は遠方から漏水が巻立天端裏に沿ひ流れ來つて横坑に集り現はるゝものと考へるより外はない。今想像に過ぎないが隧道 200 間に付き漏水 1 個と假定すれば其全量は 14 個となる。2800 間中にある横坑の数は 7 個で其平均漏水量を 1 個とすれば横坑全體よりの漏水量總計 7 個となる。而して 14 個中残り 7 個は地山への滲透量となる勘定である。地山への滲透量は測る由もないが多くとも此邊の數字より上には出ないと思はるゝ。

筆者は良質の地盤に相當追込んで中心線の決められた隧道のコンクリート巻には 施工不良ならざる限り殆んど龜裂發生のないことを經驗上信じて居る。八澤發電所の壓力隧道の末端附近は地質軟弱なる外に地被り薄く裂罅が多いから其コンクリート巻に龜裂を多數發生して居るが、地被り多き其大部分には殆んど龜裂を見出すことが出来ない。然るに其龜裂のない部分にあつても横坑に集つて來る滲出水は隧道内水壓に應じて相當にある。故にコンクリート巻立の漏水は龜裂よりするものもあるが大體巻立本質の滲透によるもので無からうかと思はるゝのである。吾人は鐵筋コンクリート工事でも經驗して居るが 1:3:6 コンクリート而も硬練のものが耐水性を有すべしとは全く考へて居らない。1:3:5 よりも良い調合にして柔練でなければいかぬと考へて居る。鏝を以て塗り附けたモルタルが有效的確なる耐水物となり得るとも考へて居らぬ。そこで隧道の漏水を止むるものは地山であるか巻立であるか。其兩者であるとすれば何れがより多く役立つものであるかを一考するの要がある。筆者の考へでは裂罅の多い地山は漏水を誘ふこと確實であるが、横坑箇所等以外は普通其地被りが大きく、裂罅はあつても其隙間が小さくして多くは密着し又は粘土を以て充されて居るから、漏水を長途の抵抗によつて阻止するものである。コンクリート巻は其單位厚さに於ては前者よりも耐水力に富むかも知れぬが、其施工厚さが薄くして前者と比較にならぬ。即ち吾人は經驗に徴した常識判斷に依つて次の如き觀念を有して居る。壓力隧道の地被り大なる部分に於ける地山を通しての漏水は極めて少量であるが、横坑箇所、其他地被りの小さい處に於ける地山を通しての漏水は可成なり多量であり得る。殊に横坑工事によつて其地山を緩め且つ其横坑のコンクリート締切(巻立の外側に堅固に築くもの)や埋戻が不完全ならば到底漏水を防ぐことは出来るものである。即ち横坑箇所就て云へば普通にコンクリート巻の方が防水手當をせぬ地山よりも耐水性が大きい。

以上の事實と判斷とに依れば壓力隧道の巻立工法の第一目標は次の如くすべきである。横坑附近の巻立コンクリート工は成るべく之を厚くし鐵筋を挿入し、地山と巻立との肌合せ殊に其天端には充分モルタルを注入し、横坑の締切を地山に喰込ませて其周圍地山にモルタルを注入し、其埋戻も注意して竣功後隧道附近地山の緩むことを防止すべきである。之等の要求を考ふるとき吾人は水壓隧道の中心線を成るべく深く地山に追込み横坑の締切が餘り苦勞せずして水密になり得るやう心掛くことの肝要なるを痛切に感ずるものである。斯くすれば巻立費の節約で横坑費を償ひ得て餘りあるのみならず漏水を能く防ぎ得るものである。水壓隧道でも無壓隧道でも區別無しに其中心線を設定すること、換言すれば天然を利用せずして徒らに人工構造物に頼ること、之が拙策の第一である。小牧水壓隧道には横坑 1 個あつて其長さが相當に長い。之は筆者の理想に合致するもので其設計に贅意を表する。

壓力隧道の漏水防止は上述の如く横坑附近の本隧道巻立裏にモルタルを注入して巻立自體を水密にすること、其天端裏を縦に潜流する水を喰止むることゝが最も肝要である。そして漏水防止の爲のみならば地被りの厚い處では之を爲す必要がない。隧道崩壞の虞なくば掘放し無巻も何等差支へないものである。夫は地山が實用的には耐水力を有するからである。

序乍ら専門家に問ひ度い事がある。世間では壓力隧道の漏水を氣にするがコンクリート堰堤の左右兩岸及び底

面地盤の漏水に就ては果してどれ程の考慮を拂つてゐるかといふことである。小牧堰堤の場合で言ふならばモルタル注入孔の深さは普通の處で50呎未満、斷層附近で130呎に過ぎない。されば此注膠區域の限界を迂回して貯水が滲透するものとすれば其流過距離は200呎に満たない。然るに堰堤前後水面の高低差は最大るとき230~240呎であるから、其河底部は勿論兩岸腰部以下は可成大なる高低差ある水の壓力に曝露せられてゐるもので、其滲透水面又は洗線の勾配は最大1割(1:1)以上にもなつて居る。之を水壓隧道のサージングの時に於ける水壓100呎未満に對して地被り數百呎以上、貯水池より隧道に浸入する水の最急勾配1/43等に比較するときは固より同日の談でない。此水壓隧道の地山の心に於ける漏水が問題になるならば堰堤の漏水は更に更に大問題とならなければならぬ筈である。之を極言すればモルタルを基礎地盤數百尺の深さ及び幅に注入せない、高堰堤は先づ其止水工法に於て過つて居ると云はねばならぬ。

尚ほ別の觀點より論ずるには壓力隧道が漏水すると言ふけれども其動水面が地下水以下の時漏水を起さず却つて湧水を生ずるかも知れない。理論上斯様な想像は無理でない。

次に壓力隧道卷立の龜裂の原因としての水壓を考へて見やう。凡そ止水體の前面に水壓力が作用すると同時に其裏面又は背面にも作用するならば其有效壓力は減却し又は零となるものである。故に通水に際しコンクリート卷の表裏とも同時に充水するならばコンクリート卷は外方に向ふ内壓力を受くることなく、水壓力が龜裂發生の原因とはならない。故にコンクリート卷の水壓による龜裂を防ぐ方法は二つあつて、其一は多孔質なコンクリートを用ふるか、又は卷立工の處々に通水孔を設けて背面に水の出入を自由にするからである。卷立にモルタル上塗などして水密に力め而も其背面に空隙を存するが如きは最も能く龜裂發生の因を作るものである。而して其第二は卷立背面にモルタル注入を完全に行ふことである。之は卷立天端より注込めば宜しい。前者は通水孔の能力に比し隧道内に満水する速が大なるときは效力があやしくなるが後者ならば間違はない。

岩盤は普通2.5の比重を有する。土壤にても1.5程の比重は有る。故に一概に云ふならば壓力隧道中心線よりの動水面の高さが其地被りの2.5~1.5倍に收まれば隧道内水壓力が地被りの重さと均衡する。併し1.5又は2.5以上の安全率を見込むならば動水面が地表以上に出でざるやう、又同時に側面にも其幾倍かの厚さの地被りがある様にせなければならぬ。斯くすれば壓力隧道卷立に鐵筋を挿入せなくも安全な工法を適用し得る根柢が先づ成立する。仍つて卷立の龜裂を防止するに鐵筋を入れるゝか、卷立裏に注膠を施すか、又は其兩者を併用するかの問題に進むのである。前に述べたことを繰返すが横坑附近相當區間の膠泥注入は第一に卷立の水密性を増して其漏水防止を助け、第二に卷立裡の空隙を無くして其龜裂防止に働き、所謂一石二鳥であるから之は必ず實行せなければならぬ。然らば横坑箇所卷立中の鐵筋は如何といふに、之は安全の爲、挿入するが良いと筆者は申し度い。若しも山の高さ又は地被りが足らなくして動水面を地表以下に收め得ない處では鐵筋の強さによつて壓力隧道内水壓力に抵抗せしめなければならぬ。斯くの如き場合には充分の鐵筋を用ふると共に漏水防止用モルタルに注入も慎重に行ふべきである。或はセメント・ガン工法が此處に適するかも知れぬ。

以上は地質が普通の水成岩である場合に適用し得る工法である。併し斷層地帯、砂礫層、熔岩層下面等を隧道が通過する場合には特別の考慮が必要となる。

最後に隧道卷立仰拱下の排水管に就て一言し度い。之は著者の論ぜらるゝ如く仰拱施工中必要のものである。併し鐵道の隧道と違ひ工事竣功の時横坑を塞ぐと共に此排水管を密閉すべきである。横坑の處で之を遮斷すると共に其附近數箇所に於て仰拱を掘削り、排水管に木栓又はセメント粘土を詰め込み、仰拱はコンクリート又はセメント粘土で元の如く補修するのである。其趣旨は一には漏水の損失を防ぎ、二には卷立の裏に通水中水壓力を

保存して内水壓に拮抗せしめ巻立の龜裂發生防止に役立たせるものである。筆者は壓力隧道に限らず水路隧道には一般に此工法を採つて來て居る。されば筆者は巻立施工の際の湧水處理以外著者の所論は杞憂に屬するものと思ふ。

調壓水槽も其考へ方は全く壓力隧道と同一で、其設計及び施工は一層嚴重にすべきである。水槽は凡べて同じ事であるが取別け調壓水槽を山の突端に設けることは大禁物である。小牧の水槽を山深く追込んだことは適當なる處置といはねばならぬ。唯茲にモルタル注入を用ひ、彼の大量の鐵筋を少し減じたならば漏水防止の爲、尙ほ一層好かつたと思ふのみである。今は稀に用ひらるゝ水壓管代用の隧道に於ては成可く地中に深く之を布設すると共に巻立裏に夫が受くる水壓以上に高き氣壓を以てモルタルを注入せなければならぬ。そして必要に應じ鐵筋を巻立中に挿入すべきである。

結論として筆者は次の數項を列挙する。

1. 壓力隧道は成るべく其動水面が地表面以下にあるやう、又水平の方向にも夫以上充分の被覆があるやう、中心線の位置を山奥に追込むこと。
2. 横坑附近本隧道はコンクリート巻を厚くし、背面にモルタル注入を丁寧に施し、鐵筋を挿入し、地被り乏しき時は特に鐵筋を丈夫にし、横坑締切は常に入念に施工すること。
3. 巻立裏に空隙を残さず巻立工を地山に密着せしめて常に抗壓材たらしむること。夫にはモルタル注入が最も適當する。然れども隧道位置が山骨に深く鑿穿されモルタルの注入をせないでも漏水の虞なき處では巻立工を寧ろ貧乏調合にし多孔質にして、通水の際巻立工前面に水壓のかゝる暇なく其背面に滲透水が充滿するやう爲すべきこと。但し地被り大にして地質亦良好ならば、なまじい巻立をするよりも無巻を以て優れりと爲さう。
4. 壓力隧道に關する注意は堰堤基礎及び調壓水槽にまで擴充し之を完全に施工すること。

以上著者の所論に對して筆者の同意なる點不同意なる點等を卒直に摘出したが、固より同意すべき點の多いことを筆者は附言せなければならぬ。そして著者の所論が現在比較的後れたる壓力隧道の理論及び技術を進歩せしむるに就て尠なからぬ寄與をなしたことを爰に特記するのである。