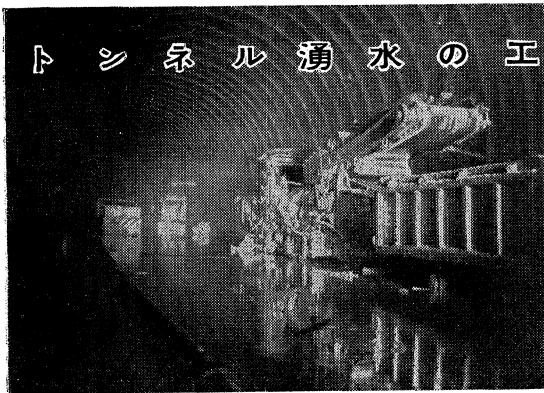


トンネル湧水の工学的研究の必要性



(北陸トンネルの湧水状況)

高橋彦治*

1. 序 論

トンネルの計画に際し、湧水量の推定を前提として、総合的な調査研究が行なわれた例はきわめて少ない。

たまたま工事中に大量出水にそう遇したために、出水の原因、水源などに関して検討された例はある。湧水によって社会的問題を起こした東海道線丹那トンネル、黒部川第四発電所大町ルートトンネルにおける大湧水などは著名なものである。

トンネルは岩石を主とする地層に掘削される場合と、岩石以外の、たとえば沖積層のような砂礫、粘土層などに掘削される場合とがある。後者の場合は、滞水層または透水層という語で表現されるように、水は面と深さに関して連続性を示し、これに対しては井戸の理論で示されるような解析と調査の方法が適用されよう。しかし前者の場合は、主としてパイプ状の水路や岩石のきれつにふくまれる水が対象となるから、その連続性は、線あるいは面に関してのみ認められるものである。すなわちトンネルに湧水が発生し、地上の水源が枯渇または減少して、初めて両者の関係が判明する、というように、その連続性は帰納的に確認されることが多い。したがって岩石を主とする地層に掘削されるトンネルにおいては、湧水問題を事前調査の対象とすることに困難があった。

2. 技術的要請

湧水がとくに問題となるのは

- (1) 長大トンネル
- (2) 斜坑または立坑を必要とするトンネル
- (3) 海底トンネル

などの掘削に際してである。

出水位置、切羽における水量、坑口における総排水量、水量の自然減衰などに関する情報が得られるならば、排水溝の設計、ポンプ揚水の規模、掘削中の排水溝の施工と管理、坑内環境の整備、危険予防に関する考慮など

* 正員 国鉄鉄道技術研究所

の施工条件の向上が期待される。

平野部においては、農業用水、工業用水など、地下水利用の問題が多くとりあげられている。本誌においても「水資源講座」が取り上げられたのは幸いであるが、それらは主として地表流に転化した水を対象とするもののようなものである。すなわち山間部の地下水に関しては、その大部分が未解決、未開拓の状態にあるといつてよい。土木工事の切羽における異常湧水、炭鉱方面における切羽および坑内湧水などに関する報告は少なくないが、それらは事実の記載、したがって類似現象の可能性を暗示する程度のように理解される。

トンネル湧水は比較的深層部における地下水の流出であるから、季節的影響をうけることが少なく、その水質、水温、水量などの不変性が特徴である。水量とその不変性に注目するときは、トンネル湧水は制御されるべき対象としてのみでなく、利用開発の対象たるべきものである。

3. 研究上の障害

従来、トンネル湧水に関する問題が事前に追求されなかったことに、およそ次の理由があげられる。

- (1) トンネル湧水の多様性
- (2) 技術的または経済上の要請

工期の短縮、工法の近代化にともなう坑内環境の整備と安全に対する要求が次第に増してきている。よく整備されたトンネルの現場は、近代工業の生産工場にたとえるべきであろう。また前述のようにトンネル湧水の多様性は研究の障害である。

4. 問題点

(1) 地表流との関連性

きれつ、節理など岩層内の複雑な間げきを通して行なわれる裂こ水（岩層のわれめ）のような流出を理解するためには、ポアーホールのような地点調査のみでは十分ではない。地表流（川の流量）のある時期に（降水のな

い状態)における流量が、全く地下水流出のみによること、また地下水流出が地表流の自然減衰曲線(基底流曲線)の後半に見るようにほぼ平衡した流出に達することを理解することによって、トンネル湧水の問題を検討することができる。少なくとも次の諸項目に関して注意する必要がある。

- (1) 地表流と地下水流出との関係
 - (2) トンネル湧水の初期流出量とその減衰状況
 - (3) 小流域または単位流域を構成する山体の平均透水性
 - (4) 流出範囲
- (2) 地下水流出に影響を与える因子

地表流をかんようする地下水流出は、地理的諸条件のほかには気象および流域に関する諸条件、すなわち標高、流域の形状、河川密度、地質および地質構造などに関連して行なわれる。きわめてせまい地域を対象とするときは、地理的諸条件は考慮しないでよいから、究極の単位流域における地下水流出は流域の地質、地質構造、岩層の滯水性または透水性に依存して行なわれることが理解できる。したがって地表流の流量における地下水流出の状況を明らかにすることは、地下水の貯溜、透水性および地下水流などの諸問題を考察するための重要な要素であると考えられる。これに関しては最近、小流域の物理的特性が考察されるようになった⁹⁾。

5. 関連分野との協力態勢

地下水流出に関しては主として、水理学、土質力学、水文学、地質学の4部門において研究されている。

(1) 水理学

降雨による水の補給がない場合の揚水、すなわち流出と地下水面の形または影響圏が流出の継続にともない時間とともに変化する問題を取り扱ったものは、井戸における地下水の非定常流出と呼ばれる⁹⁾。それによれば、揚水または流出の継続によって形成される影響圏を求めることができる。

従来の沖積平野における井戸の地下水流出に関する取り扱い、主として揚水方法または井戸の管理に注目するものようである。流出範囲に関しては、これを重要視せずに500~1000 ft、または500~1000 m くらいにとれば十分とする考え方が受け入れられている⁹⁾。トンネル湧水に関して地下水流出を定量的に考察するためには、流出範囲の概念をさらに追求する必要がある。

(2) 土質力学

対象が土であるために、含水量の増減、載荷重の増減などにもなう土の圧密、破壊などの現象に着目しているので、水はきわめて重要な役割を与えられているが立場上、地下水を流出よりも、浸透圧、透水圧、静水圧

などに関して取り扱っている。それは一面、浸食、堆積過程における脱水などの地質学的営力に関連するが、地下水流出の問題を解決する要素とはなり得ない。

地下水流動に関する通過地域の透水性を、実験室の中で、またポアホールなどの地点調査によって表現することは、現状においては困難であるから、川流など、地表流における地下水流出分によってある範囲内の地域の平均値として求めることが望ましい。

(3) 水文学

水文学の分野においては、地下水は河川流量に関係の深いものであることが認識されている。河川流量の自然減衰曲線は、川に特有のものであって、その川の特性を表わすものとされている⁹⁾。それは流域の形状、大きさなどの条件によって定まるものであって、その特性を理解し、減衰曲線と降雨を分解することが可能であろう。川の流量(水)を合理的に利用しようとする方面、たとえば水力開発部門においては特にその必要があろう。

水文学においては、地下水流出は減衰曲線の形成、しいては川の流量構成の中心要素をなすことが認められているが、地下水の流動に関しては追求されることが少ない。循環水の一部としての地下水の転移のみを取り扱う立場は水文学的方法と呼ばれるものである⁹⁾。流域内の大小支流に関してその個々の地下水流出を比較することはきわめて興味ある問題であるが、水文学においては、これらの項目は川の特性の分解過程においてのみとらえられている。実はこのような比較は地下水の平均的流出またはトンネル湧水の平均流出の比較に関連するものと考えられる。

(3) 地質学

地質学の分野においては、地下水は成因と賦存状態とに関連して取り扱われることが多い。そこでは、岩石のきれつにふくまれる水、すなわち裂き水の問題にもふれるのであるが、それらの間げきは単に貯溜が行なわれるための媒体として見られているに過ぎない。滯水層の透水性は、単に地下水が流動し、貯溜が行なわれる状態の特性の分類のみ必要であって、運動およびその変化の状況を理解するためのものではないようである。従来の水理地質学においては、地下水の重要な問題、すなわち成因、賦存状態および化石水、地層水と裂き水の区別、地表面流出との転換、水源の固濁などの問題が、わずかに取り扱われているが、まだ地質構造など、地質学の本質的な面でもとらえるところまでに至っていない。したがってその興味は、沖積平野部における地下水貯溜に片寄っている傾向がある⁹⁾。

(4) 鉱山学

坑内出水に関する報文が多く、主として脈状貫入体(鉱脈、岩脈など)、断層または破碎帯にともなう地下水

流出を取り扱っている⁸⁾。断層の追跡、水質分析などにより水の経路に關する考察が行なわれているので、明らかな滞水層における問題は、ある程度明らかにされていると考えてよいだろうが、経営上の立場から、公表されたものによっては、その全部を知り得ない現状のようである。

このような工学的方法によって、坑内出水の本質的問題が次第に解明されつつあるが、トンネル掘削の目的、地形上の關係位置、出水による影響の現われ方、排水の方法などの相違があるので、土木方面における目的と方法が、現在鉦山方面で行なわれているような地下水流出に關する問題の取り上げ方から、多少相違してくるのは当然であるとする。

(5) 關連分野の協力和研究の推進

以上4部門に關する従來の研究を概観したのであるが、水理学の立場は、均等質透水層の中の井戸の周囲における地下水の流出を、個々に模型的に取り扱っているが、広域かつ不規則な滞水層を構成要素とする山間部の地下水流出に關してはふれることが少ない。土質力学においては、地下水を流出の面ではとらえないで、構造物の基礎の周囲または斜面における浸透と、それによる土の力学的挙動を取り扱う。水文学(小流域の特性を取り扱う立場においてさえも)では、主として山間部における地下水の流出を、地下水そのものとしてではなく、川流に転化するものとしてとらえているようである。

地質学の分野においては、従來は地下水の貯溜など、容水地盤に關する問題がとりあげられたが、その大部分は平野部における問題に限られ、山間部におよぶことが少ない。また溶解、浸食など地質学的営力の面で認識されているが、流出の面ではとらえるところにはきていない。

このような現状の中で、坑内湧水対策またはトンネル湧水といった鉦山および土不方面においては、經濟上および保安上の要請から、地下水流出の定量化が追求され

ようになってきたと判断される。地下水の流出は、その個々の現象においては水理学および土質力学が示した方法によって行なわれるが、貯溜は地質学的に認識され、循環水としての流出に關しては水文學的に把握されているといった感がある。それぞれ独立した立場で見ると、たとえば山間部に掘削されたトンネルに流出する地下水、すなわちトンネル湧水を理解することはできないであろう。

トンネル湧水をより正しく理解するためには、上述の分野を総合する立場に立って、従來の流域特性に關する概念を越えて、地形、地質および地質構造と地下水流出との關連性を追求しなければならない。丹那トンネルにおいては水文学および水理学からの協力があがり、清水トンネルにおいては、地質構造とくに岩層きれつまたは節理の性状と地下水流出との間にある關連性のあることを予想し、主要な谷地形に注目している⁹⁾。過去におけるこのような研究考察は貴重であるが、トンネル湧水に關する理解を増すためには、さらに多くのトンネルについて、地表流との關連性において定量化の研究を推進することが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日本鉦業会誌 77-875 (坑内出水号), 1961-5
- 2) McGuinness, J.L., Harrold, L.L. and Amerman, C. R.: Hydrogeologic Nature on Small Watersheds, ASCE, HY-1, pp 11~13, 1961-1
- 3) 物部長穂: 水理学, 1951-4
- 4) 物部長穂: 同上
Todd, D.K.: Ground Water Hydrology, 1959
- 5) 酒井一郎: 河川流量分析による浸透能の検出について, 土木学会論文集 66号, 1960
- 6) 阿部謙夫: 水文学, 岩波講座, 1933
- 7) 蔵田延男: 水理地質学, 1955
鈴木昌吉: 地下水概論, 岩波講座, 1931
- 8) 日本鉦業会誌: 前出
- 9) 鉄道省: 丹那ずい道工事誌及濁水篇, 土木学会, 1936
鉄道省: 上越線水上石打間工事誌, 1931

(原稿受付: 1962.2.17)

トンネル工学シリーズ 1

第1回トンネル工学シンポジウム 使用教材頒布について

本書は去る6月21日私学会館において行なわれた第1回トンネル工学シンポジウムに教材として使用した数少ないトンネル工学書の一つです。従來トンネル技術は、道路、鉄道、水力、かんがい排水等各部門ごとに研究が進められ、これらを総合して研究する機会に恵まれていなかったため、土木学会では本年2月よりトンネル工学委員会を設けトンネル工学の総合的研究をすすめることになり、その手初めとして本書を刊行しシンポジウムを開催したところ多大の成果を収めました。本書はトンネル工学の絶好の参考資料となりますのでシンポジウム不参加の方々にもぜひ御すすめ致します。

内 容: ●トンネル鋼アーチ支保工の設計施工について/坂本貞雄 ●長大トンネルの地質/広田孝一 ●トンネル工事における災害の実情について/森 宜制 ●高熱トンネルの施工について/丸山二郎 ●名古屋市高速鉄道のシールド工法について/高見敬一/近藤 茂/中道 拓/渡辺晴朗 ●わが国トンネル施工のすう勢と問題点について/加納俊二

体 裁: B5判本文 106ページ・業界名鑑6ページ・図表・写真多数・3色刷表紙・上質紙使用

定 価: 400円(送料50円)

会員特価: 300円(送料50円)