トンネル湧水の特性と問題点*

高 橋 彦 治 **

Characters and Some Problems on the Tunnel Water

..... Pre-estimating Methods for Amounts of the Tunnel Water

by Hikoji Takahashi

1. Introduction

In this paper a synthetic consideration for the tunnel water is mentioned from the viewpoint to establish the Pre-estimation method for its amount. The tunnel water is nothing but ground water flowing. Hydrology, hydraulics, soil mechanics and geology (hydrogeology) have been concerned with the study of ground water flow, but in this paper a conception of the ground water is formed mainly from considerations of water-taking area.

2. Constancy of Tunnel Water and Its Depression Curve

Amounts of tunnel water are extremely large in general at an early stage of excavation, but the discharge decreases and finally reaches the equilibrium. Such tendency is remarkable in the tunnel water. The tunnel water, once it reaches the state of constant flow, apparently undergoes no influence of meteorologic and seasonal conditions, keeping a constant discharge for a long time. Table 1 shows a comparison between the volumes of tunnel water measured recently as well as shortly after completion of excavation, indicating the constancy of tunnel water.

3. Volume of Water at Early Stage (Top-Water)

* 本論文は文献 1) の一部である。

** 鉄道技術研究所

1964. 10月7日受理

Perhaps the estimate of volume of tunnel water at an early stage is one of the most difficult problems to determine, then it seems more suitable to solve the problem by construction of flow net under the prescribed boundary conditions in static conditions.

4. Equilibrium of Runoff and Ground Water (Runoff-Relation)

The runoff conditions of the tunnel water should be considered in connection with the runoff conditions of the surface flow. A constancy of the base flow in both of the tunnel water and the surface flow, which will appear in the later part of the natural depression curve of the base flow, shows nothing but the constancy of the groundwater runoff (Fig. 9). It is easily noticed that a range of variation in the ground water table becomes gradually larger according to the distance from the stream, and therefore the tunnel is generally excavated where the elevation of ground water surface varies (Fig. 10)

If the tunnel water is estimated on the premise of its constancy, the runoff conditions should be explained as follows; at first the groundwater flow towards the tunnel takes place within a limited area, and then the tunnel water is fed by unsaturated seepage water from the upper layer so as to maintain the water table. Figure 11 is a schematic representation of ground water flow. When the seepage flow feeding the tunnel water is introduced as a discharge through unit area, referred to as the specific discharge of tunnel water, this corresponds to the state of the base flow (or generally thirsty flow) for the surface flow.

5. Calculation of Water-Taking Area

A catchment area of the ground water flow into the tunnel is defined as the tunnel water-taking area in this paper.

a. Hydrological considerations (the first method for tunnel water-taking area calculation)

A method by hydrological considerations is to obtain the water-taking area of the tunnel based upon the average width of the related surface flows.

b. Hydraulic considerations (the second method for tunnel water-taking area calculation)

A method by hydraulic considerations is to obtain the water-taking area of the tunnel by the theory of unsteady

flow of ground water based on the influence area of the ground water table. The following expressions are introduced by the calculation illustrated in Fig. 13.

$$R = 6kt H \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$k_t = \frac{k \cdot t}{\lambda} \quad \text{or} = \frac{R}{6H} \quad \text{-----} \quad (5)$$

where k = coefficient of permeability

λ = porosity

t = duration of flowing.

Equation (4) shows the influence limit R which is formed by the flow toward a side of the tunnel. The solution is quite identical with the formula introduced by J. Schultze on the unsteady flow into deep well, in which k_t in Eq. (5) denotes an average permeability on the related area. When using Eq. (4), errors owing to approximation are involved as in shallow well conditions, since the bottom of tunnel does not always reach an impervious stratum, but for practical use the errors may be neglected.

- c. New concepts of average permeability and its geological consideration (the third method for tunnel water-taking area calculation)

A term k_t introduced in Eq. (5) is considered representative of an overall permeability of the geological units constituting the water-shed or the land slope. Thus the average permeability of a geological unit constituting a slope in the natural topography should mean the more permeability on a flatter slope than on a steeper one. It is considered that the assumption is conformable to any type of the earth's surfaces from a macroscopic standpoint, and it has come to be understood that the tendency also exists in the field of hydrology or soil mechanics (Fig. 16).

If k_t is obtained depending on topographic characteristics of water-shed, the tunnel water calculations will be freed from troubles in obtaining such factors as coefficient of permeability (k), porosity (λ) and others, which have considerable divergence and discontinuity and are indeterminate.

The third method for tunnel water-taking area calculation is to obtain the water-taking area as R by means of Eq. (4) using k_t obtained in this way.

- d. Geological considerations (the fourth method for tunnel water-taking area calculation)

The flow of ground water is restricted in conformity with topographic features and geological structures. For example, a ground water is gathered from both slopes in a typical valley topography, and is given a discontinuity in flow by imperviousness of the faulted structure. Also a mountain ridge or a major water-dividing line may possibly be considered to form a boundary for the flow of ground water in many cases (Fig. 17). Consequently, the water-taking area that is obtained either from the second or the third method can be corrected by the fourth method.

6. Estimating Tunnel Water of the Hokuriku Tunnel

The above-mentioned methods for tunnel water-taking area calculation were to the estimate of tunnel water prior to the construction work of the Hokuriku tunnel (13.87km in length, constructed in 1957 - 1962, Fukui Prefecture, Japan), these processes and results of the considerations are presented in Fig. 18 to 25, Table 2 to 7, and Photo. 1.

7. Conclusion

The tunnel water will be adequately understood by the considerations from a methodological standpoint, though the determination of such concepts as average permeability or specific discharge for the tunnel water is left for future study. In case of a district having any erosion surfaces in the strata of lower group (unconformity), especially a volcanic district having any underground valley, the states of these underlying valleys or unconforming surfaces should be carefully considered in the estimate of the tunnel water.

1. ま え が き

本論文は湧水量推定の方法論を確立することを目的として、トンネル湧水の特性とその問題点に関して考察を行なったものである。トンネル湧水は地下水流出に他ならない。したがって、これには水理学、水文学、土質力学、地質学などが関係するが、著者は主として、地下水流出範囲の概念を中心に考察を行なった。

トンネルに向う地下水の流動方向および集水範囲の制限に関しては、地 被、形状など流域の表面徴候に関するもののみでなく、その形成条件と構成地質の平均透水性、湧水地点と地形（とくに谷地形）などの相関性に関する考察が重要である。問題はそこまで発展させて考えるならば、トンネル湧水に関する問題は、これを地質学以外の他の学問的分野にのみ所属させることは困難である。⁽²⁾ このような立場は、土木工学と密接に関連し、これに寄与するための応用地質学的立場であるが、さらに換言するならば、トンネル湧水に関する工学的立場に他ならない。

考察の結果に基づいて、北陸トンネルにおける湧水量を求め、これを実績と比較、対照することができた。

2. トンネル 湧水の 不変性と減衰曲線

トンネル湧水は顕著な流出点または流出区間が存在することによつて認識されることが多い。トンネル湧水は、掘削の当初はきわめて多量であるが、のちに次第に減衰して、ある平衡流を示すように現われる。水量の供給が大きい場合、または透水性の大きい滞水層の場合を除けば、このような性質はトンネル湧水の一般的特性である（図-1）。

図1. 切羽に流出する地下水の自然減衰曲線（北陸トンネル）

トンネル湧水の減衰曲線は、たとえば次式によつて示される。(3) 図-2 において、

図-2. トンネルに流出する地下水の非定常流出

$$q_t = q_0 \left[1 - \frac{2R}{\sqrt{R^2 + 4H^2} - R} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{R^2 + 4H^2}}{\sqrt{R^2 + (2H + \frac{k}{\lambda}t)^2}} \right\} \right] \dots \dots (1)$$

ここに q_t = 流出開始後 t 時間経過後の流出量

q_0 = 滯水層に開孔の瞬間 ($t=0$) における流出量

k = 透水係数

λ = 間げき率

(1)式は R および H が固定された状態における流出量の減衰曲線を示す式である。図-3 はその状況を示す。

多くのトンネルにおいては、一旦、平衡流に達した湧水量は、見掛上、気象あるいは季節の影響をうけることなく、長年月間ほぼ一定流量を示す。表1は建設直後の値と最近測定された値とを比較したもので、トンネル湧水の不変性を示すものといえよう。しかし、トンネル掘削の現場においては、ある地点における湧水量が十分平衡状態に達しない

図3. 切端における地下水流出の減衰曲線

表-1 トンネル湧水量の経年変化（不変性）

トンネル名	延長 (Km)	湧水量 (m^3/min) ()内は測定時期	
		当初	現在
丹那トンネル	7.8	75 (1934)	73.5 (1961-6-9), 国鉄静岡幹線工事局
清水トンネル	9.7	44.6 (1931)	44.6 (1961-7-18), 国鉄信濃川工事局
深坂トンネル	5.17	4 (1953)	3.8 (1961-7-5), 鉄道技術研究所
常磐炭鉱	-	90 (1955)	100 (1960) 磐城鉱業所

に掘削が進められるので、常に平衡流よりは多量の湧水を見ることになる。その状態は図-4によつて理解できる。

図4. 掘削中のトンネルの湧水

また、滞水層に対する最初の開孔が、透水断面が完全かつ不変の状態に形成されることは稀であるから一般には湧水量の自然減衰曲線は、(1)式のような標準的な曲線を示さないできわめて不規則な形状を示す。その代表的な形を図-5に示す。同図の(A)は標準的な曲線で、右側にその変形を示す。このような曲線は透水断面がきわめて初期の間に完成されたことを示す。(B)は流出能力が小さいために、あるいは貯溜槽の容量が大きく供給能力が流出能力を越える場合に相当する。初期においてはほぼ一定流または緩傾斜の曲率を示すような流出を続け、流出能力が供給能力を超えるようになって初めて正規の減

図5. 初期に流出する地下水の減衰曲線の变形

衰を示す。その転移のときに支障物（固い突起など）の除去が行なわれると、流出は一旦増加し、以後急激に減衰する。(O)は流出口およびその透水断面における欠陥によるものでなく、むしろ供給源であるところの地下水貯溜槽または水みちなど、水源側の欠陥の階段的な除去によつて水の供給が行なわれる場合に相当する（図-6）。実際には(A)・(B)・(C)の各要素が合成されてさらに複雑な様相を示すことになる。

減衰曲線の変形を通して見ても湧水量が初期に小さく、後期に大きく現われる現象は局部的なものであり、また特殊な事情によるものであることが理解される。図-5の中で減衰曲線の基底を形成するAの部分の大きさ(q_u)は滞水層の透水性と水頭に比例し、Bの部分は平衡流に達するまでに流出した水量で（基底部分を除く）、地下水貯溜槽または滞水槽中の貯溜分の大きさを示すものである。ここにAとBとの間に直接の因果関係を考慮する必要はない。

3. 初期流出量の概念

滞水層に対する開孔が理想的に行なわれたと仮定できるならば、初期流出量はたとえば(1)式の q_0 でなければならない。しかし q_0 を(1)式によつて求めることはできない。トンネル湧水における初期流出量は概念的には次のように考えることができよう。

水がまだ流動しない状態、または正に流動を始めようとする状態においては、流量は滞水層の透水性に関係なく水圧と開孔断面のみによつて定まる。

$$v = \sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots (2)$$

諸種の抵抗を無視して考えた場合、(2)式は水が水槽から管路に流出する場合の流量を示し、多孔質媒体を通して行なわれる透水現象においては実在し得ない値である。ここに v は流速、 h は水頭、 g は重力の加速度である。

滞水層よりの初期流出量は、静水圧状態によつて定まる境界条件にしたがい流線網の方法によつて考えるのが適當である。図-7は矢板の周囲における流線網を描いたものであるが、この場合は矢板の面も不透水層の面も、ともに1つの流線とみなされる。同図において矢板の左側の部分を除いて考える。トンネルを、左から右へ掘進したとき、垂直界面を通して突然、滞水層に開孔した場合はこれに相当する。

流線網の方法にしたがえば、垂直界面を通して均等質滞水層への開孔によつて現われる初期流出量(q_0)は、地下水面よりトンネル天盤までの深さ(h)によつて標準的に求めておくことが可能である。

図-8はトンネルの掘削断面が $2r_0 \times 2r_0 = 4m \times 4m$ の場合の初期流出量の大略の値を示したものである。

$$q_0 = k \cdot h \frac{n_f}{n_e} \cdot l \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに k = 透水係数

図6. 減衰曲線(C)の流出経過のための説明図

図7. 矢板の周囲における流線網

図8. 均等質透水層におけるトネル湧水の初期流出量 ($h-q$ 関係)

n_f = 流線によつて区切られる網目の数

n_e = 等ポテンシャル線によつて区切られる網目の数

l = 透水断面の奥行

不透透層の位置がトンネルの下底と一致しないで、それより低い位置にある場合には、下方よりの流出が付加されるので流量が増加することになるが、これについては後述するところである。

4. 流出関係のバランス

次にトンネル湧水における流出関係を、河川流量における流出関係との関連において考察する。

河川の流量は流入と流去とが常にバランスした形で行なわれ、気象または季節的影響を受けて変動するものであるが、無降雨状態または渇水期においては比較的安定した状態を示す(図-9)⁽⁴⁾。これは、河川流量の自然減衰曲線の後半に相当し、その状態においては流量はすべて地下水流出分によつて涵養される(基底流出)。このように河川流量の自然減衰曲線は、初は急勾配であるが後半はきわめて安定した傾向を示す。このことより地下水面の低下も後半においてはきわめて緩慢であることが理解される。

地表へ流出することによつて地下水面は絶えず低下するが、降水によつて水面が回復する。流路が枯渇しない場合は、流路の接近地域における地下水面低下は小さいが、川床を離れるにしたがつてその量が大きくなる。地下にトンネルがあつて、地下水がトンネル湧水として流出する場合には水面低下はさらに強調されることになる。この点にだけ注目するときは、トンネルは地下水面の変動する位置に貫かれると考えるのが一般的である(図-10)。

地下水の流動が特定の地下水面下において重力水として行なわれることを前提とするならば、トンネル上部における地下水面の変動は動水勾配の変動を招くので、水理学の解釈では一定流量を得ることができない。これは流量の不変性というトンネル湧水の特性に反する。この不変性を前提に、トンネル湧水の流出関係においては一定範囲のトンネルに向

図9. 河川流出の自然減衰曲線
A. 九州の河川

う地下水面が形成されると考えるのが適當のようである。
 一般にトンネルの直上部分には、地下水の不飽和領域が形成される。その領域は、本来の地下水面がトンネルへ流出することによつて影響を受ける範囲に他ならないが、地表流路へ向う地下水面は、これと別個に存在しうることも考えられる。図-11はその辺の事情を模型的に示したものである。またトンネル湧水が不変性を示すためには、トンネルに向う一定の地下水流が存在し、流出によつて低下した地下水面を回復するために流出分に相当する水量が常に補給されていなければならない。水の補給は主として上方より行なわれる不飽和浸透によつて行なわれる。不飽和浸透における透水係数(k_o')と飽和状態における透水係数

図10. 地表流の下にないトンネルに対する地下水面変化の状況

(k_o)との間には一定の関係があり、不飽和状態においても Darcy の法則が適用できると考えられている。(5) 鉛直方向の水の浸透は供給が連続的であれば滞水層の水位に関係なくほぼ一定流量を示す。この模型的考察によつてトンネル湧水に関する多くの問題を理解することができる。

図11. トンネルに向う地下水面の模型

トンネル湧水の不変性と河川流量における基底流の安定性との類似によりトンネル湧水における比流量を考える。トンネル湧水における比流量は、基底流出の十分安定した状態における河川流量または渇水季における河川流量を示すところの比流量に相当すると考えられる。すなわちトンネル湧水は、この比流量で示されるところの浸透水によつて養われると考えるのである。実際にはトンネル湧水における比流量は渇水量など河川流量で示されるものとは異なるが、比流量の概念こそトンネル湧水に適当した概念であると考えられるのである。

今、流出によつて形成されるところのトンネルに向う地下水面を仮定し、その一定領域をトンネル湧水における流出範囲と呼ぶことにする。流出範囲と比流量とは、地表流(河川)における場合と同様に、

トンネル湧水における重要な概念である。

5. 流出範囲の計算

5.1 水文学的考察（第1の方法）

流出範囲に関する水文学的方法は，現在の地形がある程度，地下水の流動に順応して形成されたものと考えて（あるいは巨視的には地下水が地形を支配する要素に関連して流動すると考えて），地表流の流域の平均巾員をもつてトンネルに流出してきた地下水の流出範囲を求めようとするものである（図-12）。

ここに地形の形成発展が地下水の流動のみによつて行なわれることを強調するつもりはないが，それは必然的に地下水を含む多くの営力によつて行なわれることを理解しなければならぬ。水文学においては地表流の流域と地下水の流出範囲とはほぼ同じものであるとする考え方が一般に受け入れられているようである。⁽⁶⁾

図12. 平均巾員を求めるための流路長
(L_m で $L_1 + L_2 + L_3$ であること)

地下水の真の流動は，滞水層の状態または地質構造などに支配されて把握しがたいところから，このように考えるのが当然の帰結であろう。

この方法とはもつとも簡略な方法であり，巨視的には理解できる概念であるが，トンネルの深さ（ある範囲内では一般に深いトンネルほど集水範囲が大きい），地表における既存の流出との干渉などの問題に対しては手がかりを与えない。

5.2 水理学的考察（第2の方法）

地下水における非定常流理論によつてトンネルに向う地下水面の影響範囲を求めようとするものである。

トンネルへ地下水が流出することによつて，トンネルの直上に不飽和領域が形成される場合について考える。これは開渠の場合と同じであるから図-13について次の仮定を行なう。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{r}{R} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (a)$$

開渠の中心より r なる距離に巾 δr なる微小領域を考えると， δt 時間に水面の低下によつてこの領域から失われる水の体積は，

$$\lambda \cdot \delta r \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \delta t = \lambda \cdot \delta r \cdot \frac{r}{R} \frac{\partial H}{\partial t} \delta t \quad \dots\dots\dots (b)$$

降雨により補給される水量
を単位面積当り q_s とする。

r なる範囲内で開渠に流入する水量(q)は、地下水面の低下によるもの、降雨によるもの(q_s)、および r の位置で外側より流入するもの(q_r)の総計である。

図 13 開渠に流出する地下水の非定常流出

$$q = \lambda \frac{\partial H}{\partial t} \frac{r^2}{2R} + q_s \cdot r + h \cdot k \frac{dh}{dr} \quad \dots\dots\dots (c)$$

$r = R$ において $(dh/dr) = 0$, $q_r = 0$ であるから、結局

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{2(q - q_s R)}{\lambda R} \quad \dots\dots\dots (d)$$

を得る。これを(c)に代入して積分すると

$$\int h \cdot k \cdot dh = \int \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) q \cdot dr - \int \left(r - \frac{r^2}{R} \right) q_s \cdot dr \quad \dots\dots\dots (e)$$

$r = r_0$ において $h = h_0$, $r = R$ において $h = H$ であるから、定積分は

$$\frac{k}{2} [H^2 - h_0^2] = q \left[\frac{2}{3} R - r_0 + \frac{r_0^3}{3R^2} \right] - q_s \left[\frac{1}{6} R^2 - \frac{r_0^2}{2} + \frac{r_0^3}{3R} \right] \quad \dots\dots (f)$$

これを t について微分し、これに(d)式の $(\partial H / \partial t)$ を代入すると

$$k \cdot H \frac{2(q - q_s R)}{\lambda R} = \frac{2}{3} q \left(1 - \frac{r_0^3}{R^3} \right) - \frac{1}{3} q_s R \left(1 - \frac{r_0^3}{R^3} \right) \left] \frac{dR}{dt} \quad \dots\dots (g)$$

となる。ここで高次の微小量 $[r_0^3 / R^3]$ を消去すると

$$\frac{dR}{dt} = \frac{3kH(q - R \cdot q_s)}{\lambda R(q - \frac{1}{2} \cdot R \cdot q_s)}$$

降雨による補給がない場合は $q_s = 0$ であるから

$$\frac{dR}{dt} = \frac{3kH}{\lambda R}$$

これを積分して $t = 0$ において $R = 0$ の条件を入れると

$$R = \sqrt{6ktH}$$

(4)式の中の kt は次のように与えられる。

$$kt = \frac{k \cdot t}{\lambda} \quad (\text{または} \quad \frac{R^2}{6H})$$

図14. R の誤差範囲 ($f(R)$)に関する H と kt との関係

これは降雨による補給が行なわれない場合に、流出によつて開渠の片側に形成される影響範囲の値である。また R は流出の継続によつて変化する。この結果はたまたま、井戸における非定常流々出に関して Schultze が求めたものに類似する。⁽⁷⁾ 式中 k, λ はそれぞれ滞水層の透水係数、間引き率、 t は水位が平衡するまでに要する時間である。

(4)式の誘導に際しては多くの近似と微小量の消去を行なっているから、当然次のような制限が必要である。トンネルの半径を r_0 、誤差範囲を $f(R)$ とすると、 $f(R)$ に対して kt と H との関係は図-14 のようになる。またトンネル底が不浸透層と一致しない場合に変化する流出量の状況は、いわゆる井戸の貫通度にしたがえば、図-15 に示される。⁽⁸⁾ このような誤差が含まれているが、その値は、この種推定の方法においては致命的なものでない。また、実際の状況を明らかにすることは困難である。したがって実用上、流出範囲の誤差に関する考慮は無用であると考える。

図15. トンネル底が不浸透層と一致しない場合

B. $R/R_0 = 1000$ のときの H/H_0 に対する Q_p/Q_{p0} の割合 (Gleeson)

C. H/H_0 と Q_p/Q_{p0} の関係 (Muskat)

5.3 平均透水性の概念と地質学的考察 (第3の方法)

水文学的考察によつて導かれる透水性の新しい概念は(5)式によつて表現される。

(5)式における k_t は流量とは関係なく、ある平衡状態における地下水面の状態を示すものと考えられる。これを一種の透水性とみなすならば、 k_t は流域または斜面を構成する岩層の透水性を代表するのであつて、透水係数(k)または間げき率(λ)などの多様にして連続性の乏しい、かつ決定困難な要素に分解することからまぬかれる。

k_t に含まれる要素によつて考えると、それは地下水面の形状に関するものであるが、近似的には地形の形成が流域または斜面の地質構成など地質学的関連のもとに考察さるべきことの可能性を持つている。この考にしたがえば、自然の地形においては日射、卓越風などの気象条件、あるいは地理的諸条件などの影響を考慮しなければならないが、⁽⁹⁾ 一般に緩斜面においては急斜面における場合よりも構成地質の透水性が大であり、また谷の方向は一般に透水性が大である (図-16)。このような解釈は、巨視的には多くの場合に適合するように見える。多孔質、破碎帯、崩土などは一般に透水性が大であり、水の流動に関して見るときは砂質土はロームまたは粘土に比較して緩勾配でなければ不安定である。

流域における斜面勾配が構成地質と無関係ではあり得ないであろうことは、河川密度に関連して水文学的分野においても容認しうるもののである。⁽¹⁰⁾ 前述のように水の作用の動的な面に注目するときは、斜面の安定勾配は透水係数に関係することが土質力学方面においても認められている。⁽¹¹⁾

図16. 透水性と斜面の安定勾配との関係

流出範囲に関して求められた(4)式の使用に際して、流域の形状特性によつて評価される平均透水性(k_t)を用いようとするのが第3の方法である。透水性の評価を地形と地質構成との関連性において行なうというのである。

5.4 地質学的考察(第4の方法)

地下水の流動を地質学的に考察すると、地域または滞水層の地質構成、地質構造、地形などの条件に関連して次のような傾向が顕著である。

- (1) 著しい谷地形においては、谷の方向に透水性が大きく、川床部分は谷の両側より地下水を集水する。
- (2) 著しい峠に関しては疑わしいが、山稜線または大分水界は一種の流出限界線であつて、滞水層の成層状態を考慮外とするならば、その部分は透水性亀裂網が少なく、比較的不透水性の地質である。(一般にトンネルが山稜線の下に掘削される場合には湧水のチャンスが少なく、また水量が少ないことが認められる)。
- (3) 断層は破碎帯を伴つて地下水の通路となることが多いが、遮水効果のため、断層は一般に地下水流動に不連続性を与える。

図-17はその間の事情を示すものである。第4の方法は通常、第2または第3の方法によつて得られた流出範囲に制限を加えるものである。

6. 北陸トンネルにおける湧水量

以上の考察はトンネル湧水に関する応用地質学的方法ともいふべきであるが、これを土木工学の立場において見るならばトンネル湧水に関する土木工学的方法に他ならない。その方法にしたがい、北陸本線敦賀・今庄間の北陸トンネル(延長1383 Km, 福井県)に適用した結果について以下にその概要を説明しよう。

(A)

(B)

図17. 谷地形または地質構造と地下水の流動

図18 北陸トンネル地質平面図

図19. 北陸トンネル地質縦断面図

6.1 地 質⁽¹²⁾

粘板岩、砂岩、頁岩、チャート、輝緑凝灰岩などより成る古生層が、トンネルのほぼ中央において花崗岩類によつて貫かれている。この地域は南西方向にある琵琶湖の湖北大擾乱地帯に相当し、古生層は複雑な断層構造を示し、また部分的には特殊な風化帯を形成している（図-18, 19）。

顕著な断層は木の芽川に沿うものと、板取川に沿うものの2つである。前者は敦賀方坑口附近を北東方向に走り、トンネルに対しては約1 Kmの間隔を保ちながら約6 Km間もこれと並行する。後者は59 Km 500 m附近（料程は米原起点）をほぼ北走し、トンネルに対しては約30°で交叉し、約500 mにわたつて破碎帯構造を示す。後者は柳ヶ瀬断層と呼ばれるものの北縁をなすものである。

地下水の胚胎、したがつてトンネル湧水は主として岩層亀裂、破碎帯などを通して行なわれることになる。

谷地形発達状況を概観すると、地形の発達は地質構造とくに2大断層に支配された様子が認められる。図-20は航空写真より解析された谷地形の発達状況を示す。それによつて次の地形区分ができる。

図 20 航空写真に見る谷地形の発達状況

- (1) 5 0 Km ~ 5 1 Km
- (2) 5 1 Km ~ 5 4.1 Km
- (3) 5 4.1 Km ~ 5 6.6 Km
- (4) 5 6.6 Km ~ 5 8 Km
- (5) 5 8 Km ~ 6 0.5 Km
- (6) 6 0.5 Km ~ 6 4 Km

6.2 水 文 調 査

かひる

関係地表流に関する水文調査としては木の芽川、板取川および鹿蒜川の3川を対象として、それぞれ流域内小流域についての流量測定を実施した。図-21は流域区分、表2は流量測定の結果を示したものである。図-22は流量測定の実績の一部である(写.1)。

表 2 関 係 河 川 流 量 調 ①

(木の芽川本支流)

河川または 堰 の 名 称	流路延長 L (Km)	流路補正 (Km)	補 流 (Km)	正 路 長 (Km)	流域面積 A (Km ²)	平均流域市 2 R (Km)	渴 水 量 m^3/sec	平均流出量 ($l/sec/Km^2$)	平衡流まで の日数(日)	記	事
木の芽川(1)	8.5	—	—	—	25.27	3.0	m^3/sec	21.8		本	流
(2)	3.8	—	—	—	3.86	1.02					
谷 口 1	0.6	—	—	—	0.119	0.2	l/sec	0.66	5		
2	0.45	—	—	—	0.07	0.15	0.079	4.8	2~3		
4	0.4	—	—	—	0.055	0.14	0.83	1.80	4	谷口3を含む	
5	0.65	—	—	—	0.161	0.25	1.0	15.5	5		
8	0.7	—	—	—	0.115	0.16	2.5	35.5	5	谷口6, 7を含む	
9	1.0	—	—	—	0.395	0.4	4.0	12.5	5		
10	0.85	—	—	—	0.109	0.13	5.0	10.1	5		
11	1.7	—	—	—	1.025	0.6	6.0	1.95	10~12		
12	0.6	—	—	—	0.175	0.3	20.0	1.43	5~7		
13	0.55	—	—	—	0.098	0.18	2.5	6.5	3~5		
15	2.2	—	—	—	2.172	1.0	0.64	2.80	10	谷口14,16,17,18,19を含む	
葉 原 1	1.4	—	—	—	1.648	1.2	50.0	2.15	5~10		
2	0.7	—	—	—	0.137	0.2	35.0	3.20	7~10	断 層 構 造	
3	1.85	—	—	—	1.176	0.64	4.0	3.47	8		
4	0.8	—	—	—	0.305	0.38	40.8	11.1	5~10		
7	0.25	—	—	—	0.026	0.1	3.4	3.18	5~10		
8	0.7	—	—	—	0.138	0.2	0.8	3.20	7~10		
9	0.6	—	—	—	0.109	0.18	4.4	11.3	3~5		
10	0.95	—	—	—	0.77	0.81	12.3	15.8	5~10		
12	1.4	—	—	—	0.858	0.61	12.2	2.46			
		—	—	—			2.11				
計	18.35	—	—	—	3.661	0.526	210.479	21.8	6.5	全単位流域の平均値	

表 2 関 係 河 川 流 量 調 ②

(板取川本支流)

河川または 堰の名称	流路延長 L (km)	流路補正 (km)	補 流 (km)	正 長 (km)	流域面積 A (km ²)	平均流域中 2 R ₀ (km ²)	渇 水 量 m ³ /sec ℓ/sec	平均流出量 (ℓ/sec)(km ²)	平衡流まで の日数(日)	記 事
板取川	8.7	1	9.7	11.88	1.36	—	—	—	—	本 流
" (1)	3.4	1.4	4.8	5.54	1.15	39.8	39.8	39.8	—	本流, 大断層の成分多い
板取 1	0.7	—	—	—	0.278	0.4	162	162	—	
2	0.3	—	—	—	0.029	0.1	0.24	83	5	
3	1.0	—	—	—	0.38	0.38	5.6	14.7	6 ~ 8	
4	1.3	—	—	—	0.603	0.46	15.0	25.0	5	
5	0.65	—	—	—	0.187	0.29	3.0	16.0	—	
6	0.8	—	—	—	0.158	0.2	—	—	5	
7	0.7	—	—	—	0.141	0.2	4.1	29.0	5	
8	0.4	—	—	—	0.076	0.19	7.4	97.0	5 ~ 7	板取川上流部平均
小 計	58.5	—	—	—	1.852	0.317	—	22.2	—	
9	0.55	—	—	—	0.055	0.1	1.2	22.0	5	
10	0.3	—	—	—	0.028	0.09	1.8	35.0	3 ~ 5	断 層 構 造
11	0.25	—	—	—	0.068	0.27	—	—	5	
12	0.45	—	—	—	0.146	0.32	1.0	75	5	
13	0.35	—	—	—	0.052	0.15	2.68	51.5	5	
15	0.45	—	—	—	0.125	0.28	0.82	65	5	
16	0.45	—	—	—	0.086	0.19	1.18	13.7	3 ~ 5	板取川を含む, 断層構造
17	0.65	—	—	—	0.2	0.31	0.138	0.69	7	
18	0.15	—	—	—	0.016	0.1	0.184	11.5	5	
19	0.8	—	—	—	0.234	0.29	0.82	35	5	
20	0.7	—	—	—	0.31	0.443	4.2	13.5	5 ~ 7	孫谷断層の位置
21	0.55	—	—	—	0.112	0.2	0.57	5.1	5	
22	0.45	—	—	—	0.14	0.31	1.57	11.2	5	
23	0.2	—	—	—	0.026	0.13	0.184	7.1	5	
小 計	6.3	—	—	—	1.599	0.254	183.36	11.5	—	板取川下流部平均
総 計	121.5	—	—	—	3.451	0.284	554.76	16.1	5.2	全単位流域の平均値

表 2 関係河川流量調 ③

(鹿蒜川本支流)

河川または 堰の名称	流路延長 L (km)	流路補正 (km)	補 流 (km)	正 路 長 (km)	流域面積 A (km^2)	平均流域巾 $2R$ (km^2)	渇水量 Q (sec/km^2)	平均流出量 (sec/km^2)	平衡流まで の日数(日)	記 事
鹿蒜川	8.0	5.0	13.0	27.38	2.1	$0.8/\text{sec}$	30.3			
新道 1	0.65	—	—	0.39	0.6	$1.0/\text{sec}$	2.6		3 ~ 7	
2	0.62	—	—	0.117	0.19	3.6	31.0		3 ~ 5	
3	0.85	—	—	0.468	0.55	1.0	4.3		3	
4	1.5	—	—	0.78	0.52	2.5	3.2		2 ~ 4	
計	3.62	—	—	1.763	0.49	8.1	4.6		3.75	全単位流域の平均値
									5.65	トンネル全延長の全流域について算術平均

写真 1.

トンネル湧水の状況

導坑：北陸トンネル 55K940m附近。

地質：古生層（砂岩）中の破砕帯。

水量：5 m³/min（最大 8 m³/min以上）。

6.3 透水性の評価

ポアホールについて実施された透水試験の結果により，トンネルの全長に関する平均値として表3を得る。

表3 透水係数(k)および間げき率(λ)の平均値
(弾性波速度による区分)

No.	弾性波速度による区分		割合 (%)	透水係数 k (cm/sec)	割れ目係数 m_T	間げき率 $\lambda = \alpha \cdot m_T$	岩層厚1 m中の亀裂	
	弾性波速度 (Km/sec)	延長(累計) (m)					λ に相当	有効間げき m_T に相当
1	2.4以下	1,180	8.5	—	—	—	—	—
2	2.5 ~ 2.9	570	4.1	2.7×10^{-3}	3.3×10^{-4}	1.65×10^{-2}	16.5 mm	0.33 mm
3	3.0 ~ 3.4	1,093	7.9	4.15×10^{-4}	1.7×10^{-4}	8.5×10^{-3}	8.5 mm	0.17 mm
4	3.5 ~ 3.9	2,060	14.9	2.21×10^{-5}	6.4×10^{-5}	3.2×10^{-3}	3.2 mm	0.064 mm
5	4.0以上	8,930	64.6	—	—	—	—	—
平均値			100.0	1.5×10^{-4}	3.65×10^{-5}	1.8×10^{-3}	1.8 mm	0.036 mm

注. 弾性波速度区分No.1は粘土を伴う破砕帯に相当し，弾性波速度区分No.5は透水亀裂を含まぬ堅岩層に相当する。

$t = 5.65$ 日 (表 2 より得る) を用いて第 2 の方法に対する平均透水性を表 3 のように $k_t = 410$ m と評価する。

一方、流域の形状特性より表 4 の計算を行ない、第 3 の方法に対する平均透水性を $k_t = 320$ m と評価する。

図-23 はその $H-R$ 関係図表である。

表 4 第 3 の方法における平均透水性の評価

地表流 (堰)	比流量 q sec/Km^2	流域 面積 A Km^2	流路長 L Km	平均 流域 2R Km	平均 比高 H m	平均透水性 k_t m	トンネル 区間 L_t Km	$k_t = \frac{R^2}{6H}$		摘要
								$k_t \cdot L_t$ k_t $1,000 \text{ m}^3$	区間補正 $(k_t \cdot L_t)C$ $1,000 \text{ m}^3$	
谷口 5	15.5	0.161	0.65	0.25	4.0	6.6	0.4	26.5		木の芽川本流 について $2R = 3\text{Km}$, $H = 400\text{m}$ $k_t = 940\text{m}$ ※1
8	35.0	0.115	0.7	0.16	2.0	5.3	0.25	13.2		
9	12.5	0.395	1.0	0.4	6.0	11.0	0.45	49.5		
10	10.1	0.109	0.85	0.13	2.0	3.5	0.2	7.0		
11	19.5	1.025	1.7	0.6	20.0	7.5	0.18	13.5		
12	14.3	0.175	0.6	0.3	3.0	12.5	0.52	65.0		
15	23.0	2.172	2.2	1.0	10.0	42.0	1.15	482.0		
葉原 1	2.15	1.648	1.4	1.2	10.5	57.6	0.8	460.0		
3	34.7	1.176	1.85	0.64	7.0	24.5	0.8	196.0		
4	11.3	0.305	0.8	0.38	2.5	24.0	0.4	96.0	※1	木の芽川上流 部について $2R = 3\text{Km}$, $H = 300\text{m}$ ② $k_t = 1250\text{m}$ 補正区間 $L_t = 4.1\text{Km}$ $(k_t \cdot L_t)C =$ $(\text{①} \times \frac{3}{4} + \text{②} \times \frac{1}{4}) \times L_t =$ $2,231,000 \text{ m}^3$ 補正理由は、 この区間にお いて、本流分 の流域を含む
12	24.6	0.858	1.4	0.61	8.0	19.5	① 0.6	117.0	2,230	
8	32.0	0.138	0.7	0.2	2.0	84	0.25	21.0		
9	11.3	0.109	0.6	0.18	2.5	54	0.25	13.5		
10	15.8	0.77	0.95	0.81	7.5	36.5	1.0	365.0		
板取 1	16.2	0.278	0.7	0.4	3.0	22.5			※2	
3	14.7	0.38	1.0	0.38	4.0	15.0				
(1)	39.8	4.41	3.4	1.3	21.0	33.1	1.55	515.0	※3	
5	16.0	0.187	0.65	0.29	5.0	7.0	0.3	21.0		
7	29.0	0.141	0.7	0.2	3.0	5.6	① 0.15	8.4		
9	22.0	0.055	0.55	0.1	1.0	42	0.15	6.3		※2 板取川上 流部に含 まれる。 ※3 上板取川 上流部 ※4 上板取川 上流部 ② $k_t = 331\text{m}$ 補正区間 $L_t = 1.4\text{Km}$ $(k_t \cdot L_t)C =$ $(\text{①} \times \frac{1}{2} + \text{②} \times \frac{1}{2}) \times L_t$ $= 290,400 \text{ m}^3$ 補正理由は 板取川の下を 通過する。
10	35.0	0.028	0.3	0.09	1.5	23	0.1	2.3		
12	7.5	0.146	0.45	0.22	4.0	10.7	0.25	19.3	290.4	
13	51.5	0.052	0.35	0.15	2.0	47				
15	6.5	0.125	0.45	0.28	2.5	13.0	0.45	58.5		
16	13.7	0.086	0.45	0.19	4.0	3.8	0.27	10.3		
17	0.67	0.2	0.65	0.31	4.0	10.0	0.38	38.0		
19	3.5	0.234	0.8	0.29	4.0	8.8	0.35	31.8		
新道 4	3.2	0.78	1.5	0.52	6.5	17.5				
3	4.3	0.468	0.85	0.55	6.0	21.0	0.9	174.0		193
2	31.0	0.117	0.62	0.19	4.0	3.8	0.65	24.7		
1	2.6	0.39	0.65	0.6	6.0	25.0	0.17	4.3		
平均透水性を $k_t = 320$ m とする。								12.87	2878.3	4053.4
								$k_t \text{ mean}$ $= 230 \text{ m}$	$k_t \text{ mean}$ $= 320 \text{ m}$	

6.4 流出範囲と湧水量

第1の方法によつて得られた流出範囲と湧水量を表5に、第2、第3および第4の方法によつて得られた流出範囲と湧水量を表6に示す。図-24は第2、第3および第4の方法によつて得られた流出範囲図を示したものである。同図において第2および第3の方法によつて得られた範囲に対する第4の方法の適用、すなわち地質構造上の制限の状況が明らかである。表7および図-25は、それらの結果を一括表示したものである。表6、7および図-25の中で、

図23 北陸トンネル HR 図表

図24 北陸トンネルの流出範囲図

表5 第1の方法による推定湧水量

No.	区 間	長 さ L (km)	流 出 巾 2 R (km)	流出面積 A (km ²)	比 流 量 q _e (ℓ/sec/km ²)	区間流出量 Q _I (ℓ/sec)
(1)	49K940m ~ 58K200m	82.6	1.5	12.5	21.8	272.0
(2)	58K200m ~ 59K700m	1.5	0.6	0.9	22.2	20.0
(3)	59K700m ~ 60K700m	1.0	1.15	1.15	22.2	25.5
(4)	60K700m ~ 62K000m	1.3	0.7	0.91	11.5	10.4
(5)	62K000m ~ 63K770m	1.77	1.0	1.77	8.1	14.4
平 均 値		13.83	1.3	17.23	20.0	342.3

流出区分 系	1	2	地 表 流 堰 系	3 比 流 量 ℓ/sec/11.8	4 区 間 料 程 (水原起点) 始点~終点 km	5 延長 L km	第 2 の 方 法 (Q _T)					全左+第 4 の方法(Q _T -P)					第 3 の 方 法 (Q _T)					全左+第 4 の方法(Q _T -P)				
							湧 水 量 (Q _T)					湧 水 量 (Q _T -P)					湧 水 量 (Q _T)					湧 水 量 (Q _T -P)				
							流出市 2 R km	流出堰 A km ²	流出堰 Q _f ℓ/sec	流出堰 Q _m m ³ /min	流出堰 Q _m m ³ /min	流出市 2 R km	流出堰 A km ²	流出堰 Q _f ℓ/sec	流出堰 Q _m m ³ /min	流出市 2 R km	流出堰 A km ²	流出堰 Q _f ℓ/sec	流出堰 Q _m m ³ /min	流出市 2 R km	流出堰 A km ²	流出堰 Q _f ℓ/sec	流出堰 Q _m m ³ /min	流出市 2 R km	流出堰 A km ²	流出堰 Q _f ℓ/sec
系	1	1	谷口 2+4	11.8	48940-50900	096	033	0318	372	0234	0224	020	0128	033	0318	372	0234	0224	020	0192	214	0128	033	0318		
	2	5	155	50900-51300	04	076	0304	472	0285	0509	043	0172	266	016	0288	076	0304	472	0285	0509	043	0172	266	016	0288	
	3	8	350	51300-51550	025	120	03	105	063	1139	097	0242	845	051	0798	100	025	875	0595	1084	097	0242	845	051	0798	
	4	9	125	51550-52000	045	088	039	488	0292	1431	088	039	488	0292	1090	085	0383	48	0288	1322	085	0383	48	0288	1322	
	5	10	101	52000-52300	02	065	013	131	0779	151	065	013	131	0779	1169	081	0122	124	0075	1367	081	0122	124	0075	1367	
	6	11	185	52300-52380	018	087	0156	306	0185	1695	087	0156	306	0185	1354	081	0145	284	017	1567	081	0145	284	017	1567	
	7	12	143	52380-52600	022	110	0242	348	021	1905	110	0242	348	021	1564	098	0216	31	0186	1753	098	0216	31	0186	1753	
	8	12	143	52600-52900	03	120	038	515	031	2215	120	038	515	031	1374	117	0351	505	0303	2056	117	0351	505	0303	2056	
	9	15	230	52900-54050	115	145	166	382	23	4515	145	166	382	23	4174	138	16	370	22	4356	138	16	370	22	4356	
	10	葉原	1 215	54050-54850	08	130	104	225	135	5865	130	104	225	135	5524	127	102	230	133	5586	127	102	230	133	5586	
	11	3	347	54850-56560	08	150	12	415	25	8365	150	12	415	25	8024	147	118	410	247	8056	147	118	410	247	8056	
	12	4	113	56560-56950	04	156	0631	70	042	8785	156	0631	70	042	8444	151	0601	68	041	8466	151	0601	68	041	8466	
	13	12	246	56950-58050	06	172	104	255	153	10315	172	104	255	153	9974	165	089	244	146	8926	165	089	244	146	8926	
	14	8	320	58050-58900	025	179	0448	143	086	11175	179	0448	143	086	10554	173	0443	142	085	10776	173	0443	142	085	10776	
	15	9	113	58900-57150	025	185	0462	522	0313	11488	185	0462	522	0313	10738	178	0448	50	03	11076	178	0448	50	03	11076	
	16	10	158	57150-58150	10	138	198	312	189	13378	138	198	312	189	11968	174	176	278	167	12746	174	176	278	167	12746	
	17	坂取	1 162	58150-58400	025	196	049	792	0475	13853	196	049	792	0475	11853	184	046	745	045	13196	184	046	745	045	13196	
	18	3	147	58400-59300	09	200	18	265	18	16458	200	18	265	18	15453	193	093	136	082	12673	193	093	136	082	12673	
	19	(1)	388	59300-59700	04	198	0792	815	19	12353	198	0792	815	19	101	13683	189	0756	300	18	16476	189	0756	300	18	16476
	20	5	160	59700-60000	03	183	0649	875	0525	17878	183	0649	875	0525	13925	174	0522	84	0505	16881	174	0522	84	0505	16881	
	21	7	280	60000-60150	015	173	026	57	0342	1867	173	026	57	0342	14177	165	0348	72	0439	17413	165	0348	72	0439	17413	
	22	9	220	60150-60300	015	173	026	57	0342	1867	173	026	57	0342	14177	165	0348	72	0439	17413	165	0348	72	0439	17413	
	23	10	350	60300-60400	01	174	0174	61	0366	18096	174	0174	61	0366	14381	164	0345	54	0324	17787	164	0345	54	0324	17787	
	24	1 2+13	265	60400-60650	025	173	0431	127	0792	18798	173	0431	127	0792	15305	165	0411	121	0729	18311	165	0411	121	0729	18311	
	25	15	65	60650-61100	045	150	0674	44	0264	20092	150	0674	44	0264	15504	140	036	41	0246	18067	140	036	41	0246	18067	
	26	16	187	61100-61370	027	112	0303	418	0251	20313	112	0303	418	0251	15664	106	0386	391	0235	13292	106	0386	391	0235	13292	
	27	17	067	61370-61750	038	109	043	029	0018	20331	109	043	029	0018	15664	106	0395	027	0016	13292	106	0395	027	0016	13292	
	28	19	35	61750-61990	014	110	0154	054	0032	20364	110	0154	054	0032	15664	104	0386	391	0235	13292	104	0386	391	0235	13292	
	29	19	35	61990-62100	021	105	022	077	0046	0968	105	022	077	0046	0968	075	0157	055	0033	0756	075	0157	055	0033	0756	
	30	新道 3+4	37	62100-63000	03	097	087	32	0192	0922	097	087	32	0192	0753	092	083	31	0186	0906	070	083	31	0186	0906	
	31	2	310	63000-63650	085	06	039	121	078	073	05	0232	101	0066	0606	059	0385	120	072	05	0325	101	0066	0606		
	32	1	26	63650-63770	012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					18830	134	18448		21332		0995	13766	16465		20288		126	17483		20288		097	13993		16107	
					ΣL	ΣRm	ΣA		ΣQm		ΣRm	ΣA	ΣQm		ΣRm	ΣA	ΣQm		ΣRm	ΣA	ΣQm		ΣRm	ΣA	ΣQm	

第2または第3の方法プラス第4の方法， Q_{II-IV} または Q_{III-IV} のように示してあるものは，第2または第3の方法によつて得られたものに第4の方法による制限を加えたときの流出範囲と湧水量を示す。なお，湧水量の計算に用いた比流量の値は表・2より求めた。

表・7 北陸トンネルの各種方法による推定湧水量の比較

番号	推 定 方 法	流出面積 A	流出範囲	湧 水 量	排 水 区 分	
			2 R	Q	流 出 口	Q
			Km	m ³ /min		m ³ /min
1	第 1 の 方 法 (Q_I)	1723	1.3	205	敦賀口	1.96
2	第 2 の 方 法 (Q_{II})	18448	1.34	2133	今庄口	0.9
3	(第2+第4)の方法 (Q_{II-IV})	13766	0.995	1647	敦賀口	2036
4	第 3 の 方 法 (Q_{III})	17483	1.26	2029	今庄口	097
5	(第3+第4)の方法 (Q_{III-IV})	13393	0.97	1611	敦賀口	1568
6	掘削後の湧水量 (Q_0)	—	—	1679	今庄口	079
					敦賀口	1034
					今庄口	095
					敦賀口	1533
					今庄口	078
					敦賀口	166
					今庄口	069

6.5 北陸トンネルの湧水量に関する総括

坑口附近，または近接地点との標高関係によつて明らかに流出範囲となり得ない部分に関して適当な考慮を払うならば，第1の方法による結果は，実際の値に接近し簡易な方法として用いることができる。

第2または第3の方法のみによるときは流出範囲，湧水量ともに

過大評価を得る。これに対して，それらの結果に第4の方法による制限を行なつて補正されたものは実績との対照を通して明らかに類似性が認められる。

透水性の評価の差による影響は，トンネル以外の地点へ流出する分との干渉ならびに第4の方法による制限などによつて補正されるので，最終的にはさほど大きく現われないようである。

次に，湧水地点と地形，または地質構造との関係を見ると，トンネル内の比較的顕著な湧水地点は地表の谷地形に関連して現われる。一般的傾向として，谷地形における地質は破碎帯などの透水性構造を示し，山稜線附近の地質は地下水の流動に対して適当でないことが理解される。

このように地形および地質構造と地下水流出との相関性はきわめて顕著な特性と考えられるのである。したがつて，関係地表流（河川）における流量および流域の状況に関する水文学的資料は，地形上の特性とともに，地質構造を解明するための有力な要素であると考えられる。

図 25. 北陸トンネルの湧水量

7. 総 括

7.1 結 論

(1) 地下水の流動は水文学, 水理学, 土質力学, 地質学などに関連して行なわれるので, トンネル湧水に関する問題は各分野の知識を総合する立場によつて考察されることが望ましい。⁽¹³⁾

(2) トンネル湧水の不変性によつて, トンネルに向う地下水面とその流出範囲に関する概念を模型的に仮定することができる。

(3) 地表流(河川)における基底流曲線の安定性との類似性により, トンネル湧水における比流量は地表流における基底流量(または湧水量)に近似したものであることが理解される。

(4) 坑口附近における流出条件などを考慮するならば, 第1の方法はトンネル湧水の概略値を得るための簡易な方法であり, 水文学的方法と呼べるべきものであろう。

(5) 流出範囲に関する第2または第3の方法は水理学的方法と呼べるべきものであり, これが単独に用いられる場合には一般に過大評価を得る。

(6) 地下水の流動方向, 流出範囲の制限などは地質構成, 地質構造または地形などに関連性を有すると考えられるから, トンネル湧水における流出範囲は第4の方法による制限が必要である。ここに第4の方法は地質学的方法と呼べるべきものであろう。

(7) 多くの地下谷を有する火山地域, または下部層に存在する侵蝕面(不整合面)が問題となる地域にあつては, 現存する地形(地表)の他に, 地下の谷または侵蝕面の形に関して考慮の必要がある。

7.2 今後の問題点

(1) 平均透水性の概念はきわめて重要であつて合理的であると考えられるが, 土質力学, 地質学, 地形学などの考証によつて, 概念の固定化と測定法または調査法の確立が必要である。

(2) トンネル湧水に関する比流量は, トンネルに向う地下水面の維持という形で把握される。地表流(河川)の基底流量(または湧水量)をもつてこれに代えることは便法であつて, 両者がまったく同一であるとみなすことはできない。すなわちそれらの関係を追求することが必要となる。

文 献

- (1) 高橋彦治: トンネル湧水に関する応用地質学的考察 鉄道技研報告 279, 1962-6
- (2) 本間 仁: 地下水の計算について 土木学会誌 42-8, P. 23, 1957-8
- (3) 生方俊夫: 導坑の湧水 鉄道技研 1957
- (4) 阿部謙夫: 九州における河川の流量について 土木学会誌, 12-5, PP975~1044, 1926-10
Wisler and Brater: Hydrology, 1959
- (5) 本間 仁: 前出, P. 24
- (6) 阿部謙夫: 水文学, 岩波講座, 1933
- (7) 物部長穂: 水理学 PP481~483, 1951
- (8) D. K. Todd: Ground Water Hydrology PP106~108, 1959
M. Muskat: The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media, PP258~286, 1946
- (9) 吉田 登: Photogeology による水力開発地点の調査, 土木学会論文集, 46, 77, P16, 1961-11
- (10) 野満, 瀬野: 新河川学, P10, 地人書館, 1959
- (11) 斉藤迪孝: 盛土斜面の崩壊について, 土質工学会シンポジウム—斜面の安定, P22, 1961-11
- (12) 高橋, 白井: 北陸トンネルの地質とその工学的解釈 鉄道技研報告 74, 1959-5
- (13) 高橋彦治: トンネル湧水に関する工学的研究の要請 土木学会誌, 47-8, 1962