トンネル湧水量の予測に関する二、三の考察

石 井 政 次*

Some Consideration on the Estimate of Water Inflow in Tunnelling

Masaji ISHII

Abstract

The affected area of water inflow into tunnel is due to the average permeability of rockmass which depends on valley area, valley shape ratio and inclination of slope.

The permeability in the a times larger area with the same shape ratio and inclination becomes $\sqrt{a}$ times larger. The permeability with the b times longer valley length in the same becomes $1/b^2$ times larger.

The experimental fact shows that pyroclastic rock has the largest permeability, gravel and sand layer has fairly larger, plutonic rock has intermediate and mudstone has smaller one.

Flowing ratio in drought season is the conception to be discussed referring the amount of rainfall and the decreasing curve of water inflow.

1. ま え が き

新幹線の建設や高速道路の建設に伴って、トンネルの数が増加するとともに、長大トンネルや生活圏に隣接するトンネルが多くなっている。このため工事の進行とともに湧水問題がしばしば発生し、最近では振動・騒音・地表沈下などとともに、建設工事における公害の一つとなっている。

着工に際しては地質調査などの事前調査が行われ、ルート選定・施工法等を十分検討しておくのが通例であるが、湧水や湧水については、事前予測をすることがきわめてむずかしく、不測の大湧水や異常に広範囲な湧水問題が発生することもある。

調査法は大別して、地質調査・水文調査となるが、施工との関連でこれを時期別にみると、予備調査・施工前調査・施工中調査・完成後調査に分けられる。

本文は、トンネル恒常湧水量の予測および湧水影響範囲の推定のために実施した、最近の水文調査において発生した問題点 (1) 平均透水性の考え方 (2) 湧水比流量の取扱い方について述べたものである。

2. 水文地質調査とは

水文地質調査とは、地質とその構造による地下水の流

動・移動と、それに伴う地下水の物理的・化学的性質の変化、地下水源の開発、地下水災害などについて調査するものである。また水文調査は、地球の水循環系に関する自然的・人為的複合作用によって形成する、水文現象の環境を把握することを目的とするもので、① 地球表面 ② 地球表面上 (空) ③ 地球表面下 の 3 分野について調査する。と定義^{1),2)}される。

トンネル湧水・湧水の予測調査において、国鉄・鉄建公団では、水文調査・水文地質調査・水文環境調査等の名称が使用され、建設省・道路公団では、利水調査という名称が用いられることが多い。

3. トンネル湧水の予測手法

トンネル湧水には、掘さく中の集中湧水と、掘さく後の恒常湧水がある。ここでは後者の恒常湧水について述べる。トンネル恒常湧水を予測する手段として、高橋³⁾は「平均透水性 k_t (後述) を応用して流出範囲を求め、これにその流域の河川の湧水比流量を乗じて求める方法」を提案している。この方法は現在、国鉄・鉄建公団で湧水範囲の予測や湧水量の推定に対して採用されることが多い。以下高橋法の概要を述べる。

平均透水性を応用する方法は、河川の湧水流量はその流域の地下水流出によって、ほぼ恒常的にまかなわれるものであり、トンネル湧水は、これと類似した地下水流

* 株式会社 ダイアコンサルタンツ

出であるという考えにもとづいている。すなわち河川の流域面積に相当する地下水流出範囲が、トンネル掘きくによって新しく形成され、かつ、その単位面積当りの流量は河川の湧水比流量に相当する、というものである。この流出範囲を求める手段として、平均透水性を応用するのである。

詳細は文献³⁾⁻⁵⁾にゆずるが、一応の順序として予測手法の手順を述べることにする。

3-1 トンネル湧水流出範囲

(1) 平均透水性 k_t の算出

平均透水性 k_t は、① ボーリング孔を利用した透水係数と地山の間隙率および降雨後の河川の流量減衰日数を応用する方法と、② 地形的に算出する方法とがあるが、現在主として利用される ② の方法によることとする。

先ず地形図 (1/10,000~1/5,000) に分水界を記入し、河谷の測点について流域面積を求め $A \text{ km}^2$ とする。主流路を直線でとりその長さを $L \text{ km}$ とする。平均流路幅は $2R=A/L \text{ km}$ として求まる。次に流路の平均比高を求める。主流路を適当な長さ (50~100m) に分割し (n 組), それぞれの位置で右分水界・川床・左分水界の標高を読み取り、比高図を画く。川床と分水界との標高差を H とし、左右の比高の合計を ΣH_{1-n} とする。流路全体の平均比高は $H_m=\Sigma H_{1-n}/2n$ である。

平均透水性 k_t は

$$k_t = R^2/6H_m \dots\dots\dots (1)$$

なる式で示され、これに先に求めたそれぞれの値を代入して求める。この場合端数は3捨8入して5, 10mの単位として実用上差支えない (図-1⁶⁾ 参照)。

図-1 流域と平均比高 (k_t の算出) 文献 6) より

(2) 流出範囲の算出

式 (1) で求めた k_t の値を $R=\sqrt{6Hk_t}$ に代入し、任意の H に対する R の値を計算し、 $H-R$ 曲線を作る (図-2⁶⁾)。次にトンネルと直交する断面を、適当な間隔毎に画いて図-3⁶⁾ を作る。この場合地表の湧水点や断層のある付近では間隔を小さくし、かつ横断面には地質も記入して地下水流動の参考とする。トンネル施工基面と先

図-2 $H-R$ 曲線 (備後 T. の例) 文献 6) より

図-3 トンネル湧水流出範囲図 (久山田) 文献 6) より

の $H-R$ 曲線の 0 点を合せ、2 枚の図を重ねる。 $H-R$ 曲線と地表面が交差する所を、トンネル湧水影響圏と考える。影響圏を平面図上にプロットし、これを順に結んでゆけば、トンネル湧水流出範囲を画くことが出来る。

(3) 流出範囲の補正

前述した流出範囲は、地質が均等であつた地下水面が地表付近にあるものと仮定しており、実用にあたっては、水文地質層序および節理・断層などに応じて補正する。例えば、砂礫層や破碎帯の発達した帯水層では、相当広範囲な流出範囲となるし、トンネルに平行した断層は、地下水遮断の役目をする。

3-2 湧水比流量

人為的に影響を受けない地域の河谷の湧水流量は、一名基底流量とも呼ばれ、山地部においては、地山から恒常的に流出する地下水によって形成するものである。この流量 Q_e を流域面積 A で割った値が湧水比流量 q_e である。この比流量は豊水年・渇水年の特例を除けば、ほぼ一定に近い値を示す。トンネル通過地域の主要地点毎にこの比流量を求める。

3-3 トンネル恒常湧水量の予測

トンネル湧水流出面積 A_t と、この範囲にある河谷の湧水比流量平均 q_{em} とを乗じた値が、トンネル恒常湧水量 $Q_t = q_{em} \cdot A_t$ として予測される。トンネル延長が長い場合や、トンネル湧水流出範囲内にある河谷の湧水比流量が大きく異なる場合は、それぞれの流域毎に A_t と q_e を求め $Q_t = q_{e1} \cdot A_{t1} + q_{e2} \cdot A_{t2} + \dots + q_{en} \cdot A_{tn}$ として総湧水量を算出する。

4. 高橋法による場合の留意点

トンネル湧水の流出範囲を求めるために、平均透水性（以下 k_t という）を応用する方法がとられ、かつその算出方法についても、すでに述べたとおりである。筆者はこの高橋法を山陽新幹線・東北新幹線をはじめ、その他の線区で発生した数多くの湧水問題およびトンネル湧水の予測などに応用し、実用面で利用価値の高いことを知見した。ただ、応用するにあたって、次の留意点が必要であることが判明した。

① ボーリング孔を利用した透水係数 k から k_t を求める方法、すなわち $k_t = k \cdot t / \lambda$ の式において、 t は河川の流量減衰日数で降雨後の流量変化から求められるが、間隙率 λ は岩盤割れ係数より求める間隙率^{5),7)}を意味し、土質力学で取扱う間隙率とは異質であることの認識（実用上これを求めることがむずかしく、そのため一般に土の間隙率と同じ考えの間隙率を使用する間違いを生じている例が多い）。

② 地形的に求める k_t の値は、算出すべき対象流域の大きさで差異が生じることの認識。高橋⁹⁾は流域のとり方について、河谷の十分に上流部の単位流域（谷の1本ある単純形）でとるのがよいと述べている。しかしながら筆者の経験によると、透水性の小さい地域（泥岩・頁岩・片岩・花崗岩の堅岩）では、上流部の小流域、透水性の大きい地域（火山砕屑岩・断層の発達した花崗岩・砂礫層等）では、トンネル土被りと同等の比高をもつ大流域を、 k_t 算出の対象流域とするのが実状に合致するようである。

流域面積と k_t との関係を、実例についてプロットし

図-4 流域面積と平均透水性の関係分布図

たのが図-4である。図によって一般に面積が大きくなる程 k_t も大きくなることが知られる。そこで流域と k_t との関係を検討する。

4-1 流域相似の場合

図-5のように簡単な流域模式図を考え、 $A_1 : A_2$,

図-5 流域模式図

$A_1' : A_2' \dots$ はそれぞれ相似で、かつ $A_2 = a A_1$, $I_1 = I_2$ (但し I は山腹勾配) とすれば、 $L = \sqrt{a} L_1$, $R_2 = \sqrt{a} R_1$, $H_2 = \sqrt{a} H_1$ の関係となり、それぞれの平均透水性を k_{t1} , k_{t2} とすれば式 (1) により

$$k_{t1} = \frac{R_1^2}{6H_1} \dots \dots \dots (2)$$

$$k_{t2} = \frac{R_2^2}{6H_2} = \sqrt{a} k_{t1} \dots \dots \dots (3)$$

となる。すなわち

① 流域・山腹勾配ともに相似ならば、面積が a 倍なる時 k_t は $\sqrt{a}$ 倍となる。

② 流域が相似で面積が a 倍ならば、その山腹勾配が $\sqrt{a}$ 倍の時に k_t は同じとなる。

前出の図-4に示した直線は、 A に対応する k_t の平均値および上・下限値を示したものである。

プロットされたパラツキの点は、凡例に示す各トンネルについて計算したものであるが、掘削完了後のトンネルでは、湧水範囲等から補正を加えている。同図で A を

一定とした時の点, 例えば $A=1\text{ km}^2$ をみると $k_t=80$ ~500 m の範囲でバラツキている。この幅の生ずる原因は, 流域形状と地質に関連しているものと考えられる。いま流域形状は地質・地質構造・水の流動等に左右される現象とすれば, 流域形状は k_t に対して重要な役目を占めることになる。

4-2 流域形状の異なる場合

流域の形状は, 平均流路幅 $2R$ と流路長 L との比

$$F=2R/L=A/L^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

で示される。 F は流域形状比 または 流域形状係数とよばれる。

k_t と F との関係は, 式 (1) と (4) より次のように求められる。

$$k_t = \frac{A^2}{24HL^2} = \frac{A \cdot F}{24H} = \frac{F^2 \cdot L^2}{24H} \quad \dots\dots\dots(5)$$

今前出 図-5 の流域模式図において, $A_1=A_1' \dots$ とし, $L_1'=bL_1$ と考えた時の k_{t1} はそれぞれ

$$k_{t1} = \frac{A_1^2}{24H_1L_1'^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$k'_{t1} = \frac{A_1^2}{24H_1'L_1'^2} = \frac{A_1^2}{24H_1'b^2L_1^2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

となり

$$k'_{t1} = \frac{H_1 \cdot k_{t1}}{H_1' \cdot b^2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

平均比高 H を一定とすれば, 式 (8) は

$$k'_{t1} = k_{t1}/b^2 \quad \dots\dots\dots(9)$$

となる。すなわち

- ① 流域面積 A , 平均比高 H_m が同じで, 流路長が b 倍の流域においては, k_t は $1/b^2$ である。
- ② 流域面積が同じで流路長が b 倍の流域では, 比高割合 H_1/H_1' が b^2 に等しい時 k_t は同じとなる。

4-3 地質別の k_t 適用範囲

図-6 は, 流域面積 A と流域形状比 F との関係にお

図-6 流域面積-形状比と k_t との関係 (地質別適用範囲)

いて, k_t を段階的に示したものである。実用上の k_t は図-4にも示されているとおり, 最小20mから最大1500mの範囲である。図-6でA~Eの線は, 実例を地質毎に整理し分類した k_t の範囲をあらわしている。これによれば, A が大きくなる程 F は減少することがわかり, これとともに徐々に k_t が増加することがわかる。

なおこの図における k_t は, 便宜上 $H_m=100\text{ m}$ とした時の k_t で示してある。任意の比高 H_i に対しては $k_{ti}=k_t(100/H_i)$ として求められる。

5. 渇水比流量の取扱い方

渇水比流量とは, 先に3-2でも述べたとおり, 地山から恒常的に流出する地下水によって形成する河川の流量を, その流域面積で除した値である。一般的に年間を通じて夏季渇水・冬季渇水の2回あるのが通例である。

地山から恒常的に流出する地下水も, 根源は降雨によって補給されるものであり, それ故流量測定は年間を通じて実施するのが望ましい。ところが予備調査あるいは一次調査では, 通常, 調査期間が3~4箇月であり, しかも期間中に3回程度の単独測定 (独立測定) である。したがって測定値が, 年間或いは数年間の値に対比して, どのような関係にあるかを推定する必要がある。

我々の必要とするのは, 異常渇水時や異常豊水年の値ではなく, 最も平均年的な値である。

昨年度新幹線予定の某ルートにおいて, 数10km以上におよぶ水文調査が一斉に実施され, その結果比流量に大きな差が生じた。地域的にも裏日本一帯であり, 地形的・地質的にもそれ程の差は考えられないところでこの現象が起ったため, 結果の再検討が迫られた。以下はこの実例について測定結果の補正方法について述べる。

5-1 調査地・調査期間・調査項目

調査地: 北陸某地で, 1市2町にまたがる

調査期間: 昭和52年10月~53年2月

調査項目: ① ボーリング (各種検層共) ② 流量調査 (渇水量・流量減衰) ③ 水利用 ④ 現地地質 ⑤ 植生調査 ⑥ 工事関連調査 ⑦ 水質分析 ⑧ 水文気象調査 ⑨ 総合解析

5-2 調査結果の概要

今回の流量調査は, 10月26日~31日, 12月15日~16日, 1月20日~26日に実施された。

10月下旬の測定前の降雨状況は, 10月8日の20mm以降全く降雨がなく, また9月の降水量も68.5mmで少なかった。したがって10月下旬の流量は, きわめて稀な気象状況下での測定であったと言える。

12月は9日に23mmの降雨があった後, 11日の7

mmがある外は雨らしい雨もなく、北陸の12月としては珍しい晴天がつづいた。12月16日午後雨となったため一部の測定は残った。

1月はほとんど毎日5~20mmの降雨があり、非常に水量が多く、むしろ洪水量に近い値であった。

流量調査の結果を要約すると次の如くである。

a) 10月の比流量が最も小さい($q_e=0\sim8.5\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ 集中的には $2.0\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ 前後)

b) 1月の比流量が最も大きい($q_e=10\sim62.7\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ 集中的には $30\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ 前後)

c) 12月の比流量は10月と1月の中間である($q_e=3.0\sim15.6\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$)

d) 9・10月は雨が非常に少ない(9月: 67mm, 10月: 32mm これは過去30年平均の18~30%である)。

5-3 渇水比流量補正の考え方

(1) 10月測定値と12月測定値との関係

図-7に10月~12月測定値間の関係を示す。図でわかるように、両者の比(q_{12}/q_{10})は、ある程度のバラツキはあるが、大局的には比流量の大きさに逆相関がある。すなわち、比流量が大きくなれば比は小さくなり、比流量が小さくなれば比は大きくなる傾向があり、かつその関係は二次曲線的である。いま10月測定値を基準にし、比流量を4段階に区分し、 q_{12}/q_{10} の比を求めると表-1のようになる。但し $q<0.1\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ 、特異値は除く。

図-7 比流量10月値と12月値との関係

表-1 比流量12月/10月対比表

比 流 量 $q\text{ l/sec}\cdot\text{km}^2$	流域数	12月測定値/10月測定値		
		最 大	最 小	平 均
0.1~1.0 未満	10	25.0	4.2	11.0
1.0~2.0 "	8	14.6	2.3	5.6
2.0~5.0 "	16	7.2	1.9	3.5
5.0 以上	6	4.1	1.3	2.2
0.1 以上の平均	40	25.0	1.3	5.6
1.0 "	30	14.6	1.3	3.8

このように、2回の測定値間の比が、比流量の大きさに逆相関していることから10月測定値を基準に考える場合は、比流量の大きさによって条件を変える必要がある。

(2) 近傍河川の年間ハイドログラフを利用する方法
近傍にある一級河川Ku河で、建設省によって年間の流量調査がなされている。過去10年間のハイドログラフから、平均年間的な流況は、50年のデータで代表されることが知られた。そこでこの河川の50年と52年との流量を対比し、今回の測定期間における比を求めることにした。

昭和50年1月~12月の流量曲線から年間の渇水期を抽出し、昭和52年10月~12月から渇水期およびその流量を求めると表-2のようになる。

表-2 Ku河の渇水期と流量

流量は期間中の対数平均

昭和50年 渇水期間	流量 m^3/sec	昭和52年 渇水期間	流量 m^3/sec
5月27日~6月22日	44.6	10月1日~10月31日	13.7
7月27日~8月6日	23.3	10月15日~10月31日	4.9
9月1日~9月30日	60.6	11月1日~11月30日	8.8
11月21日~12月4日	67.5	12月1日~12月17日	38.6
		12月1日~12月31日	60.8

表より年間渇水流量は、夏季渇水の $Q=23.3\text{ m}^3/\text{s}$ (比流量 $q=18.0\text{ l/s}\cdot\text{km}^2$)と考えられ、これを10月15日~10月31日と比較すると $\alpha=23.3/4.9=4.76$ となる。したがって、10月26日~10月31日間の測定値より平均年の渇水流量を推定するには、4.76倍すればよいことになる。また12月中旬の流量と対比すれば、 α

$=23.3/38.6=0.60$ となり, 12 月測定値に 0.6 を乗ずれば, 平均年渇水量が推定される。

(3) 降水量の比較

各測定時期の降水状況については前述したが, いま過去の渇水期と雨量について検討する。対象としては, 河川流量が恒常的となったと考えられる時期, すなわち, 「過去 1 週間以内に 5mm 以上の降雨がないこと, 過去

表-3 過去の渇水期と降水量

年	降 雨 直前の 月 日	累計降水量 (mm)			備 考
		過 去 10日間	20日間	30日間	
48	4-14	11.0	52.5	81.0	異常渇水 "
	5-17	15.0	49.0	99.5	
	5-27	18.5	33.5	67.5	
	6-17	11.5	88.0	113.5	
	7-30	3.5	3.5	26.5	
	8-19	0.0	15.0	18.5	
	10-12	8.0	52.5	116.0	
49	5- 4	17.0	32.5	98.0	異常渇水 "
	5-16	7.0	41.5	74.0	
	8- 6	5.0	111.5	193.5	
	8-24	0.5	25.0	30.0	
	9- 7	1.0	108.0	113.0	
	10-17	17.5	54.5	126.0	
	11-10	5.0	64.5	115.5	
50	5-15	8.5	84.0	154.0	異常渇水 "
	5-30	1.5	62.5	129.0	
	6-17	0.5	98.5	138.0	
	8- 5	0.0	16.0	185.5	
	8-17	0.0	114.5	114.5	
	9- 7	0.0	120.5	123.0	
51	5-18	14.0	108.0	148.0	異常渇水 "
	6- 4	4.0	70.5	89.5	
	7- 9	1.0	68.0	175.5	
	8- 1	2.0	54.0	66.5	
	10- 3	1.5	53.5	330.5	
	11- 9	22.0	79.0	131.0	
52	5-14	12.5	109.0	158.0	異常渇水 "
	8- 4	0.0	38.5	76.5	
	9-28	7.0	14.5	51.0	
	10-31	0.0	0.5	32.5	
補 正 平 均		7.4	70.6	128.7	異常渇水を除く
全 "		6.5	60.8	112.5	

20 日以内に豪雨がないこと」を条件とし, 昭和 48 年 1 月～52 年 10 月について選出したのが 表-3 である。

異常渇水期を除くと, 20 日～30 日間前の降水量は比較的バラツキが少ない。そこで算術平均を求めると, 20 日間で, 70.6mm, 30 日間で 128.7mm が得られる。恒常流は, 測定直前の降雨以外に, それ以前の降雨を検討すべきあるから便宜上前記の平均降雨量と, 今回の 10 月および 12 月の降雨とを比較すると 表-4 のようになる。すなわち 10 月測定値に 7.4 倍, または 12 月測定値に 0.54～0.71 倍をすれば, 平均年の渇水流量を推定することができる。

表-4 過去渇水期と 52 年渇水との降水量比較

	20 日 間 降水量 (p_1)	p_{m1}/p_1	30 日 間 降水量 (p_2)	p_{m2}/p_2	備 考
過去 渇水	70.6 mm	p_{m1}	128.7 mm	p_{m2}	表-3 より
10月	0.5	141	32.5	4.00	
12月	100.0	0.71	240.5	0.54	

(4) その他の方法

以上の他 ① 流域ブロックを代表する数地点で測定した降雨後の流量減衰曲線 ② Ku 河の流量減衰曲線 を用いて, 10 月および 12 月の補正率を算出した。その結果 10 月は $\alpha=2.57$, 12 月は $\alpha=0.49\sim0.66$ となった。

5-4 渇水比流量の補正

実測の結果を補正するということは, 本来おかしいことではあるが, わずか 2～3 回の測定結果で, 年間を代表させることは, 実状にあわないことである。しかし軽々しく補正すべきでないことは勿論で, 各種の面から検討しなければならない。

(1)～(4) をまとめると 表-5 のようになり, 12 月はいずれの補正係数も 0.6 に近い。それ故今回は

12 月測定値 $\times 0.6$

表-5 平均年渇水量を求める係数 α 表

	α_1	α_2	α_3	
	10月値	12月値	比流量	渇水/10月値
Ku 河	4.76	0.60	$l/sec/km^2$ 1.0 未満	6.6
降水量	?～7.4	0.71～0.54	1.0～2.0 "	3.4
流 量 減 衰	2.57	0.49～0.66	2.0～5.0 "	2.1
平 均		0.60	5.0 以上	1.3

を平均年の湧水比流量とした。また12月欠測部に対しは、10月測定値に表-5の右欄 α_3 で比流量のランク毎に係数を乗じて求めた。

6. トンネル湧水実態調査より

筆者は、昭和46年～47年に全国主要鉄道トンネルの恒常湧水実態調査⁸⁾を実施し、さらに引続いて、50年までの山陽新幹線・東北新幹線等についても追加し、総計273例となった。

6-1 トンネル湧水量と延長との関係

延長と湧水量との関係を図-8^{9),10)}に示した。これに

図-8 トンネル湧水量の分布 ($Q-l$ の関係) 文献10)より

よると、恒常湧水量は $0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上 $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 未満が圧倒的に多く、125例で全体の約46%を占め、次に $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上のものが28%あり、湧水の特に少ない $0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 未満26%となっている。この分布図から延長と湧水量との相関をみると、 $Q=0.14l^{1.8} \approx 0.1l^2$ となる。ただしここに Q は湧水量を m^3/min であらわし、 l はトンネル延長を km で示す。

次にトンネル湧水量を単位長さ当りに換算して、延長との関係をみると、図-9のようになる。これより比湧水量の大きい順にみると、 $1 \text{ m}^3/\text{min}/\text{km}$ 以上のもの12%、 $0.5 \sim 1.0$ 未満17%、 $0.1 \sim 0.5$ 47%、 0.1 未満24%と

図-9 比湧水量と延長との関係分布 (全体) 文献10)より

なっている。

6-2 地質別にみたトンネル比湧水量

地質および地質構造と比湧水量との関係⁹⁾を整理し、列記してみると次のようになる。

- (1) 火山岩・火山砕屑岩地域で破碎帯の多い場合は、比湧水量が非常に多い。
- (2) 砂礫層のトンネルは比湧水量が多い。
- (3) 深成岩類で破碎帯の多い場合は比湧水量が大きい。
- (4) 古生層・中生層地域では比湧水量は中位である。
- (5) 泥岩地域のトンネルは湧水量がきわめて少ない。

6-3 流出範囲と比流量との関係

図-10はトンネル湧水流出範囲と比湧水量との関係⁹⁾を示したものである。比湧水量は実態調査結果から得られた値を用い、流出範囲 $2R$ は次のような3つの方法によった。

- ① トンネル湧水 Q_i を、その地域の平均的湧水比流量 q_0 で割り、流出面積 A_i を求め、これをトンネル延長 l で除して平均流出幅としたもの
- ② 実際に湧水が生じた範囲を流出幅と考えたもの
- ③ 主要横断面につき図-4に示す k_i を用いて流出範囲を求めたもの

図-10 トンネル・恒常比湧水量と流出範囲の関係

図で示すように、トンネル比湧水量は流出範囲とよく対応している。

7. あとがき

トンネルの恒常湧水量を、水文学的に予測する高橋法³⁾⁻⁵⁾の留意点として、流出範囲と湧水比流量について、二、三の考察を試みた。

地下水流出範囲を求めるのに必要な平均透水性は、流域面積の大きさ、流域形状比、山腹勾配によって左右されることを確かめた。すなわち、相似形流域で勾配も同じならば、 a 倍の流域の平均透水性は $\sqrt{a}$ 倍であり、面積が同じで、流路長が b 倍の流域では、平均透水性は $1/b^2$ である。

また平均透水性は地質によって適用範囲を考慮する必要がある、そのため対象流域は、次の範囲にするのが実状に即している。

火山砕屑岩地域では $0.4 \sim 15 \text{ m}^2$ の範囲、砂レキ層地

域では $0.1 \sim 2.0 \text{ km}^2$ の範囲、古生層地域および深成岩地域では $0.03 \sim 4.0 \text{ km}^2$ の範囲。

湧水比流量を、限定された期間内の 2~3 回の結果から決定するには、測定前 30 日間内の降水量を検討し、さらに流量減衰曲線等を併せ考える必要がある。

トンネル恒常湧水量は、273 例の実績によれば、トンネル長を $l \text{ km}$ 、湧水量を $Q \text{ m}^3/\text{min}$ であらわすと $Q = 0.1l^2$ の近似式となる。これは一つの目安で、これに地質・地質構造を加味すれば、大ざっぱの予測をすることができる。

参 考 文 献

- 1) 酒井軍治郎 (1968): 水文地質シンポジウム, 日本学術会議地質研連講演要旨
- 2) 高村弘毅 (1978): 水文環境からみた地図, 環境情報科学, 7-1
- 3) 高橋彦治: 湧水と地圧, 山海堂, S. 38
- 4) 高橋彦治 (1962): トンネル湧水に関する応用地質学的考察, 鉄研報告, No. 279
- 5) 宮崎政三・高橋彦治: 土地地質学, 共立出版, S. 45
- 6) 池田和彦・大島洋志・石井政次 (1974): 湧水調査法の総合的研究, 鉄研報告 No. 937
- 7) Ф. И. Комяхов (1960): Осуществляющих Противоречиях Воценке Трещиноватости Пород
- 8) 石井政次・佐久間文彦 (1973): 全国主要鉄道トンネル恒常湧水実態調査, 鉄研報告 No. 843
- 9) 石井政次: トンネル湧水の実態, 鉄道土木, 15-4
- 10) 石井政次・佐久間文彦 (1977): トンネル湧水の地形地質学的分類, 鉄研報告 No. 1041

(昭和 53 年 10 月 23 日受理)