

九州大学工学部 正会員 榎木 武
 九州大学工学部 学生員 楊 勲 得
 九州大学工学部 学生員 ○折原 琢 磨

1. まえがき 近年、トンネルの需要は、きわめて増大している。トンネル掘削中あるいは完成後の重要な問題の一つとして、湧水および濁水などがある。すなわち地下水位の低下、溜濁あるいは湧出により、工事に支障をきたすばかりでなく、生活圏における他の水利権にも多大の影響を及ぼすものである。従って、トンネル掘削に伴う地下水の挙動を十分解明する必要がある。湧水には自由水面を有する不圧湧水と、水産トンネルにおけるような被圧湧水とがある。またトンネルにおいては一般に、初期の集中湧水と、長時間経過後の恒常湧水とがある。ここでは、これらの諸湧水状態のうち、特に不圧恒常湧水の特性の基礎的な内容について、水理学的立場から考察検討を加えんとするものである。

2. 解析モデル 解析に当っては、先に著者らが発表した、浸透流問題の還元有限要素法および湧出点推定法を用いるものとし、直径10mの半円形断面トンネル掘削を対象とした。これは新幹線用トンネルの上部半断面掘削をモデル化したもので、トンネル湧水にとって、より深刻な状態を想定したものである。また地下水の浸透領域もトンネル断面中心より水平方向に90mまでと限定した。これは、トンネルおよびその近傍の自由水面形や水面低下量あるいはポテンシャル分布、湧出量に近似境界の挿入の影響が小さい範囲として、トンネル幅のほぼ5~10倍をとれば十分であるという、これまでの著者らの経験をもとに定めたものである。

3. 等方透水性地山内トンネルの恒常湧水特性

3.1 不透層がトンネル底に一致する場合、Fig-1に示すように、固定境界水頭 H_0 を種々変化させる場合に、トンネル断面上に湧出点が発生する湧出点状態と、発生しない非湧出点状態の二つに大別される状態が起こる。この二つの状態の、いずれになるかは H_0/L に関係があることは容易に推察できる。またトンネル断面の大きさにも影響され、トンネル断面が大きくなるにつれて、両状態の限界の H_0/L は大きくなるが、断面の大きさを一定とし、形状を変える場合には、ほとんど影響はない。さて、自由水面の低下量という観点から考察してみよう。固定境界水頭 H_0 に対して、トンネル頂部位置あるいは湧出点水頭との差を自由水面の低下量 ΔH_0 と定義する。湧出点の出現する境界付近において、低下量は最大となり、固定境界水頭 H_0 が、この値からはずれるに従って低下量は減少していくことがわかる。次にポテンシャルの分布を考える。固定境界水頭 H_0 に対する比率をパラメータとし、等ポテンシャル線を描けば、全般的な傾向として、 H_0/L が大きくなるにつれて、等ポテンシャル線はトンネル対向境界の方に移動する。湧出量に関してDupuitの準一様流理論によれば、 $Q/k - H_0/L$ 曲線は、勾配 $1/2$ の直線になることは周知のとおりである。トンネルの場合をこの図上にプロットすれば、湧出点状態ではほぼDupuitの直線にのる。しかし非湧出点状態では、 H_0/L が大きくなるに従って、Dupuitの直線から次第に離れる。すなわち、湧出点状態では、わざわざ解析するまでもなく、Dupuitの $Q/k - H_0/L$ 直線を代用のうえ湧出量を推定しても十分であるが、非湧出点状態では逐一解析する必要がある。

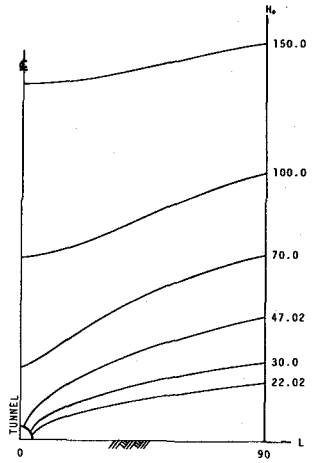


Fig. 1

3.2 不透層がトンネル底に一致しない場合、不透層は必ずしもトンネル底と一致するものではない。従って、不透層の位置をトンネル底から低下させた場合に、前項のトンネル湧水特性からどのように変化するかを

検討しよう。湧出点状態の一例として、Fig.2に示すとおり $H_0 = 30$ m, $L = 90$ m とし、トンネル底と不透層の距離を $\Delta H_L = 25, 50, 81$ m と種々変化させた場合をとりあげる。 ΔH_L の増大に伴い、自由水面は一旦低下し、極値を取った後、次第に回復する。更に ΔH_L を増大すれば遂に $\Delta H_L = 0$ における自由水面を上まわるある一定値に収束することがわかる。これは湧出面積の拡大による影響である。等ポテンシャル線は ΔH_L の増大に伴い、一旦トンネル対向境界の方に移動し、その後トンネルの方に移動するが、これは自由水面の変化を見れば自明のことであろう。非湧出点状態においても、湧出点状態とはほぼ同じ挙動が見られる。湧出量に関して言えば、Fig.3に示すように、 ΔH_L の低下に伴って増大するが、その増加率は次第に減少し、 $\Delta H_L \rightarrow \infty$ において、湧出量は、ある一定の値に収束する。

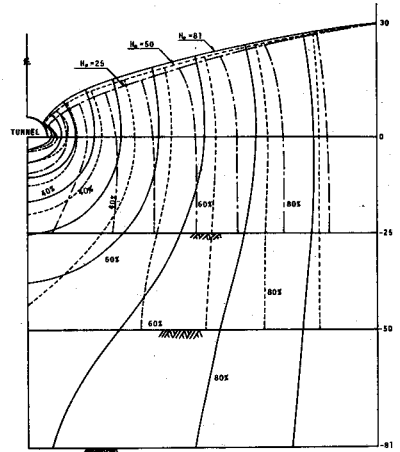


Fig. 2

4. 直交異方透水性地山内トンネルの恒常湧水特性 積層地質のトンネル地山では、水平方向の透水係数と鉛直方向のそれとは異なり、一般に水平方向の透水係数の方が大きい例が多い。ここでは、異方性主軸が水平の場合において考察を進めよう。Fig.4は等方等水性地山において、湧出点状態となる、 $H_0 = 30$ m, $L = 90$ m の場合に対して、透水係数比 K_y/K_x を1.0, 0.3, 0.1, 0.05 と変化させた場合の自由水面および等ポテンシャル線を示したものである。 K_y/K_x を小さくするに従い、自由水面は上昇する。 $0.2 < K_y/K_x < 1$ の時は、自由水面低下率は等方性地山と比べて、さほど大きな変化はない。しかし K_y/K_x が0.2以下になると、自由水面低下率は急速に小さくなり、 $K_y/K_x = 0$ で0となる。等ポテンシャル線は、 K_y/K_x が小さくなるに従い、反時計方向に回転し、次第に横にわたるものとなる。湧出量に関して、 $0.2 < K_y/K_x < 1$ においては等方等水性地山と、さほど大きな変化はないが、これより小さい値では急速に減少する。以上のことから $K_y/K_x \approx 0.2$ の状態は湧出点が現われる境目だと推測される。このことは先に等方透水性地山で述べた自由水面低下率と基を一にする結果であり、自由水面の低下率、湧水量が湧出点の有無により大きく影響を受けることがわかる。直交異方性地山において、不透層がトンネル底より低下した場合は低下しない場合の K_y/K_x の変化に対する湧水特性、あるいは等方透水性地山内トンネルにおいて、不透層が低下した場合の湧水特性と、ほぼ同様の変化となる。

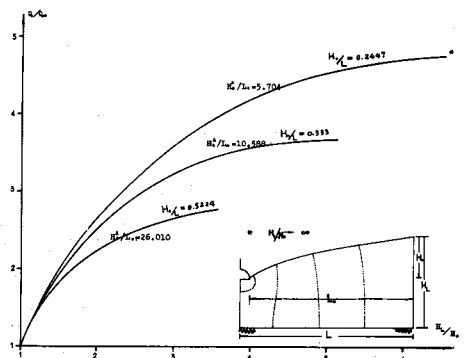


Fig. 3

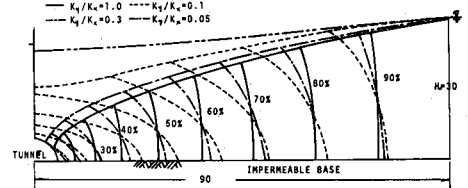


Fig. 4

—参考文献—

- 1) 樽木, 楊, 松隈, 副島: 浸透流問題の還元解析法, 九大工学集報, Vol. 49, No.2 1976.
- 2) 樽木, 楊, 松隈: 不圧流体の湧出点推定法, 九大工学集報, Vol. 49, No.1 1976.