

1. まえがき

今日の鉄道や道路の建設においては、そのルートが山岳地域を通過するケースが多いために、トンネル掘削工事は増加しつつある。しかも、住民の生活圏に隣接してトンネル掘削工事が行われる場合も多く、工事に伴って発生する地下水位低下、騒音、振動などは、公害として扱われるようになっている。特に住民が飲料水や灌漑用水として地表湧水や井戸水を使用している場合には、地下水位低下による地表湧水や井戸水の涸渇は、重大な社会問題となる。これまでに、問題となった例が数多く報告されている。このような住民への影響を最小限に食い止め、しかもトンネル掘削工事を円滑に進めるためには、湧水現象を事前に予測し、対策を検討しておくことが必要である。本研究では、地表湧水が主に上水道源として用いられているA地域と、主に農業用水として用いられているB地域について、三次元FEM浸透流解析と水文学的水収支計算とを組み合わせる手法を用いて、トンネル掘削工事が地表湧水に及ぼす影響を調べてみた。

2. 地下水位の変化予測

対象としたA、B両地域におけるトンネル掘削前の地下水位は、(1)式に示した定常浸透流に関する支配方程式を三次元的に離散化し、A、B両地域の地形・地質条件に適した境界条件を与えて、三次元FEM解析を行うことによって求めた。

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0 \quad (1)$$

ここに、 k_x 、 k_y 、 k_z は、それぞれx、y、z方向の透水係数、 h は地下水頭である。また、トンネル完成後の定常地下水位は、素掘りトンネルを仮定した場合と、ライニングによって現実的な恒常湧水量がある場合の2通りを考え、同様の三次元FEM解析によって求めた。

A、B両地域において、代表的な地表湧水点a、bを含み、さらに地下水流動方向とほぼ平行な断面におけるトンネル掘削前後の地下水位を図-1(a)、(b)に示した。これより、A地域ではトンネルが地表湧水点aの山側を通過するために、地下水位低下が著しく、地下水面と地表面とが交わらなくなる。したがっ

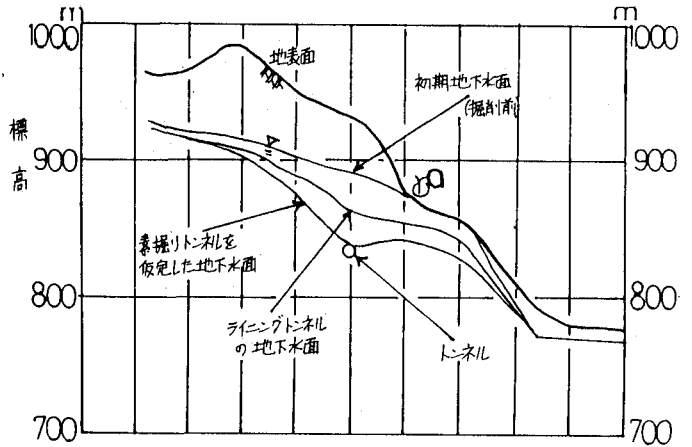


図-1(a) A地域の地下水位変化

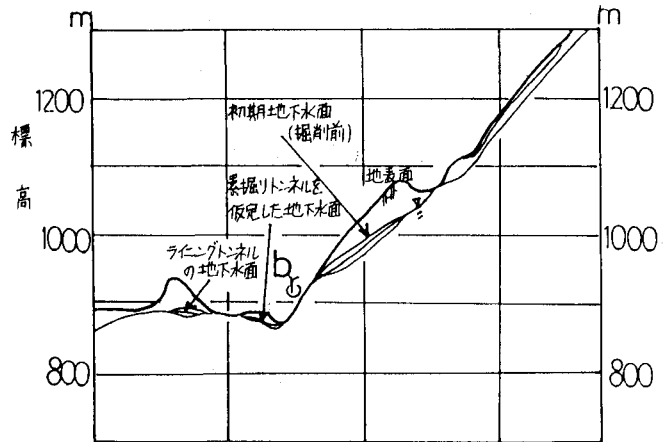


図-1(b) B地域の地下水位変化

て、地表湧水点 a では湧水の涸渇が予想されるので、上水道の代替水源を新たに確保する必要がある。一方、B 地域では、トンネルが地表湧水点 b の谷側を通過するために、地表湧水点 b 付近の地下水位はやや低下するものの、依然として地下水面と地表面との交点が存在する。したがって、地表湧水点 b は、トンネル完成後も涸渇しないと予想される。しかし、湧水量の減少が予想されるので、次に述べる水文学的水収支計算を行って湧水減少量を推定してみた。

3. 地表湧水減少量の推定

水収支計算を行う領域内にトンネルが存在する場合には、水収支の基本式は次のようになる。

$$\Delta S = P + R + I - E - Q \quad (2)$$

ここに、 ΔS は貯留量変化、 P は降水量、 I は地下水流入量、 R は地表面流入量、 E は蒸発散量、 Q はトンネル湧水量である。B 地域において、地表湧水点 b が流出点となるような地下水の流域を考え、この流域を水収支計算領域とすると、トンネルはこの流域を通過していないので $Q = 0$ 、また、水収支の期間を 1 年間とすれば、 $\Delta S \approx 0$ となる。したがって、(2) 式は次のようになる。

$$0 = P + R + I - E \quad (3)$$

ここで、地表面流出量 R を地表湧水量とみなして未知数とすれば、(3) 式は次のようになる。

$$R = E - (P + I) \quad (4)$$

(4) 式の右辺において、実測できるのは E と P であり、 I は実測不可能である。そこで、 I については、前述の FEM 解析結果を用いて水収支計算領域の境界面通過流量を計算した。FEM 解析で用いたメッシュ図の一部に、水収支計算領域を重ねて図-2 に示した。

上記の水収支計算によって得られた、トンネル掘削前後の地表湧水量変化を図-3 に示した。これより、B 地域の代表的な地表湧水点 b の湧水量は、トンネル掘削前の湧水量に対して、素掘りトンネルを仮定した場合には約 2 割程度、また、ライニングトンネルを仮定した場合には約 1 割程度減少することが予測できた。したがって、地表湧水点 b については、トンネル掘削の影響は小さいので、ほぼ従来通り農業用水として使用できることを推定した。

4. 結論

地盤状態が複雑な山岳地域においては、地表湧水がトンネル掘削工事から受ける影響を予測することは容易ではない。本研究によって、山岳地域におけるトンネル掘削工事に伴う周辺の地下水位変化は、三次元 FEM 浸透流解析によって予測でき、さらに、局所的な地表湧水の変化は、FEM 解析結果と水収支計算とを組み合わせることによって予測できることを明らかにした。

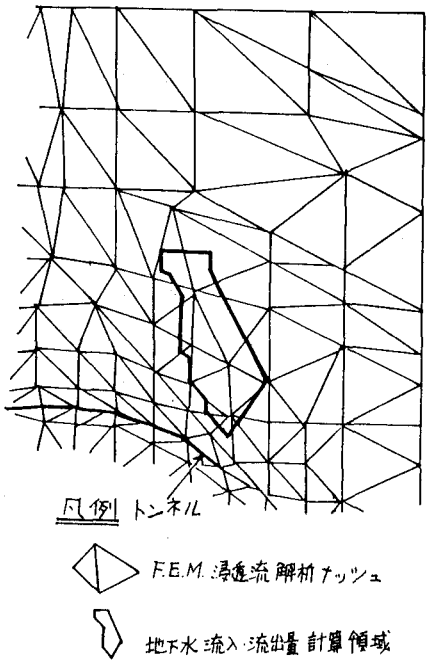


図-2 水収支計算領域

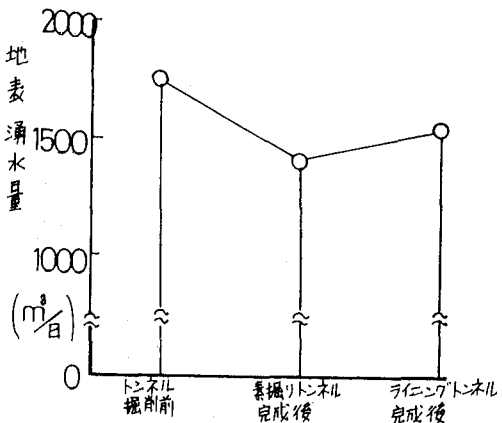


図-3 地表湧水点 b の湧水量変化予測