

九州大学 工学部 正会員 橋本 武
○学生員 古賀 徹志

1. まえがき

トンネル工事において、不透水層を突破して帯水層に突入した直後に初期集中湧水を生じることが、この初期集中湧水により地山の自立が損なわれたり、切端設備の水没等トンネル作業工に対する悪影響を及ぼすことがある。したがってトンネル工事に先立って初期集中湧水を予測し、また初期集中湧水から恒常湧水状態に至る過程を十分知る必要がある事は言うまでもない。本研究は先に著者等が提案した非定常湧水の環元有限要素法による解析理論を用いて非定常湧水を解析し、その特性、とりわけ初期集中湧水量と、湧水平衡時間について考察するものである。

2. 解析概要

解析モデルとして、地陸トンネルにおいて測定された閉鎖率 $\gamma=0.18$ の地山を想定し、又複線鉄道トンネルにおいて見受けられる直径10mの円形断面トンネルを考慮する。また時間間隔と表わすものとして $\Delta t = \Delta x \cdot L$ (従って長さの次元を持つ)を考え、地山の透水性の遅延が演算労力の上に反映する事を防ぐものである。初期集中湧水から恒常湧水状態に至るまでの過程は、初期集中湧水状態とこれに続く数回程度の適当な時間段階までの非定常湧水状態を算出し、これらと恒常湧水の演算結果を用いて曲線回帰(1)が、その内係は次式を仮定し用いる。

$$\frac{Q_T}{Q_i} = \gamma_T = (1 - \gamma_{\infty})e^{-\alpha T} + \gamma_{\infty} \quad \begin{array}{l} Q_T: \text{時刻 } T \text{ における湧水量} \quad \gamma_{\infty}: \text{恒常湧水量 } Q_{\infty} \text{ と初期集中湧水量 } Q_i \text{ との比} \\ Q_i: \text{初期集中湧水量} \quad \alpha: \text{定数} \end{array}$$

A. 不透水層がトンネル底に一致する場合

基本湧水状態として、不透水層とトンネル底が一致する場合を採用し、この場合の初期集中湧水量と、平均動水勾配との関係を求めればFig.1のとおりである。因より明らかとなるように H_0/L_0 が小さい程初期集中湧水量と恒常湧水量との差が大きくなるが、 H_0/L_0 が1.35以上では、両者の差は10%以内になる。Fig.2は H_0/L_0 をパラメーターに取り減衰の時間的経過を追跡したものであるが H_0/L_0 が小さい程減衰の割合が大きい事が理解できるところである。また湧水の減衰が90%完了した時刻 T_{90} をもって湧水平衡時間とすると、Fig.3からわかるように H_0/L_0 が大きくなる程 T_{90} は大きくなる。これは H_0/L_0 が大きくなる程水量補給が大きい事による。

B. 不透水層がトンネル底に一致しない場合

不透水層がトンネル底と一致しない場合については、種々のトンネル底-

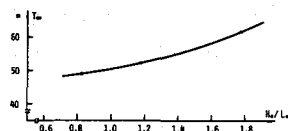


Fig.3 Relation between the balanced Time of Discharge and Hydraulic Gradient.

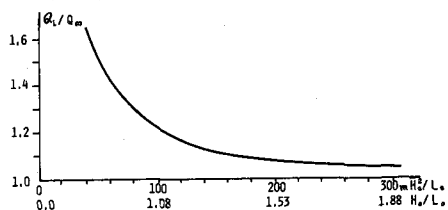


Fig.1 Relation between Q_i/Q_{∞} and H_0/L_0 .

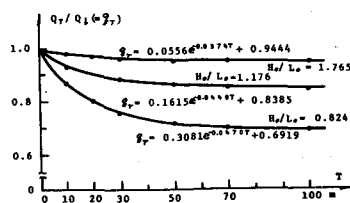


Fig.2 Variation of the Flowrate Ratio $Q_T/(Q_i + Q_{\infty})$.

不透水層向の距離をもつて解析し、湧水量特性を求めれば Fig4 ~ Fig7 のとおりである。Fig4 より明らかなように、初期集中湧水量は不透水層を低下せしめるとともに増大する凸型の増加曲線となり $H_0/H_1 \rightarrow 0$ ので一定値に収束する。この性状は恒常湧水量の場合と似ているものの、より小さな変化にとどまっている。また初期集中湧水量と恒常湧水量との関係は Fig5 で与えられ H_0/H_1 の変化にしたがって緩やかな減少を呈する凹型曲線となり H_0/H_1 の値が 2.0 以上では 1.25 に落着く性質を有する。したがって H_0/H_1 が 2.0 以上では初期集中湧水量は恒常湧水量を 1.25 倍する事によって推定する事ができる。Fig6 は ΔH_0 の各ケースに於いて初期集中湧水量から定常湧水量状態に至るまでの減衰過程を示したものである。湧水平衡時間 $\Delta H_0 = 0$ の場合に於いて $\Delta H_0 = 0$ の場合ではいく分小さくなるが、その差異は差程小さいものではない。(Fig7)

C. 直交異方性地山の非定常湧水

透水係数比 K_1/K_2 が変化した時の初期集中湧水量と恒常湧水量の比を求めれば Fig8 のとおりになる。 Q_0^c/Q_∞^c の値は K_1/K_2 の増大とともに増大し、 $K_1/K_2 = 0 \sim 0.5$ の間では凸型の増加曲線となり、全体的に凹型の $Q_0^c/Q_\infty^c - K_1/K_2$ 関係曲線が得られる。また $K_1/K_2 = 7$ の初期集中湧水量 Q_0^c に於ける各 K_1/K_2 の他の場合の湧水量 Q_0^c との比 Q_0^c/Q_0^c と K_1/K_2 の関係を示せば Fig9 のとおりである。初期集中湧水量は K_1/K_2 が小さい程減少し $K_1/K_2 = 0.4$ より小さい範囲では減少率が大きくなる。 $K_1/K_2 = 0.4 \sim 1.0$ の範囲でも湧水量の減少率は定常湧水の場合よりかなり大きい事がわかる。また、各 K_1/K_2 の値において湧水量の減衰状況と相対比 Q_0^c/Q_∞^c に示すとおりで、 K_1/K_2 の値が小さくなるにつれて湧水量の減衰率が小さいという点に、減衰が徐々に進行する事がわかる。特に K_1/K_2 が 0.3 近傍あるいはそれ以下の値になると湧水量の減衰が速く、また減衰率が極めて小さくなる為、湧水平衡時間が極めて大きい値となる事がわかる。(Fig11)

<参考文献>

1) 土木学会第 33 回年次学術講演会講演概要集第 3 部

増木武・楊興得：トンネル非定常湧水解析

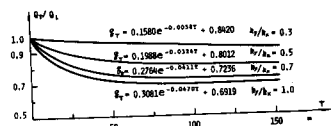


Fig.10 Translational Curves of Discharge toward a Tunnel in Various Cases of K_1/K_2 .

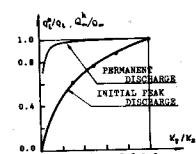


Fig.9 $Q_0^c/Q_1^c - K_1/K_2$ and $Q_0^c/Q_\infty^c - K_1/K_2$ Curves.

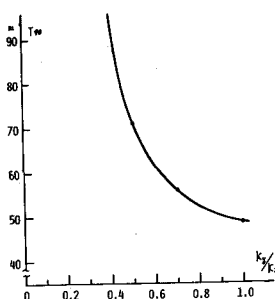


Fig.11 Balanced Time of Discharge Versus K_1/K_2 Curve.

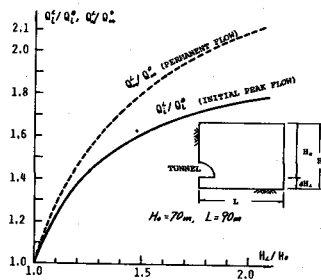


Fig.4 Relation between Q_0^c/Q_1^c , Q_0^c/Q_∞^c and H_0/H_1 .

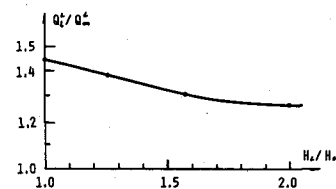


Fig.5 $Q_0^c/Q_\infty^c - H_0/H_1$ Curve.

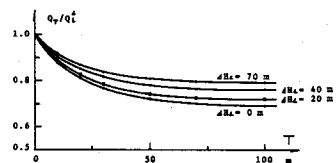


Fig.6 Transitional Curves of Discharge through a Tunnel in Various Case of H_0 .

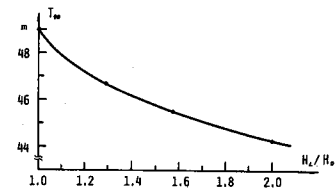


Fig.7 Relation between the balanced Time of Flow and H_0/H_1 .

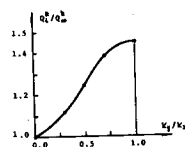


Fig.8 $Q_0^c/Q_\infty^c - K_1/K_2$ Curve.