

トンネル湧水の逆解析と予測

九州大学工学部 学生員 ○野田 誠 司
九州大学工学部 正 員 櫻木 武
九州大学工学部 正 員 平田 登基男

1. まえがき、本報告は、現在施工中のトンネルについて、既掘削部の坑口排水量、切羽湧水量データを用いて、有限要素法により、地山周辺の透水係数を逆解析するものであり、また、以降の掘削に伴う湧水量を予測したものである。

2. 湧水量の観測、坑口排水量、切羽湧水量、の計測データを掘進位置との関係でまとめたものを図-1に示す。また、坑口排水量より切羽湧水量を減じたものがトンネル側面からの湧水量であり、これについても図中にプロットするとおりである。

切羽湧水量について見ると、310m~345m区間で700L/min程度の値が観測されているが、それ以外の区間では、部分的に400L/min程度の湧水量が観測されているものの、全体としては、殆んど小さいものといえる。この事実より、側面湧水量が、坑口排水量の大部分を占めることが明らかであり、本工事区間の恒常湧水予測は、トンネル横断面の二次元解析を行なうことで十分であるといえる。

315m以前の区間は、2ヶ所の小規模集中湧水がみられるが、これらは時間の経過とともに減少し、恒常的になる様子を伺い知ることができ、結果的に、315m以前の平均増加率は8 L/min/m程度である。315m~335m区間では、湧水量は急激に増加し、その増加率は21.36 L/min/mであるが、この湧水量は減少することなく続いている。また、335m~420mの区間では坑口湧水量増加は少なく、側面湧水量の増加率は21 L/min/mである。

3. 湧水量データを用いた透水係数の逆解析

湧水観測区間の岩質は、一部チャートを含む粘板岩であり、200m付近でF₂断層が450m付近でF₂断層が観測されている。粘板岩は小規模な破碎帯を含み、掘削中地山崩落が3ヶ所で発生している。一ヶ所は、坑口より330m付近の湧水量急増部、他の2ヶ所は434m付近と450m付近である。

湧水量の増加率が320m付近では他の場所より著しく大きくその中で地山崩落が発生していることを考え合せれば、湧水量急増部が破碎帯に対応し、この区間と他の区間とに分けて逆解析を行なうのが妥当と判断される。

(1) 逆解析の方法 掘削区間ではトンネルから約50~80mと近接した位置に谷川が流れている。このことからトンネル右側の水面低下の影響範囲を谷川までとし、谷川水位を境界水位とする。トンネル左側については、地下水位等高線(図-2)を見ると、地下水位等高線は、大旨、トンネル軸方向に直交する形で存在す

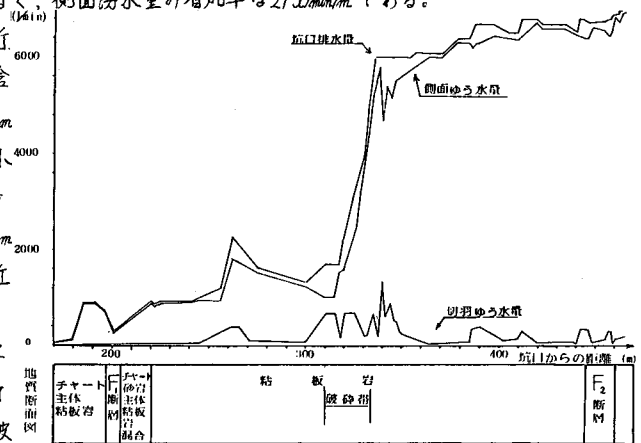


図-1 坑口 切羽 側面 湧水量観測値

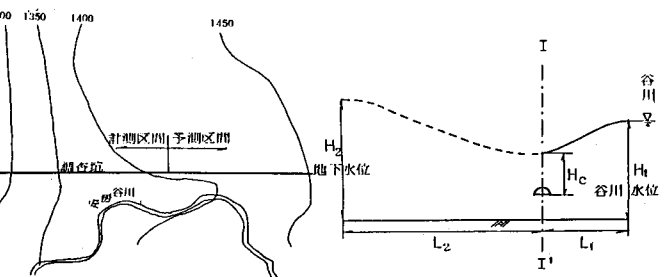


図-2 地下水位等高線図

図-3 トンネル左側地下水水位低下範囲L₂推定のための概念図

る。この事実から二次元解析的に地下水位低下の影響範囲を推定することとし、図-3にその概念図を示す。すなわち、トンネル断面中心I-Iより右側の谷川を含む領域について、トンネルと谷川との位置関係より、 L_1, H_1 が得られる、これを用いて H_2 が算出される。次にその左側に注目すると、 H_2 は地下水位として既知であり、あらかじめ準備してある H_1/L_1 と H_2 の関係図より L_2 が推定される。 L_2 が求まれば、改めて L_1, L_2 の全領域を対象として二次元解析を行ない単位奥行き当りの湧水関連量 $q=Q_0/L[m]$ が求まる。そこで実測されている Q_0 を用いて k は、 $k=Q_0/q$ と推定される。また、各岩質の基準岩質との比透水係数は、調査ボーリング孔からの計測値を用いた。

4. 逆解析結果、破砕区間 湧水量が急増している315m~335mの区間を湧水量増加率別に4区間に分けて逆推定した。その結果 $q=75.98m$ となり、それぞれの断面ごとに $k=3.6 \times 10^{-5}m/sec$ の値が求められた。これをそれぞれの個所の湧水量による重みを付けて平均すると $k=4.6 \times 10^{-5}m/sec$ という値が求まり、これを破砕帯の透水係数とする。

非破砕区間 非破砕区間の解析には、増加率の変動の小さい347m~420mの区間について代表的な3断面を設定し逆推定した。その結果 $q=166.7m$ と算出され、各岩質の比透水係数を調査ボーリング孔からの観測データより求めて用いられず、S1の $k=1.87 \times 10^{-5}m/sec$ の $k=2.43 \times 10^{-5}m/sec$ となる。

5. 掘進後の湧水量予測、予測区間の先進ボーリングの結果(図-4)地質は既掘進部同様に粘板岩主体である。切羽から46.8m~52.9mと90.5m~101.5mの区間に破砕帯が予測され、またボーリング孔排水量もこの部位で急増している。そこで、その他の区間を非破砕帯とし、計4区間に分けて解析した。(表-1) 図-5は予測水量を図-1の坑口排水量と累加して示したものである。この結果、現在の状態で現切羽から約100m掘進することで、約18000l/minの坑口排水量が予測される。この値は施工以前の段階で、ボーリング孔からの透水係数を用いて解析した8600~11400l/minという予測値を大きく上まわる。この差異の生じた要因として、破砕帯の湧水に対する影響、地下水位低下の影響範囲の評価の違い、などがあり、これらの改善が行われたことにより施工前の解析より高い精度の解析を行い得たと考えることができる。

区間	k (m/sec)	q (m)	Δl (m)	Q (l/min)	ΣQ (l/min)
A	1.87×10^{-5}	154.39	46.8	811	811
B	4.64×10^{-5}	190.50	6.1	3235	4046
C	1.87×10^{-5}	211.82	37.6	892	4938
D	4.64×10^{-5}	203.49	10.65	6030	10968
E	1.87×10^{-5}	212.51	20.35	480	11448

表-1 坑口排水増加率予測

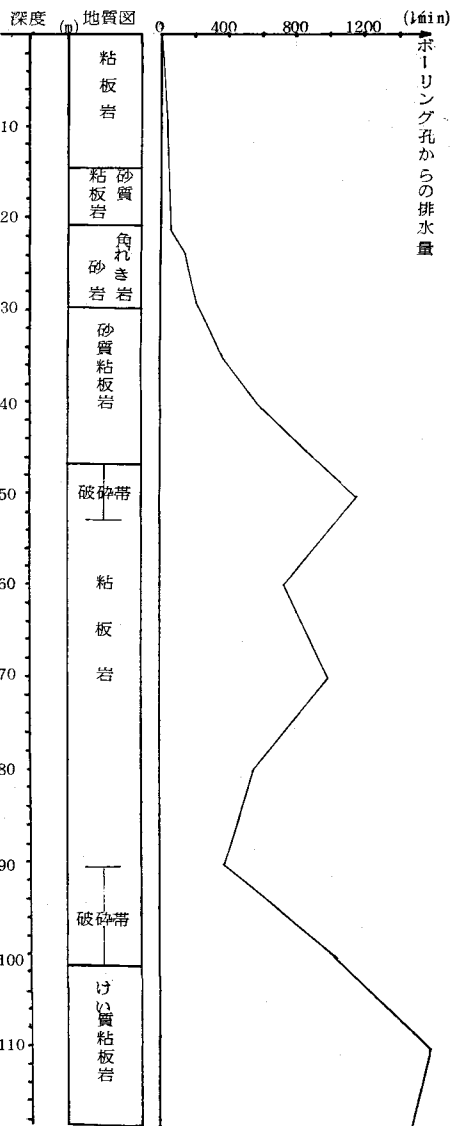


図-4 先進ボーリング結果

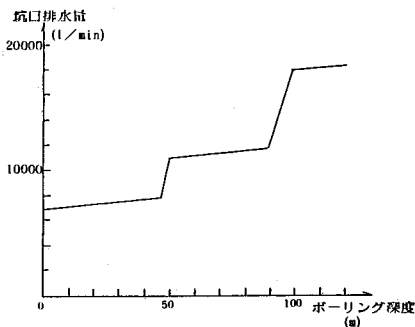


図-5 坑口排水量の予測