

盤ぶくれトンネルにおけるトンネルと周辺地山間の地下水流動の推定

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○西金 佑一郎 正会員 嶋本 敬介
浦越 拓野 正会員 今泉 光智哲

1. はじめに

トンネル周辺地山の劣化は盤ぶくれ等の変状を引き起こす可能性がある。地山の劣化の要因のひとつとして地下水流動が挙げられるが、トンネル周辺地山の地下水の挙動を詳細に把握することは困難であり、トンネル変状と周辺地山の地下水流動との関係は十分には明らかにされていない。そこで本稿では、トンネルの中央排水路に設置されたためますの水位に着目してトンネル内に流入する地下水の流量を評価し、これを用いてトンネルー周辺地山間の地下水流動を推定した内容を報告する。

2. 調査対象およびためます水位の測定方法

盤ぶくれが確認されている鉄道の山岳トンネルにおいて、盤ぶくれ箇所および盤ぶくれが疑われる箇所を含む約 500m 区間を調査対象範囲とした。この範囲内の中央排水管に約 100m 間隔で設置されている、土砂だめの機能を有するためます 6 箇所 (図 1) の水位を約 1 年間測定した。なお、この範囲には有孔管を用いた中央排水管がインバート下に設置されている標準的なインバート区間と、一次インバートによって中央排水管が抱き込まれている区間が混在している (図 1, 図 2)。盤ぶくれ箇所および盤ぶくれ疑い箇所は、いずれも標準的なインバート区間に位置する。また、当該範囲の地質は新第三紀の砂岩泥岩互層であり、NATM で施工されている。ためますの水位は絶対圧式水位計をグレーチングから吊り下げて測定した (図 3)。また、水位計で測定した圧力値を気圧補正するために気圧計を 1 箇所に設置した。水位計および気圧計の時刻を同期させ、1 時間おきに測定値を記録した。以後記述する「ためます水位」とは、気圧補正後の水位計の測定値であり、水位計のセンサの位置から水面までの水深を指す。

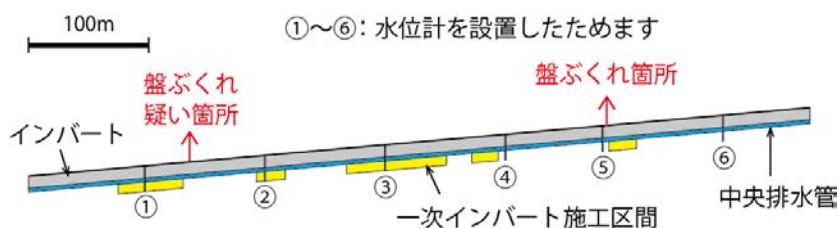


図1 調査対象範囲の模式縦断面図

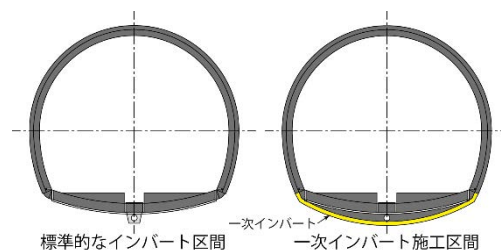


図2 トンネル断面図

3. ためます水位の測定結果

ためます水位の測定結果の抜粋と、最寄りのアメダス観測所における降水量の時間変化を図4に示す。なお、水位の元データには列車通過時の気圧変化に起因すると思われる外れ値が含まれていたため、これらを除外している。各ためます水位はまとまった降雨が観測されてから約6時間後に1～2cm上昇していた。本測定期間において、降雨に応答したためます水位の上昇（降雨イベント）が少なくとも12回確認できた。

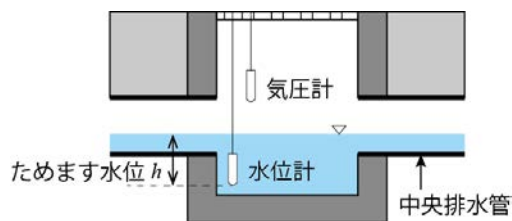


図3 ためます縦断面図

4. 降雨時に着目したためます水位の整理

ためますを流れる流量は流速と断面積の積で求められる。断面積はためますの幅とためます水位の積から算出でき、ためますの幅は一定である。流速は測定していないため不明であるが、ためますの寸法および中央

キーワード 山岳トンネル, 盤ぶくれ, 水位計, 流量

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7265

排水管の内径と設計上の勾配は一定であることから、ここでは流速を一定と仮定する。ここで、時刻 t におけるためます水位を $h(t)$ 、降雨イベント開始前のためます水位を h_0 、降雨イベントの開始時間を a 、終了時間を b 、水位の測定間隔を Δt 、ためますの幅を B 、流速を v としたとき、降雨イベント期間に常時より多くためますを通過した水の体積 $\Sigma \Delta Q$ は次式で表せられる。

$$\Sigma \Delta Q = \sum_{t=a}^b \{(h(t) - h_0) \Delta t \times B \times v\}$$

上式の Δt 、 B は一定、 v も一定と仮定したので、 $\Sigma \Delta Q$ の大小は () 内の総和によって評価できる。この総和を「累積ためます水位 $\Sigma \Delta h$ 」と称し、ためますの流量の指標とした。 $\Sigma \Delta h$ は降雨により上昇したためます水位の時間積分値に相当する (図 5)。

$$\Sigma \Delta h = \sum_{t=a}^b (h(t) - h_0)$$

測定期間中に確認できた 12 回の降雨イベントについて、各ためますの $\Sigma \Delta h$ を求めた。 $\Sigma \Delta h$ の大きさは降雨イベント毎に異なるので、各降雨イベントで最大の $\Sigma \Delta h$ を 1 とし、各ためますの $\Sigma \Delta h$ を正規化した。正規化した各ためますの $\Sigma \Delta h$ について、12 回の降雨イベントの平均値を図 6 に示す。この図より、 $\Sigma \Delta h$ はためます間で増加と減少を繰り返すことがわかる。

5. トンネル変状箇所周辺の地下水流動に関する考察

標準的なインバート区間では有孔管が用いられているため、孔を通した中央排水管内外の水の出入りが可能である。 $\Sigma \Delta h$ が減少している区間では、周囲の地山から中央排水管への流入量よりも中央排水管からの流出量の方が多いと推定される。盤ぶくれ疑い箇所が位置する区間 (②と①の間) および盤ぶくれ箇所が位置する区間 (⑥と⑤の間) ではいずれも $\Sigma \Delta h$ が減少することから、これらの区間では中央排水管から地山に水が流出していると推定される。このような地山への水の流出は、地山の劣化を助長させ、盤ぶくれの要因の一つとなった可能性がある。ただし、変状が確認されていない④と③の間でも $\Sigma \Delta h$ が減少していることから、盤ぶくれの発生には地山への水の流出以外にも原因があると考えられる。この究明については今後の課題である。

6. まとめ

盤ぶくれが確認されているトンネルにおいて中央排水管のためますの水位を測定し、その結果からトンネル内に流入する地下水の流量を評価した。その結果、変状箇所が位置するためます間において中央排水管から地山へ水が流出していることが推定された。このような水の流出は地山の劣化を助長させ、盤ぶくれの要因の一つとなった可能性がある。今後、トンネル周辺地山間の地下水流動が盤ぶくれに及ぼす影響について、より詳細に検討を進める予定である。

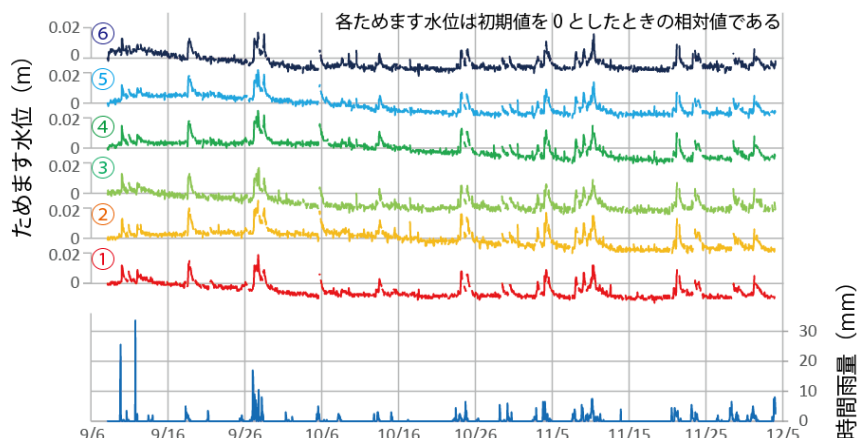


図 4 ためます水位の測定結果 (抜粋)

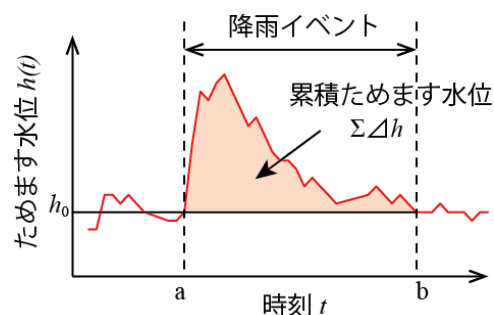


図 5 累積ためます水位の概念図

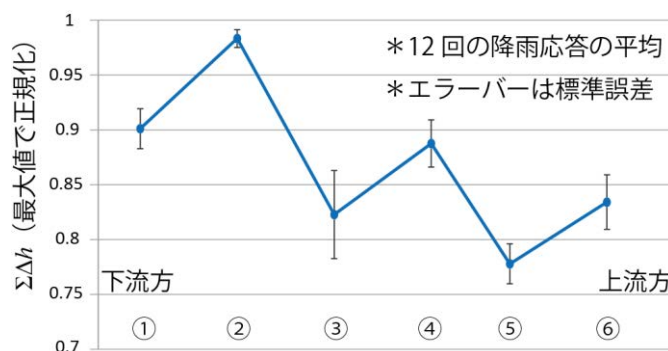


図 6 累積ためます水位 (正規化)