

山岳トンネルの豪雨による変形メカニズムの推定と対策方針について

大成建設株式会社 九州支店 正会員 ○古賀野 洋貴
国土交通省 九州地方整備局 熊本河川国道事務所 永松 寿隆
株式会社エイト日本技術開発 九州支社 阿野 智久

1. はじめに

一般国道 57 号滝室坂道路事業(L=6.3km)の一部である滝室坂トンネルは阿蘇カルデラ周縁部に位置し、未固結で容易に崩れる降下火山灰や降下軽石、非溶結～強溶結の火砕流堆積物により形成されている。

地質調査結果より、地山強度比 1 を下回る想定地質はインバート早期閉合を伴う E パターンが設計されており、施工においても脆弱な地質の出現と大変位の発生により E パターンを採用した。本区間の切羽は無対策では自立せず、早期閉合実施後も脚部沈下が止まらない部分にはサイドパイル、レッグパイル等を実施し、変位は収束傾向を示していた。しかし、2020 年 7 月に発生した熊本豪雨時(24 時間雨量 223mm を記録)にトンネル天端の再変位(最大 15mm)が発生した。豪雨時のトンネル周辺地下水位上昇に伴う再変位と推定されたため(図-1)、水抜きボーリングを実施したところ、2021 年 8 月豪雨後の地下水位の上昇が小さく抑えられ、再変位は見られなかった¹⁾。

水抜きボーリングの効果は確認できたものの、その効果や効果の継続性には不確実性を伴うため、再変位のメカニズムを推定し、追加対策を検討する必要があった。本稿ではその経緯について述べる。

2. 追加対策の検討

必要な対策を整理するために、以下の検討を行った。

(1)再現解析による作用荷重の推定

初めに地下水位が上昇した際の作用荷重を再現解析により推定した。一般的な水圧作用形態は、トンネルに浮力が生じ全体が隆起傾向を示す。しかし、実際の計測値は沈下の挙動を示しており豪雨後の変位傾向と整合しなかった。そこで、難透水層上部の帯水高を上載荷重として作用させた結果、豪雨後の変位傾向(鉛直変位及び水平変位)と概ね整合した(表-1)。再現解析により得られた作用荷重にて覆工構造の検討を行うこととした。

図-1 2020 年 7 月豪雨後の変位状況

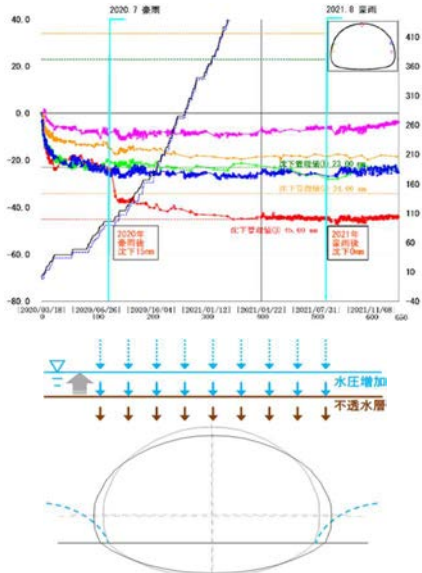


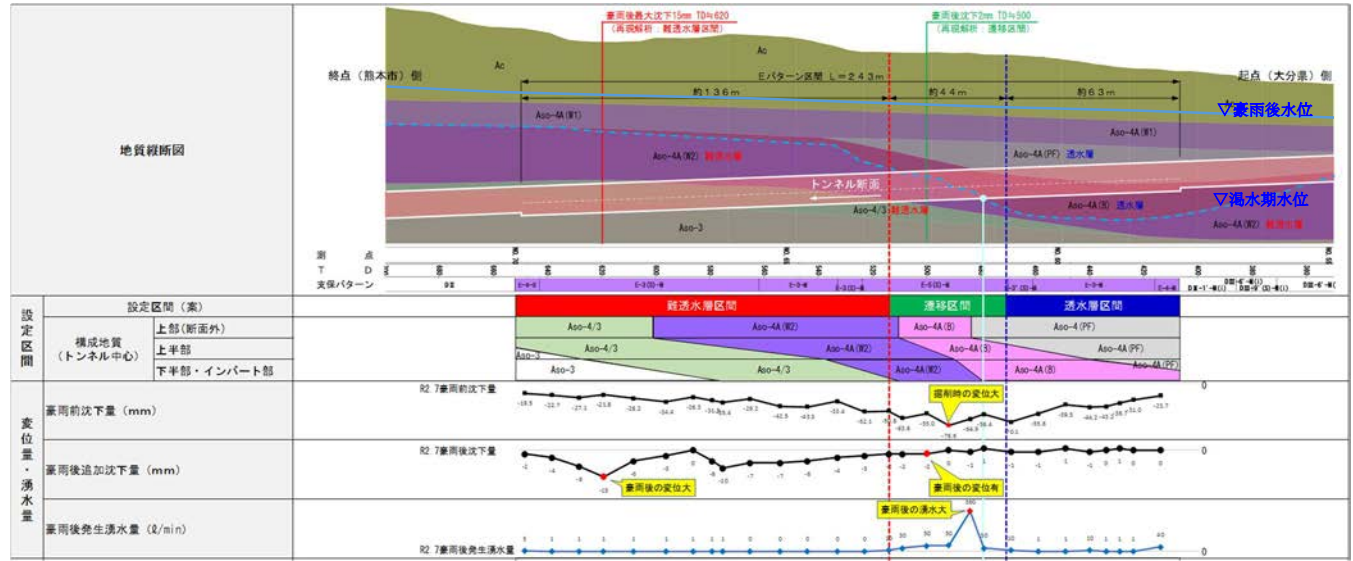
表-1 令和 2 年 7 月豪雨後の最大変位断面での変状再現解析結果

荷重形態	一般的な水圧作用形態	難透水層上部の帯水高さが上載荷重として作用する形態
作用荷重	水位：30m	変状再現解析により上載荷重 $P_v=133\text{kN/m}^2$
荷重模式図		
変位ベクトル図 鉛直方向 +：隆起 -：沈下 水平方向 +：右方向 -：左方向	 実際の 변位傾向と整合せず	 実際の 변位傾向と概ね整合

(2)地質縦断による分析

E パターン区間における地質構成・変位量・湧水量を表-2 の通り整理した．トンネル周辺地質が難透水層であった区間において豪雨後の再変位が増大しており，難透水層区間と豪雨後再変位区間に明瞭な関係性があることが判明した．

表-2 地質構成・変位量・湧水量の整理



また，各要素の特徴から E パターン区間を以下のように 3 区間に分類することができた．
難透水層区間：豪雨後の変位が大きく，湧水がほぼ発生しなかった区間．水圧がトンネルに作用すると想定．
透水層区間：豪雨後の変位，湧水ともにほぼ発生しなかった区間．一般的なトンネル条件と想定．
遷移区間：掘削時の変位が大きく，豪雨後に若干の変位を生じ，多量の湧水が発生した区間．安全側の対策を検討．

3. 対策工の選定

地下水位の上昇を抑制するための対策，万が一地下水位が上昇した際には上部に水圧が作用すると仮定し，トンネル安定性を確保するために覆工構造を強化する対策を整理し，上述 3 区間にどの対策を選定するか検討した．
難透水層区間：豪雨後の変位が大きいため覆工構造強化が必要．湧水はほぼ発生していないが，上流の遷移・透水層区間の地下排水が当該区間に流入するリスクを考慮し高排水防水シートの採用及び横断排水の増設を選定した．
透水層区間：豪雨後の確実な地下水の排除を目的として排水強化対策を選定．トンネル下部の地質が透水性地質であることから下向きボーリングを追加選定した．
遷移区間：安全側として難透水層区間と同等の対策を検討．豪雨後に若干の変位が発生しているため覆工構造強化が必要．排水強化対策として高排水防水シートの採用及び横断排水の増設を選定．

表-3 各区間における対策の選定

対策	項目	難透水層区間	遷移区間	透水層区間
排水強化対策	高排水性防水シート	○	○	○
	横断排水増設	○	○	○
	追加下向きボーリング	—	—	○
覆工構造強化	RC 構造化	○	○	—

4. まとめ

トンネル周辺地質に難透水層区間がある場合，供用後の降雨等の影響が出る可能性が有ることがわかった．今後のトンネル構造検討時，難透水層がトンネル周辺にある場合は注意を要することを示唆している．
今回の区間において想定したメカニズムでの水圧を作用させた結果，覆工構造の RC 構造化（設計基準強度 40N/mm²，主鉄筋 D32 mm@165 mm）が検討された．過密鉄筋構造に伴うコンクリートの充填性確保のための検討，コンクリート中のセメント量増大に伴う温度ひび割れに対する照査等，覆工コンクリートの品質確保についての検討を進めている．

参考文献

1) 石橋勇紀,桑山浩幸:地下水位の影響を受けるトンネルにおける水抜きボーリングの変位抑制効果,第 77 回土木学会年次学術講演集,2022