

# 国道57号滝室坂トンネルにおける水抜ボーリングの施工と変位抑制効果について

森崎 丈瑠<sup>1</sup>・永松 寿隆<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 熊本河川国道事務所 阿蘇国道維持出張所  
(〒869-2612 熊本県阿蘇市一の宮町宮地2628)

令和2年7月豪雨により、現在施工中の滝室坂トンネル東工区では、トンネル天端の再変位が発生した。この変位に対して、既存の鉛直ボーリングの結果とトンネル掘削時の切羽観察の情報に加えて、新たに鉛直ボーリングを2本実施し、地質データの3次元モデル化を行った。これらのデータを用いて再変位の原因を究明した結果、地下水による水圧に対して対策が必要と判明したため、水抜きボーリングを実施した。本論文では、その計画・施工・結果について報告する。

キーワード 水抜きボーリング, Eパターン区間, 豪雨, 変位, 透水層

## 1. はじめに

国道57号滝室坂トンネル(全長約4.8km)は、熊本県の阿蘇外輪山東側に位置し、当該区間の地質は、約27万年前から9万年前に起きた阿蘇山の4回の大噴火に伴う火砕流によって形成され、軽石混じりの砂礫層や溶岩、溶結凝灰岩が幾層にも重なり非常に脆弱な地質で構成され、浸透性が高く、水瓶のように地下水を溜め込んでいる特徴を持つ(図-1)。



図-1 滝室坂道路位置図

この非常に脆弱な区間(TD=407~650m)は、施工前の地質調査結果より、地山強度比1を下回る想定地質として、インバート早期閉合を伴う非常に強固な対策(以下、

Eパターンという。)が設計されている(図-2, 3)。実際の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、更なる補強対策として、サイドパネル、レッグパイル等を実施し、変位は収束傾向を示していた(図-4)。

そうした状況の中、令和2年7月豪雨が発生し、トンネル天端の再変位が生じた。本論文では、この再変位に対して調査を行い、調査結果に基づいた対策工法を実施した上で、その効果について報告する。

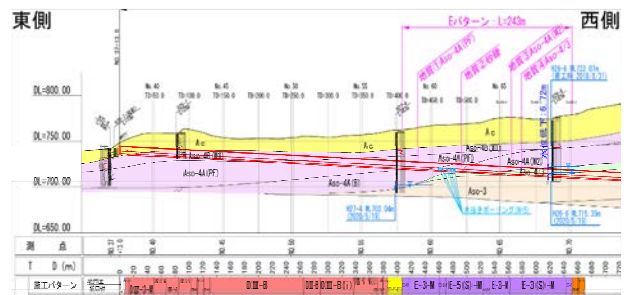


図-2 地質縦断図とEパターン施工区間

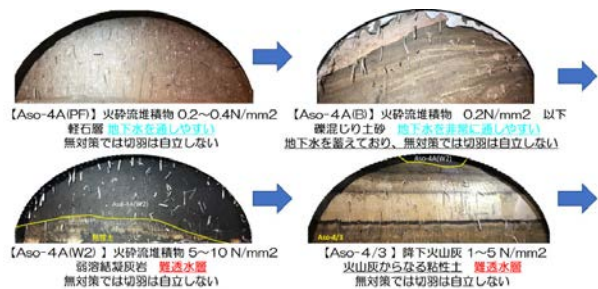


図-3 Eパターン区間の切羽例

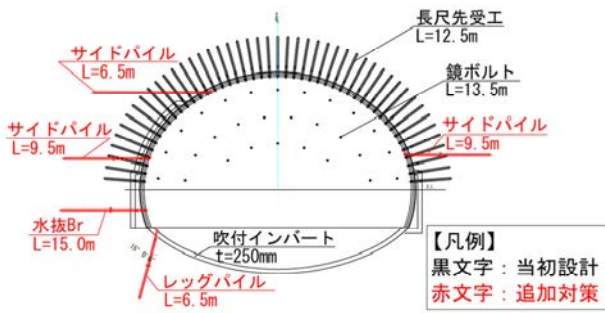


図4 Eパターン図  
(一部サイドパネル・レッグパイルあり)

## 2. 令和2年7月豪雨によるトンネル変位

令和2年7月3日から7月31日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響で、暖かく湿った空気が継続して流れ込み、各地で大雨となり、人的被害や物的被害が発生した。阿蘇地方でも記録的な大雨をもたらし、24時間雨量が200mm以上を記録した(図-5)。

この豪雨により、滝坂トンネル東工区でも影響を受け、トンネル坑内での多量の湧水、トンネル周辺の観測井戸の水位の急上昇などの事象が発生した。また、既施工Eパターン部の収束傾向を示していた箇所において、トンネル天端の再変位(最大沈下量：本坑15mm、避難坑5mm)が発生した(図-5)。

## 3. 再変位の原因究明

豪雨による再変位の原因究明を行うため、トンネル周辺の地質構成を詳細に把握する必要があった。そのため、既存の鉛直ボーリング結果とトンネル掘削時の切羽観察の情報に加えて、トンネル直上における鉛直ボーリングを新たに2本実施し、これらのデータを用いて地質データの3次元モデル化を行い、地質構成を明らかにした(図-6)。

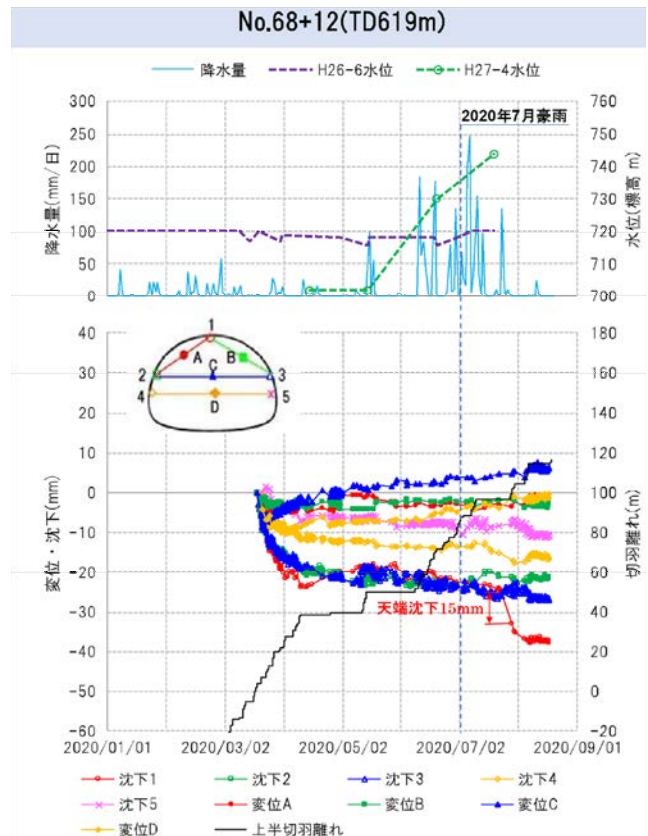


図-5 令和2年7月豪雨後の本坑変位状況と水位の関係

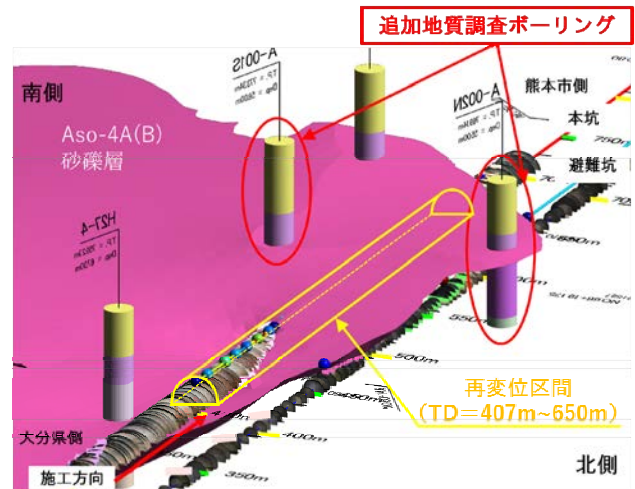


図-6 地質3次元モデル

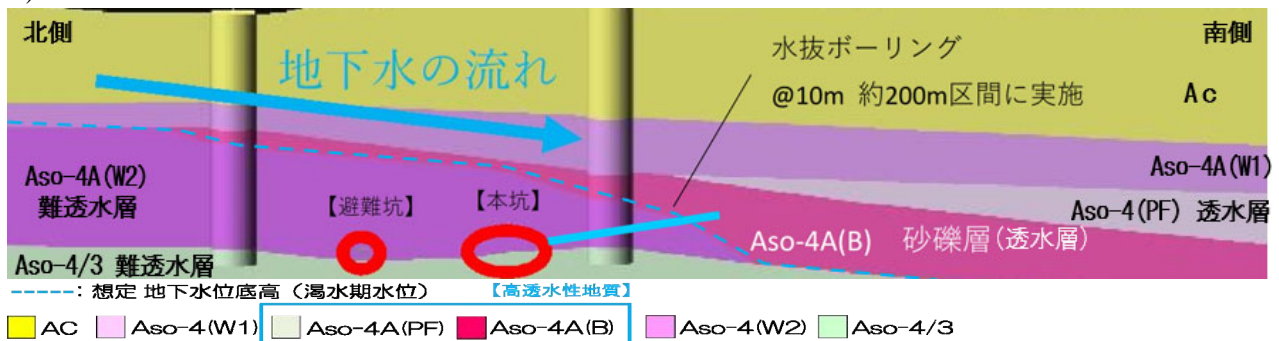


図-7 水抜きボーリング計画断面図

その結果、再変位が発生した区間のトンネル周辺は難透水層である溶結凝灰岩層や降下火山灰層、透水層である軽石層(Aso-4A(PF)層)や砂礫層(Aso-4A(B)層)で構成されていることが判明した。再変位の発生状況から、難透水層上部の透水層の水位が上昇したことで、水圧が追加された鉛直荷重がトンネルに作用し、変位が増大したと想定されたため、地下水位の上昇による荷重を低減させることを目的として水抜きボーリングにより、難透水層上部から水抜きを行うこととした(図-7)。

#### 4. 水抜き対策工の実施

##### (1) 計画・実施

透水性の高い軽石層(Aso-4A(PF)層)、砂礫層(Aso-4A(B)層)を対象として、本坑のトンネル坑内から水抜きボーリングを実施することとした。水抜きボーリングは、ロータリーパーカッションドリルに径が異なる二重管用ツールズ(φ146, φ89)を取り付けて行い、地質確認のため削孔スライムの回収を行った(図-8)。指定深度まで削孔後にインナーロッドのみを抜管し、ケーシングロッド内に集水管を継ぎ足しながら挿入を行い、吹付面より20cm程度の突出長を設け、口元はセメントにて処理を行った。水抜きからの湧水は、トンネル施工時は仮設排水管(φ300)に接続し水中ポンプにて坑外へ排出した。最終的には横断排水へと接続し、中央排水へ導水する計画とした。



図-8 本坑水抜きボーリング実施状況

##### (2) 対策効果

水抜きボーリング施工後の令和3年8月豪雨時には、水抜きボーリングからの湧水量も増加しており、降雨と連動した水抜きとして機能していることが確認された(図-9)。地下水位観測により、水抜きボーリングを行った本坑側周辺を中心に水位は低く、本坑側は令和3年8月豪雨

後に再変位は見られなかった(図-10, 11)。一方、水抜きボーリングを行っていない避難坑側は水位の低下が見られず、天端の再変位(最大沈下量: 3mm)が確認された(図-10, 12)。

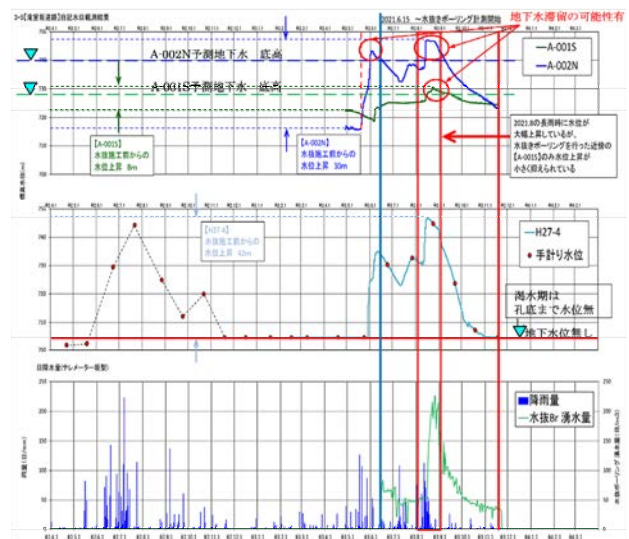


図-9 水位観測状況

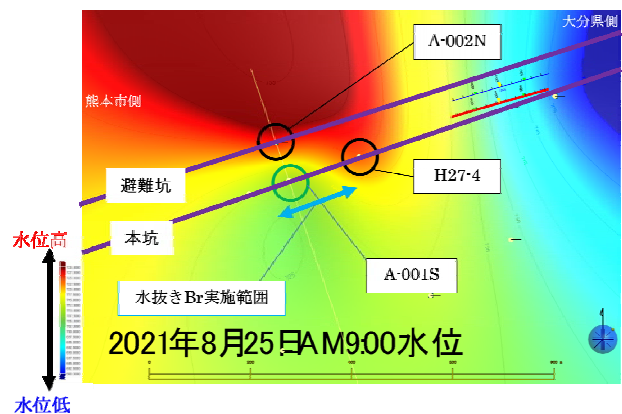


図-10 水位分布平面図

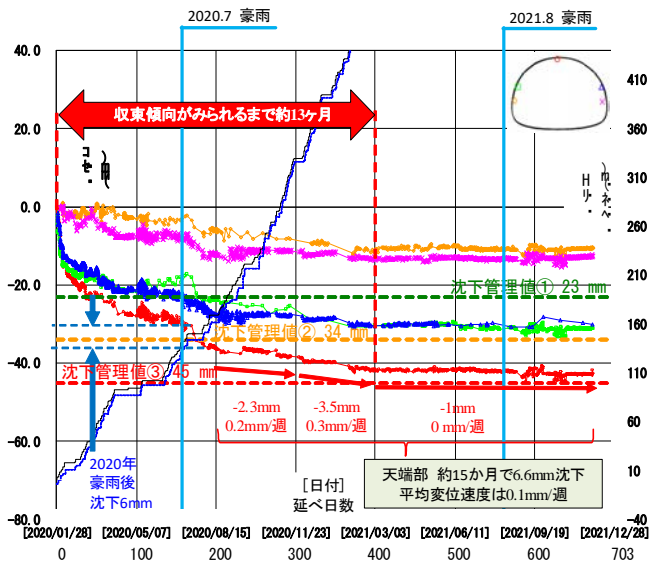


図-11 本坑天端沈下計測の分析【No. 65+18. 0 TD=565m】

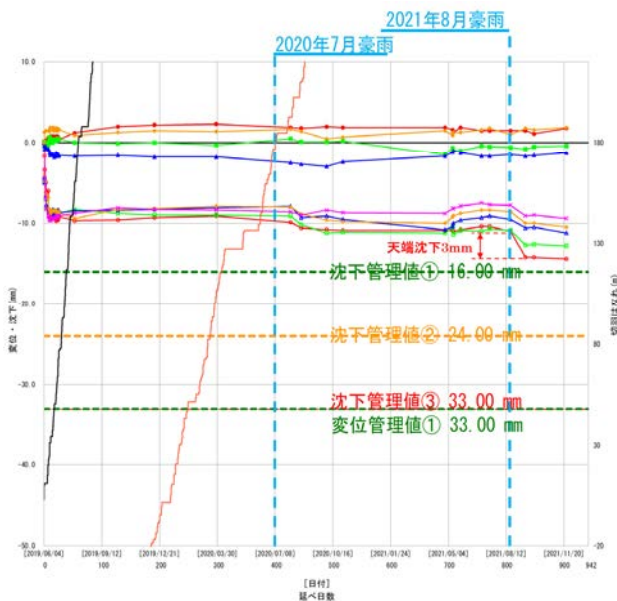


図-12 避難坑天端沈下計測の分析【No. 64+6. 0TD=542m】

## 5. 避難坑側からの追加水抜きボーリング

### (1) 追加水抜きボーリングの必要性

本坑側の水抜きボーリングの対策効果を受けて、避難坑側での追加水抜きボーリングの必要性が検討された。避難坑における再変位の要因は、避難坑直上の透水層(A

so-4A(B)層)に水位が確認され、令和3年8月豪雨で天端沈下が発生したと推定された。

本件について、令和4年1月の技術検討委員会にて大きく分けて3項目の議論を実施した。1つ目が、将来水位上昇の可能性があるため、今のうちに出来るだけ水を抜いておくこと。2つ目に、本坑は覆工施工後の水抜ききの維持管理は困難であり、覆工を施工しない避難坑からの水抜きボーリングの方が維持管理上優位であること。3つ目に、追加水抜きボーリングについて、最適な施工方法(方向等)を検討することが挙げられた。

以上の審議事項を受けて、避難坑の水圧低減及び将来の不確実性・リスク低減を目的とした追加水抜きボーリングを実施することとした。

### (2) 水抜きボーリングの計画

技術検討委員会での議論を踏まえ、避難坑の水抜きボーリングを計画した。図-13・14のように、透水層を狙って施工を行うところだが、各区間において透水層までの距離が異なること、機械の掘削角度や最大掘削距離が50mまで等の制約があることから、箇所ごとに最適な施工方法(方向等)を検討することとした。計画段階では、ケース1のTD=350~370区間で、避難坑から北側(横断方向)へ水抜きボーリングを行う計画とした(図-13)。透水層までの掘削距離は長めであるが、地下水が北側から南側へと流れるため、北側の上部部から水を抜くことが出来ることから採用とした。ケース2のTD=380~480区間

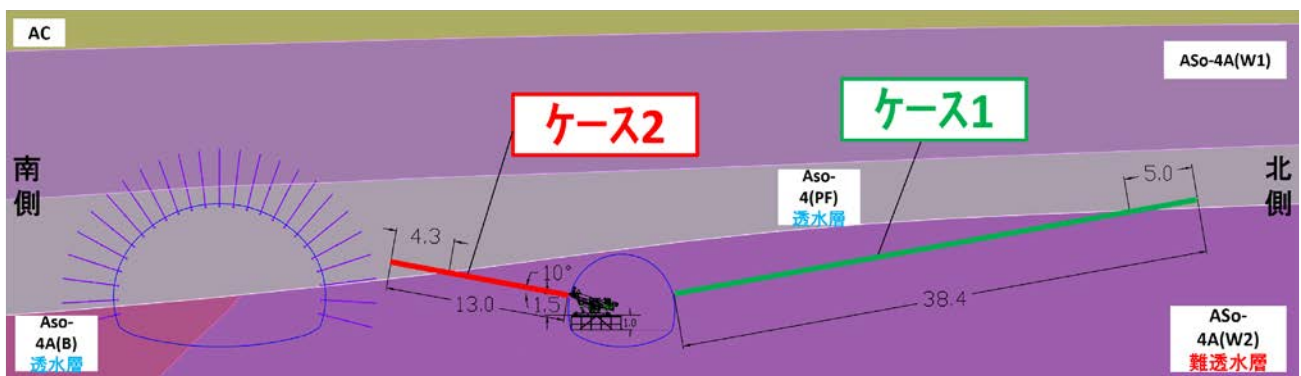


図-13 避難坑水抜きボーリング計画図(ケース1, 2)

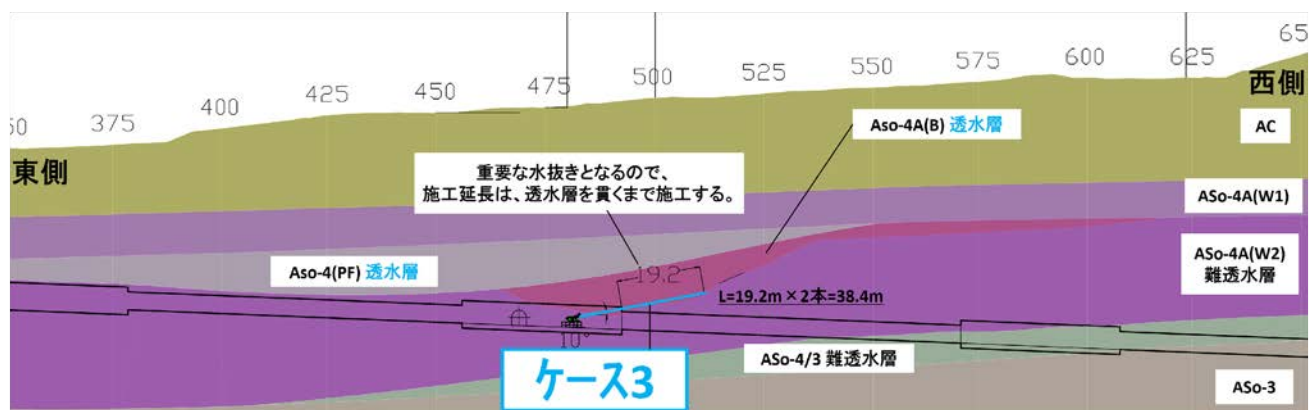


図-14 避難坑水抜きボーリング計画図例(ケース3)【TD=490m】

では、北側の場合、透水層までの掘削距離が50m以上を超えることから避難坑から南側(横断方向)へ計画した(図-13)。ケース3のTD=490-510m区間では、豪雨後変位区間直上の水抜きが可能であること、集水管を設置することが可能であることから、避難坑から西側(縦断方向)へ行うこととした(図-14)。

### (3) 水抜きボーリングの実施

令和4年6月上旬に、ケース1区間の水抜きボーリングを実施した。1本目を施工したところ、透水層までのボーリング実績距離が計画距離よりも、+4mほど長くなった。この結果から、2・3本目が透水層まで届かない恐れがあると判断し、当初10mで予定していた間隔を7m間隔へ変更することとした。また、ケース2区間は、ケース1区間で間隔を短くしたため、当初10mから11m間隔へ調整した。なお、ケース3区間については、計画どおりに実施した(図-15, 16)。

いずれも透水層を捉えることが出来たが、施工後、断続的に湧水が発生する事象は現時点で確認出来ていない。原因として、透水層(Aso-4層)の水位は降雨と連動していることが分かっており、渇水期には水がなく、令和4年

の梅雨は例年と比べ非常に短く、降水量も少ないためであることが考えられた。

## 6. まとめ

度重なる豪雨の影響で発生した本坑及び避難坑側での再変位は、トンネル上部の透水層による水位上昇に伴う水圧が原因であると推定された。

変位の抑制対策を様々な議論や検討会を経て、水抜きボーリングを実施し、本坑側で行った水抜きボーリングは令和3年8月豪雨で効果を確認することが出来た。しかし、避難坑側での水抜きボーリングについては、大きな豪雨を経験していないため、効果を確認が出来ていない状況である。災害発生時の代替路確保、走行性の向上等の効果が期待されている滝室坂トンネルは、重要な役割を持つ道路となる。将来のこと見据え、今後も引き続き変位観測を行い、効果について期待していきたい。

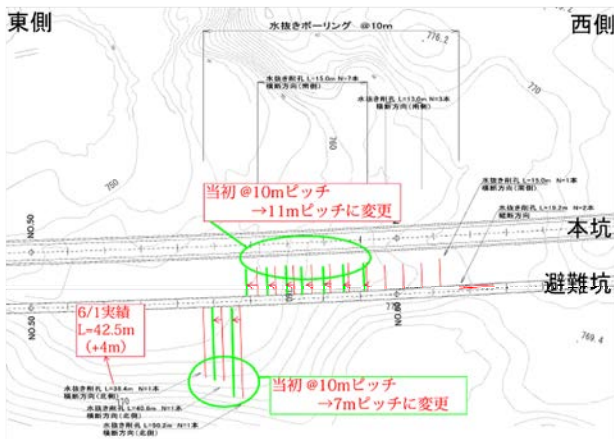


図-15 避難坑水抜きボーリング計画平面図



図-16 避難坑水抜きボーリング実施状況