

湧水によるトンネル切羽の不安定化現象に対する地質工学的考察

応用地質（株） 正会員 竹林亜夫

滝沢文教

正会員 木村正樹

正会員 三上元弘

正会員 ○ 國村省吾

正会員 奥井裕三

1．はじめに

我が国の山岳トンネルの建設において、トンネル掘削中に多量の湧水に遭遇して切羽崩壊が発生することにより難工事となった事例は多い。そのような湧水による切羽の不安定化問題について、部分的な研究がなされているのが現状である。そこで本文は、地山の地形および地質条件と切羽の安定に影響を与える湧水の関係を著者らの経験と文献調査から、地質工学的に分析し分類を行ったものである。

2．湧水による切羽の不安定化現象の分類

我が国の山岳トンネルにおいて、湧水による切羽の不安定化現象は、多種多様な状態を呈している。湧水の状態は、地質条件および切羽の崩壊形状に基づくと次のように分類できる。

含水未固結地山における土砂の流動化現象を引き起こす湧水：第三紀鮮新世から第四紀更新世の砂層・砂礫層，花崗岩強風帯（マサ土），未固結火山噴出物等

岩盤の割れ目および空洞の存在による多量湧水：花崗岩・ホルンフェルス・片岩・安山岩等の硬岩・中硬岩，火山岩類の貫入岩体等の割れ目が多い岩盤，石灰岩・溶岩等の空洞等

断層破碎帯での切羽崩壊を伴う多量湧水：粘土質難透水部（断層粘土等）の背後の帯水部（破碎帯等）

3．地質条件によるトンネル湧水の分類

トンネル湧水問題の地質条件は、含水未固結層、硬岩・中硬岩の節理・割れ目あるいは空洞および断層破碎帯等に分類でき、それらの地質条件に地質構造を考慮すると表 - 1 のようにトンネル湧水を分類できる。併せて、我が国で施工されたトンネル事例とそれぞれの湧水現象に対するおもな対策工法も示した。

トンネル湧水は、土被り厚さが大きくなると共に、地下水圧が大きくなり、湧水量も多量になるのに対し、事前の地質情報は不確実になる傾向にある。したがってトンネル湧水リスクを低減する第一段階は、帯水部等の地質構造を把握することである。

4．トンネル湧水リスクの低減策

含水未固結層と泥岩層の互層地山および断層破碎帯等において切羽崩壊が発生する現象は、水平ボーリング等で切羽前方地山にパイピング現象を誘発して、その結果周辺地山に図 - 1 に示すような含水緩み域が生じて、その液体状土塊がカバーロックを破壊することにより切羽崩壊を起し、トンネル内に土砂が流出するものである。

このように切羽が崩壊する場合の崩壊土量は経験上、パイピング等で崩壊前に土砂を流出させた土量に比例して、その約十倍から数十倍に及ぶことがあり、時には数千 m^3 にもおよびことがある。したがって崩壊を防止するためには、水平ボーリング時にパイピングを発生させないで地下水位を徐々に低下させることが重要である。

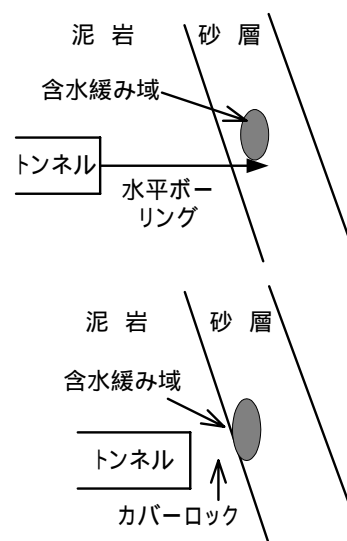


図 - 1 含水未固結層の崩壊過程

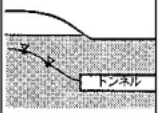
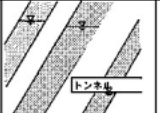
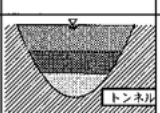
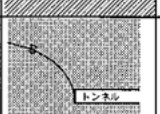
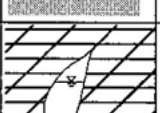
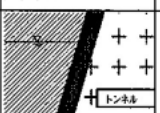
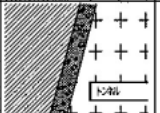
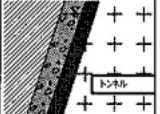
キーワード 湧水，地質，切羽安定，リスク

連絡先 〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町 2-61-5 応用地質(株)技術本部 Tel.048-665-1811

5. まとめ

トンネル施工時の湧水問題は、事前調査段階で帯水層・帯水部を把握できていることが湧水によるリスクを低減させられる第一段階である。しかし多量湧水が発生する可能性のある土被り 200m 以上の切羽では、事前にボーリング調査は行われることは少なく、弾性波探査結果からだけで地質構造の把握は難しい。したがって帯水部の存在が予想される場合には、その手前で掘削を停止して帯水部調査と水抜きを兼ねた水平ボーリングを行うことが肝要である。

表 - 1 地質条件によるトンネル湧水の分類¹⁾

トンネル湧水と地質条件		地質モデル	トンネル湧水現象	トンネル対策工法	トンネル施工事例
地層水	水平層～緩傾斜層		・わずかな湧水と共に切羽崩壊 ・切羽崩壊後に地表沈下・陥没	・地表からディープウェル、薬液注入 ・坑内よりウェルポイント、水抜きボーリング、薬液注入	・習志野台T ・国分川分水路T ・帷子川分水路T ・生田T 他
	未固結帯水層		・難透水層の割れ目より湧水 ・突発湧水と共に切羽崩壊	・水平水抜きボーリング ・水抜き坑 ・薬液注入	・浦佐T ・堀之内T ・信濃導水路T 他
	帯水層が不整合で分布		・多量の湧水と共に土石流状崩壊 ・湧水と共に山鳴り現象	・水平水抜きボーリング ・水抜き坑 ・薬液注入	・安房T ・中山T ・加久藤T ・第2串内T 他
	固結帯水層		・崩壊現象が無く、切羽、坑壁より常時湧水	・特になし	・大船送水T ・榛名T 他
洞窟水	溶蝕（カルスト）地下空洞の貯水 他		・切羽の割れ目より集中湧水 ・発破後突発湧水で切羽崩壊	・先行水抜きボーリング ・さぐりノミ ・空洞充填グラウト	・肥後T ・叶山T 他
裂か水	貫入岩による割れ目岩盤		・貫入岩の前後で突発湧水 ・時には切羽崩壊	・水平水抜きボーリング ・水抜き坑 ・薬液注入	・塩尻T ・青函T ・蔵王T 他
	割れ目の多い岩盤		・時に切羽で集中湧水 ・粘土目で崩落	・水平水抜きボーリング	・紫尾山T ・雁坂T ・葛野川導水路T ・福岡T 他
破碎帯水	粘土質破碎帯		・破碎帯突破直後に突発湧水 ・時に切羽崩壊	・水平水抜きボーリング ・水抜き坑 ・薬液注入	・籠坂T ・恵那山T ・日足T ・新神戸T 他
	帯水層を有する破碎帯		・切羽の割れ目より多量湧水 ・時には破碎帯の土砂流出	・水平水抜きボーリング ・水抜き坑 ・薬液注入	・六甲T ・大町T ・清水T ・蔵王T 他
	変質粘土帯と帯水層を有する破碎帯		・礫混じり土の押し出し崩壊 ・湧水と共に山鳴り現象	・水平水抜きボーリング ・水抜き坑 ・薬液注入	・恵那山T ・丹那T ・青函T ・関門T 他

参考文献

- 1) 竹林垂夫・滝沢文教・木村正樹：湧水によるトンネル切羽の不安定化に関する地質工学的研究，応用地質技術年報，No.23，pp19～54，2003.