

山岳トンネルのリスク低減に関する検討（その3） —切羽崩壊・地表面陥没に関連するリスクの管理—

竹中土木 正会員○市川 晃央 中央復建コンサルタンツ 正会員 山本 雅広
 鉄道・運輸機構 正会員 小川 淳 労働安全衛生総合研究所 正会員 吉川 直孝
 福島工業高等専門学校 正会員 林 久資

1. はじめに

山岳トンネルの施工においては、切羽崩壊や地表面陥没などの事象が生じることがあるが、その要因は地山条件に関するものから設計・施工に関するものまで広範囲にわたり、しかも各々の要因が複雑に絡み合った結果として生じるものと考えられる。また、地質の急変、地下水の滞水など、崩壊等の予兆がなく生じる場合も多く見受けられる。

そこで、土木学会トンネル工学委員会 山岳トンネルのリスク低減に関する検討部会（部会長：神戸大学 芥川教授）の「押出し・崩壊 WG」では、過去の切羽崩壊や地表面陥没の事例について既往の文献を収集、分析し、これら事象の発生リスクの要因とその低減策を取り纏めているところである。

本報では、上記の調査研究をもとに、切羽崩壊・地表面陥没において支配的要因である地山状況を過去の事例などから5種類に分類し、それぞれの地山状況を対象として計画・調査・設計段階、施工段階におけるリスク要因について示すとともに、リスク低減に向けた対策の一部を提示する。

2. 分類した地山の概要

1) 未固結・土砂地山

未固結・土砂地山は、第四紀のシルト層、粘土層、砂層、含水砂礫層や新第三紀鮮新世の泥岩や凝灰岩、砂岩等の堆積岩類、まさ土等の風化残積土、火山灰、火山礫、軽石等からなる火山噴出物、盛土や埋め土等による地形改変地などの未固結ないし低固結度の地山である。このような地山においてトンネル施工上問題となる現象は、切羽の崩壊、湧水に伴う地山の流出、地山流出に伴う地表陥没、トンネル底盤の脆弱化（支保工の支持力低下）、地表部湧水、地表面沈下などである。

2) 強風化・崖錐地山

崖錐は、岩片や土砂がルーズな状態で堆積したものであり、水を含むことが多い地山である。また、強風化岩は、指圧で容易に碎けるものからハンマーで碎けるものまで、様々な固結度を有する地山である。このような地山は、一般的に地表付近に存在することから、坑口部や小土被り区間に出現する可能性が高い。トンネル施工上問題となる現象は、斜面崩壊、地すべり誘発、切羽の崩壊、地山流出に伴う地表陥没、トンネル底盤の脆弱化（支保工の支持力低下）、地表面沈下などである。

3) 軟岩地山

軟岩地山は、中硬岩地山と土砂地山との中間に位置する岩種であり、主に泥岩、シルト岩、砂岩、礫岩、凝灰岩などが該当し、掘削においては通常、機械掘削が適用されている。軟岩主体の地山で過去に崩壊を起した事例より、切羽前方に不透水層を挟んで帯水層が存在する地質構成、泥岩等不透水層の前方に未固結砂礫層が存在する地質構成、泥岩等不透水層の上部に帯水軟弱層が存在する地質構成において切羽崩壊の可能性がある。

4) 断層・破碎帯を含む地山

断層・破碎帯は、細かく破碎された岩石、砂、シルト、粘土等が存在することに加えて、それら細粒化した土が遮水層を形成していることが多く、高圧・多量の地下水が貯留されていることもある。したがって、元来の地山強度が低いために安定性は悪いが、さらに突発的な湧水が切羽崩壊等の要因にもなる。また、掘削後の

キーワード 切羽崩壊、地表面陥没、事前調査、切羽前方探査、補助工法、リスク低減

連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 (株)竹中土木 技術・生産本部 技術部 TEL: 03-6810-6317

変形量が大きくなり、緩み領域の増大も不安定化要因となる。断層・破碎帯の崩壊現象は、断層・破碎帯で湧水をともなった破碎岩片や土砂等の流出、流砂現象が発生する場合があります、湧水をともなうためにその規模は大規模になることも多い。

5) 層理・節理の発達した地山

硬岩・中硬岩・軟岩では、掘削面と地山ブロック（キープロック）が崩壊しやすい位置関係にある場合、節理・層理・片理等の不連続面が多い場合、不連続面の強度が小さい場合（開口、鏡肌、粘土薄層の挟在）が不安定化要因となる。不連続面の発達に起因する崩壊は、不連続面に沿った岩塊の滑落や岩片の剥離・剥落、さらに地層境界等の大きな不連続面に沿った層すべり等がある。硬岩から軟岩までの広範囲の地質で発生し、切羽安定に対しては不連続面の状況と湧水状況の影響が大きい。

3. 崩壊リスクと対策について

過去の事例に基づき、地山状況の分類毎に計画・調査・設計段階、施工段階のリスクと対策をそれぞれまとめた。本報では、図-1 および図-2 に示す2つの地山について例示することとする。このようにリスクと対策を地山の分類毎に各段階で整理を行い、実務者が活用しやすい形式で取りまとめつつある。

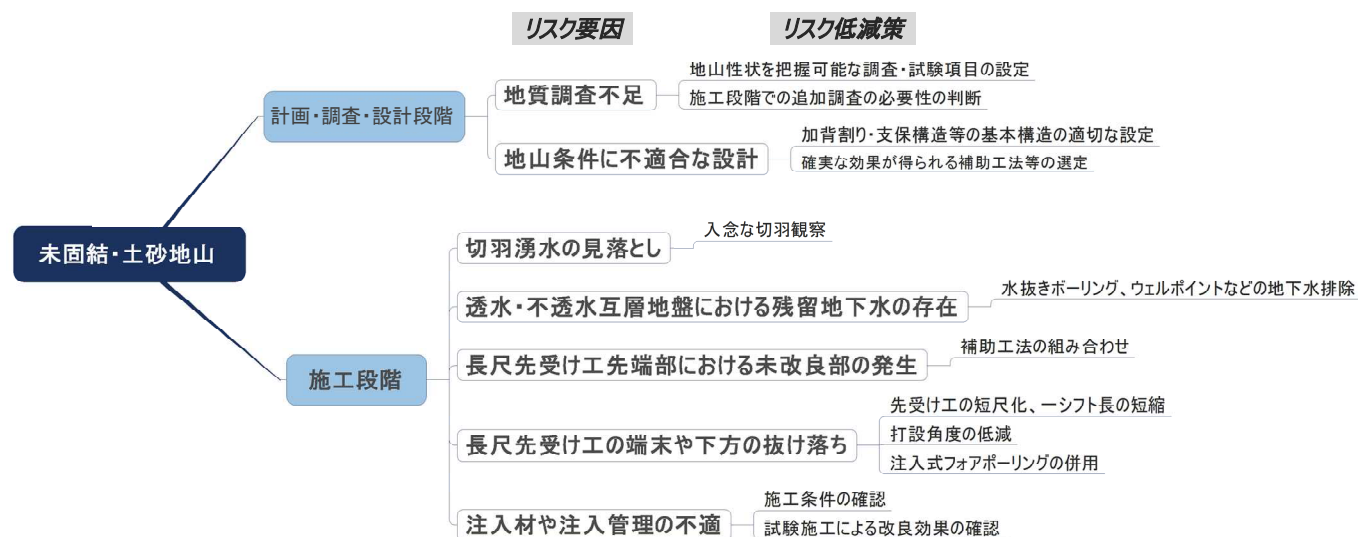


図-1 未固結・土砂地山の崩壊リスクと対策

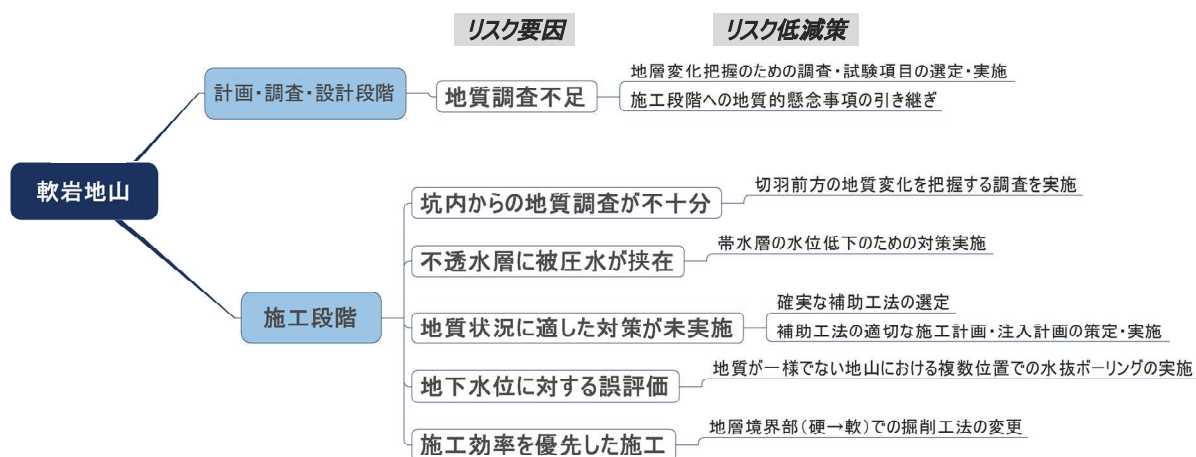


図-2 軟岩地山の崩壊リスクと対策

4. おわりに

ここでは、押出し・崩壊 WG におけるリスクの分析と低減対策の調査結果のうち、切羽崩壊・地表面陥没について一部を報告した。現在、山岳トンネルにおけるリスク低減を検討する上で実務者にとって有用な情報を提供すべくトンネル・ライブラリーとして取りまとめを行っている。