

山岳トンネルにおける地すべり地山の地質工学的特性と対策工

応用地質(株) 正会員 竹林 亜夫 正会員 上野 将司 正会員 ○三上 元弘

1. はじめに

山岳トンネルにおいて特殊地山といわれる条件の内、地すべり地山に関しては個々の施工事例について報告されているものの、地質工学に基づく総合的研究は未だ行われていないのが現状である。本文においては、わが国のトンネル施工事例を、主に文献と著者らの経験に基づいて地質工学的に分析し¹⁾、いくつかの知見を得ることができたので報告する。

2. 地すべり地の基盤岩の岩質状態

地すべり地の地盤は、地すべり面を境界にして基盤岩と移動層より構成される。基盤岩の岩質は、泥岩・頁岩・粘板岩等の堆積岩と凝灰岩・火山岩類および片岩類・破碎帯・蛇紋岩類にほぼ限定されている。地すべり地のトンネル施工事例において基盤岩の力学的性状が良好な場合と、破碎変質等で不良なものに区分し、表-1に示す¹⁾。この表で不良な基盤は全体の約6割であった。

3. 地すべり地の地盤物性について

わが国の「活動した地すべり」50事例を対象に、地質毎のすべり面のせん断強度を逆算法で求めた結果を表-2に示す²⁾。地すべり面の物性値は、内部摩擦角が概ね30°以下で、粘着力も小さい値を示している。

地すべり移動層と基盤部の地盤物性値について、施工事例より整理すると、表-3に示すようになる¹⁾。この表より、表-2のすべり面の物性値は、地すべり移動層および基盤岩の値に対してやや小さいことがわかる。表-3の地山は基盤岩が不良な場合のものであり、良好な場合は含まれていないが、地山強度比が概ね1.5以下と小さく、内部摩擦角も概ね30°

以下であった。この数値はトンネル周辺地山に塑性域が形成される膨張性地山の力学条件と一致している³⁾。すなわち、地すべり地においては、土被り厚が小さいにもかかわらず、移動層、不良な基盤およびすべり面の地盤物性値は、トンネル周辺地山に塑性域が形成される条件を示し、トンネル掘削時の周辺地山に緩み域が発生する

表-1 地すべり地の岩質と基盤岩の状態¹⁾

地質	基盤状態	トンネル名
泥岩、頁岩、粘板岩	良	郷津、新潟薬師、山中、宮内、湯上、舞子、阿部倉、大谷、石鎚
	不良	地蔵、春日山、第2白坂、日暮山上野、谷稲葉、岡部、静岡薬師、泊、牧の原第3、衣笠城址、比津、第3大沢、
凝灰岩 火山岩	良	浅利、望洋台、三平山、礼文浜、木原、白濁
	不良	西鴉川
片岩類 破碎帯	不良	妙見、的之尾、大杉、犬寄
蛇紋岩類	不良	嶺岡、平岩第一、北小谷、検儀谷

表-2 地質毎のすべり面のせん断強度（逆算値）²⁾

地質	事例数	すべり面のせん断強度	
		c、粘着力	φ、内部摩擦角
緑色岩	3	0 kN/m ²	13°
結晶片岩	18	0	27
中古生層	11	0	29
第三、四紀層	18	1	10

表-3 地すべり移動層と基盤岩の物性値¹⁾

トンネル名	地すべり移動層				基盤岩				備考
	γ	c	φ	α	γ	c	φ	α	
泊	(18)	28	10	0.74	(19)	58	9.5	0.5	
谷稲葉	20	110	18	0.75	22	87	31	0.5	
地蔵	17	*		0.1	2.0	40	7.4	0.4	* q _u =21 kN/m ²
春日山					20	50	15	0.13	
足羽山					20	30	25	0.47	推定値
三平山					(20)	6	33	0.2	
的之尾	20	30	26	0.2	22.5	50	26	0.3	逆算&推定値

α：地山強度比、γ：kN/m³、c：kN/m²

キーワード：トンネル 地すべり 地すべり面 せん断強度 内部摩擦角 地山強度比

連絡先：応用地質(株)技術本部 〒331-8688 さいたま市北区土呂町2-61-5 TEL:048-665-1811 FAX:048-667-9340

ことが推察される。ただし、良好な基盤岩内をトンネル掘削する場合の緩み域は小さいと考えられる。

このように地すべり地を形成する地盤の力学特性は膨張性地山と共通する場合があるために、トンネル掘削時に周辺地山に塑性域が形成され易く、その結果として切羽面の自立性不足、支保工の変形、地表面の沈下および陥没現象等の諸問題が発生すると考えられる。

また、トンネルと地すべり面の位置関係によっては、トンネル掘削によって地下水位が低下し、その結果地すべり面の間隙水圧が低下して地すべりに対する安定性が向上することも考えられる。

4. トンネル工事における対策工の特徴

地すべり地においてトンネル掘削時に採用されている対策工法には、大分類としてトンネル掘削工法に関するもの、各種地すべり対策工、およびトンネル掘削時の緩み防止工がある。それぞれの大分類、中分類としての各種補助工法は表-4に示すとおりである¹⁾。

この表に示したトンネル掘削工法のうち、矢板工法では側壁導坑先進方式が多く、NATMはメガネトンネルおよび軟弱な地質条件において側壁導坑先進方式およびCD工法が採用されている。地すべり対策工としては通常の地すべり対策工のみならず、トンネル施工時の緩み防止を兼ねた垂直縫地工も比較的多く採用されている。また、トンネル掘削時に比較的容易に対応できる排水工法も採用され、特に土被り厚さが大きいトンネルでは対策効果が期待されている。トンネル掘削時の緩み防止工としては、矢板工法ではパイプルーフ工およびリングカット工法が主であったが、NATMでは各種の補助工法が開発され、天端先受け工および鏡ボルト工等が採用されている。

このように、地すべり地のトンネルにおいては、トンネル掘削工法の選定と地すべり対策工およびトンネル掘削緩み防止工を組み合わせ使用されている。すなわち、地すべり地においては、前述のように周辺地山が緩みやすい条件にあるため、地すべり対策工を施すだけでなく、トンネル施工時の周辺地盤に与える影響を少なくするために、トンネル掘削工法およびトンネル掘削時の緩み防止工を組み合わせ使用されている。また、施工時にはこれらの対策工法の効果と地すべりの安定状態をモニタリングする各種の計測管理が併用されている。

5. おわりに

わが国の地すべり地におけるトンネル工事例を分析し、主に地質工学的に考察したところ、地すべり地山とトンネル工学における膨張性地山とは、地質的な定性面だけでなく力学的な定量面も共通していることが明らかとなった。また、地すべり地のトンネル工事における対策工の特徴も明確になった。

参考文献

- 1) 竹林・上野：地すべり地におけるトンネル掘削時の諸問題に関する地質工学的考察、応用地質技術年報 No.24、pp.39～67、2004
- 2) 上野：孔内傾斜計を主とした地すべり計測結果の検討と地すべりの予知に関する研究、愛媛大学博士論文、pp.119～132、2002
- 3) 竹林・三上・國村・奥井：山岳トンネル工法における岩盤の強度定数と内空変位の関係に関する事例研究、土木学会トンネル工学研究論文・報告集、第11巻、pp.183～188、2001

表-4 トンネルにおける地すべり対策工の分類

大分類	中分類	備考
トンネル掘削工法	側壁導坑先進工法	矢板、NATM
	ショートベンチ工法	NATM
	上半先進工法	矢板工法
	特殊NATM	CD、導坑先進
	開削工法	
地すべり対策工	抑止杭	
	深礎工	
	アンカー工	
	垂直縫地工法	
	押え盛土工	
	切土工	
	排水工	
トンネル掘削緩み防止工	パイプルーフ工	
	フォアパイリング	長尺先受け工
	フォアポーリング	短尺先受け工
	鏡ボルト	
	鏡吹付けコンクリート	
	リングカット	核残し
	地山注入工法	
	支保工脚部補強工	