

平成24年度

付替道路施工における法面変状対策工について

室蘭開発建設部 沙流川ダム建設事業所 ○高橋 和政
高橋 慶久
村瀬 竜也

沙流川上流域においては、現在、道道芽生貫気別線、道道宿志別振内停車場線の付替道路工事が進められているが、実施に際しては、周辺箇所において降雨等の自然条件や地質性状に起因した法面変状などが発生している。本報告はその内、沙流川の2次支川宿主別川左岸部において発生した法面変状について報告するものである。当地域において観測史上3番目の日雨量を観測した平成18年豪雨においては、法面変状が確認されなかったものの、大きな日雨量をもたらす降雨がなかった平成23年9月に明瞭な法面変状が確認された。本報告は、平成23年に変状が発生した原因について報告するとともに、合理的な対策工法について提案を行う。

キーワード：法面変状、法面对策工、地下水位、積雪深

1.法面変状箇所の概要

法面変状箇所は沙流川の1次支川である額平川と2次支川である宿主別川の合流部（以下、「合流部」という）から約1km上流の宿主別川左岸に位置し、付替道道芽生貫気別線の宿主別橋に隣接している。右岸側には日本最大級のすずらん群生地があり、融雪後のすずらん開花時には多くの観光客でにぎわう。また、額平川の上流には日本百名山の一つである幌尻岳があり、付替道路はこれらへのアクセスルートとなっている（図-1）。



図-1 流域概要図

2.周辺の地形地質

法面変状箇所は日高山脈西側に位置し、周辺の地形は標高300m前後の定高性がある丘陵地となっており、河川周辺には段丘面が発達している。合流部から上流1.5kmの範囲は、両岸が基盤岩の露出する急崖斜面となってお

り、右岸側はこの急崖斜面が山頂付近まで連続する。これに対して左岸側では急崖斜面背後に河床からの比高40～50mの段丘面が広く発達し、500m四方の卓状地形が形成されている。合流部周辺に分布する地質は、古第三紀ニセウ層の砂岩泥岩互層である。

3.付替道路工事の概要

付替道道芽生貫気別線では平成19年より付替道路工事を実施し、平成22年度に当該路線の施行を完了している。施工延長は約1.5kmあり、路線にある宿主別川を横断する宿主別橋は橋長348mの長大橋である。

4.法面変状の状況

法面変状の発生した斜面は段丘崖に位置する緩斜面で、緩斜面の上方を付替道道が通過する。平成23年9月に路肩部分において法面変状による亀裂が確認された。また、緩斜面中腹部には、複数の新しく明瞭な亀裂が発生している。このことから、緩斜面は複数のサブブロックに分かれて活動している可能性がある。法面変状の経緯について表-1に示す。

表-1 法面変状対策の経緯

平成23年9月1～7日	降雨（累計降水量142.5mm）
平成23年9月10日	法面変状確認
平成23年9月15日	伸縮計、抜き板を設置しモニタリング開始
平成23年9月16、17日	道路排水のコルゲートパイプを延長し、地盤変状箇所への流入を抑制
平成23年11月	応急盛土及び詳細調査の手続き着手
平成24年1月6日～13日	追加ボーリング
平成24年1月16日～30日	応急盛土実施
伸縮計の計測結果によると、応急盛土施工後、変動は認められない	

5.調査について

法面変状の発生メカニズムを検討するため以下の調査を実施した。

(1) 地質調査

詳細な現地踏査とボーリング調査を実施し、法面変状等の地質やその構造を把握する。

(2) 降雨量調査

降雨は法面変状の主な誘因となることから、合流部周辺における昭和61年4月～平成24年3月までの26年間の降雨量データを整理し、法面変状発生時の降雨について評価する。変状が発生した平成23年の8月～9月と平成18年豪雨の降雨の比較を行う。

(3) 地下水位調査

地下水位の変化は法面変状に大きな影響を与えることから、降雨などの影響を受けた地下水位変動を把握する。

(4) 地盤変動量調査

地盤変動量および変動深度の調査を行い、観測により得られた測定値から変動図を作成。その変動図を参考に法面変状面を推定する。調査箇所を図-2に示す。

(5) 積雪深調査

平成16年12月～平成24年4月までの期間内の最大積雪深、積雪期間、積雪日数を整理する。

6.調査結果について

調査結果について以下に示す。

(1) 地質調査

- ・ 斜斜面は、ニセウ層の砂岩泥岩互層からなる。
- ・ 基盤岩は付加体であり、せん断破碎を強く受けている。
- ・ 法面移動土塊は、粘土を多く含み、礫混じり土砂状を呈している。
- ・ 表層部は段丘堆積物起源の崖錐堆積物が分布している。

(2) 降雨量調査

a) 平成23年の降雨

- ・ 年間総降雨量は平成23年度が観測史上第2位の降雨量である。特に4月は「272mm/月」、9月は「283mm/月」を記録しており、平年を大きく上回る(図-3)。
- ・ 平成23年の最大日降雨量は、4月23日の「74mm」であり過去26年間の中で14位。
- ・ 平成23年の融雪期(3月、4月、5月)の降雨量は、過去26年間の平均降雨量が「282mm/3ヶ月」に対して、「446mm/3ヶ月」と過去26年間の中で第2位の降雨量であった(表-2)。
- ・ 平成23年の降雨の傾向は、融雪期(446mm/3ヶ月)及び台風による豪雨で9月の降雨量(283mm/月)が多かったという特徴がある。

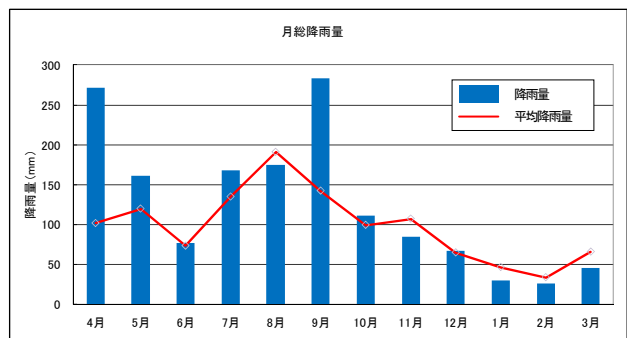


図-3 平成23年度と過去26年間平均の月総降雨量比較

表-2 降雨量の比較

	第1位		第2位		第3位		第4位	
	時期	降雨量 (mm)	時期	降雨量 (mm)	時期	降雨量 (mm)	時期	降雨量 (mm)
年間降雨量	H22	1570	H23	1501	H15	1500	H12	1394
融雪期降雨量 (3月、4月、5月)	H12	619	H23	446	H22	379	H18	363
年最大1日降雨量	H15.8.9	358	H13.9.11	216	H18.8.18	192	H4.8.9	143

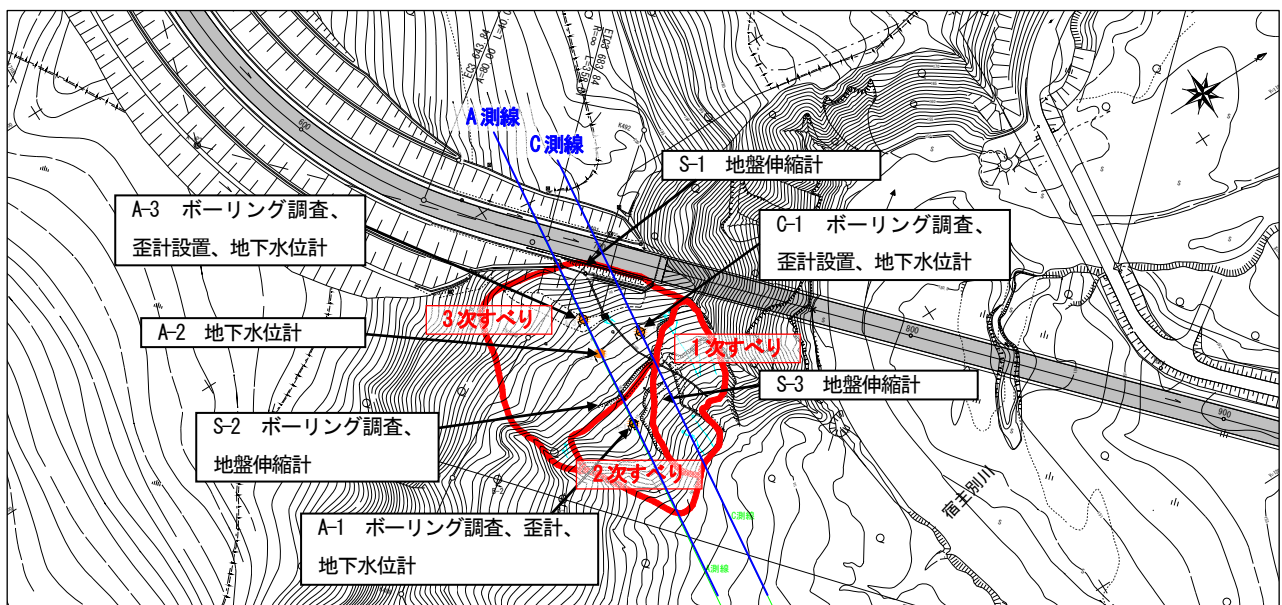


図-2 計測器位置図

b) 平成18年と平成23年の8～9月の降雨量の比較

平成18年が8月と9月に短時間の大雨によって降雨量が増加したのに対し、平成23年では断続的な降雨によって降雨量が増加した（図4、図5）。

(3) 地下水位調査

平成23年11月16日～11月29日の降雨と融雪により地下水位が上昇した。平成23年11月18日20時～11月20日4時で最大160mm程度の水位上昇を確認。

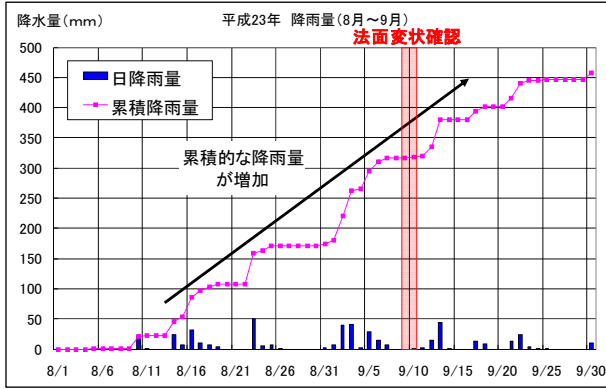


図4 平成23年降雨量(8月～9月)

(4) 地盤変動量調査

歪計の観測結果からすべり面を推定し、地盤伸縮計の観測結果から作成した変動図を示す（表3、表4、図6）。

a) S-1 (3次すべりの頭部亀裂間隔を計測)

観測開始から連続的な引張変動が認められた。特に台風15号通過時には、7.4mm/35日（0.21mm/日）の変動が発生し、11月下旬には4.4mm/22日（0.2mm/日）の変動が発生した。

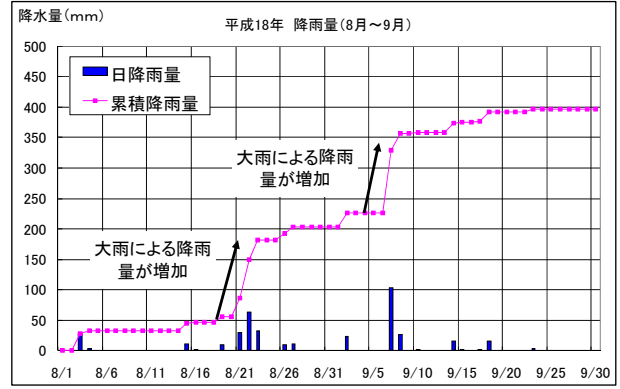


図5 平成18年降雨量(8月～9月)

表3 歪計観測結果一覧

測線	孔番	ボーリング深度	孔口標高	位置	すべり面			すべり面根拠
					すべり面深度 (m)	すべり面標高 (m)	計器変動深度 (m)	
A	A-1	20	174.72	2次すべり	8.3	166.42	8	コア観察、計器変動 GL-7.90mで孔曲がり
	A-2	20	184.1	3次すべり	8.7	175.4		計測器なし コア観察 GL-8.83mで孔曲がり
	A-3	15	187.03	3次すべり	10	177.02	10	コア観察
C	C-1	15	183.32	3次すべり	8.7	174.62	なし	コア観察

表4 地盤伸縮計観測結果一覧

地盤伸縮計	最大日変位量 (mm/日)	平均日変位量 (mm/日)	平均月変位量 (mm/日)
S-1	0.6	0.107	3.18
S-2	-0.6	-0.043	-1.27
S-3	0.6	0.011	0.34

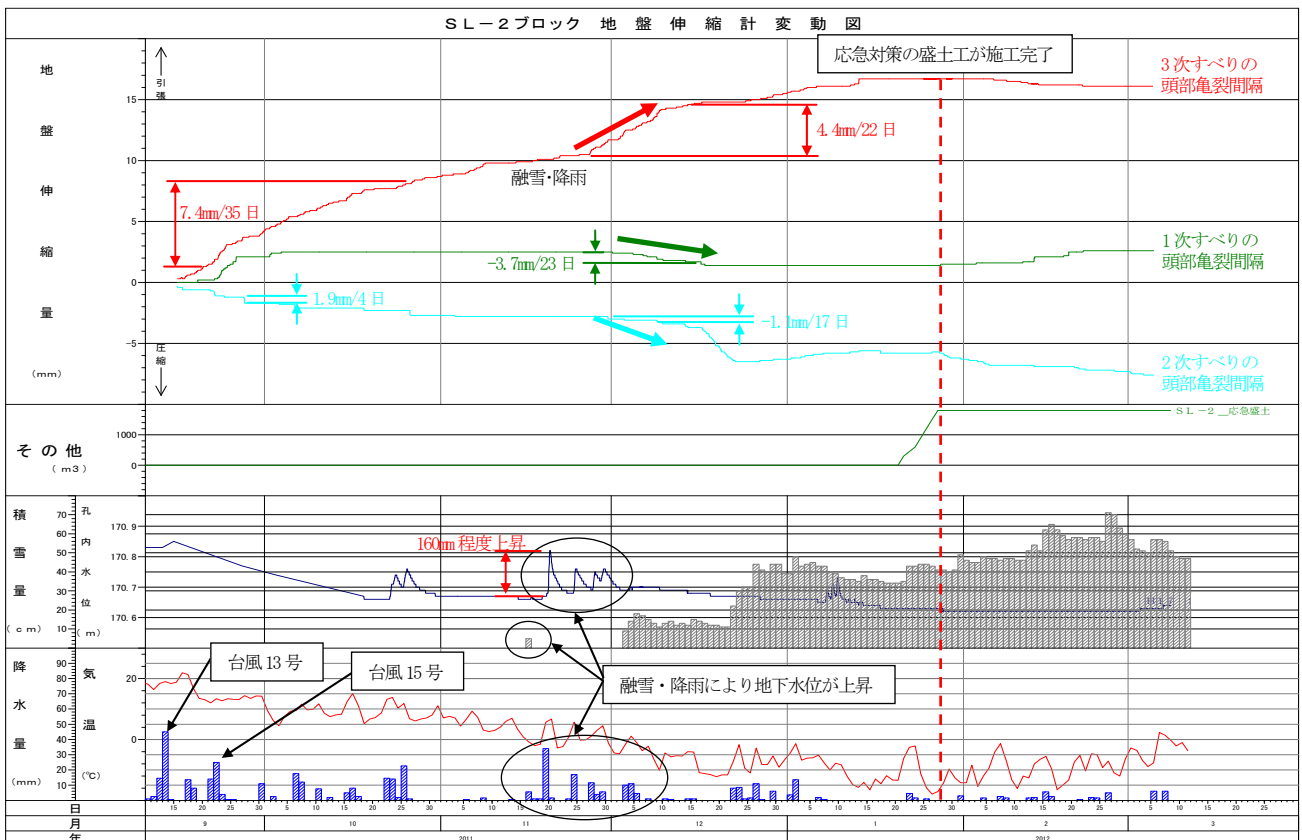


図6 地盤伸縮計変動図

11月の変動は融雪および降雨により発生し、11月16日～11月29日の降雨と融雪により地下水水位が上昇し、その結果、変動したと思われる。

応急盛土工施工後（1月に完了）は、法面変状の滑動が沈静化した。

b) S-2（2次すべりの頭部亀裂間隔を計測）

観測開始から連続的な圧縮変動が認められた。特に12月中旬には-3.7mm/23日（-0.161mm/日）の変動が発生した。これは融雪および降雨により変動が加速したと思われる。また、S-2の圧縮変動の動きは、S-1と連動するような動きである。

応急盛土工施工後（1月に完了）は、法面変状の滑動に沈静化の傾向が見られる。

c) S-3（1次すべりの頭部亀裂間隔を計測）

観測開始から連続的な変動が認められた。特に台風15号通過時に1.9mm/4日（0.475mm/日）の引張変動が、11月下旬には-1.1mm/17日（-0.049mm/日）の変動が認められる。これらの変動はS-1と連動するような動きである。

応急盛土工施工後（1月に完了）は、法面変状の滑動に沈静化の傾向が見られる。

(5) 積雪深調査

積雪深調査結果について表-5に示す。平成16年～平成24年では、平成23年度（H23.11.6～H24.4.16）が最大積雪深71cm、積雪日数152日で近年では最も雪が多い年であった。

表-5 最大積雪深と積雪日数

年度	最大積雪深(cm)	積雪期間	積雪日数(日)
平成16年度	54 (2005/3/14)	2004/12/2 ~ 2005/4/9	128
平成17年度	64 (2006/1/19)	2005/11/21 ~ 2006/4/6	136
平成18年度	22 (2007/2/12)	2006/11/24 ~ 2007/4/1	128
平成19年度	36 (2008/8/28)	2007/11/23 ~ 2008/3/15	113
平成20年度	35 (2009/1/14)	2008/11/7 ~ 2009/3/28	141
平成21年度	57 (2010/2/20)	2009/11/21 ~ 2010/4/7	137
平成22年度	36 (2011/2/20)	2010/12/15 ~ 2011/4/3	109
平成23年度	71 (2012/2/26)	2011/11/16 ~ 2012/4/16	152

※なお、平成24年4月の融雪後、地下水の急激な上昇と法面変状が再度発生した。

7. 法面変状機構解析

(1) 変動状況

当該斜面は3つのサブブロックに分割することができる。

a) 1次すべり

平成23年台風通過時に大幅な変動が認められる。その後、11月下旬より圧縮傾向が認められる。この圧縮は3次すべりの変動とほぼ同タイミングで発生している。応急盛土工施工後、変動は沈静化している。

b) 2次すべり

圧縮方向への変動が認められる。3次すべりの引張り変動とほぼ同タイミングで圧縮変動が発生している。

12月上旬に変動が加速した。これは融雪および降雨により変動が加速したと思われる。応急盛土工施工後、変動は沈静化している。

c) 3次すべり

台風通過時に顕著な変動が認められる。道路肩部に幅5cm程度の段差を伴う亀裂が確認された。11月下旬に変動が加速した。これは融雪および降雨により変動が加速したと思われる。応急盛土工施工後、変動は沈静化している。

(2) 素因

基盤岩はニセウ層の砂岩泥岩互層からなり、これらは構造変形を受けて砂岩がレンズおよびブロック状に取り込まれ地質構造が乱れている。

(3) 誘因

台風通過時に1次すべりの滑動により亀裂発生し、それに追従するような変動が2次すべりおよび3次すべりで発生している。その後、融雪に起因した11月下旬～12月上旬に3次すべりで滑動が加速している。

これらのことより、降雨、融雪水による地下水上昇が法面変状の誘因となっている。

8. 現状の安全率について

法面変状の安定性は、安全率 F_{s0} によって設定する。すなわち、現在変動している法面変状ブロックの安全率は $F_{s0} < 1.00$ と評価し、変動の徴候が認められず、安定している法面変状ブロックの安全率は $F_{s0} \geq 1.00$ と設定する。

現状の伸縮計の変位量（最大日変位量0.6mm/日）より、現状安全率を $F_{s0} = 0.98$ と設定した。

計画安全率は、当斜面の近傍に付替道路の橋梁が存在することから $F_s = 1.20$ と設定した。

貯水池周辺の法面変状ブロックの安定性の評価には一般的に基準水面法を用いる。安定計算は式(1a)によって行った。

$$F_s = \frac{\sum (N - U) \tan \phi' + c' \sum L}{\sum T} \quad (1a)$$

N : 分割片の重力による法線力 (kN/m)

T : 分割片の重力による接線力 (kN/m)

U : 分割片に働く間隙水圧 (kN/m)

L : 分割片のすべり面長 (m)

ϕ' : すべり面の内部摩擦角 (°)

c' : すべり面の粘着力 (kN/m²)

F_s : 安全率

（「改訂新版 貯水池周辺の地すべり調査と対策」P123より）

9.対策工法の選定について

SL-2ブロックにおける対策工の選定にあたって、考慮すべき法面変状の特性や制約条件について以下にまとめた。

(1) 法面変状の特性

法面変状ブロックは1次すべり、2次すべりおよび3次すべりに区分され、末端の1次すべりの滑動により2次すべりと3次すべりが追隨する変動機構が認められ、変動は降雨や融雪により加速する傾向がある。

法面変状の移動土塊は、ニセウ層の砂岩泥岩互層からなり、降雨や融雪にともなう地下水水位の上昇が法面変状滑動の誘因となっている。

(2) 対策工法の検討

法面変状が周辺に影響を及ぼすことがないように対策工を配置する必要があるが、近年多発する異常気象等も考慮し、早急に行うべき応急対策工と抜本的な対策となる将来的な対策工に分けて検討を行った。

a) 応急対策工検討結果

当該法面変状の地形的特徴、地下水水位の状況および保全対象を考慮し、応急対策として抑制工である押え盛土工を採用する。なお、必要とする盛土材については、別途近接の付替道路工事において発生する残土を有効活用することとし、近接工事においても運搬距離を削減することでコスト削減を図った。

応急対策工の検討を行った結果、安全率が7.3%向上する応急対策工断面を設定した(図-7)。

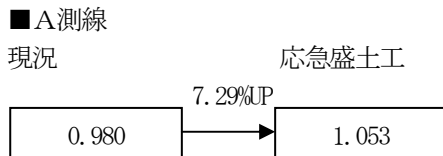


図-7 応急盛土の安全率変化図

b) 将来的な対策工の選定

当該法面変状の地形的特徴、地下水水位の状況および保全対象を考慮すると、採用可能な対策工法は、抑制工としては地下水排除工および押え盛土工、抑止工としては

鋼管杭工およびアンカー付き鋼管杭工が考えられる。よって、抑制工である地下水排除工(横ボーリング工)と押え盛土工は共通工種とする。検討フローを図-8に示す。

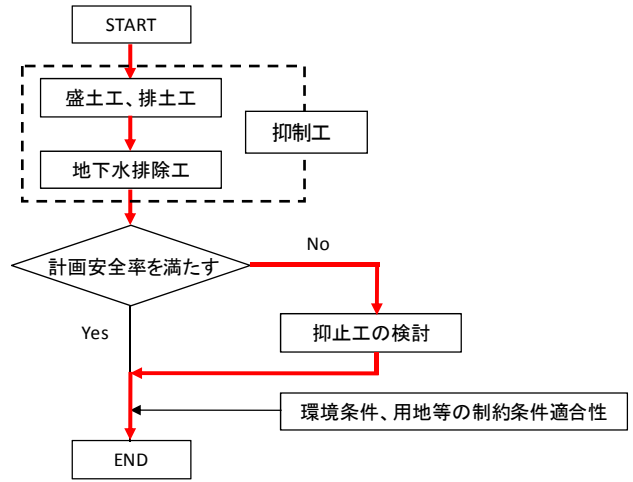


図-8 将来的な対策工選定フロー図

また、当ブロックは、押え盛土工と地下水排除工だけでは、計画安全率を満たさない。

よって、以下の2案にて比較検討を行うこととした。

【第1案】押え盛土工+地下水排除工+アンカー付鋼管杭工

【第2案】押え盛土工+地下水排除工+自立式鋼管杭

第1案ではアンカー付鋼管杭を施工し、盛土天端部跳ね上げにおいて計画安全率1.20を満たすように断面形を決定した。

第2案では自立式鋼管杭工を施工し、盛土天端部跳ね上げにおいて計画安全率1.20を満たすように断面形を決定した。

(3) 比較検討結果

SL-2ブロックの対策工比較検討の結果をまとめると以下ようになる(表-6)。

a) 経済性

第1案(押え盛土工+地下水排除工+アンカー付鋼管杭工)は第2案(押え盛土工+地下水排除工+自立式鋼管杭工)に比べ、工事費が1/2以下となる。

表-6 対策工比較検討表

第1案：押え盛土工+地下水排除工+アンカー付鋼管杭工				第2案：押え盛土工+地下水排除工+自立式鋼管杭工			
概算数量	工程	細別	単位 数量	工程	細別	単位 数量	
	盛土工		m ³ 14,400	盛土工		m ³ 14,400	
	横ボーリング工		m 440	横ボーリング工		m 440	
	鋼管杭工	SKK490相当、φ558.8、t=19、@1.8m 20本	m 380	鋼管杭工	SKK490相当、φ558.8、t=23、@0.6m 60本	m 1170	
	アンカー工	二重防食PC鋼より繰6×15.2(SFL-6)	m 200				
評価	構造特性	他すべり末端部の押え盛土工と横ボーリング工によりすべり力を抑制工法と、鋼管杭工により抑止する抑止工法の併用工法である。地すべり力を常時受けるが、鋼管食いは昨日維持のための定期的な点検等は不要である。		構造特性	他すべり末端部の押え盛土工と横ボーリング工によりすべり力を抑制工法と、鋼管杭工により抑止する抑止工法の併用工法である。地すべり力を常時受けるが、鋼管食いは昨日維持のための定期的な点検等は不要である。		
	施工性	第2案に比べ杭頭部のアンカー工が生じるが10本程度と小規模であり施工性は良い。		○	施工性	第1案に比べアンカー工がないが、杭本数が60本と多いため施工性は劣る。	
	環境	鋼管杭工は地中に埋設されることから、環境の変化は相対的に小さい。		◎	環境	鋼管杭工は地中に埋設されることから、環境の変化は相対的に小さい。	
	経済性	第2案の1/2以下となり安価である。		◎	経済性	第1案の218%と高価である。	
	総合判定	環境への影響は第2案と同等であり、施工性、経済性の面で最も優位な工法である。		◎	総合判定	環境への影響は第1案と同等であり、施工性、経済性の面で劣る工法である。	

b) 適合性

法面変状ブロックは1次すべり、2次すべりおよび3次すべりに区分され、末端の1次すべりの滑動により2次すべりと3次すべりが追従する変動機構が認められ、変動は降雨や融雪により加速する傾向があるため、盛土による対策は当地区に適した工法と言える。

法面変状の移動土塊は、ニセウ層の砂岩泥岩互層からなり、降雨や融雪にともなう地下水位の上昇が法面変状滑動の誘因となっているため、地下水排除工も当地区に適した工法と言える。

適合性において第1案と第2案はほぼ同様である。

c) 施工性

第1案は杭頭部のアンカー工が生じるが10本程度と小規模であるため、施工性が良い。

第2案はアンカー工がないが、杭本数が60本と多いため、施工性は劣る。

d) その他（環境等への影響）

鋼管杭は地中に埋設されるため、環境への影響は小さいが、施工時の仮設や騒音、濁水に注意を要する。第1案と第2案はほぼ同様である。

以上a～dを総合的に勘案した結果、経済性及び施工性に優れた第1案が優位と判断した。

10. 考察

- ・当該箇所の法面の変状は、降雨や融雪の影響により地下水位が上昇し、1次すべり、2次すべり、3次すべりが追従して発生した結果、生じたと考えられる。
- ・これは、降雨量調査、地下水位調査、地盤変位調査結果から関係が確認できた。
- ・また、地盤変位調査の地盤伸縮計の結果から各ブロックにおける法面変状による引張り変動や圧縮変動が確認できた。
- ・既往3位の日最大降雨量があった平成18年8月において法面変状は確認されていないが、断続的に降雨が続いた平成23年9月に法面変状が確認された。

- ・従来、150mm/24hを超えるような降雨に対して着目されがちであるが、地下水上昇の寄与度が高いと思われる降雨や融雪にも注意が必要である。
- ・よって、現場を管理する場合、地下水涵養に対して影響の大きい総降雨量、連続降雨量や積雪深と外気温などの観点で現場を管理していく必要がある。

11. 今後の課題及び検討事項

平成24年の融雪時においては、道内各地で土砂崩落による道路の通行止めや河道閉塞等の災害が発生している。これは降雪量が大きかったことと融雪時における外気温の上昇が起因して地下水位が急激に上昇したことが原因と考えられる。今後は、これらのデータを蓄積し整理し関係を明らかにし、現場を管理する上での判断基準を検討することが必要と考える。

さらに、地形改変による排水の変化、植生等による表面排水状況等について調査を行い、引き続き降雨量と地下水位の関係をモニタリングしていくことが重要と思われる。

11.1. あとがき

急峻な山々や脆弱な地質地域が続く箇所においては、異常気象等により新たな法面変状を発生させるリスクがある。また、法面変状が発生した場合、周辺地域の状況によっては、大規模な対策工事が必要となる場合もあることから、斜面災害の発生しやすい条件（地質・地形・気象等）や地域を把握し、発生初期段階での対応により、誘発のリスクや被害拡大、工事費増大リスクを回避するように取り組む所存である。

参考文献

- 1) (財) 国土技術研究センター：改訂新版 貯水池周辺の地すべり調査と対策
- 2) 気象庁 HP