

2 モニタリング結果のまとめ

調査結果を次の対象に区分して対象ごとの評価を実施する。

- 全体ブロック（地すべり）
- 滑落崖上部陥没帯亀裂の変位（陥没亀裂）
- 盛土部
- 地すべり末端部東側の湛水池

2.1 全体ブロック（地すべり）

表 2.1 全体ブロック（地すべり）のモニタリング結果

対象	モニタリング結果					調査種ごとの評価	対象の評価	
	種別	調査種	No.	位置	変動・変化等			
全体ブロック (地すべり)	動態 (地中)	パイプひずみ計	BV-10	移動体中腹下部	・ノイズと考えられる交互変動 ・累積変動なし	ひずみ観測から全体ブロックが一体的な変動はしていない	①地中、地表ともに全体ブロックが一体とした変位は観測されていない ②地下水位を用いた安定度の評価は実施していないが、水文環境の大きな変位はなく地すべりの誘因を高めていないことは①の結果と同調的 ③侵食によるローカルな変形はあるものの大きな地形変化はみられず、全体的ブロックは総体的に安定している ④裸地が減少し植生が増加していることは地表の安定化を示している ⑤移動体上のスギは地すべり発生により約6年間生長が抑制されたが、以降は地すべり発生前の生長速度に戻っている ⑥山腹工や杭打工、流路工が期待される機能を発揮しており、機能の低下はみられない	
			BV-13	移動体中腹上部	・2011(H23)年東北地方太平洋沖地震時にすべり面を含む深度で微弱な一時変動 ・累積変動なし			
		GPS	全体ブロック中央部	GP.18	全体ブロック中央部	・変位量は小さく回帰的な変異で、地すべり移動とは異なりローカルな変位を捉えていると考えられる		各点で変位として計測されるが、ばらつきが大きく、一貫性があるとは言えずローカルな地表変位であり、GPS観測からは全体ブロックが一体的な変動はしていないと考えられる
				GP.4		・2011(H23)年～2012(H24)年、2014(H26)年に5～7mmの変位をみるが、以降は小さくばらつき、変位がみられない		
				GP.5		・小さな変位でばらつきがある		
				GP.13		・最大20mm/年の変位もみられるが、変動方向がばらついている		
	航空LP（差分解析）	全域	<ul style="list-style-type: none"> ・2008(H20)年6月～2008(H20)年9月:陥没亀裂の発達、陥没部の沈下、滑落崖の崩落、崖錐の発達 ・2008(H20)年9月～2009(H21)年10月:対策工施工による変化のみ ・2009(H21)年10月～2010(H22)年11月:対策工施工による変化のみ ・2010(H22)年10月～2011(H23)年5月:排土面の陥没、滑落崖の崩落、崖錐の発達（東北地方太平洋沖地震による変位） ・2011(H23)年5月～2014(H26)年:滑落崖の一部崩落、崖錐増加、滑落崖全体では大きな変化なし ・2014(H26)年～2016(H28)年:大きな変化なし 	全体ブロック内でみられる変位は滑落崖の崩落に伴う崖錐の発達と、対策工実施による地形変化であり移動体に大きな変位は確認されない				
	地下水位	地下水位計	BV-10	移動体中腹下部	・2011(H23)年東北地方太平洋沖地震時に1.2m程度の水位低下を示し、以降徐々に増加傾向を示すが、2018(H30)年10月をピークとして低下に転じている	融雪、降雨に伴う急激な水位上昇は発生しておらず、地すべり誘因としての水文環境の変化は小さい		
			BV-13	移動体中腹上部	・2009(H21)年に約1.8mの水位低下を示し、以降はほとんど変動を示さず、2019(H31)年4月に一時的に約3mの上昇を示す			
	植生	UAV-写真・踏査		全域	<ul style="list-style-type: none"> ・2014(H26)年～2018(H30)年撮影 ・裸地の減少 7万m²(2014(H26)年)→4.2万m²(2018(H30)年) R²=0.6493 ・植生の増加 122万m²(2014(H26)年)→150万m²(2018(H30)年) R²=0.6483 ・いずれも時間の経過と面積の変化に相関関係がある 	時間の経過とともに裸地が減少して植生が増加している →総体的に地表の安定化が認められる	<p>全体ブロック（地すべり）は一体とした滑動はみられない。 侵食などによる緩やかな変化はあるものの、崩壊や多量の土砂流出などの地形を変化させるような事象は発生していない。 時間の経過と裸地の減少、植生による被覆の増加には相関がみられ、さらに二次林構成種の定着化がみられることから、侵食に対する耐性が高まりつつある。 自然の復元に委ねたエリアが順調に自然回復しているとともに、山腹の固定、流路固定、地すべり末端ブロック固定のための対策工は効果を発揮し維持している。</p>	
		プロット調査	No.1～14 (10を除く)	全域	<ul style="list-style-type: none"> ・2014(H26)年までは草本性植物が優勢、2015(H27)年以降は木本性植物が優勢 ・出現頻度の変動幅が小さくなり安定化してきている ・平均被覆率66%(60～100%、20～40%に分化) ・二次林構成種1種(2009(H21)年)→7種(2019(R1)年) 			
		生長量調査	A-1 B-1	A-1(地すべり地内のスギ) B-1(地すべり地外のスギ)	<ul style="list-style-type: none"> ・地内サンプル(A-1)は、地すべりが滑動した2008(H20)年～2014(H26)年の6年間生長が低下し、以降は元の生長速度に戻っている ・地外サンプル(B-1)はこの間の生長速度低下はみられない 	A-1位置は変形の少ない移動体にあたるが、周辺には亀裂が多く、根系の切断、立木自体の傾倒などにより、6年程度生長が抑制された崖の一部が崩落するなど部分的な変形はあるものの、これまで確認している形態が大きく変化するような変形は発生していない		
地形	定点観測・写真		移動体及び縁辺	<ul style="list-style-type: none"> ・急崖直下の崖錐や下方の緩傾斜部分には植生が侵入している ・軽石質凝灰岩が崖を形成する部分は、侵食が進行しているなど変化がみられる 				
施設点検	定点観察・写真	山腹工	末端ブロック	<ul style="list-style-type: none"> ・山腹斜面の乱れがなく、緑化ができています ・2011(H23)年東北地方太平洋沖地震時に山腹に亀裂が発生した。亀裂は2008(H20)年地すべり発生時の亀裂をトレースしていたが、その後の観測においても累積性は認められず、地すべり性ではなく2008(H20)年の地すべりで緩んだ層が圧密沈下したものと判断された。以降変形はみられず杭打工の機能は維持している 	いずれの恒久対策等は機能を発揮しているが、第1リッジ脇の湛水下流部流路の応急対策は機能が不足しており、対策の導入が必要である			
		杭打工		・排水管からの排水は維持されており機能の低下はみられない				
		湛水対策（応急）		・流路工とその周辺斜面に変化はみられず流路は固定されている				
		流路工		・フレコンパックの崩れ等が発生している				
		流路工（応急）		・谷止工、流路工及び山腹工に変形等はなく機能を維持している				
		流路工・山腹工						

2.2 滑落崖上部陥没亀裂の変位（陥没亀裂）

表 2.2 滑落崖上部陥没帯亀裂の変位（陥没亀裂）のモニタリング結果

対象	モニタリング結果						対象の評価
	種別	調査種	No.	位置	変動・変化等	調査種ごとの評価	
滑落崖上部陥没亀裂の変位（陥没亀裂）	動態（地中）	パイプひずみ計	BV-K1	冠頭部（排土面）	<ul style="list-style-type: none"> 2011(H23)年東北地方太平洋沖地震時に全深度で一時変動、特に101.0mで5,000μストレーンの変動（陥没亀裂の変動の可能性） 2016(H28)年～2017(H29)年にかけて、97.0m、98.0mで累積変動を示すが降雨・融雪に無関係で長期にわたるひずみ変位のため、ゲージ不良の可能性あり 	2011(H23)年東北地方太平洋沖地震時に陥没亀裂の変位を捉えたが、その後のひずみ変位は誘因との関係が認められず不明	<p>①GPS、移動杭観測において、排土面及び排土面法面変位が確認される。2018(H30)年までは融雪期のみの変位であったが、以降非融雪期においても変位が確認(2019年7月には地表伸縮計でも確認)される。</p> <p>これに対して、陥没帯内、さらに上部に設置したボーリングのパイプひずみ計では、GPS、移動杭観測結果を肯定する観測結果は得られていない。</p> <p>また、陥没亀裂が大きく変形する場合には滑落崖の溶結凝灰岩の大規模な崩落やせり出し等が発生することが予想されているが、踏査、地上LP、航空LP等の調査において確認されていない。</p> <p>②地下水の評価を実施していないが、水文環境に大きな変化はない。</p> <p>③裸地が減少し植生が増加していることは地表の安定化を示している。</p> <p>④陥没亀裂の上部には上部亀裂が確認されている。</p> <p>滑落崖排土面の陥没亀裂の変位が移動杭・GPS・地表伸縮計観測により確認されるものの、地中動態を観測するひずみ計観測、あるいは滑落崖の変形をみる地上LP、航空LP、踏査では確認されないことから、変位が終息に向かうものなのか、累積する変位なのかは不明であり、この把握のため観測を実施する必要がある。</p> <p>また、この上部には上部亀裂も位置していることから、陥没亀裂とあわせて周辺の変動状況今後を追跡する必要がある。</p>
			BV-14	冠頭部（排土面の上部）	<ul style="list-style-type: none"> 2015(H27)年、2017(H29)年に153.5m、154.5mで累積変動 2015(H27)年8月に約140mm/日の降雨があるが、2017(H29)年は降雨との関連が認められない 	東北地方太平洋沖地震時には変動が認められず、その後のひずみ変動はあるが誘因との関係が不明	
	動態（地表）	GPS	GP.19	冠頭部（排土面法面）	<ul style="list-style-type: none"> 2011(H23)年以降の観測で年によりばらつきがあるものの滑落崖方向(SE)に累積傾向が認められる 2016(H28)年までは融雪期に5mm程度の変位を記録していたが、2019(R1)年は非融雪期に17mmの水平変位を観測した 	GP.19、GP.20は、2016(H28)年までの融雪期の変位に対して2019(R1)年の非融雪期変位と変位発生の時期が変化し、その程度も似ており同一の変形を捉えている可能性がある	
			GP.20	冠頭部（排土面法面）	<ul style="list-style-type: none"> 2011(H23)年以降の観測で年によりばらつきはあるものの、滑落崖方向(ESE)に累積傾向が認められる 2016(H28)年までは融雪期に5mm程度の変位を記録していたが、2019(R1)年は非融雪期に9mmの水平変位を観測した 	一方、GP.15は回帰的な変位、あるいは2019(R1)年の変異形態はGP.19、20とは異なり、両者は異なる変形を捉えていると考えられる	
			GP.12	冠頭部（中央東側）	<ul style="list-style-type: none"> 観測される変位は少なく、変位方向に一定の傾向はみられない 		
			GP.15	冠頭部（中央東側）	<ul style="list-style-type: none"> 2016(H28)年までは滑落崖に斜行してSES方向に累積傾向が認められる 以降は回帰的な変位を示し2019(H31)年融雪期は上記傾向に戻っている 		
		移動杭観測	a.b.c.d.e.f測線	冠頭部（排土面）	<ul style="list-style-type: none"> 滑落崖の傾斜方向に各測線3点を設置・観測 各測線最下端の変位量が大きく、各測点の水平変位方向はSE～ESE 2019(H31)年までの各測線の鉛直変位は融雪期を跨いだ時期にみられたが、2018(H30)年8-9月、2019(R1)年6-7月に非融雪期の変位がみられた 融雪期の変位は2014(H26)年11月～2015(H27)年4月のb測線の鉛直変位(-10～-15mm)を最大として、これ以外が-9mm程度であったが、2019(R1)年の非融雪期の変位はe2の-37mmでa～d測線も従来より大きな変位を記録している 	2018(H30)年までは融雪期にのみ変位がみられたが、2018年(H30)8-9月及び2019(R1)年6-7月の非融雪期の降雨時にこれまでよりも大きな変位が確認されている	
			RNo.2～4、LNo.2～4、TP1	冠頭部（中央東側）	<ul style="list-style-type: none"> 2017(H29)年4～8月にかけて、LNo.2、3、4、TP1、LNo.5が、NS方向に6～10mmの変位を示す 2018(H30)年4～8月にかけて、LNo.2、3、4、TP1がNS方向に6～11mmの変位を示す 2019(R1)4～7月にかけてRNo.2、LNo.2がNS方向に5～11mmの変位を示す 	冠頭部中央東側は排土面とは異なり、いずれも非融雪期での変位を確認している 変位が観測される時期はそれぞれ異なるが、RNo.2～LNo.2、LNo.2～TP1、LNo.5にかけたエリアを注視する必要がある	
			S-4	冠頭部（排土面）	<ul style="list-style-type: none"> 2016(H28)年まではみられなかったが、2017(H29)年1月からの積雪期にマイナス累積し、各融雪期にプラス変位を観測したが、積雪の影響によるものと思われ、その後積雪対策を強化して同様の変位は確認されていない 2019(R1)年7月26日に2.4mmの伸びを観測している 	2018(H30)年までは有為な変位はみられないが、2019(R1)年7月の変位は移動杭観測（排土面）の観測と同調している	
	地上LP		滑落崖	<ul style="list-style-type: none"> 溶結凝灰岩部の一部で鉛直変位(No.32断面で-43cm、LP3断面で-176cm、LP2で-85cm)がみられ、部分的な崩落が発生したと考えられる。 軽石質凝灰岩部では2008(H20)年地すべり発生当初にみられたようなブロック状のせり出しは確認されない。溶結凝灰岩部で発生した崩落の堆積によるプラスの鉛直変位(崖錐の増加)や侵食によるマイナスの鉛直変位が見られる 	2015(H27)年-2019(R1)年の比較 軽石質凝灰岩のせり出しは確認されないが、溶結凝灰岩の部分的な崩落、軽石質凝灰岩の溝状の浸食が見られる		
	航空LP（差分解析）			<ul style="list-style-type: none"> 2008(H20)年6月～2008(H20)年9月;陥没亀裂の発達、陥没部の沈下、滑落崖の崩落、崖錐の発達 2008(H20)年9月～2009(H21)年10月;対策工施工による変化のみ 2009(H21)年10月～2010(H22)年10月;対策工施工による変化のみ 2010(H22)年10月～2011(H23)年5月;排土面の陥没、滑落崖の崩落、崖錐の発達(東北地方太平洋沖地震による変化) 2011(H23)年5月～2014(H26)年;滑落崖の一部崩落、崖錐増加、滑落崖全体では大きな変化なし 2014(H26)年～2016(H28)年;滑落崖全体では大きな変化なし 	基本的には大きな変位はないが、2011(H23)年東北地方太平洋沖地震による陥没亀裂の変位とその後の2014(H26)年の陥没の進行を捉えている		
	地下水位	地下水位	BV-K1 BV-14	冠頭部（排土面） 冠頭部（排土面の上部）	<ul style="list-style-type: none"> 2011(H23)年東北地方太平洋沖地震時にGL-70mから約3mの水位上昇し、以降2015(H27)年までは水位変動がみられない。2015(H27)年に2011(H23)年の水位以下まで低下した後GL-66m前後を維持しており、大きな変化はみられない 非降雪期に比べ降雪期から融雪期にかけて水位が低下する傾向はあるが、年により水位レベルは一定していない 2013(H25)年の基底水位がGL-86mに対して、2015(H27)年以降はGL-74mと上昇する 2014(H26)年に排土面にアカマツが一斉に侵入し、以降陥没亀裂の確認ができないほど自然緑化が進行している 	融雪、降雨に伴う急激な水位上昇は発生しておらず年間の変動幅が小さい 基底水位レベルの変化がみられるが、地すべり誘因としての水分環境に大きな変化はないと考えられる	
	植生	UAV-写真・踏査 プロット調査	No.15	冠頭部（排土面）	<ul style="list-style-type: none"> 2013(H25)年までは被覆率0%→2019(R1)は90% 2019(R1)年は確認されている高木類は、ヤマハンノキ、ミズメ、アカマツ、ウダイカンパなどで、低木類はタニウツギ、ノリウツギ、クマイチゴなど 	排土面は緑化工を施工しているが、排土面は自然侵入により緑化が進行している	
	落石	落石調査	滑落崖下方	滑落崖直下	<ul style="list-style-type: none"> 落石範囲の把握により滑落崖崩落の位置、規模等の推定を行うことを目的として実施 落石が崖錐の植生内にまで達した形跡はなく、大きな崩落は発生していない 	地上LP結果を肯定する結果を得ている	
施設点検	定点観察・写真	排土工	陥没亀裂	<ul style="list-style-type: none"> 陥没亀裂は2008(H20)地すべり発生当初の陥没をともなった亀裂をトレースしている 施工後、2011(H23)年東北地方太平洋沖地震（栗原市で最大震度7）により変形は発生したものの、滑落崖の崩壊には至らなかった。 陥没亀裂の地表分布は陥没の進行にともなってやや拡大している 	東北地方太平洋沖地震といった大きなインパクトを経験しても滑落崖の崩壊に至らなかったことから、対策工の効果が発揮されている		
上部亀裂	踏査		排土面上部の亀裂（上部亀裂）	<ul style="list-style-type: none"> 排土面上部に亀裂が確認されている 2008(H20)年岩手・宮城内陸地震発生時に確認されている亀裂 	変動の有無は不明である		

2.3 盛土部と末端ブロック東側の湛水池

表 2.3 盛土部と末端ブロック東側の湛水池のモニタリング結果

対象	モニタリング結果						対象の評価
	種別	調査種	No.	位置	変動・変化等	調査種ごとの評価	
盛土部 (排土工の残土処理)	動態	GPS	GP.21	盛土部	・2016(H28)年に水平変位7mmを記録するが、以降回帰変動となる	盛土自体は安定しているが、盛土中央部の掘り割り水路が侵食傾向にある	盛土自体は安定しているが、盛土中央部の水路が侵食されているため、侵食を抑制する対策とともに機能の監視も必要である
			GP.22	盛土部	・2016(H28)年に水平変位12mmを記録するが、以降回帰変動となる		
	地形	航空LP (差分解析)		盛土部	・盛土自体の変形はみられないが、中央付近の流路で底面が約50cm低下し、幅が約2m拡大している		
	植生	プロット調査	No.16、No.17	盛土部	・2009(H21)年の盛土造成後6年目の2015(H27)年時点で木本類もみられるが、現在まで草本類が優勢である ・両プロットともに2019(R1)年に被覆率50-60%となり、群落高は時間経過とともに増加している		
	施設点検	定点観察・写真			・掘り割り流路の底面の洗掘、側壁の侵食により断面が変形している		
湛水池の排水	施設点検	定点観察・写真		地すべり末端部東側の湛水	・湛水池の水位上昇解消のための排水施設(排水ボーリング：縦抗による連結) ・湛水箇所の水位変動状況は不明であるが、排水ボーリング出口の排水は確保されている	排水ボーリングにより排水は確保されている	今後も機能の監視が必要である