

岩盤斜面崩壊の調査と対策工方針について

株式会社ソイル・ブレーン 駒崎友晴

1. まえがき

岩盤斜面の崩壊形態は地形・地質条件などによって様々であり、単一あるいは単純な形状での崩壊は少なく、現地を詳細に調査することによりいくつかの形態の崩壊が複合的に組み合わさっているのが明らかになることは多い。

山口県の南部に広く分布する結晶片岩類が斜面を構成する場合には、片岩が本来有している不連続面(弱面)である片理面に加えて層理面、節理面および断層などの組み合わせによる大小の崩壊が発生している。また、中〜古生層からなる斜面においても同様に不連続面が組み合わさって崩壊する例は多い。

本発表では3つの岩盤斜面の崩壊調査から崩壊形態を明らかにし、それをもとにした対策工の方針等について紹介する。

2. 斜面の崩壊状況

2.1 自然斜面の崩壊

(1) 崩壊地の状況

中生代ジュラ紀の領家変成岩類分布域にある道路沿いの岩盤斜面で崩壊が発生した。崩壊は、ほぼ幅 20m、奥行 20m、高さ 15m で発生し、崩壊土砂及び岩塊により道路が塞がれた。調査地の基盤岩は雲母片岩帯の珪質片岩と泥質片岩の互層で構成され、珪質片岩が優勢、泥質片岩は地質構造から崩壊地内では低標高部に位置する(図1 地質断面図参照、図2に断面位置を示す)。

崩壊部の滑落崖を形成する珪質片岩はチャート起源の変成岩で、露頭では軟岩〜中硬岩相当(CL〜CM 級)の岩盤が確認された。高角度の節理面の発達が著しく、今回の岩盤崩壊はこれらの節理面に沿って地山から分離している。高角度の節理面(写真1〜2参照)の走向・傾斜はN5° W・87° WとN35° W・87Eの2面が卓越し、面には褐色の土砂が附着して崩壊前は土砂で充填された開口亀裂であったことを示す。

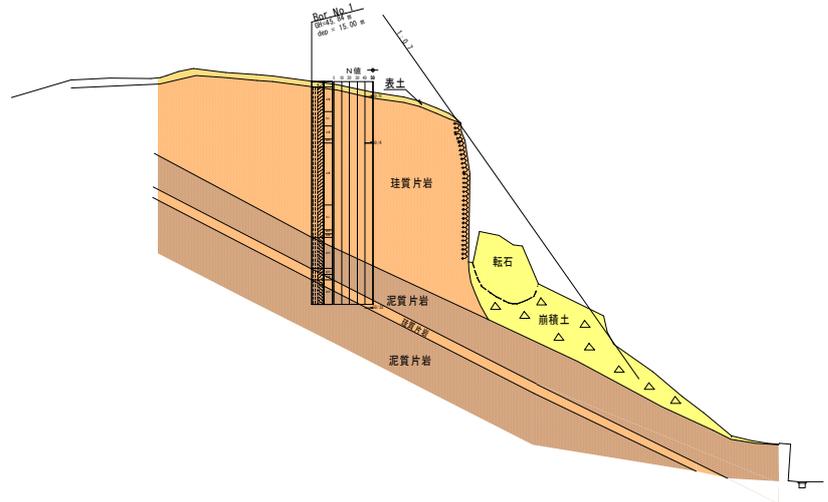


図1 地質断面図

低標高部の泥質片岩は軟岩相当(D〜CL 級程度)の岩盤からなり、片理や節理が発達し、概ね走向N5° E、傾斜28° Wで低角度の片理面が流れ盤を形成しすべり面となっている。

これらの面の位置関係は図2及び図3に、崩壊部の地質構成は図1に示すとおりであり、本崩壊は珪質片岩部の強度低下に伴う分離による崩壊ないし流れ目に沿った岩盤すべりと判断した。

以上、本崩壊地について崩壊の状況を述べたが、崩壊地を少し広い範囲からみると、本崩壊地は小山体の西側斜面に斜面方向と斜交する位置にあり、北北東-南南西に走る道路に面している。この小山体は東北東-西南西方向に長軸をもつほぼ楕円形を呈し、長軸の東西延長部の海岸沿いには露頭があり、ここから標高 46m をピークとした山体が立ち上がっている。崩壊地に近いこの海岸露頭には、地質構造の一つである‘背斜構造’が認められ、背斜軸の方向が上記の小山体の伸びの方向と一致している（図 3 参照）。この背斜構造の延長は崩壊地と反対側の東海岸でも確認された。

背斜軸周辺の地質は珪質片岩と泥質片岩とが互層して重なり、珪質片岩主体層が崩壊地方向に連続しており、小山体の主な構成地質と推定される。

背斜構造を示すこの小山体の斜面は、区間 a（図 3 参照）の道路に対しては流れ盤構造を呈し層理面がすべり面となって崩壊する危険性があるが、区間 b の道路に対してはほぼ直交しており、層理面が分離面となって崩壊する危険性は少ないものと判定できる。

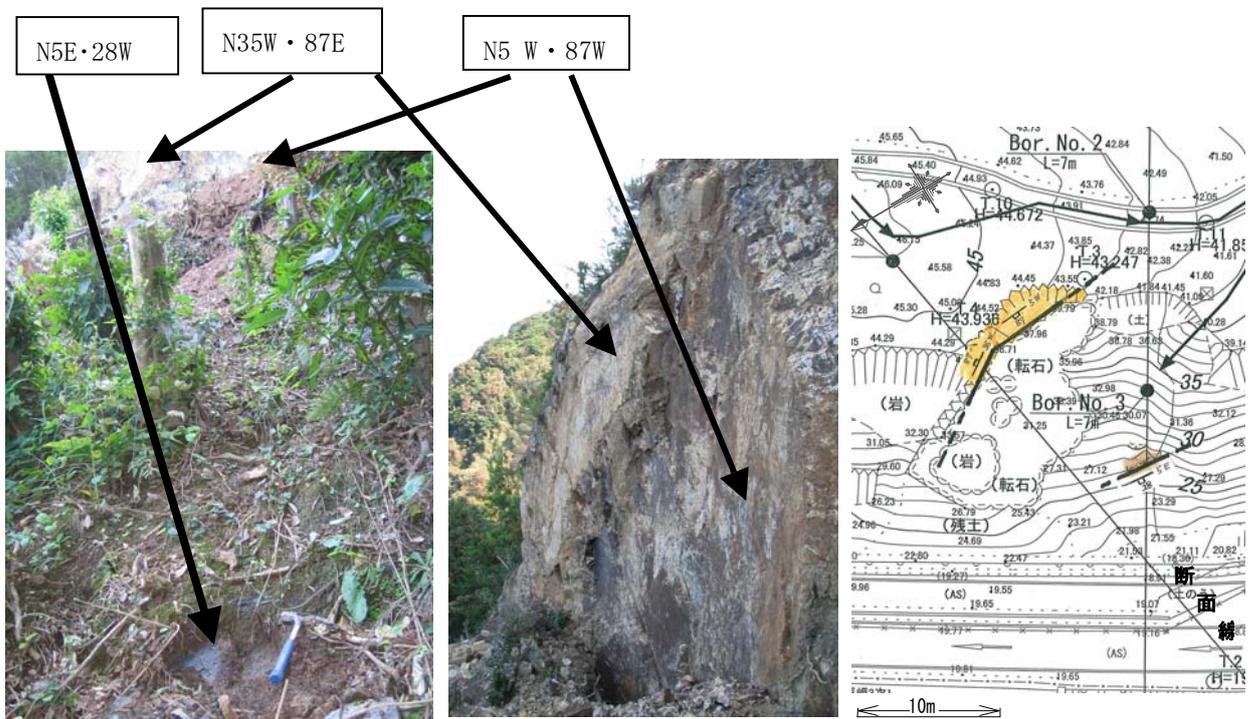


写真 1 低角度節理と滑落崖の位置

写真 2 崩壊地の東側滑落崖

図 2 崩壊地概念図

(2) 崩壊の原因

崩壊の素因は、岩盤の風化・劣化により強度低下状態にあったもので、

- a. 断面図において、下位に位置する泥質片岩は上位の珪質片岩に比べて風化による劣化が進み軟質であった。この泥質片岩の弱面が流れ盤となっている。

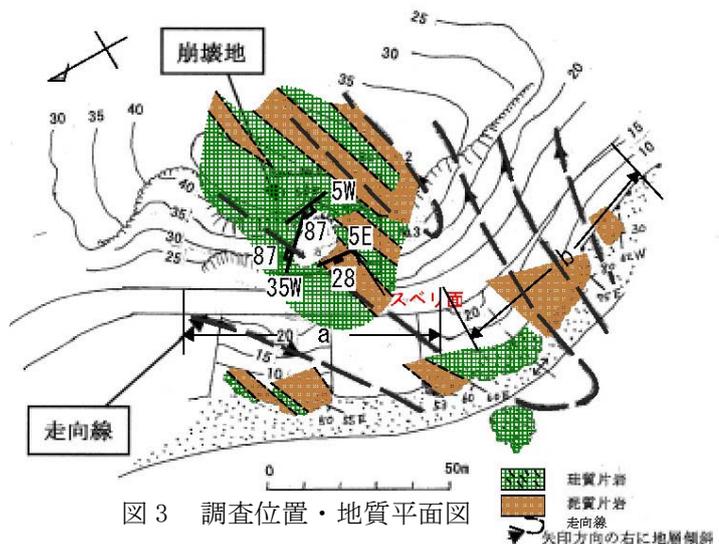


図 3 調査位置・地質平面図

b. 珪質片岩の高角度節理面が平行に発達しており、壁状に立ち上がり分離面（滑落崖）となっている。

誘因は4月～5月にかけての降雨により、岩盤(珪質片岩)の高角度節理面に雨水が供給されたことにより間隙水圧が上昇したこと、および泥質片岩の強度低下が進んだため発生したものと推察される。

崩壊の形態は高角度の節理面と、低角度の片理面及び層理面が分離面となる「複合すべり崩壊」もしくは「ブロック崩壊」¹⁾である。

2.2 切土のり面崩壊 I

(1) 崩壊の状況

中～古生層の玖珂層群相当層の砂岩・泥岩互層域にある工事中の切土のり面で崩壊が発生した。崩壊部周辺は泥岩が優勢で、層理面・弱い片理面・節理面が発達する。のり面に現れる泥岩は全般に硬質であるが、不連続面の組合せによりすべりが発生したものである。当該のり面については、のり面掘削の初期の段階に調査を行い、弱面解析によりのり面の適正勾配(1:1.8)を事前に提案した。しかし、諸事情により勾配 1:1.0 で施工された結果崩壊が発生した。図4に地質平面図を示す。また、発生した平面破壊およびくさび破壊の状況を写真3に示す。

(2) 安定性の検討

平面破壊とくさび破壊につき検討を行った。想定される平面破壊については、面の発達頻度と広がりが必要と考えられるため、のり面全区間での発達状態を、また、くさび破壊は短い道路延長区間でも不連続

面の組合せで発生する傾向にあることから道路延長20m区間の破壊をそれぞれ図5に示すシュミットネット解析により検討した。

のり面に対する不連続面の交叉角や勾配を「切土ノり面：地盤工学会編」²⁾による次の点を考慮して安定性を判定した。

- a) 不連続面の傾斜が20°以下の緩い傾斜は「流れ盤」から除外
 - b) 不連続面の走向と法面の走向が60°以上であれば崩壊は起こりにくくなる
- なお、道路のり面勾配は1:1.0(45°)

であり、計画のり面走向は南北方向である。

解析結果を図5に示し表1にまとめた。この結果、N41°W・37°Sの不連続面が最も顕著で他の面の延長を切って広く発達し単独の平面破壊を発生させる可能性が、24°～38°の傾斜角を有する不連続面の組合せがくさび破壊を発生させる可能性があることがわかった。

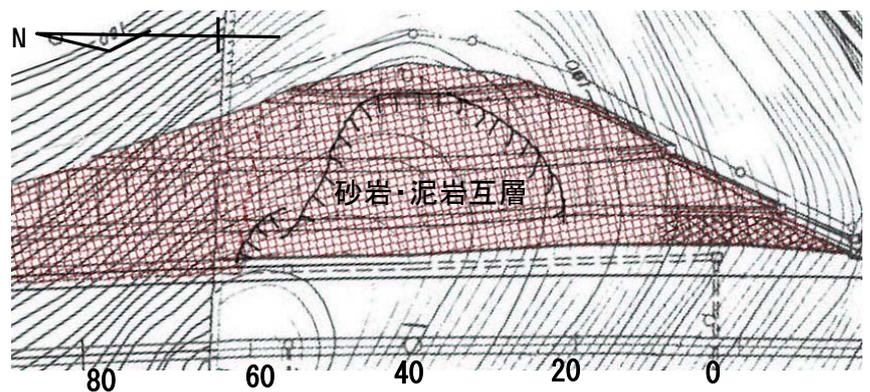


図4 地質平面図

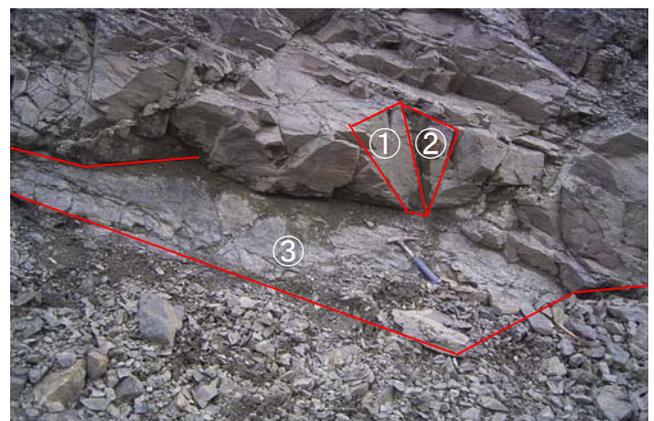
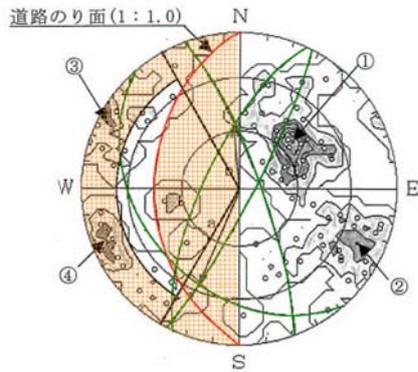


写真3 平面破壊とくさび破壊

- ①②・・・くさび破壊
- ③・・・平面破壊

i) 平面破壊



発達する不連続面の集中度の高い順に

○① $N41^{\circ} W \cdot 37^{\circ} S$

×② $N25^{\circ} E \cdot 72^{\circ} N$

×③ $N27^{\circ} W \cdot 83^{\circ} S$

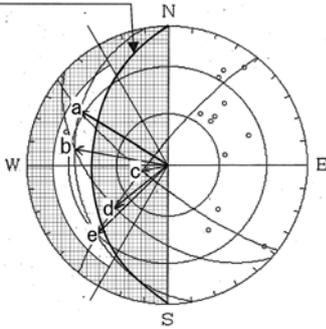
×④ $N21^{\circ} W \cdot 80^{\circ} N$

上記の①が最も顕著で他の面の延長を切って広く発達し、単独の平面破壊を発生させる。

ii) くさび破壊

0~20m区間

道路のり面(1:1.0)



○a $N32^{\circ} E \cdot 30^{\circ} N$

○b $N 9^{\circ} E \cdot 34^{\circ} N$

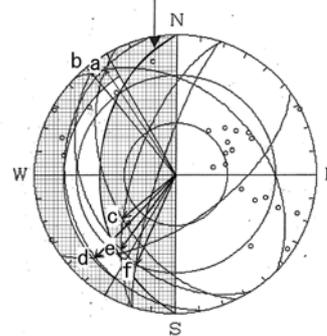
×c $N 2^{\circ} W \cdot 76^{\circ} S$

×d $N42^{\circ} W \cdot 56^{\circ} S$

○e $N45^{\circ} W \cdot 38^{\circ} S$

20~40m区間

道路のり面(1:1.0)



×a $N56^{\circ} E \cdot 20^{\circ} N$

×b $N50^{\circ} E \cdot 18^{\circ} N$

×c $N40^{\circ} W \cdot 58^{\circ} S$

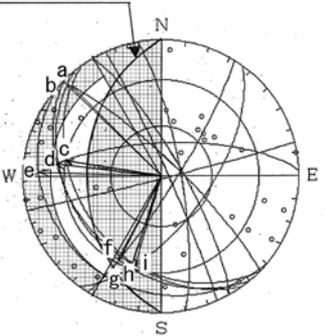
○d $N46^{\circ} W \cdot 28^{\circ} S$

×e $N54^{\circ} W \cdot 50^{\circ} S$

×f $N64^{\circ} W \cdot 56^{\circ} S$

40~60m区間

道路のり面(1:1.0)



×a $N45^{\circ} E \cdot 12^{\circ} N$

×b $N44^{\circ} E \cdot 10^{\circ} N$

○c $N 9^{\circ} E \cdot 32^{\circ} N$

○d $N 6^{\circ} E \cdot 24^{\circ} N$

×e $N 2^{\circ} E \cdot 12^{\circ} N$

×f $N68^{\circ} W \cdot 52^{\circ} S$

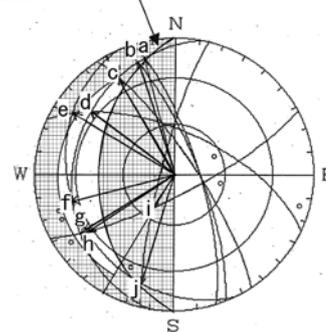
×g $N69^{\circ} W \cdot 58^{\circ} S$

×h $N77^{\circ} W \cdot 60^{\circ} S$

×i $N79^{\circ} W \cdot 66^{\circ} S$

60~80m区間

道路のり面(1:1.0)



×a $N75^{\circ} E \cdot 40^{\circ} N$

×b $N72^{\circ} E \cdot 40^{\circ} N$

×c $N60^{\circ} E \cdot 36^{\circ} N$

○d $N38^{\circ} E \cdot 24^{\circ} N$

×e $N31^{\circ} E \cdot 18^{\circ} N$

○f $N16^{\circ} W \cdot 26^{\circ} S$

○g $N32^{\circ} W \cdot 26^{\circ} S$

○h $N34^{\circ} W \cdot 30^{\circ} S$

×i $N57^{\circ} W \cdot 78^{\circ} S$

×j $N78^{\circ} W \cdot 48^{\circ} S$

図5 シュミットネット解析

(ネットの左半分の白抜き部分が破壊危険区域を示す。各ネット右の走向・傾斜は、平面破壊が面の極を、くさび破壊が不連続面交線の線構造の極を表わし、○印はこの危険区域内に入ることを示す。)

表1 不連続面解析結果一覧表

破壊の危険がある弱面 注1)			のり面に対し見掛け傾斜角 (°) 注2)	適正のり勾配 注3)	提案勾配		
区間	面	走向・傾斜(°)	種類				
全区間	①	N41W・37S-○	平面	30	1 : 1.6	1 : 1.8	
	②	N25E・72N-×		70			
	③	N27W・83S-×		82			
	④	N21W・80N-×		79			
0~20	a	N32E・30N-○	くさび	26	1 : 1.8		
	b	N9E・34N -○		34			
	c	N2w・76S -×		76			
	d	N42W・56S-×		48			
	e	N45W・38S-○		29			
20~40	a	N56E・20N-×		12 (≦20)			1 : 1.8
	b	N50E・18N-×		11 (≦20)			
	c	N40W・58S-×		45			
	d	N46W・28S-○		20 (≦20)			
	e	N54W・50S-×		35			
	f	N64W・56S-×		交差角60<			
40~60	a	N45E・12N-×		8 (≦20)			1 : 1.8
	b	N44E・10N-×		7 (≦20)			
	c	N9E・32N -○		32			
	d	N6E・24N -○		24			
	e	N2E・12N -×	11 (≦20)				
	f	N68W・52S-×	交差角60<				
	g	N69W・58S-×	交差角60<				
	h	N77W・60S-×	交差角60<				
	I	N79W・66S-×	交差角60<				
60~80	a	N75E・40N-×	交差角60<	1 : 1.8			
	b	N72E・40N-×	交差角60<				
	c	N60E・36N-×	交差角60<				
	d	N38E・24N-○	19 (≦20)				
	e	N31E・18N-×	16 (≦20)				
	f	N16W・26S-○	24				
	g	N32W・26S-○	22				
	h	N34W・30S-○	26				
	I	N57W・78S-×	69				
	j	N78W・48S-×	交差角60<				

注1) ○印は破壊の危険がある弱面を示す。

注2) 以下を考慮した(「切土ノリ面」: 地盤工学会編による)

・不連続面の傾斜が20°以下の緩い傾斜は「流れ盤」から除外する。

・不連続面の走向と法面の走向が60°以上であれば崩壊は起こりにくくなることから除外する。

注3) 岩の分類による勾配を考慮している。

また、表1に示すように、平面破壊の危険がある弱面ののり面に対する見掛けの傾斜角は30°、くさび破壊の危険がある弱面ののり面に対する見掛けの傾斜角は20°程度であるため、図6³⁾を参考に安定勾配(適正勾配)を決定した。

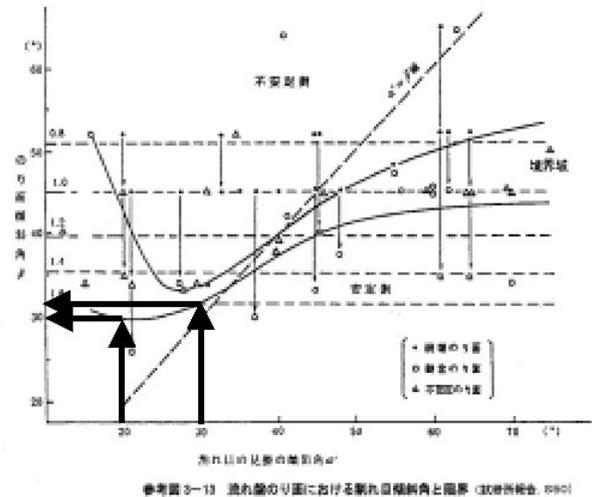


図6 流れ盤のり面における割れ目傾斜角と限界

2.3 切土のり面崩壊Ⅱ

(1) 崩壊地の状況

中～古生層玖珂層群相当層の黑色頁岩からなる工事中の切土のり面で道路延長約 50m にわたり崩壊が発生した。黑色頁岩は剥離性の節理面が発達した軟岩で、高角度山差し断層が粘土化帯を伴って数条発達している。また崩壊部の黑色頁岩のり面は上位の礫岩層から供給されたと思われる浸透水により湿潤状態にある。図 7 に地質平面図、崩壊状況を写真 4 に示す。

(2) 崩壊の原因

崩壊は以下の素因・誘因が考えられる。

- ① のり面の下部に黒鉛化した黑色頁岩層が分布することで、崩壊はこの地質の分布範囲とほぼ一致している。黑色頁岩層内には高角度山差しの断層（N15° W・80W 系統）が数条発達し巾 2～5cm の粘土化帯を伴い、この断層の存在が変状に大きな影響を与えた。
- ② のり面掘削に伴う応力解放により、掘削前には地中で拘束状態にあった黑色頁岩層内の断層粘土部分の吸水膨張を促した。
- ③ 黑色頁岩層上位の礫岩層からの水が供給され易い地形状態であった。

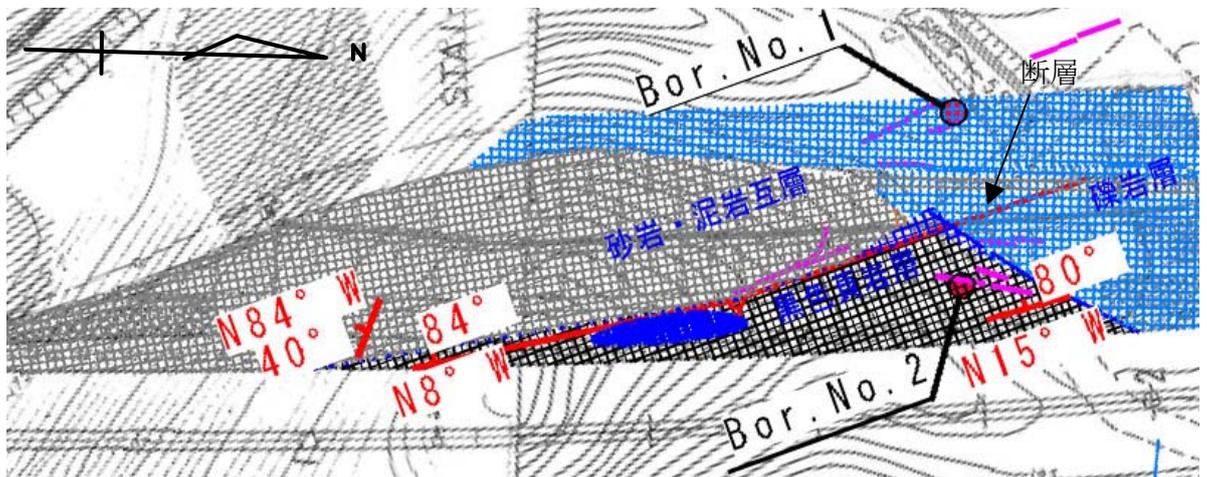


図 7 調査位置及び地質平面図

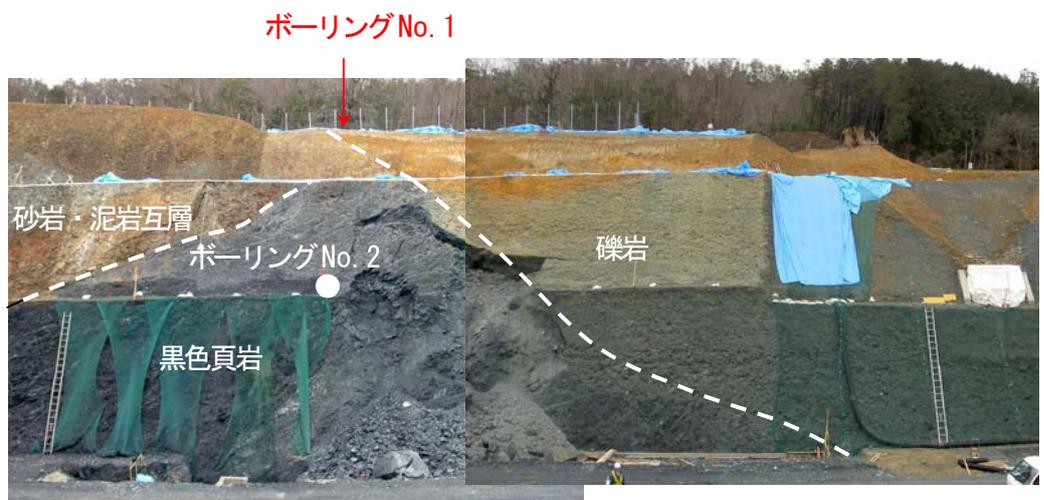


写真 4 のり面崩壊状況

のり面崩壊は模式的に図8で表わされる。図中の「上部の引張り亀裂」は現地踏査で確認された亀裂であり、「破壊面」は調査ボーリングで確認された破砕部に相当する。

上記した諸要因により、のり面のトップリングが発生し、のり面が道路側に変位するに伴い上部にすべり破壊が進行し亀裂が顕在化したものと思われる。

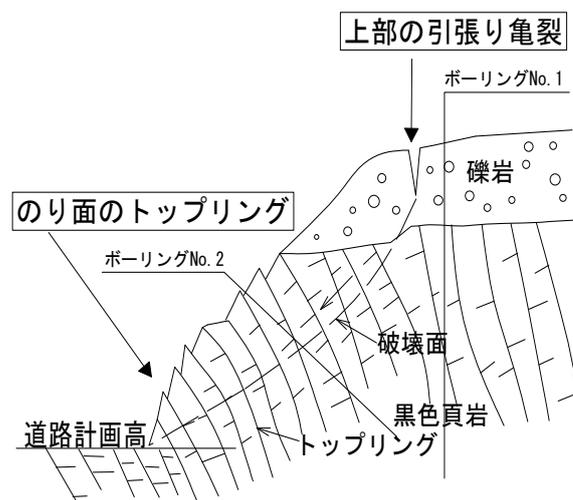


図8 崩壊模式断面図

3. 対策工の方針

斜面・のり面の地質・岩盤特性を踏まえた対策工の方針等を提案した。

3.1 自然斜面の崩壊

1. 崩落が懸念される部分の重量を軽減する。

珪質片岩に発達する分離面を利用して、階段状に排土して平均勾配1:0.5~0.8ののり面とする。

2. 表層の緩み部分が地山から分離しないように安定部分と一体化させる。

泥質片岩の流れ盤が存在することから、この部分の風化に伴う劣化により将来的にすべり面となる可能性がある。このためロックボルトやグラウンドアンカー等で安定地山に定着させる。

3. 表流水が高角度節理を通して岩盤内に浸入しないように表面排水対策を講じる。

3.2 切土のり面の崩壊

(1) 切土のり面Ⅰ

切土のり面の適正のり勾配を事前に検討した。提案したのり勾配は表1に示すとおり1:1.8である。工事の範囲を縮小できるのり面对策工の併用も考えられたが、本のり面に関しては用地問題について解決したうえで適正のり勾配(1:1.8)での切土工事が計画されている。

(2) 切土のり面Ⅱ

対策工としては以下の3案につき比較検討を行った。

第1案 切土(1:1.0)+グラウンドアンカー工+大型ブロック積擁壁工(1:0.5)案

第1のり面のくさび土塊の対策としては、大型ブロック積擁壁工、第2及び第3のり面については、切土勾配1:1.0の切土工+全体スベリを抑止するグラウンドアンカー工。

第2案 切土(1:1.0)+グラウンドアンカー工+抑止杭工+大型ブロック積擁壁工(1:0.5)案

第1のり面において全体スベリを抑止する抑止杭工、第2及び第3のり面については、切土勾配1:1.0の表層崩壊を抑止するグラウンドアンカー工。

第3案 グラウンドアンカー工+切土工(1:1.0)案

第1のり面の切土勾配1:0.7、第2及び第3のり面については、切土勾配1:1.0の切土工+全体スベリを抑止するグラウンドアンカー工。

上記3案のなかから、最も経済的で崩壊のり面对策の施工例が多い第3案(図9)を提案した。

