

過去の地すべり地における法面崩壊

Slope Failure in Past Landslide

西村悟之	Satoyuki NISHIMURA	(株)荒谷建設コンサルタント)
池田利和	Toshikazu IKEDA	(株)荒谷建設コンサルタント)
藤村 尚	Hisashi FUJIMURA	(鳥取大学工学部)

切土法面が崩壊する原因は幾つか挙げられるが、中でも過去の地すべり土塊の末端の切土によるものも事例的に少なくないと思われる。本文ではこのような原因で発生した法面崩壊についての調査・解析について述べる。小規模な切土であっても、特異な地形が認められれば、広い視野で地形を捉え、地質学的に地形形成史を考察し、地すべり発生機構を明らかにする必要がある。潜在的な大きなすべりを推定することにより、適切な調査項目が得られ、二次災害を未然に防ぐことができると考えられる。

キーワード：蛇紋岩、旧地すべり、地形形成史、特異地形、粘土鉱物 (IGC: C0/E6)

1. はじめに

地山を切土した後、法面が崩壊したといった事例はよく耳にすることであり、その原因としては地質の差異、地質構造などが挙げられるが、中でも過去の地すべり土塊の末端を切土したために、地すべりを再発させる事例は少なくないと思われる。本文ではこのような斜面の末端を切土したために発生した法面崩壊についての調査・解析について述べるものである。

崩壊は現道の道路線形を改良する目的で斜面を直高10m程切土した直後の平成4年3月16日に発生した。切土量が少なかったため、幸いにも切土法面自体の崩壊と、法肩から10m程斜面上方にクラックが発生したに留まった。応急対策として押さえ盛土を施工し、調査を行った。崩壊箇所の地質は、三郡変成岩類に属する泥質・緑色片岩、およびこれに貫入した超苦鉄質岩体の蛇紋岩よりなり、両者は断層により接触しており、蛇紋岩は非常に脆弱化している。

本文中では、当崩壊の要因となる地質および地すべり発生機構について述べるとともに、解析・対策上の留意点について考察したものである。

2. 地形・地質概要

調査地周辺の地質図を図-1に示す。この付近の地形的特徴としては、次のようなことが挙げられる。

- (1) 河川より西側の崩壊が発生した側の斜面では、標高約300mに地形変化点が認められ、山頂付近は急斜面を形成しているが、以低は緩丘面となっており、地すべり地形(凸状台地型地形)を形成している。
- (2) この付近において谷が開析されるとともに、河川が東から南へとほぼ90°に近い角度で向きを変え、斜面の向きも北向きから東向きに変わる。

調査地付近の地質は、古生代後期の三郡変成岩に属する泥質片岩、緑色片岩、蛇紋岩および新生代第四紀の安山岩溶岩が分布する。

このうち、三郡変成岩と蛇紋岩は西北西-東南東系の北落ちの衝上断層により境されており、これらの層は河川を挟んで帯状に分布している。安山岩溶岩は、これらを覆って山頂付近にキャップロックとして分布している。

今回の崩壊地付近では蛇紋岩及び緑色片岩が分布している。

3. 地表踏査結果

図-2に崩壊箇所付近の平面図を示す。地表踏査の結果から得られた情報は以下の通りである。

- (1) 河川の流向の変化点では緑色片岩の巨大な岩塊(幅30m, 高さ20m)が存在している。
- (2) この岩塊の背後は鞍部となっており、岩塊の下流側ではブロック積擁壁が施工されている。この擁壁からは常時湧水が認められる。また、岩塊はロックネットで保護されているが、圧縮亀裂と考えられる鉛直方向の開口した亀裂が認められる。
- (3) 切土は下流側より施工され、高さ10m程度の小規模な切土であったが、切土法面自体が崩壊し、上部斜面にはクラックが発生している。
- (4) 斜面上には硬質な緑色片岩が露出しているのが所々に認められるが、切土法面では蛇紋岩が露出する。蛇紋岩は風化が著しく、粘土状~葉片状を呈する。
- (5) 斜面は上方に向かうにつれてなだらかとなる。斜面は杉(樹齢50年位)の植林地であるが、樹木は一樣に根曲がり現象が見られる。
- (6) 地元住民からの聞き込みによると、過去50年間は地すべり・斜面崩壊などは発生していないというこ

とである。

4. 調査ボーリング結果

調査ボーリングは、1断面につき2箇所ずつ、計4箇所実施した。ボーリング結果より得られた地質、土質の特徴を表-1に示す。

表-1 調査地の地質構成

地質	土質	N値	色調	記 事
崩積土	礫混り粘土	4~20	茶	φ30mm程度の礫を90%程度含有する。
崩積土	蛇紋岩	11~38	靑緑	破砕され細片状(土砂状)、湧石を含む。中に泥質片岩、砂質片岩、緑色片岩の硬質な岩塊を含む。
河川堆積物	礫混り粘土	31~50	茶	DP.No.1以外で確認、草根混入。標高231~235m以下で確認。φ20mm程度の角礫を20%程度含有。

調査ボーリングの結果では、斜面を構成している地質は蛇紋岩が主であり、部分的に砂質片岩、緑色片岩の硬質な礫を含む。蛇紋岩の分類は産状により、塊状蛇紋岩、葉片状蛇紋岩、粘土状蛇紋岩に分類される¹⁾が、調査地においては葉片状蛇紋岩(原岩の節理系は消え、片状または葉片状にはげやすい性質をもつ)の状態として観察される。強度的にはN値は11~38とば

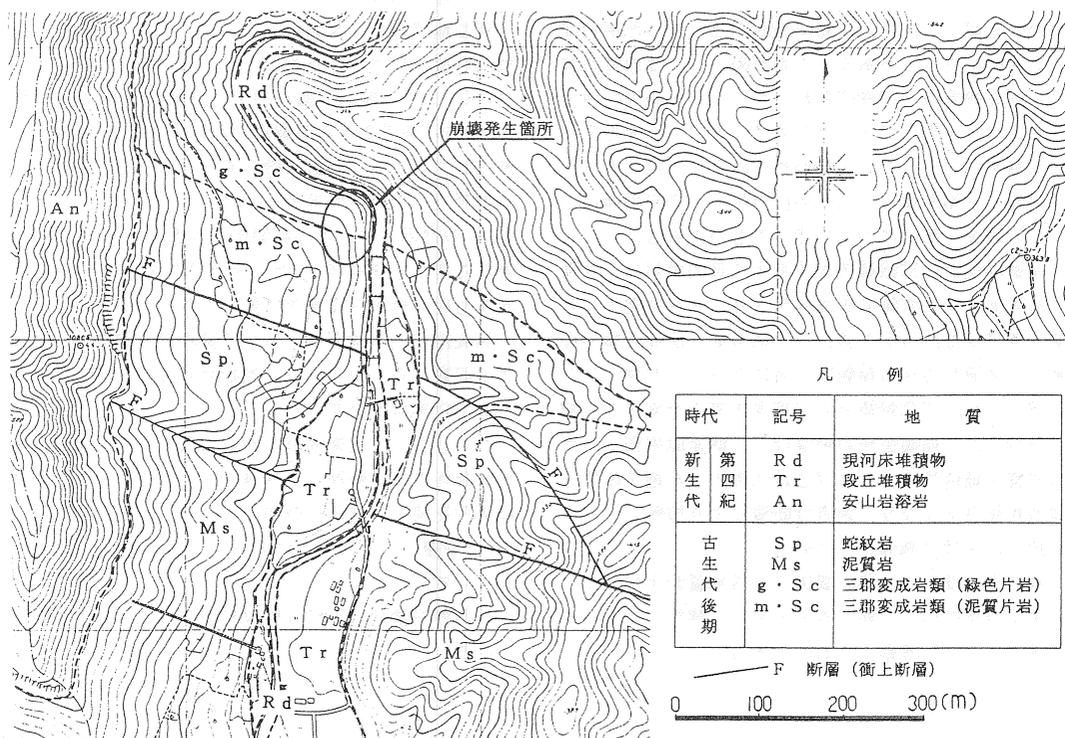


図-1 調査地周辺の地質図

らつきが認められ、中位程度の相対密度でしかない。蛇紋岩中に片岩類の礫が含まれていることについては、超苦鉄質岩体の貫入時にとり込まれたものと考えられる。また、その後の断層運動により、蛇紋岩と片岩類とが入り乱れた地質構造、分布を形成しているものと推定される。

さらに、特筆すべきことは、これらの下位、すなわち、現河床面と同標高付近に河川堆積物が確認されたことである。このことについての考察は後で詳しく述べる。

5. X線回折分析

崩壊地の地質は蛇紋岩が分布している。一般に蛇紋岩は粘土鉱物を多量に含むことから膨潤性を示すことが知られているため、粘土鉱物（主にモンモリロナイト）の存在を確認する目的で、標準貫入試験試料を用いてX線回折分析を行った。

分析の結果、モンモリロナイトは確認されなかったが、表-2に示すように滑石および緑泥石が確認された。滑石はモース硬度が1と最も軟らかい鉱物であり、せん断抵抗角が小さいことが推測される。²⁾ 緑泥石は

緑色片岩の主要鉱物であり、地すべりを引き起こす原因の一つとなっている鉱物である³⁾。

この結果、膨潤性については、粘土鉱物の含有量がBor. No. 1の試料では蛇紋石しか確認されていないことから多くないと判断されることから問題ない。しかし、滑石、緑泥石の存在によりせん断抵抗角の低下について考慮する必要があると考えられる。

表-2 X線回折分析結果

Bor. No.	鉱物
1	C
2	C, T, Ca
3	Ch, T

C: 蛇紋石, T: 滑石, Ca: 方解石, Ch: 緑泥石

6. 調査結果と地すべり発生機構についての考察

No. 2, 3, 4の調査ボーリングより、ほぼ現河床標高付近で河川堆積層が分布することが判明した。このことにより現在の地形は地すべりによる土塊の押し出しにより形成されたものと考えられる。つまり、図-2に示すように、旧河川は現在よりも山地側を直線に近

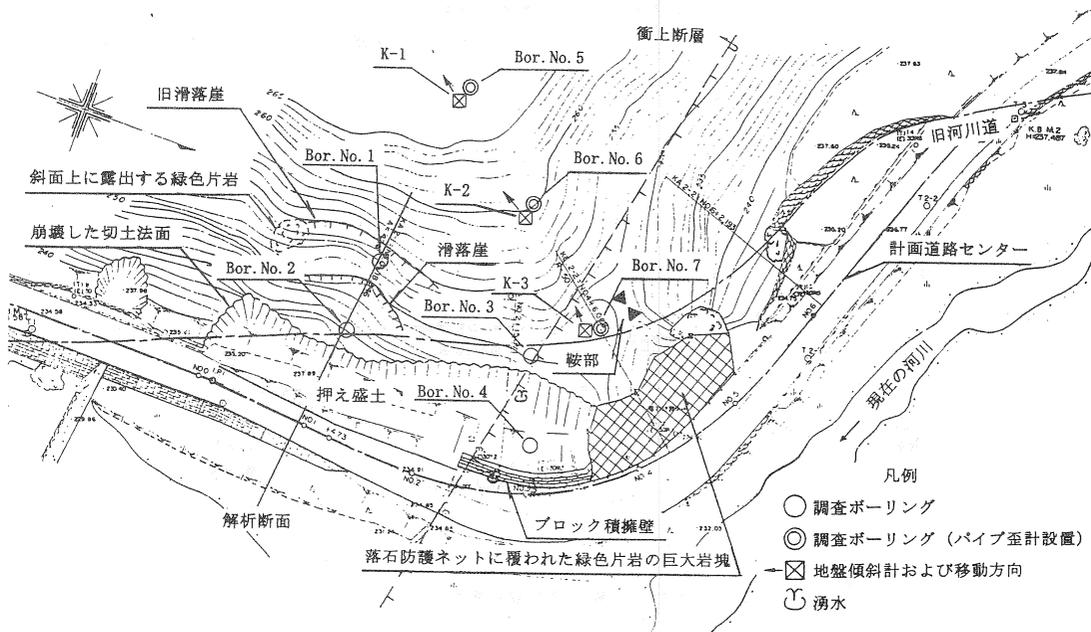


図-2 調査平面図

い線形で流下していたものと推定される。要するに、現在ロックネットで覆われている岩塊自体も移動土塊の一部であり、斜面末端の押さえとして働いているものと考えられる。ブロック積擁壁の亀裂や岩塊に発達する鉛直方向の開口亀裂は、圧縮を受けていることを裏付ける証拠であろう。

また、法面上の蛇紋岩は全体的に破碎され細片状を呈する。既往の地質図⁴⁾では調査地南方の0.4kmの範囲まで断層が及ぶとされており、この範囲内にある山地一帯もこのような土砂状化した岩盤で構成されているものと考えられる。

このようなことから、現在発生している崩壊は小規模なものであるが、標高300m付近の地形変化点を頭部とし、河床面に至る大規模な潜在的な地すべりの存在が推定される。

これまでの調査結果により、現在の斜面の形成過程を推測してみると、次のようになる。

- ・三郡変成岩類（泥質片岩、緑色片岩）の形成。
- ・西北西-東南東方向の衝上断層運動。→幅広い断帯を伴う。
- ・断層に沿った超苦鉄質岩体の貫入（以上古生代後期）
- ・その後の断層運動による超苦鉄質岩類の破碎化およびキャップロックとなる安山岩溶岩からの地下水の供給による蛇紋岩化作用の促進（古生代後期～新生代第四紀）

・安山岩溶岩より下方斜面において大規模な地すべりの発生（新生代第四紀）。→その後の断続的な地すべり活動により河川の流路屈曲。現在に至る。

このような地形形成過程を経ているため、当地は数多くの地すべり発生の素因を合わせ持っていると言える。

- (1)蛇紋岩自体が非常に弱い岩石であること。
- (2)加えて、断層破碎帯内に分布していることから、破碎化、脆弱化が助長されたこと。
- (3)安山岩溶岩がキャップロックとして分布するために豊富な地下水の供給がなされ、蛇紋岩化、風化を促進させたこと。

今回の法面崩壊は、上記のような素因のもとに発生した大規模な地すべり地の末端を切土したために起こったものと判断できる。調査地の地すべりを模式的に表すと、図-3のようになる。

次に、前述したように、斜面上での調査ボーリングから河川堆積層が確認されたが、この意味を以下に検討する。

まず、河川堆積層が現斜面の下部に存在するという事は、昔は少なくともボーリング地点は河川であったという証拠、すなわち斜面は山側に存在していたということになる。

そして、注目すべきことは、図-2において河川堆積層が確認されたボーリングポイント(No.2,3,4)は、ロックネットで保護されている巨大岩塊の10m程下流

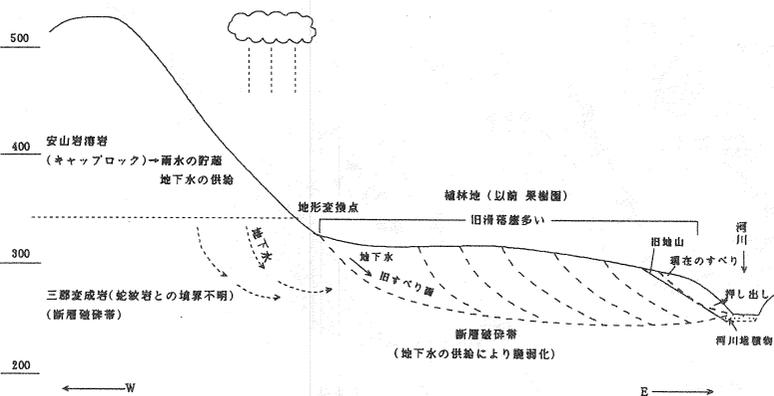


図-3 調査地の模式断面図

側で、かつ山側であったということである。現地踏査の段階では、岩塊背後の鞍部の存在は、断層によるものと考えていた。しかし、岩塊の下流側で河川堆積層が存在するという事は、河川流路から考えても、この岩塊も以前はこの位置にはなかったと考えるしかない。断層を否定するわけではないが、この巨大な岩塊も地すべり移動土塊の一部と考えた方が、自然である。実際、下流側の斜面上にも緑色片岩が露出している箇所（Bor. No. 1の20m南側）があり、現地踏査の段階で、岩塊自体が移動して現在の位置にあるという判断は難しいものがあつた。

この岩塊が移動層の一部であることを確認するため背後の斜面で3箇所（Bor. No. 5, 6, 7）の調査ボーリングを行った。ボーリング孔にはパイプ歪計を設置し、ボーリング箇所付近に地盤傾斜計を設置することにより、移動状況および方向を観測した。

調査ボーリング結果より、最上部斜面でのボーリング（Bor. No. 5）で層厚25mもの崩積土が確認された。この崩積土の下面の標高は、ほぼ現道路面と同標高であった。崩積土の基盤は蛇紋岩が確認された。なお、今回のボーリングでは河川堆積層は見い出されず、旧河川道は図-2に示すような流路が推定される。

パイプ歪計の観測では、図-4に示すように、崩積土の下面で28 μ /月の潜在変動以下ではあるが歪が観測された。また、地盤傾斜計の観測でも図-5に示すように1秒/日程度の潜在性の変動が確認された。移動方向はSW方向、つまり岩塊から山側へ向かう方向を示しており、岩塊が地すべり末端の押さえとして働いているという想定と一致する結果が得られた。

7. 解析および対策工の検討

調査の結果、崩壊法面背後に大規模な地すべりの存在が想定されるため、このまま同様に切土すれば地すべりを再発させることは明らかであることから、原形復旧を目的として崩壊法面について解析・対策工法の検討を行った。その際に、考慮した点は以下の通りである。図-6に解析断面図を示す。

(1)土質定数の設定は逆算法によつたが、一般的に行われている方法（粘着力を地すべり層厚の1/10とし、せん断抵抗角を求める⁵¹）では、 $\phi=30'$ 以上の値となる。しかし、滑石の存在や現況の自然斜面勾配が25'程度であるなどの点を考慮して $\phi=25'$ に低減してせん断抵抗角とした。

(2)対策工を検討するすべりは、現在の滑落崖から現道

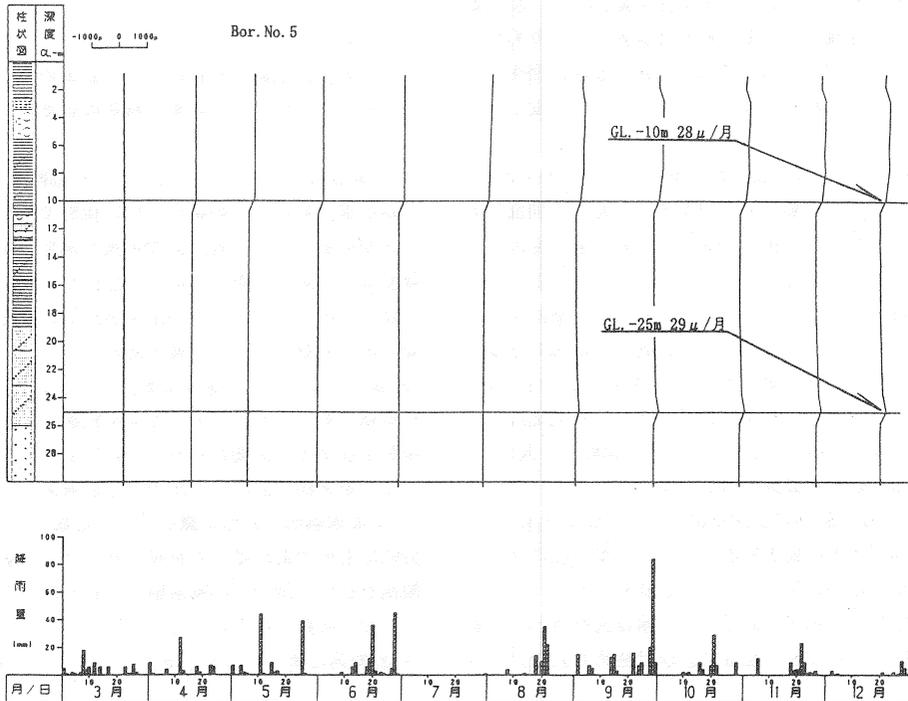


図-4 パイプ歪変動図

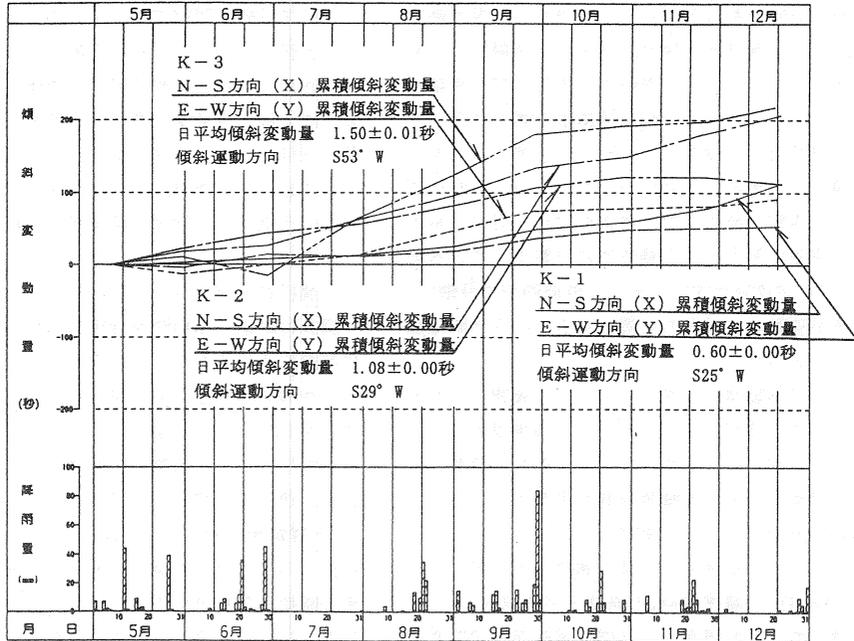


図-5 地盤傾斜変動図

路面に至るすべりはもちろんであるが、今回発生した滑落崖よりも斜面上方の旧滑落崖を頭部とし、現道路面下の河川堆積層の上面に沿う後退性のすべりも想定した。このすべりについては、道路に変状が発生していないことから現在活動していないとして、安全率を $F_s=1.05$ とした。

(3) 対策工としては、湧水が確認されることから水抜きボーリングは必要不可欠である。ただし、斜面下方から打設の方が効果的であるが、押え盛土を取り除かないと施工できない。よって、水抜きボーリングの施工は押え盛土除去後となることから、必要抑止力は次のように考えて決定した。押え盛土を除去した場合の最高水位での安全率 $F_s=1.05$ に対する不足力と、水抜きボーリングによる水位低下 (3m) を見込んだ時の安全率 $F_s=1.20$ に対する不足力を比較し、大きい方の後者の値を必要抑止力とした。

(4) 抑止工は、斜面の安定を図りながら斜面上部から迅速に施工する必要があることから、受圧板にプレキャスト板を用いたアンカー工法を採用した。

この解析・対策工に基づいて工事は施行され、無事に完了した。その後、法面に変状は認められないよう

である。

8. おわりに

今回の法面崩壊の事例により、過去の地すべり地における切土についての調査・解析の留意点について述べる。

(1) 小規模な切土であっても十分に現地踏査を行うことが必要である。この場合、広い視野で地形を捉えることが肝要であり、地形図で特異な地形 (鞍部の存在、緩斜面・平坦地の存在、河川の屈曲など) が認められれば、どのようにしてこの地形が形成されたのかを地質学的に考察してみる必要がある。

(2) 過去の地すべりが想定されるなら、たとえ崩壊が小規模であっても、旧すべり面を把握できるよう調査項目を設定する必要がある。これにより二次災害 (すべり) を未然に防ぐことができると考える。

(3) 斜面末端部に岩盤が露出している場合、それが部分的なものであればその背後でボーリング調査、動態観測を行い、地山 (不動岩盤) であるかどうかを確認しておく必要がある。

(4) 蛇紋岩は地すべりを引き起こしやすい岩石であるが、

過去の地すべり地における法面崩壊

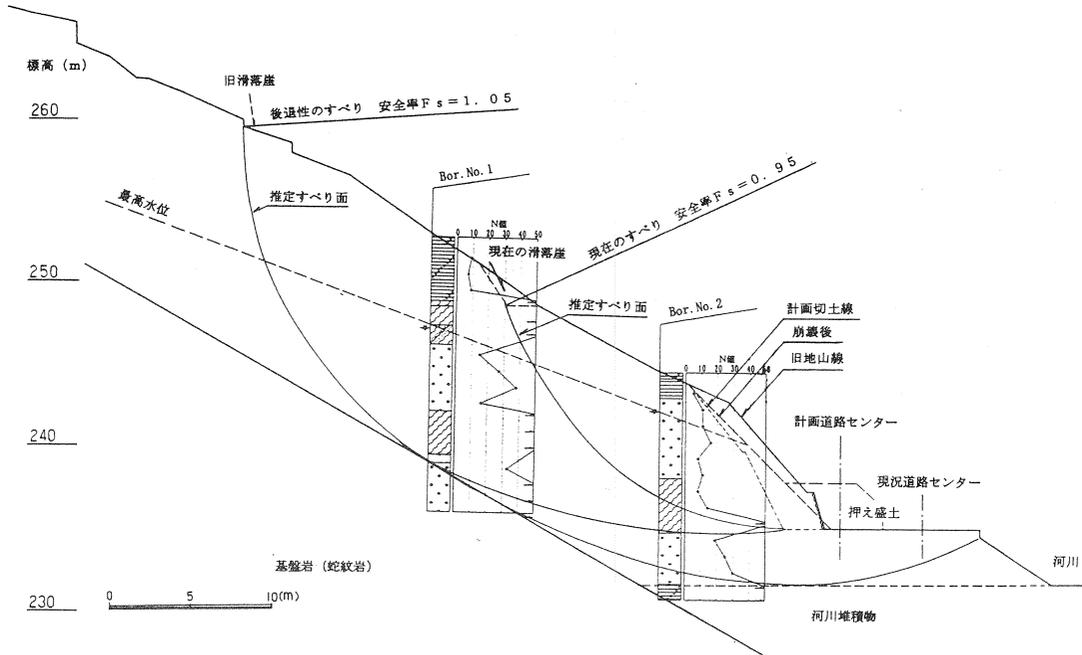


図-6 断面図

これが地すべり土塊である場合、粘土鉱物の有無を確認することは有効である。蛇紋岩中に滑石、緑泥石などが含まれているならば、せん断抵抗角の低下が考えられるので、安定解析においてその点を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 野地正保：蛇紋岩の調査と評価，地質と調査，第2号，pp. 34～39，1989.
- 2) 矢田部龍一・八木則男・榎明 深：破碎帯地すべり地のリングせん断特性，土木学会論文集，No. 436/Ⅲ-16，pp. 93-101，1991.
- 3) 横田公忠・矢田部龍一・八木則男：蛇紋岩の風化粘性土の強度特性，土木学会論文集，No. 529/Ⅲ-33，pp. 155-163，1995.
- 4) 村上不二雄・坂本 亨・山田直利：若桜地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1図幅），工業技術院地質調査所，1979.
- 5) 日本道路協会：道路土工一のり面工・斜面安定工指針，1986.