

2. 事前予測が困難な岩盤すべりの事例

The example of a difficult rock landslide of the prior prediction

(株) ナイバ ○山本和彦

(株) 四電技術コンサルタント 露口耕治

1. はじめに

道路計画上、やむを得ず地すべり地内で道路を計画する場合、事前の地すべり規模や安定度から対策工を決定し、動態観測を行いながら道路土工を進める。一方、地すべり地形を示さない箇所でも、切土によって地すべりを発生することがある。ここでは三波川結晶片岩地帯において、鞍部地形で発生した事前予測が困難であった岩盤すべりを紹介する。

2. 長大切土法面への対応

やせ尾根を横断する路線において、鞍部地形を示す箇所で両切り開削が計画された。基盤岩は緑色片岩からなる(図-1参照)。ボーリング調査によって風化岩が厚く分布すること、軟らかい粘土薄層(緑泥石片岩起源)を介在することが確認された。高さ約35mの長大切土法面では、のり面崩壊など不安定化しやすい地形地質状況にあると評価した。このため施工段階で法面に地質悪質部や変状が確認された場合、迅速に調査・観測を行い、法面对策を実施する体制で施工に臨んだ。

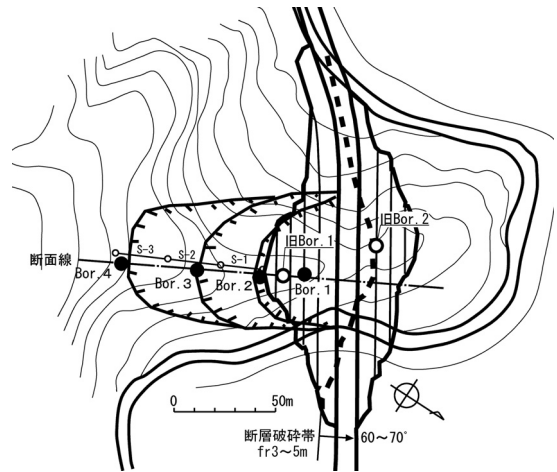


図-1 平面図

3. 切土によるすべりの拡大とその対応

①両切りのうち南側切土法面は図-2に示すように、勾配1:1.2、高さ7m毎に小段を有する5段法面からなる。上から3段法面まで切土した時点で連続雨量200mmの豪雨に見舞われ、のり面にハラミ出し変状が現れた。このため孔内傾斜計(Bor. 1, Bor. 2)と地盤伸縮計(S-1, S-2)による動態観測を開始した。観測の結果、ボーリング Bor. 2 孔では、深度8.5m, 13m, 18mの3箇所にせん断変位が現れた(図-3参照)。

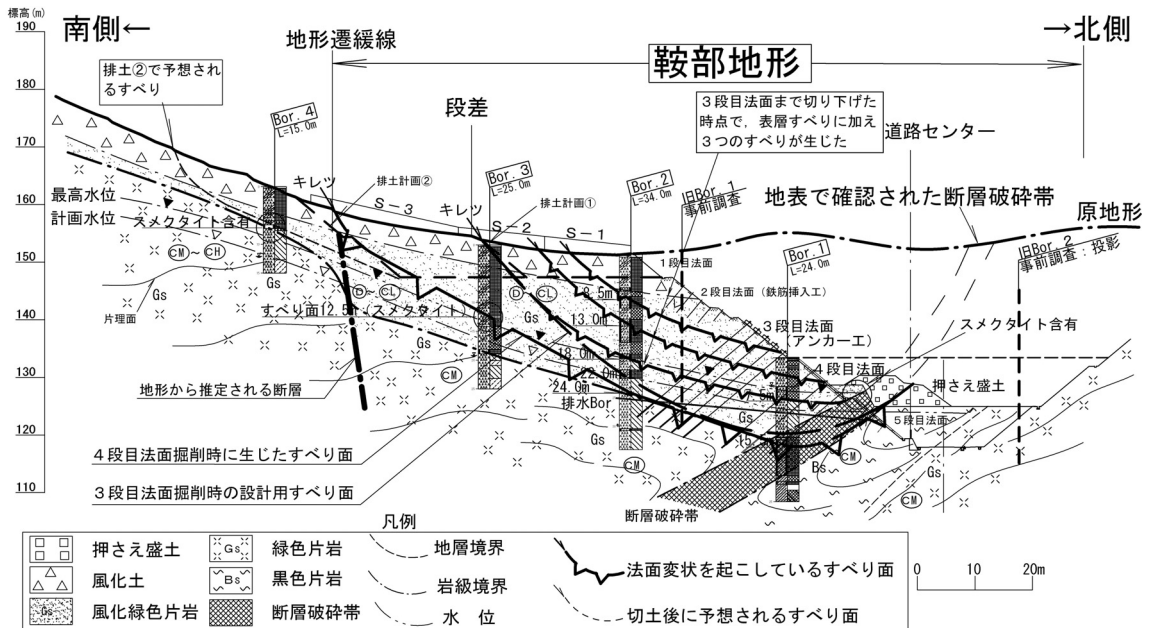


図-2 地質断面

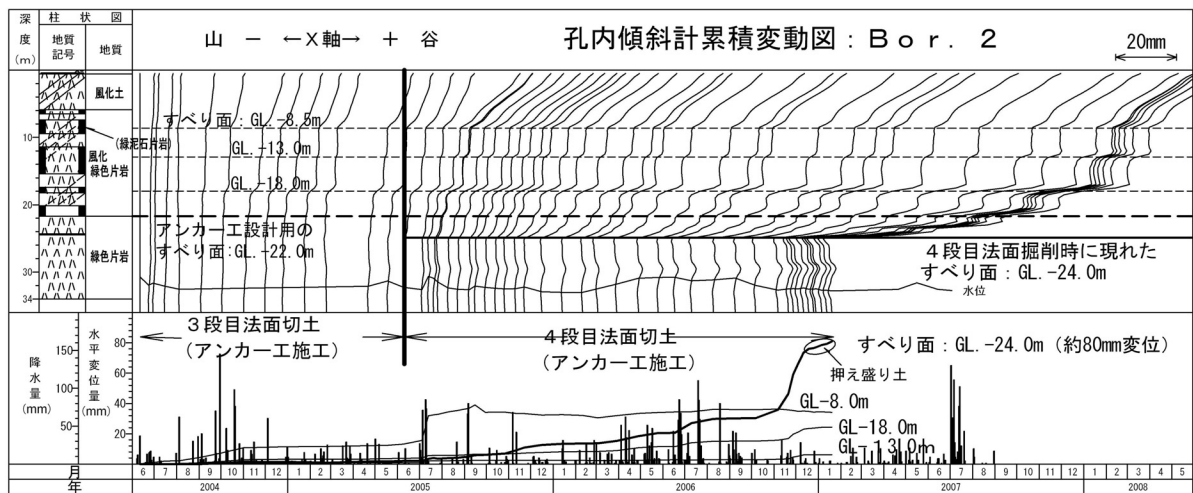
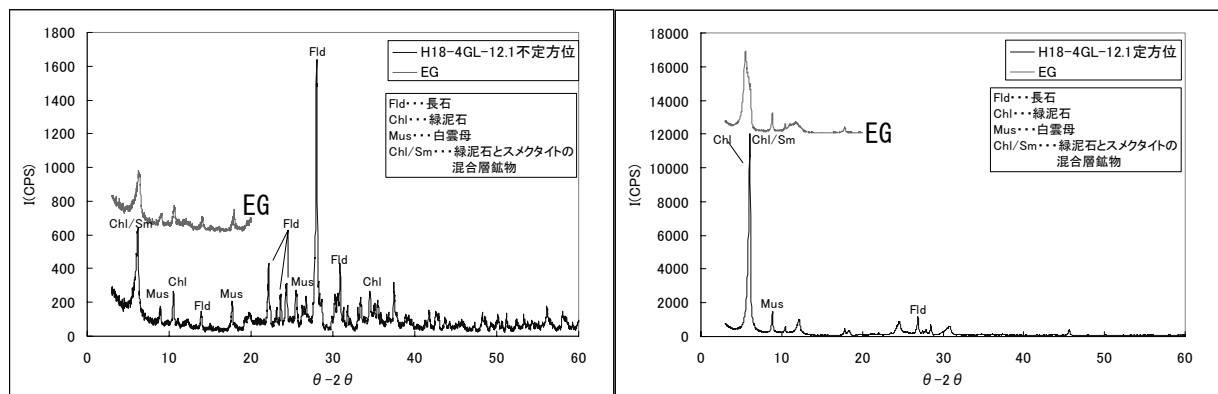


図 - 3 孔内傾斜計累積変動図

- ②法面対策用のすべり面は、地質状況から安全側に考慮して、確認された最深すべり面より4m深い深度約22.0mの粘土薄層部とし、すべりの頭部位置は亀裂を生じた「段差」にした。このすべり面を用いて3段目法面と4段目法面のアンカー工を設計した。
- ③3段目法面のアンカー工施工後、4段目を切土しながらアンカー工を施工すると、設計深度よりも、さらに約2m深い深度約24mにすべり面が現れた。このためボーリング Bor. 2 の上方に Bor. 3 の孔内傾斜計観測孔を設置し、「段差」箇所から約20m上方の地形遷緩線箇所へ伸縮計(S-3)を追加設置し、観測を強化した。4段目の下部を掘削したところ、Bor. 2 の深度24m付近のせん断変位が増大し、地形遷緩線箇所に亀裂が現れ、伸縮計では1mm/日を示したことから、急遽押さえ盛土を行った。最終的なすべりは、幅約80m、長さ約100m、最大深さ24mの規模を有する岩盤すべりであった。
- ④地すべり規模の拡大とともに必要抑止力が大きくなり、頭部排土も想定されたことから、地形遷緩線箇所の背後でボーリング Bor. 4 を実施し、孔内傾斜計を設置した。
- ⑤地すべり変位を示す箇所の粘土薄層と地表に現れたすべり面の白色粘土についてX線分析を実施したところ、膨潤性粘土鉱物である緑泥石とスメクタイトの混合層鉱物を含んでいた。また、背後斜面の Bor. 4 のボーリングコアからも同様の混合層鉱物が確認された。



(a) 粉末試料

(b) 水簸方(5 μ m)

図 - 4 すべり粘土のX線回析チャート (Bor. 3, 深度12.1m)

4. 地すべり発生機構

4-1 地質からみた素因

(1) 鞍部に厚い風化岩が形成されたこと

ボーリング Bor. 2, Bor. 3 と, 地形遷緩線箇所⁽¹⁾の南側に位置する Bor. 4 を比較すると, 地形遷緩線の北側(切土側)では強風化岩が深度 15~22m と非常に厚くなっている。これは道路センターを通る断層破碎帯と鞍部地形の端部(推定断層)との間は, 破碎を受けた岩盤の風化軟質化が進行していたものと推測される。

(2) スメクタイトを含有する緑泥石片岩が流れ盤で分布していること

調査地では緑色片岩の他, 黒色片岩と剥離性が強く軟質な緑泥石片岩が分布する。片理面は, 数m以下の単位で小褶曲を繰り返す, 全体として東西性の走行で 20°前後の南傾斜と推定される。ただし, 道路センターの断層破碎帯の近傍では, 断層の引きずりにより片理面は北側へ傾斜し, 3段目法面から下側では流れ盤構造となっている。

緑泥石片岩は, 緑色片岩中に厚さ数 cm~100cm で膨縮しながら挟在され, 水を含むと極端に粘土化してヌルヌルし, X線回折によりせん断強度の小さい緑泥石とスメクタイトの混合層鉱物が確認された。法面下方において, この緑泥石片岩が流れ盤構造で分布していることもすべりの素因の1つと考えられる。

一般に, 三波川帯結晶片岩の内部摩擦角は 26 度前後を示すことが多い(表-1 参照)。しかし, 深度 24m 付近のすべり面で逆算法により求めた内部摩擦角は 16 度と極めて小さく, 膨潤性粘土鉱物の含有の影響が示唆される。

表-1 風化岩のすべり面強さの範囲⁽¹⁾

| 風化岩の種類 | 事例数 | 粘着力 c (kN/m ²) | (tf/m ²) | せん断抵抗角 ϕ (度) | |
|--------|-------|------------------------------|----------------------|-------------------|--------------|
| 変成岩 | 6 | 0~2 (1) | 0~0.2 | 20~28 (26) | |
| 火成岩 | 8 | 0 (0) | 0 | 23~36 (29) | |
| 堆積岩 | 古生層 | 7 | 0~4 (0) | 0~0.4 | 23~32 (29) |
| | 中生層 | 6 | 0~10 (5) | 0~1.0 | 21~26 (24) |
| | 古第三紀層 | 4 | 0~20 (7) | 0~2.0 | 20~25 (23) |
| | 新第三紀層 | 32 | 0~25 (20) | 0~2.5 | 12~22 (12.5) |

() は平均値を示す。

(3) 断層破碎帯により法尻の地質が脆弱になっていること

断層破碎帯は, 地表部では 60°~70°の高角度で南傾斜するが, 深部では 30°と緩くなり, 5段目法面の法尻付近に出現する。したがって, 最も応力の作用しやすい法尻の地質が脆弱となっていた。

(4) 断層破碎帯により地下水が貯留しやすい構造となっていること

計画のり尻付近には粘土化した不透水層の断層破碎帯が通っており, 背後からの地下水は断層破碎帯が遮水層を形成し, 地下水が貯留しやすい構造となっている。現場では降雨後にのり面からの湧水を確認しており, ボーリング Bor. 1 の水位は, 深度 5~9m の浅所で変動する。

4-2 誘因

(1) 切土による応力解放

切土の進行により⁽¹⁾のり面変状が表面部分から次第に地中深部へ波及し, 最終的に深度約 24m の深いすべりへと拡大した。すなわち, 切土によって土塊が除去され, その応力

解放により斜面の安全率が低下し、緑泥石片岩をすべり面とするすべりが生じた。

(2) 豪雨に伴う水位上昇と緑泥石片岩の強度低下

のり面変状の現れた梅雨前の平成16年5月には、10日～20日にかけて200mmの長雨（最大日雨量70mm）を経験している。これらの降雨状況からみて、断層破碎帯を不透水層として地山の地下水が上昇し、さらに地下浸透した雨水が緑泥石・スメクタイト混合層鉱物を含有する緑泥石片岩を膨潤させ、著しい強度低下を引き起こしたものと推測される。すなわち、切土によって斜面バランスの低下した状態で、豪雨に見舞われたものである。

5. 既設アンカー工を考慮した追加対策工

対策工の追加検討にあたり、安定解析では逆算法によりC、 ϕ を決定し、計画安全率に応じた必要抑止力を求めた。現状の安全率 $F_s=0.98$ 、粘着力Cは平均地すべり層厚から $C=14\text{kN/m}^2$ と仮定し、逆算により内部摩擦角は $\phi=16$ 度を算出した。なお、既に施工したアンカーはリフトオフ試験により、設計引き抜き抵抗力を維持していることを確認できたので、その約50%（引き止め効果分）のアンカー力は見込めると判断し、アンカー工の増し打ちの他、頭部排土、道路計画高さの見直し、排水ボーリング等を施工した。

6. まとめ

①四国の三波川結晶片岩地帯では調査地と同じように、道路土工の施工段階で想定よりも深い位置にすべり面が現れ、対策工が大規模となった事例の報告が2つある。1つは、「結晶片岩地域の予測しがたい地すべりの事例⁽²⁾」、もう1つは「松山自動車道建設における地すべり対策について⁽³⁾」である。これらと調査地では次のような共通点がある。

- ・ 破碎質な岩盤からなり、深部でも岩質は良くならない。
- ・ すべり面角度が15～22度と緩い。

四国の高速道路沿いでは、法枠アンカーの間に種類の異なったアンカーを増し打ちした長大法面の現場が見かけられる。これらも想定外のすべりの発生を示唆する。すなわち、地すべり地形を示さない斜面では、切土によってどの地質不連続面ですべり変状を起こすか、事前に予測するのは極めて困難である。安全性と経済性を考慮しながらすべりに対するリスクを軽減するには、動態観測による情報化施工で地すべり挙動が軽微なうちに察知し、早期に適切な対策工を選択することが重要と考える。

②緑泥石片岩が分布する箇所では切土を計画する場合、流れ盤であるか受け盤であるか、地質構造が法面安定に大きく関わる。このため、地表踏査だけでは地質構造が明確にならない場合には、ボアホールカメラによる孔内観察も有効であると考えられる。

〈引用文献〉

- 1) 道路土工 のり面工・斜面安定工指針 平成11年3月 日本道路協会：P-352
- 2) 地すべり第34巻第4号 予知困難な地すべりの諸問題；地すべり学会，末峯章，1998年 P27-34
- 3) 土質工学会30年のあゆみ；根之木，中村正人，1989年 P85-93