

風化千枚岩を対象とした切土法面工の設計について

新垣政弥、泉水雄太

株式会社 沖縄建設技研（〒901-2126 沖縄県浦添市宮城三丁目7番5-103号）

キーワード：切土法面、流れ盤構造、破碎帯、素因・誘因、抑止工

1.はじめに

時間短縮といった利便性の向上等のため、バイパスの建設が積極的に行われている。バイパスは山間部に建設される場合が多く、地形条件等に応じて橋梁やトンネルに代表されるような自然環境にやさしい工法が選定される場合がある。

しかしながら、建設コストを踏まえると、非常に高額になる傾向にあり、このため、切・盛土等の土構造により建設される場合も少なくない。切土による場合は、長大な切土法面になる場合がある。この場合は、土質の性状等を適切に評価することが求められている。

ここでは、風化千枚岩を対象とした切土法面が施工途中において崩壊し、復旧にあたっての設計事例について述べる。

2.当初設計の概要

山間部におけるバイパス建設のため、幅員24m程度を有する道路を建設することになっており、その一部は長大な切土法面として計画されていた。図-1に道路の標準断面図を、図-2に法面工の標準断面図を示す。

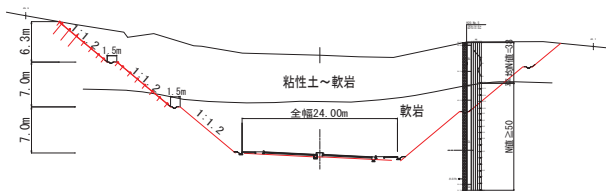


図-1 道路の標準断面図

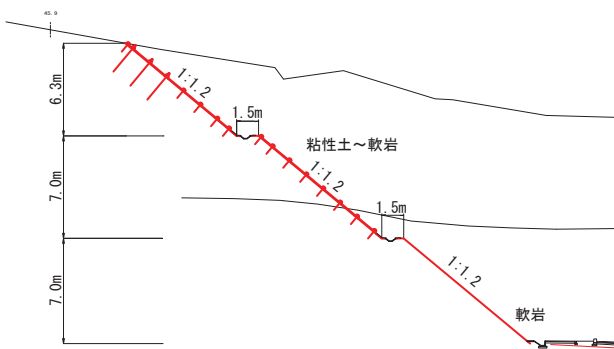


図-2 法面工の標準断面図

図-2に示すように、土質調査の結果から、地表面から9.0mまでは、平均N値=38の粘性土～軟岩、その下部はN値 ≥ 50 を有する軟岩として評価していた。これらの土層の色調は赤褐色を呈してことから、一般に風化千枚岩に分類されている。また、道路の左側(山側)から右側(海側)に向かって、流れ盤構造を形成していると評価していた。

これらを踏まえ、当初設計においては、法面勾配は1:1.2とし、小段を切土高7m毎に設け、トータルの切土高は概ね20mとしていた。

左側(山側)の法面については最上段及び中段の法面において表層崩壊を想定し、コンクリート吹付による法枠工と鉄筋挿入工を併用する工法が採用されていた。また、鉄筋挿入工は、図-3に示すような法尻から法肩に向かって形成される直線すべり(すべり層厚1.5m)を想定し、設計されていた。

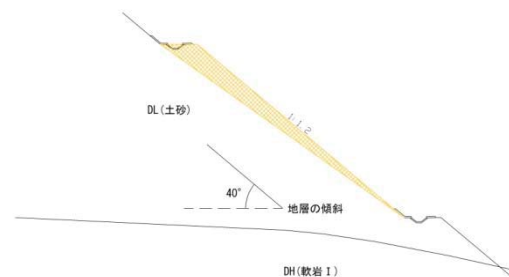


図-3 直線すべりの概念図

最下段の法面においては、N値 ≥ 50 の軟岩であることから、最上段及び中段のような法枠工等は計画されていなかった。

右側(海側)の切土法面は、受け盤構造であることから、左側(山側)の場合のような、対策工は計画されていなかった。

3.崩壊状況について

施工中における崩壊は、最上段及び中段の法枠工及び鉄筋挿入工が完了した時点に起った。

応急対策として、雨水の浸入を防ぐためのブルーシートの敷設、法面の崩壊防止のための押え盛土が行われた。その全景を写真-1に示す。



写真-1 切土法面の崩壊状況(全景)

写真-2~4に示すように、法面の崩壊は、最上段の法肩部に顕著に見受けられる。主な崩壊状況として、最上段の法面上部で水平方向に約1.3m、鉛直方向に約2.4mのズレを生じており、その移動方向は法面に対してほぼ直角方向であった。



写真-2 法面の崩壊状況(その1)



写真-3 法面の崩壊状況(その2)

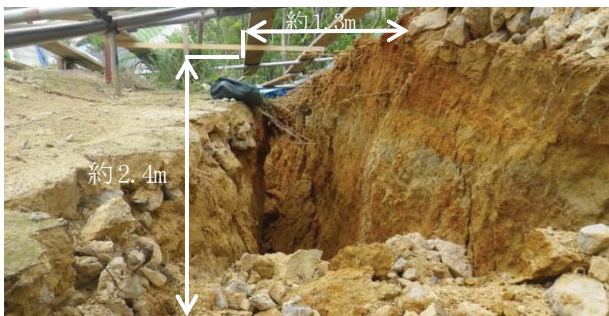


写真-4 法面の崩壊状況(その3)

4.崩壊原因について

4.1 ボーリング調査位置

ボーリング調査位置は、最上段の法面背後、中段法面の法肩、最下段法面の法肩(押え盛土上部)とした。

最上段の法面におけるボーリング調査については、崩壊した法面付近の土質状況及び強度の確認を目的として、標準貫入試験を実施した。中段、最下段の法面については、すべり線の地質状況を把握する目的で標準貫入試験は行わず、全区間のオールコアボーリング調査を行うこととした。

4.2 ボーリング調査結果及び素因、誘因について

(1) ボーリング調査結果

ボーリング調査の結果、風化千枚岩を主体に確認された。風化千枚岩層は、風化の度合いにより、強風化千枚岩、中風化千枚岩、弱風化千枚岩に分類され、その下部には千枚岩(破碎帯)及び新鮮な千枚岩が確認された。破碎帯は、粘土を伴う礫状となっており、すべり面と同じ向きに存在している。他の地盤と比べて特に亀裂が多く、脆弱な岩質を呈しており、地盤の強度が低下していた。法面内の地層は、

約30度~45度の片理面を有している。

また、地下水も確認でき、破碎帯の上面とほぼ同位置に存在しており、降雨の影響により地盤の強度も低下していたと考えられる。図-4に推定土層断面図を示す。

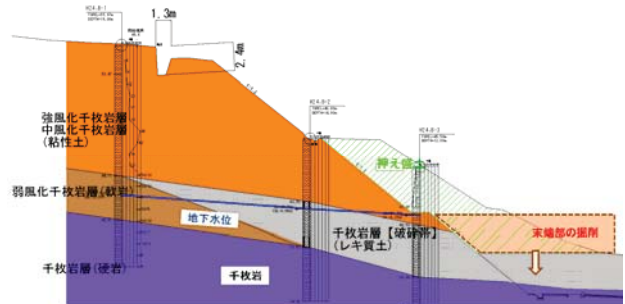


図-4 推定土層断面図

(2) 素因、誘因について

地すべりが発生する原因には、その土地がもともと持っている「素因」と後から加わる自然的、人為的事象の「誘因」とに分けることができる。現地踏査結果及びボーリング調査の結果から当該法面には地すべりを発生させる3つの素因を有していることが判明した。その素因は次のとおりである。

- 素因①：破碎帯の存在による岩盤の風化劣化の進行
- 素因②：すべり面となりやすい流れ盤構造の存在
- 素因③：地下水の存在による地盤強度の低下

素因①~素因③に加え、最下段法面の掘削に伴う応力の解放が人為的誘因として加わることによって、すべりを起こす力とすべりに抵抗する力のバランスが崩れ、地すべりが発生したと考えた。

4.3 想定すべり線の設定

図-5に現地踏査結果及びボーリング調査の結果を踏まえた想定すべり線を示す。

想定すべり線としては、災害時及び供用時に分類し設定した。

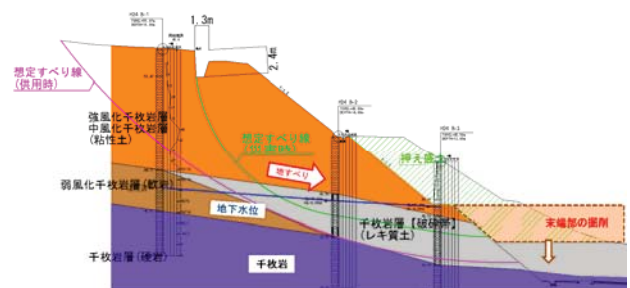


図-5 想定すべり線の設定

災害時は、ボーリングコアの観察結果から、破碎帯内のすべり面、亀裂、弱部の存在から設定した。

供用時は現状の地すべりによる脆弱化した土塊を網羅し、局所的な弱部の存在など不安定要素の多い破碎帯を含む想定すべり線とした。

5. 崩壊原因を踏まえた基本設計

5.1 基本設計における断面形

切土法面の安定における最も簡便な工法の一つとして、排土工が考えられる。その検討結果の概要を図-6に示す。

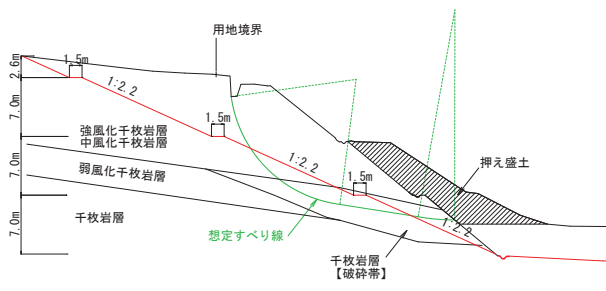


図-6 排土工による場合の検討結果の概要

円弧すべりに対する所要の安全率 1.20 以上を得るためには、法面勾配は 1 : 2.2、小段を切土高 7m 毎に設けた段数が 4 段となった。安全率は $F_s = 1.24$ となる。

これは道路用地を大きく超えることになり、さらに、隣接している公共施設に対しても影響を及ぼす。したがって、基本設計における断面形は、道路用地内に収めることを原則とした。また、崩壊した土塊は軟弱化している恐れがあり、法面の耐久性の面からも可能な限り、排土する方針とした。基本設計における断面形の概要を図-7に示す。

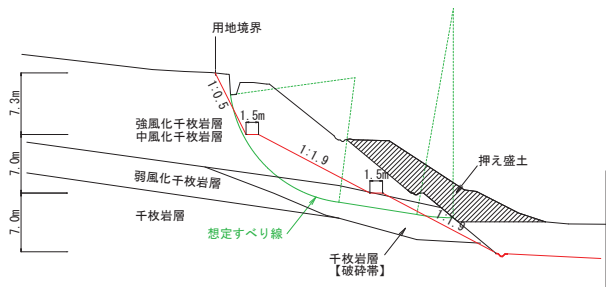


図-7 基本設計における断面形

最上段の法面勾配は、用地境界を踏まえ、緑化が可能とされる最急勾配の 1 : 0.5 とした。中段及び最下段の法面は、すべり土塊を可能な限り排土するように、1 : 1.9 とした。

当然のことながら、図-6 に示している排土工による場合に比較して、急勾配の計画地形になっているため、円弧すべりに対する所要の安全率を確保するためには、構造物による対策(抑止工)が必要となる。

5.2 抑止工の工法選定

対策工法の選定は表-1 を参考に行った。崩壊の原因が切土工の施工途中であったこと、脆弱な岩質を呈している破砕帯の存在を踏まえ、杭工及びグラウンドアンカー工を選定した。

両者ともに最も用いられる工法とされている。

表-1 地すべりの型と対策工法の対比の一例

主な原因	地すべりの型	対策工法									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
自然誘因	降雨・融雪浸透	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○
	地下水の増加	○	△	○	△	○	○	○	○	○	
	河川の浸食	○	△	○	△	○	○	○	○	○	
	崩壊土すべり	○	△	○	△	○	○	○	○	○	
人為的誘因	切土工	○	△	○	△	○	○	○	○	○	
	盛土工	○	△	○	△	○	○	○	○	○	
	岩盤地すべり	△	△	○	△	○	○	○	○	○	
	風化岩地すべり	△	△	○	△	○	○	○	○	○	
	崩壊土すべり	○	○	○	△	○	○	○	○	○	
	粘質土すべり	○	○	○	△	○	○	○	○	○	
	崩壊土すべり	△	△	○	△	○	○	○	○	○	
	粘質土すべり	△	△	○	△	○	○	○	○	○	

A : 地表水排除工
B : 浅層地下水排除工
C : 深層地下水排除工
D : 地下水遮断工
E : 排土工、段切り (のり面保護工含む)
F : 押え盛土工 (擁壁工、枠工を含む)

G : 河川構造物
H : 杭工
I : シャフト工
J : グラウンドアンカー工

凡例 : ○ 最もよく用いられる方法
○ しばしば用いられる方法
△ 場合により用いられる方法

各工法の概要は次のとおりである。

(1) グラウンドアンカー工の概要

グラウンドアンカー工とは、斜面等が崩壊する恐れがある場合、すべり土塊による作用力を地中に形成されたアンカー体等により適切な地盤に伝達するためのシステムである。これにより、斜面の安定を図る工法である。

(2) 抑止杭工の概要

抑止杭工とは、斜面等が崩壊する恐れがある場合、すべり土塊による作用力に対して地中に打ち込まれた杭により、抵抗するものである。杭は不動基岩層まで貫通するように掘削された孔に挿入される。鋼管による場合が多い。

6. 抑止工の比較設計

抑止工の比較設計における共通事項は、次のとおりである。

(1) 抑止工の共通事項

- ・抑止工の比較設計においては、構造物に対して安全設計となるように、想定すべり線は供用時の場合を用いた。
- ・現況安全率は現在活動中であることから、1.00 とした。
- ・土質調査の結果より、地下水が確認されたことから、地下水位の低下の目的で、横ボーリング工(抑制工)を設置することとした。
- ・横ボーリング工の効果を計画安全率の 5% 低減により、評価し、計画安全率は、 $1.20 - 0.05 = 1.15$ とした。
- ・必要抑止力は、現況安全率 1.00、計画安全率 1.15 を踏まえ、およそ 320kN/m とした。
- ・最上段の法面勾配は 1 : 0.5 としたため、最上段の法面のみに起る円弧すべりが懸念された。したがって、鉄筋挿入工により法面の安定を図ることとした。

図-8 にグラウンドアンカー工による場合の標準断面図

を示す。その概要は次のとおりである。

(2) グラウンドアンカーによる抑止工

- アンカー工においては、締め付け機能を期待する場合、または、引き止め機能を期待する場合に分類される。ここでは、すべり面の勾配が緩いので、引き止め機能を期待する場合とした。
- アンカー工の配置は、法面全体の安定性を考慮し、中段の法面を中心に、最下段の法面までの配置とした。その結果、アンカー工は、中段法面において3段、下段法面において2段の配置となった。
- アンカー工のピッチは、すべり層厚より、小さくするとともに、施工実績を踏まえ3.0mとした。

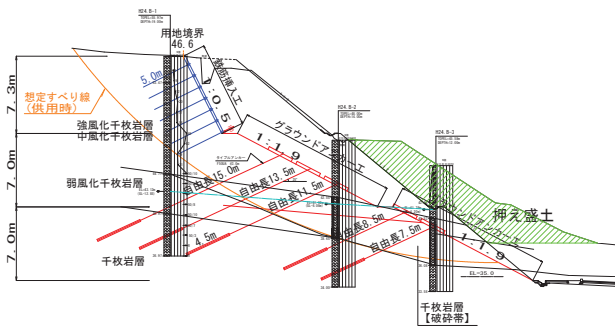


図-8 グラウンドアンカー工による場合の標準断面図

図-9に抑止杭工による場合の標準断面図を示す。その概要は次のとおりである。

(3) 抑止杭による抑止工

- 抑止杭は、設置位置と杭谷側移動層の有効抵抗力の関係から、谷側より、抑え杭、せん断杭、くさび杭に分類される。ここでは、法面全体の安定性及び施工性を踏まえ、抑え杭とした。
- 横ボーリング工(抑制工)を併用するので、許容応力度は短期による場合を用いた。
- 杭材の規格は、SKK 400材及びSKK490材による実績が多いが、近年は、高強度鋼の570材が開発されている。鋼管の肉厚を薄くすることによって、鋼重を抑えることができ、経済性に優れるとされている。
- 検討の結果、杭材570材、杭径350mm、肉厚15mmが最も経済的と評価した。

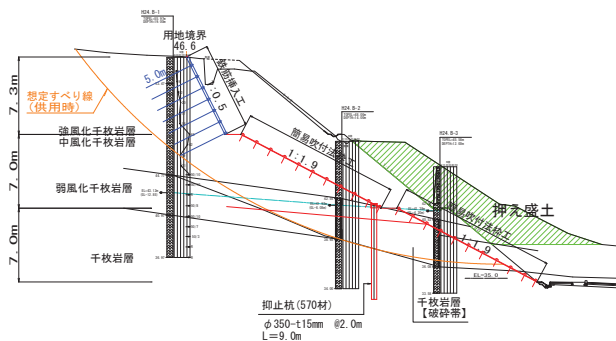


図-9 抑止杭工による場合の標準断面図

(4) 抑止工の比較検討

法面保護工を含めたトータルコストを算定し、検討した結果、アンカー工による場合が安価となった。表-2に各工法の概算工事費(直接工事費)の内訳を示す。

表-2 抑止工における各工法の概算工事費

グラウンドアンカー工	抑止杭工
アンカー工 : 5,906,000 円	抑止杭工 : 3,710,000 円
反力体工 : 716,000 円	簡易吹付法杭工 : 3,496,000 円
植生基材工 : 652,000 円	鉄筋挿入工 : 1,900,000 円
鉄筋挿入工 : 1,900,000 円	吹付法杭工 : 956,000 円
吹付法杭工 : 956,000 円	
合計 : 9,830,000 円/10m	合計 : 10,062,000 円/10m

また、経済性以外に、次の理由から、グラウンドアンカー工を最適案とした。

- 千枚岩における法面对策は、グラウンドアンカーの実績が多い。
- アンカー工による場合、アンカー体の周面摩擦抵抗が十分に得られるか懸念されるが、新鮮な千枚岩を定着層にしていることから、十分な値が期待できる。
- アンカー工は、プレストレストを導入し、受圧体と一体となって地すべりに対応するので、表層崩壊に対しても一定の抑止効果が期待できるが、抑止杭工は期待できないので、表層崩壊のための法枠工が必要となる。
- アンカー工による場合の用地への対応としては、山間部であり、開発行為はほとんど考えられないので、地権者への起工承諾によって対応可能と考える。用地境界は最上段における鉄筋挿入工の先端とする。

グラウンドアンカー工による抑止工が採用され、完成した。その状況を写真-5示す。



写真-5 グラウンドアンカー工による抑止工の完成状況

7. おわりに

当該法面は施工途中において崩壊に至ってしまった。これを防ぐためには、主に企画(計画)、設計に携わっている建設コンサルタントの役割は大きく、日常業務から防災、減災に着目することが必要と思われる。

これらの対応は、アカウントビリティ(説明責任)を果たす上でも、重要であると思われる。

参考文献

- 道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成21年度版) 社団法人日本道路協会
- グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 社団法人地盤工学会
- 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編[II] 社団法人日本河川協会
- 地すべり鋼管杭設計要領 社団法人地すべり対策技術協会