

熊本西環状道路軟弱地盤対策検討委員会 (第9回)

砂原工区

令和7年11月13日

熊本市 都市建設局 土木部
道路整備課 西環状道路推進室

目次

1. 位置図 p.3
2. これまでの振り返り p.4-7
3. 今回審議の流れ p.8
4. 道路土工『切土工・斜面安定工指針』 p.9-16
5. 【審議事項1】 設計・施工の方針(案) p.17-24

スレーキング試験結果、隣接工区の切土工状況 等

6. 【審議事項2】 詳細設計に向けた実施プロセス(案) p.25-57

①地質分類

④のり面对策工法

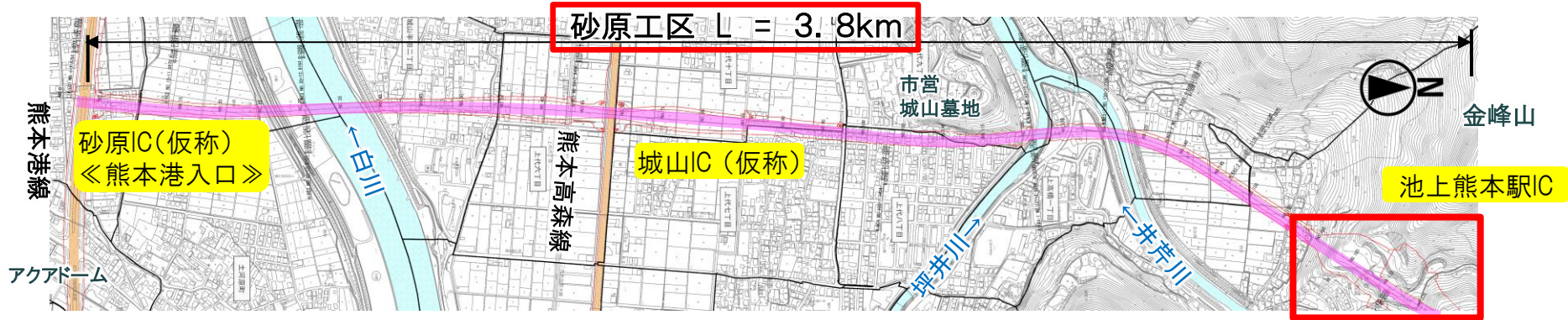
②切土工勾配・形状・小段

⑤監視体制

③のり面安定解析

池上地区の切土のり面対策について

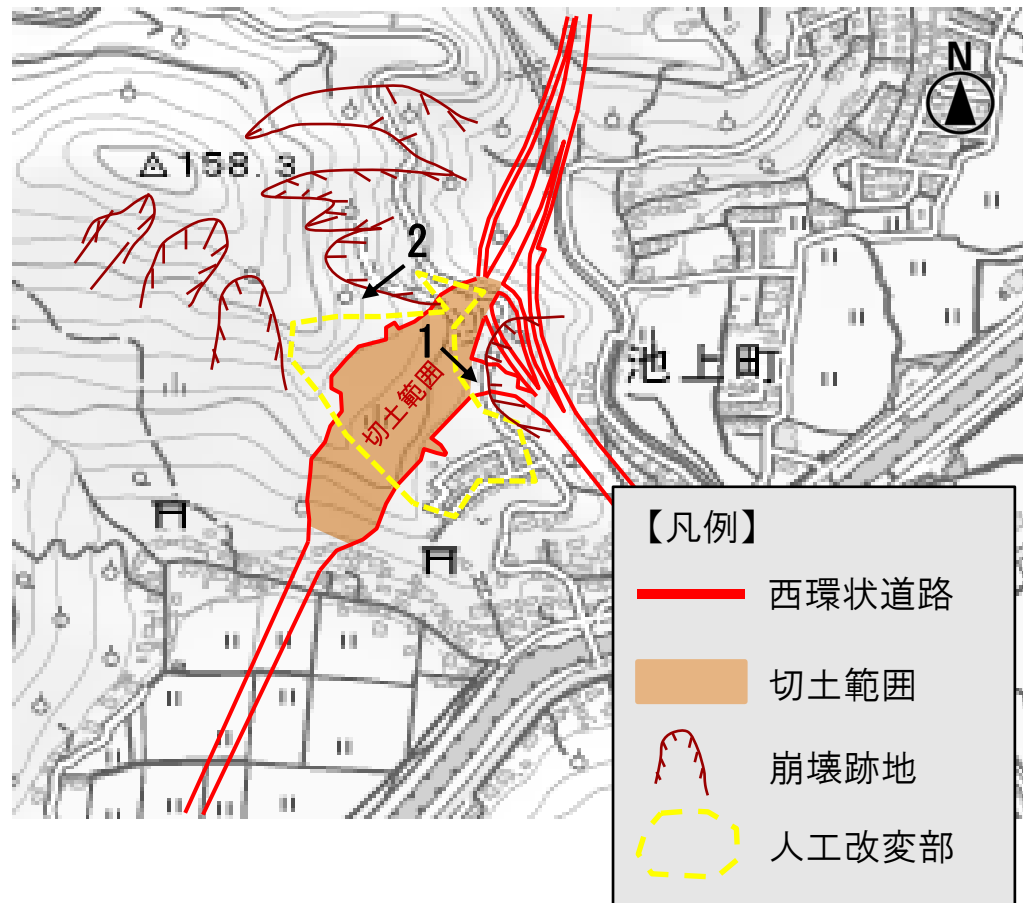
位置図



池上地区の切土のり面対策について

これまでの振り返り ― 地形の把握

既存資料の収集・地形図および航空写真判読・現地踏査



・崩壊跡地や人工改変部があるものの、典型的な地すべり地形や湧水なし

池上地区の切土のり面対策について

これまでの振り返り ― 地形の把握

既存資料の収集・地形図および航空写真判読・現地踏査

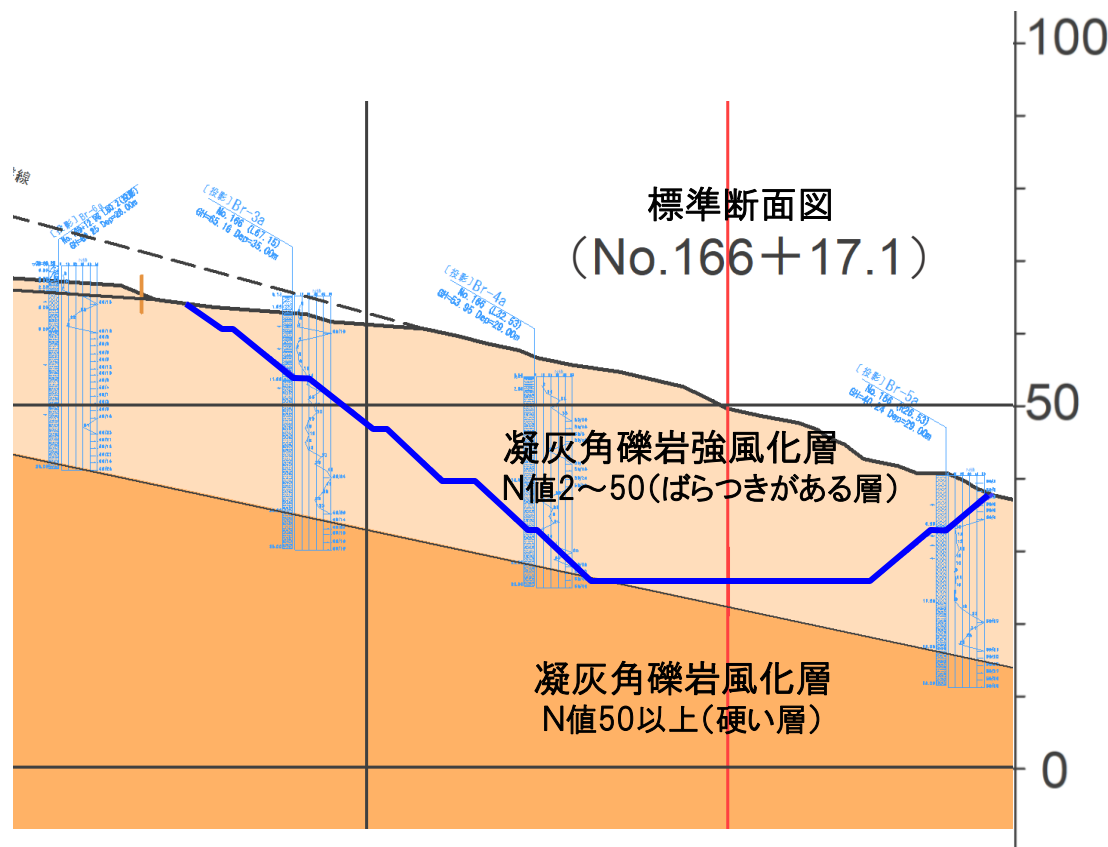


・切土範囲内は地すべり警戒区域の指定なし
(周辺に土石流警戒区域・急傾斜地の崩壊警戒区域あり)

池上地区の切土のり面対策について

これまでの振り返りー地質の把握

ボーリング調査およびボーリングコアの分析



凝灰角礫岩強風化層：風化により褐色化
亀裂面の傾斜約 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$



<スレーキング試験結果>

	0	1	2	3	4
	変化なし	割れ目が少しかつ、供試体の原形を保っている	全体に割れ目が多いが、供試体の原形は判別できる	全体が細粒化し、供試体の原形は判別できない。泥状化の進行は顕著でない	全体が泥状化

凝灰角礫岩強風化層は水浸後約30分で土砂化

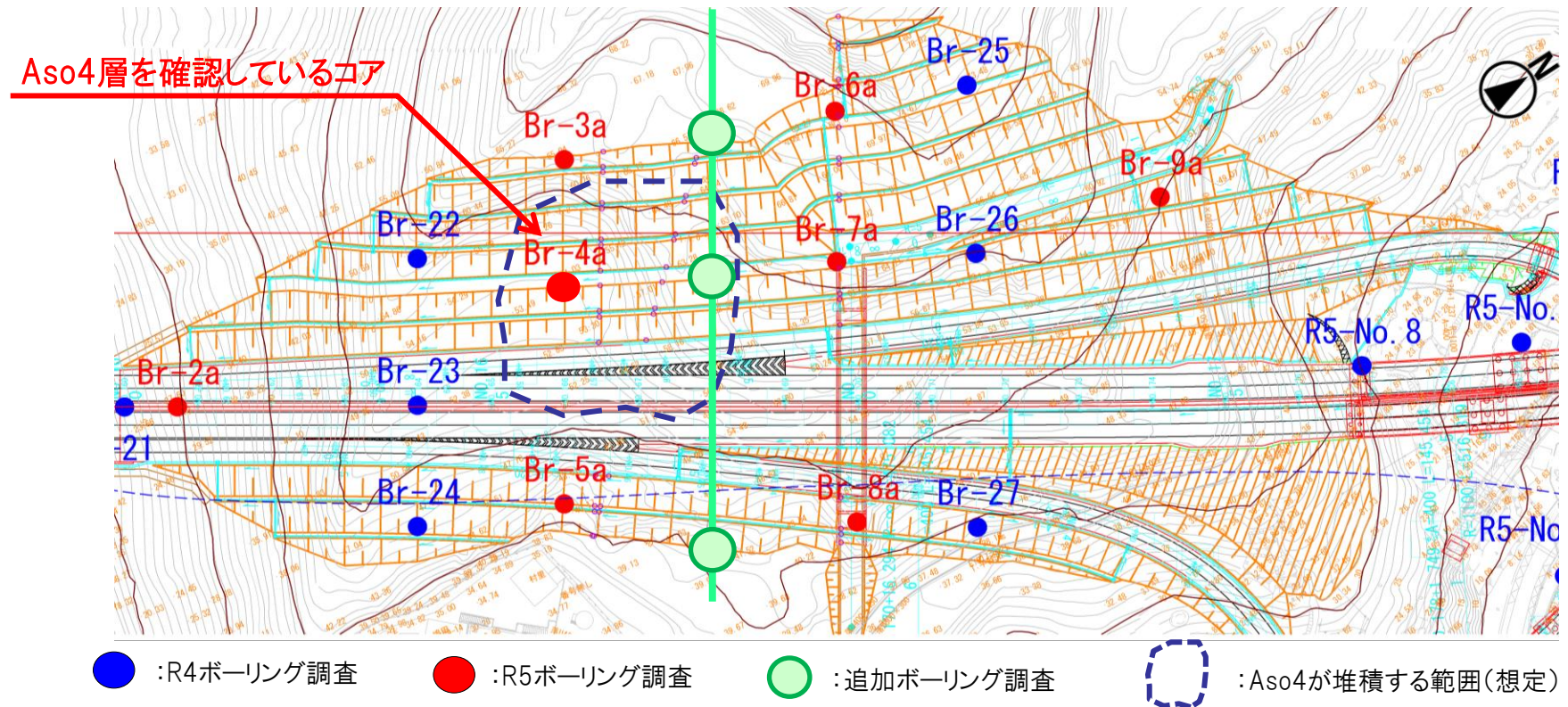
- ・岩盤部は凝灰角礫岩の強風化層(N値2～50)と風化層(N値50以上)に区分される
- ・強風化層は固結度が低く、脆弱部や亀裂面が存在し、スレーキングしやすい
- ・ボーリング調査で地下水は確認されていない

池上地区の切土のり面対策について

これまでの振り返り — 前回の審議

追加ボーリング調査の実施

すべり面となり得る岩盤部の強風化層と風化層の境をより詳細に把握し、A s o 4 層の有無を確認する
(A s o 4 の堆積によって基底面付近が熱変成を起こし、弱部となっている可能性あり)



【ご助言（第7回委員会）】

ボーリング孔にストレーナーを挿入し、地下水位の変動を把握すると良い

池上地区の切土のり面対策について

今回審議の流れ

地形の把握

地質の把握

【前回審議】追加ボーリング調査の実施

【今回審議】

- ・ 設計・施工の方針（案）
- ・ 詳細設計に向けた実施プロセス（案）

詳細設計を実施

道 路 土 工

切土工・斜面安定工指針

（平成21年度版）

平成 21 年 6 月

社団法人 日 本 道 路 協 会

道路土工『切土工・斜面安定工指針』

切土のり面の設計－勾配

一般的な場合においては、解表 6-2 に示す標準のり面勾配を参考として調査結果及び用地条件等を総合的に判断してのり面勾配を決定してよい。

ただし、解表 6-2 に示す標準のり面勾配は、次の条件に該当する場合は適用できないことがあるので、必要に応じてのり面勾配の変更及びのり面保護工、のり面排水工等による対策を講じる。

(1) 地域・地盤条件

- ① 地すべり地の場合
- ② 崖錐，崩積土，強風化斜面の場合
- ③ 砂質土等，特に浸食に弱い土質の場合
- ④ **泥岩，凝灰岩，蛇紋岩等の風化が速い岩の場合**
- ⑤ 割れ目の多い岩の場合
- ⑥ 割れ目が流れ盤となる場合
- ⑦ 地下水が多い場合
- ⑧ 積雪・寒冷地域の場合
- ⑨ 地震の被害を受けやすい地盤の場合

(2) 切土条件

- ⑩ **長大のり面となる場合（切土高が解表 6-2 に示す高さを越える場合）**

- ⑪ 用地等からの制約がある場合

(3) 切土の崩壊による影響

- ⑫ 万一崩壊すると隣接物に重大な損害を与える場合
- ⑬ 万一崩壊すると復旧に長期間を要し，道路機能を著しく阻害する場合
(例えば代替道路のない山岳道路における切土)

解表 6-2 切土に対する標準のり面勾配

地 山 の 土 質		切 土 高	勾 配
硬 岩			1 : 0.3 ~ 1 : 0.8
軟 岩			1 : 0.5 ~ 1 : 1.2
砂	密実でない粒度分布の悪いもの		1 : 1.5 ~
砂 質 土	密実なもの	5m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		5~10m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの	5m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5~10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
砂利または岩塊 混じり砂質土	密実なもの，または粒度分布のよいもの	10m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		10~15m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの，または粒度程度の分布の悪いもの	10m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		10~15m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
粘 性 土		10m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.2
岩塊または玉石 混じりの粘性土		5m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5~10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5

解表 6-2 は，土工面から経験的に求めたのり面勾配の標準値で，無処理あるいは植生工程度の保護工を前提としたものである。

- ・ **標準のり 面勾配を参考に、調査結果及び用地条件等を総合的に判断して決定する**
- ・ **注意が必要な条件に該当する場合、必要に応じてのり面勾配の変更及びのり面保護工等の対策を講じる**

切土のり面の設計－勾配 凝灰岩等の風化が速い岩の場合

(4) 泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の風化が速い岩の場合

第三紀の泥岩、頁岩、固結度の低い凝灰岩等の軟岩、蛇紋岩、温泉余土等の変質岩は、(a)もともとせん断強さが小さいため、(b)切土による応力解放、その後の乾燥湿潤や凍結融解の繰返し作用等の環境要因の影響を受け急速に風化するため、崩壊が発生することが多い。このような切土の調査の詳細は「6-2-3 (4) 泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等、風化が速い岩」を参照されたい。

(a)のケースにおいては、もともと硬岩であった岩石の風化のように、地山は地表面より深くなればなるほど硬くなるということは期待しにくい場合もあり、参表 1-1(a)のC①のような深く広い範囲に及ぶ崩壊が発生することがある。このような崩壊が予想される場合は「11-3 地すべりの安定解析」に述べる安定計算によって検討し、対策を講じる。

(b)のケースにおいては、のり表面から次第に土砂化するため、参表 1-1(a)のA①、③のような崩壊が発生することが多い。

この種の崩壊は、たとえ掘削時には硬く安定したのり面でも切土後時間経過とともに土砂化して、道路開通後に起こることが多く、道路管理者にとって最も注意しなければならない現象の一つである。このため、設計時点から次のいずれかの配慮が必要である。

- ① 将来、風化が進んでも崩壊しないための安定勾配を確保しておく。または崩壊しても被害を最小限にとどめるためのステップ及び用地を設けておく。
- ② 風化をできるだけ抑制するために密閉型の保護工を用いる。

- ・固結度の低い凝灰岩等の軟岩は、切土による応力開放、その後の乾燥湿潤等の環境要因の影響を受け急速に風化するため、崩壊が発生することが多い
- ・崩壊が予想される場合は「地すべりの安定解析」による安定計算を行い、対策を講じる
- ・掘削時は安定していたのり面でも、切土時間経過とともに土砂化して道路開通後に崩壊が発生することが多く、道路管理者にとって最も注意が必要
- ・将来、風化が進んでも崩壊しない安定勾配を確保しておくことや、風化を抑制するために密閉型の保護工を用いる等、設計時点から配慮が必要

切土のり面の設計－勾配 凝灰岩等の風化が速い岩の場合

(4) 泥岩，凝灰岩，蛇紋岩等風化が速い岩

第三紀の泥岩，頁岩，固結度の低い凝灰岩，蛇紋岩等は切土による応力開放，その後の乾燥湿潤の繰返しや凍結融解の繰返し作用等によつてのり面表層から次第に土砂化して崩壊が発生することが多い。

このような地質において，のり面の安定を支配する要素には次のようなものがある。

- ① 切土時の岩の硬さ：地山の弾性波速度，採取コアの一軸圧縮強さ，超音波伝播速度，近隣の既設のり面における土壌硬度等で評価する。
- ② 風化に対する耐久性：近隣の既設のり面風化帯（のり面表層軟化部）の厚さと切土後の時間経過の関係，採取試料のコンシステンシー試験結果，その他ボーリングコア（主に未風化試料）による乾燥湿潤繰返し試験，凍結融解試験結果等で評価する。

・風化に対する耐久性の評価として「近隣の既設のり面風化帯の厚さと切土後の時間経過の関係」や「ボーリングコアによる乾燥湿潤繰返し試験」等の記載あり

→風化の速い岩に関する定量的な指標なし

切土のり面の設計－勾配 長大のり面となる場合

(10) 長大のり面となる場合

長大のり面は万一崩壊した場合大災害となる。また切土が進行してからの変更（切直し）は経済的にも施工性からも不利な面が多いため、事前に路線の小シフトで切土の改変量を減らすことや、余裕のある設計を行うことが望ましい。したがって、詳細な調査と十分な設計検討を行い、行き届いた安全管理体制のもとに施工しなければならない。

長大のり面では、それぞれの条件に応じたのり面勾配を決定するが、この条件を検討する場合、次のような点に注意を要する。

(a) 膨張性岩や風化の速い岩の場合は、切土後の応力開放による二次的強度低下や急速な風化による脆弱化を考慮したのり面勾配を確保しておく必要がある。膨張性岩についての詳細は、「6-2-3 (8) 長大のり面となる場合」並びに「6-3-2 (4) 泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の風化の速い岩の場合」を参照されたい。

(b) 山の鞍部を切土する場合、鞍部は断層破碎帯となっていることが多い。この場合、一般の地山のように深く切土しても必ずしも硬い岩が現われるとはかぎらない。ボーリングや弾性波探査の結果、破碎帯が存在し、深部まで岩質が脆弱な場合、その破碎の度合や方向に応じてのり面勾配を検討する必要がある。

(c) 受け盤斜面は安定性が高いと考えられているが、急傾斜受け盤で地層の走向が路線と平行に近い場合、掘削高さが高くなると転倒崩壊（トップリング）が発生することがあるので、のり面下部の勾配や形状に注意が必要である。

- ・切土が進行してからの変更（切直し）は不利な面が多く、**余裕のある設計を行うことが望ましい**
- ・詳細な調査と十分な設計検討を行い、**行き届いた安全管理体制のもとに施工しなければならない**
- ・**膨張性岩や風化の速い岩の場合、切土後の応力開放による二次的強度低下や急速な風化による脆弱性を考慮したのり面勾配を確保しておく必要あり**

切土のり面の設計－勾配 長大のり面となる場合

(8) 長大のり面となる場合

長大のり面は、のり面全体の地質が均質で堅硬であることは稀で、断層、変質等の弱層を伴っていることが多い。切土が進行してからの変更（切直し）は経済的にも施工性からいっても不利な面が多いため、地質、地下水状況等をより詳細に調査する必要がある。

長大のり面の調査においては、次の点に留意する必要がある。

- ① 膨張性岩といわれるスメクタイト（モンモリロナイト等の膨潤性の粘土鉱物）を多量に含んだ岩も土かぶりの厚い深部では原位置試験（標準貫入試験、弾性波探査等）では比較的硬い岩と判定されやすい。しかし長大のり面の場合かなり大きな応力を開放することになり、切土後の二次的強度低下が著しい。この場合掘削直後はたとえ硬くとも、将来強度低下する可能性がある。
- ② 鞍部を切土する場合、鞍部は断層破碎帯となっていることが多く、ボーリングや弾性波探査により、その破碎の度合や方向を確認しておく必要がある。

・留意点として、膨張性岩といわれるスメクタイトを多量に含む岩については、土かぶりの厚い深部では比較的硬い岩と判定されやすく、切土後の二次的強度低下が著しいとの記載あり

→膨張性岩に関する定量的な指標なし

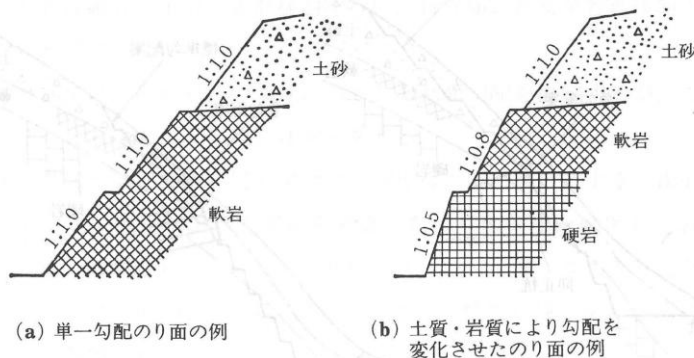
切土のり面の設計－形状・小段

【形状】

切土のり面の形状には一般に次のようなものがあり、地質・土質が深さ方向、縦横断方向ともにほぼ等しい場合には一般に①を採用する。

- ① 単一勾配のり面
- ② 勾配を土質及び岩質により変化させたのり面

地質、土質が異なっても、最も緩い勾配を必要とする土質に合わせれば、解図6-8(a)のように単一のり面勾配としてもよい。



解図 6-8 地山状態とのり面形状の説明図

【小段】

小段は、のり面排水と維持管理時の点検作業を考慮して設けるもので、その際には以下の点に配慮する。

(1) 小段の勾配

小段の横断勾配は、通常 5～10% 程度つけるものとする。

(2) 小段の位置及び幅

① 切土のり面では土質・岩質・のり面の規模に応じて、高さ 5～10m 毎に 1～2m 幅の小段を設けるのがよい。なお落石防護柵等を設ける場合や長大のり面の場合は小段幅を広くとることが望ましい。

② 小段の位置は同一土質からなるのり面では、機械的に等間隔としてよいが、土質が異なる場合には湧水を考慮して土砂と岩、透水層と不透水層との境界等になるべく合わせて設置することが望ましい。

(3) 長大のり面の小段

長大のり面の場合、小段を高さ 20～30m 毎に広くし（幅 3～4m 程度）管理段階における点検、補修用のステップとすることが望ましい。これは落石やはく離した土砂を留める役目として効果的である。また管理用のはしご、階段等も当初から考慮することが望ましい。

- ・ **単一勾配のり面**と、**地質により勾配を変化させたのり面**があるが、地質が異なっても緩い勾配を必要とする土質に合わせれば、単一のり面勾配としてよい
- ・ **切土高さ 5～10m 毎に 1～2m 幅の小段**を設け、**長大のり面**の場合は小段を高さ 20～30m 毎に**広くし**、管理用階段における点検、補修用のステップとすることが望ましい

切土のり面の施工

(2) 施工中の観察と設計変更

切土の施工に当たっては地質の変化に注意を払い、当初予想された地質以外の断層破碎帯、岩脈、のり面に対して流れ盤となる不連続面（節理、層理、片理、断層面）が現われた場合、ひとまず施工を中止して、当初設計と比較検討し必要があれば、設計変更を行うとともに、施工時に明らかになった地山の状況についても維持管理時に参照できるようにし、事前に行った調査結果とあわせて整理・保管するのがよい。

例えば岩盤を風化土が覆っている箇所でののり面施工においては、岩盤と風化土の境界面の高さが予想と異なった場合はできるだけ早期にそれを確認して、のり面勾配の変更による手戻りを少なくするように心掛けなければならない。

また、「6-2-3 注意が必要な現地条件」の条件に該当し、かつ重要なのり面では、切土施工前に観測機器を設置し、掘削しながら地山の挙動を観測し、その観測結果を次の掘削や対策工に反映させる情報化施工を行う場合もある。切土の

- ・当初予想していない地質が現れた場合、ひとまず施工を中止し、必要に応じて設計変更を行うとともに、施工時に明らかになった地山の状況について維持管理時に参照できるようにする
- ・注意が必要な条件下かつ重要なのり面では、切土施工前に観測機器を設置して掘削しながら地山の挙動を観測し、その観測結果を次の掘削や対策工に反映させる情報化施工を行う場合あり

池上地区の切土のり面対策について

道路土工『切土工・斜面安定工指針』

切土のり面の設計における課題

応力開放による二次的強度低下や、急速な風化による脆弱性について、
定量的な指標はなく、設計時にどこまで配慮するか技術的判断が必要

【設計に関するご助言（第7回委員会）】

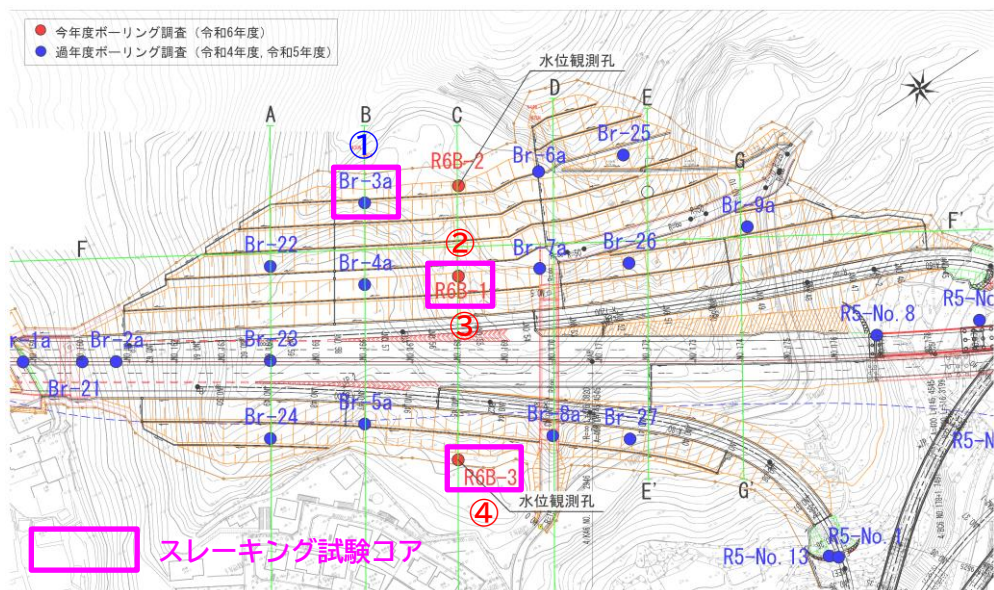
- ・地盤定数の設定に際し、切土による応力開放を考慮したほうが良い
- ・切土後の降雨による表流水がのり面に流れることによる崩壊の可能性や、切土法面背後から表流水が流れ込む可能性に留意し、設計にあたっては雨水や浸透地下水等の対策が必要

【施工に関するご助言（第7回委員会）】











- ・複雑な地盤であるため、切土を行いながら地盤状況を観察しつつ対策を変更するなど柔軟な対応・体制が必要

【審議事項1】 設計・施工の方針(案)

池上地区の切土のり面対策について スレーキング試験結果



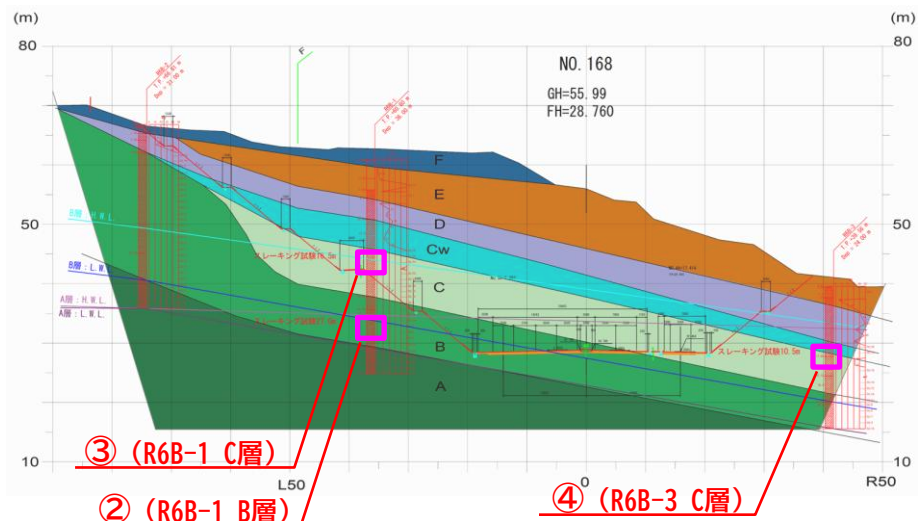
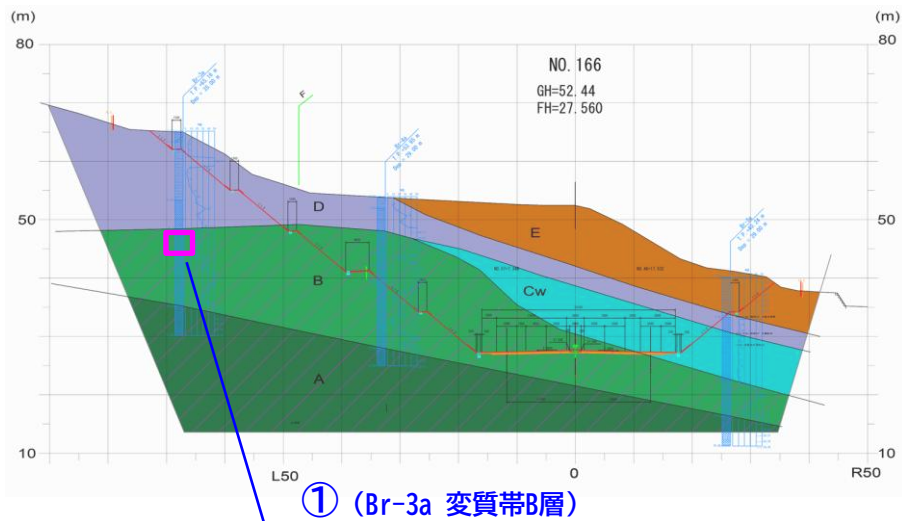
- ・水浸によって生じる供試体の形状変化を、水浸直後、30 分、1、2、4、6 および24時間ごとに観察し、スレーキング区分を判定

区分	0	1	2	3	4
A					
	変化なし。	割れ目が少しできるが供試体の原形を保っている。	全体に割れ目が多数でき、幾つかの岩片にわかる。供試体の原形はおおむね判別できる。	全体が細粒化し、供試体の原形は判別できない。泥状化の進行は顕著でない。	全体が泥状化。
B					
	変化なし。	割れ目が少しできるが、周辺が少し崩れる。供試体の原形を保っている。	周辺がかなり崩れ、供試体の原形は判別が難しい。	周辺がほとんど崩れ、粒子の分離が顕著。供試体の原形はほとんど判別できない。	全体が砂状化。

A: 泥岩・凝灰岩(細粒)によくみられるタイプ

B:シルト岩・砂岩・凝灰岩(粗粒)によくみられるタイプ

地盤工学会『岩石のスレーキング試験方法（案）』



池上地区の切土のり面対策について

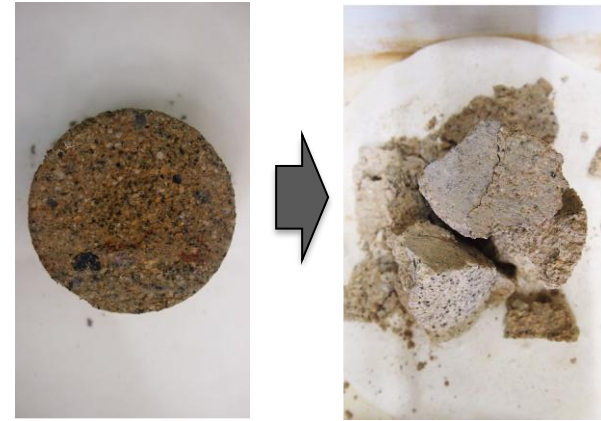
スレーキング試験結果

① (Br-3a 変質帯B層)



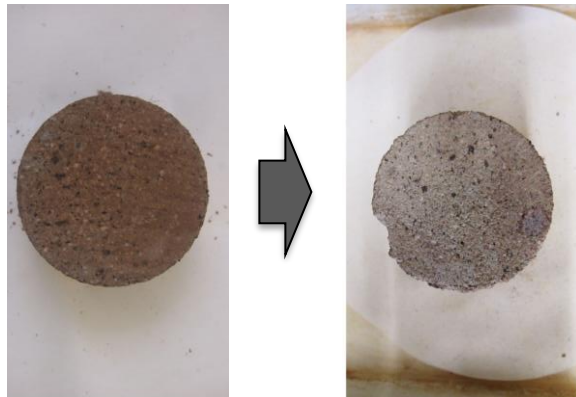
水浸後約30分で土砂化

③ (R6B-1 C層)



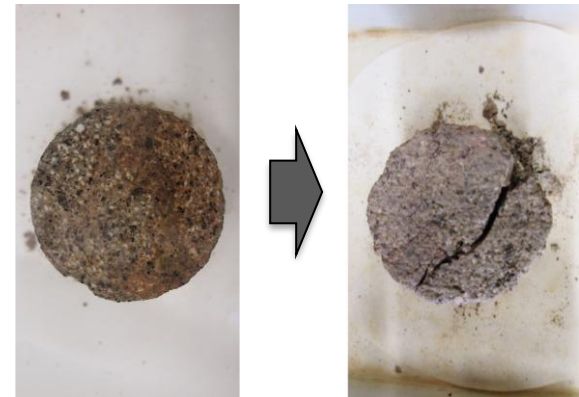
水浸2回目から崩壊開始し、4回目で大きく崩壊

② (R6B-1 B層)



水浸2回目で一部が崩壊し、その後は大きな変化なし

④ (R6B-3 C層)



水浸1回目で一部が崩壊し、10回目で割れ目が拡大

池上地区の切土のり面対策について

隣接工区の切土施工状況



池上地区の切土のり面対策について

膨潤性の粘土鉱物の含有量調査

膨潤性：水を吸収して体積が膨らむ性質のこと

膨張性岩：膨潤性を有する粘土鉱物を含む岩石の呼び名

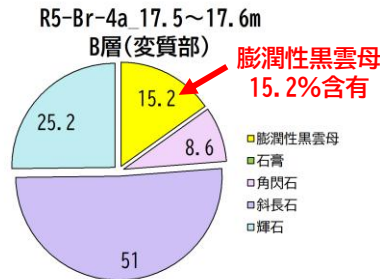
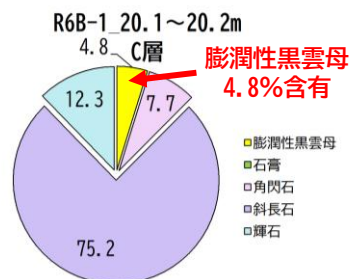
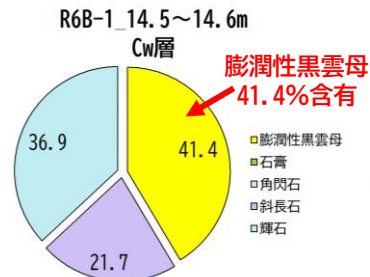
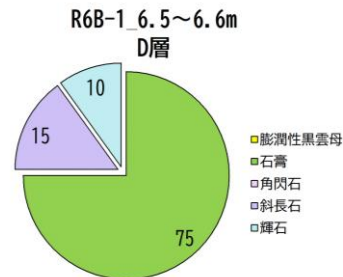
→膨潤性を有する

粘土鉱物の代表的なもの

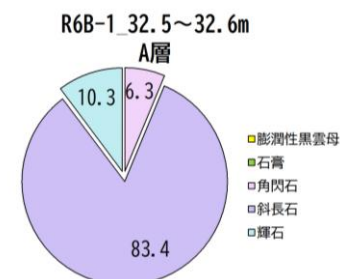
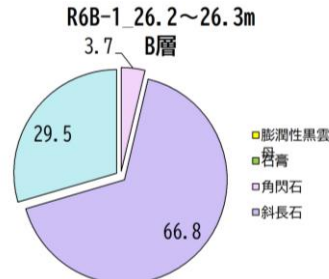
「スメクタイト」

グループ名	鉱物種名
スメクタイト Smectite	モンモリロナイト Montmorillonite
	バイデライト Beidellite
	ノントロナイト Nontronite
	サボナイト Saponite
	ヘクトライト Hectorite
	ソーコナイト Sauconite
	ステープンサイト Stevensit

含有量を調査した結果、スメクタイトに該当する粘土鉱物の含有なし



試料 No	地層	H・Bt	Gy	Hb	Cpx	Pl
		膨潤性黒雲母	石膏	角閃石	単斜輝石	斜長石
Br-4a	17.5～17.6	15.2	0	8.6	25.2	51.0
R6B-1	6.5～6.6	0	75.0	0	10.0	15.0
	14.5～14.6	41.4	0	0	36.9	21.7
	20.1～20.2	4.8	0	7.7	12.3	75.2
	26.2～26.3	0	0	3.7	29.5	66.8
	32.5～32.6	0	0	6.3	10.3	83.4



膨潤性を有する粘土鉱物である「膨潤性黒雲母（黒雲母/バーミキュライト混合層鉱物）」の含有あり

(8) 長大のり面となる場合

長大のり面は、のり面全体の地質が均質で堅硬であることは稀で、断層、変質等の弱層を伴っていることが多い。切土が進行してからの変更（切直し）は経済的にも施工性からいっても不利な面が多いため、地質、地下水状況等をより詳細に調査する必要がある。

長大のり面の調査においては、次の点に留意する必要がある。

- ① 膨張性岩といわれるスメクタイト（モンモリロナイト等の膨潤性の粘土鉱物）を多量に含んだ岩も土かぶりの厚い深部では原位置試験（標準貫入試験、弾性波探査等）では比較的硬い岩と判定されやすい。しかし長大のり面の場合かなり大きな応力を開放することになり、切土後の二次的強度低下が著しい。この場合掘削直後はたとえ硬くとも、将来強度低下する可能性がある。

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P148

池上地区の切土のり面对策について

参考：国立研究開発法人 土木研究所「切土の変状リスク評価に関する研究」

切土のり面の変状事例分析を通じて、切土における元地形からの勾配変化率に着目した切土のり面の長大化に伴う変状リスクの評価および変状リスクを考慮した設計の考え方を提案（土質・振動チーム（研究担当：佐々木哲也、加藤俊二、東拓生））

地山の切り取り位置と地山勾配の関係でリスクが異なる

$$\beta = 180 - \alpha - (180 - \theta) \\ = \theta - \alpha$$

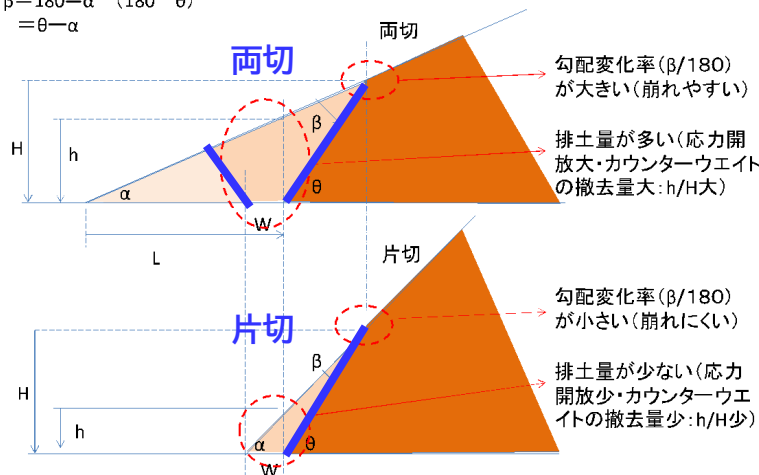


図-3 両切・片切の違いによる影響のイメージ図

表-2 被災事例の諸元

	地質要件		建設経過年	切土高(m)	片切・両切	崩壊範囲下端の応力開放高(m)	元地形勾配1:X	設計勾配(崩壊時)1:X
事例1	火山岩	古生代花崗閃緑岩	39	34	片	7	1.9	1.0
事例2	火山岩	古生代流紋岩 溶結凝灰岩	46	14	片	7	1.8	0.8
事例3	堆積岩	新生代新第三期鮮新世砂質土層・粘性土層	16	14	両	14	3.7	1.2
事例4	堆積岩	古生代泥質片岩	12	27	両	18	5.5	1.0
事例5	堆積岩	中生代砂岩泥岩	21	19	片	12	2.4	1.2
事例6	火山岩	中生代花崗岩	46	13	両	7	2.9	0.6
事例7	堆積岩	新生代第四期泥岩、凝灰質砂岩	14	30	両	16	3.0	1.2
事例8	堆積岩	新生代第四期段丘堆積物	32	25	片	8	2.4	1.2

- ・ 地山の切り取り位置について、**両切の場合は元地形に対する勾配の変化が大きくなり、排土量も多く、切土後の法尻における掘削深さ（応力開放高）も勾配変化率に比例して大きくなる**ことから、**同じ切土高でも安定性が低下**
- ・ 直轄国道の長大切土のり面（軟岩）の被災事例を分析した結果、**片切より両切の方が発災までの経過年数が短い傾向あり**

池上地区の切土のり面対策について

参考：国立研究開発法人 土木研究所「切土の変状リスク評価に関する研究」

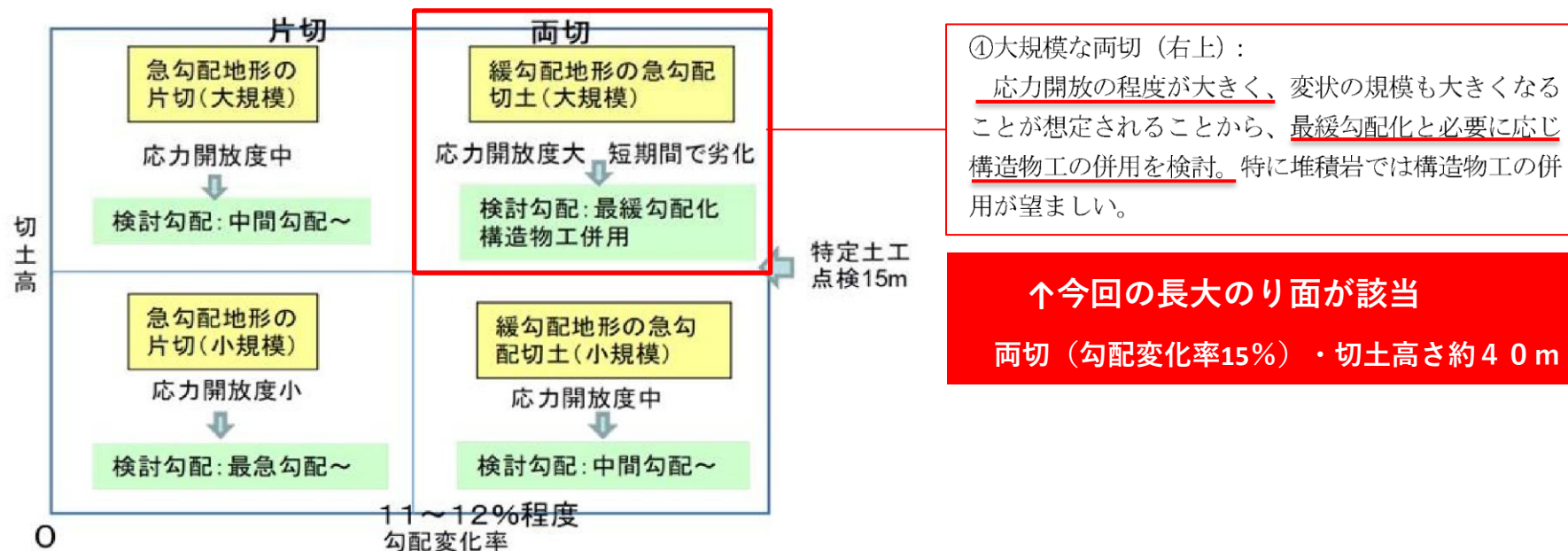


図-8 軟岩箇所の切土のり面勾配の検討の考え方（案）

軟岩地山におけるのり面設計の考え方として片切・両切および切土高で区分し、

応力開放の影響度の観点からの勾配検討の考え方を提案

池上地区の切土のり面对策について

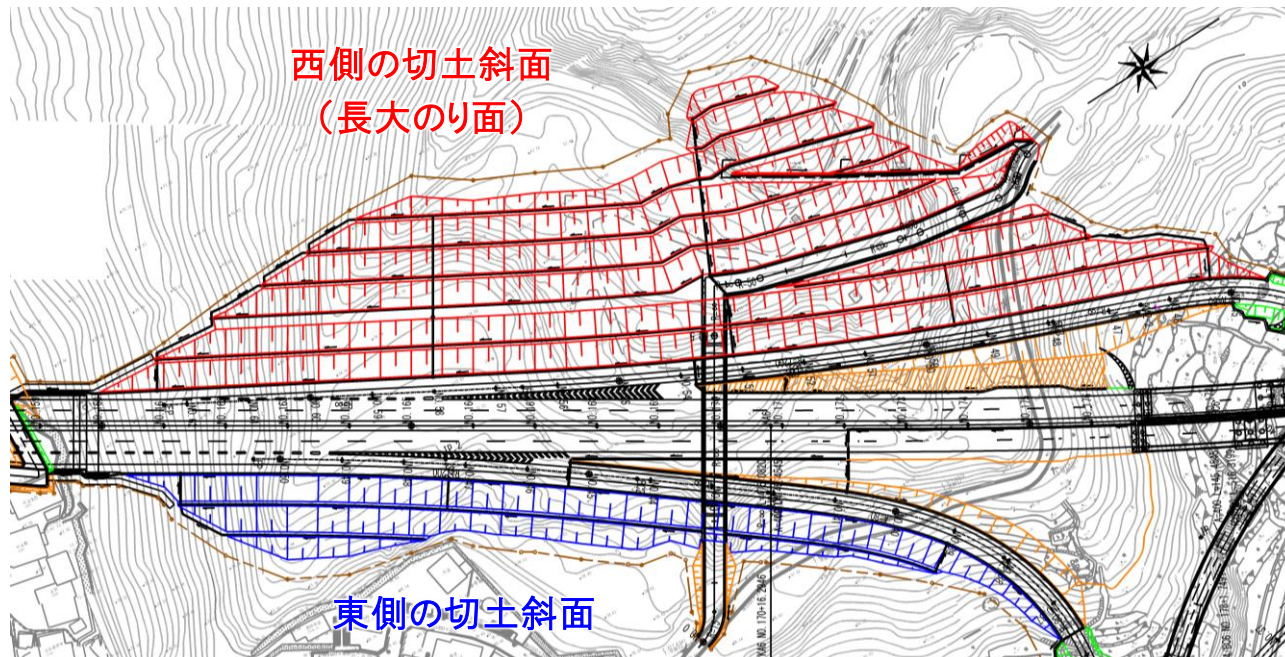
【審議事項1】 設計・施工の方針(案)

西側の切土斜面(長大のり面)

- ・リスクマネジメントとして、設計時点から応力開放による二次的強度低下や急速な風化による脆弱性を考慮した安定解析を行う
- ・安定解析の結果から、事前にのり面对策工を選定した上で施工に入る
- ・斜面変位を観測しながら施工する

東側の切土斜面

- ・切土高さは約15mであり、標準的な切土高さの範囲内であることから、標準のり面勾配で切土を行う
- ・斜面変位を観測しながら施工する



【審議事項2】 詳細設計に向けた実施プロセス(案)

池上地区の切土のり面对策について

【審議事項2】 詳細設計に向けた実施プロセス(案)

① 地質分類

- ・ 追加ボーリング調査結果を踏まえた地質分類の細分化

② 切土勾配・形状・小段

- ・ 標準のり面勾配を参考に単一のり面勾配「1 : 1.2」および小段幅を設定

③ のり面安定解析

- ・ 「地すべりの安定解析」による安定計算を実施
- ・ ばらつきを考慮した設計N値の設定・応力開放による二次的強度低下や急速な風化を考慮した地盤定数の設定

④ のり面对策工法

のり面安定解析の結果から対策工法を選定（のり面保護工・地すべり対策工）



浸食防止用植生マット（土砂部）



モルタル吹付工（岩盤部）



グラウンドアンカー

⑤ 監視体制

切土の施工中および完成後において、斜面変位・地下水位の観測を行う

審議2-1

審議2-2

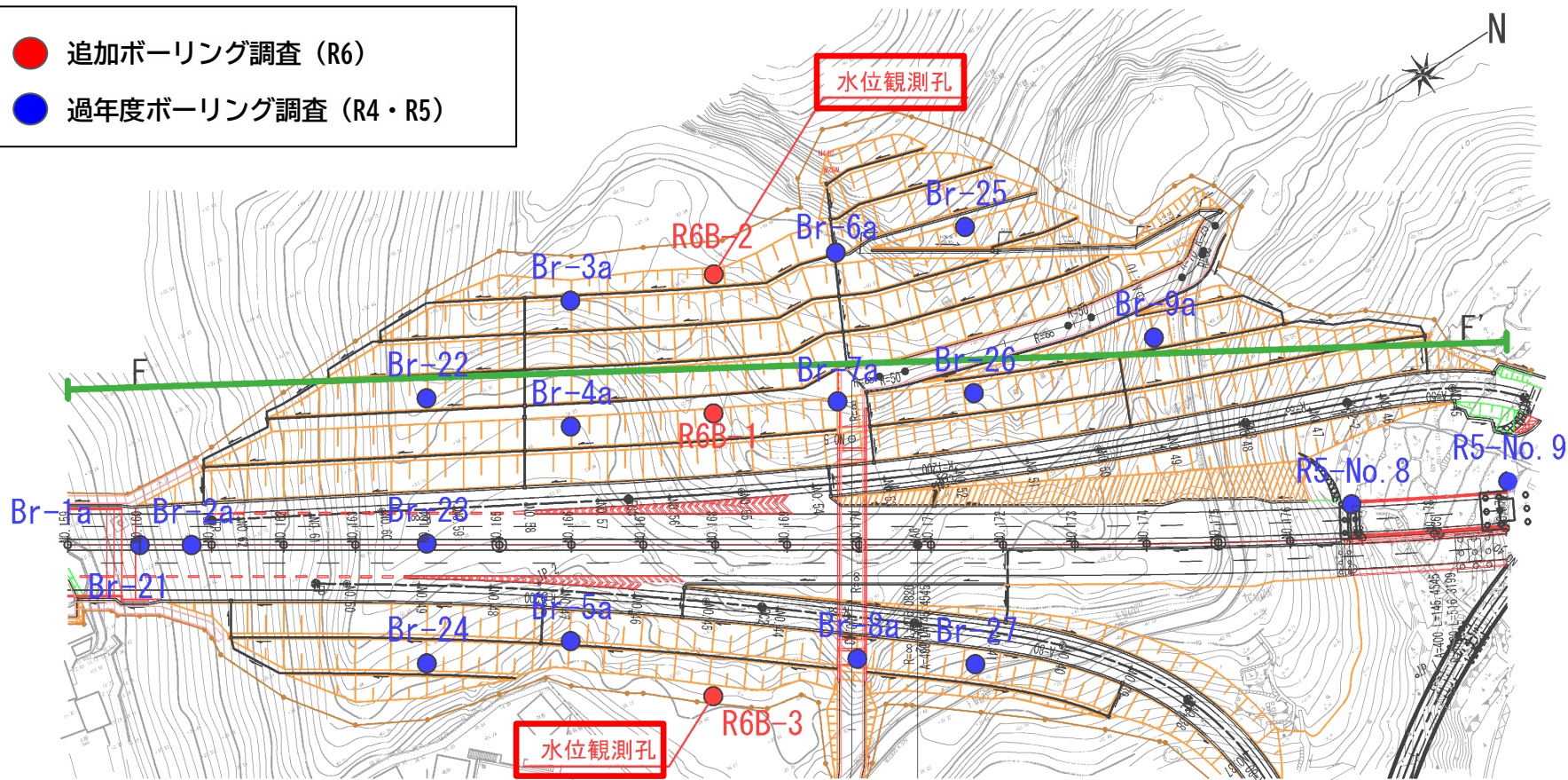
【審議事項2】 詳細設計に向けた実施プロセス(案)

- ①地質分類
- ②切土勾配・形状・小段
- ③のり面安定解析

池上地区の切土のり面対策について

①地質分類

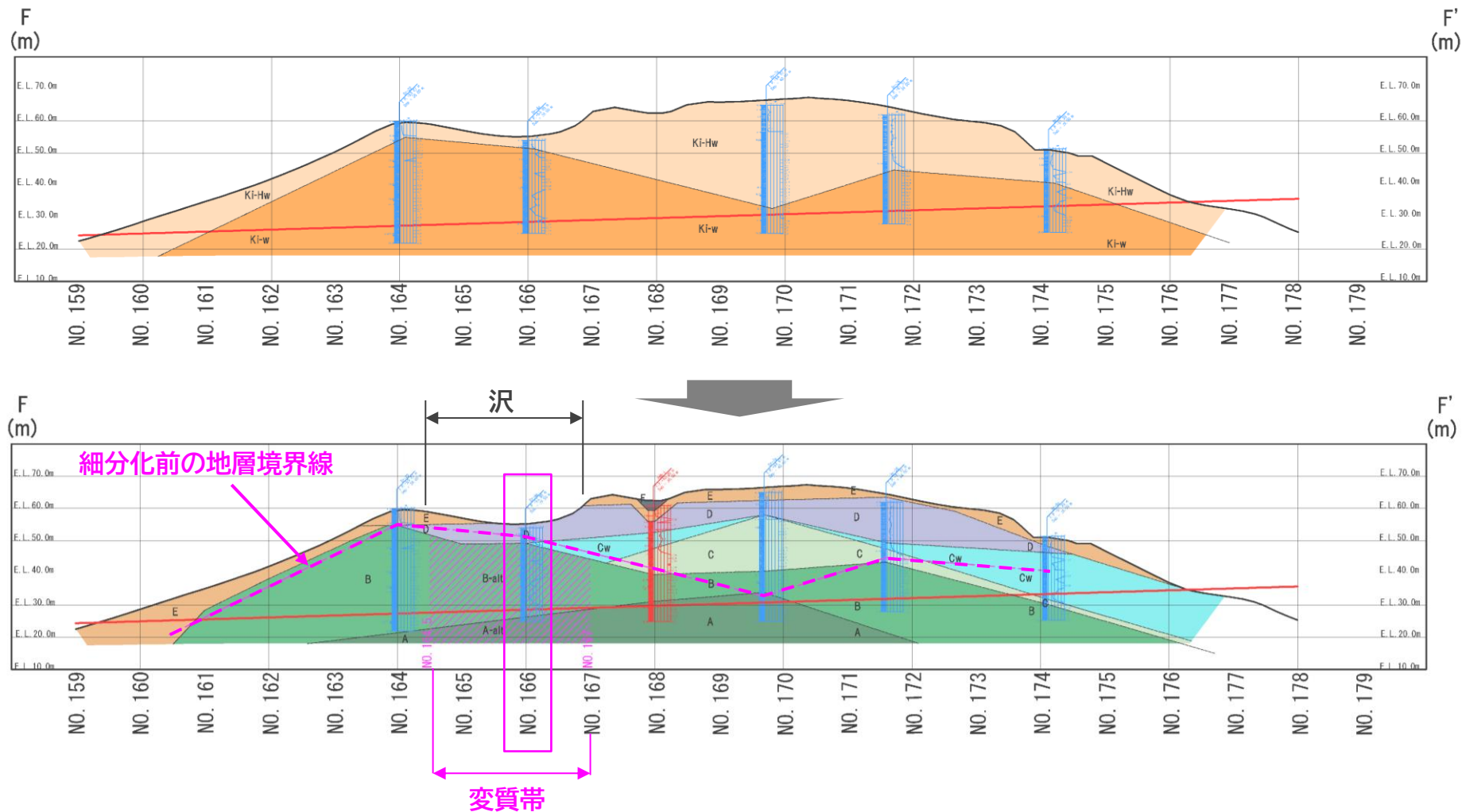
【ボーリング調査箇所図】



既存調査では岩盤を強風化部と風化部の2層に区分していたが、より安全性を確保するため、既存のコアおよび追加ボーリング調査のコアの岩相に応じて細分化

池上地区の切土のり面対策について

①地質分類











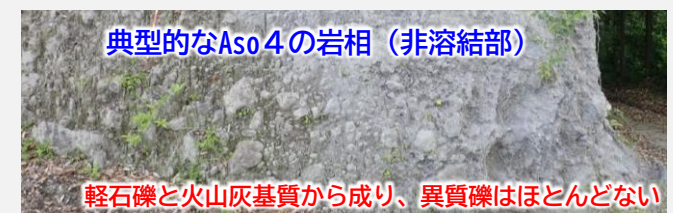
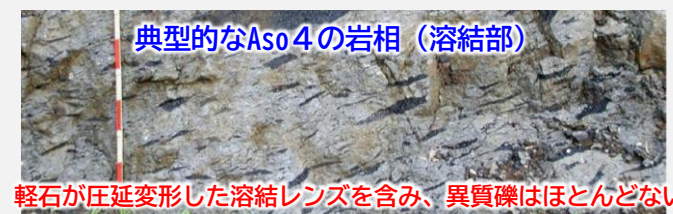
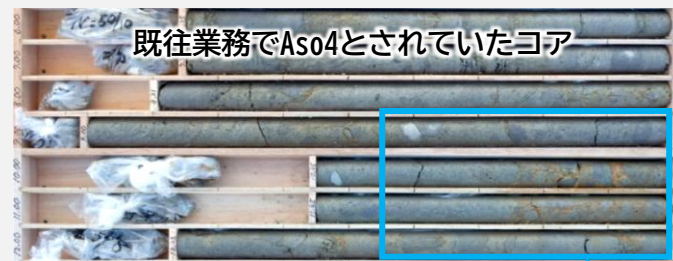
測点No.166の横断線上のボーリングにおいて、固結するものの、完全に握りすことができる程度に脆い凝灰角礫岩を確認

➡地形的に沢となる区間に堆積しているものとして、この区間に分布する「変質帯」として分類

池上地区の切土のり面対策について

①地質分類

時代	地質区分（細分化後）		代表的な岩相・土層の コア写真	掘削 分類	固結の程度	N値範囲		
	地層名	岩相・土相				最大 N値	最小 N値	平均 N値
完新世 第四紀 更新世	F	礫混じり砂層		土砂	未固結	3	2	2
	E	礫混じり火山灰質砂層			大半が未固結 一部半固結する が非常に脆い	12	0	4
	D	安山岩質火山礫凝灰岩		岩盤	固結するが脆い	78	0	14
	Cw	安山岩質火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩脆弱部			固結するが脆い	166	5	30
	C	安山岩質火山礫凝灰岩～凝灰質砂岩			固結するがやや脆い	300	14	135
	B	安山岩質凝灰角礫岩			固結するがやや脆い	300	11	165
更新世 変質帯	A	安山岩質凝灰角礫岩		岩盤	固結するがやや脆い	300	38	207
	alt	AB層の一部が該当			固結するが脆い	250	3	62



学識者にて追加ボーリング調査コアと既存調査のコアを観察した結果、切土範囲内にAso4層は堆積していないことを確認

池上地区の切土のり面対策について

② 切土勾配・形状・小段

時代	地層名	岩相・土相	代表的な岩相・土層の コア写真	掘削 分類	固結の程度	切土のり面 勾配
完新世	F	礫混じり砂層		土砂	未固結	1:1.2
	E	礫混じり 火山灰質砂層			大半が未固結 一部半固結する が非常に脆い	
	D	安山岩質 火山礫凝灰岩		岩盤	固結するが 脆い	1:1.2
	Cw	安山岩質 火山礫凝灰岩 ～凝灰角礫岩 脆弱部			固結するが やや脆い	
	C	安山岩質 火山礫凝灰岩 ～凝灰質砂岩			固結するが やや脆い	
	B	安山岩質 凝灰角礫岩			固結するが やや脆い	
第四紀	A	安山岩質 凝灰角礫岩		岩盤	固結するが やや脆い	1:1.2
	alt	AB層の一部が該当			固結するが やや脆い	

解表 6-2 切土に対する標準のり面勾配

地 山 の 土 質	切 土 高	勾 配
硬 岩		1:0.3~1:0.8
軟 岩		1:0.5~1:1.2
砂		1:1.5~
砂 質 土	密実でない粒度分布の悪いもの	5m以下 1:0.8~1:1.0 5~10m 1:1.0~1:1.2
	密実なもの	5m以下 1:1.0~1:1.2 5~10m 1:1.2~1:1.5
	密実でないもの	10m以下 1:0.8~1:1.0 10~15m 1:1.0~1:1.2
	砂利または岩塊混じり砂質土	10m以下 1:1.0~1:1.2 10~15m 1:1.2~1:1.5
粘 性 土		10m以下 1:0.8~1:1.2 5m以下 1:1.0~1:1.2 5~10m 1:1.2~1:1.5

A, B, C層

Cw, D層, 変質帯

F層

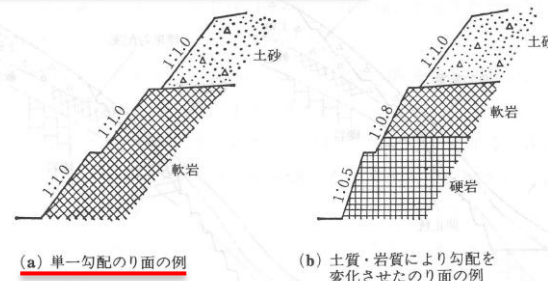
E層

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P136

切土のり面の形状には一般に次のようなものがあり、地質・土質が深さ方向、縦横断方向ともにほぼ等しい場合には一般に①を採用する。

- ① 単一勾配のり面
- ② 勾配を土質及び岩質により変化させたのり面

地質、土質が異なっても、最も緩い勾配を必要とする土質に合わせれば、解図 6-8(a)のように単一のり面勾配としてもよい。



解図 6-8 地山状態とのり面形状の説明図

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P149-150

標準のり面勾配に示される範囲の最緩勾配を用いた単一勾配「1:1.2」を設定

池上地区の切土のり面对策について

② 切土勾配・形状・小段



小段は、のり面排水と維持管理時の点検作業を考慮して設けるもので、その際には以下の点に配慮する。

(1) 小段の勾配

小段の横断勾配は、通常5～10%程度つけるものとする。

(2) 小段の位置及び幅

① 切土のり面では土質・岩質・のり面の規模に応じて、高さ5～10m毎に1～2m幅の小段を設けるのがよい。なお落石防護柵等を設ける場合や長大のり面の場合は小段幅を広くとることが望ましい。

② 小段の位置は同一土質からなるのり面では、機械的に等間隔としてよいが、土質が異なる場合には湧水を考慮して土砂と岩、透水層と不透水層との境界等になるべく合わせて設置することが望ましい。

(3) 長大のり面の小段

長大のり面の場合、小段を高さ20～30m毎に広くし（幅3～4m程度）管理段階における点検、補修用のステップとすることが望ましい。これは落石やはく離れた土砂を留める役目として効果的である。また管理用のはしご、階段等も当初から考慮することが望ましい。

(2) 小段の位置及び幅

切土の小段は原則として5～10mの間隔で設けるものとし、7m毎を標準とする。また、小段の幅は1.5m（軟岩及び土砂）を標準とする。

小段の位置と幅を図2-9に示す。

なお、長大のり面の場合は高さ20～30m毎に点検、補修用の小段（幅3～4m程度）を設けておくことが望ましい。

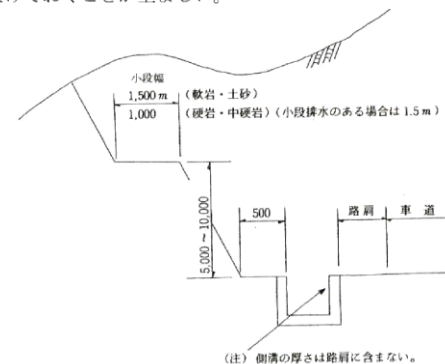


図2-9 小段の位置と幅

切土高さ7mごとに幅1.5mの小段を設け、うち1箇所は幅4.0mの幅広小段とする

池上地区の切土のり面対策について

③ のり面安定解析 - 安定計算

(iv) すべり面の位置と形状

すべり面の位置、形状は各ボーリング調査、テストピット等で確認または想定されたすべり面の最深部を結んで定める。現在活動中の地すべりの場合は、パイプひずみ計、孔内傾斜計の観測によって求めたすべり面と地表面に現われた亀裂等を結ぶすべり面を想定する。

また地すべりは地表面に平行な面を有することが多く、とくに、明確な地すべり面を確認できない場合には、その形状は地表面の形状等から推定することもある。

地すべりの形状は、円弧に近似したすべりの他、複合円弧、直線と円弧の複合、直線等各種の形状があり、地すべり地の特徴を勘案して最も可能性の高い形状を定めて、安定計算に供する。

すべりの方向は、斜面の最大傾斜角に沿った方向にある例が多い。

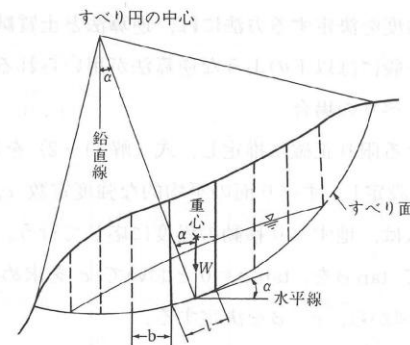
(v) 間隙水圧の分布

すべり面に沿った間隙水圧は、すべり面付近の間隙水圧計の測定結果により得た最も大きな水圧を採用することが原則であるが、便宜的に、各ボーリング孔で確認された最高水位を採用するか、または地盤の水理条件から考えられる最高水位を採用する。

2) 安定計算

(i) 基本的な考え方

安定計算は、地すべりブロックの主測線上で設定したすべり面を対象として簡便法に基づいて、地すべり土塊の断面をいくつかのスライスに分割して、式(解11-2)を用いて行う(解図11-21参照)



解図 11-21 地すべり安定計算に用いるスライス分割の例

$$F_s = \frac{\sum \{c \cdot l + (W - u \cdot b) \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{\sum W \cdot \sin \alpha} \dots \dots \dots \text{(解 11-2)}$$

ここに、 F_s : 安全率

c : 粘着力 (kN/m²)

ϕ : せん断抵抗角 (度)

l : 各分割片で切られたすべり面の弧長 (m)

u : 間隙水圧 (kN/m²)

b : 分割片の幅 (m)

W : 分割片の重量 (kN/m)

α : 分割片で切られたすべり面の midpoint とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角 (度)

地盤定数を設定する必要あり

- ・ 単位体積重量
- ・ 粘着力C
- ・ 内部摩擦角φ

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P398-399

・ 地すべりの安定計算式を用いて、繰り返し円弧すべりによる安定計算を実施

池上地区の切土のり面対策について

③のり面安定解析- 土砂部の地盤定数

土砂 (F, E層)

【単位体積重量】

地 盤	土 質	ゆるいもの	密なもの
自然 地盤	砂及び砂れき	18	20
	砂 質 土 E層	17	19
	粘 性 土	14	18
盛 土	砂及び砂れき	20	
	砂 質 土 F層	19	
	粘 性 土	18	

- 注) (1) 地下水位以下にある土の単位重量は、それぞれの表中の値から9を差し引いた値としてよい。
- (2) 碎石は砂利と同じ値とする。また、ずり、岩塊等の場合は種類、形状、大きさ及び間隙等を考慮して定める必要がある。
- (3) 砂利まじり砂質土、あるいは砂利まじり粘性土にあつては、混合割合及び状態に応じて適当な値を定める。
- (4) 地下水位は施工後における平均値を考える。

【内部摩擦角 ϕ 】

1. 標準貫入試験の N 値から砂のせん断抵抗角 ϕ を推定する場合の参考式 (案)

標準貫入試験の N 値から有効上載圧の影響を考慮して砂のせん断抵抗角 ϕ を推定する場合の参考式を式 (参 1.1) に示す。

$$\phi = 4.8 \log N_1 + 23 \quad (N > 5) \quad \dots\dots\dots \text{(参 1.1)}$$

$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70} \quad \dots\dots\dots \text{(参 1.2)}$$

ここに、

ϕ : 砂のせん断抵抗角 (°)

σ'_v : 有効上載圧 (kN/m²) で、標準貫入試験を実施した時点の値

N_1 : 有効上載圧 100kN/m² 相当に換算した N 値。ただし、原位置の σ'_v が $\sigma'_v < 50$ kN/m² である場合には、 $\sigma'_v = 50$ kN/m² として算出する。

N : 標準貫入試験から得られる N 値

『H29道路橋示方書 下部工編』P604

『H29道路橋示方書・同解説 I 共通編』P119

・単位体積重量は、道路橋示方書に基づき、標準的な値を設定

・内部摩擦角 ϕ は、道路橋示方書に基づき、 N 値から算出する計算式を用いる

池上地区の切土のり面対策について

③のり面安定解析- 土砂部の地盤定数

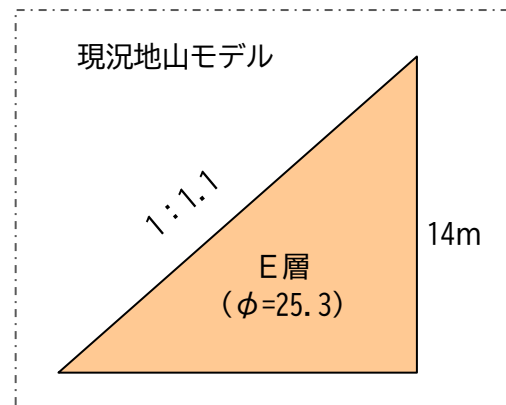
土砂 (F, E層)

【粘着力C】

N値から砂質土の粘着力を推定する計算式はないため、
実測から現況地山をモデル化し、内部摩擦角 ϕ を与えて

安全率 $F_s=1.05$ を満足する粘着力Cを逆算

(土砂の大部分を占めるE層にて算出)



② 現在活動していない地すべりの場合

現状の安全率を、「11-2 地すべり調査」の中の「解表 11-2 地すべりの型分類」に述べられている平均的な安全率の項を参考にして、各地すべりの型の範囲で設定し、式(解 11-2)を用いた逆算法により、地すべり面の平均的な c , ϕ を求める。その他に土質試験結果を参考にして安定計算を行う。

想定されるすべり面(旧すべり面)において採取した乱さない試料(すべり面試料も含む)について、圧密非排水(間隙水圧測定)条件の三軸圧縮試験(CU三軸圧縮試験)、または圧密排水条件の一面せん断試験(繰返し)等を行い、すべり面の強度定数 c' , ϕ' または c_d , ϕ_d を定める。

すべり面付近の乱さない試料採取が困難な場合には、すべり面付近の母岩についてのスラリーまたはプレカット試料を作り、上述の試験と同様な方法で求めた強度定数を参考として、すべり面強さを決定する。

【参考】

地すべり斜面の安定計算に用いるすべり面のせん断強度を、地形、地質、地すべり履歴、地すべりの活動量等を考慮して参表 11-1 の室内土質試験より決定する手法も提案されている。また、現在活動していない風化岩すべりについては現状の安全率を $F_s=1.05 \sim 1.15$ の範囲で設定する考え方がある。

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P402-403

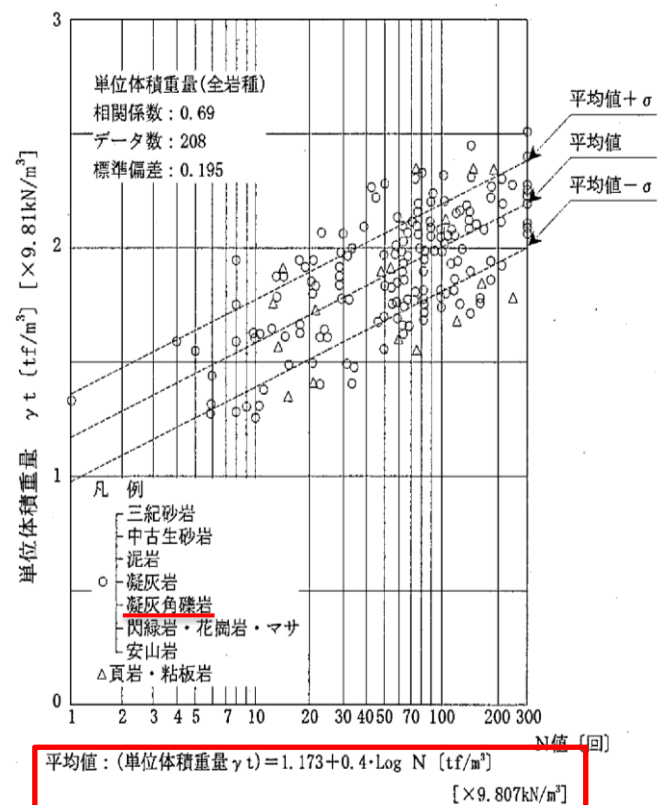
現況地山をモデル化し、内部摩擦角 ϕ を与えて安全率 $F_s=1.05$ を満足する粘着力Cを逆算

池上地区の切土のり面対策について

③のり面安定解析- 岩盤部の地盤定数

岩盤 (A, B, C, Cw, D層, 変質帯)

【単位体積重量】



『NEXCO 設計要領第二集橋梁建設編』P4-8

【粘着力C・内部摩擦角φ】

表 4-2-5 換算N値による場合の測定例

		砂岩・礫岩 深成岩類	安山岩	泥岩・凝灰岩 凝灰角礫岩	備考
粘着力 (kN/m²)	換算N値と 平均値の関係	$15.2N^{0.327}$	$25.3N^{0.334}$	$16.2N^{0.606}$	
	標準偏差	0.218	0.384	0.464	・Log軸上の値
せん断 抵抗角 (度)	換算N値と 平均値の関係	$5.10\text{Log}N$ +29.3	$6.82\text{Log}N$ +21.5	$0.888\text{Log}N$ +19.3	Logの底は10
	標準偏差	4.40	7.85	9.78	

『NEXCO 設計要領第二集橋梁建設編』P4-11

- ・単位体積重量は、NEXCO設計要領に基づき、N値から算出する計算式を用いる
- ・粘着力C及び内部摩擦角φは、NEXCO設計要領に基づき、N値から算出する計算式を用いる

池上地区の切土のり面対策について

③ のり面安定解析 - 設計N値

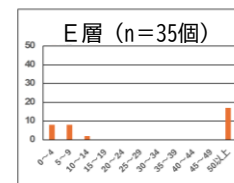
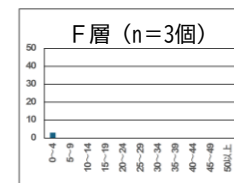
時代	地層名	岩相・土相	掘削分類	固結の程度	設計N値	N値			
						最大N値	最小N値	平均N値	中央値
第四紀 更新世	F	礫混じり砂層	土砂	未固結	2	3	1	2	2
	E	礫混じり火山灰質砂層		大半が未固結 一部半固結するが非常に脆い	4	12	0	4	5
	D	安山岩質火山礫凝灰岩	岩盤	固結するが脆い	8	78	0	14	8
	Cw	安山岩質火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩脆弱部		固結するが脆い	20	166	5	30	20
	C	安山岩質火山礫凝灰岩～凝灰質砂岩		固結するがやや脆い	93	300	14	135	93
	B	安山岩質凝灰角礫岩		固結するがやや脆い	166	300	11	165	166
	A	安山岩質凝灰角礫岩		固結するがやや脆い	214	300	38	207	214
変質帯	alt	AB層の一部が該当		固結するが脆い	43	250	3	62	43

【各地層のN値のヒストグラム】

【土砂（F層・E層）】

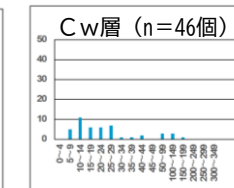
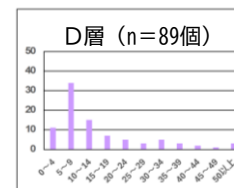
平均値を設定

(備考) E層のN値50以上の値は巨礫によるものであることから除外して統計処理



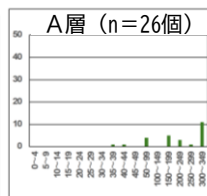
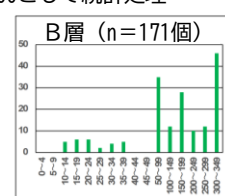
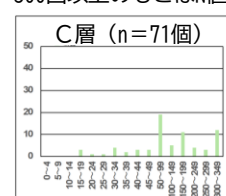
【岩盤（D層・Cw層）】

中央値を設定



【岩盤（C層・B層・A層）】 中央値を設定

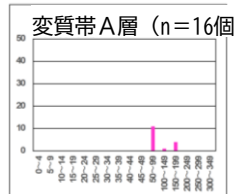
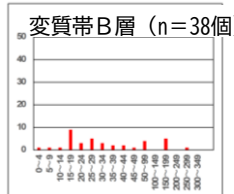
(備考) 「NEXCO設計要領」のN値から地盤定数を求める計算式において、適用がN値300までであることから、N=300回以上のものはN値300として統計処理



【岩盤（変質帯）】

中央値を設定

(備考) 変質帯であることからB層とA層に区分せずに統計処理



・土砂部は平均値を設計N値として設定

・岩盤部ではそれぞれの層の中で幅広いN値を示すことを考慮し、中央値を設計N値として設定

池上地区の切土のり面対策について

③ のり面安定解析 - 設計N値・地盤定数一覧

時代	地層名	岩相・土相	代表的な岩相・土層の コア写真	掘削 分類	固結の程度	設計 N値	地盤定数		
							単位体積 重量 (γ_t kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
完新世 第四紀	F	礫混じり砂層		土砂	未固結	2	19.0	9.3	21.3
	E	礫混じり 火山灰質砂層			大半が未固結 一部半固結する が非常に脆い	4	17.0	9.3	25.3
	D	安山岩質 火山礫凝灰岩		岩盤	固結するが 脆い	8	15.0	57	20.1
	Cw	安山岩質 火山礫凝灰岩 ～凝灰角礫岩 脆弱部			固結するが やや脆い	20	16.6	99	20.4
	C	安山岩質 火山礫凝灰岩 ～凝灰質砂岩			固結するが やや脆い	93	19.2	252	21.0
	B	安山岩質 凝灰角礫岩			固結するが やや脆い	166	20.2	358	21.2
	A	安山岩質 凝灰角礫岩			固結するが やや脆い	214	20.6	418	21.3
変質帯	alt	AB層の一部が該当			固結するが やや脆い	43	17.9	158	20.7

【岩盤部】

応力開放による二次的強度低下や、
急速な風化による脆弱性を考慮し、
粘着力C及び内部摩擦角 ϕ を低減

池上地区の切土のり面対策について

③ のり面安定解析 - 地盤定数の低減

5. 3. 3 地盤定数

(1) 力学特性、物理特性、地下水等の地盤条件は、設計に用いる諸量・判定との関係を明確にし、ボーリング結果やサウンディング、サンプリング試験、原位試験、物理探査試験等から総合的に判断するとともに、既往の岩盤等級との関係を参考に決定する。また、近傍に地質的に類似と判断される崩壊事例がある場合は逆算法により推定することもできる。

(2) 地盤がゆるんだ場合のせん断強度は、その値を低減して用いるものとする。

(2) 地盤が掘削等によりゆるんだ（塑性化した）場合は、せん断強度の低下が考えられる。この低下強度については、現段階で明確に設定するのは困難であることから『設計要領第二集』に記載している亀裂係数による低減係数を援用し、基本的に図-5.3.2より $K_c=0.2$ 、 $K_\phi=0.8$ とする。

$$c = K_c \times c_0$$

$$\phi = K_\phi \times \phi_0$$

K_c : 粘着力の低減係数
 K_ϕ : 内部摩擦角の低減係数
 C_r : 亀裂係数 $C_r = 1 - (V_p/V_{p0})^2$

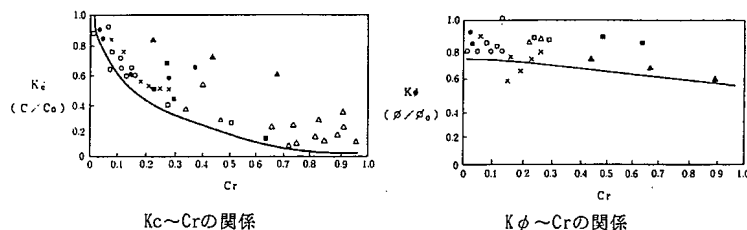


図-5.3.2 亀裂係数とせん断強度低減係数の関係¹⁾

『長大のり面の縮小化工法に関する手引き（JH日本道路公団）』P85-86

応力開放による二次的強度低下や急速な風化による脆弱性を考慮し、地盤定数を低減
「粘着力 $C \times 0.2$ 、内部摩擦角 $\phi \times 0.8$ 」

室内試験結果から岩盤のせん断定数を求める場合には、地山の亀裂や断層、将来の風化等を考慮して、設計上安全となるように、設計値を決めなければならない。ここでいう室内試験とは、三軸圧縮試験、一面せん断試験及び一軸圧縮並びに一軸引張試験のことである。なお、一軸引張試験の代りに圧裂試験を行ってもよい。一般に室内試験に用いられる供試体は亀裂の少ない良質なものであるので地山を代表しないことが多い。したがって室内試験結果を設計に用いる場合には、何らかの方法で地山の風化、亀裂、シーム等の影響を評価することが必要である。ここにはそのひとつの方法として亀裂係数を用いた方法を示す。亀裂係数 C_r は次式によって定義される量である。

$$C_r = 1 - \left(\frac{V_p}{V_{p0}} \right)^2 \quad \text{式 (4-2-3)}$$

ここに、

V_p : 地山の縦波弾性波速度 (m/sec)

V_{p0} : 供試体の超音波伝播速度 (m/sec)

一般に縦波弾性波速度は、地山の風化、亀裂、シーム等により速度が小さくなる傾向を持っている。また、風化、亀裂、シーム等の見られない良質の岩盤では、良質の供試体で行った室内超音波伝播速度とほぼ同じ値をとることも知られている。従って式(4-2-3)に示した亀裂係数 C_r は地山の風化、亀裂、シーム等の状態を代表していると考えられる。これまでに発表された C_r は室内試験の結果を用いれば、せん断定数を求めることができる。図4-2-5は道路公団試験研究所及び鉄道技術研究所で実施された試験結果を $K_c \sim C_r$ の関係に直して示したものである。ここで、 C_0 は $C_r = 0$ すなわち無亀裂状態における粘着力である。図4-2-5はかなりばらついているが、このデータは種々の強度、亀裂係数が入っており、更に試験方法も異なるものが含まれているが、ばらつきの下限を考え図のような曲線をひけば、この曲線を用いて粘着力 C を推定してもよい。すなわち、

$$C = K_c \times C_0 \quad \text{式 (4-2-4)}$$

ここに、

K_c : 粘着力の低減係数

次に図4-2-6に $K_\phi \sim C_r$ の関係を示す。図の作成は C の場合と全く同様である。

したがって、 ϕ は次式で求めることができる。

$$\phi = K_\phi \times \phi_0 \quad \text{式 (4-2-5)}$$

ここに、

K_ϕ : せん断抵抗角

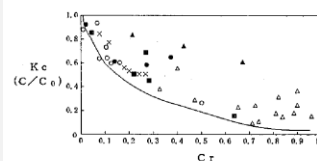


図4-2-5 $K_c \sim C_r$ の関係

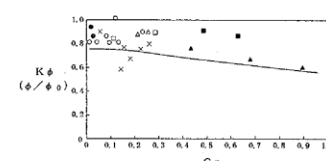






図4-2-6 $K_\phi \sim C_r$ の関係

『設計要領第二集（JH日本道路公団）』P4-9・10

池上地区の切土のり面対策について

③ のり面安定解析 - 設計N値・地盤定数一覧

時代		地層名	岩相・土相	代表的な岩相・土層の コア写真	掘削 分類	固結の程度	設計 N値	地盤定数			応力開放による二次的強度低下・急速な 風化による脆弱性を考慮した地盤定数		
								単位体積 重量 (γ_t kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	単位体積 重量 (γ_t kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
第四紀	完新世	F	礫混じり砂層		土砂	未固結	2	19.0	9.3	21.3	土砂相当層であるため強度定数の低減は考慮しない		
		E	礫混じり 火山灰質砂層			大半が未固結 一部半固結する が非常に脆い	4	17.0	9.3	25.3			
	第四紀	D	安山岩質 火山礫凝灰岩		岩盤	固結するが 脆い	8	15.0	57	20.1	15.0	11	16.1
		Cw	安山岩質 火山礫凝灰岩 ～凝灰角礫岩 脆弱部			固結するが やや脆い	20	16.6	99	20.4	16.6	20	16.3
		C	安山岩質 火山礫凝灰岩 ～凝灰質砂岩			固結するが やや脆い	93	19.2	252	21.0	19.2	50	16.8
		B	安山岩質 凝灰角礫岩			固結するが やや脆い	166	20.2	358	21.2	20.2	72	17.0
		A	安山岩質 凝灰角礫岩			固結するが やや脆い	214	20.6	418	21.3	20.6	84	17.0
		変質帯	alt	AB層の一部が該当			固結するが やや脆い	43	17.9	158	20.7	17.9	32

池上地区の切土のり面对策について

③ のり面安定解析 - 安定計算(間隙水圧)

(iv) すべり面の位置と形状

すべり面の位置、形状は各ボーリング調査、テストピット等で確認または想定されたすべり面の最深部を結んで定める。現在活動中の地すべりの場合は、パイプひずみ計、孔内傾斜計の観測によって求めたすべり面と地表面に現われた亀裂等を結ぶすべり面を想定する。

また地すべりは地表面に平行な面を有することが多く、とくに、明確な地すべり面を確認できない場合には、その形状は地表面の形状等から推定することもある。

地すべりの形状は、円弧に近似したすべりの他、複合円弧、直線と円弧の複合、直線等各種の形状があり、地すべり地の特徴を勘案して最も可能性の高い形状を定めて、安定計算に供する。

すべりの方向は、斜面の最大傾斜角に沿った方向にある例が多い。

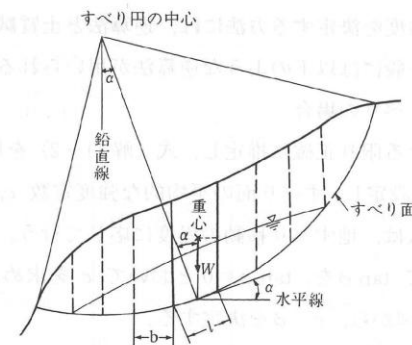
(v) 間隙水圧の分布

すべり面に沿った間隙水圧は、すべり面付近の間隙水圧計の測定結果により得た最も大きな水圧を採用することが原則であるが、便宜的に、各ボーリング孔で確認された最高水位を採用するか、または地盤の水理条件から考えられる最高水位を採用する。

2) 安定計算

(i) 基本的な考え方

安定計算は、地すべりブロックの主測線上で設定したすべり面を対象として簡便法に基づいて、地すべり土塊の断面をいくつかのスライスに分割して、式(解11-2)を用いて行う(解図11-21参照)



解図 11-21 地すべり安定計算に用いるスライス分割の例

$$F_s = \frac{\Sigma \{c \cdot l + (W - u \cdot b) \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{\Sigma W \cdot \sin \alpha} \cdots \cdots \cdots (\text{解 11-2})$$

ここに、 F_s : 安全率

c : 粘着力 (kN/m^2)

ϕ : セン断抵抗角 (度)

l : 各分割片で切られたすべり面の弧長 (m)

u : 間隙水圧 (kN/m^2)

b : 分割片の幅 (m)

W : 分割片の重量 (kN/m)

α : 分割片で切られたすべり面の midpoint とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角 (度)

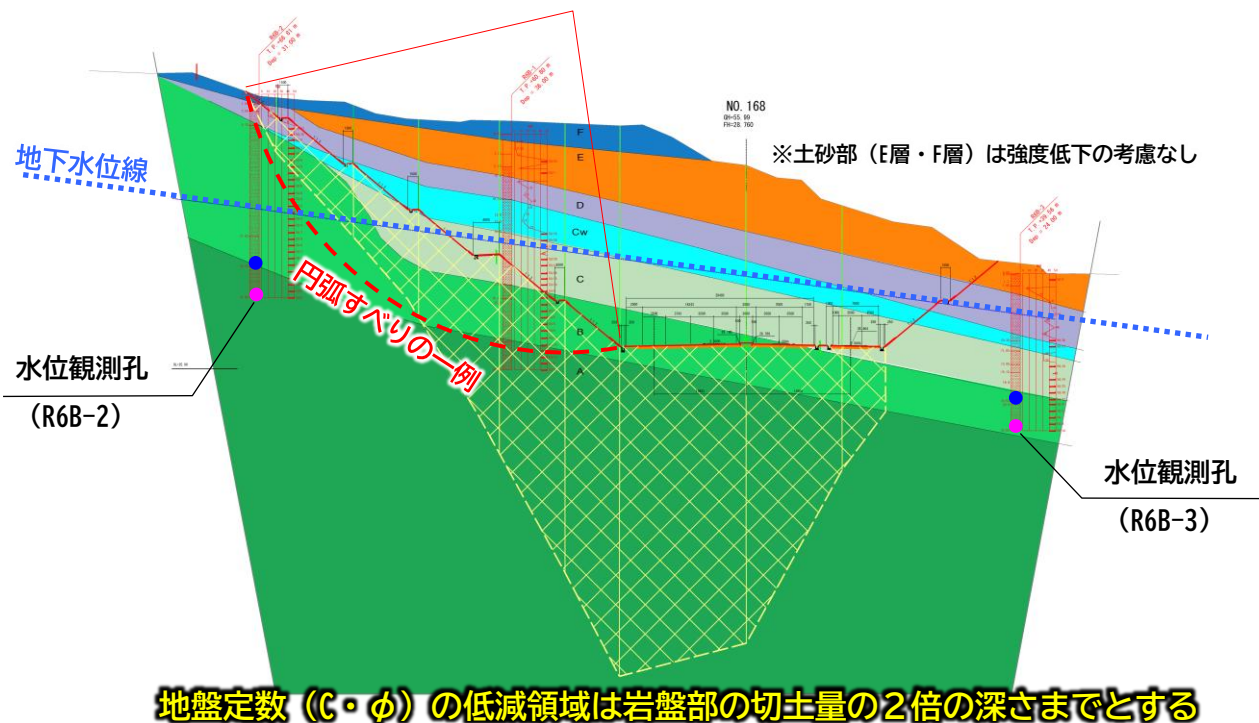
水位条件を設定する必要あり

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P398-399

・水位条件は、追加ボーリング箇所を実施した水位観測結果の最高水位を用いて設定

池上地区の切土のり面対策について

③ のり面安定解析

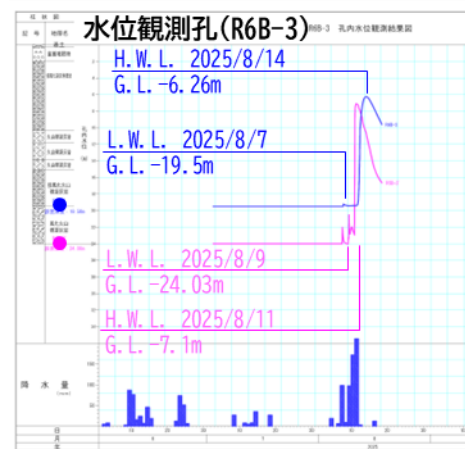
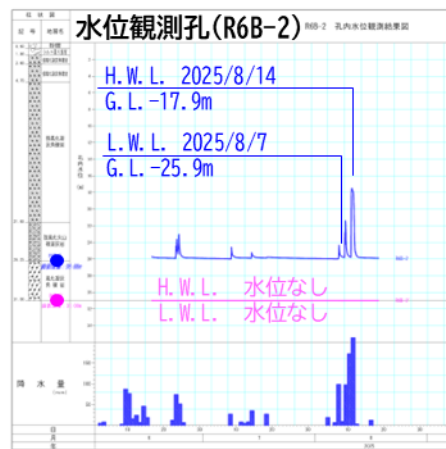


【水位観測結果】

常時、地下水位は観測されないものの、降雨に連動して一時的に地下水位が上がることを確認

【地下水位線の設定】

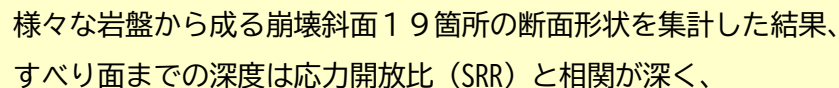
それぞれの水位観測孔で観測された最高水位を結んだ線を地下水位線とした



③ のり面安定解析

（参考）崩壊斜面の集計モデルイメージ

応力開放比(SRR): 切土前垂直土被り圧(σV^0) / 切土後垂直土被り圧(σV^1)



「すべり面の中心位置において、応力開放比（SRR）=2 前後ですべりが発生する傾向あり」

「すべり面の中心位置より山側でSRR=2以上、谷側でSRR=2以下となる傾向あり」

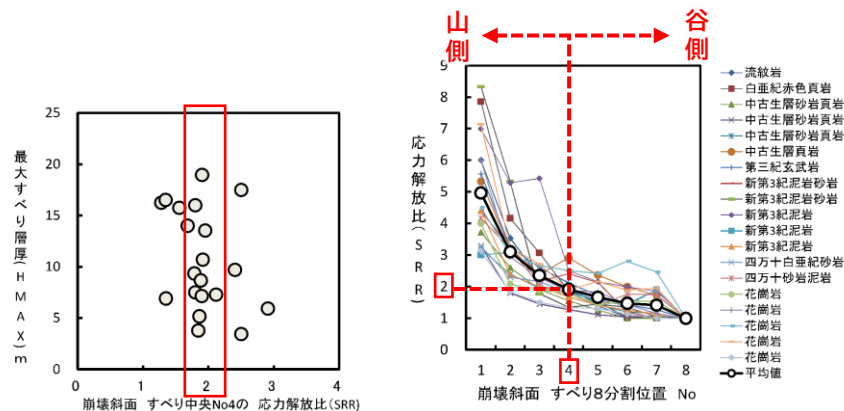


図-4 崩壊斜面の最大スベリ層厚と応力解放比

図-2 崩壊斜面の各位置の応力解放比

すべり面の中心位置では
最大すべり層厚に関係なく、
SRR=2前後ですべりが発生
する傾向あり

すべり面の中心位置より
山側でSRR=2以上
谷側でSRR=2以下
となる傾向あり

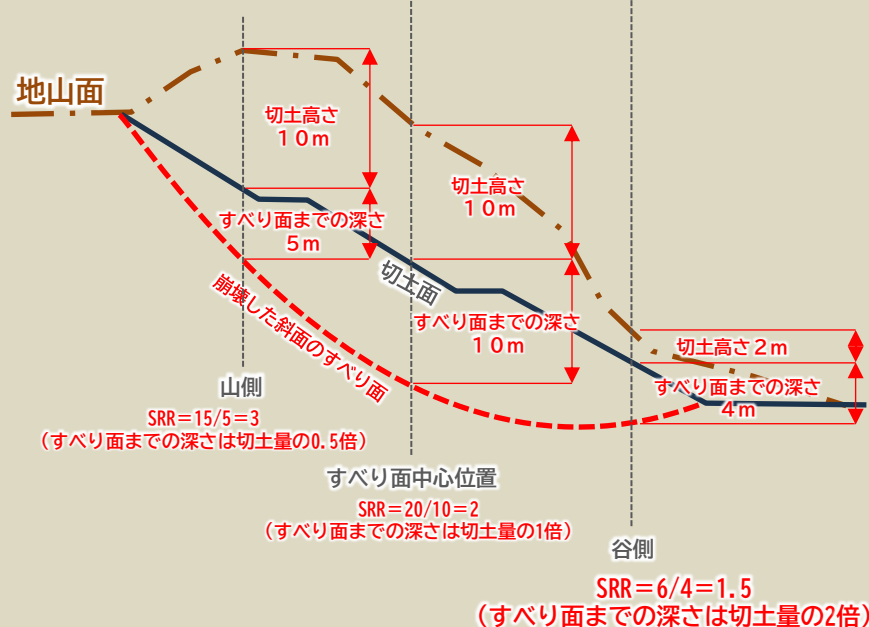
池上地区の切土のり面対策について

③ のり面安定解析

【応力開放比とすべり面形状の相関 ((株)エイト日本技術開発 木村・橋尾)】

(参考) 崩壊斜面の集計モデルイメージ

応力開放比(SRR): 切土前垂直土被り圧($\sigma V'0$) / 切土後垂直土被り圧($\sigma V'1$)



応力開放による強度低下が生じやすいとされる「スメクタイト」を含有する風化花崗岩における切土70日後のN値低下データと、同様にスメクタイトを含む火成岩の地形開析による応力開放比のデータを用いて、強度低下率の相関を分析した結果、

「強度低下率 $\alpha = 1.0$ (強度低下なし) となる交点は応力開放比 (SRR) = 1.5となる」

➡切土量の2倍より深部は強度低下しないことになり、ゆるまない範囲を想定可能

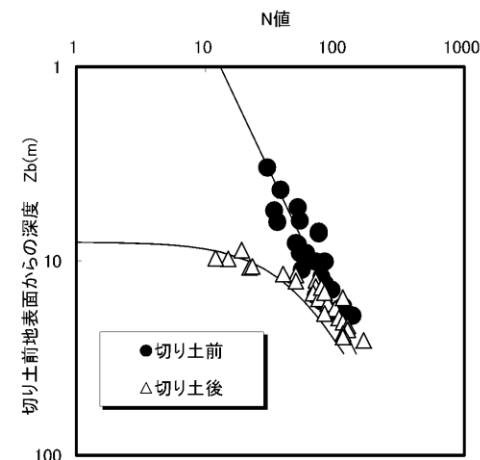


図-5 スメクタイト含有風化土の切土70日後のN値分布

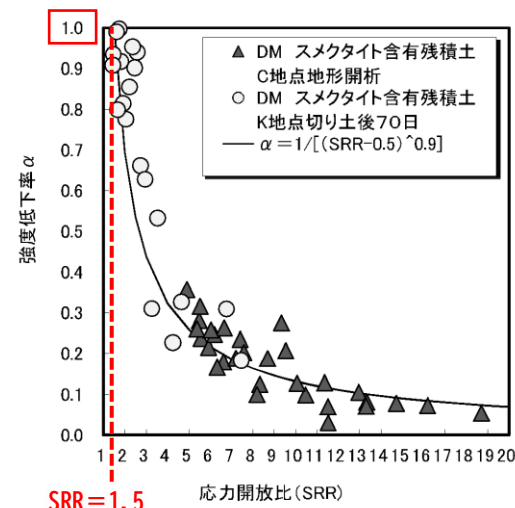


図-6 スメクタイト含有風化土の強度低下率
強度低下率 $\alpha = 1.0$ (強度低下なし) との交点はSRR = 1.5

池上地区の切土のり面対策について

【審議事項2】 詳細設計に向けた実施プロセス(案)

① 地質分類

- ・より安全性を確保するため、既存のコアおよび追加ボーリング調査のコアの岩相に応じて細分化する

② 切土勾配・形状・小段

- ・標準のり面勾配に示される範囲内で最も緩い勾配「1:1.2」を用いた単一勾配とする
- ・切土高さ7mごとに幅1.5mの小段を設け、うち1箇所は幅4.0mの幅広小段とする

③ のり面安定解析

- ・「地すべりの安定解析」による安定計算を実施する
- ・安定計算に必要な地盤定数の設定方法

＜土砂部の地盤定数＞ 単位体積重量：道路橋示方書に基づく標準的な値を用いる
内部摩擦角 ϕ ：道路橋示方書に基づき、N値から算出する計算式を用いる
粘着力C：現況地山をモデル化し、安全率 $F_s=1.05$ を満足する粘着力を逆算

＜岩盤部の地盤定数＞ NEXCO設計要領に基づき、N値から算出する計算式を用いる

＜設計N値の設定＞ 土砂部は平均値、岩盤部はばらつきを考慮して中央値を設定

- ・岩盤部では応力開放による二次的強度低下や急速な風化による脆弱性を考慮した地盤定数の低減を行う（粘着力 $C \times 0.2$ 、内部摩擦角 $\phi \times 0.8$ ）
- ・安定計算における水位条件は、水位観測結果の最高水位を結んだ線を地下水位線として設定する
- ・安定計算における地盤定数($C \cdot \phi$)の低減領域は、岩盤部の切土量の2倍の深さまでとする

【審議事項2】 詳細設計に向けた実施プロセス(案)

④のり面対策工法

⑤監視体制

池上地区の切土のり面対策について

④ のり面対策工法

のり面安定解析の結果、計画安全率 1.2 を満たすか

Yes

のり面保護工のみ実施
(切土勾配 1 : 1.2)

No

のり面保護工に加え、地すべり対策工を実施
(切土勾配 1 : 1.2)

切土勾配を緩やかにし、のり面保護工を実施
(切土勾配 1 : 4.0)

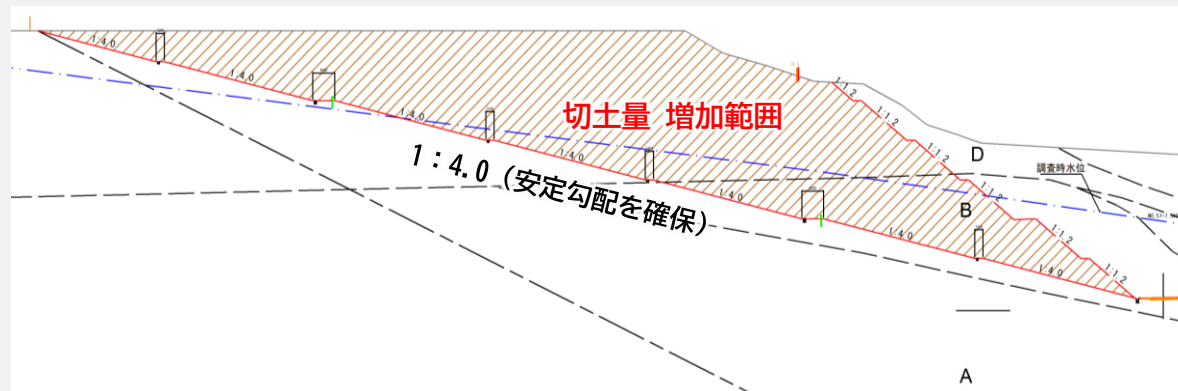
(iv) 計画安全率

地すべり対策の施工後、地すべり地の安定に必要とされる安全率を計画安全率と呼ぶ。これは、道路建設後に必要とする安全率のことであり、それは、その地すべりによって生じる被害の大きさや、経済性等を考慮して通常は、1.2 を用いることが多いが、1.05～1.2 の範囲で設定する。

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P403

【切土勾配の変更（安定勾配を確保）について】

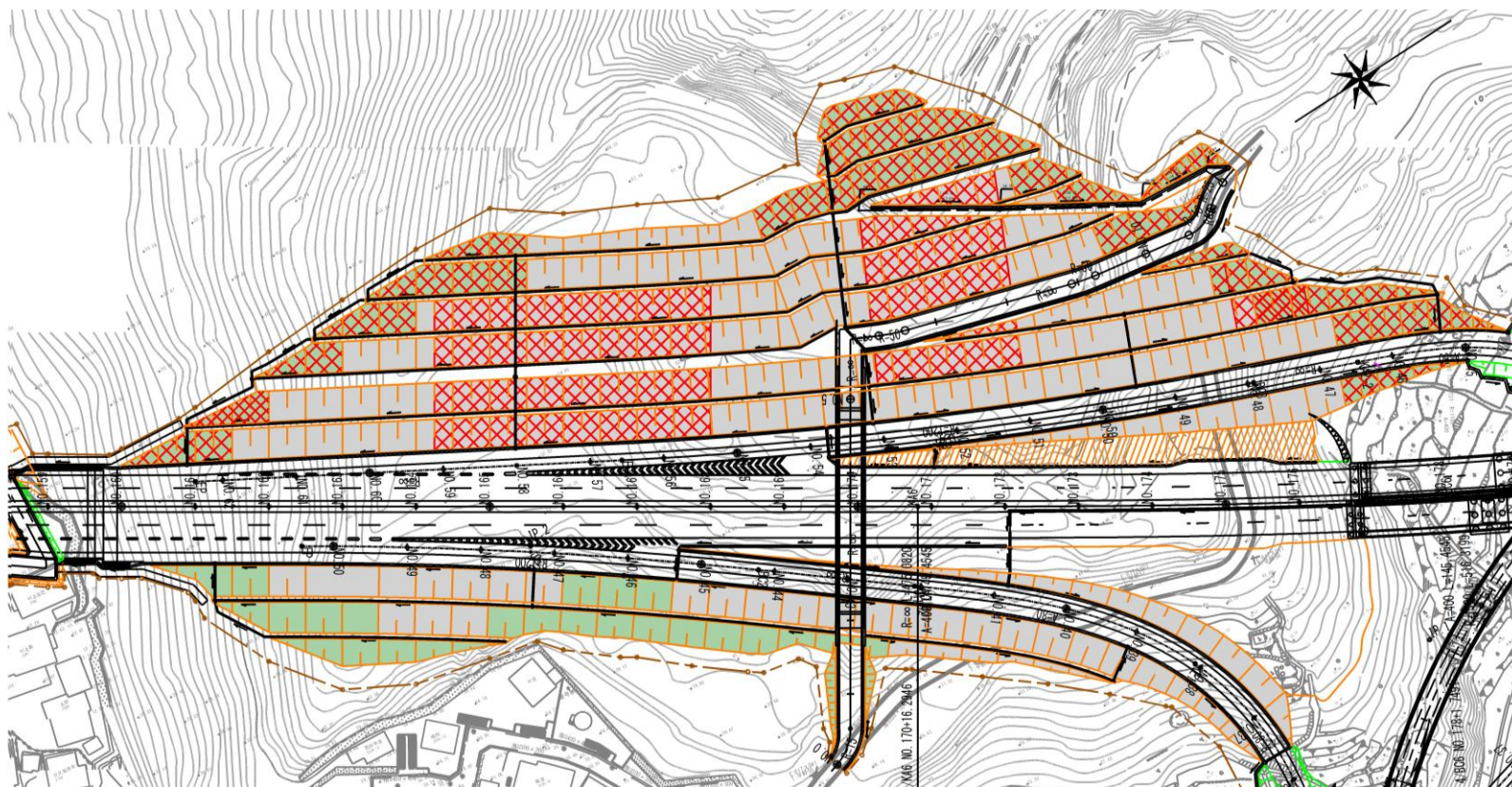
のり面安定解析の結果、計画安全率1.2を満たさない範囲について、安定勾配を確保するには切土勾配を1:4.0まで緩やかにする必要あり。その場合、切土量が2倍以上になり、経済性が劣ることは明らかであることや、周辺への影響が大きいことから、切土勾配を変更して安定勾配を確保することは不適と判断した。



池上地区の切土のり面对策について

④ のり面对策工法 - のり面安定解析結果

■ 切土のり面（土砂部） ■ 切土のり面（岩盤部） ■ 計画安全率1.2を満たさない範囲



- ・計画安全率1.2を満たす範囲については、のり面保護工のみ実施
- ・計画安全率1.2を満たさない範囲については、のり面保護工に加え、地すべり対策工を実施

池上地区の切土のり面対策について

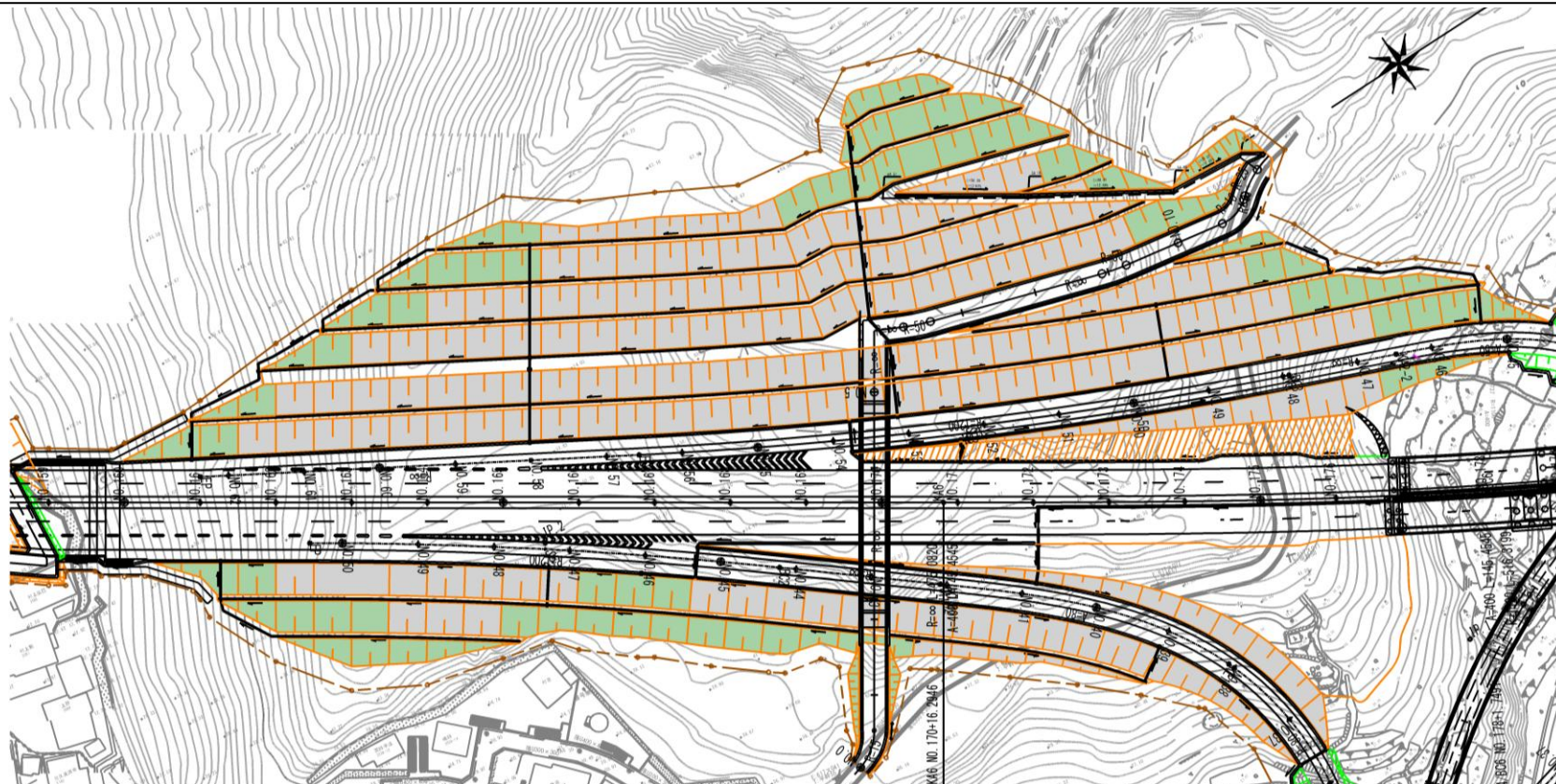
④ のり面对策工法 - のり面保護工



切土のり面（土砂部） → 植生を行う



切土のり面（岩盤部） → 植生は行わない（密閉型）

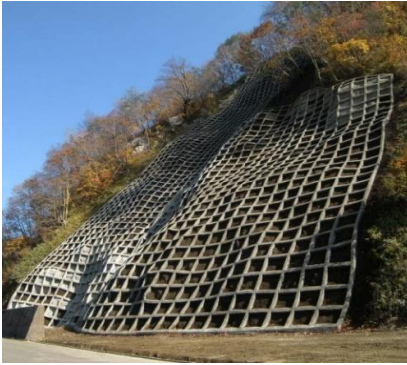
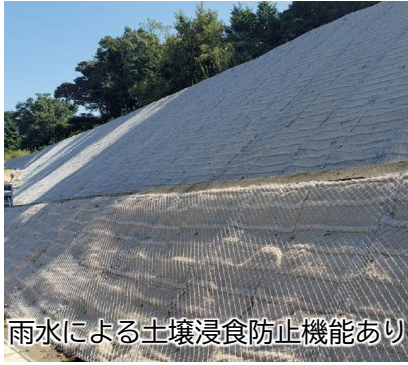






※土砂部のうち、車道の隣接区間については、維持管理や通行車両への影響を考慮して密閉型を用いる

- ・ 風致地区であるため、緑化に配慮し、植生を行う方針とする
- ・ ただし、植生を行った場合、雨水の浸透によって風化が促進されることを踏まえ、岩盤部の切土のり面は植生を行わず、密閉型を用いる方針とする

池上地区の切土のり面対策について

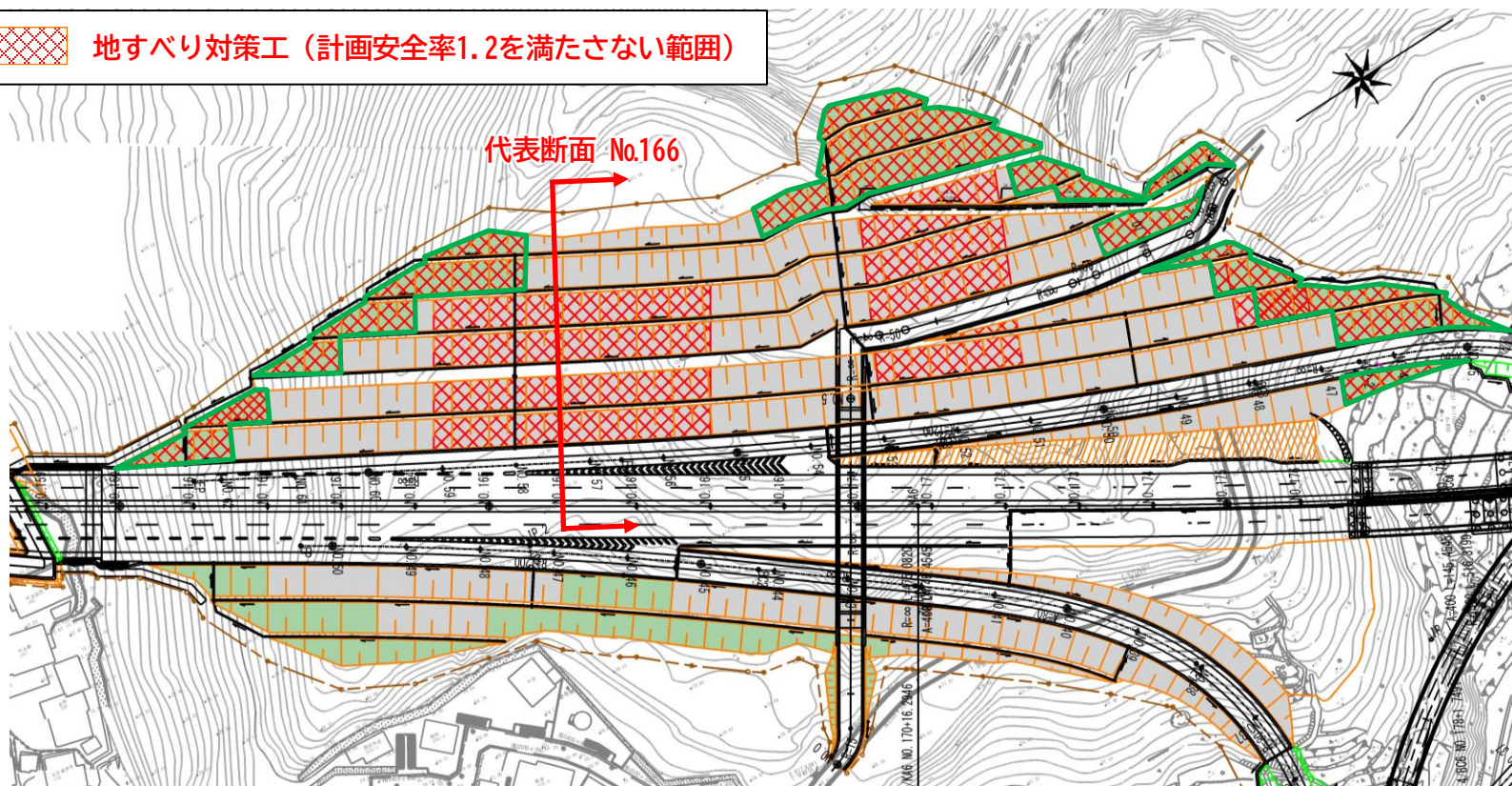
④ のり面対策工法 - のり面保護工

土砂部 (植生併用)	吹付法枠工 ※一般工法	浸食防止用植生マット	簡易吹付法枠工 (枠内植生)
		 雨水による土壌浸食防止機能あり	
経済性	× 約23,000円/m ²	◎ 約4,800円/m ²	△ 約13,200円/m ²
耐久性	設計供用年数50年	自然植生へ移行 (供用年数なし)	設計供用年数50年
維持管理	植生管理、破損部分のみの補修は不可	植生管理	植生管理、破損部分のみの補修は不可
岩盤部 (密閉型)	モルタル吹付工 ※一般工法	布製型枠工	簡易吹付法枠工 (枠内モルタル吹付)
			
経済性	○ 約8,400円/m ²	△ 約9,400円/m ²	× 約13,200円/m ²
耐久性	設計供用年数50年	設計供用年数50年	設計供用年数50年
維持管理	破損部分のみの補修は不可	破損部分のみの補修は不可	破損部分のみの補修は不可

池上地区の切土のり面对策について

④ のり面对策工法 - 地すべり対策工

 地すべり対策工（計画安全率1.2を満たさない範囲）



- ・のり面安定解析の結果、計画安全率1.2を満たさない区間については地すべり対策工として抑止工を実施する
- ・抑止工について、工法の比較検討を行った結果、グランドアンカー工を用いる
- ・土砂部のみを対象としたすべりなど、必要抑止力の小さいすべりに対しては鉄筋挿入工を用いる

池上地区の切土のり面対策について

④ のり面対策工法 - 地すべり対策工

杭工（鋼管杭工）



グラウンドアンカー工



鉄筋挿入工



【地すべりの対策工で対応可能な抑止力】

必要抑止力 P は、あくまでも現状の地形、地下水の条件におけるもので、地下水位排除工法、排土工、押え盛土工によって減少させることは可能である。道路の設置に伴う土工が地すべりの安定性を損なうような位置で行われる場合は、必要な抑止力はさらに大きくなる。

この必要な抑止力 P の大小によって路線を通過させるか否かの判断を行う場合の目安は次のようになるが、 P が大きくなると急激に費用が増大することを十分考慮する必要がある。

- (a) $P < 2,000\text{kN/m}$ ……地すべり対策工で抑制、抑止可能である。
- (b) $2,000\text{kN/m} < P < 4,000\text{kN/m}$ ……大規模土工（大幅な排土、押え盛土工）や大規模な抑止工（シャフト工やアンカー工）あるいはこれらの組合せで抑制、抑止できる場合もある。
- (c) $4,000\text{kN/m} < P$ ……通常考えられる対策工では抑制、抑止は困難である。

道路土工『切土工・斜面安定工指針』P374

【鉄筋挿入工により対応可能な抑止力】

5) 必要抑止力の算定

計画安全率は、本工法の使用目的が仮設か永久かによって異なる。計画安全率を満足するのに必要な抑止力の算定に当たっては、通常は次式によって算定する。

$$(\text{必要抑止力}) = (\text{計画安全率}) \times (\text{滑動力}) - (\text{抵抗力})$$

この必要抑止力は、最小安全率を与えるすべり面に対してではなく、抑止力が最大となるすべり面について考える。

なお、本工法の採用の判断は、経済性などから概ね必要抑止力が 300kN/m 以下、崩壊長さが $L=30\text{m}$ 以下の場合とする。ただし、必要抑止力が 300kN/m を超える場合でもグラウンドアンカー工などに比べ経済的な場合があるので、比較検討する必要がある（参考資料－1参照）。

『NEXCO 切土補強土工法設計・施工要領』P26

池上地区の切土のり面対策について

④ のり面対策工法 - 地すべり対策工

代表断面 No.166

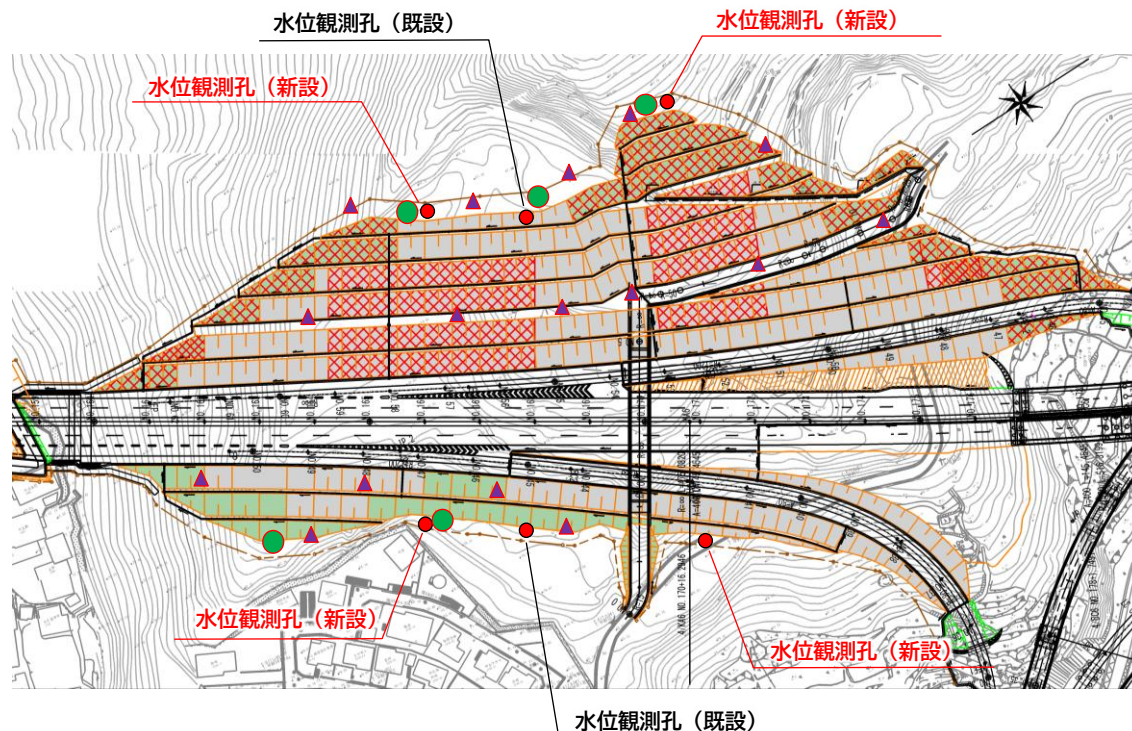
鋼管杭工 + アンカー工	切土勾配 1割2分		工法概要				
			・2段目の幅広小段に鋼管杭を配置(杭径φ500mm・削孔径φ550mm) ・削孔はダウンザーホールハンマーとし、クレーン吊りのA工法を採用 ・根入れ長は7.4m以上必要(非緩み領域に挿入が必要) ・鋼管杭工は本来、すべり面が特定されているすべりに対して適用するものであり、多数の円弧すべりの発生が想定される本件のような事例では杭の効果が得られない場合あり				
			施工順序				
			①削孔(ダウンザーホールA工法) ②鋼管杭建て込み、モルタル充填 ※①から②を杭本数分繰り返す				
アンカー工	切土勾配 1割2分		工法概要				
			・独立受圧板とアンカー工の組み合わせ工法 ・土足場によるクローラー削孔機でアンカー1段ごとの逆巻き施工とする ・アンカー定着層は応力開放による強度低下領域外(SRR≦1.5)とする ・アンカー体長10.0m、水平間隔2.5m、縦方向間隔2.5m				
			施工順序				
			①掘削(アンカー1段分) ②のり面保護工 ③アンカー削孔・設置 ※①から③をアンカー一段数分繰り返す				
アンカー工 + 鉄筋挿入工	切土勾配 1割		工法概要				
			・切土勾配を1:1.0とし、独立受圧板とアンカー工の組み合わせ工法 ・土足場によるクローラー削孔機でアンカー1段ごとの逆巻き施工とする ・アンカー定着層は応力開放による強度低下領域外(SRR≦1.5)とする ・アンカー体長4.5m、水平間隔2.0m、縦方向間隔2.0m ・勾配を急にすることで切土量は減るものの、上2段に鉄筋挿入工が必要 ・地すべり対策工を実施しない区間(切土のり面勾配1:1.2)とのすり付けが必要				
			施工順序				
			①掘削(アンカー1段分) ②のり面保護工 ③アンカー削孔・設置 ※①から③をアンカー一段数分繰り返す				
			施工日数 (10m当り)		◎	47.7日 (歴日換算なし)	法面整形, のり面保護工の日数除く
			経済性 (10m当り)		△	51,767千円 (直接工事費)	法面整形, のり面保護工の費用含む
			施工日数 (10m当り)		○	64.2日 (歴日換算なし)	法面整形, のり面保護工の日数除く
			経済性 (10m当り)		◎	46,101千円 (直接工事費)	法面整形, のり面保護工の費用含む
			施工日数 (10m当り)		△	74.6日 (歴日換算なし)	法面整形, のり面保護工の日数除く
			経済性 (10m当り)		○	47,247千円 (直接工事費)	法面整形, のり面保護工の費用含む

(審議)池上地区の切土のり面对策について

⑤ 監視体制

● 孔内傾斜計：切土の最上段と変質帯区間の法肩に設置

▲ 地盤傾斜計：幅広小段、法肩に点在配置



7. 1 概 説

動態観測のねらいは長大切土のり面が施工段階・維持管理段階を通じ安定な状態を保持しているかどうか、斜面崩壊の兆候を事前に予知し、必要に応じて対策工を実施して斜面崩壊を未然に防ぐことにある。

そのうち、施工段階における施工管理の一手法として実施される情報化施工のねらいは切土斜面の施工中の安全性を評価するとともに、施工時の計測データに基づき当初設計のチェックをし、必要に応じて設計・施工方法を変更することにある。

長大切土のり面の建設は、計画・設計・施工・維持管理の各段階に大きく分類され、動態観測と情報化施工は図-7.1.1のように位置づけられる。

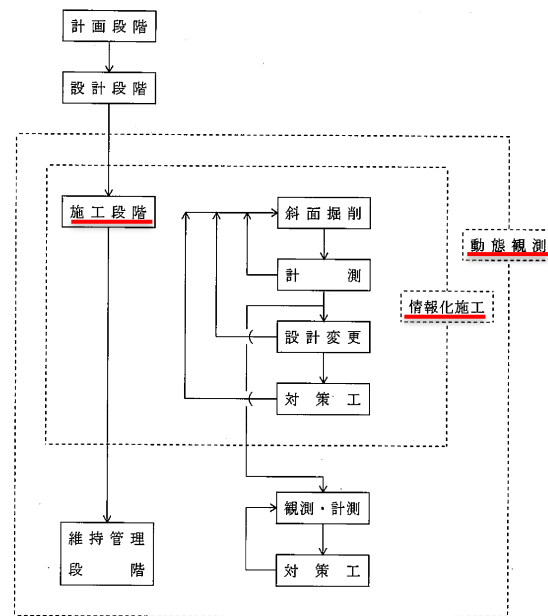


図-7.1.1 切土斜面の施工における動態観測と情報化施工の位置付け

『長大のり面の縮小化工法に関する手引き（JH日本道路公団）』P127

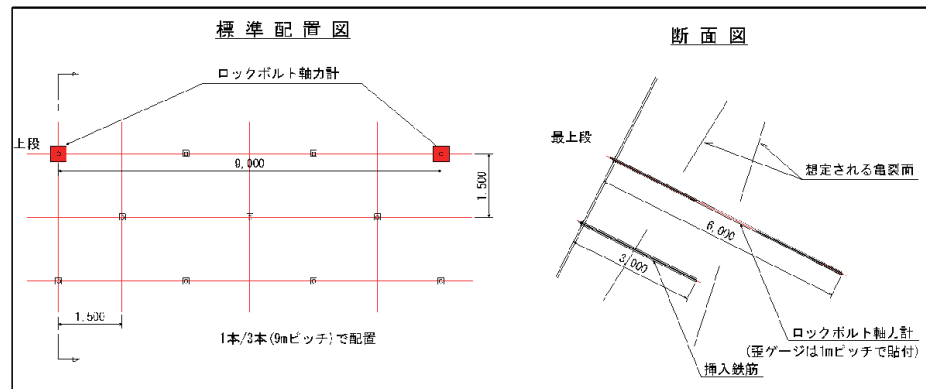
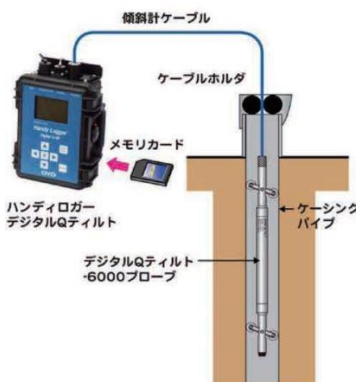
- ・切土の最上段と変質帯区間の法肩部で孔内傾斜計による地山の変位を観測を行う
- ・地盤傾斜計を点在配置し、クラウドシステムの活用による切土面の変状を常時監視可能な体制を構築する(情報化施工)
- ・水位観測孔を追加設置し、斜面変位と併せて、地下水の変動及び地中での排水方向を把握する

池上地区の切土のり面対策について

⑤ 監視体制

【孔内傾斜計】

ボーリング孔内に案内溝を有した専用のケーシングパイプを建込み、その中に車輪間隔 50cm のプローブを挿入して定期的に観測することにより経時的な地盤変位量や地すべり方向を把握し、すべり面の特定を行う



鉄筋に歪ゲージを貼付けた「軸力計」による地盤変位観測も併せて検討

【地盤傾斜計（ばらまき型）】

斜面に複数の傾斜センサを配置し、無線で多点の傾斜データを集約して一括表示することにより「面」での変状把握を行う



高速道路の維持管理(長大のり面管理) 設置例

グラウンドアンカー施工箇所では荷重計にて緊張力を管理

池上地区の切土のり面対策について

⑤ 監視体制

【孔内傾斜計の管理基準値（案）】

表 2-5 地盤伸縮計観測結果による地すべり判定基準²⁾を一部修正

変動種別	日変位量 (mm)	累積変位量 (mm/月)	一定方向へ の累積傾向	総合判定	
				変動判定	活動性ほか
変動 A	1 以上	10 以上	顕 著	確 定	活発に運動中、 表層・深層すべり
" B	0.1~1	2~10	やや顕著	準 確 定	緩慢に運動中、粘質土・ 崩積土すべり
" C	0.02~0.1	0.5~2	ややあり	潜 在	継続観測が必要
" D	0.1 以上	な し (断続変動)	な し	異 常	局部的な地盤変動・ その他

警戒レベル

注意レベル

『国交省砂防部 地すべり防止技術指針（平成30年）』P20

【地盤傾斜計（ばらまき型）の管理基準値（案）】

表 2-6 地盤傾斜計観測結果による地すべり判定基準²⁾を一部修正

変動種別	日平均変動量 (秒)	累積変動値 (秒/月)	傾斜量の集 積傾向有無	傾斜運動方向と 地形との相関性	総合判定	
					変動判定	活動性ほか
変 動 A	5 以上	100 以上	顕 著	あ り	確 定	活発に運動中
" B	1~5	20~100	やや顕著	あ り	準 確 定	緩慢に運動中
" C	1 以下	20 以下	ややあり	あ り	潜 在	継続観測が必要
" D	3 以上	な し (断続変動)	な し	な し	異 常	局部的な地盤 変動・その他

警戒レベル

注意レベル

『国交省砂防部 地すべり防止技術指針（平成30年）』P30

7. 3 情報化施工

7. 3. 1 情報化施工の管理フロー

情報化施工による管理は、動態観測で示した日常管理と、適切な時期に次段階以降の安全性を見直す予測管理に分類される。

【解説】

計測に基づく情報化施工の管理フローの一例を図-7.3.1に示す。動態観測で示した日常管理と、主な施工段階において、現場情報をより正確かつ迅速に収集・解析することにより次段階以降の施工の安全性を再検討するなどの予測管理に分かれている。図中の予測管理では現状解析で計測変位データに基づく逆解析で地盤物性の最適値を求め、予測解析の段階で設計で用いた安定解析をやり直して次段階以降の施工性の評価を行う。図-7.3.1は、最近の情報化施工管理フローの代表例と考えられる。

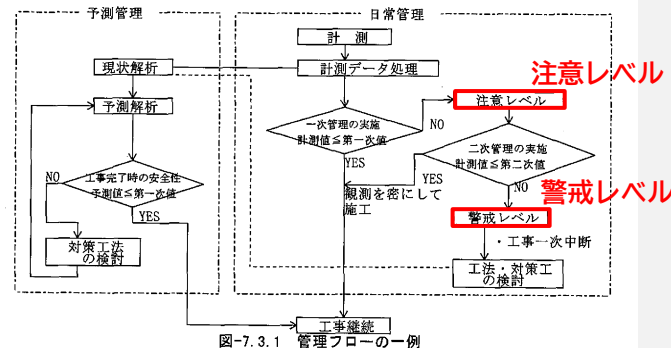


図-7.3.1 管理フローの一例

7. 3. 2 計測計画

情報化施工にあたり、計測管理項目、管理基準などに関しては各現場の特性に応じた計測計画が必要である。

【解説】

計測管理項目や頻度、管理基準については、基本的に前節の動態観測と同じである。また、斜面の管理基準としては、計測変位以外に、地山の限界ひずみによる方法、数値解析による方法、アンカーボルトなどの荷重計による方法などが用いられる。

『長大のり面の縮小化工法に関する手引き（JH日本道路公団）』P130

- ・動態観測の管理基準値として「注意レベル」「警戒レベル」を設定し、計測結果が警戒レベルに達した場合は工事を一時中断し、工法・対策工の検討を行う

池上地区の切土のり面対策について

【審議事項2】 詳細設計に向けた実施プロセス(案)

④ のり面対策工法

- ・のり面安定解析の結果、計画安全率1.2を満たす範囲はのり面保護工のみ実施し、満たさない範囲はのり面保護工に加え、地すべり対策工を実施する

<のり面保護工>

- ・風致地区であることから、緑化に配慮し、植生を行う方針とする
- ・植生を行った場合、雨水の浸透によって風化が促進されることを踏まえ、岩盤部の切土のり面は植生を行わず、密閉型を用いる方針とする
- ・工法の比較検討を行った結果、土砂部の切土のり面では「浸食防止機能付き植生マット」、岩盤部の切土のり面では「モルタル吹付工」を用いる

<地すべり対策工>

- ・抑止工を実施するとともに、工法の比較検討を行った結果、グラウンドアンカー工を用いる
- ・土砂部のみを対象としたすべりなど、必要抑止力の小さいすべりに対しては鉄筋挿入工を用いる

⑤ 監視体制

- ・切土の最上段と変質帯区間の法肩部で孔内傾斜計による地山の変位を観測を行う
- ・地盤傾斜計を点在配置し、クラウドシステムの活用による切土面の変状を常時監視可能な体制を構築(情報化施工)
- ・水位観測孔を追加設置し、斜面変位と併せて、地下水の変動及び地中での排水方向を把握
- ・動態観測の管理基準値として「注意レベル」と「警戒レベル」を設定し、計測結果が警戒レベルに達した場合は工事を一時中断し、工法・対策工の検討を行う