

切土の変状リスク評価に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令1～令3
担当チーム：土質・振動チーム
研究担当者：佐々木哲也、加藤俊二、東拓生

【要旨】

切土のり面の施工中・供用開始数年内に変状が生じ新たな対策が必要となり、その変状の規模によっては工事の遅延や工事費の増大、長期の通行止め等が生じるケースがある。特に、近年では、用地制約による急勾配のり面や、山岳地を通過する際の長大のり面となる切土が設計・施工されるようになってきており、変状の発生頻度、変状の規模や供用開始時期の遅れ、通行止め期間の増加といった変状リスクや交通機能への影響も増大している。このため、道路建設の各段階において地盤の不確実性等に伴う変状リスクや交通機能への影響を明確にし、経済性を考慮しつつ各段階において適切に対応する必要性が高まっている。本研究では、切土のり面の変状リスク評価、リスクマネジメント手法の構築に資するため、切土のり面の変状事例分析を通じて、変状の要因や素因となる地形・地質的な特徴および現行設計法における課題を整理するとともに、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した。キーワード：切土のり面設計、標準のり面勾配、長大切土、変状リスク評価

1. はじめに

切土のり面の施工中・供用開始数年内に変状が生じ新たな対策が必要となり、その変状の規模によっては工事の遅延や工事費の増大、長期の通行止め等が生じるケースがある。特に、近年では西日本豪雨災害箇所でも見られたように、用地制約による急勾配のり面や、山岳地を通過する際の長大のり面となる切土が設計・施工されるようになってきており、変状の発生頻度や変状の規模といった変状リスクも増大している。このため、道路建設の各段階において地盤の不確実性等に伴うリスクを明確にし、経済性を考慮しつつ各段階において適切に対応する必要性が高まっている。本研究では、切土のり面の変状リスク評価、リスクマネジメント手法の構築に資するため、①切土変状リスクの抽出・評価方法の提案、②切土の変状リスクを考慮したのり面設計手法の提案の2つの達成目標を掲げ、切土のり面の変状事例分析を通じて、変状の素因となる地形・地質的な特徴および現行設計法における課題を整理するとともに、切土のり面の長大化に伴う変状リスクの評価方法および変状リスクを考慮した設計の考え方の提案を行った。

2. 切土のり面の被災要因と現行設計における課題

2.1 被災要因（誘因・素因）の整理

ここでは、平成20～23年度に発生した直轄国道の

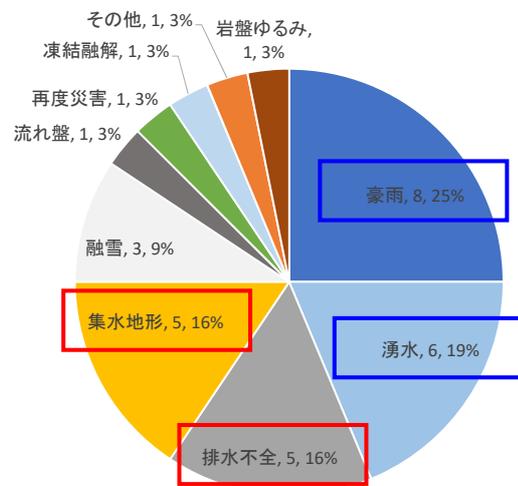


図-1 切土のり面の被災要因

斜面災害における切土のり面で発生した表層崩壊・土砂流出等の31の災害事例について、切土のり面における主な被災要因の特徴について整理した結果を図-1に示す。なお、被災要因の分類は、災害直後に現場事務所で調査を行い分類・報告されたもので、統一的な指標の下で分類したものでないこと、一部重複があることを断っておく。切土のり面では集排水の構造に起因するもの（図中赤枠囲み）と雨水の浸透によるもの（図中青枠囲み）がほぼ半々でみられる。被災要因の

ほとんどが水の影響によるものであるが、水の影響には災害時における流水や浸透水による短期的な影響（災害誘因）と、乾湿繰り返し等による風化といった長期的な影響（災害素因）があり、集水地形や湧水箇所では恒常的に水が集まりやすいことから長期的な影響も受けやすい特徴がある。また、切土のり面自体は自然地盤であるため、素因として流れ盤や岩盤のゆるみなどの地質・土質構造の影響に起因するような災害も発生している。したがって、切土のり面の構築にあたっては、これらの素因への対応が重要であるといえる。

2.2 現状の切土のり面の設計の考え方と課題

上記の被災要因を踏まえて、現行の切土のり面の設計の考え方と長大切土による変状リスクに対する課題を整理する。図-2に、切土により生じる不安定化のイメージ図を示す。切土による不安定化は、①地盤の物理特性に起因する表層崩壊と②地盤の構造（流れ盤構造や地すべり地形など）に起因する崩壊の2つに大別され、後者は大規模な崩壊となる危険性が高い。道路における切土のり面の設計は、一般に現地調査をもとに崩壊リスクの高い要件に該当しない箇所については、表-1に示す地質・土質区分に応じた標準のり面勾配により行われ、②のような切土に伴い大規模崩壊のリスクが高い要件の箇所は標準のり面勾配の適用外で、現地状況に応じた対応を図ることとされている。

ここで標準のり面勾配表は、無対策もしくは植生工による侵食防止のためのり面保護を施した状態を想定した切土のり面設計の参考値として、過去の被災経験をもとに地質・土質に応じて安定していると考えられる切土高と勾配を示したものである¹⁾。同じ地質・土質区分であっても物性は地域によって異なるため、表に示すように切土高および切土勾配には範囲がある。このため切土のり面の設計にあたっては、現地調査等から周辺のり面などの状況も考慮して、技術者が経験的に判断して勾配を設定するが、物性の地域性の影響を定量的に考慮することは難しい。

また、切土のり面は地山を切り取って形成することから、のり面以深の部分への上載荷重として作用していた切り取った部分の重さ分が除荷されるため、のり面以深の部分ではそれに応じた応力が開放される（以下、応力開放と呼ぶ）ことで微細な亀裂の発生などのゆるみが生じ、施工中や切り取り後数年で降雨によりり面の表層部分で崩壊が生じることがある。

これまで、山の縁辺に沿った小規模切土がほとんどであったことから、経済性の観点から用地に余裕あ

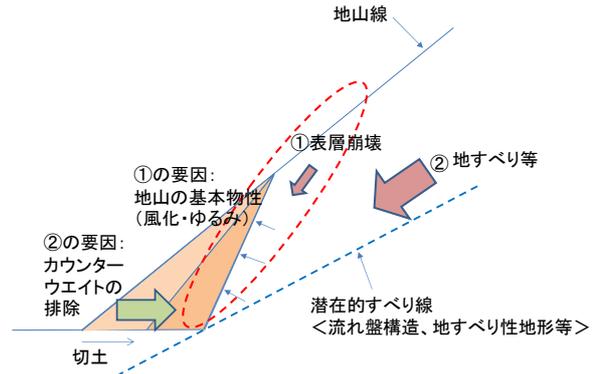


図-2 切土により生じる不安定化のイメージ図

表-1 切土のり面の標準のり面勾配表¹⁾

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	10m以下	1:0.8~1:1.0
		10~15m	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
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	

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

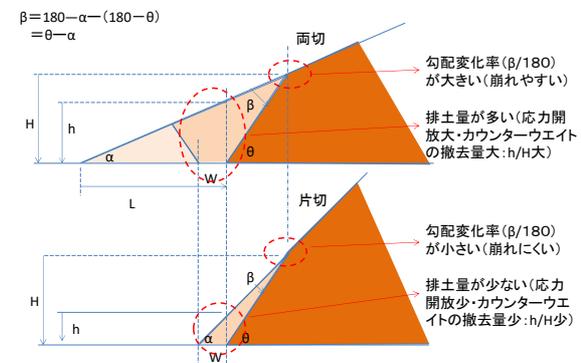


図-3 両切・片切の違いによる影響のイメージ図

る場合には最急勾配で切土し、地域性による物性のばらつきや応力開放などの影響で変状があった場合には切り直しを行うことで対応してきた（することができた）。一方、近年は道路線形の関係等から山の縁辺部の片切箇所でのり面の長大化や山間部を開削する両切による長大のり面が増加してきている。のり面が長大化することで変状の規模も大きくなるとともに、切り直しのために必要な用地も広範囲となるため、長大切土では事前に切土高や片切・両切の違いによる影響（リスク）を考慮した勾配を設定する必要がある。

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

図-3は、元地形の勾配以外、道路幅 W ・切土高 H ・のり面勾配 θ と同一の切土条件を想定したイメージ図で、この場合、元地形の勾配が緩いと両切、勾配が立っている場合は片切となる。両切の場合、元地形に対する勾配の変化（以降、図-3に示した勾配変化率（ $\beta/180$ ）で表現する）が大きくなり、排土量は両切の方が明らかに大きく、切土後の法尻における掘削深さ（以下、応力開放高 h と呼ぶ）も勾配変化率に比例して大きくなる。すなわち、両切の場合には勾配の増加に伴うせん断力の増加と拘束圧の低下に伴うせん断強度の低下により、同じ切土高の片切の場合よりも安定性が低下することになる。このため、切土高と勾配変化率の関係により、急勾配化に伴う不安定化の影響や切土のり面の応力開放の影響を考慮する指標となるものと考えられる。

3. 切土による応力開放の影響に関する事例検討

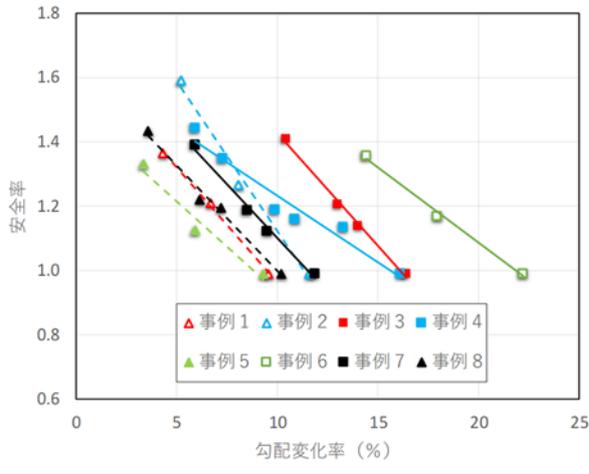
切土のり面で発生する表層崩壊を対象として、応力開放による表層のゆるみ、風化による影響を検討する目的として、過去に直轄国道の長大切土のり面（軟岩判定箇所）で発生した災害（事例が少ないためここでは切土高10m以上を対象とした）を対象に分析した。ここでは、標準のり面勾配の適用対象外となる流れ盤等の構造的な不安定要因により発生した災害、構造物によるのり面保護工が施工されていた箇所の災害を除いた、8か所の切土のり面（植生工による保護）の表

層崩壊事例を用いて検討を行った。表-2にそれぞれの概略の諸元を示す。

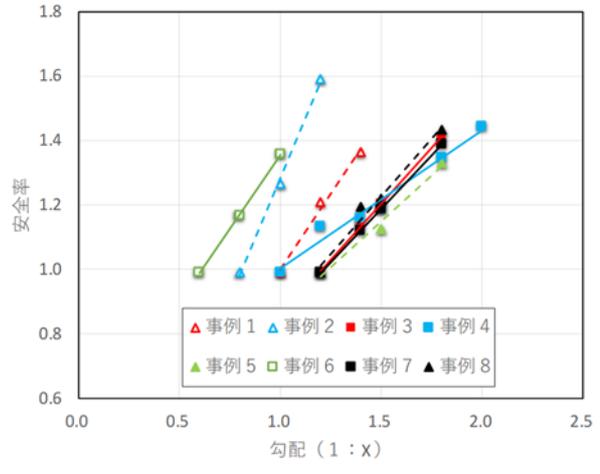
3.1 切土勾配と安全率の関係

まず初めに、それぞれの事例における崩壊時の地盤条件と標準のり面勾配表の適用条件との関係を確認するため、安定解析によるのり面勾配と安全率の関係についての検討を行った。安定解析は、五大開発（株）製の2次元斜面安定計算プログラム「Power SSA PRO 拡張機能版 ver.6.02」を用いて、修正フェレニウス法により行った。各箇所の建設前の地盤条件が不明確であるため、崩壊時の滑り線において切土直後の安全率が1.2であったと仮定して地盤定数（ c 、 Φ ）を求め、気象作用や応力開放等による風化・劣化の影響により地盤の物性が変化することを想定して粘着力 c の値を減じて安全率が0.99となる粘着力 c を求め、崩壊時の地盤定数（ c 、 Φ ）とした。次にのり肩を固定して緩勾配化して崩壊時の地盤定数を用いて勾配変化率と安全率の関係、および安全率1.2となる勾配を求めた。ただし、元の地盤条件が不明であることから切土直後の安全率が1.2よりも大きい可能性、小さい可能性もあることを断っておく。

図-4に、上記により求めた8事例の元地形に対する勾配変化率およびのり面勾配と崩壊時の地盤定数による安全率の関係を示す。ここで、図中のマーカーは片切を Δ で両切を \square として地山が堆積岩を塗りつぶし火山岩を白抜きで表し、近似線は両切を実線で片切を破



(a) 勾配変化率と安全率の関係



(b) のり面勾配と安全率の関係

図-4 勾配変化率および切土勾配と安全率との関係

線で表している。以下、すべての図中の凡例は同様に示している。これらを見ると、事例ごとに若干の違いはあるものの勾配の変化に伴い概ね一定の割合で安全率が増減しているのがわかる。これらの図は、崩壊時の推定地盤定数を用いて計算しているが、風化・劣化が生じない一定の地盤条件であれば勾配の変化と安全率の変化に概ね一定の関係があるといえる。この関係を用いて、崩壊時の地盤条件で安全率 1.2 となるのり面勾配 (小数点第 2 位切り上げ) を推定安定勾配として求めた結果を表-3 に示す。崩壊時の地盤定数で安定勾配とするには、0.2~0.5 (平均 0.3) 程度の緩勾配化が必要であり、ほとんどの事例で標準のり面勾配表の最緩勾配よりも緩勾配となるため、設計時勾配のような標準のり面勾配表の範囲内の勾配で安定を確保するためには構造物工の併用検討が必要である。火山岩と堆積岩の違いを見ると、事例 1, 2, 6 が火山岩であり差分は 0.2~0.3 と小さく、残りの堆積岩は 0.3~0.5 と堆積岩の方が不安定化の影響が大きいように見える。

図-5 に、崩壊範囲の下端における応力開放高と設計時勾配に対する推定安定勾配の差分の関係を示す。片切・両切にかかわらず応力開放高が大きいほどより緩勾配化が必要な傾向がみられる。火山岩の箇所は応力開放高が小さかったことから、勾配の差分が小さかったものと推察され、火山岩については今後さらなる事例分析が必要と考える。

3.2 切土条件と崩壊までの経過年の関係

ここでは、前述の課題で述べた片切・両切や地質等の切土条件と切土後災害が発生するまでの経過年について整理した。図-6 は、表層崩壊部分の下端から切土前の元地形までの鉛直高さを応力開放高として、発災

表-3 崩壊時地盤定数での安定勾配

(1 : X)

	火山岩・堆積岩	設計時勾配	崩壊時地盤定数による安定勾配	差分
事例1	火山岩	1.0	1.3	0.3
事例2	火山岩	0.8	1.0	0.2
事例3	堆積岩	1.2	1.5	0.3
事例4	堆積岩	1.0	1.5	0.5
事例5	堆積岩	1.2	1.6	0.4
事例6	火山岩	0.6	0.9	0.3
事例7	堆積岩	1.2	1.6	0.4
事例8	堆積岩	1.2	1.5	0.3

※赤字は軟岩の標準のり面勾配の最緩勾配 1.2 を超過

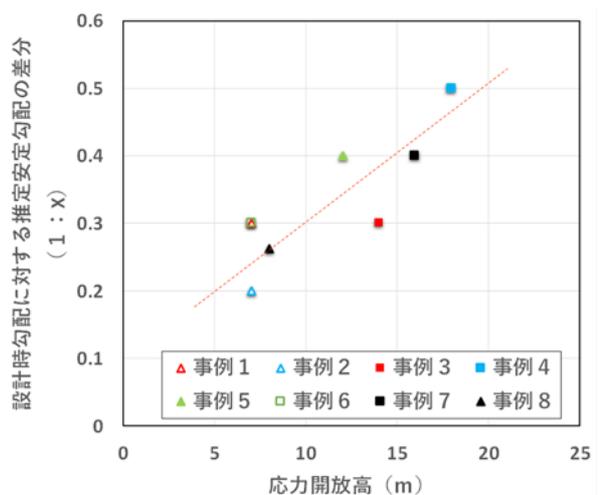


図-5 応力開放高と設計時勾配に対する推定安定勾配の差分の関係

までの建設後経過年と応力開放高の関係をプロットしたものである。また、応力開放高は切土高と勾配変化率の関係から決まるものであることから、図-7では、横軸を元地形からの勾配変化率、縦軸を切土高として、8事例をプロットし、凡例に示すように片切・両切、切土勾配、火山岩・堆積岩、建設経過年を示した。これらの図から、以下のような傾向をみることができる。

- ①勾配変化率がおおむね 11~12%のところに片切 (△)・両切 (□) の境界がある (図-7)。
- ②片切に対して両切の方が、発災までの経過年数が短い傾向がみられる (図-6)。
- ③堆積岩の方が、発災までの経過年数が短い傾向がみられる。(地質年代による違いはみられなかった)

4. 軟岩地山におけるのり面設計の考え方の提案

上記 3. の結果を踏まえて、軟岩切土勾配の考え方の案について整理したものを図-8 に示す。片切・両切および切土高 (特定土工点検における長大切土高 15m を目安) で4つのブロックに分けており、地質的な影響についても考慮して、切土による応力開放の影響度の観点からの勾配検討の考え方を、以下のように整理した。

- ①一般的小規模の片切 (左下) :
 応力開放の程度、変状規模等も小さいと考えられることから、従来通り最急勾配~検討。
 ②大規模な片切 (左上) :
 長大化に伴い応力開放の程度が中程度となり、堆積岩は風化が進行しやすいことや、長大化に伴い変状の規模も大きくなることを考慮して、中間勾配~検討。堆積岩の場合は、できるだけ緩勾配化が望ましい。設計当初で最緩勾配が想定される地質条件の場合には、構造物工の併用が望ましい。
 ③小規模な両切 (右下) :
 のり面の規模は小さいが、応力開放の程度が中程度となり、堆積岩は風化が進行しやすいことを考慮して、中間勾配~検討。比較的切土高が高くすでに設計当初から最緩勾配が想定されるような地質条件の場合には、構造物工の併用が望ましい。

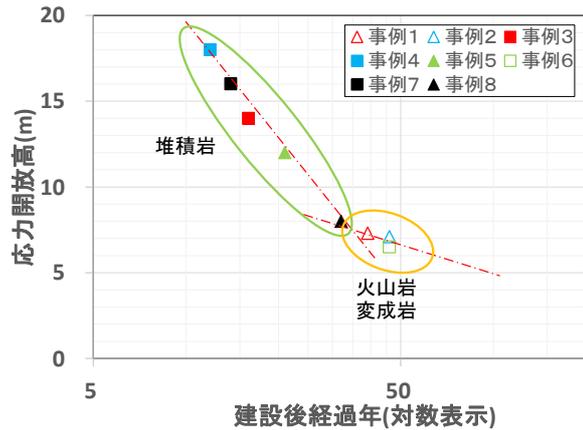


図-6 崩壊発生時の建設経過年と応力開放高の関係

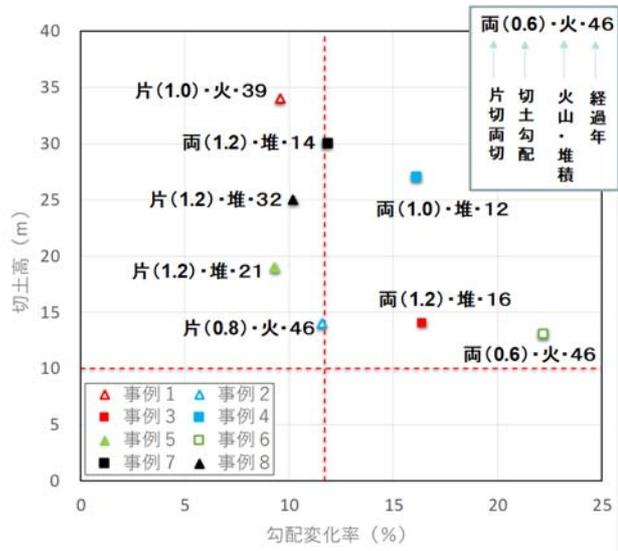


図-7 勾配変化率と切土高の関係

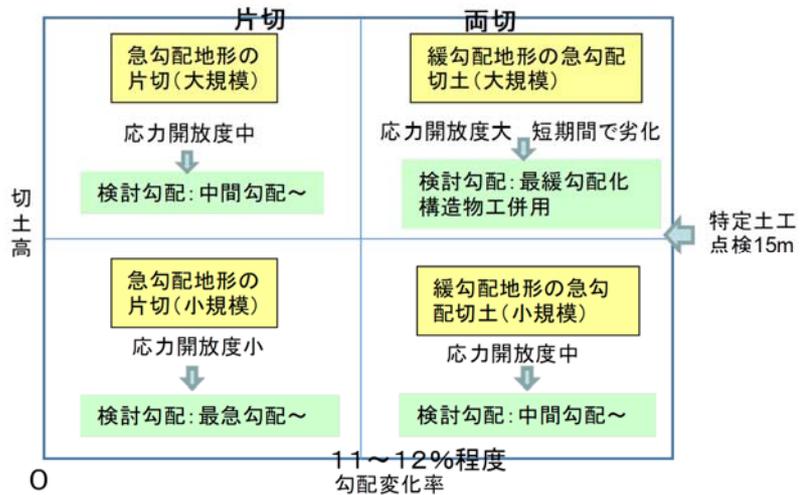


図-8 軟岩箇所切土のり面勾配の検討の考え方 (案)

④大規模な両切（右上）：

応力開放の程度が大きく、変状の規模も大きくなる
ことが想定されることから、最緩勾配化と必要に応じ
構造物工の併用を検討。特に堆積岩では構造物工の併
用が望ましい。

5. まとめ

本検討は、長大切土におけるリスクマネジメントを
考慮した切土のり面設計の考え方を整理・提案したも
のであるが、切土のり面においては、調査・設計・施
工・維持管理の各段階において地質・地盤リスク（不
確実性）に対して段階的に対応する必要があり、今後
も各段階におけるリスク対応の考え方についての検討
を進めていく予定である。

参考文献

- 1) （社）日本道路協会：「道路土工―切土工・斜面安
定工指針」，2009.

RESEARCH ABOUT RISK ASSESSMENT ON CUT SLOPE DESIGN

Research Period: FY2019-2021

Research Team: Soil Mechanics and Dynamics Research
Team, Geology and Geotechnical Research Group

Author: SASAKI Tetsuya

KATO Shunji

AZUMA Takuo

In these year, Increases of slope length is observed on Cut Slope Design. Increases of slope length leads to increased risk for Slope failure. On this account, it is necessary method of risk assessment on Cut Slope Design. So in this research, it is suggested one method of risk assessment on Cut Slope Design that is focus attention on Stress release height by cut soil.

Keywords: Cut Slope Design, Increases of Slope Length, Risk Assessment