

太田ジオ 土検棒ユーザー 事例集

手法名	強風化岩盤で構成される切土法面の安定度評価手法
-----	-------------------------

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ペーンコーンせん断試験	その他	

技術の概要 (何が出来る技術か)

切土法面のインフラメンテナンスを行う技術である。風化岩の地盤強度は、換算 N 値から推定する NEXCO の方法があるが、推定値の幅が大きく、そのままでは評価に使えない。また、二次風化 (劣化) の進行にも対応できない。このため土層強度検査棒ペーン試験等で得られた「実測値」を間に入れることにより、地盤強度を適切に設定し、安定計算により、安定度を定量的に評価する手法である。

従来技術との比較

従来技術では、現地地盤の乱れの少ない試料を採取し、土質試験 (三軸圧縮試験、一面せん断試験等) を実施し、土質強度 (内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c) を得、安定計算を行う。しかし、強風化岩盤の場合、現地で乱れの少ない試料を採取すること自体が相当困難であり、かつ、サンプリングされた試料がその法面を構成する地盤の代表とできるかどうか検証が難しい (一般に地盤状態が良いほうがサンプリングしやすいため、強度を過大評価しがちである)。このため、インフラメンテナンスでは、ほとんど実施されていない。

適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ

適用範囲: 土層強度検査棒が挿入可能な程度まで強風化した岩盤の表層崩壊が適用範囲である。

適用条件: 構成する岩盤の岩種が判明していること。再活動型地すべりが存在するような法面は対象外である。

事前に必要なデータ: 設計時のボーリング調査結果など (ボーリング柱状図・N 値・地質断面図、調査・設計報告書等)

留意事項

- ・礫を含む地盤の場合には、礫を避けて、基質部で強度計測すること
- ・少なくとも 3 か所以上で土層強度検査棒の強度計測を行うことが望ましい (異常値の排除およびバラツキの把握)
- ・ロッド周面のフリクションをカットするため、試験位置まで $\phi 50\text{mm}$ 程度のアースドリルで掘削することが望ましい

技術の手順

・切土法面の勾配は、岩質・土質により標準切土勾配によって決定される。安定計算によって切土法面勾配を決定する例はほとんどない。ボーリング調査結果による地盤評価は、N 値や RQD 等から定量的に、コア観察から定性的に実施される。

・これらの切土法面地盤は、図 1 に示すように、切土前の一時風化→切土後の初期緩み→二次風化 (劣化) と進行し¹⁾、安定度が徐々に低下していく。二次風化 (劣化) 途上の切土法面の安定度を評価することは、今後のインフラメンテナンスにおいて必要な調査となっていく。

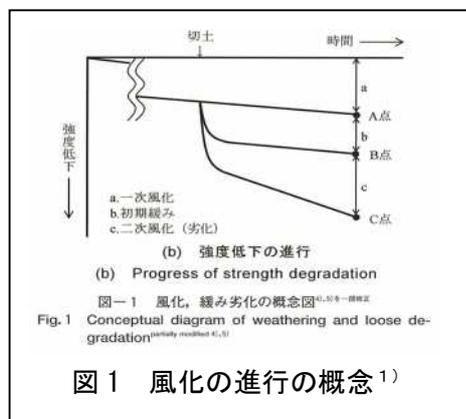


図 1 風化の進行の概念¹⁾

1. 法面勾配決定の資料収集

表1に示す標準切土勾配表²⁾の中から、どう
いう理由で法面勾配が決定されたのかを知る。
このために、調査・設計報告書及びボーリング
柱状図（N値・地下水位等）を収集する。

表1 標準切土勾配²⁾

地山の土質		切土高	のり面勾配
硬 岩			1:0.2~1:0.8
軟 岩			1:0.5~1:1.2
砂	密実でない程度分布の悪いもの		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
砂利または岩塊ま 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		5~10m	1:0.8~1:1.2
岩塊または玉石まじりの粘性土		5m以下	1:1.0~1:1.2
		5~10m	1:1.2~1:1.5

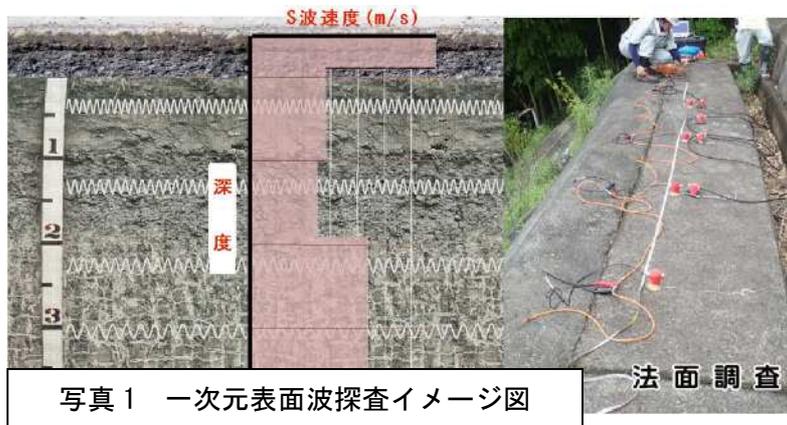
2. 換算 N 値から地盤強度値を推定する

NEXCO 設計要領第二集に記載されている、
「岩盤の設計用地盤定数」推定法³⁾を用いてボ
ーリング調査時の換算 N 値から強風化岩盤の地
盤強度（内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c ）を推定する。

基質部の粘土分含有量により3種の地盤に分類され、それぞれに換算式が設定されている。ボ
ーリング調査による動的強度（N 値）を、静的強度に置き換えるこの方法は非常に有用であ
る。ただし、この推定法で得られる値は、（平均値+ σ ）と（平均値- σ ）の間が非常に大きい
ため、そのまま安定計算に用いることには無理がある。このため、以下の検証作業を行う。

2. 二次風化（劣化）の評価

既存法面はコンクリート等で被覆されていることが多いため、写真1のように一次元表面
波探査を用いて、法面地盤の S 波速度柱状図を得る。さらに、S 波速度から N 値に換算する。
ボーリング調査で得られている動的 N 値と、一次元表面波探査で得られた静的 N 値を比較
し、静的 N 値の方が十分大きければ、「強風化していても岩盤の性質を残存している」と評価
し、「換算 N 値から推定される土質強度の方法」を用いることができると判断する。



3. 土層強度検査棒ベーン試験の実施



切土法面の小段は、通常コンクリートで被覆されて
いるため、法面で試験を実施することになるが、土層
強度検査棒ベーン試験は横方向でも試験可能である
（写真2参照）。

ロッドのフリクションをカットするために $\phi 50\text{mm}$
程度のアースドリルで下穴を開けておくと良いデータ
がとれる。

4. 土質定数の平均値からの離れを設定

土層強度検査棒ベーン試験で得られた土質強度と、図2に示す換算N値から推定される土質強度³⁾を比較し、適切な平均値からの離れ量を計算する。表層崩壊が予想される箇所に複数の地層区分がある場合には、この離れ量を用いて換算N値から推定される土質強度値を調整する。(この部分は、技術開発の余地がある。通常は、(平均値- σ)の値を使えるかどうかの判定になることが多いが、二次風化の進行を評価するためには、Vsから換算されるN値と、調査時に実測されたN値との比率で評価する方法があると考えている)

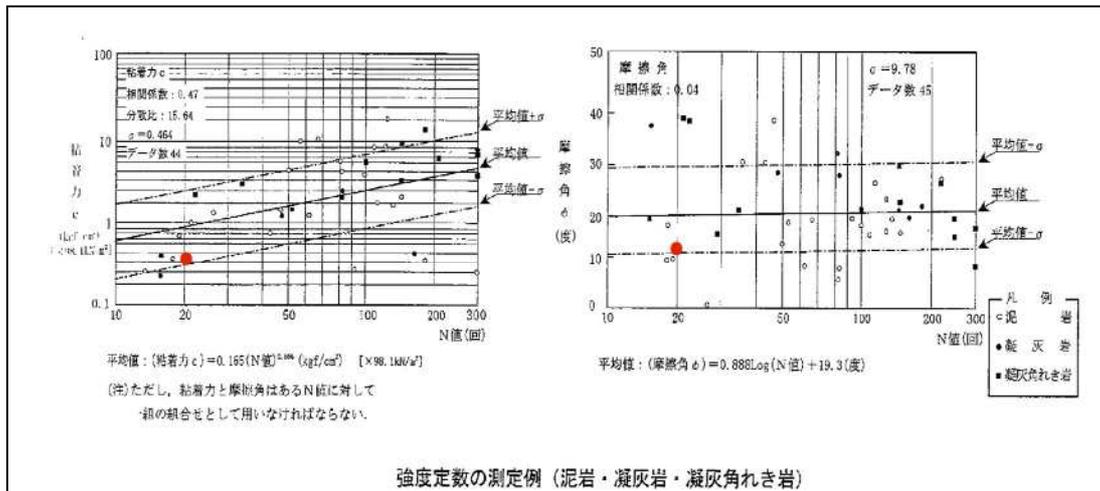
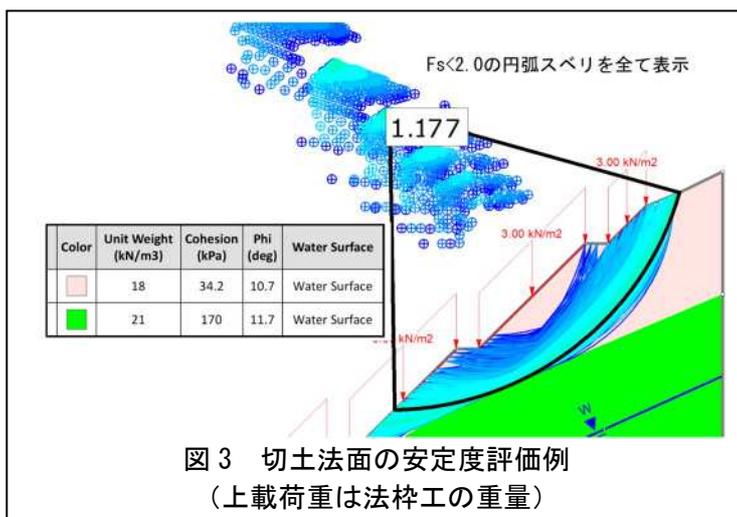


図2 岩盤の換算N値から推定できる土質定数³⁾

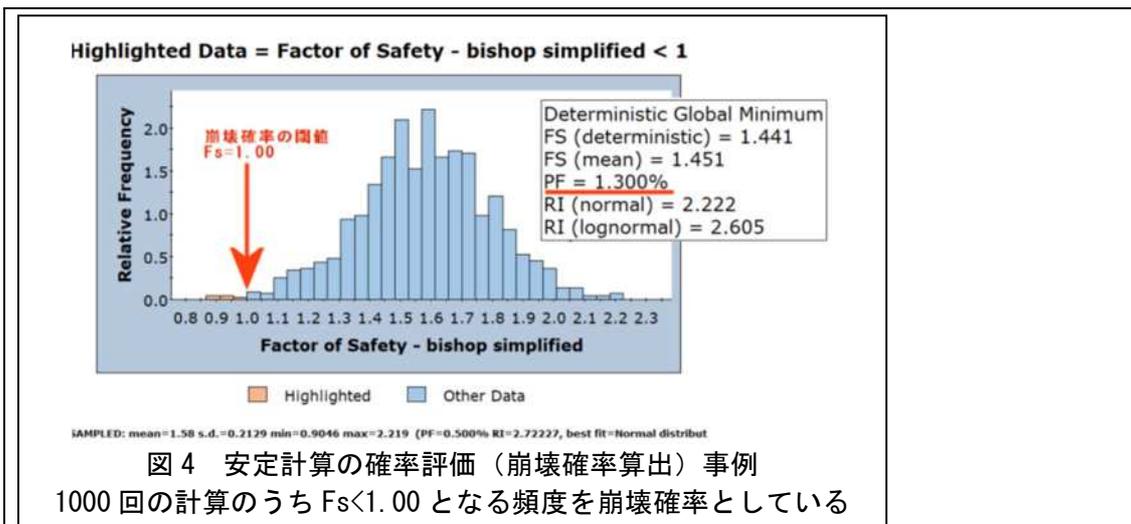
※赤丸の位置が実測値。この事例では(平均値- σ)の値に近いので、それを採用して安定計算を行った

5. 安定計算

上記で設定した土質強度を用いて、安定計算を行い、所定の安全性を満たしているかどうかについて評価する(図3参照)。その際の基準値は、その切土法面に期待される必要安全率Fspである(法面により異なる)。



同じ土層に対して3回以上の計測がなされ、土質定数のばらつきが得られている場合には、土質定数が標準正規分布の確率で散らばると仮定して崩壊確率PFを算出する方法で評価することもできる。その際の基準値は、安定・不安定の閾値となるFs=1.00である。Fs=1.00の閾値は全ての場面で共通である(図4参照)。



- 1) 藤原ほか（2020）、”長期追跡調査による切土法面の風化特性の評価“、日本地すべり学会誌、第 57 巻、第 3 号
- 2) NEXCO 設計要領 第一集 土工編（2014）、p.3-4
- 3) NEXCO 設計要領 第二集 橋梁建設編（2014）、p.4-10～4-11

参考歩掛

- ・条件：1 法面当たり（法面への進入が容易であること）
- ・歩掛

項 目	数量	技師 A	技師 B	技師 C
業務着手金（資料整理等）	1 式	1.0	1.0	
土層強度検査棒ベーン試験	3 箇所		0.3	0.3
一次元表面波探査	3 箇所	0.5	0.5	
調査結果解析	1 式	0.5	1.0	
安定解析	1 断面	0.5	1.0	
報告書とりまとめ	1 式	1.0	1.0	2.0

このほか、表面波探査装置・土層強度検査棒ベーン試験装置損料、および計算機使用料（直人×5%）、消耗品費（直人×1%）

使用実績（令和 2 年 8 月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
1	0	0	1	0

お問い合わせ

有限会社太田ジオリサーチ
 担当（太田・美馬・川浪）
 〒651-1432 兵庫県西宮市すみれ台 3 丁目 1 番地
 Tel 078-907-3120 Fax 078-907-3123
 e-mail:office@ohta-geo.co.jp

手法名	過剰間隙水圧比と確率解析を用いた斜面崩壊予防工の設計方法
-----	------------------------------

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

技術の概要（何ができる技術か）	
<p>斜面崩壊を予防する対策工の検討方法・設計方法である。斜面の予防には、①記録的大雨時、および②大地震時の極限状態での安定性評価が不可欠である。逆に言えば、③平常時や、④1年の間に1回程度ある普通の大雨時の安定性評価は、予防工を検討する上で、重要ではない。斜面の安定性評価には、極限平衡法の絶対的閾値である安全率 $F_s=1.00$ を用い、土層強度検査棒ベーンコーンせん断試験で得られた実測値とそのバラツキを活用した確率解析を活用する。この事例では①の記録的大雨時の検討方法、設計方法について記載する。</p> <p>ここで紹介する方法が適用される場面は、土砂災害警戒区域に指定された民間斜面や行政所有地（例えば緑地斜面地）の予防対策である。</p>	
従来技術との比較	
<p>従来技術は、主に公共事業で使われる方法である。地質状況をボーリング調査などで把握し、地下水位は観測によって最高水位を「最悪条件」として設定する。最悪条件の現況安全率を例えば $F_s=1.00$ と仮定し、すべり面強度を逆算し、計画安全率 $F_{sp}=1.20$（保全対象によって異なる）となるのに必要な抑止力 P_r を算出し、それを満足する対策工を設計していた。この検討では、確定論的な安定計算手法が用いられる。そして、$F_s < F_{sp}$ からスタートするため、斜面評価は常に「不安定」で対策工が必要となる。対策工の必要性に関する意思決定済から出発している。崖地対策では、主に抑止工による対策工設計となっており、一般に高価な対策であり、民間（事業者）にとっては対応困難となる場合があった。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
<p>適用範囲：土層強度検査棒が挿入可能でベーンコーンせん断試験が可能な表層土砂の「表層崩壊」が対象である。周縁部強度が底部強度と大きく異なる地すべり的な現象は、2次元解析では順計算できないことから、対象外とする（3次元解析を行えば可能な場合もある）。</p> <p>適用条件：土層強度検査棒限界貫入試験等で、表層土層厚が把握され、少なくとも3回以上の土層強度検査棒ベーンコーンせん断試験で土質強度（$c \cdot \phi$）と標準偏差 σ が得られていること。</p> <p>事前に必要なデータ：崩壊履歴や地盤調査データがあればよいが、必須なものはない。</p>	
留意事項	
<ul style="list-style-type: none"> 土層構成物が異なる場合には、それぞれで分布と土質強度・標準偏差データが必要。 可能であれば、単位体積重量 γ も実測値（標準偏差含む）があると良い。 記録的豪雨時に発生する過剰間隙水圧の圧力水頭ゼロ位置の証拠が必要。具体的には地形的な上限（尾根など）や、地中水圧が消散される崩壊跡や水の吹き出し跡（小さなものは除く）である。 この解析・設計法は、特許取得済技術である。この手法を用いる場合には、有限会社太田ジオリサーチ又は、株式会社地盤リスク研究所と契約済の「排水パイプ」を用いることが必須条件となる。その条件を満たせば、解析・設計手法の利用に対し特許使用料は発生しない。（2020年9月現在では、「排水補強パイプ」及び「NJ型排水補強パイプ」、が契約済である） 	

技術の手順

1. 土層強度検査棒限界貫入試験や簡易動的コーン貫入試験、あるいは既存資料を用いて地盤モデルを作成する。2次元安定解析で行うのが標準なので、対象は周縁部強度¹⁾の影響が小さい「表層崩壊」である（原理的には周縁部強度の影響が大きい3次元安定解析でも適用可能であるが、土層強度検査棒ペーンコーンせん断試験では、周縁部強度を得るのが困難な場合が多い）。

2. 土層強度検査棒ペーンコーンせん断試験で得られた土質強度 ($c \cdot \phi$) と標準偏差を用いて、確率解析を行う。斜面安定性評価は、基本的に安全率 F_s ではなく、 $F_s=1.00$ を閾値とした崩壊確率 PF を用いる²⁾。浅層崩壊の場合、粘着力 c が安定計算に大きく効くため、地下水位を地表と一致させても、平均安全率 $F_s(\text{mean})$ は 1.00 より大きな値となることが多い。

3. 次にソイルパイプ（ミズミチ）が飽和する記録的豪雨時（土壤雨量指数履歴順位第一位相当）を想定して安定計算を行う。過剰間隙水圧は、図 1 に示すように、崩壊跡などの圧力水頭ゼロ地点から、比高 Δh 位置での過剰間隙水圧 $P_2 = \Delta h \times \gamma_w \times B\text{-bar}$ で与える（与え方は「ノウハウ集●●」を参照）。 γ_w は水の単位体積重量、 $B\text{-bar}$ は過剰間隙水圧比である。安定計算に供される間隙水圧 P は、地下水位（静水圧）の P_1 と過剰間隙水圧 P_2 との合計値となる（ $P=P_1+P_2$ ）過剰間隙水圧比としては、既存崩壊調査から逆解析された過剰間隙水圧が、最大 $B\text{-bar}=0.3$ 程度であることから、その値を目安として解析する³⁾。（表 1 参照、表内で過剰間隙水圧比は α としている）

4. 上記条件で算出された崩壊確率 PF が記録的豪雨時の斜面の安定性評価となる。崩壊した場合の損害額を C とすると、期待値は $PF \times C$ となる。それらの値を依頼者に提供するなどして、対策工を施工するかどうかの意思決定を促す。

5. 対策を実施すると意思決定された場合には、過剰間隙水圧を消散させるために斜面に排水パイプを配置した計算を行う。排水パイプの施工高さで過剰間隙水圧がいったんゼロにリセットされると仮定し、施工ピッチ（縦間隔）を変えて崩壊確率 PF を算出する。（図 2 参照）

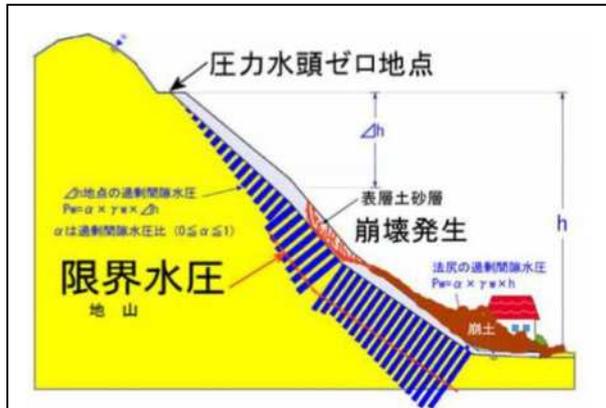


図 1 過剰間隙水圧による崩壊イメージ
比高 Δh が大きくなるほどソイルパイプ由来の過剰間隙水圧が大きくなる

表 1 崩壊地で再現した過剰間隙水圧比

基盤地質	α	γ	c	ϕ	θ
相生層群	0.355	18.0	10.4	26.6	19°
三浦層群	0.298	17.0	18.7	11.5	30°
相生層群	0.163	18.0	10.4	26.6	32°
丹波帯	0.107	18.0	11.0	36.1	35°
三波川帯	0.094	18.6	11.0	29.8	33°
阿蘇山	0.013	12.9	9.1	25.8	25°
伊豆大島	0.004	13.1	10.0	12.6	37°

α : 過剰間隙水圧比, γ : 単位体積重量 (kN/m³),
 c : 粘着力 (kN/m²), ϕ : せん断抵抗角 (deg),
 θ : 斜面傾斜角 (deg)

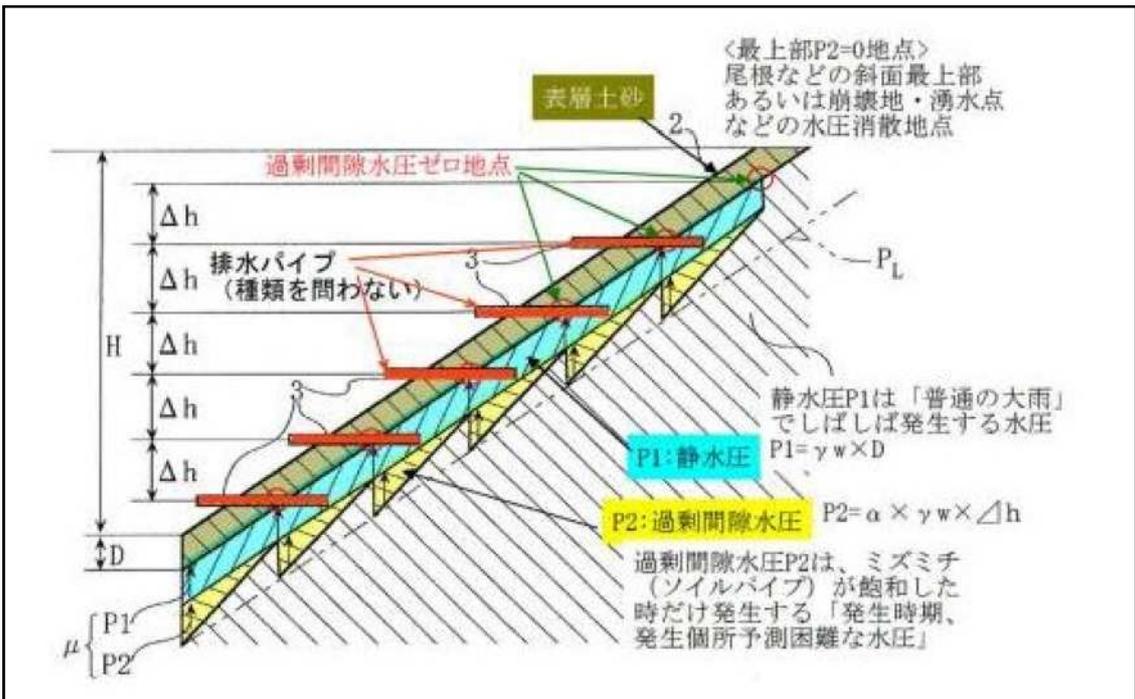


図2 過剰間隙水圧を排水パイプにより消散させる工法概念図
 総水圧 $P = \text{静水圧 } P1 + \text{過剰間隙水圧 } P2$ として安定計算を行う。排水パイプ位置では過剰間隙水圧 $P2$ がいったんゼロにリセットされるが、静水圧 $P1$ は不変とする。

6. 崩壊確率 $PF > 0\%$ の場合には、排水パイプのせん断強度を抵抗力に付加して安定計算を行う。排水パイプの縦ピッチを変更して試行計算を行い、可能な限り崩壊確率 $PF = 0\%$ となる組み合わせを探す。
7. 安定計算結果、対策工の配置計画を依頼主に提示し、対策工施工の意思決定を促す。その際に、平均値からのばらつきを標準偏差×3の幅でとる統計的手法の限界として、 $(100 - 99.7\%) \div 2 \approx 0.2\%$ 程度の例外が発生する可能性があることを説明する。実際の事例を図4、写真1に示す。

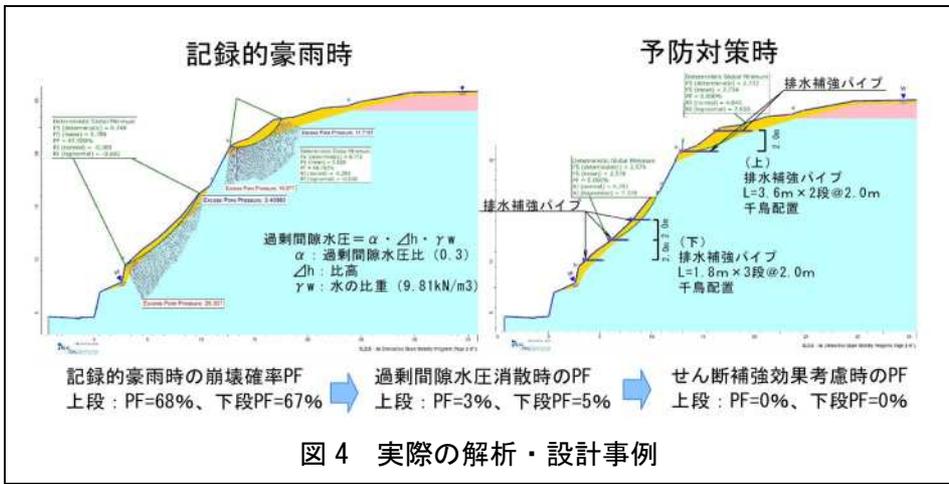
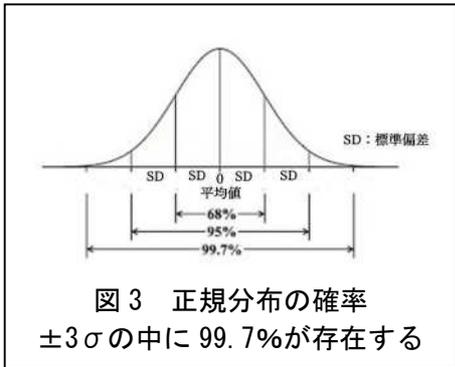




写真1 施工された斜面对策工（崩壊確率 PF=0%仕様）

参考文献

- 1) 太田ほか（2001）、” 周縁部摩擦力を考慮した地すべりの3次元安定解析”、日本地すべり学会誌、第38巻、第3号、PP.95-100
- 2) 太田ほか（2016）、” 浅層崩壊の安定性評価のための調査法と対策法”、日本地すべり学会第55回研究発表会講演集
- 3) 太田ほか（2017）、”ソイルパイプの過剰間隙水圧を考慮した安定計算法”、日本地すべり学会第56回研究発表会講演集

参考歩掛

- ・条件：1法面当たり（法面への進入が容易であること）
- ・歩掛

項目	数量	技師A	技師B	技師C
業務着手金（資料整理等）	1式	1.0	1.0	1.0
土層強度検査棒ベーン試験	4箇所	0.3	0.5	0.5
土層強度検査棒限界貫入試験	10箇所	0.3	0.5	0.5
調査結果解析	1式	1.0	2.0	3.0
安定解析	1断面	0.5	1.0	2.0
報告書とりまとめ	1式	1.0	1.0	2.0

このほか、表面波探査装置・土層強度検査棒ベーン試験装置損料、および計算機使用料（直人×5%）、消耗品費（直人×1%）

使用実績（令和2年8月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
		4	3	

お問い合わせ

有限会社太田ジオリサーチ
 担当（太田・美馬・川浪）
 〒651-1432 兵庫県西宮市すみれ台3丁目1番地
 Tel 078-907-3120 Fax 078-907-3123
 e-mail:office@ohta-geo.co.jp