




浅層崩壊に対する予防調査の 方法と事例紹介

2022/5/25 15:30～

講演者：萱島地質 萱島祥司

○自己紹介

- ・ 昭和53年 大分県生れ
- ・ 平成16年 東北大学大学院 地学専攻 修了
- ・ 平成16年～27年 地質コンサルに在職。広島、愛媛、大阪、熊本で勤務。
道路構造物、地すべり、災害復旧等に係わる地質調査業務（公共事業）に従事。
- ・ 平成29年～ 佐賀県にて萱島地質を起業。

●保有資格

- ・ 技術士（応用理学部門）
- ・ 地盤品質判定士補
- ・ 地質調査技士（現場技術・管理部門）
- ・ ロープ高所作業特別教育 修了

○講演の流れ

1. 斜面对策の背景

- 1-1 近年の土砂災害
- 1-2 国内の斜面对策
- 1-3 米国の法面設計

2. 調査方法など

- 2-1 3つの土砂災害+ α
- 2-2 “急傾斜地”とは
- 2-3 土層強度検査棒(通称:土検棒)
- 2-4 土検棒貫入試験
- 2-5 ベーンコーンせん断試験
- 2-6 安定計算とは
- 2-7 安全率の計算結果
- 2-8 崩壊確率
- 2-9 地すべりの逆算法

3. 事例紹介

- 3-1 土砂災害警戒区域(急傾斜地)の事例
- 3-2 過剰間隙水圧
- 3-3 土壌雨量指数
- 3-4 効果的な浅層崩壊対策工
- 3-5 変状至上主義
- 3-6 自助・共助・公助の一側面

4. まとめ

3

目次

- 1. 斜面对策の背景
- 2. 調査方法など
- 3. 事例紹介
- 4. まとめ

4

1-2 国内の斜面对策

- ・ “壊れたら直す” 方針。
元々、脆弱で複雑な地形地質→壊れることを前提。
安全側の判断＝構造物は頑丈になる反面、対策が過剰になることがある。
- ・ 数十年前に考案された“逆算法”が、現在も使われている。
- ・ 逆算法とは、対策することを前提とした便法。
- ・ 現在の斜面崩壊対策には、現状評価の手法が使われていない。
⇒事前対策をする意思がない。
⇒事前対策に当たる斜面モニタリングなどは動機が薄い？

7

1-3 米国の法面設計

海外では日本のように逆解析が前提ではない場合があります。

例えば、米国では市の基準などで切土、盛土、自然斜面の静的な安全率 F は $F \geq 1.5$ を確保することが義務づけられていることがあります。

道路開発や宅地開発などではこれをクリアする必要があります。

米国の雨の少ない地域の切土法面などでは崩壊などの斜面変状が発生しないのが一般的なので、極限平衡法の安定解析は順解析が主流です。

市などの基準で土質パラメータは土質試験で求めることが規定されていますので、欧米のグローバルな設計ソフトでは極限平衡法の土質パラメータの設定に、感度分析や確率分布を取り入れた上に、安全率とは別に統計的な破壊確率を算出することができるソフトもあります。

「日本地すべり学会誌, Vol. 59, No. 1 (265) January 2022」より引用。

シリーズ, 地すべりキーワード101 -51-
極限平衡法の基本的な考え方 榎田 充哉/国土防災技術

8

目次

1. 斜面对策の背景
2. 調査方法など
3. 事例紹介
4. まとめ

9

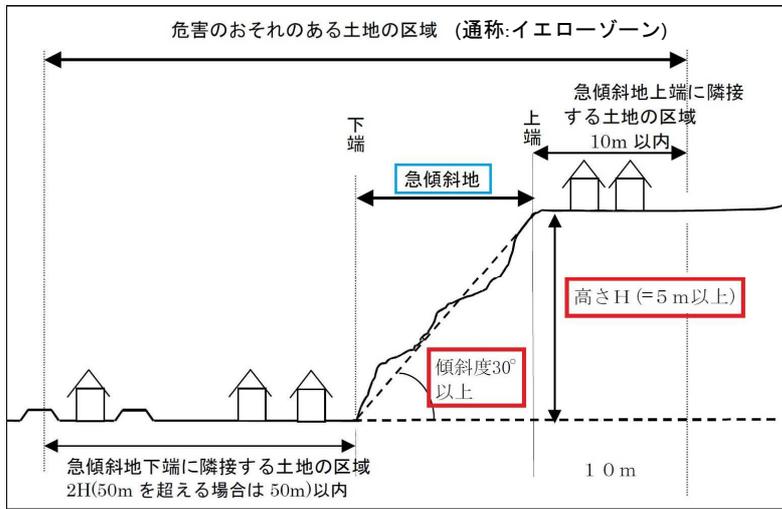
2-1 3つの土砂災害+α

- ・ 地すべり：数として少なく、動きが遅い。
→基本的に公共事業で対策。（逆算法）
- ・ 土石流：ハード対策以外に対応がない。そもそも谷出口に居住しないこと。
- ・ 急傾斜地（浅層崩壊）：数が多いが、死者が出るのはまれになっている。
⇒事前評価による対策が可能だが普及していない。
- ・ 加えて最近では“谷埋め盛土”，“擁壁・ブロック積み”の危険性。

●以降、急傾斜地の浅層崩壊の対策について述べていく。

10

2-2 “急傾斜地” とは



危害のおそれのある土地の設定の概念図

出典「土砂災害警戒区域等指定のための基礎調査マニュアル」

<急傾斜地の定義>

- ・傾斜度が30°以上かつ
高さが5m以上の土地の区域。

「土砂災害防止法」により
土砂災害警戒区域等を指定。

2020年に1巡目の区域指定が完了。

<急傾斜地の警戒区域>

- 長所：全国を一律に網羅
(急傾斜地ハザードマップとして)
- 短所
 - ・地形条件しか考慮していない。
(崩壊深,土質定数は一律で決定)
 - ・抽出されない斜面がある。
 - ・注意喚起のみで指定しただけ。

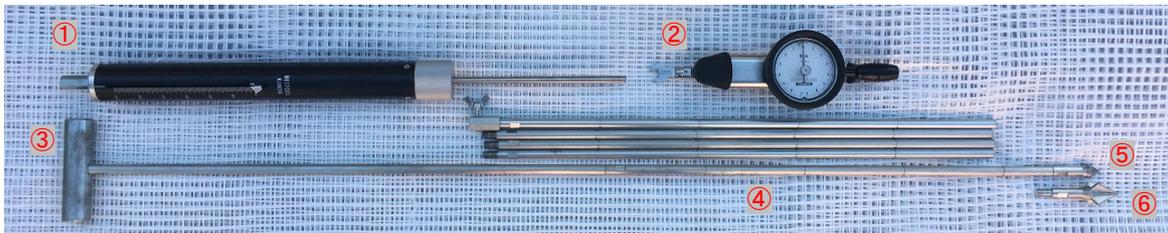
11

2-3 土層強度検査棒（通称：土検棒）

- 土木研究所が、斜面の安定性調査の高度化を目的として2010年に開発した。
- (有)太田ジオリサーチで、土検棒の販売と活用に関するノウハウを公開。

<特徴>

- ・原位置で土質強度（内部摩擦角,粘着力）を測定できる。→比較的容易に順算での安定計算が可能。
- ・軽量（5kg程度）であるため持ち運びが容易。→広範囲の調査が可能。
- ・個々の測定を比較的短い時間で実施できる。→多点の測定が可能。
- ・人力で押し込むので調査深度は5～6mが限界。



機器構成：①荷重計 ②トルクレンチ ③取っ手 ④ロッド(Φ10mm)
⑤円錐状先端コーン ⑥ベーンコーン(羽根付き先端コーン)

12

2-4 土検棒貫入試験

<試験概要>

先端コーン付きの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより大まかな土質、土質強度、土層深を簡易に測定する試験。

<簡易法>

人力による限界までロッドを押し込む。
定性的に土層深を測定する。

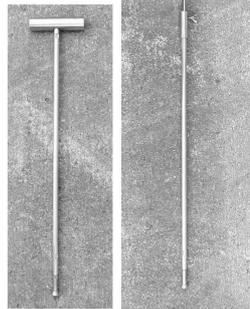
<標準法>

10cm貫入毎に荷重計の読みを記録する。
300N(約30kgf)まで貫入する。
(データシートを右に示す)

土検棒貫入試験の機器構成

写真左：簡易法

写真右：標準法

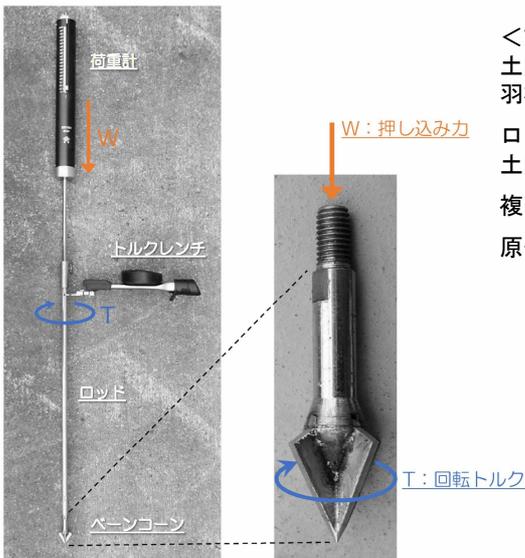


出典「土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案)」

調査件名		豊後大野市朝地町鳥田		試験年月日		令和3年2月4日		天候		曇り	
測線・測点番号		No.01		試験者(所属)		窪島祥司(窪島地質)		重力加速度		9.81(m/s ²)	
土層・基礎境界		1.500N/m (250kN)		地盤の含水状態(測定前数日間の天候などを記述)				<td colspan="2"></td>			
先挿コーンと450mmロッドの合計質量m ₀		0.330kg	3.237N	500mmロッド質量m ₁		0.320kg	3.138N				
コーン定数種A(m)		1.76E-04		貫入速度cm/s		i		最終貫入深z(m)		2.8m	
測定深 (cm)	荷重計測 W(N)	羽根付コーン面積 qsk(kN/m ²)	ロッド数 n+1(本)	貫入強度 qsk(kN/m ²)	換算N値 N ₆₀ (30.17)	貫入強度 qsk(kN/m ²)					
0.20	83	472	2	508	2.5	0.0		1.000		2.000	
0.40	181	1,028	2	1,065	5.5	-0.5					
0.60	148	841	2	877	4.5	-1.0					
0.80	146	830	3	884	4.4	-1.5					
1.00	134	761	3	815	4.0	-2.0					
1.20	163	926	3	980	4.9	-2.5					
1.40	141	801	4	873	4.3	-3.0					
1.60	118	670	4	742	3.6						
1.80	144	816	4	890	4.3						
2.00	190	1,080	5	1,169	5.7						
2.20	153	756	5	845	4.0						
2.40	135	767	6	875	4.1						
2.60	135	767	6	770	4.1						
2.80	275	1,563	6	1,569	8.3						
2.82	300	1,705	6	1,716	9.0						

貫入強度 $q_{sk} = (W + (m_0 + n \cdot m_1) \cdot 9.81) / 0.176$ (kN/m²) 見かけ貫入強度 $q_{sk}' = W / 0.176$ (kN/m²) 13

2-5 ベーンコーンせん断試験-1



ベーンコーンせん断試験の機器構成 ベーンコーンの拡大図

<試験概要>

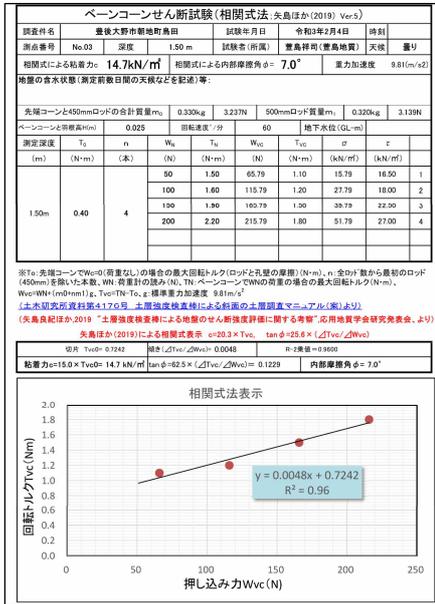
土層内の所定の深度に、
羽根付きコーン（ベーンコーン）を設置し、

ロッドの押し込み力と、
土層のせん断に必要なロッドとベーンコーンの回転トルクを
複数の荷重条件で測定することにより、
原位置での粘着力と内部摩擦角を測定する試験。

従来の地質調査では土の強度を求めるために、
サンプリングや室内土質試験をしなければならず、
大きな手間と費用がかかっていた。
しかし、土検棒を使ったベーンコーンせん断試験で、
土の強度のデータを早く安く取得することができるようになった。

出典「土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案)」 14

2-5 ベンコーンせん断試験-2



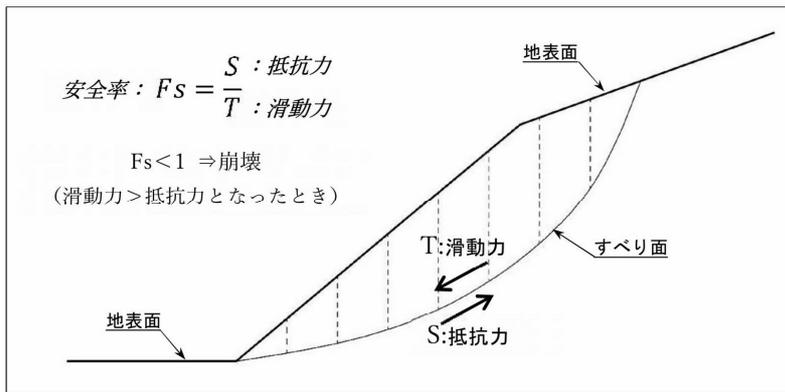
<測定データシート>

- 測定深度: 1.5m
- 押し込み力: W_N が、5kg, 10kg, 15kg, 20kgのとき、それぞれの回転トルク: T_N を測定する。
- Y軸切片から、相関式により粘着力: c を算出。
 $c = 14.7 \text{ kN/m}^2$
- 傾きから、相関式により内部摩擦角: ϕ を算出。
 $\phi = 7.0^\circ$
- 土質は、粘着力が大きめで内部摩擦角が小さく粘性土質。

⇒土の強度データを取得することで、
順算による安定計算が可能になる。

2-6 安定計算とは

安定計算とは、斜面が崩壊する瞬間のつり合いの計算。



T: 滑動力
土の自重と地下水圧。

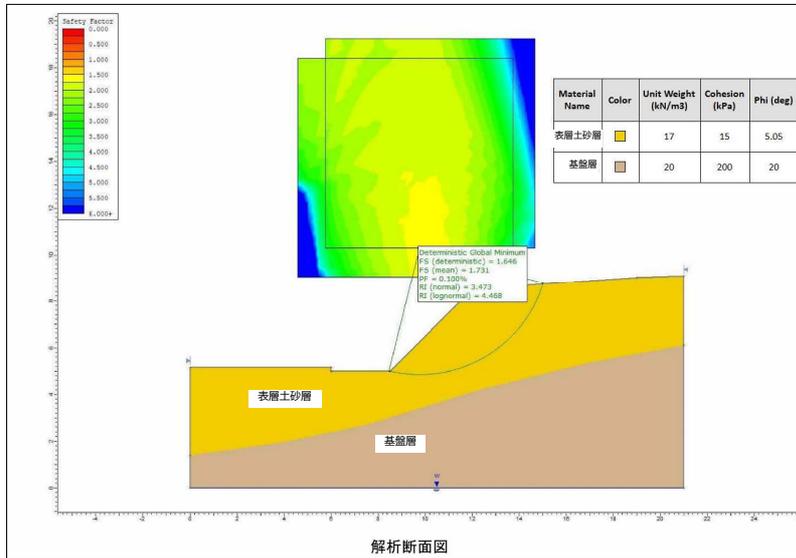
S: 抵抗力
土の強度(粘着力, 内部摩擦角)
(ベンコーンせん断試験の値)

Fs: 安全率
S: 抵抗力 / T: 滑動力

滑動力が抵抗力より大きくなる
とき ($F_s < 1$)、斜面が崩壊する。

すべり面: 多数のすべり面を仮定して試行計算を行い、
その中で最も安全率が小さくなるすべり面を採用する。
(臨界すべり面の探索)

2-7 安全率の計算結果



○平常時（地下水なし）
の安定計算結果

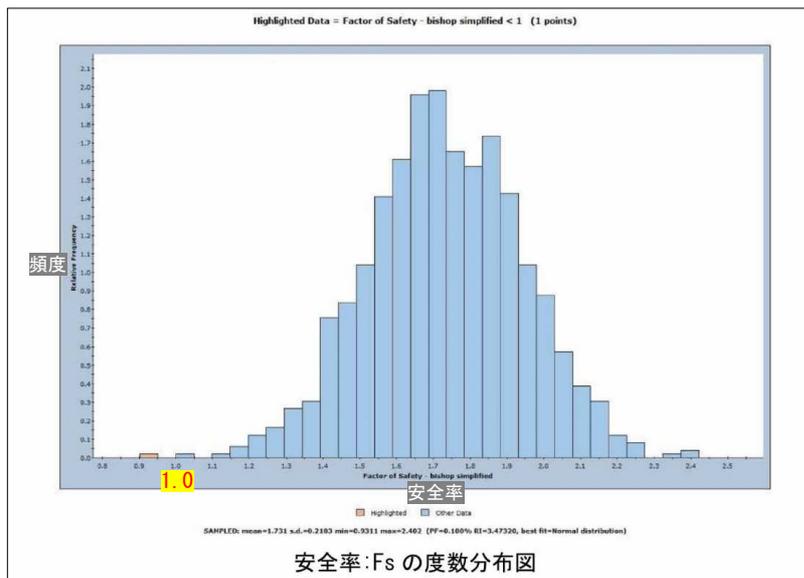
安全率 $F_s=1.646$
崩壊確率 $PF=0.1\%$

※単位体積重量は一般値を使用。
※使用ソフト：SLIDE2
(Rocscience社)

・現存している斜面なので、
安全率 F_s は当然1以上となる。
(F_s が1より小さい=崩壊なので、
そもそも存在できない。)

17

2-8 崩壊確率



元々、地盤は不均質なので、
同一の地層の中であっても
土層強度はある程度のバラつきがある。

下表のバラつきで安定計算を繰り返し、
安全率の頻度分布を得る。

→崩壊確率：PFを算出。

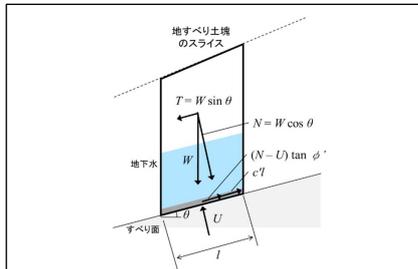
右図では $PF=0.1\%$ 。
土層強度のバラつきの中で
100回計算して1回崩壊する。

土層強度の測定結果

測定地点	測定深度 (m)	粘着力	内部摩擦角
		c (kN/m ²)	Φ (°)
No.1	1.0	16.4	10.2
No.2	1.0	16.9	1.5
No.3	1.0	11.9	1.5
	1.5	14.7	7.0
平均		15.0	5.05
標準偏差		1.95	3.73

18

2-9 地すべりの逆算法



$$F_s = \frac{\Sigma(N - U) \tan \phi' + c'l}{\Sigma T} \quad (1)$$

F_s : 安全率

N : スライスの重力による法線力 (kN/m) $= W \cos \theta$

T : スライスの重力による切線力 (kN/m) $= W \sin \theta$

U : スライスに働く間隙水圧 (kN/m)

l : スライスのすべり面長 (m)

c' : すべり面の粘着力 (kN/m²)

ϕ' : すべり面の内部摩擦角 (°)

W : スライスの重量 (kN/m)

θ : スライスのすべり面傾斜角 (°)

<順算法>

1. パラメータとなるデータの取得。
(すべり面、土質強度、単位体積重量、間隙水圧)
2. 安定計算式から安全率: F_s を算出。

<逆算法> (主に変動中の地すべりが対象)

1. 現況安全率 (0.95~1.00) を設定。
2. 地すべり層厚から粘着力: c を設定。
3. 以上のデータから内部摩擦角: ϕ を逆算。
4. 計画安全率(1.20)に対する必要抑止力を求める。

・ 逆算法は効率的に地すべり対策を進めるために開発された便法(便宜的手法)。

・ 基本的に対策することを決めてから使う方法。

斜面安定計算式
(修正フェレニウス法)

出典: 地盤工学会誌2021年12月号

「大胆に強度逆算でいい?地すべり斜面安定計算」 19

目次

1. 斜面对策の背景
2. 調査方法など
3. 事例紹介
4. まとめ

3-1 土砂災害警戒区域（急傾斜地）の事例-1

土砂災害警戒区域等の指定の公示に係る図書(その2)



<p>図中の数字は横断線番号を示す</p> <p>0 25 50 100 m</p>	<p>土砂災害防止法施行令第2条の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第2号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第3号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第4号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第5号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第6号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第7号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第8号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第9号の基準に該当する区域</p> <p>土砂災害防止法第12条第1項第10号の基準に該当する区域</p>	<p>急傾斜地の座標</p> <p>告示番号</p> <p>告示年月日</p>	<p>自然現象の種類</p> <p>告示番号</p> <p>告示年月日</p>	<p>図所番号</p> <p>図所名</p> <p>所在地</p>	<p>II-1-447</p> <p>〇</p> <p>令和元年9月10日</p>
--	--	---	---	-----------------------------------	---

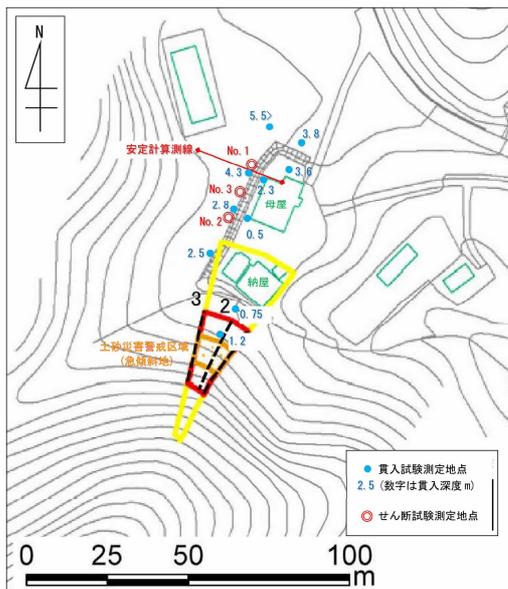
土砂災害警戒区域の公示図書
(土砂災害ハザードマップの根拠)

- ・ 建物が黄色枠に入っている。
(イエローゾーン)
- ・ 斜面に赤枠あり。
(レッドゾーン)
- ・ 自然現象の種類：急傾斜地の崩壊

⇒浅層崩壊の危険性は
どれくらいなのか？

21

3-1 土砂災害警戒区域（急傾斜地）の事例-2



表層土砂層の厚さを把握するため、
土検棒貫入試験(簡易法)を実施。

- ・ イエローゾーンエリアの貫入深度は1m前後。
- ・ 母屋裏の切土法面の肩部で2.8m, 4.3m。(下写真)
(法高が3.5mのため指定外とみられる)

⇒イエローゾーンエリアより母屋裏法面の危険性が高いと判断。
ベーンコーンせん断試験を行い土質強度を測定。
安定計算を実施。



22

3-1 土砂災害警戒区域（急傾斜地）の事例-3

土層強度の測定結果

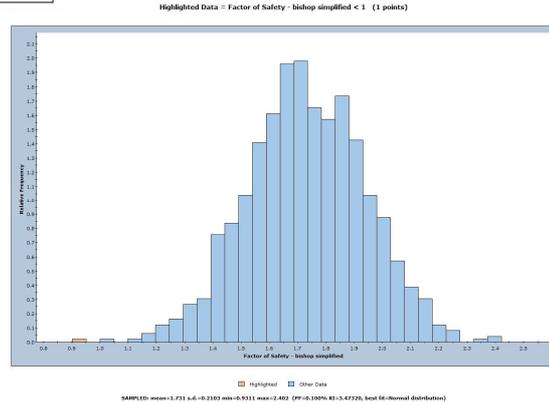
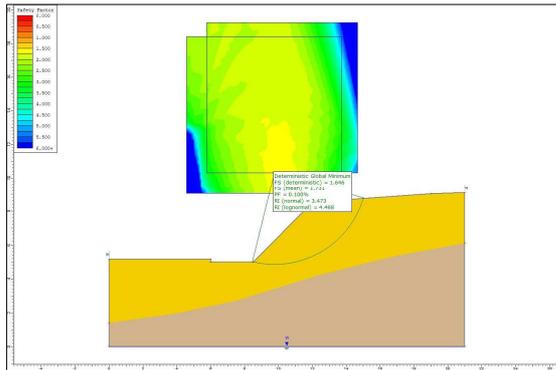
測定地点	測定深度 (m)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 Φ (°)
No.1	1.0	16.4	10.2
No.2	1.0	16.9	1.5
No.3	1.0	11.9	1.5
	1.5	14.7	7.0
平均		15.0	5.05
標準偏差		1.95	3.73

安定計算の結果一覧

想定状態	計算条件	安全率: Fs	崩壊確率: PF
平常時	地下水なし	1.646	0.1%
降雨時	地表面満水時(不圧)	1.493	0.3%
豪雨時	地表面満水時(被圧)	1.400	2.1%
大地震時	震度6程度,地下水なし	1.034	21.2%
地震かつ降雨時	震度5程度かつ満水(不圧)時	0.999	40.8%

○安定計算結果：平常時（地下水なし）
（2-7、s16, 17再掲）

安全率 $F_s=1.646$ 崩壊確率 $PF=0.1\%$



23

3-1 土砂災害警戒区域（急傾斜地）の事例-4

土層強度の測定結果

測定地点	測定深度 (m)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 Φ (°)
No.1	1.0	16.4	10.2
No.2	1.0	16.9	1.5
No.3	1.0	11.9	1.5
	1.5	14.7	7.0
平均		15.0	5.05
標準偏差		1.95	3.73

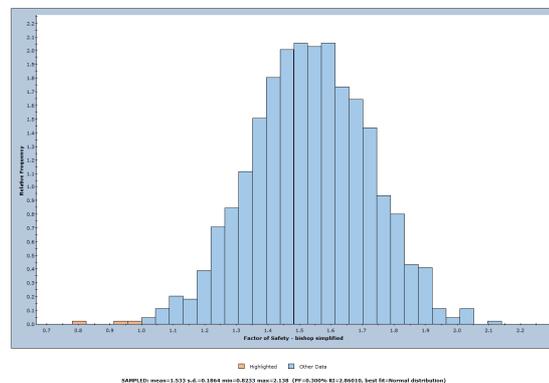
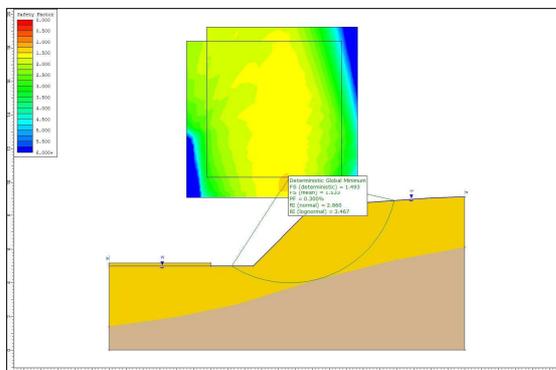
安定計算の結果一覧

想定状態	計算条件	安全率: Fs	崩壊確率: PF
平常時	地下水なし	1.646	0.1%
降雨時	地表面満水時(不圧)	1.493	0.3%
豪雨時	地表面満水時(被圧)	1.400	2.1%
大地震時	震度6程度,地下水なし	1.034	21.2%
地震かつ降雨時	震度5程度かつ満水(不圧)時	0.999	40.8%

○安定計算結果：降雨時(地表面満水時:不圧)

安全率 $F_s=1.493$ 崩壊確率 $PF=0.3\%$

⇒地下水水位が地表面まで上がった状態だが、崩壊には程遠い。
実現象を再現できていない？



24

3-1 土砂災害警戒区域（急傾斜地）の事例-5

土層強度の測定結果

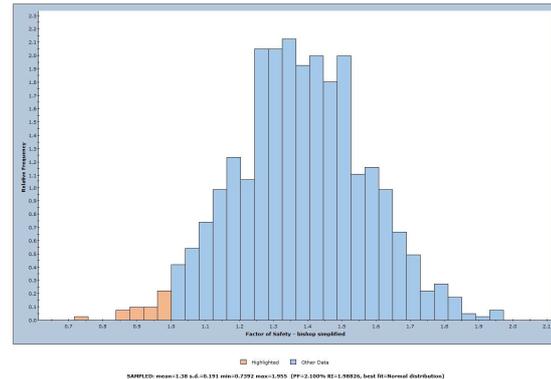
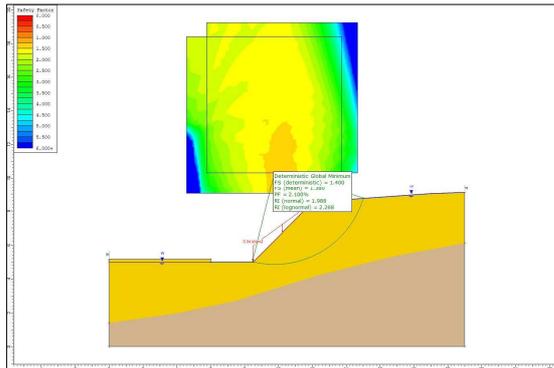
測定地点	測定深度 (m)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 Φ (°)
No.1	1.0	16.4	10.2
No.2	1.0	16.9	1.5
No.3	1.0	11.9	1.5
	1.5	14.7	7.0
平均		15.0	5.05
標準偏差		1.95	3.73

安定計算の結果一覧

想定状態	計算条件	安全率: Fs	崩壊確率: PF
平常時	地下水なし	1.646	0.1%
降雨時	地表面満水時(不圧)	1.493	0.3%
豪雨時	地表面満水時(被圧)	1.400	2.1%
大地震時	震度6程度,地下水なし	1.034	21.2%
地震かつ降雨時	震度5程度かつ満水(不圧)時	0.999	40.8%

豪雨時の再現として水位の比高差に応じた
過剰間隙水圧を作用させると...

○安定計算結果：豪雨時(地表面満水時:被圧)
安全率 $F_s=1.400$ 崩壊確率 $PF=2.1\%$
⇒豪雨時でもこの法面はかなり持ちこたえられる
ことが分かった。



25

3-2 過剰間隙水圧-1

<実測値に基づく安定計算をしてみると...>

- ・地下水がない場合、安全率:Fsは1.0を上回る。
- ・地表面まで満水の場合で、安全率:Fsが1.0より小さくなることは少ない。
→さらに崩壊に至る条件があるのでは？

<実際の浅層崩壊は...>

- ・土壌雨量指数履歴順位1位のと看、浅層崩壊が発生する。→地下水の関与は間違いない。
- ・崩壊面にはしばしばパイピング孔がみられる。
- ・崩壊発生時に度々目撃される“水柱”。

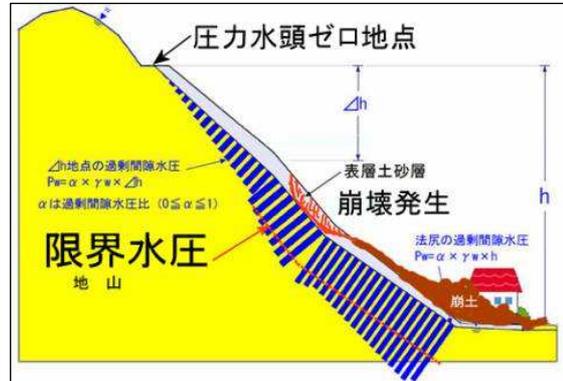
⇒以上のことは「水みち(パイプ流)」と「過剰間隙水圧」の導入で
うまく説明できる。

26

3-2 過剰間隙水圧-2

<崩壊のメカニズム...>

1. 土壌雨量指数履歴順位1位の雨が降る。
 2. 斜面にある水みち(ソイルパイプ)による排水が追い付かなくなる。
- ※ここで考えているのは浸透流ではなくパイプ流。
3. ソイルパイプに水圧がかかり限界を超える
= **崩壊の発生**。
- ※水風船がふくらんで破裂するイメージ。



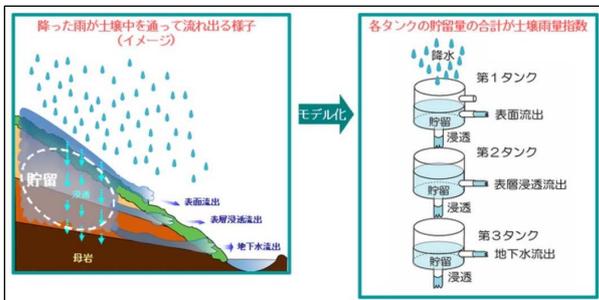
浅層崩壊発生のイメージ図 (太田・美馬 (2017). 「ソイルパイプの過剰間隙水圧を考慮した安定計算」)

3-3 土壌雨量指数

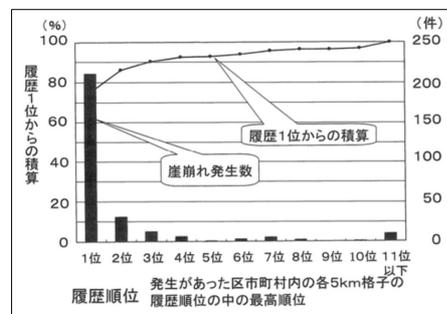
<土壌雨量指数とは>

- ・ 降雨量から土の中の水分量を計算したもの。
- ・ タンクモデルという概念を用いて、土の中の水分量を降雨量から仮想的に推定する。
- ・ 履歴順位1~3位のときに土砂災害の9割が発生している。

- ・ 履歴順位1位の降雨=ソイルパイプによる排水が追い付かない降雨。
- ・ 過剰間隙水圧による崩壊のメカニズムと土壌雨量指数の考え方は非常に整合的。



土壌雨量指数の概念図 (気象庁ホームページより)



東京都のがけ崩れと履歴順位
出典: 「消防防災の科学」 No.60 (2000年春号)

3-4 効果的な浅層崩壊対策工

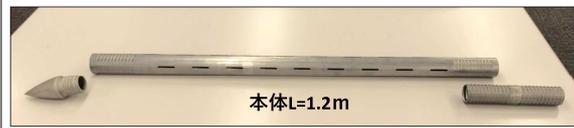
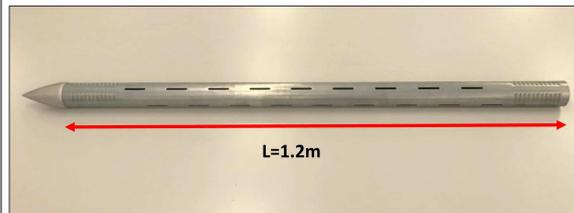
- ・過剰間隙水圧が発生しないようにすれば、浅層崩壊は予防できる。
→地盤の中に水抜き穴を作っておく。

⇒PDR工法：排水補強パイプの打設。（鉄道盛土で多数の実績）



NJ排水補強パイプのパフレット
(岡三リビック株式会社)

N J 排水補強パイプ ネジ式120



先端金具

接続管

29

3-5 変状至上主義

<福岡県某所の事例>

- ・国道沿いの法面上で、店舗営業。
- ・店舗建物の傾きが大きくなる。
- ・店舗オーナーは家主に相談したところ、法面が崩れるかもしれないとのことで、退去を言い渡される。

⇒法面が危ないのか？

<関係者の見解>

- ・道路管理者(国交省)：法面は市の管理なので関知しない。
- ・法面管理者(市(地主))：道路に問題が生じれば、国交省が対応するだろう。
- ・建物管理者(家主)：老朽化して危険性のある建物を取り壊したい。

- ・建物の傾き→法面の危険性を危惧しているが、法面については目視点検すらされない。
- ・結局、建物は取り壊すことにしたが、法面はそのまま。
- ・とにかく変状=危険と判断して、中身を吟味しない。
- ・責任の押し付け合いになっていないか？



建物,法面,国道の全景



建物の状況
(側面から)

30

3-6 自助・共助・公助の一側面

<ある中学校の事例>

- ・校舎裏の斜面が土砂災害警戒区域(急傾斜地)に指定されている。

⇒急傾斜地の調査を提案

<関係者の見解>

- ・ **中学校(自助)** : 裏山は学校の土地ではないし、学校自体には調査するような権限がない。
- ・ **教育委員会(公助)** : 今のところ調査の予定はない。(問題が起これば対応する。)
- ・ **斜面の地主(共助)** : 中学校、教育委員会に任せている。(※土地の管理責任あり)

- ・ 自助,公助,共助は、本来は3者の連携を期待したもの。
- ・ 本件ではお互いの責任を過信し、結果として誰も急傾斜地の危険性に関心を持っていない。



画像：トリプルチェックの弊害

31

4. まとめ-1

<土砂災害防止法>

第一章 総則

(目的) 第一条 この法律は、土砂災害から**国民の生命及び身体を保護**するため、土砂災害が発生するおそれがある土地の区域を明らかにし、～中略～土砂災害の防止のための対策の推進を図り、もって公共の福祉の確保に資することを目的とする。

<宅地造成等規制法>

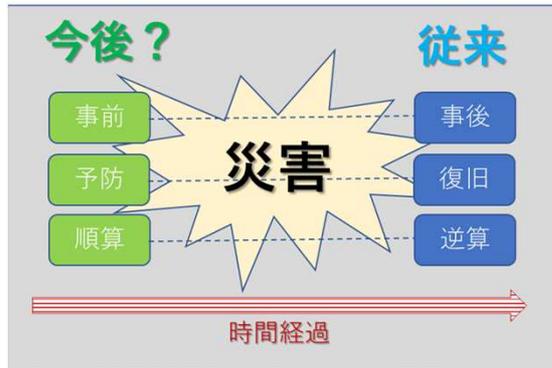
第一章 総則

(目的) 第一条 この法律は、宅地造成に伴う崩れ又は土砂の流出による災害の防止のため必要な規制を行うことにより、**国民の生命及び財産の保護**を図り、もって公共の福祉に寄与することを目的とする。

- ・ 生命を守るための防災は、大方達成されているのではないか。
- ・ 土砂災害による被害を今後減らすためには、生命を守ることは当然として、財産をも守れるようにすべきと考える。
- ・ 財産をも守ることで、守られる生命も増えるはず。

32

4. まとめ-2



- ・財産である家や土地の防災のために、事前評価の考え方や事前対策の取り組みが必要。
- ・紹介した方法論で、浅層崩壊の対策は個人でも可能。
- ・しかし、事前の防災対策に関心を持っている人(官も民も)は少ない。

- ・方針転換には、きっかけや後押しが必要で変化にはまだ時間がかかるかもしれない。

33



浅層崩壊跡。崩壊地の中央にパイピング孔がみられる。(撮影:広島市安佐北区)

ご清聴ありがとうございました。

34