

## 土木技術者に求められる防災・減災の考え方とは ～維持管理の時代における取組～

NPO 法人 都市災害に備える技術者の会  
理事 太田英将

主テーマ：路線全体の安定度を高めるために最適な防災の考え方及び対策（ソフト対策も含めて）

### 1. のり面の安定性の評価

#### 1.1 「素早く造る」「壊れたら素早く直す」の方法論

- ・土のせん断破壊問題を、土のせん断抵抗力（せん断強度）抜きで解決する独特の方法論。
- ・造る時には「標準仕様」、壊れたときには「逆算＋計画安全率」。確率的考え方。
- ・「標準仕様」は土質工学とリンクしていない。（標準勾配は安定計算上もたない！）
- ・対策工を行うための調査であり、意思決定のためのものではない。
- ・「計画安全率」の本当の意味とは？

#### 1.2 「今の状態を評価する」の方法論

- ・個別の診断に、統計的あるいは帰納的方法論は使いづらいため、原則に戻って土質力学を使うしかない。
- ・しかし、「まだ壊れていない斜面」に対して用いる現実的な方法論がなかった。特にコスト面。

#### 1.3 道路防災点検の問題点

- ・目視による総合評価＝「見たカンジ」が主で、論理性に欠ける。
- ・「想定外災害」の比率が低い。（予測が当たらない）
- ・「今の状態を評価する」というニーズが無く、技術者の経験が蓄積されていない。
- ・斜面上に「崩壊跡が多い」の意味とは？

#### 1.4 土質工学的アプローチの試行

- ・土質工学的なアプローチで、実測と安定解析での解決を試みると、意外にあっさりできる。具体的には、何に心掛ければよいか？
- ・そのための、新しい調査ツールが開発されたからである。

- ・表層崩壊以外でも、地すべりや谷埋め盛土の滑動崩落でも、演繹的解析が可能となった。
- ・実測すると、崩壊跡地が一番強い。雪害地（根返り）や崩壊地周辺（落ち残り）は弱い
- ・地盤強度には「ばらつき」があるのが当然だが、「今を評価する」ためにどう処理したらよいか？
- ・安全率  $F_s$  (Factor of Safety) と崩壊確率 PF (Probability of Failure) の違いは？

### 1.5 定性的な崩壊の意味

- ・崩壊によって地形が形成されている
- ・崩壊は、地中侵食を起因として谷の発達に繋がっている
- ・土壌雨量指数が崩壊発生をうまく当てる理由は？
- ・地形は、その地域の履歴順位 1 位の降雨とバランスしている。
- ・履歴順位 1 位の降雨と、地下のパイプ流路網ともバランスしている。
- ・パイプ流路網と崩壊の関係は、下水道とマンホールの蓋の関係と酷似している。
- ・パイプ流路網のキャパシティオーバー、またはパイプ流路網末端の閉塞が、崩壊の引き金を引く。
- ・崩壊を抑制するためには、水圧の圧力開放装置（圧力弁）を予め設置するのが合理的。

## 2. のり面対策の優先順位

### 2.1 リスク評価とリスク管理

- ・技術者ができるのはリスク評価まで。
- ・意思決定はリスク管理の範疇（路線や箇所を選定はリスク管理）なので、管理責任者の職権。
- ・履歴順位第 1 位降雨は、地形を創る雨なので、巨大水圧が発生し、人間の力で抑止は困難。
- ・比高の小さい斜面は、巨大水圧が発生しないので、実測値に基づく土質力学的解決法が適用可能。
- ・比高の大小に関わらず、水圧消散装置（布団籠工、パイプドレーン工）は予防工として有効。

### 2.2 優先順位

- ・安全率による序列化
- ・崩壊確率×被害予想額による序列化
- ・安全率を崩壊確率に対応させる便宜上の方法もあり得る
- ・くれぐれも、人為的なこと（水路の管理不良等）で、局所的な履歴第 1 位降雨に匹敵する状況を創らないように

# 土木技術者に求められる 防災・減災の考え方とは

～維持管理の時代における取組～

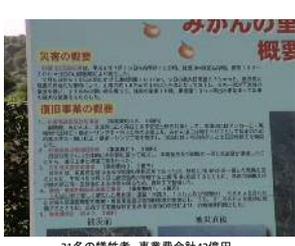
NPO法人 都市災害に備える技術者の会  
理事 太田英将

## 主テーマ 路線全体の安定度を高めるために 最適な防災の考え方及び対策

1. のり面の安定性の評価
2. のり面对策の優先順位

## 対策の松・竹・梅がないのか？

本来、「松竹梅」に序列はないが、特上・上・並の代用にされたので序列化に使われるようになった



### 防災のジレンマ

1. 被災後に一品豪華主義的対策をすることに意味があるか？
2. 「防災」は、「予め災害を防ぐ」ことなので「予防」に特化するべきではないか？
3. 「漏れなく予防」を目指すも、財政的に持たないのではないか？

もっと賢い方法はないのだろうか？

## 第1章 のり面安定性の評価

・公共事業における「のり面对策」は、2つの必要性によって方法論が出来上がった

1. 素早く造る
2. 素早く直す



素早い  
手段

(3. 現状の評価は必要ない・・・壊れたら素早く直せばよいから)

## 人気推理小説との類似点 —大きな勘違い—

- ・「容疑者Xの献身」(東野圭吾)

幾何の問題と見せかけて、  
実は関数の問題(石神)

- ・斜面問題(素早く造り、素早く直す)

土質力学の問題と見せかけて、実は  
統計学(θの関数とも言える)の問題

<p><b>本当の事件</b></p> <p>高橋啓一 花岡雄子 工藤邦明 草壁優平 湯川学</p>	<p><b>偽の事件</b></p> <p>偽富樫 石神哲哉</p>
<p>計画安全率Fsp ≧ 十分小さな崩壊確率</p> $F_s = \frac{((W \cos \theta - U) \tan \phi + c) \div W \sin \theta}{F_s}$ $F_{sp} = \frac{((W \cos \theta - U) \tan \phi + c) \div W \sin \theta}{F_{sp}}$ <p>必要抑止力Pr = (Fsp - Fs) × W sin θ</p> <p>土の重さWと斜面傾斜角θの関数</p>	<p>計画安全率Fsp ≧ 十分小さな崩壊確率</p> $F_s = \frac{((W \cos \theta - U) \tan \phi + c) \div W \sin \theta}{F_s}$ $F_{sp} = \frac{((W \cos \theta - U) \tan \phi + c) \div W \sin \theta}{F_{sp}}$ <p>必要抑止力Pr = (Fsp - Fs) × W sin θ</p> <p>土の重さWと斜面傾斜角θの関数</p>

土質強度の項は、どこにもない

## 斜面問題解決の発明品(1)

日本独自

現況安全率・計画安全率・必要抑止力

計画安全率Fsp ≧ 十分小さな崩壊確率

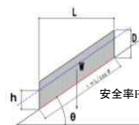
$$F_s = \frac{((W \cos \theta - U) \tan \phi + c) \div W \sin \theta}{F_s}$$

$$F_{sp} = \frac{((W \cos \theta - U) \tan \phi + c) \div W \sin \theta}{F_{sp}}$$

$$\text{必要抑止力Pr} = (F_{sp} - F_s) \times W \sin \theta$$

土の重さWと斜面傾斜角θの関数

- ・計画安全率Fsp; 経験則(統計)
- ・現況安全率Fs; 安全側の仮定値
- ・土質強度c・φ; 計算式から排除
- ・間隙水圧U; 計算式から排除
- ・土塊質量W; LとDで計算できる数値 (W=長さL×深さD×単位重量γ)
- ・斜面傾斜角θ; 測ればわかる数値



$$\text{安全率Fs} = \frac{\text{抵抗力} \div \text{滑動力}}{= \frac{(W \cdot \cos \theta - \gamma_w \cdot h \cdot l) \cdot \tan \phi + c}{l} \div W \cdot \sin \theta}$$

角度θと、土塊深さDが  
わかればOK

φがなくても対策工の設計ができる!  
土のせん断破壊問題を、土のせん断抵抗力(せん断強度)抜きで解決!

日本独自

## 斜面問題解決の発明品(2)

### 標準勾配

#### 統計的安定勾配

#### 標準切土勾配

図4.1 断面・掘削勾配(傾斜が小さい)の買収区分と適正の勾配(日本建設院、1998)

安定勾配は100%の安全ではなく、95%以上の安全、というような確率概念である

土のせん断破壊問題を、土のせん断抵抗力(せん断強度)だけで解決!

2014/7/2 平成26年度建設局技術職員研修 7

## 発明品のジレンマ

### —意思決定ができない—

**初期安全率(現状安全率)決定時には、防災投資の意思決定は終わっている**

細かな分類の現状安全率

分類	若狭沖へ	奥出雲沖へ	扇状地沖へ	軟弱土沖へ
選別済中	1.10	1.05~1.10	1.03~1.05	1.00~1.03
選別済	0.99	0.95~0.99	0.93~0.95	0.90~0.93

**常に 計画安全率 > 現状安全率**

現状の安全率

選別済	選別済中
現在選定を極めている場合	1.00
降雨等に伴い土すりの設備が認められる場合	0.98
すべりが進行している場合	0.95

計画安全率

直轄道路、河川、人家等に重大な影響を与える箇所	1.20
主要地方道、一般国道	1.15
市町村道	1.12
宅地工事	1.05

1. 防災投資 対策工を設置するの可否かの意思決定
2. 現状安全率設定 常に、計画安全率 > 現状安全率なので、現状安全率を設定するということは必然的に対策工を設置する、ということ

いつ、何をもち、(税金を使う)意思決定をしたのか?

2014/7/2 平成26年度建設局技術職員研修 8

日本独自

## 計画安全率はどういう経緯で決まったのか?

### 安全率 $F_s > 1.0$ で、「値の違い」に意味があるのか?

- 誰も知らない、資料も残されていない
- <状況証拠>
  - 昭和30年代のダム建設: 安定計算の試行錯誤、追加工事の繰り返し
    - 事業が遅々として進まない、過大対策も増えた
  - 昭和40年代に抑止工の実績が増えてくると、経験的に計画安全率1.20を保持すれば地すべりの安定性が確保できることがわかってきた
    - 過大でも過小でもない対策ができるようになった

計画安全率は確率的概念

2014/7/2 平成26年度建設局技術職員研修 9

## 意思決定は道路防災点検

手続きとしては何の問題もない(当たれば...)

#### スケッチと定性的コメント

#### 採点による定量化と感覚による最終評価

2014/7/2 平成26年度建設局技術職員研修 10

## 感覚 = 見た目 = 技術者の経験?

### 信頼に値するか?

【対策】 (3) = (4) = (5) = (6) = (7) = (8) = (9) = (10)

【現状】 (0)

【総合評価】

点数より勘を重視 (点数を相対的に軽視)

- 「見たカンジ」は信頼に値するか? 「素早く造る・素早く直す」経験はあるが、「今の状態を評価する経験はあまりない」 → あまり信頼できないかも
- それでも、評価結果が被災箇所と対応していれば信頼できる 「想定外災害」の比率は低くない → 根本的に評価方法に問題有り?

そう考えた人がいました (土研の佐々木さんです)

2014/7/2 平成26年度建設局技術職員研修 11

## せん断破壊問題は土質力学で解けるはずだ!

### いや、解けなければ斜面問題に明日はない!

#### これまで解けなかった理由

- 現状評価のニーズが無かった
- 土質試験費が高かった
- N値からの強度推定も活かなかった ( $c=0$  or  $\phi=0$ )

#### 解決策

- 現地で土層厚と地盤強度を測る
- 安価かつ簡易に測る
- それができる装置を創る

(独)土研研究所 地盤研究グループ 佐々木博人氏

「土層強度検査機(選別佐々木機)」

2014/7/2 平成26年度建設局技術職員研修 12

# 土層強度検査棒による現地計測

土層厚計測

土層強度計測用羽根付コーン

土層強度計測

平成26年度建設局技術職員研修

13

# 実測するといろいろなことがよくわかった

土層厚分布は様々

強度分布も様々

崩壊跡地が一番強い

崩壊跡地が一番弱い

表 5-5-2 安定率一覧表

対象項目	安全率 F <sub>s</sub>	需要地と供与地との境界の標準許容せん断力
崩壊地 (崩壊前)	1.05	1.00
崩壊地 (崩壊後)	1.21	1.15
崩壊地 (計測)	1.58	1.58
健全な斜面	2.14	2.00
改良斜面	2.27	2.16
崩壊跡地	3.70	3.52

実測すれば土質力学で解ける！

平成26年度建設局技術職員研修

14

# 地すべりも土質力学的に解ける

一ありのままに解けばよいだけ

土質力学

安全率 F<sub>s</sub>

安全率 F<sub>s</sub> = 1.07 (押し盛土がある状態)

平成26年度建設局技術職員研修

15

# 地震時の谷埋め盛土も解けた

盛土の強度はクリティカルではなく、側部面積と底部面積の比率が鍵

仙台市を2010年に事前予測していた

地点	安全率 F <sub>s</sub>	備考
1 崩壊地	1.15	崩壊地
2 崩壊地	1.08	崩壊地
3 崩壊地	0.81	崩壊地
4 崩壊地	1.11	崩壊地
5 崩壊地	1.00	崩壊地
6 崩壊地	1.21	崩壊地
7 崩壊地	1.06	崩壊地
8 崩壊地	1.06	崩壊地
9 崩壊地	1.13	崩壊地
10 崩壊地	1.13	崩壊地
11 崩壊地	1.13	崩壊地
12 崩壊地	1.13	崩壊地
13 崩壊地	1.13	崩壊地
14 崩壊地	1.13	崩壊地
15 崩壊地	1.13	崩壊地
16 崩壊地	1.13	崩壊地
17 崩壊地	1.13	崩壊地
18 崩壊地	1.13	崩壊地

平成26年度建設局技術職員研修

16

# ありのままの形で、ありのままの実測強度を使えば、当たり前のように斜面の安全率が順算で計算できることが確認できた

(これがグローバル・スタンダード)

これまでできなかった理由は 標準勾配を安定計算すると？

- 土質力学だと思っていたこれまでの方法が、実は統計的手法だった
- 「今の状態」を評価するニーズが無かった → 維持管理の時代にはニーズがある
- 簡易な強度測定装置が無かった → 維持管理の時代の必需品

勾配1:1.8  
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$   
 $c = 0 \text{ kN/m}^2$   
 $\phi = 30^\circ$   
 地下水無し

標準勾配は土質力学とリンクしていない

平成26年度建設局技術職員研修

17

# 「今の状態を評価する」ためには

統計的手法から土質力学的手法へ転換する必要あり

「経験」を土質力学的に再解釈する必要あり

- その前に・・・
- 地形形成過程や
- 被災箇所を
- 「定性的に」
- 理解しなおす必要あり
- 「定量化」は最後

雨が降ったら存在さえ許されない1:1.8の斜面？  
 ……あり得ない

定量化、数値化を焦るとツボにはまります

平成26年度建設局技術職員研修

18

# とりあえず、 実測値のみでの評価を試みた

【制約条件】コストが「維持管理」で抛出可能であること

- (1) 土層構成: 高精度表面波探査 (Vs, 換算N値)
- (2) 地盤強度計測: 土層強度検査棒 (c・φ)
- (3) 透水性計測: 原位置透水試験 (K)
- (4) 安定解析: 浸透流解析 (地下水位) と安定解析 (平均安全率Fs, 崩壊確率PF)
- (5) 地中音測定: パイプ流の位置探査

高さ3m程度の両盛土、区間延長L≒50m。  
(1)~(3)および(5)は、調査員3人で2日間の作業、(4)は室内で半日の作業

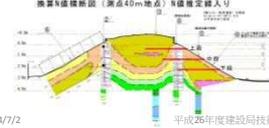
2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

19

## (1) 高精度表面波探査

現時点で、歩道上は少々高価だが、作業は簡易で、今後低価格化すると予想される



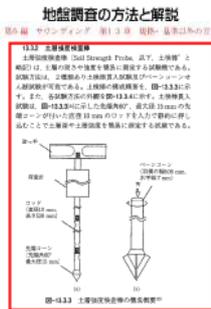
2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

20

## (2) 土層強度検査棒 換算N値ではなく直接c・φ計測へ

(この装置の開発者が、道路防災点検の土研のボスだったことに深い意味がある)



2014/7/2

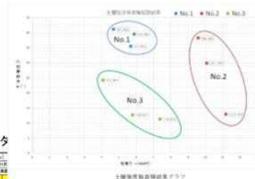
平成26年度建設局技術職員研修

21

## 土層強度検査棒



測点No.	土質	試験深度 (cm)	試験結果 (kg)	換算N値
1	砂	0-10	150	1.5
1	砂	10-20	180	1.8
1	砂	20-30	220	2.2
1	砂	30-40	250	2.5
1	砂	40-50	280	2.8
1	砂	50-60	320	3.2
1	砂	60-70	350	3.5
1	砂	70-80	380	3.8
1	砂	80-90	420	4.2
1	砂	90-100	450	4.5
1	砂	100-110	480	4.8
1	砂	110-120	520	5.2
1	砂	120-130	550	5.5
1	砂	130-140	580	5.8
1	砂	140-150	620	6.2
1	砂	150-160	650	6.5
1	砂	160-170	680	6.8
1	砂	170-180	720	7.2
1	砂	180-190	750	7.5
1	砂	190-200	780	7.8
1	砂	200-210	820	8.2
1	砂	210-220	850	8.5
1	砂	220-230	880	8.8
1	砂	230-240	920	9.2
1	砂	240-250	950	9.5
1	砂	250-260	980	9.8
1	砂	260-270	1020	10.2
1	砂	270-280	1050	10.5
1	砂	280-290	1080	10.8
1	砂	290-300	1120	11.2
1	砂	300-310	1150	11.5
1	砂	310-320	1180	11.8
1	砂	320-330	1220	12.2
1	砂	330-340	1250	12.5
1	砂	340-350	1280	12.8
1	砂	350-360	1320	13.2
1	砂	360-370	1350	13.5
1	砂	370-380	1380	13.8
1	砂	380-390	1420	14.2
1	砂	390-400	1450	14.5
1	砂	400-410	1480	14.8
1	砂	410-420	1520	15.2
1	砂	420-430	1550	15.5
1	砂	430-440	1580	15.8
1	砂	440-450	1620	16.2
1	砂	450-460	1650	16.5
1	砂	460-470	1680	16.8
1	砂	470-480	1720	17.2
1	砂	480-490	1750	17.5
1	砂	490-500	1780	17.8
1	砂	500-510	1820	18.2
1	砂	510-520	1850	18.5
1	砂	520-530	1880	18.8
1	砂	530-540	1920	19.2
1	砂	540-550	1950	19.5
1	砂	550-560	1980	19.8
1	砂	560-570	2020	20.2
1	砂	570-580	2050	20.5
1	砂	580-590	2080	20.8
1	砂	590-600	2120	21.2
1	砂	600-610	2150	21.5
1	砂	610-620	2180	21.8
1	砂	620-630	2220	22.2
1	砂	630-640	2250	22.5
1	砂	640-650	2280	22.8
1	砂	650-660	2320	23.2
1	砂	660-670	2350	23.5
1	砂	670-680	2380	23.8
1	砂	680-690	2420	24.2
1	砂	690-700	2450	24.5
1	砂	700-710	2480	24.8
1	砂	710-720	2520	25.2
1	砂	720-730	2550	25.5
1	砂	730-740	2580	25.8
1	砂	740-750	2620	26.2
1	砂	750-760	2650	26.5
1	砂	760-770	2680	26.8
1	砂	770-780	2720	27.2
1	砂	780-790	2750	27.5
1	砂	790-800	2780	27.8
1	砂	800-810	2820	28.2
1	砂	810-820	2850	28.5
1	砂	820-830	2880	28.8
1	砂	830-840	2920	29.2
1	砂	840-850	2950	29.5
1	砂	850-860	2980	29.8
1	砂	860-870	3020	30.2
1	砂	870-880	3050	30.5
1	砂	880-890	3080	30.8
1	砂	890-900	3120	31.2
1	砂	900-910	3150	31.5
1	砂	910-920	3180	31.8
1	砂	920-930	3220	32.2
1	砂	930-940	3250	32.5
1	砂	940-950	3280	32.8
1	砂	950-960	3320	33.2
1	砂	960-970	3350	33.5
1	砂	970-980	3380	33.8
1	砂	980-990	3420	34.2
1	砂	990-1000	3450	34.5



計測が容易なので、数多くのデータが得られ、統計処理できる

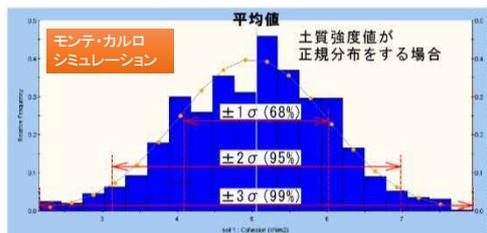
ばらつきまで評価対象

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

22

## 土質強度のばらつきは 確率的に処理



＜各パラメータのばらつきせ方＞  
正規分布にばらつきと仮定する。±1σの中に68%、2σの中に95%、3σの中に99%のデータが入る。とり得る値の最大値highest conceivable value (HCV) と最小値lowest conceivable value (LCV) がわかる場合、 $\sigma = (HCV - LCV) / 6$  とすることもできる。

2014/7/2

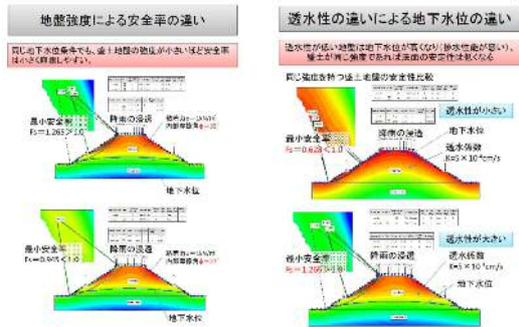
平成26年度建設局技術職員研修

23

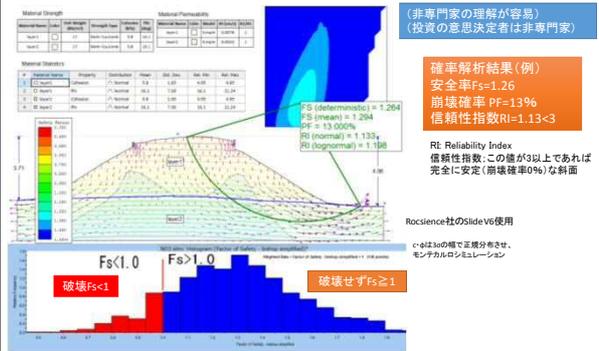
## (3) 原位置透水試験

測点No.	土質	試験深度 (cm)	試験結果 (cm)	透水係数 (cm/s)
1	砂	0-10	150	1.5
1	砂	10-20	180	1.8
1	砂	20-30	220	2.2
1	砂	30-40	250	2.5
1	砂	40-50	280	2.8
1	砂	50-60	320	3.2
1	砂	60-70	350	3.5
1	砂	70-80	380	3.8
1	砂	80-90	420	4.2
1	砂	90-100	450	4.5
1	砂	100-110	480	4.8
1	砂	110-120	520	5.2
1	砂	120-130	550	5.5
1	砂	130-140	580	5.8
1	砂	140-150	620	6.2
1	砂	150-160	650	6.5
1	砂	160-170	680	6.8
1	砂	170-180	720	7.2
1	砂	180-190	750	7.5
1	砂	190-200	780	7.8
1	砂	200-210	820	8.2
1	砂	210-220	850	8.5
1	砂	220-230	880	8.8
1	砂	230-240	920	9.2
1	砂	240-250	950	9.5
1	砂	250-260	980	9.8
1	砂	260-270	1020	10.2
1	砂	270-280	1050	10.5
1	砂	280-290	1080	10.8
1	砂	290-300	1120	11.2
1	砂	300-310	1150	11.5
1	砂	310-320	1180	11.8
1	砂	320-330	1220	12.2
1	砂	330-340	1250	12.5
1	砂	340-350	1280	12.8
1	砂	350-360	1320	13.2
1	砂	360-370	1350	13.5
1	砂	370-380	1380	13.8
1	砂	380-390	1420	14.2
1	砂	390-400	1450	14.5
1	砂	400-410	1480	14.8
1	砂	410-420	1520	15.2
1	砂	420-430	1550	15.5
1	砂	430-440	1580	15.8
1	砂	440-450	1620	16.2
1	砂	450-460	1650	16.5
1	砂	460-470	1680	16.8
1	砂	470-480	1720	17.2
1	砂	480-490	1750	17.5
1	砂	490-500	1780	17.8
1	砂	500-510	1820	18.2
1	砂	510-520	1850	18.5
1	砂	520-530	1880	18.8
1	砂	530-540	1920	19.2
1	砂	540-550	1950	19.5
1	砂	550-560	1980	19.8
1	砂	560-570	2020	20.2
1	砂	570-580	2050	20.5
1	砂	580-590	2080	20.8
1	砂	590-600	2120	21.2
1	砂	600-610	2150	21.5
1	砂	610-620	2180	21.8
1	砂	620-630	2220	22.2
1	砂	630-640	2250	22.5
1	砂	640-650	2280	22.8
1	砂	650-660	2320	23.2
1	砂	660-670	2350	23.5
1	砂	670-680	2380	23.8
1	砂	680-690	2420	24.2
1	砂	690-700	2450	24.5
1	砂	700-710	2480	24.8
1	砂	710-720	2520	25.2
1	砂	720-730	2550	25.5
1	砂	730-740	2580	25.8
1	砂	740-750	2620	26.2
1	砂	750-760	2650	26.5
1	砂	760-770	2680	26.8
1	砂	770-780	2720	27.2
1	砂	780-790	2750	27.5
1	砂	790-800	2780	27.8
1	砂	800-810	2820	28.2
1	砂	810-820	2850	28.5
1	砂	820-830	2880	28.8
1	砂	830-840	2920	29.2
1	砂	840-850	2950	29.5
1	砂	850-		

### (4) 浸透流解析と安定解析

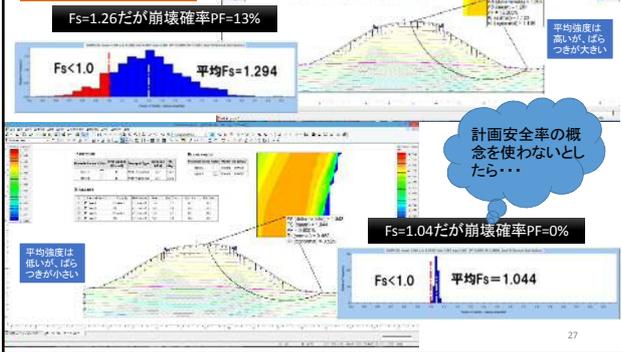


### 解析例



### 意思決定

(施工の責任において)  
どちらを優先するか?

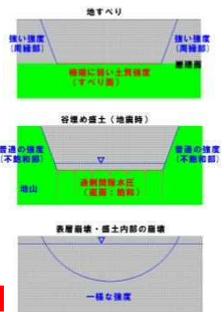


### 安定解析の心得

1. 原則は、実際の地形、実測された強度で、「ありのままに」計算する
2. すべり面強度が大きく異なる部位がある場合には、3次元解析を行うこと(地質構造起因の地すべり、谷埋め盛り土の地震時地すべり、等)
3. すべり面強度に大きな差異が無い場合には、2次元解析で近似可能(表層崩壊、盛土崩壊、等)

強度差の大きいものが混じると2次元では解けない

2014/7/2 平成26年度建設局技術職員研修



### 周縁部強度が相対的にとても強いスベリは解析に注意

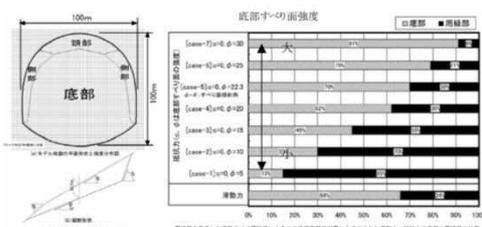
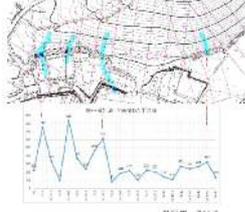


図-9 モデル計算による底部摩擦抵抗力と周縁部摩擦抵抗力の全抵抗力に占める割合  
中川ほか(2005)から引用し加筆。現状安全率を  $F_s = 1.0$  と仮定し、底部せん断強度を変化させた場合の底部摩擦抵抗力と周縁部摩擦抵抗力の全抵抗力に占める割合を示す。底部せん断強度が小さくなるに従って、周縁部摩擦抵抗力が占める割合が顕著に大きくなる。

### (5) 地中音測定



## 地中音測定の様子



湧水箇所の近くで地中音のパワーレベルが大きくなる

ピンポイント対策が可能になる  
(コスト低減に寄与する)

31

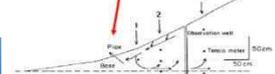
パイプ流に関連して

## 地形はどうやって発達するのか？

- 土は最終劣化物、これ以上劣化しない
- 地中の水は位置エネルギーを使って
- 斜面物質の排出(地中侵食) → 間隙率の増大 → パイプ網の発達 → 地下空間部分の増大(緩みの増大) → 地表の陥没・沈下 → 谷の発達(斜面崩壊)を引き起こす
- 地下水が土の構造を変化させ、それに伴い安定性も変化する



パイプは斜面内の地下水を排出して斜面の安定に寄与する一方、極度に発達すると崩壊につながる危険性も備えている



土壌雨量指数が崩壊予測に適している理由とも関連する



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

32

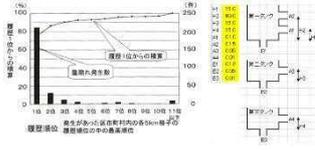
## 土壌雨量指数が良く当たるわけ

(別添)大雨警報・注意報の土壌雨量指数基準値 平成22年5月27日現在

市町村等を 記した地域	市町村等	地域メッシュコード (1km格子対応)	土壌雨量指数	
			注意報	警報
京都・鳥取	京都市	52352967	99	123
高松中央	高松市	50231258	164	243

- その地域の履歴順位第1位～第3位で崩壊発生
- 地形・地質は関係ない

自然の地下水排除工であるパイプ流路(Soil Pipe)のキャパシティは、その箇所の履歴順位第1位の土壌雨量指数に対応する雨に対応している。それを超えると、地下水は被圧水化し、崩壊を起こす。(マンホールの蓋飛びと似ている)



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

33

## マンホール蓋浮上

(斜面崩壊との類似性がある)



参照: 下水道マンホール安全対策の手引(別添)

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

34

マンホールの蓋が飛んだような崩壊事例

## 地下水圧 (2003年九州南部豪雨災害)



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

35

## 岩は水圧で吹き飛ばされている



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

36

# まん丸の崩壊跡(2010年庄原)



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

37

# 瞬時拡大崩壊 (Sudden Spreading)



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

38

# まん丸の崩壊

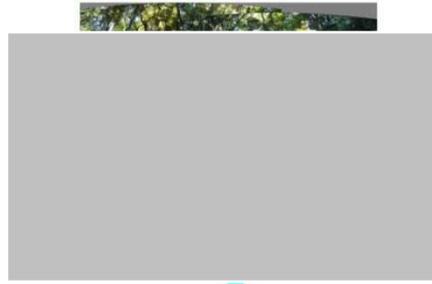


2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

39

# 荒れていない穏やかな谷地形が崩れた



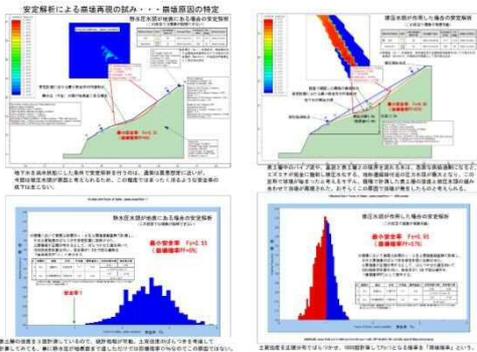
取扱注意

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

40

# 自由水圧では崩壊しない！

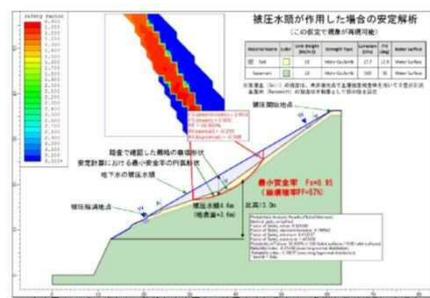


2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

41

# 被圧水圧化



表土層中のパイプ流や、基盤と表土層との境界を流れる水は、急激な供給過剰になると、ミクシテが完全に飽和し被圧水化する。地層透水性付近の圧力水頭が最大となり、この箇所が破壊が起きたと考える。現場で計測した表土層の強度と被圧水頭の幅み合わせて崩壊が再現された。おそらくこの原因で崩壊が発生したものと考えられる。

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

42

## 地下水が吹き出て崩壊が発生



43

## 効果的な対策

マンホールでは  
圧力(水圧・空気圧)を消散するのが基本

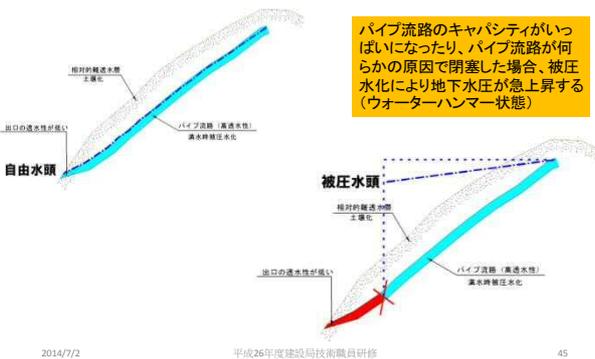


2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

44

## 地中のパイプでは？



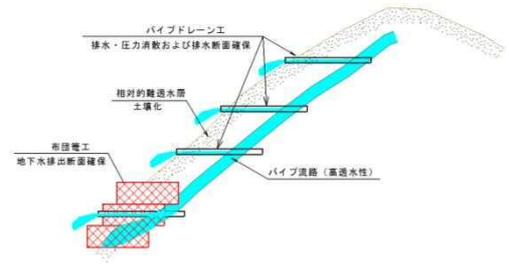
2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

45

## 合理的な対策工とは？

- 「崩壊」を地形形成過程の一つと捉え、地中のウォーターハンマー現象を抑え、その速度を緩和する



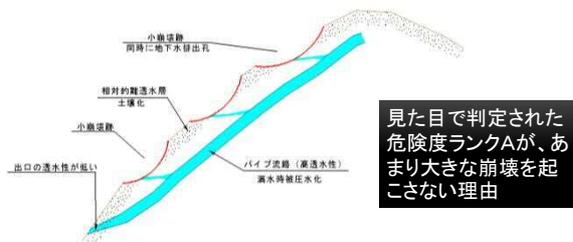
2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

46

## 見た目の悪い、崩壊跡が多い斜面は？

- 自然が自ら地下水排出孔を確保した、とも考えられる
- それが可能なのは、表層土厚が薄い場所→大崩壊ない



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

47

## 堤防の浸透破壊防止対策も同じ



2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

48

## 施工実例 (梅工法; 松竹梅に序列はない)

高速道路切土法面



ブロック積み擁壁



鉄道盛土法面 (S40以降)



施工中の切土法面で明暗

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

49

## 第2章 のり面対策の優先順位

- 路線: どうしても活用しなければならない道路 (行政判断で決めればよい)  
例: 緊急輸送道路、迂回路のない道路
- 対策箇所の選定  
過去の被災箇所; 被災原因が除去されていない場合、「落ち残り」がある場合  
地形・地質条件は、ミクロの話では危険箇所があるだろうが、マクロではあまりない

**リスク「管理」は技術者には難しい**

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

50

### 比高の大きな斜面对策

- 比高の大きな斜面での、履歴順位第1位降雨は「地形を創る雨」
- 履歴順位1位降雨レベルになると、土質強度による抵抗力よりも、地下水圧の急上昇(被圧水化)が支配的である
- 地下水圧の急上昇を回避する装置(水圧消散工)を重要路線には配置するべき
- 水圧は、比高が大きいほど大きくなる
- 崩壊跡が多い斜面は、表層土厚が薄く、水圧が高くなりにくい。むしろ表層土厚が厚く、崩壊跡などあまりない斜面の方が大崩壊を発生させる可能性がある

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

51

### 比高の小さい斜面对策

- 比高が小さい斜面では、極めて大きい水圧が発生しないので、実測値に基づく安定解析で評価可能
- 安全率で序列化するか、破壊確率で序列化するかは、ルール作りの問題
- 破壊確率×想定被害額=その箇所の期待値、で序列化するのが、論理的には一番合理性があるが、、、(安全率の数値に崩壊確率を対応させる便宜的方法もありかも)
- 比高の大小にかかわらず、水圧消散装置が予防になる

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

52

### 今(だけ)、危ない斜面

#### 【地盤強度低下進行中の斜面】

1. 皆伐後、20年以内の幼齢林地帯
2. 雪害・風倒木による根返り地帯
3. 崩壊跡周辺の「落ち残り」部

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

53

### さいごに

- 崩壊=侵食作用=正常な地形形成過程
- 崩壊誘発=履歴第1位降雨を何年もかけて津々浦々に降らせ地形を刻んでいる
- その地域の地形は履歴第1位降雨とバランスしており、地下のパイプ流路網の排水能力を超えるまでは大丈夫
- 人為的な出来事(水路の管理不良等)で、局所的な履歴第1位降雨に匹敵する状況を創らないように!!

2014/7/2

平成26年度建設局技術職員研修

54