

# MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

圧密・浸透(軟弱地盤)分野 5



# MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

圧密・浸透(軟弱地盤)分野

## 5.

降雨浸透に対しての斜面安  
定性評価手法に関する新しい  
考え方

岡山大学 西垣 誠 名誉教授



# 「降雨浸透に対しての斜面安定性 評価手法に関する新しい考え方」

岡山大学 名誉教授

西垣 誠

岡山大学大学院環境生命科学研究科

博士課程 笹井友司

至近年頻発するゲリラ豪雨により、毎年  
のように全国各地で斜面崩壊が発生

【降雨により発生する斜面崩壊の主因】

- ① 降雨浸透による土層重量の増加
- ② 間隙水圧の上昇による有効重量の低下
- ③ 飽和度の上昇による土層の見かけの  
粘着力の低下
- ④ 地下水の浸透水圧の発生によるせん断  
力の増加

## 疑問

- (1)原因は分かっているが、これに対して現状の設計は正しいのか？
- (2)自然斜面は仕方がないと諦めていないか？
- (3)人工斜面でも？

2

## 斜面崩壊に関する解析技術の高度化

- ① 浸透流解析による降雨時の地下水位上昇を考慮した斜面安定性評価
  - ⇒2次元が主であるが3次元の検討事例も有
  - ⇒斜面安定性評価は、簡易的なフェレニウス法等が主流
  - ⇒前頁の斜面崩壊の主因全てを安定性評価に取り入れた研究事例も有
- ② 透水性の低い土層を対象に、間隙空気圧も考慮した3相系解析ツールの開発・適用性の研究事例有

3

## マイダスアイティジャパン社のMIDASでは？

- ① 降雨による斜面崩壊の主因，ならびに地盤の破壊を考慮したすべり安全率の算定が可能かも？
- ② 斜面安定解析法としては，せん断強度低減法(Griffith等，1999)に対応

### 高度解析機能

- ・ 非線形時刻歴解析
- ・ 応力/浸透の完全連成解析  
(Fully coupled stress-seepage)
- ・ 非線形時刻歴解析 + せん断強度低減法の連携解析
- ・ 応力 - 浸透 - 斜面の完全連成解析

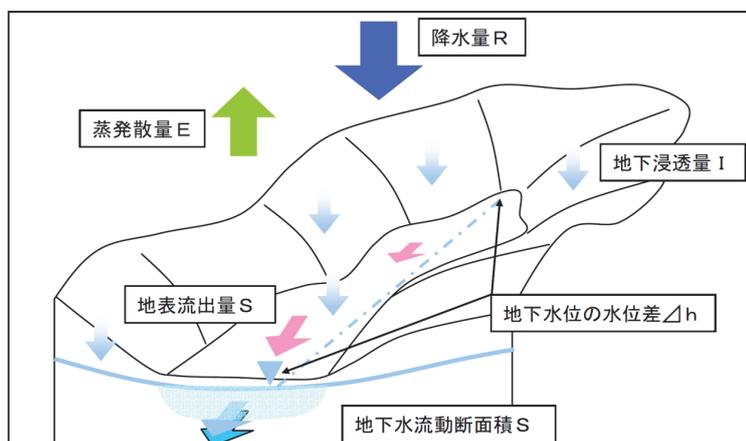
### 実際の条件を考慮した解析条件の設定

- ・ 水位の変動による浸透力自動考慮
- ・ 3次元の地下水面生成機能
- ・ 降雨強度を考慮した浸透解析
- ・ 静的荷重を動的荷重として自動置換
- ・ 動的解析時の水位及び自重考慮

4

## 斜面安定性評価における2次元解析と3次元解析の違い(その1, 浸透問題)

- ・ 谷部には，上流+側方からの地下浸透水が流入するため，谷部の地下水位の上昇は，2次元より3次元の方が早い(保守的)。



(環境省HPより)

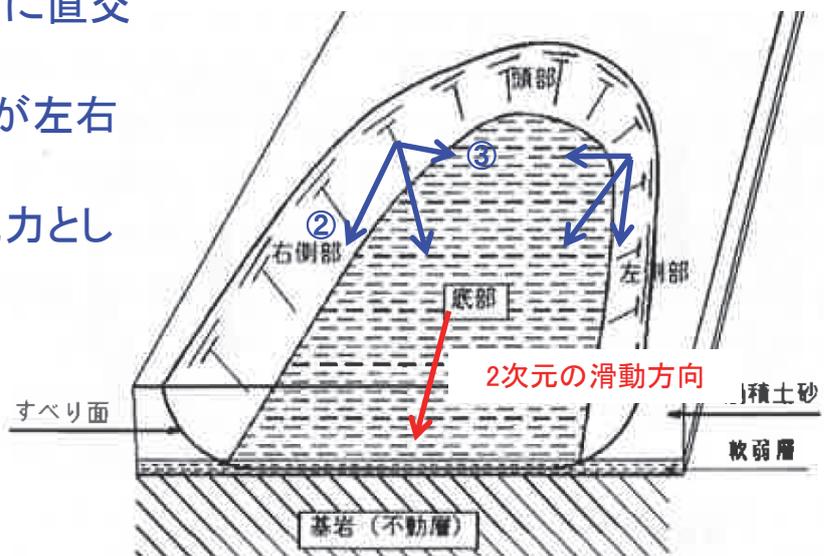
5

## 降雨浸透による斜面安定性評価における 2次元解析と3次元解析の違い(その2, 安定問題)を検討してみよう？

- ・斜面の安定性評価は、**2次元**の方が**3次元**より危険側を考える。

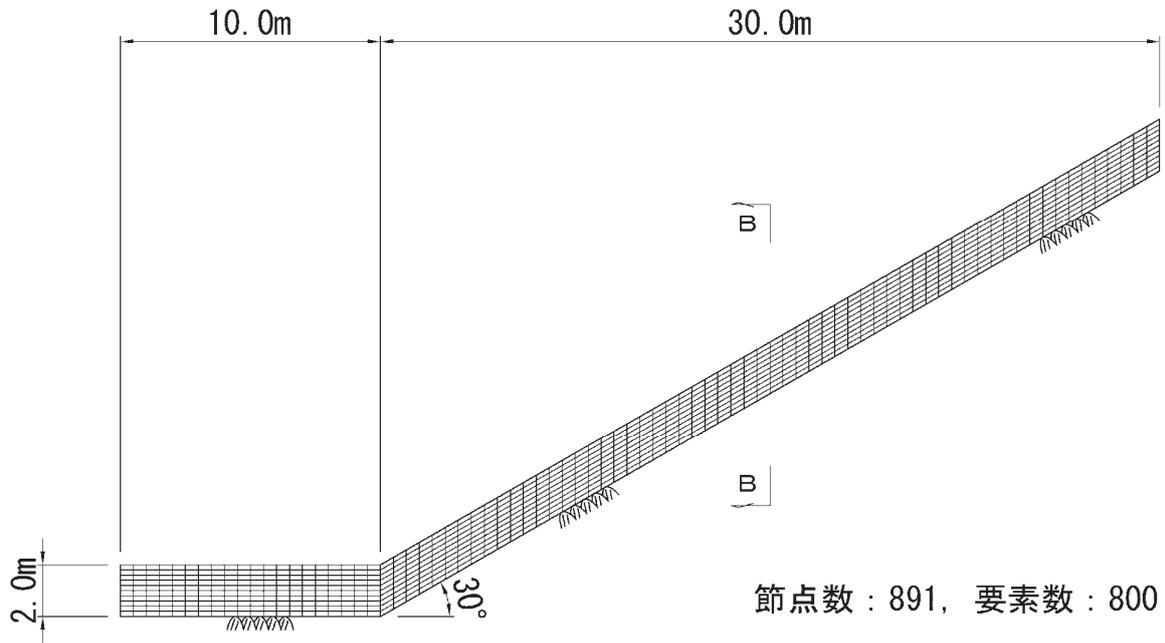
6

- ① 3次元の滑動方向
- ② 2次元と同様の滑動方向  
⇒ ①の分力 となり, 2次元に比べて滑動力が小さくなる。
- ③ 2次元の滑動方向に直交する谷側への分力 ⇒ この分力が左右側部から作用し, すべりに対する抵抗力として寄与する。



7

## 2次元浸透流解析モデルでは？

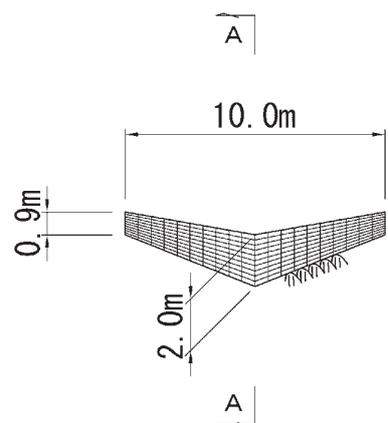
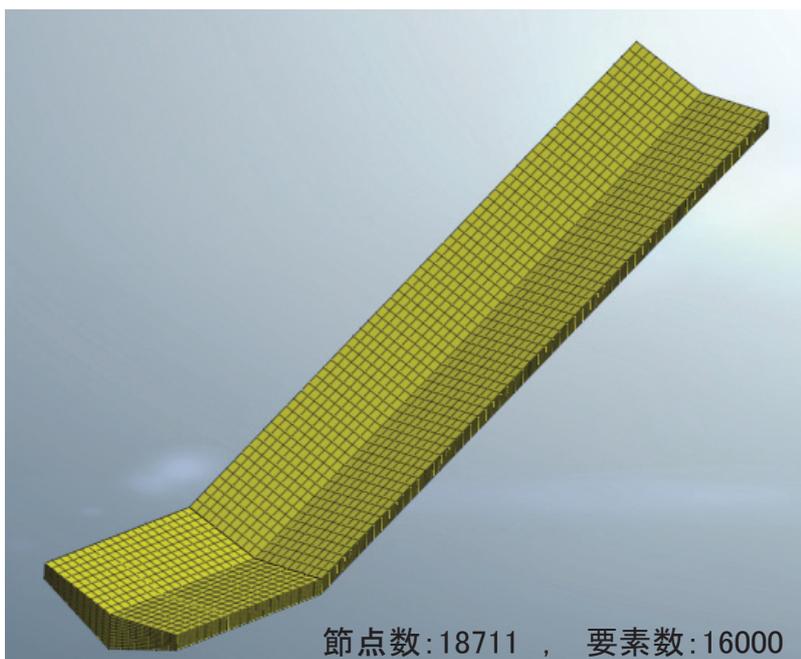


A-A断面

8

## 3次元浸透流解析モデルでは？

2次元モデルとB-B断面を組み合わせた谷地形モデル



節点数：231

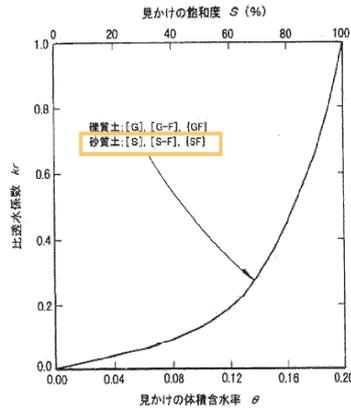
要素数：200

B-B断面

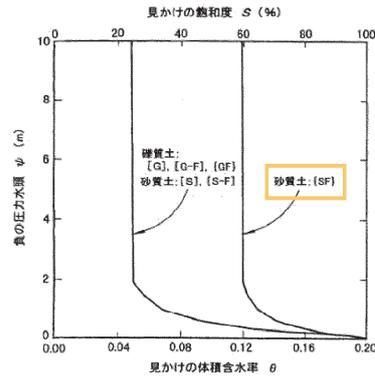
9

## 解析条件(浸透流解析)

- ① 飽和透水係数: 18mm/hr ( $5 \times 10^{-4}$ cm/s)
- ② 降雨条件: 10mm/hrを地表面全域に考慮
- ③ 不飽和特性



【体積含水率  $\theta$  - 比透水係数  $k_r$  の関係】



【体積含水率  $\theta$  - 負の圧力水頭  $\phi$  の関係】

※出典: 『河川堤防の構造検討の手引き (改訂版), (財)国土技術研究センター, H24.2』

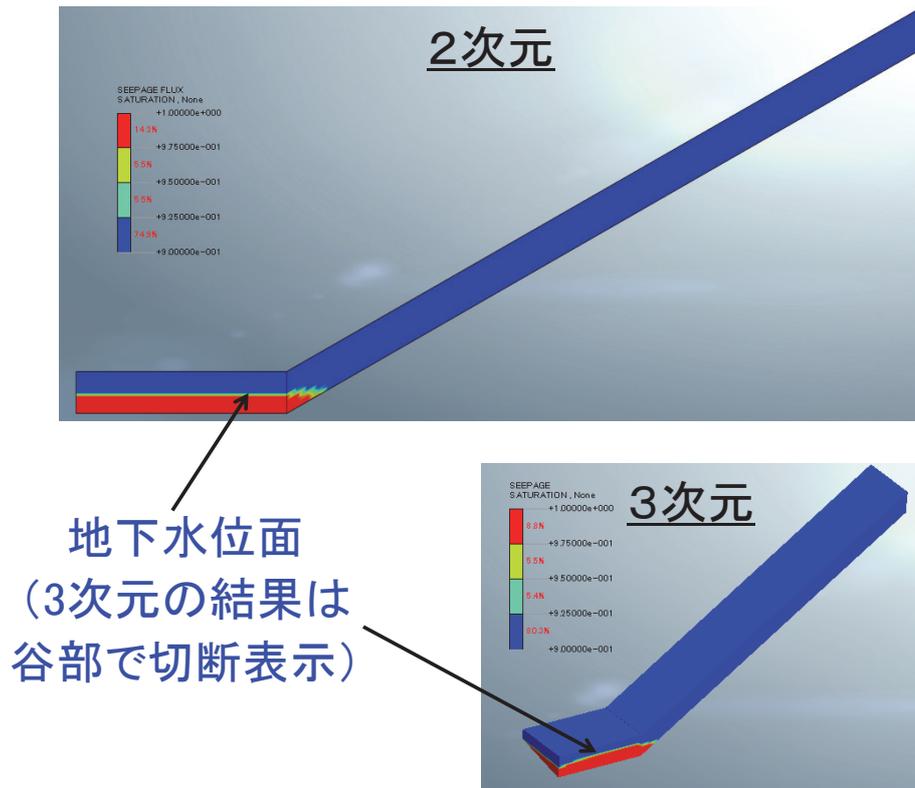
10

## 解析条件(応力解析)

- ① 単位体積重量  
(湿潤)  $18\text{kN/m}^3$  , (飽和)  $20\text{kN/m}^3$
- ② 強度特性 (H11.6.29広島災害1崩壊地の値)  
内部摩擦角  $\phi : 28^\circ$  , 粘着力  $C : 3\text{kN/m}^2$   
(降雨浸透を考慮した斜面崩壊の3次元評価, 第36回地盤工学研究発表会, 2001.6より)
- ③ 変形特性  
弾性係数:  $50,000\text{kN/m}^2$  , ポアソン比:  $1/3$

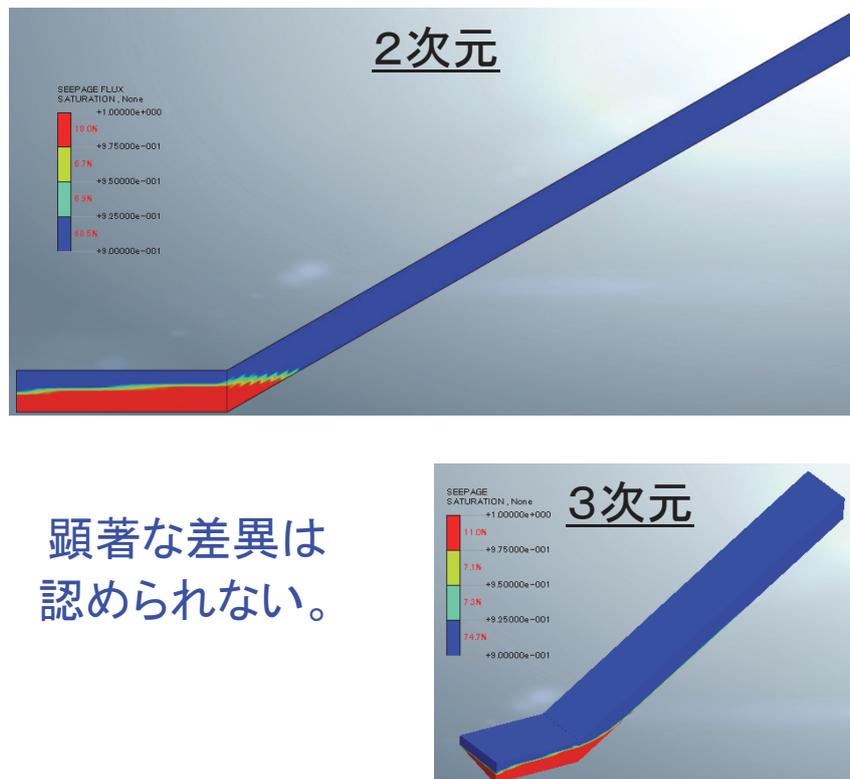
11

## 定常解析結果【浸透流解析(飽和度分布)】



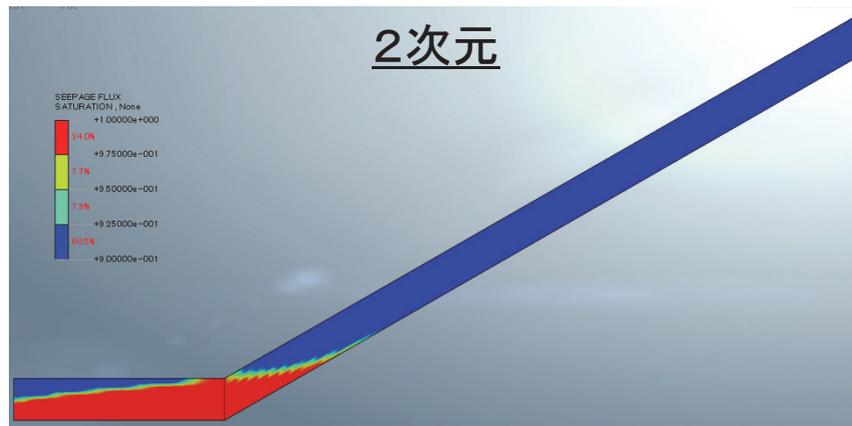
12

## 非定常解析結果【浸透流解析(飽和度分布), 降雨開始2hr後】

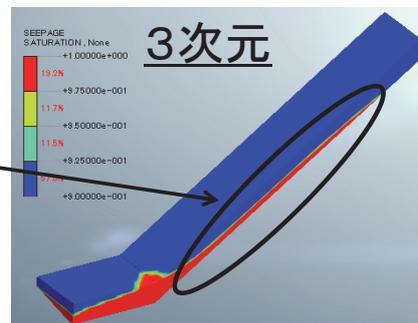


13

## 非定常解析結果【浸透流解析(飽和度分布), 降雨開始4hr後】

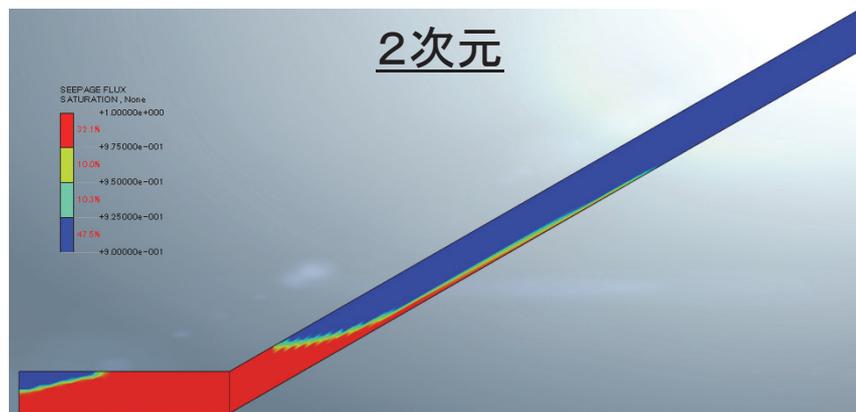


法尻付近に顕著な差異は認められないが、3次元は上流域に向け地下水位面が形成されている。

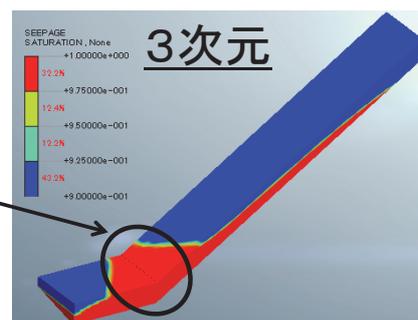


14

## 非定常解析結果【浸透流解析(飽和度分布), 降雨開始6hr後】

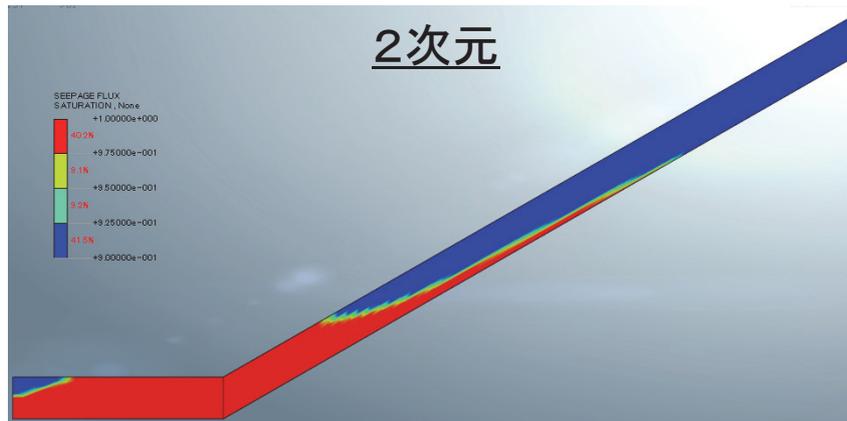


3次元の法尻付近では、横断方向へ浸潤面が拡大

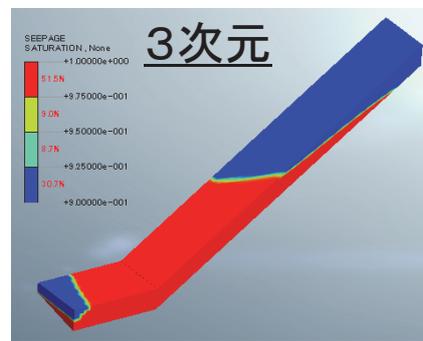


15

非定常解析結果【浸透流解析(飽和度分布), 降雨開始8hr後】

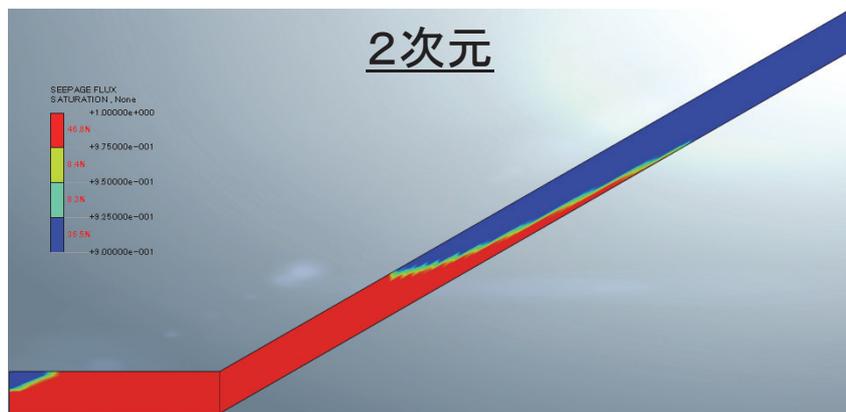


上流域への飽和領域の進展速度に顕著な差が認められる(3次元の方が早い)。

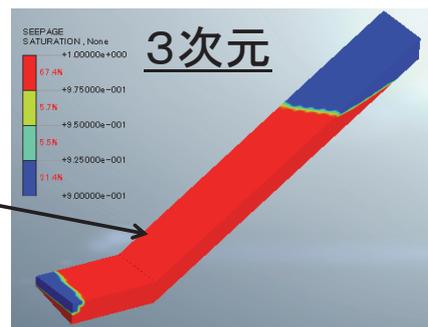


16

非定常解析結果【浸透流解析(飽和度分布), 降雨開始10hr後】



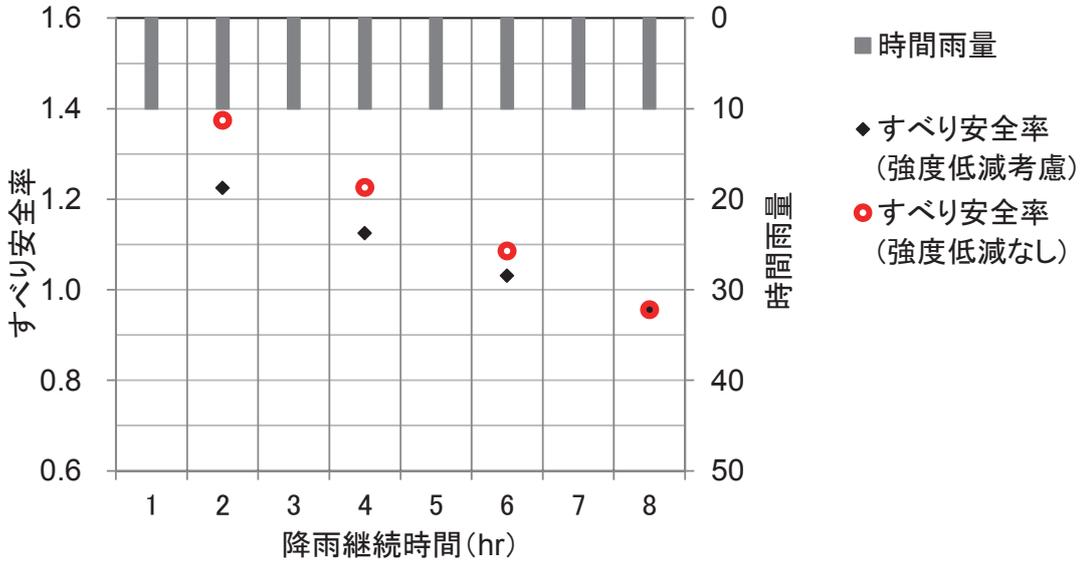
100mm(10mm/hr × 10hr)の降雨量で斜面全体がほぼ完全飽和状態



17

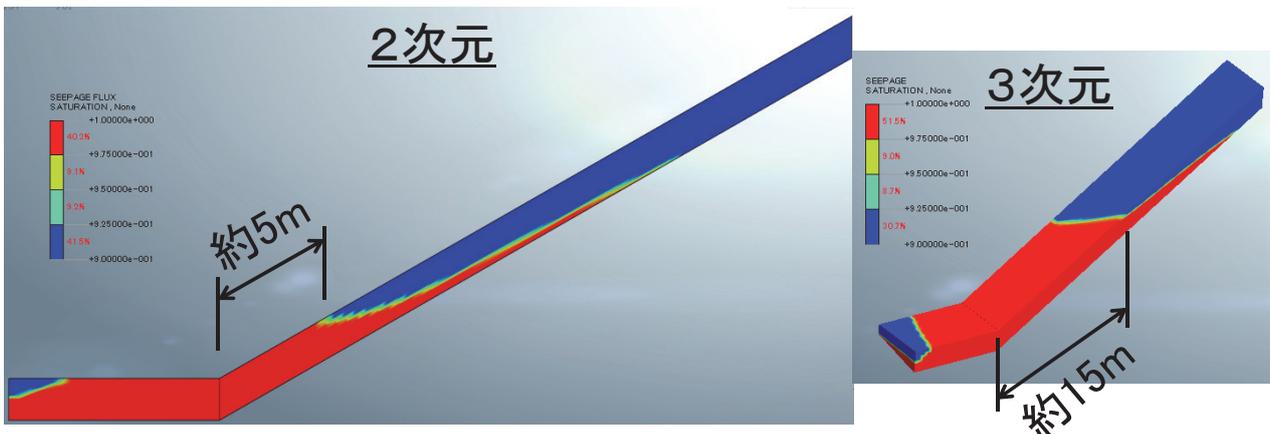
## 非定常解析結果【2次元応力－浸透－斜面連成】

- ① すべり安全率は、降雨開始7～8時間後に1.0を下回る(崩壊する)。



18

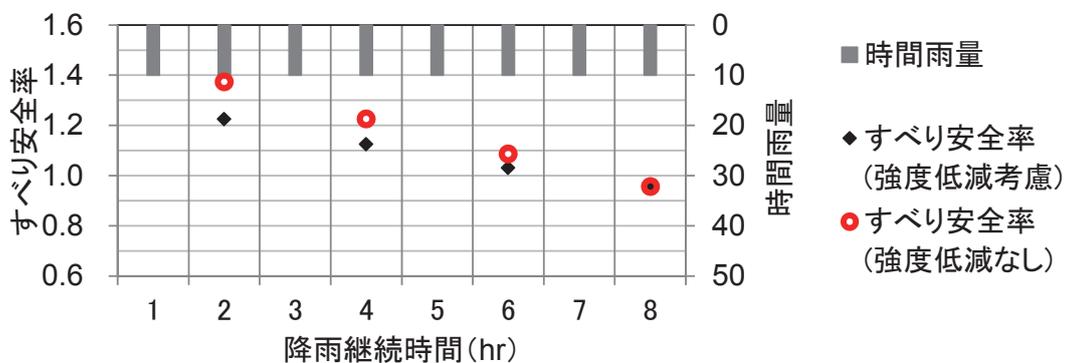
- ② この時、地表面まで飽和した領域は、2次元では法尻から上流域へ5m程度である。  
 一方、3次元では約15m(3倍)に達している。  
2次元では、斜面内完全飽和を仮定しては？



19

③ 降雨開始2時間後は，強度低減の有無によりすべり安全率が10%程度異なるが，時間の経過とともに差異は小さくなり，すべり安全率が1.0を下回る時刻では概ね一致。

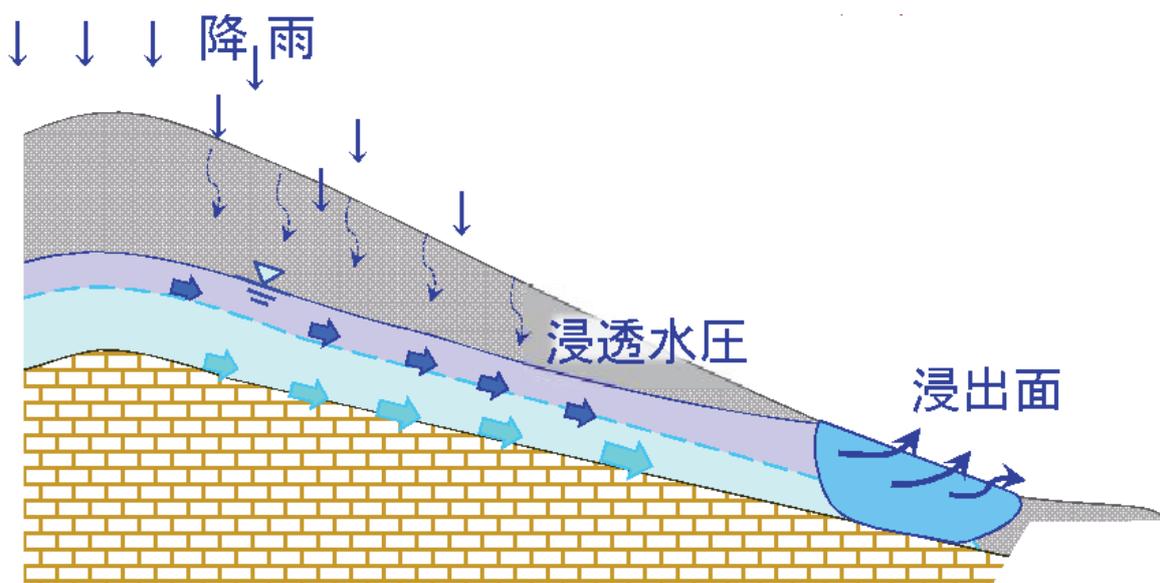
崩壊予測において，強度低減の影響は間隙水圧（浸透水圧）に比べて小さい。



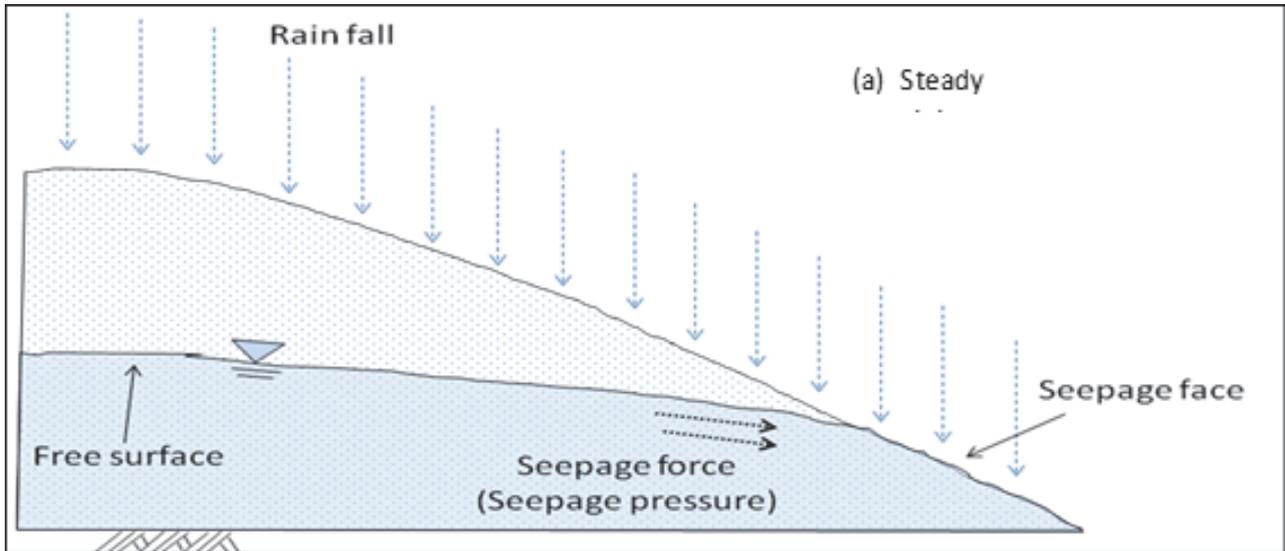
20

降雨が浸透すると浸透水圧が発生

⇒ 法尻には斜面外向きの浸透水圧が作用

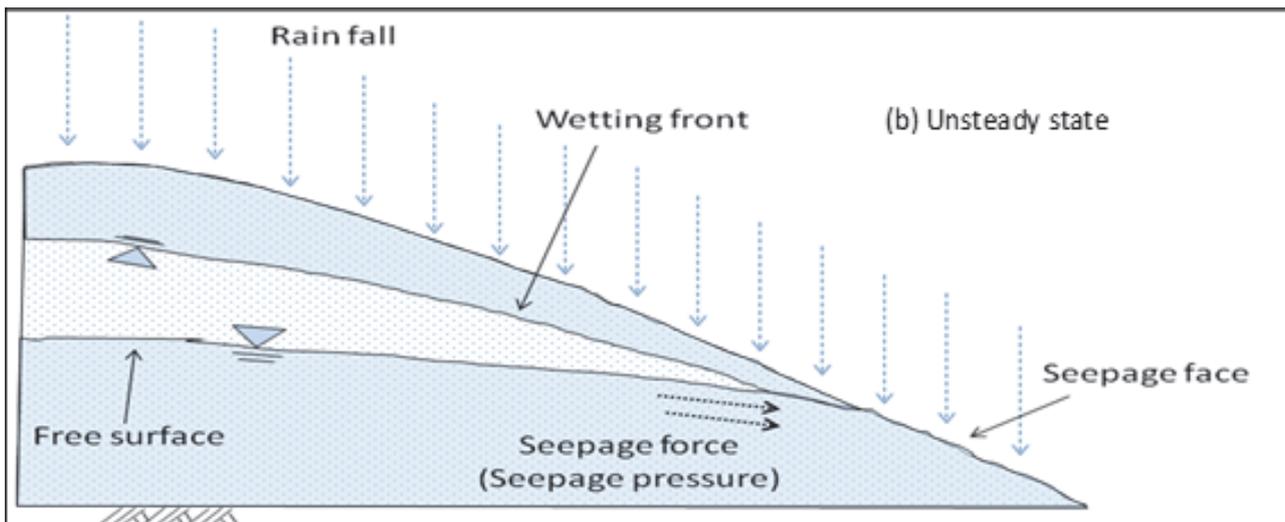


21



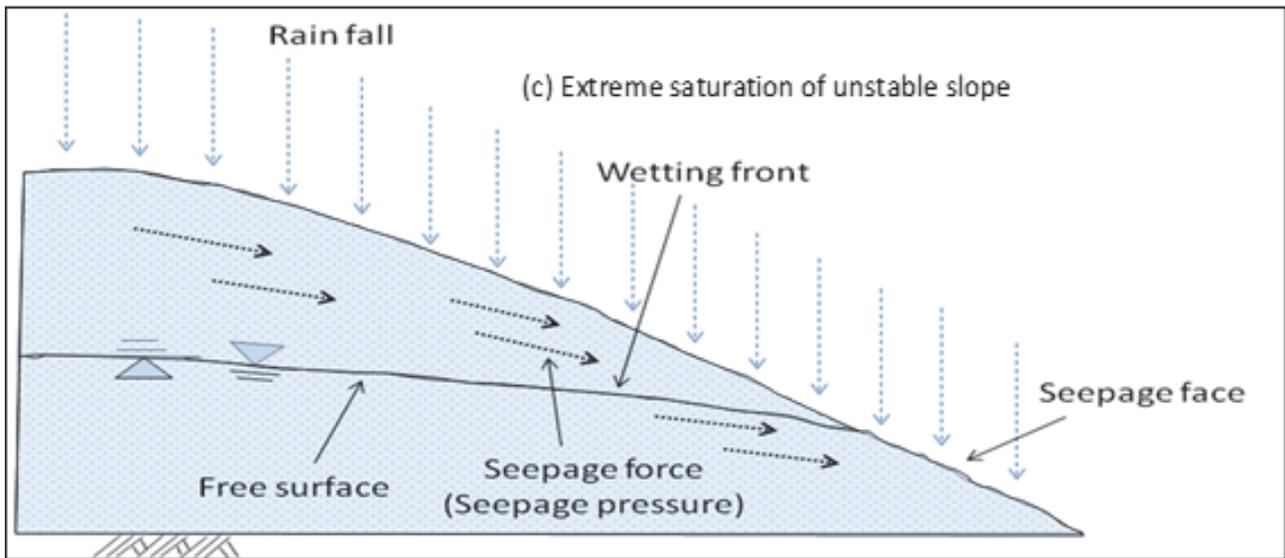
降雨の斜面への浸透 (1)

22



降雨の斜面への浸透 (2)

23



降雨の斜面への浸透 (3)

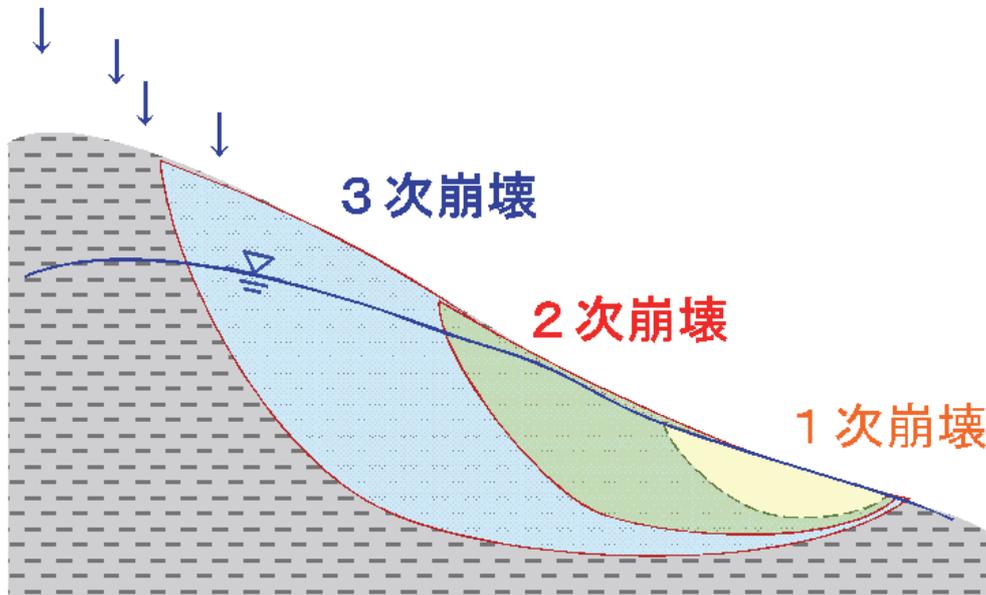
24

## 豪雨時の斜面安定の検討

- (1) 斜面内はすべて飽和と考える
- (2) 鉛直浸透が水平方向に急に変化して下流方向に大きな浸透水圧が発生する
- (3) 力学特性も飽和状態の物性で検討する

25

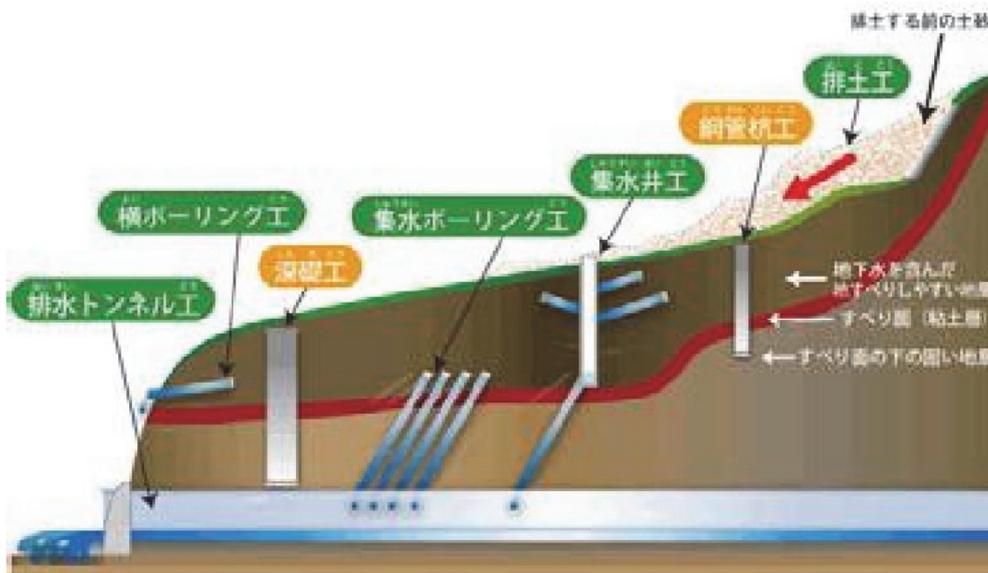
## 解析結果：法尻から上流域に向けて飽和が進展(進行性の斜面崩壊を示唆)



1次崩壊の主因は浸透水圧によるパイピング

26

## 降雨浸透による斜面崩壊を防ぐには？



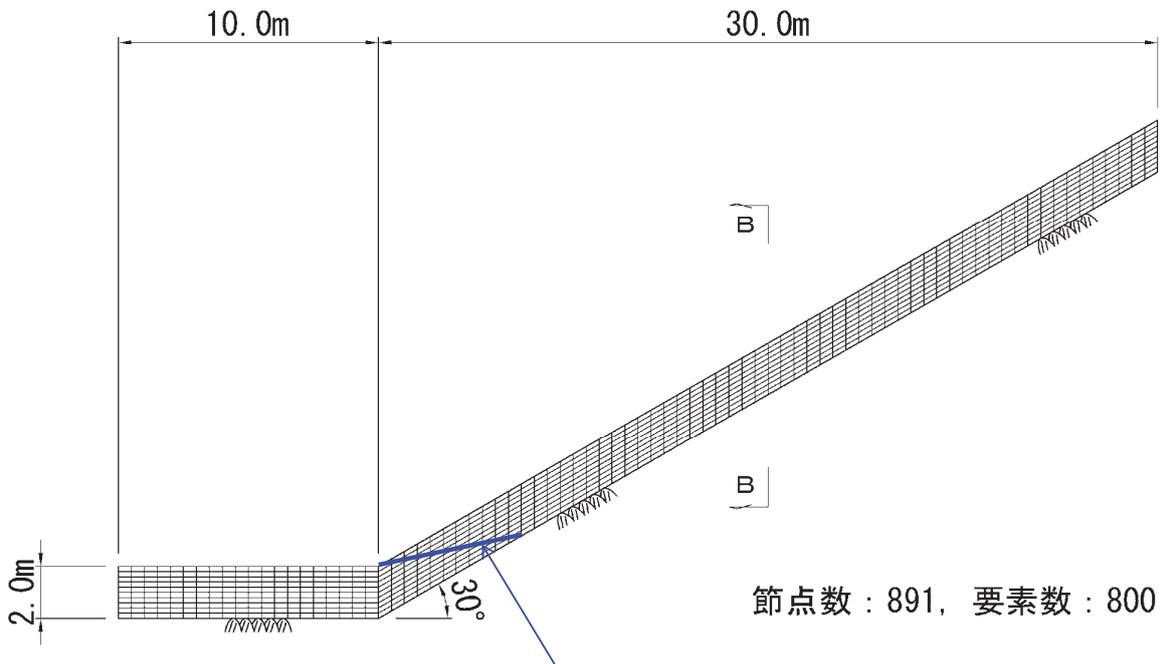
斜面内に排水工を設置する。

(国交省大和川河川事務所HPより)

⇒排水状況(目詰まりの有無)の監視が必須

27

## 排水工の効果検討(2次元)

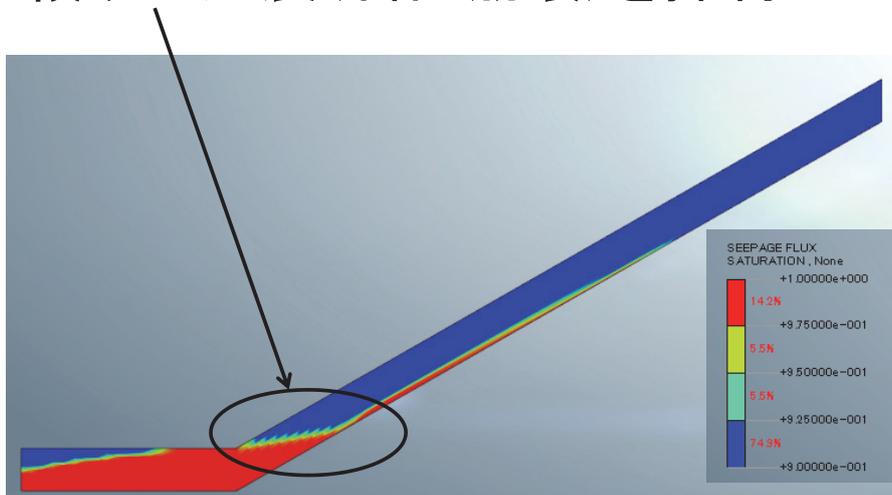


法尻に排水工設置を仮定し、2次元モデルの排水工沿いの節点を圧力水頭(ゼロ)固定

28

## 排水工の効果検討(2次元)

排水工なしのモデルですべり安全率が1.0を下回った降雨開始8時間後も、上流域への飽和領域の進展(斜面崩壊)を抑制



29

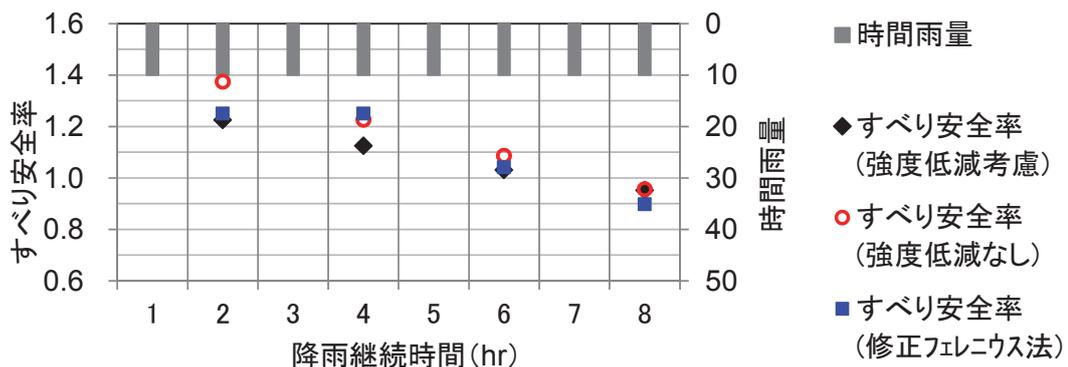
## 疑問

- ① 果たしてFEM解析や3次元解析のように、モデル化や解析に多大な労力と時間を要する高度な解析手法は精度が高いのか？
- ② 安価な手法で合理的に評価できないか？
- ③ 設計安全率の割り増しで対応できないか？

30

## 簡易法(2次元修正フェニウス)による評価

- ① すべり安全率が1.0を下回る(崩壊する)時刻は、応力連成や強度低減を考慮した場合と同様、降雨開始7~8時間後となる。
- ② 簡易法による降雨開始8時間後のすべり安全率は0.90で、斜面内完全飽和の場合0.81



31

## 今回の解析を通じた新しい考え方の提案

- ① 2次元と3次元の浸透流解析結果より，解析は実施せずに斜面内は完全飽和と考える。  
⇒ 浸透問題はゲリラ豪雨等を踏まえ，  
保守的な3次元の評価を採用
- ② 斜面の安定性は，これまでに広く適用されてきた簡易的な2次元フェニウス法等で評価する。  
⇒ 安定問題は保守的・簡易的な2次元評価手法を採用

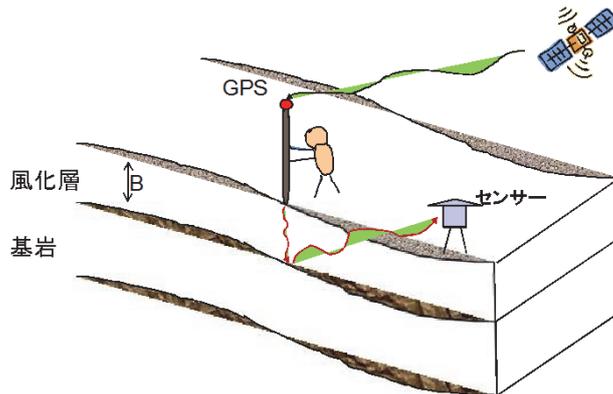
32

- ③ この考え方による今回の検討結果は，見かけの粘着力の低下や浸透水圧の作用によるすべり安全率の低下を評価できている。  
⇒ ただし，崩壊地の傾斜角，土層厚，透水性，地盤強度等の違いによる評価が必要  
⇒ 各種条件による検討の結果，今回提案手法が危険側の評価結果になる場合には設計安全率の割り増しで考慮しては？

33

## 斜面崩壊予測の高度化に向けた課題等

- ① 地形だけではなく、層厚や風化の進展を把握・計測する技術の開発



簡易物理探査(弾性波)とGPSによるマサ土斜面の層厚分布調査

34

- ② 地盤物性値の簡易的な評価方法や推定方法の確立
- ③ 斜面内の間隙水圧，空気圧のモニタリング技術
- ④ 目指すは，斜面の豪雨時のハザードマップ化
- ⑤ 崩壊地の傾斜角，土層厚，透水性，地盤強度等に応じた排水工規模の設計基準化 ⇒ これにより，斜面の安定性評価が不要となるのでは？

35

## 次に何をすべきか？

- (1) 降雨浸透と力学のカップリング解析だけで、現場計測結果を再現できるのか？
- (2) 降雨が浸透する場合は、地盤内の間隙空気が降雨の浸透を防いでいる。
- (3) したがって、現場の計測結果から斜面崩壊は予測できない。
- (4) 斜面安定の設計では、現状では解析が困難な2相流の間隙空気の影響を無視して安全の評価をしてもいいのではと思う。

36

## しかし、これからこんな事がしたい

- (1) 今年の9月に3次元の二相流の浸透解析ソフトを公開したい。
- (2) 地表流と地下水との関係を考慮した3次元の数値解析を来年には公開したい。
- (3) 降雨浸透による間隙水圧の変化を現地で計測する方法を一般的にする。当然、間隙空気圧を計測したい。
- (4) 降雨の予測が可能になっている今日(ゲリラ豪雨の予測はまだ無理だが)、降雨に対応した避難勧告を出すシステムを構築したい。

37

- (5) 各降雨に対応した斜面安定の評価をリアルタイムで解析できるだけの数値解析システムが欲しい。
- (6) それが無理なら、世界中の過去の降雨パターンを用いて、事前にすべての条件で、すべての斜面の降雨に対する安定解析を実施しておく。  
現状の降雨の将来予測から、これから斜面がどうなるかをパターン判断して、住民に警告を発するように出来ないか？

38

御清聴  
ありがとうございました

39

圧密・浸透(軟弱地盤)分野

MIDAS CONSTRUCTION  
TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION



株式会社マイダスイテジヤパン

〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F

TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail [g.support@midasit.com](mailto:g.support@midasit.com) | URL <http://jp.midasuser.com/geotech>

Copyright © Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.