

中国地質調査業協会 第23回技術講演会 特別講演
2015年6月19日

「安全・安心を支える地盤技術」

—地質調査・地下水調査をしなければ分らないこと—
—原位置における地下水の浸透特性調査とその応用—
—風化残積土地域の土砂災害について何を成すべきか—

岡山大学大学院 環境生命科学研究科
教授(特任) 西垣 誠

1. はじめに

- (a) 異常気象の中での土砂災害
- (b) 地震の活動期での土砂災害
- (c) 少子高齢化社会での土砂災害
- (d) 経済のマイナス時代での土砂災害

1

2. 異常気象における土砂災害

日本における最大降水量

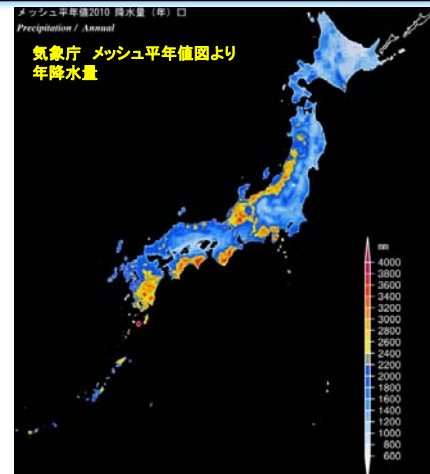
- 1日: **851 mm** 2011年7月 高知県・魚梁瀬 (年4107mm)
1時間: **153 mm** 1999年10月 千葉県・香取 (年1617mm)
1982年7月 長崎県・長浦岳 (年4107mm)
10分: **50 mm** 2011年7月 新潟県・室谷 (年3247mm)

岡山の年間降水量 1105 mm(1981-2010年)

過去のデータに頼れるか？

(気象庁「過去の気象データ検索」より。小数点以下切り捨ての値を表示。)

2



3

防災 ➡ 減災 ➡ 避災

- 災害から住民を守る
- 行政の大切な仕事
- 豪雨データからの避難通達
- 避難通達の遅れ、判断ミスからの行政の非難？
- 避難は本当に大丈夫なのか？
- 大丈夫な避難行動とは何か？

4

3. ソフト対策

- 異常気象に対して
ソフトでの対策 ← 10数年前の広島での
大災害に対しての対策
として
- 豪雨データと過去の地区毎の災害履歴を
参考にして、避難勧告を段階的に発信する。

5

避難による被災対策 安全な避難場所の確保

- (1) 豪雨の中の避難
- (2) 豪雨の中で避難ルートは大丈夫か
- (3) 真夜中の避難は可能か
- (4) 街灯は？
- (5) 小川が氾濫していないか

6

4. これから何をすべきか

- (1) 本当にソフトだけでいいのか？
- (2) 地盤工学者はこの10年間
何をしてきたのか
- (3) 気象分野は格段に進歩している

7



Newton
2014年6月号

天気予報の科学
GPM
GMI

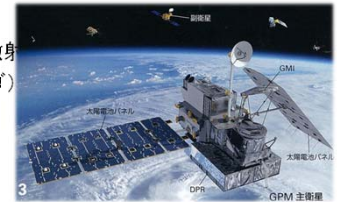
8

全球降水観測計画(GPM)

全世界の降水を監視する計画
Global Precipitation Measurement
NASA, JAXA, その他国際機関による共同ミッション

GPM主衛星 (JAXAとNASAの共同開発)

GMI (GPMマイクロ波放射計)
DPR (二周波降水レーダ)

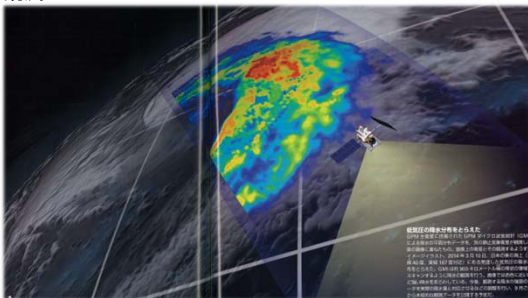


Newton 2014年4月号 pp.17

9

GPM主衛星からのデータ

GMI (GPMマイクロ波放射計) 広域の降水の平面分布を観測

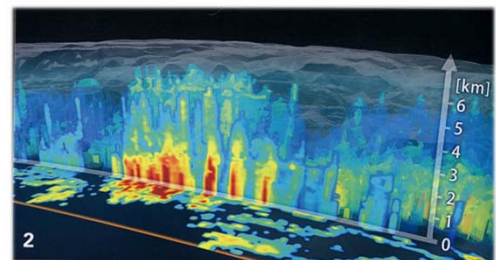


Newton 2014年4月号 pp.16

10

GPM主衛星のみに搭載

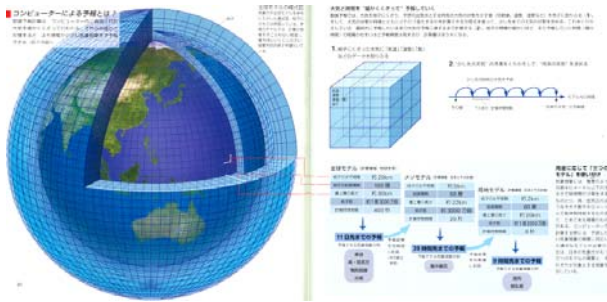
DPR (二周波降水レーダ) 立体的な降水を観測



Newton 2014年4月号 pp.16

11

コンピュータによる予報



Newton 2014年4月号 pp.40-

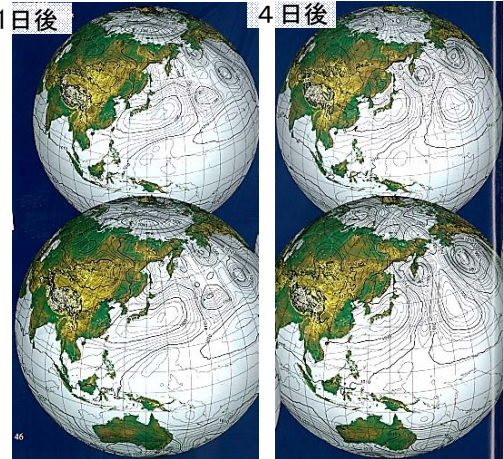
12

1日後

4日後

実際の天気

数値予測

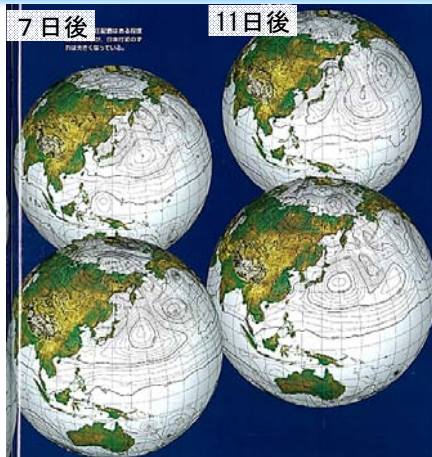


Newton 2014年4月号 pp.46-

13

実際の天気

数値予測



Newton 2014年4月号 pp.46-

14

1日後の降雨データが予測できれば、
避難勧告には、十分 !?

台風でも2日程度



気象学・天気予報の分野では、
「下駄予報」から
ずいぶん進歩している



15

数時間先の気象変動を
ある程度の予測することが
可能となっている

16

(4) 地盤工学者はこの分野に対して
何か新しい進歩があったのか

- ① ドローンによる災害現場の詳細調査技術の進歩
- ② 3次元のレーザー計測(地形の計測)
- ③ 地盤に加速度計を設定して、地盤の動きの感知システムの開発
- ④ 不飽和地盤の浸透特性の試験法の確立
- ⑤ 不飽和地盤を対象とした原位置における現場飽和状態での透水係数の計測法の確立?
- ⑥ 不飽和土の力学特性の試験方法の確立

17

5. 地盤工学の研究者はこれから何をすべきか

(a) 早急にすべき課題

- ① 広島で、今年再び豪雨がきても大丈夫か？
- ② 今すぐに芸予地震や南海地震が起こっても大丈夫か？
- ③ 広島市が計画している土砂災害対策で本当に大丈夫なのか？

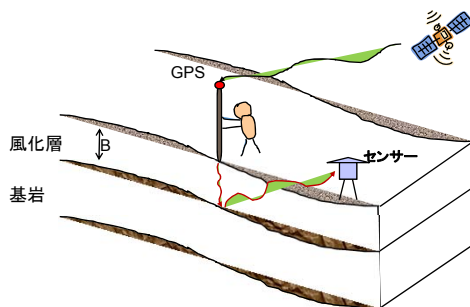
18

(b) これからやるべき調査・試験での課題

- ① 平野の地震時や洪水時のハザードマップができている。斜面の地震時や豪雨時のハザードマップの確立(?)
- ② 個々の住宅地の豪雨時や地震時での安全度の診断手法の確立
- ③ マサ土のような風化残積土の分布状況の調査法に関する研究の確立、物理探査の高度化

19

夢



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

20

- ④ 風化残積土の不攪乱供試体(?)のサンプリング技術の確立(?)
- ⑤ 風化残積土の原位置での透水試験法の確立
- ⑥ 風化残積土の原位置での力学特性の試験法の確立(?)
- ⑦ 浸透水圧を考慮した斜面安定解析手法の確立

21

斜面の診断

(1) 地図の上からの診断

測量学、地形学

(2) 斜面の内部の診断

地質学 . . . 地層構成を知る。

22

原位置での透水試験法の現状

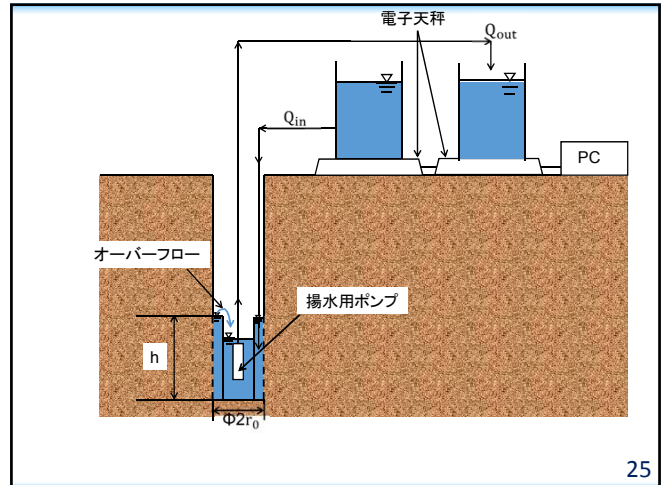
- (1) 土木学会、地盤工学会では規定された透水試験法がない。
- (2) 基準化された透水試験法のない現状で、その時々での自由な方法で求めた透水試験結果を用いて、斜面の安定評価をしているのか？

23

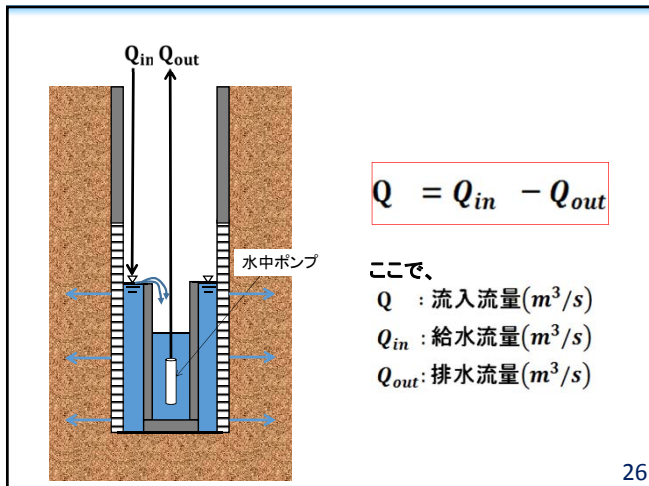
基本理念

原位置でも
できるだけ飽和に近い透水係数
を求めて、
それを設計に用いる！

24



25



26



27

孔内洗浄前後の孔壁の様子



28

今後の課題

- (1) CO_2 を注入することによって本当に試験区間は飽和になっているのか？



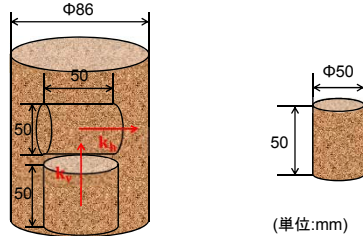
- (a) 試験区間の試験中の飽和度を誘電率で計算する。
 (b) 原位置からサンプリングした供試体の水平方向の飽和透水係数を室内試験より求めて確認する。

- (2) 不飽和状態での試験孔の孔壁の乱れの影響

29

計測値の妥当性の確認

現地からサンプリングした試料から水平方向に下の図の様に供試体を作成して室内透水試験をする。



(1) サンプル試料

(2) 水平方向の透水試験の供試体

(単位:mm)

30

降雨浸透により

(1) 不飽和土の力学特性が変化する

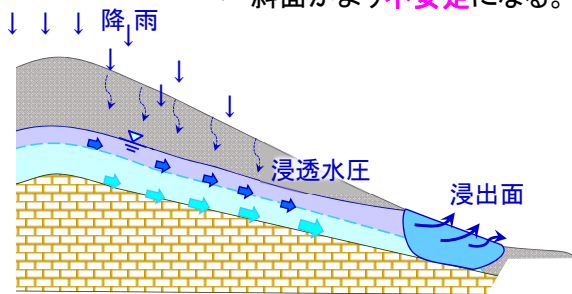
(2) 不飽和土のせん断特性の変化

土の粘着力 $\Leftrightarrow$ 飽和度との関係

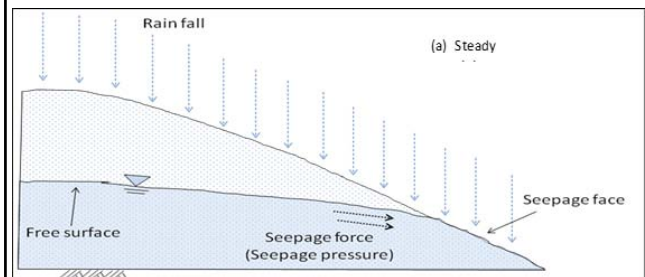
31

降雨が浸透すると、**浸透水圧**が発生する。

→ 斜面がより**不安定**になる。

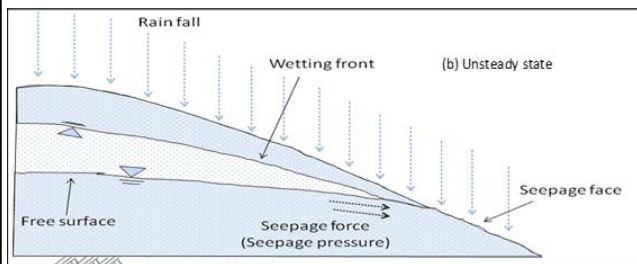


32



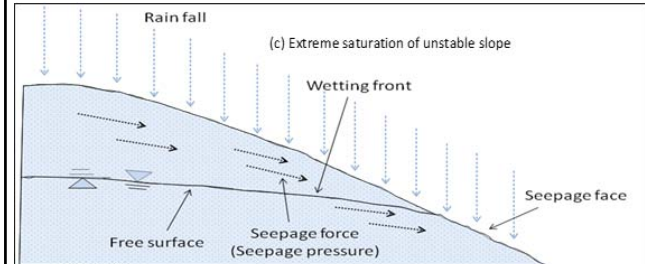
降雨の斜面への浸透 (1)

33



降雨の斜面への浸透 (2)

34



降雨の斜面への浸透 (3)

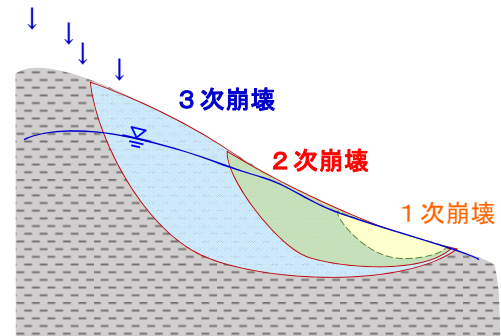
35

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

36

進行性破壊



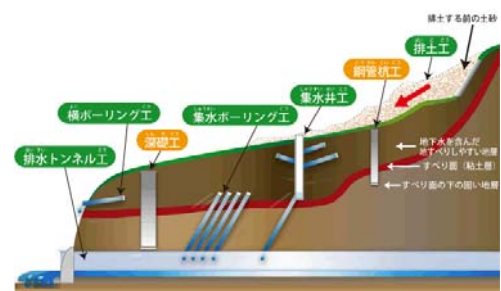
37

(c) 土砂災害に対する対策に関する課題

- ① 砂防ダムによる対策で本当に十分かの検討
- ② 土砂災害の多い斜面に対しての排水工法の有効性に関する検討
- ③ 奈良の亀の瀬の地すべり対策の有効性の検討
- ④ 長野の善光寺の地附山の地すべり対策の有効性の検討
- ⑤ 広島の前田山の道路トンネルによる排水工法の有効性の検討

38

降雨浸透による斜面崩壊を防ぐには？



斜面内に排水管を設置する。

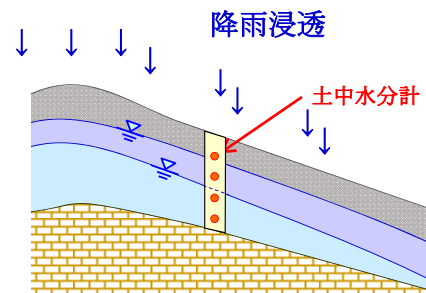
(国交省大和川河川事務所HPより)

39

(d) 新しい避難勧告に対する検討課題

- ① 気象の進歩に追従した土砂災害のためのモニタリング技術の確立
 - (i) 斜面内の間隙水圧、空気圧のモニタリング技術
 - (ii) 斜面内の土砂の飽和度の計測技術
TDR, ADR, RDR等の適用性
 - (iii) 斜面内の風化度の進行状況の計測技術

40



41

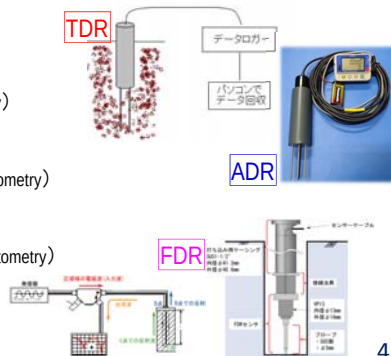
深さ方向の各点の 土の水分量変化の計測方法

誘電率で測る

TDR
(Time Domain Reflectometry)

ADR
(Amplitude Domain Reflectometry)

FDR
(Frequency Domain Reflectometry)



42

- ② 気象状況と地盤内状況からの避難勧告法の確立
- ③ 宇宙からの斜面状況のモニタリング手法の確立
- ④ 避難場所の安全性の判定基準
- ⑤ 地域の「**お助け合いチーム**」の組織化

43

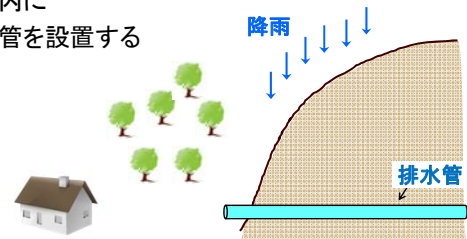
(e) 新しいハードによる防災技術の検討

- ① 風化が進行した土砂の**排水システム**の検討
 - (i) 風化土へのセメント注入を用いた**排水層の施工**技術開発
 - (ii) 広域の排水のための**集中井戸**の有効性の検討
 - (iii) ラジアルウエル(**満州井戸**)の効率化の向上手法の検討
 - (iv) 安価な**排水トンネル**の施工技術開発
 - (v) 排水施設の常時の有効利用の吟味
(良質の地下水が得られれば、その有効利用等)
 - (vi) 排水施設の見詰まり対策に関する研究

44

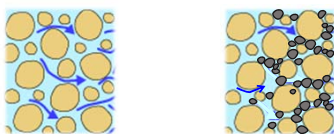
降雨浸透による 斜面崩壊を防ぐには？

斜面内に
排水管を設置する



45

排水管、地盤に、
目詰まりが生じる。



目詰まり度を測るセンサー!?

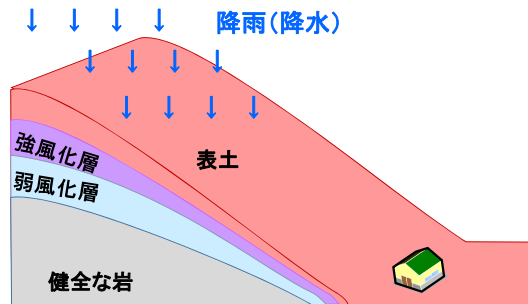
46

② 基岩-弱風化層-強風化層の 分布を計測する技術開発

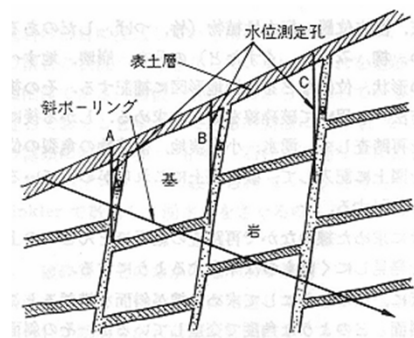
- (i) 弱風化層の透水性の調査と連続性の調査法
- (ii) 強風化層の透水性の分布の調査

47

斜面の内部の診断



48



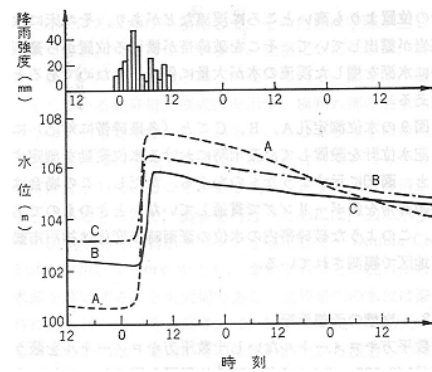
花崗岩中の破碎帯

49

深層崩壊:風化層だけではなく基岩の崩壊

豪雨浸透
↓
亀裂性岩盤内の亀裂中の
水圧の上昇
↓
豪雨浸透の助長
↓
亀裂幅の拡大
↓
崩壊

50

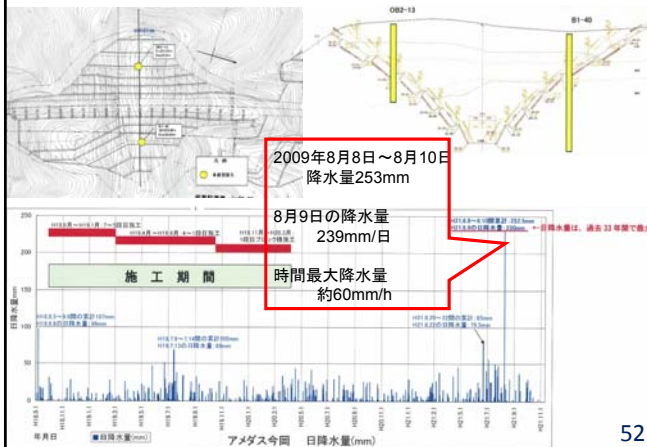


豪雨による破砕帯内水位の上昇

「集中豪雨による斜面崩壊の本質的検討」田中茂
(施工技術第5巻第11号pp.14-21)

51

変状を起こしたのり面と降雨状況



52

変状の分布



53

原因の推定

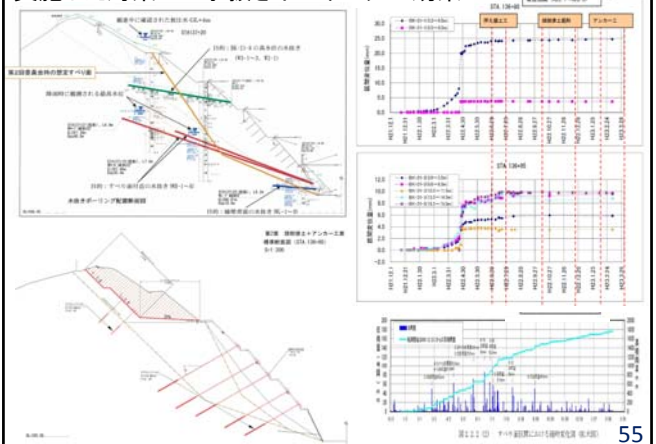
- (1) 地質的素因
- ◆ 破砕帯・亀裂密集部の不規則な分布、不均質な地山
 - ◆ 緩み易い岩盤特性
 - ◆ 低角度流れ盤の破砕帯(緑泥石化帯等)の存在
 - ◆ 緑泥石化帯、鏡肌
- (2) 誘因
- ◆ のり面掘削に伴う緩み域の形成・拡大
 - ◆ 2009(H21)年8月9日の異常降雨(日降水量230mm、時間最大59mm)

メカニズム



54

実施した対策工と水抜きボーリングの効果



55



56



57



58

教訓

岩盤切土斜面には、ほとんど排水工が設計に入っていない。

しかし、亀裂性岩盤内に非常に高い水圧が発生して、それが岩盤のり面を変状させることがある。

だから、岩盤斜面であれ、湧水に対する排水対策をきっちりやっていく必要がある。

59

③ 基岩の断層破碎帯の分布の調査

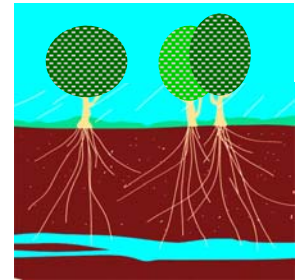
- (i) 地表の植生から判断する確実性の評価
- (ii) 破碎帯の挙動による地上の植生変化の調査
- (iii) 広域植生の経時的な変化から、
地山の変動を調査する方法の可能性の検討
- (iv) 広域の地山の隆起の調査法

60

バイオセンサー

木の根は、
水のないところに
伸ばさない

木の根の先端の
センサーがあれば、
水分量がわかる!?



生物細胞センサー

味のセンサー

音のセンサー

61

④ 風化が進行した土砂の安定化技術の確立

- (i) 従来の安定化工法の再検討
- (ii) 不安定な風土残積土の固化技術開発
- (iii) 極超微粒子セメントの注入による固化技術の
有効性の検討
- (iv) 不飽和地盤に対しての薬液注入による安定化
工法
- (v) 地盤内注入による透水性の改善率の評価手法
の検討
- (vi) 地盤内注入による排水層と難透水層形成技術
の確立

62

(f) 人工的な対策技術の耐久年数の検討

- ① グランドアンカーの耐久性？
- ② 擁壁の耐久性？
- ③ モルタル吹き付け工法の耐久性？

63

6. おわりに

- (1) 豪雨による斜面崩壊に対策するための
地盤調査技術は、何も確立されていない。
- (2) 崩壊斜面への新しい安定化工法が
確立できないか？
- (3) 地盤工学は人の命を救えないか？
- (4) 災害時、消防隊・救急隊と合同で
仕事ができないか？
土中の生命の探査システムの開発

64

- (5) 技術者は、マニュアルだけに
頼っていていいのか？

- (6) 診断ロボットができるかも。

- (7) 診断ロボットよりすごい人間になるよう
常に新しい技術を磨いておく！

65