

An aerial photograph showing a massive landslide in a mountainous valley. The landslide is a wide, light-colored path of earth and rock that has descended from the upper slopes of the mountains, filling the valley floor. The surrounding mountains are covered in dense green forest. The sky is clear and blue.

# 大規模土砂災害を想定内へ

平成28年10月6日

国立研究開発法人 土木研究所  
土砂管理研究グループ長  
藤沢 和範

1

---

## I. 大規模な土砂災害

## 2 最近の大規模土砂災害

- 近年、多様な自然現象を起因とした大規模な土砂災害が発生、または発生の高まりが顕著な事例が増加している

地震(H28)



熊本地震

豪雨(H24)



紀伊半島豪雨

火山(H26)



御嶽山噴火

融雪(H24)



北海道融雪地すべり

## 3 【動画】天然ダムの決壊による土石流

- インドネシアアンボン島では、H24年に形成された天然ダムがH25年に決壊し、下流域の村で広範囲にわたって氾濫した

H25 インドネシア アンボン島



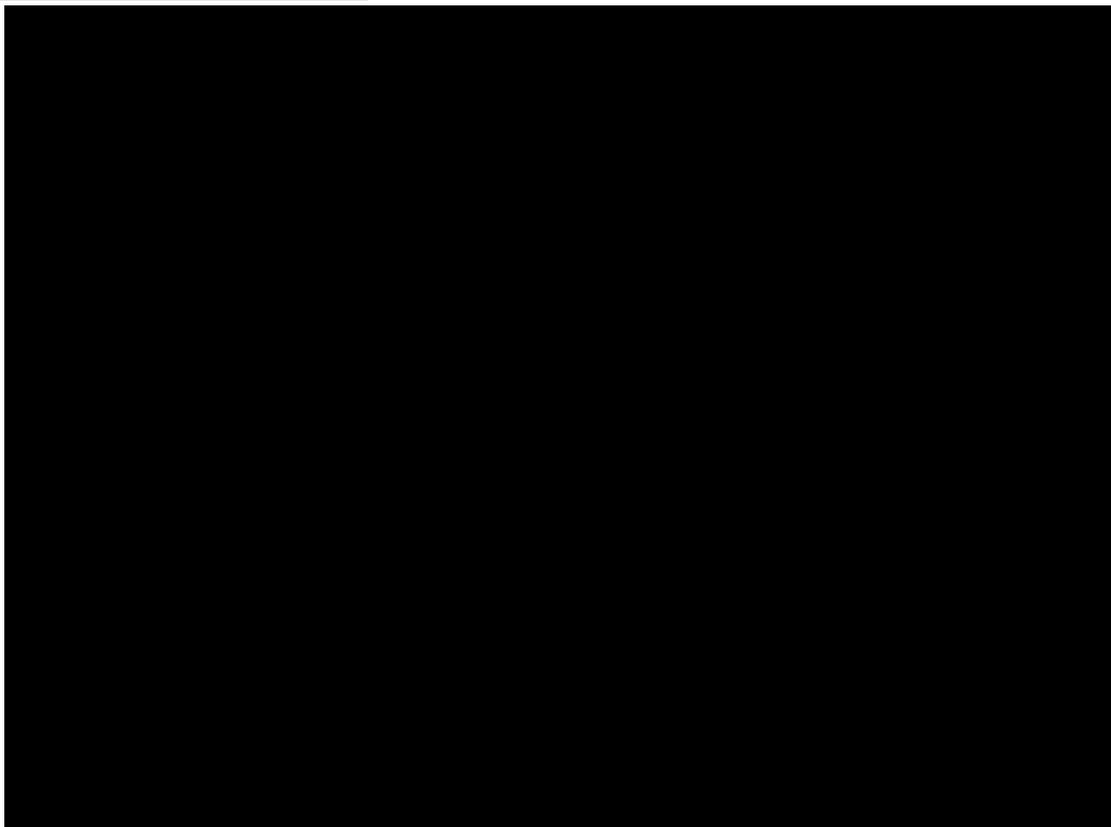
インドネシア公共事業者/国土交通省/（独）土木研究所提供

- 鹿児島県垂水市ではH27年に深層崩壊が発生し、そのまま流動化し土石流として流下した

H27 鹿児島県 垂水(深層崩壊)



H27 鹿児島県 垂水(土石流)



## II. 大規模な土砂災害に対する技術開発

### 7 大規模土砂災害対策のために必要な技術



#### 大規模な土砂災害の多発

(気候変動等に起因する豪雨や地震による、大規模な斜面崩壊、天然ダムの形成・決壊、大規模な土石流・地すべり、大規模な岩盤崩落・落石、火山噴火に起因する土砂流出など)

人命・財産の保護及び地域の経済活動への壊滅的ダメージを軽減する必要

#### (1) 大規模土砂災害の発生危険箇所を抽出する技術の構築

災害危険箇所の危険度評価→被害推定手法開発

(いつ、どこで、どのくらいの規模で発生？被害想定範囲は？)

#### (2) 大規模土砂災害等に対する対策技術の構築

施設管理を含めた対策技術の効率化、重点化→被害の最小化を図る手法開発

(対策手法の提案、点検手法、照査手法、補修・補強工法など)

#### (3) 大規模土砂災害に対する応急復旧技術の構築

迅速な応急復旧技術の開発、被災地での安全な施工技術の開発

(自動制御ロボットなど)

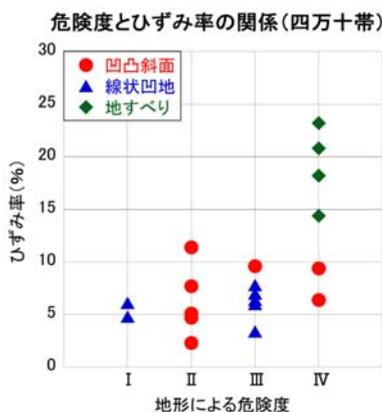
大規模土砂災害に対する地域社会の継続性確保

| 個別課題名   | 達成目標 | 1.大規模土砂災害等の発生危険個所を抽出する技術の構築 | 2.大規模土砂災害等に対する対策技術の構築 | 3.大規模土砂災害に対する応急復旧技術の構築 |
|---|------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| ②-1 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究(H23-27) |      | ○                           | ○                     |                        |
| ②-2 火山噴火に起因した土砂災害の緊急減災対策に関する研究(H23-27)            |      |                             | ○                     |                        |
| ②-3 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究(H23-27)          |      | ○                           |                       |                        |
| ②-4 劣化過程を考慮した大規模岩盤斜面の評価・管理手法に関する研究(H23-27)        |      | ○                           | ○                     |                        |
| ②-5 規模の大きな落石に対応する斜面对策工の性能照査技術に関する研究(H23-27)       |      |                             | ○                     |                        |
| ②-6 道路のり面斜面对策におけるアセットマネジメント技術に関する研究(H23-27)       |      | ○                           | ○                     |                        |
| ②-7 大規模土砂災害等に対する迅速かつ安全な機械施工に関する研究(H23-27)         |      |                             |                       | ○                      |
| ②-8 大規模な土砂災害に対応した新しい災害応急復旧技術に関する研究(H23-27)        |      |                             |                       | ○                      |

## H23-H27 プロジェクト研究の研究成果

### 達成目標1: 大規模土砂災害等の発生危険個所を抽出する技術の構築(H23~27)

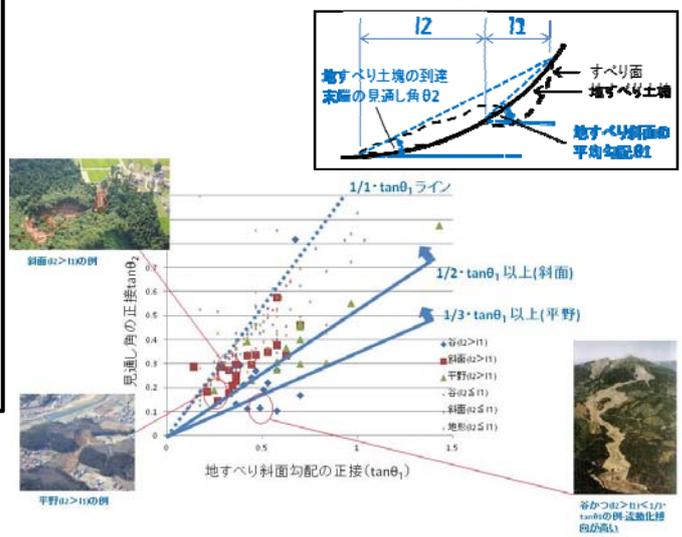
- ・ 深層崩壊の発生への恐れのある斜面抽出技術手法及びリスク評価手法を提案
- ・ 地震、融雪、豪雨により流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲の予測手法を作成
- ・ 道路のり面の災害弱点箇所抽出および対策緊急度判定手法の提案



土木研究所資料  
 深層崩壊の発生する恐れのある斜面抽出技術手法及びリスク評価手法に関する研究  
 平成 26 年 3 月  
 国立研究開発法人 土木研究所  
 土砂管理研究グループ  
 火山・土石流チーム

深層崩壊の発生した斜面及び発生する恐れのある斜面52斜面において地質毎にひずみ率及び地形による危険度判定を実施

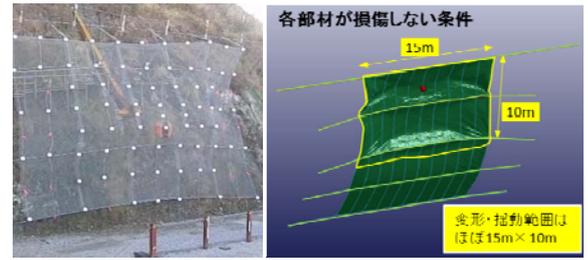
本課題の成果を土木研究所資料(第4333号)として刊行。危険度の高い斜面の抽出のための調査への活用を整備局等へ提案



流動化する地すべりの到達範囲

## 達成目標2: 大規模土砂災害等に対する対策技術の構築 (H23~27)

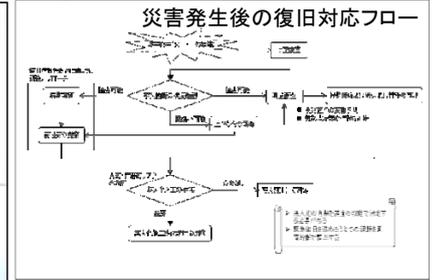
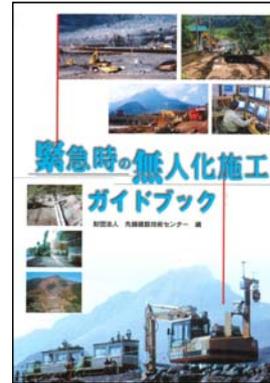
- 「天然ダム初動期・継続監視期調査・工事技術」をとりまとめ
- 深層崩壊・天然ダムに起因する土石流による被害の範囲・時期を推定する手法を提案し「土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き」(国交省、土研ら)等に反映
- 「岩盤の劣化過程を考慮した大規模岩盤斜面の評価・管理マニュアル(案)」の作成
- 落石防護工の全体系での性能照査技術の提案



従来型ポケット式落石防護網の実規模実験および数値解析例

## 達成目標3: 大規模土砂災害に対する応急復旧技術の構築 (H23~27)

- 大規模土砂災害時における最適な建設機械技術導入のためのマニュアルを作成(無人化施工技術における施工効率の改善および支援システムの提案を含む)
- 本設構造物への適用を想定した「大型土のうを用いた災害復旧対策工法施工の手引き(案)」を作成



- 個々研究課題に関する詳細情報については、土木研究所のプロジェクト研究・重点研究報告書を参照されたい

## III. 大規模な土砂災害を想定内にするために

～「深層崩壊」と、それを起因として発生する「天然ダム」の事例～

### 深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態による分類

#### 天然ダムタイプ

深層崩壊で生じた崩壊土砂により、いったん天然ダムが生じ、その天然ダムの決壊に伴い急激な水・土砂の流出が生じることにより被害が生じるタイプ

#### 土石流タイプ

深層崩壊で生じた崩壊土砂が土石流化し、土石流により直接的な被害が生じるタイプ

#### 崩土の直撃タイプ

深層崩壊で生じた崩壊土砂が流下し、崩壊土砂により直接的な被害が生じるタイプ

出典)国土技術政策総合研究所資料「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」

### 深層崩壊の対策の基本的な流れ

危険性のある地域の抽出・・・危険斜面の抽出



災害シナリオの想定・・・崩壊土砂量



対策の基本方針



**ハード・ソフト対策**

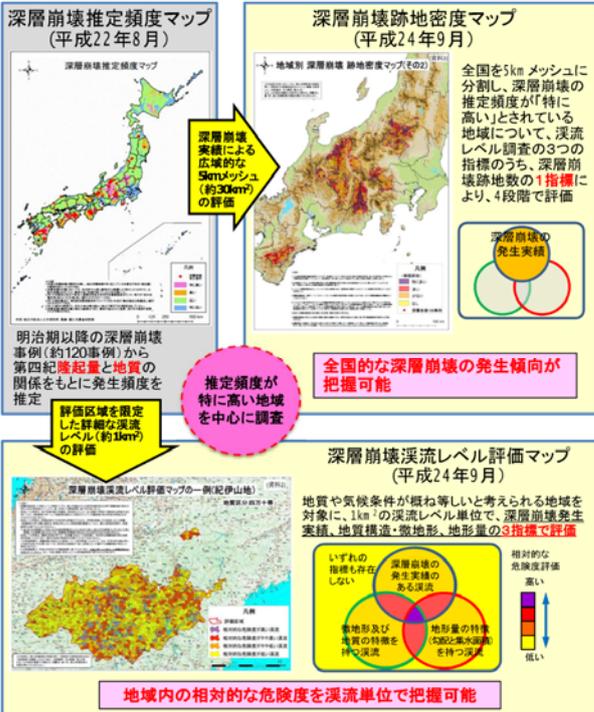
参考)国土技術政策総合研究所資料「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」

# 14 深層崩壊の危険斜面の抽出技術



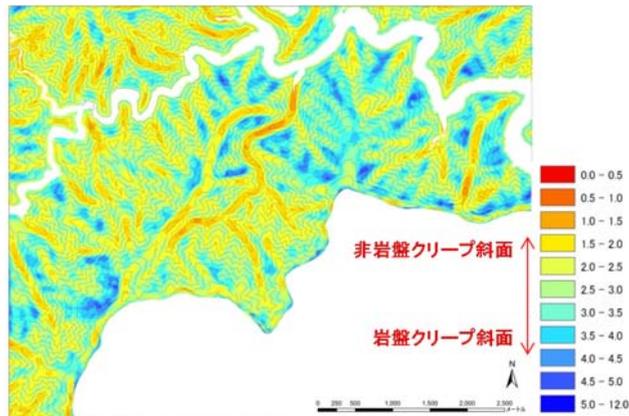
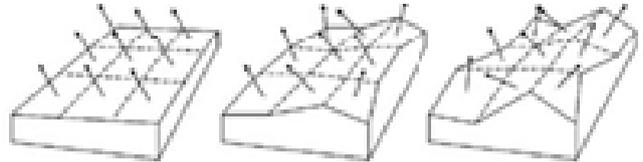
- 深層崩壊は岩盤クリープの地形を呈した箇所が発生する可能性がある
- そのような斜面で、より危険性の高い斜面を固有値比等の地形量を基に判定

これまでに溪流レベルでの危険地域を抽出



固有値比は、地表面の法線ベクトルの乱れを評価し、値が大きいほど乱れが少なく、深層崩壊土塊のような乱れが少ない岩盤クリープ斜面の抽出に活用が期待

固有値比 大 固有値比 中 固有値比 小



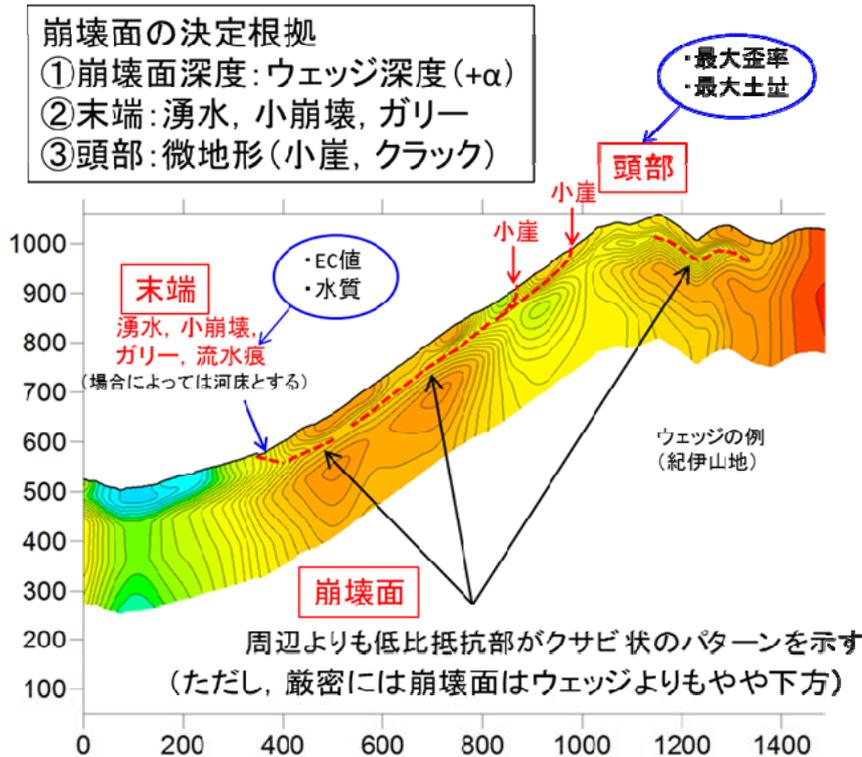
その他地形量 (斜面勾配比など) と組み合わせることで崩壊のおそれの高い斜面を抽出

※概ね最小固有値比4.0以上が岩盤クリープ斜面である可能性が高い。

# 15 深層崩壊の危険斜面の危険度評価



- 深層崩壊の被害推定や対策の検討のためには、崩壊の規模を推定する必要
- 空中電磁探査によって得られた地盤内の比抵抗の急変点を分析することにより、地下水等の影響により崩壊する可能性が高い崩壊面の震度を推定できる可能性



- 深層崩壊に起因して発生する災害としては、土塊が流動化して土石流化する場合と天然ダムを形成し、それが決壊して起こる場合が多い
- 深層崩壊に起因する土石流は、既往モデルで再現が困難な土石流の長距離流下事例を再現
- 天然ダムの決壊が切迫した状況下で平易な操作で迅速に氾濫範囲の推定を行うことができる計算システムを構築

## 深層崩壊に起因する土石流

### 被害区域の予測

- 土石流の流下過程で細粒土砂を間隙流体に取り込むモデルを開発
- 既往モデルで再現が困難だった流下・堆積を表現



## 天然ダムに起因する土石流

### 被害区域の予測

- 土砂災害防止法に基づき実施する緊急調査における被害範囲の推定を迅速に実施する計算モデルを構築
- 地方整備局職員で実施可能な平易な操作とするインターフェイスを作成
- 現地地形をより反映できる細かい計算メッシュを短時間で計算できる計算スキームを導入



- 天然ダム上流の湛水位が天端高を越えると、一気に決壊し土石流が発生するおそれがある
- このため、天然ダムが満水になる時期を緊急に一定の精度で推定する必要がある
- 天然ダムの漏水量を評価することにより、精度のよい湛水位の予測手法を構築

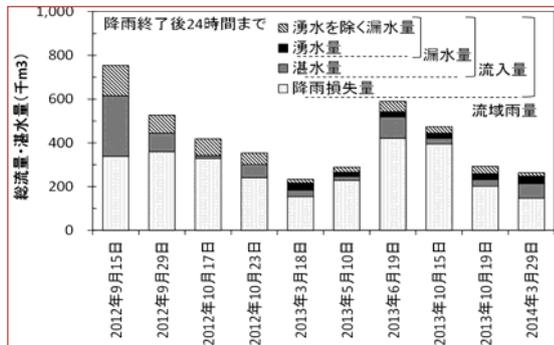
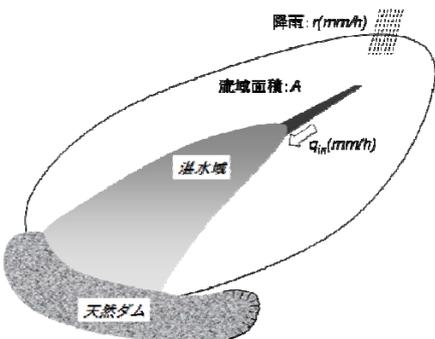
## 天然ダムに起因する土石流

### 時期の予測

$$S = Kq_{in}^p$$

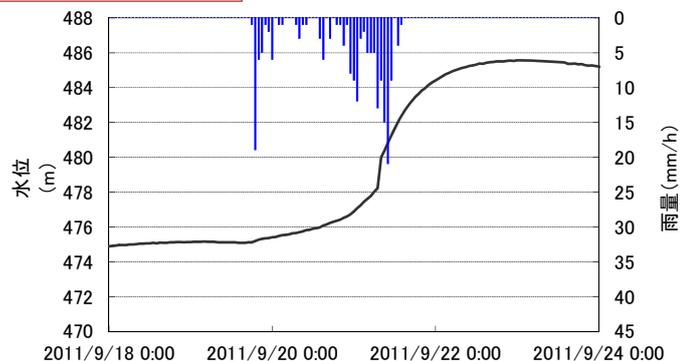
$$\frac{dS}{dt} = fr - q_{out} - \frac{dV}{dt}$$

漏水量により天然ダム下流に流出する量を評価



- 無視できないほどの漏水量があると分析
- 地下水位を計測することにより漏水量を評価

- 少ない降雨でパラメータの同定が可能な貯留関数法において、漏水量を考慮することで一定の精度で天然ダム上流の湛水位を推定するプログラムを作成



## IV. 大規模な土砂災害の対策技術の活用事例

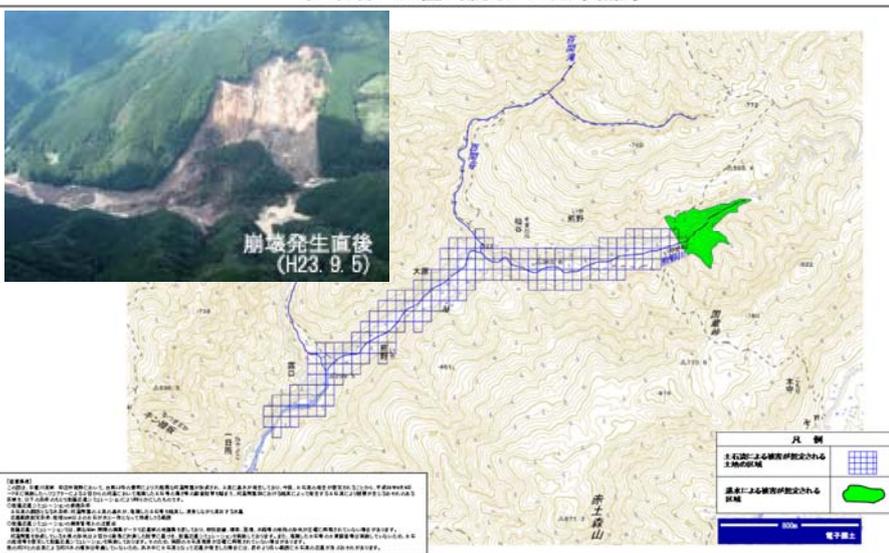
### 19 天然ダムの決壊事例（H23紀伊山地）



- 2011年9月台風12号により紀伊山地において複数の天然ダムが発生
- 次期出水に備え、天然ダム形成翌日の緊急調査着手から3日後に土木研究所が開発した土石流氾濫計算プログラムによって被害のおそれのある区域を迅速に公表
- また、土木研究所が開発したヘリから投下し設置が可能な水位計によりその後の湛水位のモニタリングを実施

河道閉塞による湛水が発生原因とする土石流等による被害が想定される土地の区域 別紙1

区域名：日置川流域 田辺市熊野



# 20 天然ダムの決壊事例（アンボン島の事例）



## 1. 天然ダムの概要

- 2012年7月にインドネシア共和国、マルク州アンボン島ワイエラ川右岸において、大規模な崩壊が発生し、崩壊した土砂が天然ダムを形成
- 天然ダム下流約2kmには約5000人が住むリマ村が位置していた



# 21 天然ダムの決壊事例（アンボン島の事例）



| 天然ダム諸元 |                    |         | 参考<br>(十津川村<br>栗平) |
|--------|--------------------|---------|--------------------|
| 高さ     | (m)                | 約170    | 約100               |
| 崩壊面積   | (km <sup>2</sup> ) | 約0.67   | 約0.37              |
| 崩壊土砂量  | (m <sup>3</sup> )  | 約1,200万 | 約1,390万            |
| 満水湛水量  | (m <sup>3</sup> )  | 約2,500万 | 約750万              |
| 流域面積   | (km <sup>2</sup> ) | 約11.5   | 約8.7               |



## 2. 天然ダム決壊前までの被害軽減に向けた取り組み

### ○第1回インドネシア派遣（2012年9月23日～29日）

- ・天然ダムの現地調査
- ・インドネシア共和国公共事業省に、今後の対応策、対応方針について、助言  
 （主な助言内容）
  - ・天然ダム監視体制、天然ダム安定解析
  - ・警戒避難基準、警戒避難体制の検討
  - ・対策工に関する助言
  - ・観測結果にもとづく対策の見直し（大規模降雨、地震後）

### ○第2回インドネシア派遣（2013年1月13日～20日）

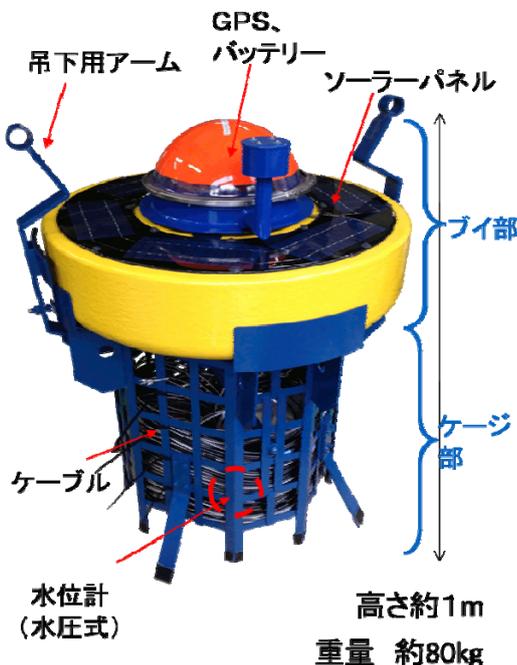
- ・天然ダムの現地調査
- ・インドネシア共和国公共事業省及び水資源研究所に、監視体制等について助言  
 （主な助言内容）
  - ・観測機器の設置位置
  - ・漏水量のモニタリング
  - ・ベースキャンプの非常用電源の確保
  - ・流入量予測の検討

### ○第3回インドネシア派遣（2013年2月23日～3月3日）

- ・天然ダムの緊急監視技術について土研の研究を発表（Indonesia-Japan Joint Sabo Workshop）
- ・天然ダムの緊急監視に関するインドネシアとの技術協力に関する協定の締結
- ・天然ダムの現地調査、観測機器の設置 ……土研式水位観測ブイなど  
 （主な助言内容）
  - ・観測機器の位置や観測項目
  - ・越流開始点標高の管理 ……ダム天端引き下げ工事の進捗管理
  - ・下流部における対策
  - ・ワイヤーセンサー設置位置

## 3. 天然ダム湛水位の共同観測

### 土研式水位観測ブイ(投下型)の概要



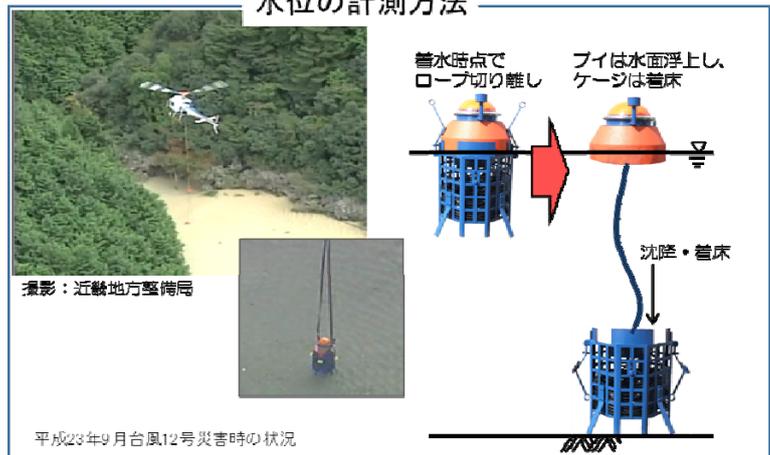
越流侵食による天然ダム決壊を予測するため、湛水位を計測

測定可能深：**100m**（国内モデルは40m）

通信方法：イリジウム衛星通信システム

電源：**ソーラーパネル**および**バッテリー**

### 水位の計測方法



## 土研式水位観測ブイ(投下型)の設置状況



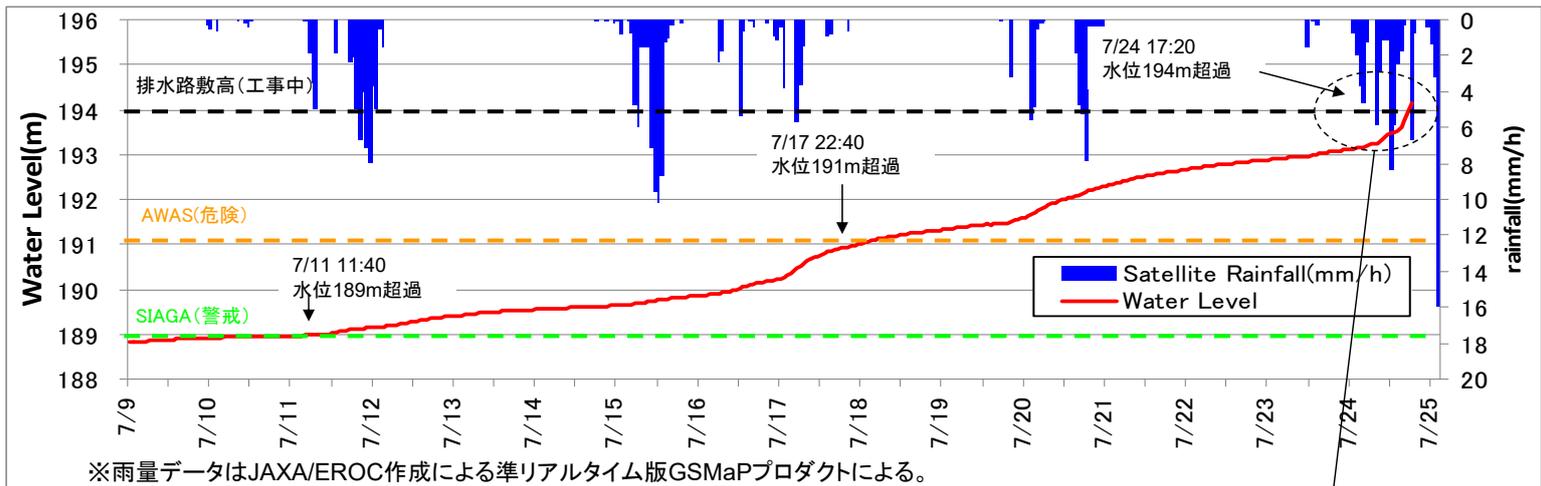
筏での水位観測ブイ輸送



水位観測ブイの投下



水位観測ブイ設置完了

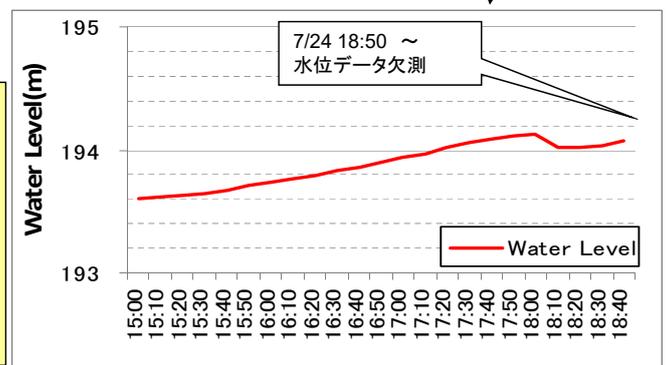


天然ダムの湛水位

### 水位観測ブイの観測状況

7月24日 17:20 水位194m(排水路敷高)を超過  
 18:00 最高水位 194.13m  
 18:50 ~ 水位データのみ欠測  
 (GPSデータと電圧データは計測を継続)

7月25日 2:30 ~ 観測ブイからの通信不能



## 26 天然ダムの決壊事例（アンボン島の事例）



### 4. 天然ダム決壊前（天然ダム形成後）



空撮写真：インドネシア政府公共事業省提供

## 27 天然ダムの決壊事例（アンボン島の事例）



470棟の家屋や公共施設等が流出したものの  
5,233人が無事に避難したことで  
行方不明3人、負傷者3人にとどまった  
(2013年7月26日国家防災庁発表)

空撮写真：インドネシア政府公共事業省提供

---

## V. まとめ

### 29 大規模土砂災害対策として開発した技術への期待

- 豪雨、地震および火山活動の高まりによって、発生頻度も少なくこれまで十分に対応されてこなかったような事例への対応が求められる機会が、今後増加していくことが想定される
- また、既に防災を目的に講じられてきた道路のり面等の対策施設も適切な点検や維持・更新が図られなければ、岩盤崩落、落石、斜面崩壊による災害を招くおそれがある
- 今年4月に発生した熊本地震によって発生した土砂災害における国道57号や阿蘇大橋の被災のように、社会基盤の高度利用が進捗する中、被災箇所の復旧が滞れば社会・経済活動に大きな影響がもたらされる可能性があるため、安全を確保したうえでの迅速な応急復旧工事の実施がより一層求められる
- 今回、開発・提案した技術が、これまで対策や応急復旧工事が困難だった大規模土砂災害等の早期対策の一助となることが期待される