伊豆大島土砂災害の概要と斜面崩壊等の危険度把握技術

土木研究所
土砂管理研究グループ
上席研究員　石塚忠範

伊豆大島土砂災害の概要と特徴

災害の概要

・大金沢，八重沢，八重南沢，長沢の4渓流で集中して発生。
・表層崩壊に起因した土石流は，火山灰質の細粒分を多く含み，崩壊発生・土石流流下の過程で大量の流木を伴って流下。
・神達地区では、建物が基礎を残して全部流出する被害が発生。
・下流の元町2丁目、3丁目でも、1m以上土砂が堆積する被害が発生。

死者・行方不明者　39名
家屋被害：　全壊50棟
半壊26棟
一部損壊77棟
（平成26年1月29日時点，大島町調べ）

・大島観測所で24時間雨量800mmを超える豪雨。
・やや北の「北の山」ではその半分程度。
→特定の地域に集中して多量の降雨

崩壊の特徴（1）

・総崩壊面積：約20万m²
・ほとんどの崩壊は，崩壊深が1mの浅い崩壊。

4

崩壊の特徴（2）

・大金沢の土層構造
　溶岩層(1～3m)
　スコリア層(1～3m)
　火山灰と褐色のレスの互層(1～5m)
・谷部では溶岩およびスコリア層が厚い
・崩壊のほとんどは，火山灰とレスの互層部において，レス層上面がすべり面となり発生。
・多くの崩壊地において，パイピング孔が認められた。

5

火山地域特有の未発達な地形を泥流が流下

細粒分からなる泥流が広範囲に氾濫

【伊豆大島粒度試験結果】

・粒度分布は、氾濫域上流＞崩壊地直下＞氾濫域下流＞氾濫域左岸となっている。

7

大量の流木の流出による被害の拡大

丸塚橋の閉塞状況

元町橋の閉塞状況

8

砂防施設の効果

堆積工本堤（大金沢）

堆積工本堤（大金沢　除石中）

9

警戒避難における課題

・深夜2:20頃から異変に気付いた住民が多数。
・2階や別室へ避難など機転を利かせて難を逃れる。
　→「直ちに身を守る行動」の実施

2階へ避難した住民宅

3：28　釣具店より撮影した元町橋

災害後の技術支援

○降雨による地盤の緩み等により、捜索活動の再開に支障を及ぼす恐れがあったため、TEC-FORCEの技術的指導に基づき、捜索開始前に関係機関と点検を実施

※関係機関：大島町（技術系職員・消防団）・東京都（技術系職員・消防庁・警視庁）・自衛隊

現地調査（10月17日～）

10月19日～20日
降雨のため、捜索中止

捜索開始前に捜索範囲において、新たな崩壊の有無や地盤の緩み等による危険性を点検（10月21日）

TEC-FORCEによる捜索開始の是非の判断

捜索活動の再開

11

斜面崩壊等の危険度把握技術

－時々刻々変化する土砂災害のリスクを把む－

技術開発の背景

技術開発の課題

1.リアルタイム情報を用いた警戒避難システムの時系列関係

2.リアルタイム情報を用いた警戒避難判断の課題

（1）導入しやすい簡易的な予測技術の開発
（2）土砂移動現象の検知・観測技術の開発及び監視指標の開発
（3）避難の実感をもった情報集約・判断の経験の蓄積

3. リアルタイム情報を用いた警戒避難のための技術

（1）地形データとできるだけ少ない現地調査結果で適用可能な予測技術
（2）実際の水文条件の変化、土砂移動現象に基づく土砂災害検知技術
（3）土砂災害の時間変化と住民の避難時間変化が実感できる技術

14

「リアルタイム計測情報を活用した土砂災害危険度情報の作成技術」の全体像

土砂災害の発生時刻を予測する

IDH-SLIDER

崩壊発生時刻予測モデル

H-slider法における無限長斜面安定の式（内田ら、2009）

$$F_s = \frac{C + (\gamma h\cos^2\theta - u(t))\tan\phi}{\gamma D\cos\theta \cdot \sin\theta}$$

不飽和へ拡張した地下水位の式
（Rosso *et al*, 2006）

$$h(t) = \frac{A\gamma D}{K_s\sin\theta}\left[1 - \exp\left(-\frac{1+e}{e-eS_r}\frac{K_s\sin\theta}{A}t\right)\right] + h_0\exp\left(-\frac{1+e}{e-eS_r}\frac{K_s\sin\theta}{A}t\right)$$

初期条件ここではゼロとみなす

$$r = \frac{K_s\sin\theta\{c(1+e) + \gamma_w D\cos\theta(G_s + eS_r)(\cos\theta\tan\phi - \sin\theta)\}}{A\gamma_w\cos\theta\{(1+eS_r)\cos\theta\tan\phi + (e - eS_r)\sin\theta\}\left[1 - \exp\left(-\frac{1+e}{e-eS_r}\frac{K\sin\theta}{A}t\right)\right]}$$

C:土の粘着力、θ:斜面勾配、γ:土の単位体積重量、A:集水面積、r:降雨強度、D:土層厚、φ:土の内部摩擦角、Ks:土の飽和透水係数、e:含水比、Sr:飽和度、t:時間、h:水深、h0:初期水深

採用した土質定数

等価透水係数	0.05 cm/s	観測結果
土の粘着力	6.00 kN/m²	崩壊実績より逆算
土の内部摩擦角	35.0°	土質試験結果
飽和単位体積重量	18.1 kN/m³	同上
湿潤単位体積重量	15.2 kN/m³	同上
飽和度	0.3714	同上
間隙比	0.8893	同上
水の単位体積重量	9.8 kN/m³	一般値
土層厚	簡易貫入試験結果より内挿	

17

崩壊発生予測手順

①各斜面の崩壊発生限界（R(t)-t）を作成

・斜面勾配（ϑ）
・流域面積（A）
・土質定数（C、φ、Ks）
・土層厚（D）
・土の単位体積重量（飽和時・湿潤時）

毎時刻繰り返し

②時刻Tのt時間雨量（r(T, t)）を計算

③r(T, t)と崩壊発生限界雨量を比較

④r(T, t)>R(t)となったら崩壊発生と判定

18

検証事例の概要

山口県防府市剣川
- パラメータの不確実性をできるだけ排除するためにHslider実施箇所
- 簡易貫入試験：140地点
- 土質試験： 7地点
- 崩壊箇所： 8箇所/137箇所（剣川全体）

災害発生事例：2009年7月21日

前兆現象	発生現象	避難状況
・午前10時頃、ゴーと出う音がして濁水が流れる。	・8時11分頃、国道262号きれい氷が流れていたが、流れが泥水になり小石が大石になった。 ・11時頃、剣川から石流が流れ出し、国道の路面より1.0mぐらいの高さで流れていた。 ・国道に水が流れ出し、一気に赤い色の水が流れ、その後土石流がゴトゴト音をたてて流れた。	・10時前後、パトロールをしている人から避難するよう指示。 ・10時頃、3人でかにある車で避難しようとしたところ車と一緒に流された。 ・自宅の2階に避難

NPO法人山口県防災・砂防ボランティア協会調査結果（2011）

再現性の検証（1）位置の検証及び時刻の検証

- ハイエトと比較するため適中率などが時系列的に変化する。
- 崩壊箇所の増加率が大きい時刻はヒアリング調査結果と一致していた。
- 従来のHslider等で指摘されるカバー率の増加に伴う空振り率の上昇はみられない。

12：20時点の崩壊要素と崩壊地の関係

再現性の検証（2）発生時刻の検証

剣川一帯の土石流の目撃時刻と崩壊要素が増加する時刻が一致

青文字：山越ら(2012) 赤文字：山口県防災・砂防ボランティア協会（2011）

災害の発生を検知・観測する

斜面崩壊検知センサー
震動検知式土石流センサー
渓流流量の観測

斜面崩壊検知センサー

- 転倒検知タイプ…斜面崩壊によって、センサーが倒れる際に、検知信号を発する形式→構造が単純、消費電力が少ない

通常はスリープ状態であり、内蔵タイマによる定期起動（自己診断）または内蔵転倒センサによる起動でIDと傾斜の発生及び傾斜発生時刻を送信

センサーが３０度以上傾いたときに検知

内蔵する傾斜検知装置により斜面崩壊を検知し、特定小電力無線により受信機にデータを伝送

- 傾斜角測定タイプ…崩壊検知だけでなく、傾斜角を常時測定する形式→崩壊の前兆をとらえることが可能

内蔵するセンサにより傾斜角度を測定するとともに、外付けの土壌水分計により土壌水分を測定し、一定時間毎に特定小電力無線によって受信機にデータを送信

- 斜面変位測定タイプ…斜面の変位から崩壊を検知する形式→センサー部への電源がまったく必要ない

内臓する鉄球がパイプのズレによりパイプ内部に放出されることで斜面崩壊を検知し、鉄球の自由落下により信号機を作動させ、複数の鉄球落下時刻をデータロガーに記録

振動検知式土石流センサー

土石流の流下にともなって発生する地盤振動をセンサで検知する

土石流検知特化型

特徴：閾値に波形の形状を判別するアルゴリズムを組み込んだセンサ。インターネットを介して振動データをダウンロードできるため、現地に行かなくても波形記録を取得できる

価格：約150万を想定

閾値：振幅値+波形形状

実績：桜島で運用中

現場汎用型

特徴：閾値に継続時間を組み込んだセンサ。警報値を5段階設置でき、警報の経時状況から、発生規模の推定が可能

価格：約100万

閾値：振幅値+継続時間

状況：桜島・霧島で運用中（土石流の検知実績あり

無線運用型

特徴：ヘリ等で空中から投下・設置できることを目的に開発。センサーから受信部までは無線で伝達

価格：10～20万を想定

閾値：振幅値

状況：桜島で試験運用中（土石流の検知実績はなし）

渓流流量の観測（災害発生の切迫性の把握）

■土砂災害発生の危険度を判断する指標として、雨量以外に河川流量（水位）や土壌水分・地下水位等を導入し、斜面崩壊（表層崩壊）発生の危険度を適切に判断することを目指す。

■斜面崩壊の発生と非発生で、斜面の水分状態（土壌水分・地下水位）は異なり、それに応じて河川水位波形や水質も異なることが想定される。

災害時の避難行動を考える

マルチエージェント・モデルを用いた検討

検討対象範囲　六甲山系住吉川流域の3地区

→すでに、崩壊発生～土砂氾濫のモデルが構築され、計算可能な流域を対象

最大で1200m
=徒歩15-20min程度の範囲

避難時の住民の諸条件

✓ 簡易的な避難計算を実施する計算条件

	項目	設定方法の概要	出典・根拠
初期条件	避難者の配置	配置位置：2500数値基盤図の建築物からランダム 配置数　：住民基本台帳の対象町丁目人口と避難率から設計	数値基盤地図情報2500 住民基本台帳（神戸市）
	属性の設定	年齢構成：住民基本台帳より7歳以下、8歳～64歳、64歳以上の構成比	住民基本台帳（神戸市） 障害者白書など
	避難率	国交省調査による平均値57%を採用	土砂災害防止法に基づく取り組み検討会資料，国交省，2013
避難経路	最短経路探索	エージェントから避難所までの最短経路を単純計算で算出する。 経路探索はワーシャル・フロイド法	例えば　武田他：高潮ハザードマップと避難対策に関する二・三の検討，京大防災研年報，1995
	迂回時条件	避難経路にかかる斜面安定解析メッシュが崩壊と判定された場合は、通行不可能とする。 浸水深が0.5mを超えた経路は、通行不能とする。	須賀他：避難時の水中歩行に関する実験，水工学論文集，1994
避難速度	平常時	速度の基本値として、以下を設定。 ・健常者成人：1.0m/s ・歩行困難者、身体障害者など：0.5m/s （7歳以下、65歳以上） 混雑状況や坂道による速度低下を考慮する。（避難者密度で設定） 登坂時：実測データに基づく勾配による速度変化率を設定	避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン（水害・土砂災害編），2012，兵庫県 津波避難ビルに係るガイドライン,2005，内閣府他
	浸水時 豪雨時	水深50cmで移動速度を0とし、50cm以下は線形に低下。	須賀他：避難時の水中歩行に関する実験，水工学論文集，1994

28

既存の数値計算システムにより作成した土砂災害の時系列シナリオ

✓ 崩壊が集中して発生し始めるタイミングと氾濫被害の生じるタイミングは2時間以上の差

	避難開始	契機になる現象
ケース0	8:00	斜面崩壊の急激な増加
ケース1	10:40	避難路の一部で崩壊発生・降雨・流量（東谷）ピーク
ケース2	11:00	西谷堰堤上流付近で氾濫開始
ケース3	11:30	新落合橋下流で氾濫開始
参考1	12:00	（下流氾濫開始から40分後）
参考2	13:00	（下流氾濫開始から100分後）

29

計算結果

✓ 崩壊が集中して発生し始める時間帯の避難開始では避難遅延なし。

✓ 降雨ピーク後の避難開始では、避難遅延あり。

✓ 区域2では全体の20%の避難者が経路途絶

✓ 区域1と区域3では、避難遅延時刻に1時間半以上ある。

表- 配置した住民の80%が避難を達成するまでの時間

	開始時刻	区域1	区域2	区域3
ケース0	8:00	0:27:10	0:24:00	0:21:10
ケース1	10:40	0:31:40	0:24:00	0:21:10
ケース2	11:00	0:41:30	0:58:30	0:21:10
ケース3	11:30	0:51:20	(80%に満たない)	0:21:10
参考1	12:00	-	-	0:21:10
参考2	13:00	-	-	0:26:20

30

期待される成果と今後の課題

期待される成果

- ✓ 精緻な数値計算モデルを活用することで、土砂災害に関わる時間進展を把握することが可能。
- ✓ 二次元氾濫計算とマルチエージェントの組み合わせにより経路上のクリティカルパスが把握。
- ✓ 経路を考慮した避難時間と、避難開始タイミングによる時間の変化幅について把握が可能。
- ✓ 数値計算を持ちることで、異なる複数のシナリオで比較することが可能。

今後の課題

- ✓ クリティカルパスの時系列的な変化の分析
- ✓ 避難事例に基づく検証が必要
- ✓ 入力条件による感度分析の実施

土砂災害の危険度把握技術の活用に向けて

実際の降雨への適用と土砂災害シナリオの作成

1.対象地の概要

岐阜県揖斐川町(坂内村)・本巣市(根尾村)

2.主な地質

大部分は美濃帯(堆積岩)
南西部の一部に花崗岩
北部の一部に花崗せん緑岩

3.近年の災害

1983	6/16-18	根尾村黒津・越波・大河原
1986	8/21-22	根尾村松田
1989	9/1-7	久瀬村東津汲
1998	7/27-29	根尾村越波・下大須
2002	7/9-10	藤橋村東横山
2008	9/2-3	久瀬村東津汲

H21越美山系砂防崩壊地調査業務)

33

土砂災害危険度の高い降雨の抽出　広瀬浅又川の事例(流域面積:約24,800m²)

①1976～2013.12の時間雨量データを収集

参考:最大日雨量:1位　2002年7月10日354mm
2位　1986年6月17日330mm
3位　2000年9月11日258mm

全降雨データに対して崩壊発生予測計算を実施

②土砂災害発生危険度の高い降雨の抽出

崩壊要素数が特に多い3降雨を抽出

- ・1986年6月17日
- ・1989年9月7日
- ・2002年7月10日

特徴:

・連続する雨量データで計算する。
・比較する雨量の期間(日雨量、時間雨量、など)に寄らず、一度の計算で抽出可能。

(崩壊要素数が1以上の時刻のみを表示)

崩壊発生予測計算例:土砂災害危険度の高い3降雨

降雨のパターンが異なっていても、崩壊の危険度が高まる場所、順序はほとんど変化しない。 → 監視上の「危険度の高い斜面」が抽出可能

35

2002年7月降雨による災害シナリオ作成例

岐阜県土砂災害警戒情報ポータルより作製
http://alert.sabo.pref.gifu.lg.jp/