

1993年鹿児島豪雨災害の教訓

A Precept from Slope Failures in Kagoshima Prefecture Caused by Heavy Rainfalls in 1993

落合 英俊 (おちあい ひでとし)

九州大学教授 工学部

北村 良介 (きたむら りょうすけ)

鹿児島大学教授 工学部

矢ヶ部 秀美 (やかべ ひでみ)

(株)ダイヤコンサルタント福岡支店次長

1. はじめに

1993年、鹿児島県は断続的に襲来する集中豪雨と台風によって、斜面崩壊や河川の氾濫がいたるところで発生した。それらによって交通網、通信網が寸断され、住宅、農地等が大きな被害を受け、一時は陸の孤島と化した。従来から鹿児島県は集中豪雨、台風の常襲地帯といわれ、過去においても何度も災害に見舞われている。従来の豪雨に比べると1993年豪雨は、近年にない降雨パターンであり、災害規模を大きくした背景には地形、地質の災害要因と未だ解決されていない研究課題や防災対策上の問題があると考えられる。ここでは、崩壊の素因と崩壊発生までの降雨特性とを、県内の過去に発生した災害を事例として検討を加え、地盤の耐降雨強度を推定してみた。

2. 地質別の斜面崩壊の発生条件

2.1 しらす

1993年豪雨災害のしらす地帯における斜面崩壊をモデル化したものを図-1に示す。以下、図についての説明を簡条書きにする。

- ① 表層土(火山灰・軽石層、一部風化しらす)としらすとの境界から表層崩壊を起こしている。この位

- 置には小さなパイピング孔が見られる箇所がある。
 ② 下川らりによれば、しらす急斜面における表層土の再形成速度は、35~40cm/60~80年としている(化学的風化作用、崩壊の周期性)。
 ③ 急斜面には引張り応力によって、斜面に平行なクラックが形成されており(物理的風化作用)、しらす急斜面が剥離性を起こす原因となっている。
 ④ 表流水によるガリ浸食がいたる所で発生している。
 ⑤ しらす層と下位の堆積岩類や火山岩類との境界は場所(旧地形の谷)によって湧水があり、洞穴状のパイピング跡が各所で発見されている。
 ⑥ 急斜面下に堆積していた崖錐堆積物が長雨で飽和して、集中豪雨のため流動化している。しらす層下位の地下水が影響していた可能性が高い。
 ⑦ 一般にしらすの透水性は 10^{-3} ~ 10^{-4} cm/secであり、しらす層最下位まで浸透するには時間を要する。しらす堆積時のクラスティックダイクおよび溶結時の収縮割れ目を通して縦方向の急速浸透や下位層との境界部への上流からの水平方向の急速浸透が地質的には考えられる。

しらす地帯における降雨量と斜面崩壊発生の関係については、大きな災害が起きるたびに検討が加えられてきた。

表-1に最近のしらす地帯における災害履歴とその時の降雨特性を示す。

鹿児島県のしらす地帯でこれまでに発生した規模の大きな斜面崩壊時の降雨特性を図-2²⁾に示す。図によれば、しらす地盤の概略の耐降雨強度は、最大1時間雨量40mmと災害発生時までの累加雨量200mmを結ぶ線より下の範囲と考えられる。

しらすが表面流に

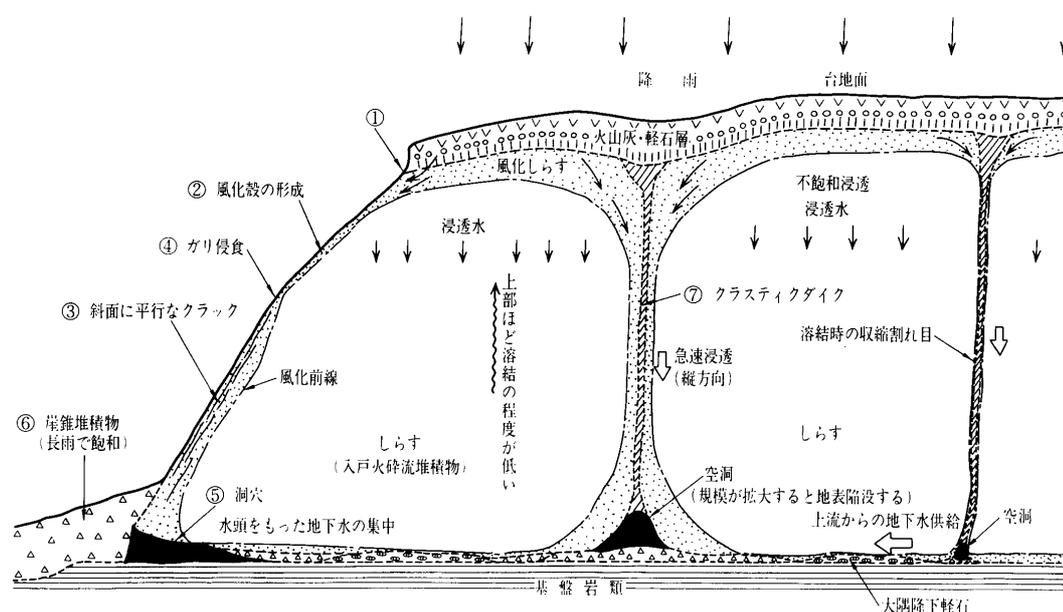


図-1 しらす地帯の斜面崩壊モデル

表-1 しらす地帯の災害履歴と降雨特性

被災年次	調査者	発生地域	災害形態	最大時間雨量 (mm/h)	連続雨量 (mm)	他の降雨指標	降雨と災害発生との関係の特徴, そのほか
1969	坂上 務 ⁹⁾	鹿児島県中～北部のしらす地帯およびその境界部	ローム層と風化したしらすの崩壊 しらすの流動化 パイピング 土構造物(切土・盛土)崩壊	63 (鹿児島市)	250~300	10分間雨量 15 mm (鹿児島中部域)	250 mm 程度の降雨があって、大地が十分湿っている所に短時間の強雨(10分間雨量)。
1972	春山元寿 ⁹⁾ 下川悦郎	鹿児島県北部 川内川流域 宮崎県えびの市	表層崩壊 パイピング しらす関連 69.0% *崩壊物は表土層やローム層が多い。	50~60	200~250		最大時間雨量後、数時間以内に斜面崩壊発生のおそれがある。先行雨量が比較的少なくて、短時間の降雨では表層崩壊が、先行雨量が多い場合はパイピング発生の可能性大。
1976	春山元寿 ⁹⁾ 下川悦郎	鹿児島市周辺 大隅半島北部	湧水による崩壊 しらすの雨水による侵食 表層崩壊(自重)	55.5	211.5	最大10分間雨量 21 mm	最大1時間雨量発生後に90%近くの崩壊がある。特に1~3時間経過後の崩壊件数が約1/3を占める。
1986	下川悦郎 ¹⁾ 地頭蘭隆 中村淳子	鹿児島市	しらす斜面の表層崩壊	75	160	先行降雨量は 55.5 mm と少なかった。	最大時間雨量発生中に斜面崩壊が起きる。1985年8月の台風13号の強風(55.6 m/s)の風倒害の影響。
1993 7/31 ~8/2	地頭蘭隆 ⁹⁾ 下川悦郎 ほか5名	鹿児島県中部域	しらす斜面の表層崩壊 しらすの流動化 パイピング 崖錐堆積物の崩壊, 流出	40~110	200~700	24時間半減期の 実効雨量で 200 mm	8時間雨量が100 mm を越えると土砂災害が発生しやすくなる ⁶⁾ 。

よる侵食に弱いことを考えると、斜面崩壊は累加雨量より短時間の降雨強度に強く影響を受けることになる。また、最大1時間雨量が発生して崩壊が起きるまでに数時間のタイムラグがある場合が多いことを考えるとしらす層内部への雨水の浸透問題が重要な鍵を握っているようである。降雨特性、地盤の浸透特性と斜面崩壊との関係は依然不明瞭な点があり、今後のしらす地盤への雨水の浸透挙動の解明が望まれる。

2.2 火山岩類

第四紀の火山活動によって、鹿児島湾が形成されていった。加久藤カルデラ、阿多カルデラ、始良カルデラから種々の岩相の噴出物が多量に基盤岩類の上を覆っている。急斜面の断面形状(図-3⁷⁾)をみると、地層ごとの風化速度や侵食されやすさによって、勾配が異なっているのが特徴である。特に、溶結凝灰岩や流紋岩等は節理が発達するためブロック状の転倒崩壊や剝離型の落石を発生しやすく、崖面がそのまま後退するような侵食形態をしている。これらの連続性のよい急崖の上下の斜面は概して緩斜面となっており、崖錐堆積物や落石堆が発達する。崖錐堆積物には、斜面上部から落石・崩壊した転石や土砂のほか新しい降下軽石(ぼら)や火山灰が混じり合っているものも少なくない。始良カルデラ壁の南東側に当たる垂水市牛根付近の急斜面には、桜島起源の降下軽石が表層を2 m以上の厚さで覆っており、最近の活動による火山灰も20~30 cmの厚さに達している。

始良カルデラ南東壁のぼら流出を除くと、火山岩類分布地域における斜面災害は、晴天時には安定している崖錐堆積物が降雨時に崩壊、土石流化するもので、しらす斜面の崩壊に比べて発生頻度は少ない。

1993年豪雨では、始良カルデラ内壁直下の狭隘部を通過する一般国道3号、10号および220号が被災した。3地区の災害形態や災害履歴および降雨状況を表-2にまとめた。

一般国道3号河頭地区は、串木野市側から鹿児島市街に入る前に、甲突川の侵食谷の左岸に沿った狭隘部をカーブを繰り返しながら通過する位置に当たる。道路に沿った斜面は、平均45°程度の急斜面で路面から台地頂部までの比高は約50 mである。2枚の溶結凝灰岩が急崖を形成している。この地区で1979年から1992年の間に発

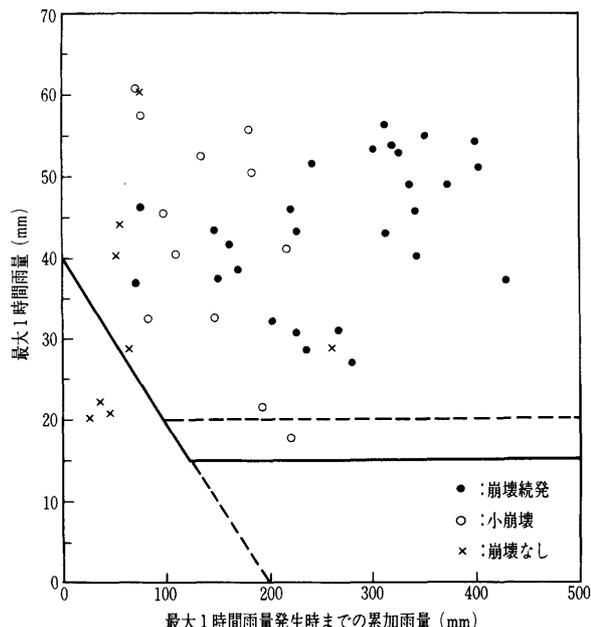


図-2 斜面災害時の1時間最大雨量-累加雨量²⁾

生じた斜面災害は、100m³未満(20~40m³が多い)の崩壊・落石で4件と少ない。いずれも道路に沿った法面の表層崩壊や落石程度で、通行止めに至らなかったものが多い。1993年豪雨によって切土法面・自然斜面の崩壊が14箇所、盛土流出・路肩決壊が12箇所に及んだ(甲突川の洗掘を含む)⁷⁾。

一般国道10号竜ヶ水地区では昭和40年代に豪雨による死傷者を出す大規模な土砂災害が3件発生している¹¹⁾。最も規模の大きな災害は、1977年6月24日の鹿児島市吉

野町竜ヶ水地区の土石流災害であった。山麓の民家13棟が押しつぶされ9名の犠牲者がでた。ただ、この災害は吉野台地の頂部に近い溶結凝灰岩急崖の脚部が徐々に洗掘されて大規模な崩壊を起こしたもので、崩壊頭部亀裂の変状は3年ほど前から徐々に進行していたという¹²⁾。崩壊の形態が1993年の豪雨災害のそれとは少し異なっており、国道への被害は、流出土砂が現 JR 日豊本線で停止したため軽微で済んでいる。

牛根地区は、災害が頻発するため、建設省の異常気象時の通行規制区間の一つに指定されている。

道路に影響する災害形態には、大別して2形態が知られている。一つは、少量の降雨でも発生するばら流出であり、もう一つは斜面中腹部から崖錐堆積物が土石流となって流下してくるものである。後者は、前者の規模が拡大したもので、道路管理上はばらの流出が一つの前兆現象として把握されている。初期のばら流出の土量としては、300m³未満、特に150m³以下のものが多い。軽石であるため、道路沿いに設けられた擁壁の隙間を表流水に浮く形で流れ下って路面にあふれだし車両は通行できなくなる。1976, 1989, 1992年とこれまでも規模の大きな斜面崩壊、土石流

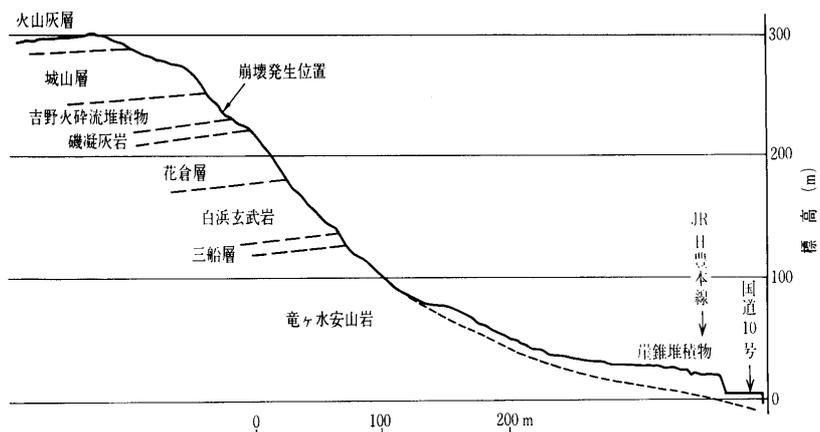


図-3 一般国道10号竜ヶ水付近の地質断面図⁷⁾

表-2 火山岩類分布地域の災害履歴と降雨特性

地層	発生地域	被災年次	地形・地質条件	災害形態	最大時間雨量 (mm/h)	連続雨量 (mm)	ほかの降雨指標	降雨と災害発生との関係の特徴, そのほか
火	一般国道3号 鹿児島市小山田町 ~ 鹿児島市伊敷町 (河頭地区)	1988 8.23 ⁹⁾	甲突川の浸食谷に沿う連続した急斜面(平均45°, 比高50m)。急崖(60~70°)をなす溶結凝灰岩が2層分布する。	崖錐層の崩壊 溶結凝灰岩転倒	48	168	40 mm/h が 3 時間連続する	そのほか1979~1992年に100m ³ 以下の表層崩壊・落石が4件発生している。降雨としては連続100mm以下、時間20mm以上。
		1993 8.6 ⁹⁾		法面・自然斜面の崩壊(14箇所) 盛土流出・路肩決壊(12箇所)	111	263		
山	一般国道10号 始良郡始良町重富 ~ 鹿児島市吉野町磯 (竜ヶ水地区)	1977 6.24 ¹²⁾	始良カルデラ西内壁で急斜面(平均40~50°)。溶結凝灰岩・安山岩の急崖(60~70°)が連続する。頂部までの比高150~500m。	溶結凝灰岩の岩体崩壊に起因した土石流	9	259	5/26(梅雨入り)から被害発生までの累積538mm	溶結凝灰岩頭部の亀裂変状は3年ほど前から進行していた ^{11), 12)} 。急崖脚部の湧水位置周辺の岩盤の緩み
		1993 8.6 ⁹⁾			100	217	7/2, 7/7, 8/1に200mm以上の降雨	
岩	一般国道220号 垂水市海潟小浜 ~ 垂水市牛根麓 (牛根地区)	1989 7.28 ⁹⁾	始良カルデラ南内壁で、大隅半島と桜島との接合部。急斜面(40~45°)で、頂部までの比高は200~350m。	ばら(降下軽石)の流出 斜面崩壊	39	118(ばら) 195(崩壊)		ばら流出の降雨条件 ⁹⁾ ① 7日先行雨量80mm + 連続50mm以上 ② 連続140mm以上(15mm/hの降雨強度), ばら流出のみの災害は300m ³ 未満, 150m ³ が多い。
		1993 9.3 ¹⁰⁾		ばら流出 斜面崩壊 土石流	93	392		

が発生していた。1993年鹿児島豪雨では、この地区は、8月10日台風7号と9月3日の台風13号の2回の土砂災害が発生した。地頭蘭ら¹³⁾は、1992年と1993年の土砂災害の発生と降雨との関係を調べて、24時間半減期の実効雨量で100mmに達した場合はばら流出が、200mm以上となる場合、斜面崩壊や土石流を伴った規模の大きな土砂災害になるとしている。

始良カルデラ壁を中心とする新しい火山岩類で構成される急斜面で発生する斜面崩壊と降雨との関係は、おおむね次のように区分できる。

a) 連続雨量100mm, 時間雨量20mmの場合: 河頭地区の小規模の崩壊・落石, 牛根地区のばら流出の始まりがこれに当たる。竜ヶ水地区では山が深いため気づかれないような災害といえ、小規模な崩壊によって土石流危険物質が堆積していく過程である。

b) 連続雨量150~200mmに達して、最大時間雨量が40mmに近い場合: 数字的には1/10確率年降雨¹⁴⁾より小さい。牛根地区でばら流出に加えて崖錐堆積物の移動が始まる。河頭地区では斜面崩壊の危険性が高まる雨量で、時間雨量40mm以上が続くと崩壊が懸念される。

c) 連続雨量が200mm以上に達して、最大時間雨量が50mm以上となる場合: 河頭, 牛根両地区とも斜面崩壊が発生しやすい状態で、地質的には似ている竜ヶ水地区でも崩壊が危険視されるべき降雨かもしれない。この降雨は鹿児島市における1/10確率年降雨に相当する数字である。

d) 連続雨量が250mm以上に達して、最大時間雨量として100mmに近いものがある場合: 1993年豪雨災害のように火山岩類分布地域で斜面崩壊や土石流が多発する状態となるのではないか(連続雨量は1/30~1/50確率年降雨程度, 時間降雨量の1/100確率年降雨は鹿児島市で89mm)。

3. 今後の防災対策(おわりにかえて)

ハード面での防災対策が進むことは、しらす斜面や火山岩類からなる斜面の耐降雨強度を高めることになる。ただし、崩壊危険斜面が数多くあることや比較的規模の大きな斜面崩壊が発生する降雨条件が1/10確率年降雨より小さいという条件のもとでは、単にハード面の対策では対応できないことも事実である。

そのためには、しらす地帯や火山岩類の分布地域などの災害危険箇所を明らかにする(ハザードマップの整備)とともに、斜面崩壊が発生すると予測される降雨指標を解析して、地域住民の避難誘導を図るような防災機能の向上が必要と考えられる。

しらす地帯の斜面崩壊を防ぐために、モルタル吹付工, 特殊法枠工, 植生工などの法面安定工法が従来から採用されてきた。しかし、これらの工法も完全ではなく、モルタル吹付工ではモルタル自体の劣化やモルタルと地山との付着力低下(空洞の形成), 特殊法枠工では植生の繁茂に伴う斜面上の土の土壌化(地山しらすの風化)とそれに伴う法枠の劣化(鉄筋の腐食)等が考えられ、追

跡調査の必要すら生じてきている。

1993年鹿児島豪雨災害から得られた土質工学的教訓は、しらす地盤における不飽和・飽和浸透挙動を早急に明らかにしなければ効率の良い、有効な防災対策を打ち立てることはできないということであった。今後、崩壊のメカニズムを各種センサーを用いて定量化する研究を進め、崩壊予知(または危険状態の察知)技術を高める必要がある。また、連続雨量や時間雨量といった降雨指標は、管理上では非常に取り扱いやすいが、崩壊発生をうまく表現できない場合も多い。防災対策に対応できる降雨指標(例えば実効雨量等)の研究も併せて進めたい。

最後に、降雨量と災害発生とのデータ等を提供いただいた建設省九州地方建設局, ならびに土質工学会「1993年鹿児島豪雨災害調査委員会」の委員各位に感謝申し上げます次第である。

参考文献

- 1) 下川悦郎・地頭蘭隆・中村淳子: シラス急斜面における崖くずれの周期性と発生位置の予知, 1986年梅雨末期集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関する調査研究, 1987.
- 2) 春山元寿・下川悦郎: 昭和51年6月豪雨によるがけ崩れと降雨量について, 昭和51年6月豪雨による鹿児島県の土砂および土石流災害に関する調査研究報告, 1977.
- 3) 坂上 務: 1969年南九州シラス地域の梅雨前線豪雨災害, 西部地区における災害の地域特性に関する総合研究, 1971.
- 4) 春山元寿・下川悦郎: 昭和47年6・7月豪雨によって鹿児島県内に発生した斜面崩壊の実態, 土と基礎, Vol. 21, No. 2, pp. 13~16, 1973.
- 5) 地頭蘭隆・下川悦郎・板垣 治ほか4名: 鹿児島県中部域の地盤災害(8.1災害), 土質工学会1993年鹿児島豪雨災害調査委員会報告, pp. 43~56, 1995.
- 6) 平野宗夫・守山総之・川原恵一郎: 鹿児島市における土砂災害発生限界雨量, 平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究成果報告書, 1994.
- 7) 矢ヶ部秀美・境 鉄雄ほか4名: 鹿児島市周辺の地盤災害(8.6災害), 土質工学会1993年鹿児島豪雨災害調査委員会報告, pp. 57~83, 1995.
- 8) 建設省九州地方建設局: 通行規制基準検討委員会資料, 1991.
- 9) 建設省九州地方建設局鹿児島国道工事事務所: 1993夏鹿児島風水害の記録, p. 89, 1994.
- 10) 小串正志: 一般国道220号の斜面災害復旧について, 土木施工, Vol. 35, No. 12, pp. 49~55, 1994.
- 11) 春山元寿: 鹿児島市吉野町竜ヶ水地区の山地崩壊・土石流災害について, 新砂防, No. 107, pp. 33~38, 1978.
- 12) 小林哲夫・岩松 暉・露木利貞: 始良カルデラ壁の火山地質と山くずれ災害, 鹿児島大学理学部紀要, No. 10, pp. 53~73, 1977.
- 13) 地頭蘭隆・下川悦郎: 垂水市域における地盤災害, 土質工学会1993年鹿児島豪雨災害調査委員会報告, pp. 84~100, 1995.
- 14) 鹿児島県土木部河川課: 鹿児島県における長期雨量確率, 1990.

(原稿受理 1995.1.30)