

鹿児島県竜ヶ水地区における土砂災害に関する 観測調査について

AN INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SAND DISASTER AND
UNDERGROUND WATER CONDITION IN KAGOSHIMA RYUGAMIZU AREA

佐伯 和人¹・武田 大典²・下川 悦郎³

Kazuto Saeki, Daisuke Takeda and Etsuro Simokawa

¹鹿児島県鹿児島地域振局（〒892-0817 鹿児島市小川町 3-56）

E-mail: kago-sabou@pref.kagoshima.lg.jp

²株式会社パスコ九州事業部技術部国土基盤課（〒812-0007 福岡市博多区東比恵 3-5-2）

E-mail: daisuke_takeda@pasco.co.jp

³鹿児島大学農学部（〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-24）

E-mail: sabos@agri.kagoshima-u.ac.jp

Key Words: debris flows, slope failure, underground water, rain fall, Ryugamizu Area

1. はじめに

鹿児島市の北部から始良郡始良町付近までの錦江湾海岸線には、始良火山（約 25,000 年前）によって形成された始良カルデラ壁が連続している。始良カルデラ壁では、過去において崖崩れや土石流が繰り返し発生しており^{1) 2) 3) 4)}、未だ山麓部の集落や国道 10 号・鉄道（日豊本線）等が土砂災害の脅威下にある。なかでも竜ヶ水一帯は、地形・地質的に土砂災害を被りやすい地区であり、その規模も大きく土砂災害発生機構の解明が望まれてきた。こうした中発生した 1993 年の災害では、竜ヶ水谷第二の大規模崩壊が、カルデラ壁肩部直下にまでおよび、台地側県道をはじめ被害の二次拡大が懸念された。このため、鹿児島県は、警戒監視の観測機器を導入するとともに、降水状況、地下水位、沢水流量などの砂防基礎データを収集し原因究明のための調査を行ってきた。以下に、これら成果の一部を報告する。

2. 竜ヶ水地区における地形地質概況について

(1) 地形状況

調査地区は、鹿児島市の北東端から始良町南東端

の錦江湾に面した斜面である。この斜面は、約 25,000 年前に現在「しらす」と呼ばれている火砕流を噴出してできたカルデラ壁に相当するものである。

調査斜面の比高は、170m から 520m へと北に行くにつれ高くなり、それに伴い溪流の規模や斜面の性状も徐々に変化しているが、大きくは以下の3地区に区別される。

- ①調査地域は南側(磯庭園～三船地区)の「比較的開析の進んだ斜面
- ②北半部(竜ヶ水地区～重富地区)の「急峻な壮年期地形」
- ③「上記①②との中間的な地形」を示す中央部の三船地区～竜ヶ水地区

表 2.1 調査地域の地形状況総括表

地区区分	地 形 の 特 徴	平成 5 年の災害状況
磯庭園～三船地区	全般に開析が進み不規則な細かい谷がやや多く入っている。斜面傾斜等も他地区に比べやや緩く、谷の規模は比較的小さい。	崖崩れ及び土石流が多発している。
三船地区～竜ヶ水地区	南側に比べると全般に急峻かつ単調で、斜面上部では急崖やV字谷が形成されているが、谷の出口付近は開けたU字谷となっていることが多い。谷の規模は比較的大きい。	崖崩れ及び土石流が多発している。
竜ヶ水地区～重富地区	壮年期地形ともいえる急峻な斜面が連続している。全般に急斜面を有するV字谷が発達しているが、開析はあまり進んでいず、比較的単調な斜面が多くなっている。谷の規模が大きい。	崖崩れや土石流の発生は少ない。

これらの地層を覆う形で、火山灰や崖錐堆積物等の未固結堆積物が分布している。

以下に地形地区区分に従って各地区の地質構成を述べる。即ち、礫地区から三船地区にかけては堆積岩である花倉層（難～不透水層）と砂岩及び溶結凝灰岩よりなる吉野火砕流が主に分布し、また三船地区から竜ヶ水地区にかけては上記の花倉層のほかに三船層と呼ばれる砂岩層や、竜ヶ水安山岩や三船流紋岩を中心とした溶岩類が主に分布する。そして、竜ヶ水地区以北には、安山岩類及び玄武岩類などの溶岩類が主に分布する。

また、崩壊や土石流に影響を与えることの多い湧水は、花倉層と礫凝灰質砂層あるいは吉野軽石流との境界面付近、玄武岩類と竜ヶ水安山岩との境界面付近で多く認められる。

前述したように、1993年8月災害時の崩壊・土石流は、竜ヶ水地区以南でとくに多発しているが、地質的には花倉層・竜ヶ水安山岩層・三船流紋岩等により多く発生している（図2.1参照）。

調査地の地質構造については既往研究成果（岩松ほか;1997）⁵⁾（横田ほか;1998）⁶⁾により、吉野台地全体について温泉ボーリング結果やカルデラ壁露頭の調査結果を用いた検討が既に成されており、花倉層、吉野火砕流が地形面と同様に内陸側に傾斜していることを明らかにしている。本調査による地質ボーリング結果等もこれに調和するものとなっている。

3. 1993年災害時の崩壊・土石流発生状況

竜ヶ水周辺地域では1993年災害時に計355箇所では崩壊・土石流が発生している。これらの箇所の地形・地質・特徴等について以下まとめる（表3.1参照）。

- ①調査地域全体の崩壊平面積は17.3haで、その崩壊率は2.8%に達している。とくに竜ヶ水地区以南における崩壊発生率は7.2%（竜ヶ水地区以北は1.2%）に及んでおり、1993年は土砂災害が複数箇所でも多発した。
- ②崩壊が引き金となって、土石流が発生した溪流は27溪流となっているが、そのうちの大半（24溪流）は竜ヶ水地区以南において発生している。
- ④崩壊の深さは、大半が1.0m以下となっているが、竜ヶ水地区以北では0.5m以下のものが最も多くなっている。
- ⑤崩壊の発生した斜面の傾斜角は、45°～55°のものが最も多くなっているが、竜ヶ水地区以南においては60°～70°前後のものも約1/4存在する。

表 3.1 1993 災害における崩壊・不安定土砂総括表

地区区分	流域面積 (ha)	崩壊箇所数 (箇所)	崩壊平面積 (ha)	崩壊土砂量 (m³)	崩壊発生率 (%)	溪床不安定土砂量 (m³)
竜ヶ水地区以南	163.6	189	11.78	128,310	7.2	154,180
竜ヶ水地区以北	452.1	166	5.47	80,000	1.2	65,080
計	615.7	355	17.25	208,310	2.8	219,260

⑥崩壊発生と地質との関係では、特定の地層（例えば礫凝灰質砂質土層や花倉層、竜ヶ水安山岩等）で崩壊が多発している傾向が認められる。これは、その地層のもつ地質性状（硬さ・風化の状況・亀裂の入り方等）や地下水状況（湧水の有無・透水性等）が関係しているものと考えられる。

4. 地下水位・沢水流量観測状況

(1) 観測概要

竜ヶ水地区台地上の調査ボーリング孔6孔に間隙式水圧計を設置し地下水位を観測した。また、崖下の2溪流の谷の出口付近において観測堰を設置し沢水流量観測を行った（図4.1参照）。また、これらの観測結果と降水との関係を明らかにするために台地上、崖下の2箇所に雨量計を設置した。

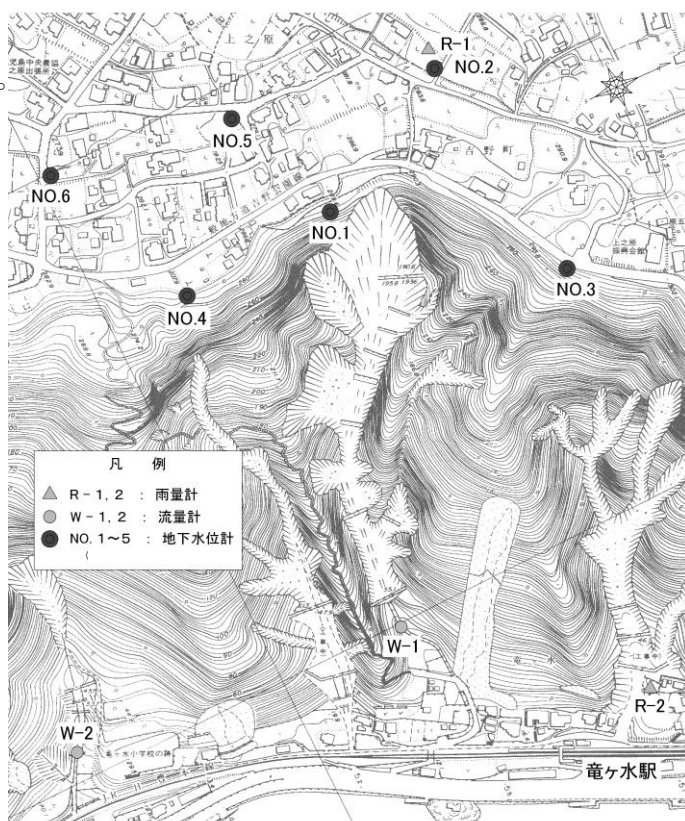


図 4.1 観測機器配置図

(2) 地下水位観測状況

地下水位の観測結果の一例を図 4.2 に示す。

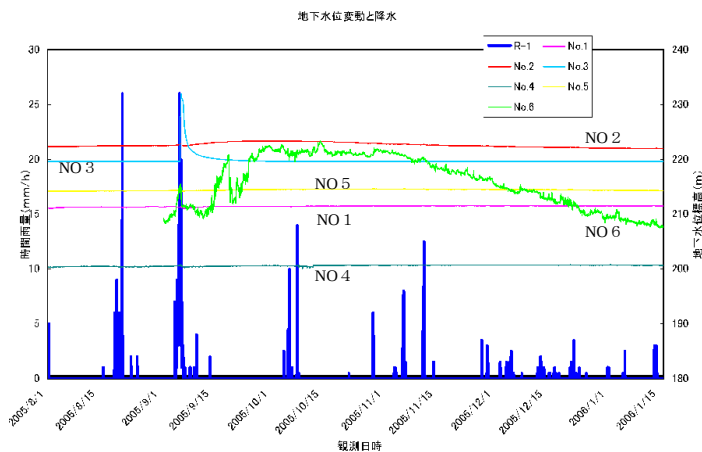
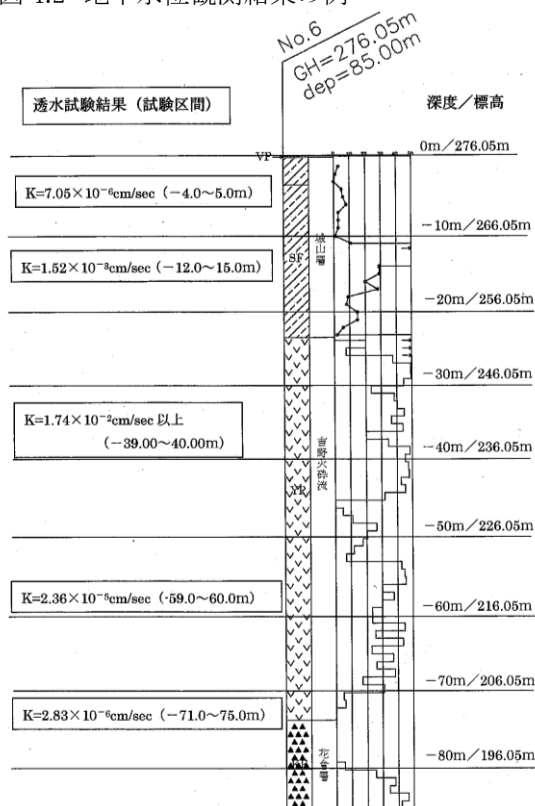


図 4.2 地下水位観測結果の例



	ボーリング孔	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6
地層	孔口標高	282.73	281.14	299.80	284.85	280.7	276.05
	吉野層上面	273.83	272.94	283.30	258.35	260.45	252.45
	吉野層下面-花倉層上面	217.93	222.94	224.90	205.25	219.1	202.45
	花倉層難透水層上面	210.33	212.24	223.20	202.25	207.2	196.25
	花倉層下面	孔底以下	207.94	孔底以下	孔底以下	孔底以下	孔底以下
	地下層	花倉層	吉野火砕流	吉野火砕流	花倉層	花倉層	吉野火砕流
水位 変動幅	最高水位	212.26	225.06	231.95	201.06	215.33	224.36
	最低水位	210.68	221.32	219.56	199.01	213.83	204.57
	水位変動幅	1.58	3.74	12.39	2.05	1.5	19.79
降雨後の 反応	小	中	大	小	小	大	
	ピークまでの時間	2475	865	7	2427	1844	247
	ピークまでの日 (早中遅)	遅	中	早	遅	遅	中

図 4.3 地形地質と地下水の関係と代表ボーリング結果

①花倉層中で水位変化を示す (NO. 1, 4, 5) は水位の変動幅が小さくピークまでの時間が長い。

②花倉層中ならびに吉野火砕流層中まで水位変化が及ぶ (NO. 2, 6) は水位の変動幅が大きくピークまでの時間が短い。

③北側崖部に位置する (NO. 3) は降雨と相関良く花倉層中ならびに吉野火砕流中を水位変化するが、平常時は水位は孔底にある。

これらの結果をまとめた一覧を図 4.3 に示す。

(3) 沢水流量観測状況

沢水流量について流況状況を基に検証を行った。観測結果の例を図 4.4 に示す。またこの時の流量、比流量を図 4.5 に示す。最大流量については W-1 (流域面積 0.08km²)、W-2 (流域面積 0.10km²) とともに 10,000 l/min、比流量で 2m³/sec/km² を超えており、降雨時に流域から水が集中する状況が認められる。

また、最大流量時の流量の増加の状況 (図 4.5 参照) をみると降水のピークと一致して短時間の内に流量のピークに達することが明らかになった。また、最大流量を観測した 7 月 5 日の降水の場合、W-1、W-2 共に 10 日間程度で降水前の流量に戻っている。

平水時については流量で W-1、W-2 に 30 倍程度の差があり、平水時の比流量については W-1 が 0.01 m³/sec/km² 以下であるのに対して、W-2 については 0.1~0.3m³/sec/km² と大きい。流域に降る降水量 (日平均降水量) から概算する平均的な流量や、流域面積がほぼ同じであることを考慮すると W-2 は流域外からの地下水が集まっているものと考えられ溪流により偏りが認められる。

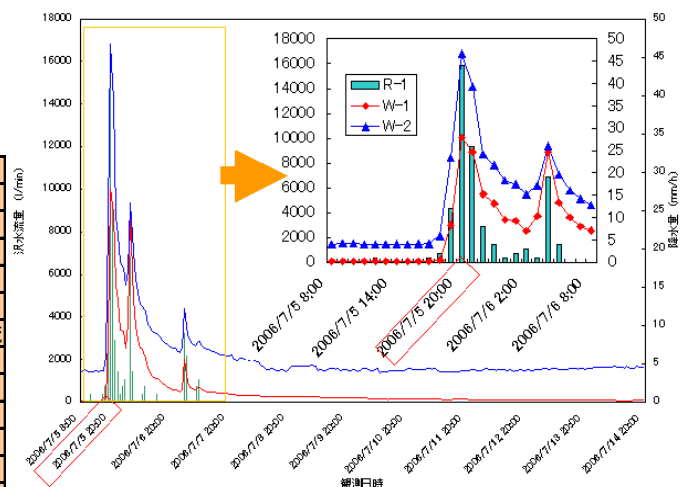


図 4.4 沢水流量観測結果の例

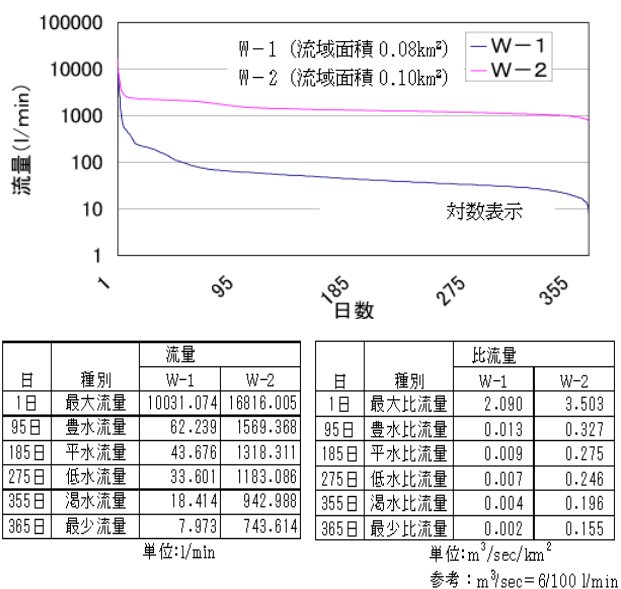


図 4.5 流況状況

5. 災害発生機構に関する一考察

これら観測の結果をとりまとめると以下のとおりである。

- ①地形に調和する内陸側への地質構造の傾斜は花倉層、吉野火砕流などにおいて本調査においても確認された。
- ②沢水流量を観測した2溪流の比流量の差等から台地側から地下水が多く流入している溪流が存在していると考えられ台地側から溪流への選択的な流出があることが明らかになった。
- ③透水係数は、ボーリング調査や地下水位の変動傾向から吉野火砕流層、花倉層ともに緻密な岩層部分では $\times 10^{-5}$ 乗～ -6 乗と透水係数は低く、吉野火砕流亀裂部や花倉層の粗粒部では $\times 10^{-2}$ 乗～ -3 乗前後の透水性を持つと考えられる。
- ④1993年災害後の現地調査では湧水箇所と斜面崩壊の関係が大きいことが想定されたが、今回の地下水位観測結果などからは花倉層中の地下水位の変化は降水に対して緩慢であり地下水位変化と斜面崩壊の相関性は明らかではない。

6. まとめ

竜ヶ水をはじめとする始良カルデラ壁一帯はこれまで繰り返し土砂災害が発生してきた。これらの土砂災害の発生を考えた時、降水と地下水位の短期から中長期的な変動との間に何らかの関係があるものと当初考えられてきた。しかし、1993年の土砂災害多発時に崩壊が多数発生した花倉層付近の地下水位

観測を継続的に行った結果、顕著な降水後も花倉層中の地下水位の変化は緩慢であり、土砂災害が集中豪雨の直後に発生することが多いことを考えると台地面の地下水位の変化が発生の要因となる可能性は限定的であることが示唆される。

観測を継続する中で幸いにも該当地域での大規模土砂災害は発生していない。しかし、小規模ながらカルデラ壁における土砂災害は繰り返し発生していることから、今後も観測を継続することによって災害発生への備えとなることが期待される。

謝辞：本報告を行うにあたり、竜ヶ水地区防災基礎調査検討会の鹿児島大学工学部北村良介教授、及び(NPO)地質情報整備・活用機構の岩松暉専務理事(鹿児島大学理学部名誉教授)には、御指導・御鞭撻を賜りました。

また、地元関係各位には観測に際して御支援を賜りました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 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崩れ災害, 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学)第10号, 1977
- 2) 春山元寿・下川悦郎：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, Vol. 30, PP. 33-38, 1978
- 3) 下川悦郎・地頭園隆・松本舞恵・三浦郁人・加藤昭一, 1993年豪雨災害による鹿児島県下の土砂災害, 平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究報告書, PP. 63-75, 1994
- 4) 大木公彦: 8.6災害と鹿児島市の地質, 1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査報告書, 73P, 1994
- 5) 岩松暉・横田修一郎：鹿児島県竜ヶ水地域カルデラ壁の物性層序と崩壊発生機構, 平成7・8年度文部科学省科学研究補助金一般研究B研究成果報告書(研究代表者岩松暉), 22P, 1997
- 6) 横田修一郎、岩松暉：ボーリング調査に基づく鹿児島湾竜ヶ水急崖の地質構造, 応用地質, 第39-2号, 193-201, 1998

(2008.5.16 受付)