



第一話 風化のメカニズム (つづき2)

都心から約100km地点に東名足柄橋という橋がある。筆者は宇都宮大学勤務時代、日本道路公団との共同研究で、建設中の足柄橋のニューマチックケーソン基礎の中で載荷試験をした経験がある¹⁹⁾。試験位置は富士山と箱根火山の境界部に位置し、周辺の地質は基盤岩が第三紀の足柄層群で、これらを洪積世の箱根火山噴出物、その上位に富士火山噴出物の泥流堆積物が覆っている。箱根火山噴出物の中には、ローム混りスコリアを主体とし部分的に火山砂、転石などを伴う白旗ローム層が分布しており、これが載荷試験地盤であった。



写真-3 ニューマチックケーソンでの載荷試験. 出典：前田ら (1991) ¹⁹⁾

ニューマチックケーソンの沈設過程で、深さが異なる3つの載荷試験地盤で合計8ケースの載荷試験を行った。下記に例示する2つの載荷試験は、深さ約-23m、N値が70以上の締まった地盤上で行ったCase I(載荷幅0.40mの正方形基礎)とCase II(0.40x1.20mの長方形基礎)である。載荷試験後、載荷版直下の地盤は粒子破碎の影響でやや明るい黄色に変色し、載荷版端からすべり線が複数発生していることが観察された。

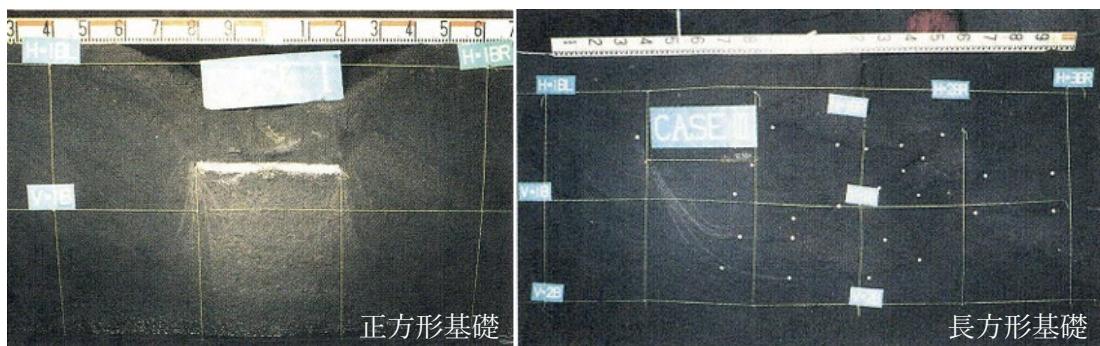


写真-4 載荷試験後に現れた地盤の変色とすべり線. 出典：前田ら (1991) ¹⁹⁾

併せて実施した不攪乱スコリア試料の力学試験から、スコリアには強度の応力依存性と異方性が確認された。この経験から火山噴出物の力学特性は実に複雑であるとの思いを強くした。本題の化学的風化のメカニズムに戻ろう。





1. 4 火山灰の化学的風化メカニズム

千木良は「風化と崩壊」²⁾の中で、1978年伊豆大島近海地震時に発生した崩壊性地すべりの研究から、地すべりの大きな原因の一つは「古土壤、つまり火山灰やスコリアの風化したものにあった」として、化学的風化メカニズムについての模式図を図-7のように示した。

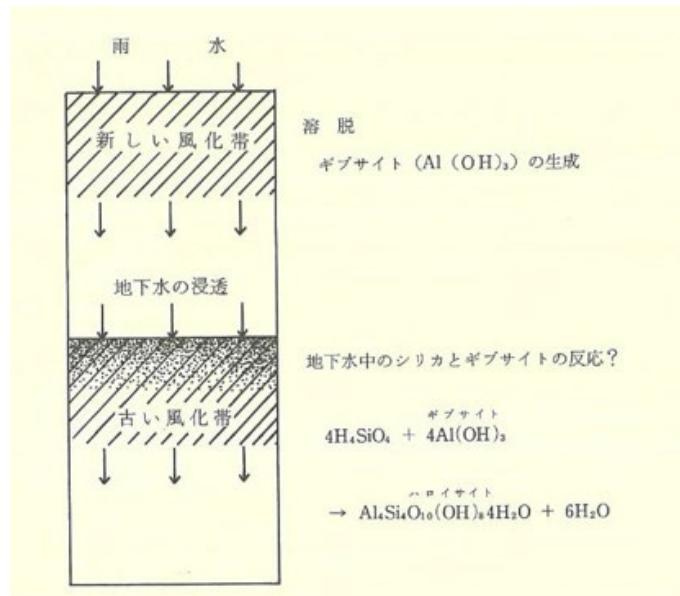


図-7 新しい土壤にギブサイトが含まれ、ハロイサイトが含まれず、古土壤にハロイサイトが形成されていることを説明する模式図。

出典：千木良（1995）²⁾

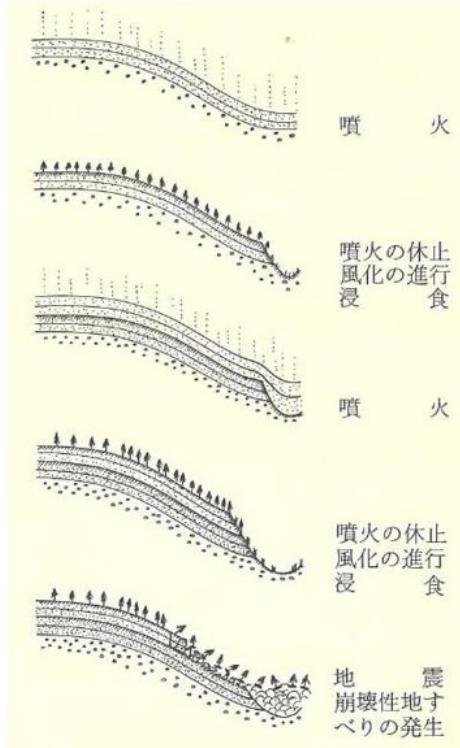
そのうえで3つの地震（1978年伊豆大島近海地震、1968年十勝沖地震、1949年今市地震）によって発生した火山噴出物の崩壊性地すべりの記録から、それぞれすべり面は、「ハロイサイトに富む古土壤の上部（伊豆大島近海地震）」、「火山灰と下の軽石層との境（十勝沖地震）」、「ハロイサイトに富む粘土層（今市地震）」であることを示した。後に千木良は「災害地質学ノート」¹⁾中の降下火碎物の風化帯構造で、図-7を再録して大略以下のように説明している。「降下火碎物は、堆積当初は硬質のガラスや火山岩片の集合で・・・非晶質のアロフェン、ギブサイトなどの粘土鉱物が形成される。・・・降下火碎物は一般に透水性が良く・・・古土壤の上のスコリアが堆積する前に古土壤にギブサイトが形成され、それがスコリアに覆われた後に、スコリアを通過してくる地下水のシリカと反応して、古土壤にハロイサイトが形成される。・・・地震時に崩壊性地すべりの発生した降下火碎物のすべり面はいずれもハロイサイトに富む層に形成されていた。」。

千木良は、「風化と崩壊」²⁾で火山の噴火、噴火の休止、風化、浸食と崩壊性地すべりの発生のプロセスを図-8のように描いて、次のように説明している。「火山が活動的であった時期には噴出物がつぎつぎに堆積するので、この時期の堆積物はあまり風化していないが、噴火の休止期間中には地表付近の火山灰が風化して土壤化するので、風化した層と未風化あるいは弱風化層が毛布を重ねたように繰り返す。そしていったん地表で形成された風化物は埋没してからも浸透水と反応を続け、変質していく。やがて火山の噴火が長い間やんで降雨や河川の浸食が堆積に勝るよ





うになると、噴出物の毛布はあちこちに破れができる。そして浸食の進行とともに破れは深くなっていく。結果的に、斜面に堆積した火山噴出物は斜面の下部の裾をはらわれたような形になり、安定性は低下していく。・・・地震は、このすべり落ちるきっかけを与えるのである。」



図一8 火山の噴火、噴火の休止、風化、浸食と崩壊性地すべりの発生。

出典：千木良(1995)²⁾

ここまで第一話として粘土斜面の物理的風化メカニズム、堆積性軟岩と火山灰の化学的風化のメカニズムを中心に風化について整理してみた。

1. 5 シラス崖の崩壊

火碎流堆積物の一つとして南九州のシラスがある。シラス台地の周縁部では降雨時に斜面災害が頻発してきている。建設省では1972年に鹿児島、宮崎の両県で危険個所の調査を実施し、危険な崖が2000箇所もあり殆どがシラス崖であったという。1975年には土木研究所はシラス地帯の斜面崩壊対策に関する調査報告書を発表している（土木研究所、1975）²⁰⁾。いくつか関連論文を読むと、どうもシラス崖の崩壊原因は前述した火山灰の化学的風化のメカニズムとは異なるようである。関連情報を少し付記しておく。

1. 5. 1 シラス斜面上基礎の載荷試験

筆者は、シラス斜面上基礎の載荷試験に参画した経験を持つ（毛戸ら、1988）²¹⁾。載荷試験現場は、熊本県人吉市内の九州自動車道の建設現場のシラスが厚く堆積した自然地盤である。専門



家によれば、当該地盤は姶良火碎流の軽石流堆積層である。地表面から8m程度掘り下げたN値が16—18程度のほぼ均質なシラス層を台形状に成形し、斜面肩に段切り基礎を構築して鉛直載荷試験を実施した。その様子が図-9である。

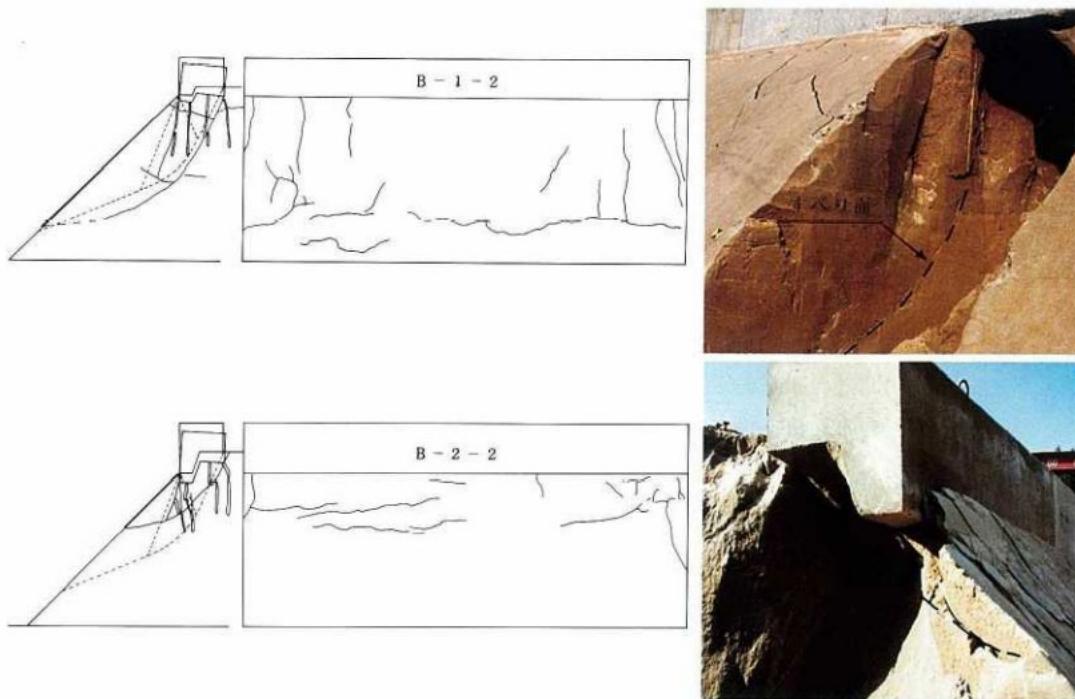


図-9 シラス斜面上の段切り基礎の破壊形式 出典：毛戸ら（1988）²¹⁾

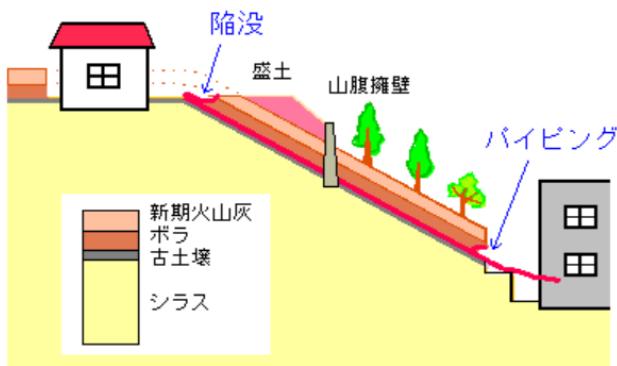
当時の筆者のシラスに対するイメージは、載荷試験現場で見たように均質で良く締まった砂質土であり、どのように斜面災害につながるかそのメカニズムがよく理解できなかった。

1. 5. 2 シラス災害

シラス災害の研究を長く行ってきた鹿児島大学には、理学部地学科の研究室のホームページ (<https://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/oyo/shirasu.html>)²²⁾がある。このサイトの更新は停止しているが、貴重な情報源をしてくれる。ホームページによれば、鹿児島で一番広く分布しているシラスは約2.4万年前に姶良カルデラから噴出した入戸火碎流堆積物で、シラスの上に載っているのが薩摩降下軽石（ボラ）で約1.1万年前桜島火山誕生時に噴出した、と説明している。（ボラは関東地方で言えば鹿沼土をイメージしておいてよさそうである。）

そして、第二次世界大戦直後には浸食災害があったことを指摘したのち、最近のシラス災害の類型を次の4つに分類している。すなわち「ボラすべり災害」、「表層すべり災害」、「浮きシラス災害」、そして「剥落型崩壊」である。





図一10 ボラすべり災害の模式図

出典：鹿児島大学理学部地学科研究室ホームページ²²⁾

ボラすべり災害は、緩いシラス斜面上に古土壤、ボラ、新規火山灰が堆積し、団地開発によって露出したボラ層に雨水が浸透し粘土化した部分がすべり面となってボラ層がすべる形態と説明されている。

一方、下川ら（1994）²³⁾は、シラス崖の斜面崩壊形態は表層崩壊がほとんどで、崩壊は比較的短期間に周期的に発生することを指摘している。この指摘から、シラスの主たる崩壊原因は化学的風化メカニズムではなく物理的風化メカニズムと考えてよさそうである。下川ら（1987）²⁴⁾は、崩壊事例を整理して斜面傾斜角とすべり土層厚さの関係を図-11のように図示して、ある斜面勾配に対してすべり土層厚さは最大値を持ち、その最大すべり土層厚さは斜面勾配の増加に伴い直線的に低下することを示した。地頭菌（2011）²⁵⁾はその図に2本の直線を引き（図上方の実線は最大崩壊土層の厚さ、下方の破線は最小崩壊土層の厚さ）、崩壊土厚さがある深さ（最小崩壊土層の厚さ）に達すると崩壊の危険性が高まることを警告している。図-11、12はとても興味深い観察事実である。



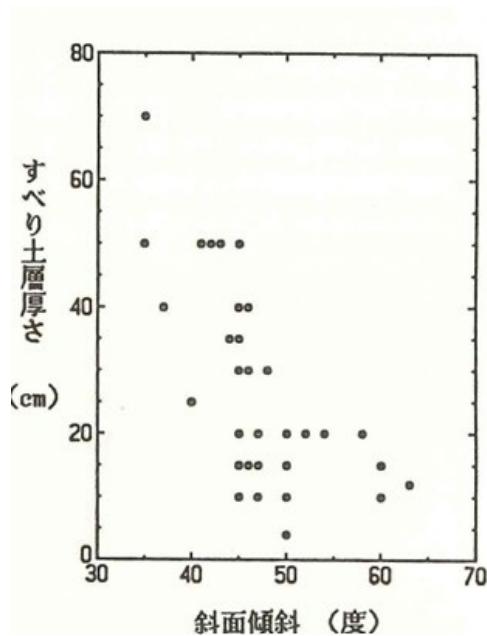


図-11 すべり土層厚さと斜面勾配

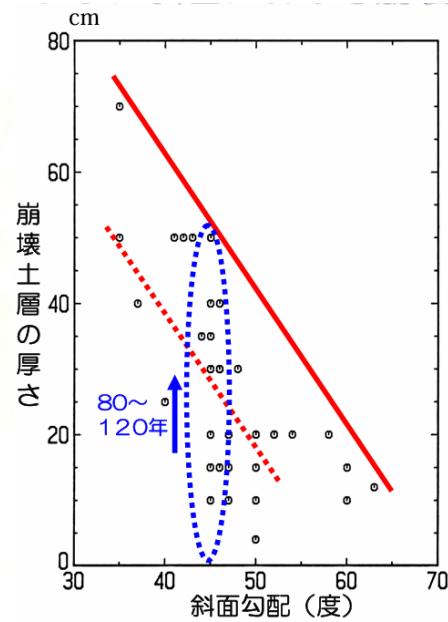
出典：下川ら（1987）²⁴⁾

図-12 崩壊土層厚さと斜面勾配

出典：地頭菌（2011）²⁵⁾

シラス台地の周縁の急斜面が表層崩壊を繰り返すと、法面下部に崖錐が発達する。シラス台地面から浸透した雨水は、シラスの下位の基盤層上を地下水として移動し、台地周縁の斜面脚部から湧出する（図-13）。するとシラス台地内からの地下水流によってパイピング崩壊が発生し、土石流化することが懸念される。

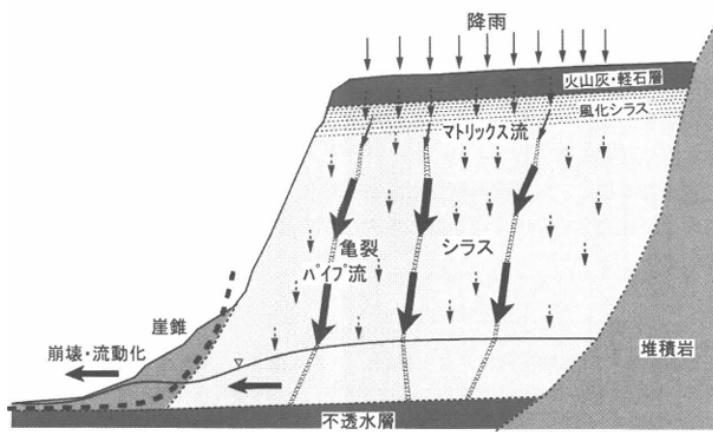
図-13 シラス台地内の雨水移動と崖錐崩壊の模式図。出典：地頭菌ら（2004）²⁶⁾

図-14 は地頭菌ら（2004）²⁶⁾によるシラス崖の表層崩壊から崖錐崩壊に至る一連のプロセスを説明したものでシラス災害の理解の手助けとなる。



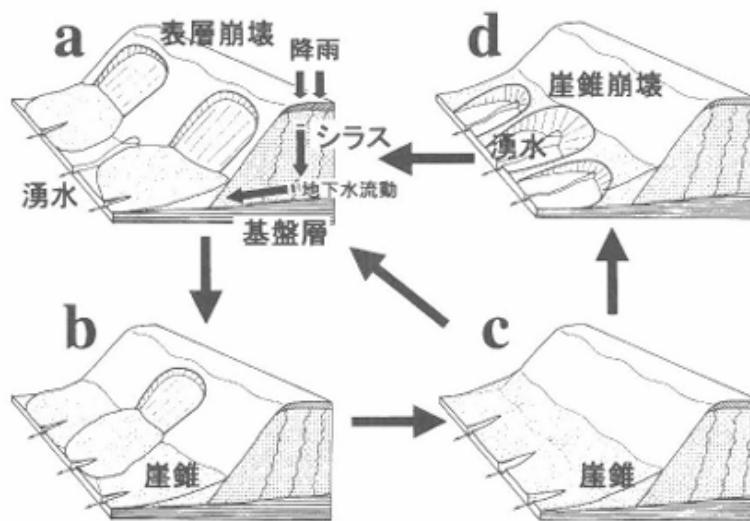


図-14 表層崩壊から崖錐崩壊へのプロセス

出典：地頭菌ら（2004）²⁶⁾

最近でもシラスの研究は継続的に行われていて、五十嵐の博士論文（2017）²⁷⁾では 1989 年～2010 年の間に発生した 239 か所の表層崩壊を検討している。

次回は、第二話として現場計測事例を取り上げてみる。

参考文献

- 19) 前田良刀、日下部治、大内正敏（1991）：密なスコリア層における大型三次元基礎の支持力特性、土木学会論文集 No. 430/III-15、 pp. 97～106.
- 20) 土木研究所(1975)：シラス地帯の斜面崩壊対策に関する調査報告書、土木研究所資料 998 号。
- 21) 毛戸秀幸、前田良刀、上原清治、日下部治（1988）：しらす斜面上の段切り基礎の大型模型載荷実験、土木学会論文集 No. 397/VI-9、 pp. 75～84.
- 22) 鹿児島大学理学部地学科：<https://www.sci.kagoshima-u.ac.jp/oyo/shirasu.html>
- 23) 下川悦郎、地頭菌隆、高野茂（1994）：しらす台地周辺斜面における崩壊の周期性と発生場の予測、森林科学、10 卷、pp.9-12.
- 24) 下川悦郎、地頭菌隆、中村淳子(1987)：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、科学研費報告書（研究代表者露木利貞）、pp.69-81.
- 25) 地頭菌隆(2011)：鹿児島県で発生した土砂災害と崩壊発生予測の研究、講演資料([鹿児島県で発生した土砂災害と崩壊発生予測の研究.pdf](#)).
- 26) 地頭菌隆、下川悦郎、寺本行芳、車張堅（2004）：南九州シラス地域の崖錐崩壊とその水文地形的背景、水利科学、48 卷 4 号、pp.27-48.
- 27) 五十嵐隆俊(2017):九州南部のシラス台地における崩壊の特徴と開析谷の発達過程、東京大学博士論文。



バックナンバー

シリーズ2

No.12 2025年12月5日

No.11 2025年11月21日

シリーズ1

No.10 2025年11月7日

No.9 2025年10月24日

No.8 2025年10月10日

No.7 2025年9月26日

No.6 2025年9月12日

No.5 2025年8月22日

No.4 2025年8月 8日

No.3 2025年7月25日

No.2 2025年7月 4日

No.1 2025年6月20日

