

12. 三波川帯の地すべり地形と地山透水性特性に関する考察（その2）

Characteristics of Landslides and Permeability in the Sanbagawa belt #2

○露口耕治、大矢基弘、菅原大介、青野涼音（㈱四電技術コンサルタント）、寺本光伸、栢木智明（（同）スイモン LLC）、野々村敦子、荒木裕行、山中稔、長谷川修一（香川大学）

はじめに

筆者らは令和3年度に「三波川帯の地すべり地形と地山透水性特性に関する考察¹⁾」で三波川帯が広域に分布する愛媛県大洲市で、空隙の多い地すべり堆積物が分布する流域について、基底流量（降雨が少なく地山の透水性を反映していると考えられる渇水時期の比流量で、以降渇水比流量と呼ぶ）の違いは流域の間隙量に密接な関係にあることに着目して、間隙が多い地すべり地形と渇水比流量の関係を述べた。また、水理地質構造の特徴が反映されている谷密度²⁾について、DEMデータによる定量的な地形解析（谷密度）を用いた評価を行い、その有用性について述べた。本論では、三波川帯の地上の露出部が狭隘となる佐田岬半島において、地すべり分布、渇水比流量、谷密度、水質の関係性を整理し、流出の特性について整理・検証する（図1）。

1. 調査地の概要と変状地形

調査地は、西南西-東北東に延びる佐田岬半島の主稜軸南側で宇和海に面する東西方向約7km、南北方向約1kmの流域を対象とし、基盤岩として西南日本外帯の三波川変成岩類に属する塩基性片岩が多く分布する。片理面の走向傾斜は、東西～北東-南西走向が多く、20～30°でおおむね南側に傾斜している。地すべり地形は、主稜軸の一部をなす大峰（標高358m）から西側へ延びる尾根、及び、南側に並走する標高200m前後の尾根周辺において、幅100m、長さ200mの規模のブロックが点在している（NIED）。当該流域に分布する地すべりの半分程度は風化の影響を受けて、地すべり地形が“部分的または著しく開析されている”様相となっている（図1）。

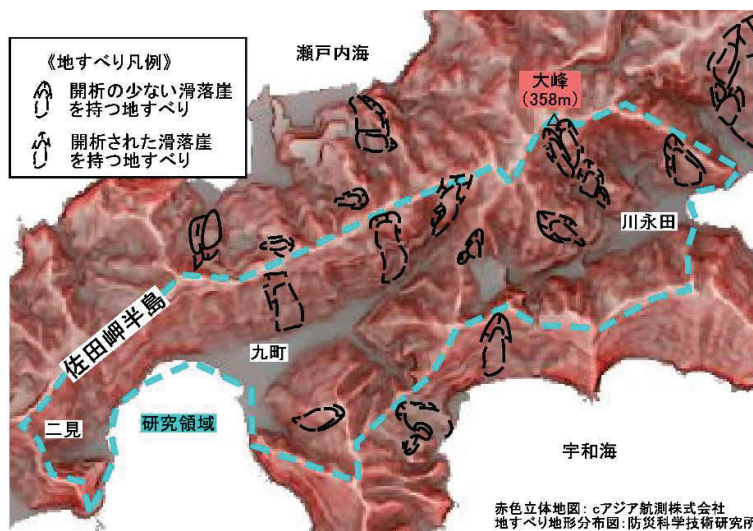


図1 調査位置図（赤色立体図）

表1 流域・比流量データ

流域名	流域面積 (m ²)	比流量(L/s/km ²)						地すべり 地形の有無	谷密度 (1/km)	傾斜 (°)
		R03.7	R03.9	R03.11	R04.1	R04.2	R04.3			
		多雨時期			渇水時期					
A	49948	3.2	1.1	0.2	0.3	0.0	0	あり	3.8	25.0
B	302018	8.2	6.1	2.1	1.8	1.0	0.8	あり	4.7	29.2
C	311809	12.7	11.4	4.1	1.3	0.8	0.6	あり	4.4	26.7
D	84628	4.2	4.9	0.6	0.7	0.1	0.2	なし	8.1	24.8
E	94766	6.2	10.7	5.6	2.7	2.2	2.6	なし	5.6	27.6
F	88032	1.9	0.1	にじむ	にじむ	0.0	0.0	あり	4.5	24.9
G	398020	8.4	9.6	4.5	3.7	6.2	2.2	あり	5.3	26.5
H	114926	12.3	9	3.4	2.6	1.8	1.8	あり	2.9	23.3
I	73270	5.9	6.3	1.1	0.4	0.0	0.1	なし	6.3	24.0
J	69642	18.9	8.6	13.2	7.7	5.1	6.5	あり	4.2	26.5
K	79682	1.3	16.5	1.3	0.0	0.0	0	なし	4.5	22.8
L	106543	8	6.3	1.1	1.9	1.1	0.8	なし	5.0	29.1
M	431003	3.9	2.4	0.9	1.2	0.3	0.1	あり	5.7	27.5
N	177038	7.3	4.2	1.1	0.8	0.6	0.5	あり	5.4	26.0
O	62737	2.9	3.7	0.2	0.0	0.0	0.0	あり	7.3	26.2
P	106167	2.6	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	あり	3.4	26.9
Q	95939	1.3	1.4	0.2	0.0	0.1	0.0	なし	4.6	27.5

2. 流域の地すべり地形と比流量との関係について

調査地を17の流域に区分し、令和3年7月～令和4年3月の期間中、概ね2ヶ月に1回の頻度で実施した計6回の流量観測を行い、“流域面積”、“比流量”、防災科学技術研究所の地すべり

地形分布図を参考に
独自に判読した地す
べり分布に基づいた
流域に内在する“地
すべり地形の有
無”、10mDEM データ
による“谷密度”、
“傾斜”を表 1 に整
理した。

また、全体的に比
流量の小さい令和 4
年 2 月を渇水時期の
比流量分布図を図 2
に示す。また、比流
量の大きい令和 3 年
9 月を多雨時期との
比流量の相関図も作
成した(図 3)。地すべり地形有流域については、
渇水比流量が大きくなる流域では多雨時期の比流
量も大きくなる正の相関がみられる。一方で、地
すべり地形無流域でも同様の正の相関がみられる
が、渇水比流量が全体的に小さく(2L/sec/km²程
度以下)、地下水を貯留する地すべり土塊の間隙の
多さによる影響が考えられる。

3. 主要成分分析について

本研究地内における 14 箇所の主要成分分析結果
を示す(図 4)。一部を除いて全体に溶存成分は少な
く、水質のタイプとして流動の早い地下水「Ⅰ型」
と流動の遅い「Ⅲ型」の非重炭酸カルシウム型の 2
タイプに分類される。全体の 4 割が「Ⅲ型」に分類
され、その一部で硫酸イオン(SO₄²⁻)が多いものが
みられる。一般的に硫酸イオンは自然界で溶存す
ることは稀であり、地下深部からの供給や肥料・
農薬等による汚染等の影響が考えられる。

4. 流域谷密度と傾斜について

令和 3 年度の発表では、地すべり地形を判断す
る上での空中写真判読の個人差が、地すべり地形
と渇水比流量との相関の精度差を生じさせる可能
性に着目して、10mDEM データを使用した地形解
析(谷密度)との相関について述べた。

本論では、更なる地形解析として流域の「傾斜」
も検討した。谷密度と傾斜の相関について図 5 に
示す。なお、各流域のそれらの値は表 1 に併記し
ている。

多雨時期
(R03.09)

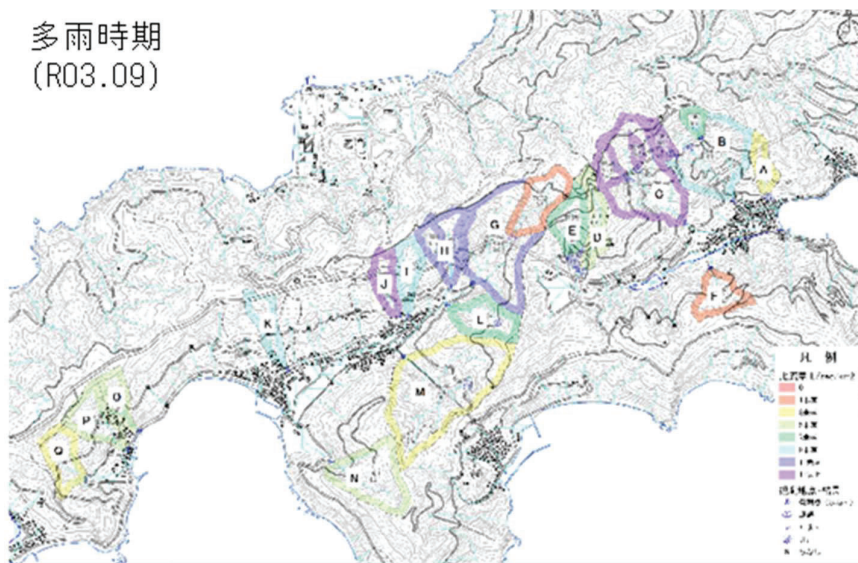


図 2 渇水時期の比流量分布図

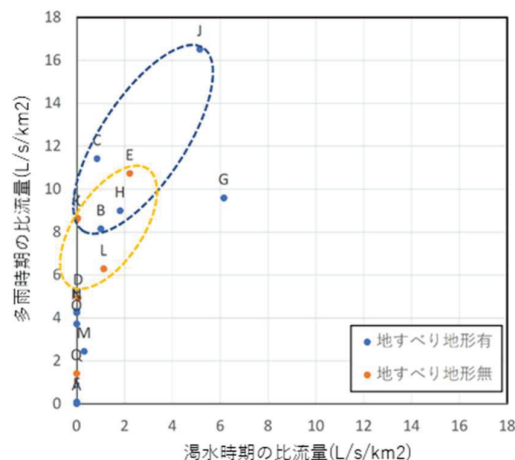


図 3 渇水時期と多雨時期の比流量の相関

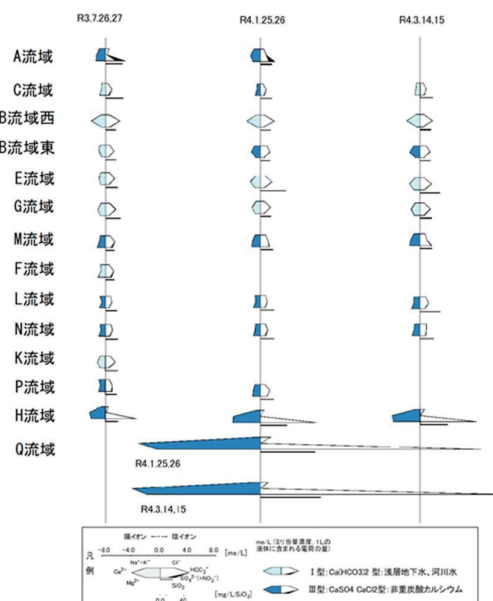


図 4 主要成分分析結果

一般的に地すべり地形有流域は、谷密度・傾斜が小さく、無い流域は地形の開析が継続的に進むために谷密度・傾斜は大きくなる傾向が考えられる。一方で、図 5 によると、傾斜については 22~29 度で全体にバラツキがみられるものの、谷密度について地すべり地形有流域で 3~6 1/km、地すべり地形無流域で 4.5~8 1/km の範囲に分布しており、地すべり地形有流域は全体に小さくなる。

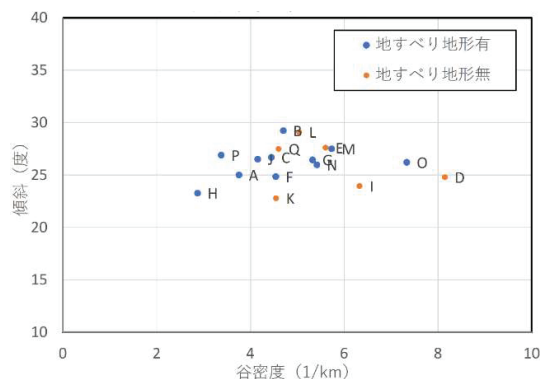


図 5 谷密度と傾斜の相関

5. 地形解析と湧水比流量との関係について

谷密度と傾斜の相関性は明瞭ではないことを前述したが、湧水比流量と谷密度及び傾斜の関係について、図 6 に示した。サンプル数が少ないが、この図によると地すべり地形有流域について、谷密度が小さいと比流量が大きく、谷密度が大きいと比流量が小さくなる負の相関が僅かに伺える。また、地すべり地形無流域では、地すべり地形有のプロット領域の中で、湧水比流量が比較的小さい領域に分布している。なお、傾斜についても谷密度と同程度の相関性がみられ、谷密度と同様の検討が可能な指標であると考えられる。

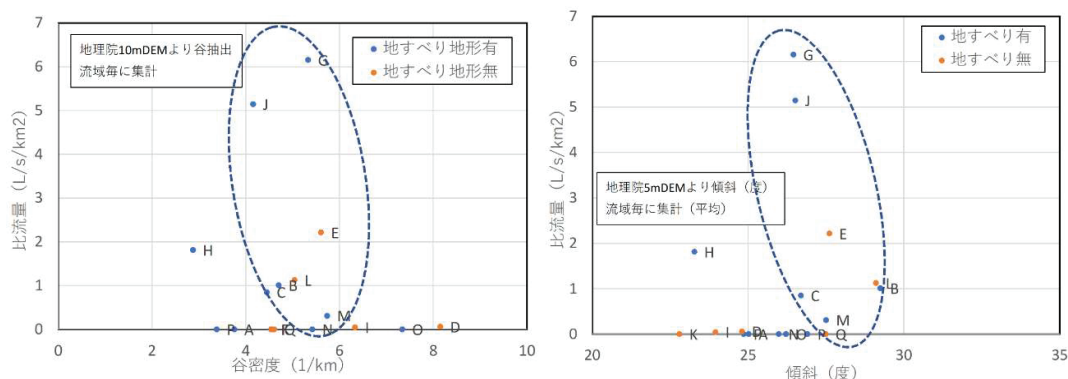


図 6 湧水比流量及び谷密度と傾斜の相関

6. 水質と比流量との関係について

一般的に循環の速い地下水（トリリニアダイヤグラムで I 型に分類される地下水）は、陽イオンで Ca イオンが突出する特徴がある（図 4）。地下水として滞留が長くなると Ca イオンは Na イオンに置き換わり、Na イオン濃度が高くなる傾向がある。ここでは、Na と Ca イオン濃度に着目し、流動早いと評価される「I 型」の Na/Ca 濃度比と比流量及び地形解析との相関を図 7、図 8 に示した。

比流量が多い流域は、流域内の岩盤の空隙が多く地下水貯留しやすい流域といえ、その場合、比流量の少ない流域に比べ多い流域の方が地下水の滞留時間的が長くなっていると想定される。以上を踏まえて図 7 をみれば、ばらつきはあるが相対的に Na/Ca 比が大きくなれば比流量も大きくなる傾向が認められる。この関係は、比流量の多い流域において地下水滞留時間が長くなる傾向と一致している。

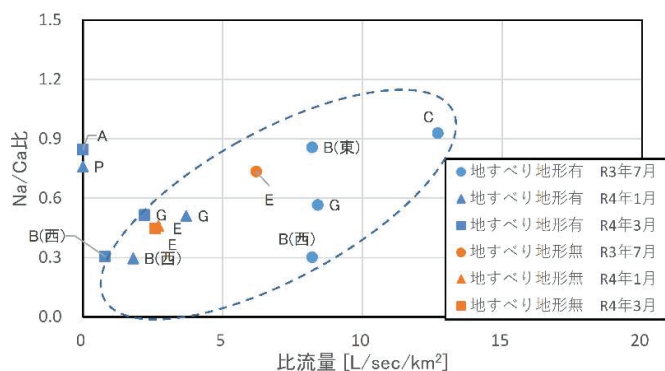


図 7 比流量と Na/Ca 比（I 型）の相関

また、図 8 で示した谷密度及び傾斜との相関についても、全体的にばらつきが多いが、傾向として谷密度や傾斜が小さくなれば Na/Ca 比が大きくなる傾向がみられ、“5. 地形解析と湧水比流量との関係”の結果と概ね符号する。

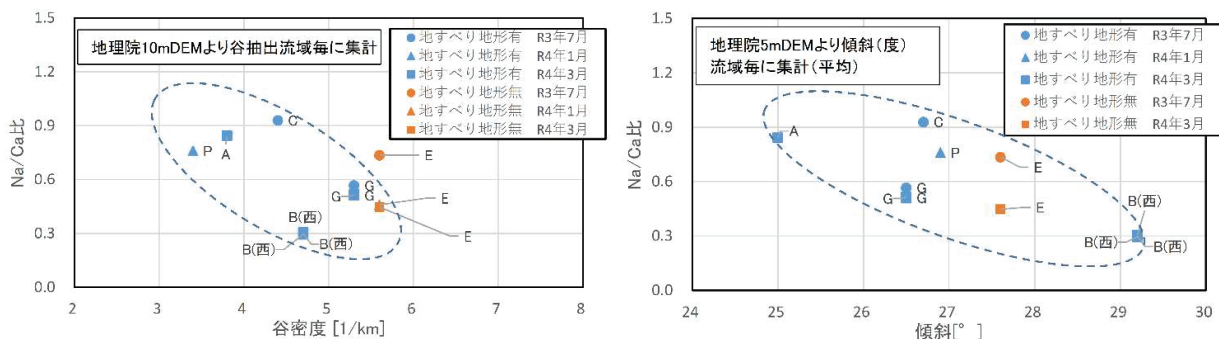


図 8 Na/Ca 比（I 型）及び谷密度と傾斜の相関

6. まとめ

本論では、令和 3 年度の長浜地区での流域地形と比流量について、同様の検討を 2 オーダー程度小さいスケールの当該流域に対して検討したものである。これまでの検討結果を以下に総括する。

① 流域の地すべり地形と比流量との関係

地すべり地形の有無に関わらず湧水比流量と多雨時期の比流量は正の相関がみられるが、地すべり地形無流域では比流量が全体的に小さく、地下水を貯留する間隙の影響が考えられる。

② 主要成分分析について

流動の早い地下水 I 型と流動の遅い III 型の非重碳酸カルシウム型の 2 タイプに分類される。全体の 4 割が III 型に分類され、その一部で硫酸イオン (SO_4^{2-}) が多いものがみられる。一般的に硫酸イオンは自然界で溶存することは稀であり、地下深部等からの供給が考えられる。

③ 谷密度と傾斜について

谷密度について地すべり地形有流域で 3~6 1/km、地すべり地形無流域で 4.5~8 1/km の範囲に分布しており、地すべり地形有流域は全体に小さい谷密度となっている。

④ 地形解析と湧水比流量・水質との関係について

地すべり地形有流域について、僅かに谷密度と湧水比流量に負の相関が伺える。傾斜についても同程度の相関がみられ、谷密度と同様の指標となりうる。また、地下水滞留時間に関連する Na/Ca 比に着目しても、概ね符号した結果となった。

総括すると、流域スケールが小さくなった場合でも、地すべり地形と湧水比流量について明瞭ではないが同様の相関がみられそうである。今後は、三波川帯結晶片岩地帯以外の地すべり地形と湧水比流量と地形の相関についても検討したい。

参考文献

- 1) 露口耕治・大矢基弘・寺本光伸・栢木智明・小路和弥・野々村敦子・荒木裕行・山中稔・長谷川修一 (2021)：三波川帯の地すべり地形と地山透水性特性に関する考察，日本応用地質学会中国四国支部令和 3 年度研究発表会要旨
- 2) 木下博久・長谷川修一・野々村敦子・山中稔 (2019)：谷密度を指標とした流域スケールにおける斜面崩壊危険度評価手法の検討，応用地質，第 59 巻，第 6 号，pp. 472-484.