

12. 水質と比抵抗値から推定した地すべり地の地下水流動特性

—いの町葛地すべりを例にして—

The Groundwater flow characteristics of the Landslide estimated from water quality and the electrical resistivity

—An example in Kuzu Landslide, Ino-town area—

○宮地修一・中根久幸・中島昇（株式会社 地研）
川崎逸男・永野芳弘（株式会社 ジェイ・シー・アール）

1. はじめに

地すべりが滑動する誘因には、降水による地下水の変動、地震による水平力、人為的な地形改変等が挙げられる。その中でも多いのは、集中降水等によって急激な地下水量増加が発生し、地下水の間隙水圧が上昇することによってすべり面の抵抗力が低下し、地すべり滑動が起こることが知られている。このような状況の中で、地すべり内部の地下水を排除し、地すべり滑動を抑制する地下水排除工が数多く施工されている¹⁾。

しかし、地すべり滑動によって地質構造が乱され、地盤内の亀裂や面構造が不規則に形成されることもあり、地下水の位置や流動経路が複雑となって、効果的な地下水排除の実施は大きな課題である。そこで効果的な地下水排除に向けて地下水位観測や高密度電気探査等による地下水状況の推定が試みられているが、十分な効果が得られていない事例も少なくない。これらの課題を解決する第一歩として、地すべりブロック内の地下水流動状況を精度よく把握することが重要と考える。

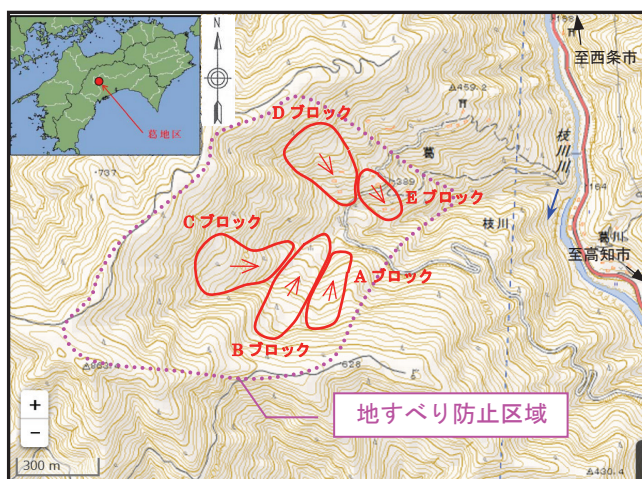


図-1 葛地すべりと周辺の概要
(国土地理院地形図²⁾に加筆)

本研究では、高知県高岡郡いの町にある葛地すべり（林野庁所管）の地下水流動特性を把握することを目的として、渓流水と地下水の水質分析と高密度電気探査（電圧差分解析）を実施した（図-1）。本地すべりは、対策工としては、排水ボーリングと集水井の地下水排除工が主体で、地すべり滑動変位を把握するための伸縮計と孔内傾斜計の計測、それに加えて地下水位観測が実施されている。また、地すべり対策実施前に高密度電気探査も実施されている。本稿では、地すべり地の既往の地質データを基に、水質と比抵抗値の状態や変化に着目して、同地すべりの地下水流動特性を考察した結果を報告する。

2. 地形・地質と地すべり概要

2.1 地形

調査地は四国山地のほぼ中央部に位置し、吾北山地の南側に属する。吾北山地は、地質構造の特徴である SWW-NEE 方向の帯状地層配列に支配され、同方向の地壘山地である。平均最高標高は 900～1,000m 程度で四国山地の中では比較的標高の低い大起伏山地（およそ 1km 四方の最高標高と最低標高との差である起伏量が 400m 以上）である（図-2）³⁾。

2.2 地質

高知県（1982）によれば，調査地は秩父累帯秩父垂帯の上八川層（ジュラ系中部統）に区分される⁴⁾。ただし、近年の研究では，同地区は変成度が高い思地ユニットに区分され，三波川帯に区分されている⁵⁾。岩相は，主に砂岩勝ち砂岩と泥岩の互層・泥岩勝ち砂岩と泥岩の互層からなり，一部酸性凝灰岩を挟み，その中に層状チャート・石灰岩・塩基性凝灰岩のオリストリスを含んでいる。同層の走向はほぼ東西方向で，南に急傾斜しているところが多いが，部分的に北傾斜することもある⁶⁾。



図-2 調査地周辺の地形区分図³⁾

(1/5万の地形区分図を1/10万に縮小して加筆)

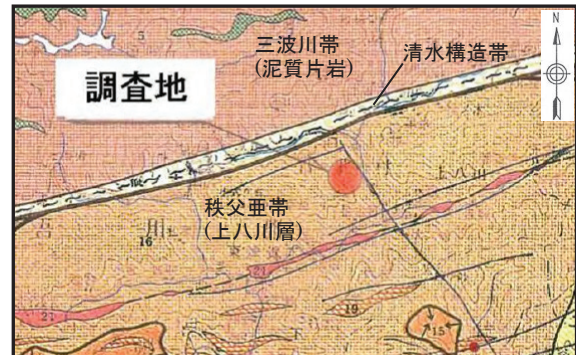


図-3 調査地周辺の表層地質図⁴⁾

(1/20万の地質図を1/40万に縮小して加筆)

2.3 地すべり概要

葛地すべりは林野庁所管の地すべり防止区域（第574号，指定面積88.3ha）で，昭和53年5月31日に防止区域に指定されている。翌年の昭和54年から地すべり調査が実施され，一時中断を挟んだのち平成13年以降調査が再開され，現在まで調査・対策・観測が継続されている。同地すべりは大きく5ブロックに区分されている（図-1）。

地すべりは，標高860mを尾根とし，中央部に侵食の進んだ谷地形が発達して，地すべり滑動の進行に伴い荒廃が進んでいる。谷部では兩岸の侵食崩壊が激しく，次第に上方斜面に波及している。地すべり地内の地質は，泥岩，凝灰岩が主体で，風化や地すべり運動の影響を受けて，深部まで著しく脆弱化している。地層の走向は，周辺部ではほぼ東西方向で，北に50～60度傾斜の区間が多い。また，対策工は平成13年以降から適宜実施され，排水ボーリングや集水井を主体とし，浸食された谷筋には，谷止工，護岸工，水路工等が実施されている。

3. 地下水の流動特性

3.1 水質

平成28年7月25日に，葛地すべりのA，Bブロックの地下水と表流水の水温，電気伝導度およびpHを観測した（図-4，表-1）。

水温は，地下水が14～15℃程度，渓流水が17～18℃程度で，地下水が渓流水より約3℃低い状況であった（調査時の気温は23～24℃）。

電気伝導度（EC）は，地下水が3～9mS/m程度，渓流水が10～15mS/m程度であった。また各排水ボーリングの先端部付近の地表面からの深度で区分すると，GL-15m付近で3～7mS/m程度，GL-20m付近で9mS/m程度となった。地下水排除工の地下水が全て排水ボーリングの先端部からの水とは限らないが，深部ほどECが高い一般的な傾向を示している。

水素イオン濃度 (pH) は、地下水が 7.3~7.5 程度、渓流水が 7.6~8.0 程度で、渓流水の方が 0.3~0.5 程度高くなっている。これは、地下水には降水 (酸性) が地表から浸透し、渓流水よりやや酸性側にシフトしている可能性がある。

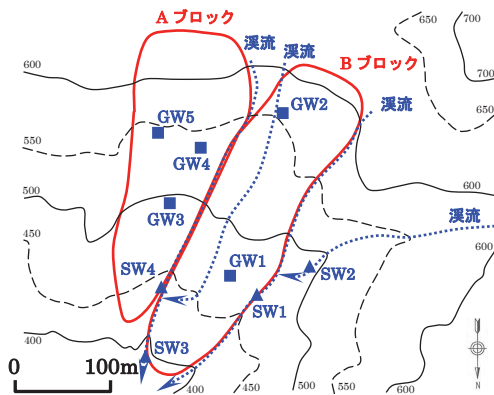


図-4 水質試験の採水位置

表-1 水質試験結果 (平成 28 年 7 月 25 日)

地点	時刻	水温 T(°C)	電気伝導度 EC (mS/m)	水素イオン 濃度 pH	備考
渓流水	SW1	12:57	17.9	11.8	7.86
	SW2	11:01	17.6	14.9	8.02
	SW3	13:00	17.5	10.3	7.80
	SW4	12:51	17.2	10.3	7.58
地下水	GW1	11:56	14.6	5.8	4号集水井 (先端GL-12m)
	GW2	11:43	16.7	9.1	5号集水井 (先端GL-20m)
	GW3	12:25	15.1	8.9	4号排水Bor (先端GL-20m)
	GW4	12:32	16.9	6.9	6号排水Bor (先端GL-16m)
	GW5	12:40	14.6	2.5	5号排水Bor (先端GL-16m)

3.2 電圧差分法による比抵抗分布と比抵抗変化率

平成 28 年 8 月 30 日~9 月 1 日にかけて、地すべりブロックの確認と地下水の流動特性を把握する目的で、Bブロック下部の B-1,2 ブロックの横断方向に 2 次元の高密度電気探査を 3 測線実施した (図-5)。

今回の探査では、地下水の流動状況をより精度よく把握することが出来る電圧差分解析を採用した。電圧差分法とは、同一の電極配置で電圧のみを変化させて行う測定法である。併せて、得られた比抵抗値の差分 ($\Delta \rho$) より比抵抗変化率 ($\Delta \Omega$) を分布として取り出し、その変化率が大きいところ程地下水流動が生じているとして、地下水流動箇所を抽出する方法である。

探査の結果、地すべり移動土塊の比抵抗値は概ね $1000\Omega \cdot m$ 以上を示しており、滑動による

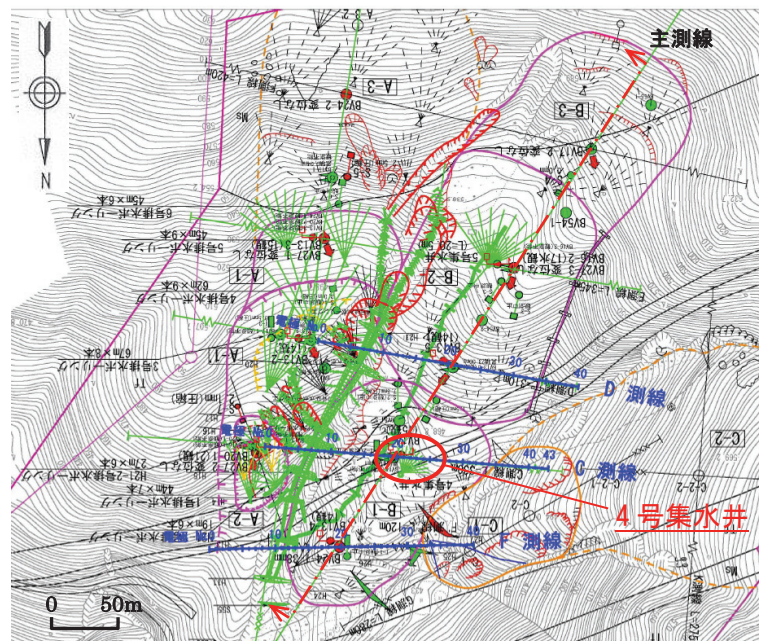


図-5 高密度電気探査の実施測線位置

岩盤の風化や脆弱化、亀裂系の開口等が要因と考えられ、既往のボーリング調査や弾性波探査の結果とも比較的一致する (図-6)。地下水の流動箇所 (比抵抗変化率が 20%以上の範囲) は、斜面上部の D・C 測線より同下部の F 測線の方が徐々に縮小傾向にあり、C 測線付近の地下水排除工 (4号集水井、図-5) の効果が一定現れていると思われる。また、D 測線の推定すべり面より下方に比較的大きな地下水流動範囲が認められ、その下方の C・F 測線ではそれが認められないことから、Bブロックの下部にはすべり面より下方の地下水が地すべり土塊内に供給

されている可能性が考えられる。

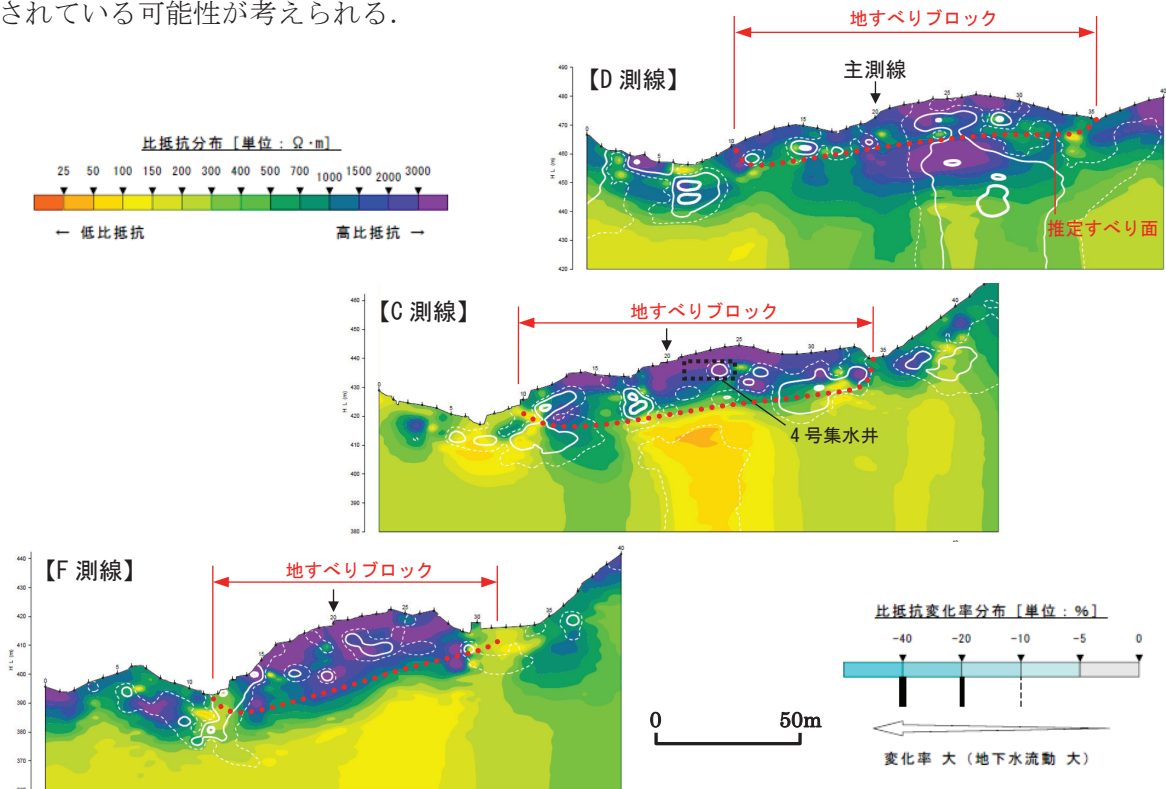


図-6 比抵抗分布と比抵抗変化率分布の2次元解析断面

4. まとめ

葛地すべり (Bブロック) には、主に移動土塊内に分布する降水の影響を受け易い表層の地下水と、すべり面より下方のやや深い地下水が存在する可能性がある。また、移動土塊内の地下水流動経路は、尾根筋や谷筋に関係なく全体的に分布している。これは地すべり滑動に伴って、層理面や節理面等の弱面が開口するなどして、亀裂系の連続性が全体的に発達しているものと推察される。

5. おわりに

今後は、水質データの蓄積による季節的な地下水性状の変化や、過去の高密度電気探査結果と今回の探査結果の比較等を行い、より詳細に地下水流動経路を明らかにしたいと考えている。併せて、これまでの降水量や地下水位、地下水排除工の排水量、地すべり移動観測データ等を総合的に解析し、地すべりの滑動性評価や対策工の効果判定を可能な限り定量的に行っていきたいと考えている。

最後に、この様な有意義な経験の場を与えていただいた高知県 林業振興・環境部 中央西林業事務所の方々に、ここに記して感謝の意を表します。

【参考・引用文献】

- 1) 地盤工学会 (2008) : 入門シリーズ 34 「地下水を知る」, 丸善出版, pp.94-98
- 2) 国土地理院ホームページ : 地理院地図(電子国土 Web), <http://portal.cyberjapan.jp/>
- 3) 高知県 (1982) : 土地分類基本調査「伊野」5万分の1, 薄冊, pp.9
- 4) 高知県 (1991) : 高知県温泉水脈推定基礎地質図
- 5) 脇田浩二・宮崎一博・利光誠一・横山俊治・中川昌治 (2007) : 伊野地域の地質, 独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター, pp.59-63
- 6) 須鎗和巳・岩崎正夫・鈴木堯士 (1991) : 日本の地質 8 「四国地方」, 共立出版, pp.68-69