

氏 名 (本 国 籍)	横山 賢治 (静岡県)
学 位 の 種 類	博士 (農学)
学 位 記 番 号	農博甲第 7 9 4 号
学 位 授 与 年 月 日	令和 5 年 3 月 1 3 日
研 究 科 及 び 専 攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻
研究指導を受けた大学	静岡大学
学 位 論 文 題 目	地すべり内部の浅層地下水が深層地下水動態に与える 影響の解明
審 査 委 員 会	主査 静岡大学 准教授 飯尾 淳弘 副査 静岡大学 教 授 今泉 文寿 副査 岐阜大学 教 授 大西 健夫 副査 静岡大学 助 教 江草 智弘

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、家屋の倒壊や道路の寸断、河川閉塞による天然ダムの形成等、社会生活に大きな影響を与える斜面変動現象である地すべりの誘因である深層（すべり面付近）の地下水位の上昇機構を明らかにするため、地すべり表層の地下水が深層の地下水に与える影響の評価を目的とする研究成果をとりまとめたものである。

降雨降雪によってもたらされた大量の水は、地下に浸透してすべり面付近の間隙水压を上昇させ、その結果地すべりの移動速度は上昇する。すなわち、地すべり内部の地下水流動を知ることが、地すべり解析や地すべり対策に大きな意義を持つ。しかし、地すべり内部を流動する地下水の挙動はいまだに解明されていないことが多い。特に地すべり表層に形成される地下水が、どのようにして深層の地下水に影響を与えているかは研究が進んでいない。そこで既往の地下水位の観測手法を系統的に整理したうえで、様々な観測手法を組み合わせた総合観測と水収支解析を地すべり地において実施した。

論文は 7 章で構成されている。

まず第 1 章では研究の背景と目的を説明している。

続く第 2 章では既往の地下水調査を系統的に取りまとめ、地すべり地における地下水動態の把握に有効な手法について議論した。その結果、地下水観測手法には、観測孔内部の地下水の深度を直接計測する孔内水位測定や、観測孔に食塩などを投入して電気伝導度の回復速度の差を観測するトレーサー試験、観測孔の水や湧水の水質分析など、地下水の状態を直接的に計測する直接的な手法と、電気探査や温度探査、流水音探査、電磁波探査等、直接水に触れずに地下水の分布を推定する間接的手法の 2 種類に分けられることを示した。直接的な手法は、地下水の深度や流動深度、起源の同一性を直接確認できる。しかし、得られる情報は点の情報であることから広範囲の調査には大きな労力を要する。間接的手法は、広範囲の地下水情報を得ることができるものの、地下水と近い物理特性を有する土壌や地質が混在する場合にはその分離が

難しく、地下水の分布の推定結果に不確実性が残る。これらのレビューに基づき、直接的手法と間接的手法を適切に組み合わせることで、精度の高い 3 次元的な地下水情報を得ることができる可能性を示した。

第 3 章では本研究で地下水調査を行った静岡県浜松市天竜区相津地内の地すべり地の気象条件や地質、地すべりの特徴について説明を行った。

第 4 章では第 2 章のレビューに基づいて行った、浅層地下水に関する網羅的な調査の方法と結果を示した。直接的手法である浅層地下水観測孔を用いた浅層地下水位観測の結果、場所により水位の挙動が異なることを明らかにした。深層地下水観測孔により観測された深層地下水位は、浅層地下水位に比べ緩やかな水位上昇と低下挙動を示した。間接的手法である 1 m 深地温探查を実施した結果、降雨時には特定領域に地下水流出経路が形成されていることが判明した。また地下水の Ca イオン濃度を解析した結果、降雨時に Ca イオン濃度が局所的に低下することを示した。浅層地下水位観測結果から等水位線を作成した結果、等水位線は地表の地形と異なる形状を示しており、浅層地下の地下水流動方向は必ずしも地表の最大傾斜方向と一致しないことを明らかにした。この結果は 1 m 深地温探查と整合性を有する。

第 5 章では、第 4 章の結果を用いた水収支解析を行った。浅層地下水位と深層地下水位のピークの時間差を調べたところ、空間的に大きなばらつきが存在することを明らかにした。この結果は地下水の存在が不均質であることを示している。そして、地下水位から試算される浅層水量と深層水量の経時的な変化と、浸透量および深層流入量の経時的な変化から、特に豪雨の前半には、深層地下水への流入に占める浸透量の割合が大きくなることが判明した。

第 6 章では第 5 章までの結果に基づいて総合的な考察を行った。地すべり地の浅層領域では不均質な地下水流出経路が形成されていること、豪雨前半に浸透した降雨は特定の領域において速やかに深層へと供給されること、この供給が深層地下水動態に大きな影響を与えていることが示唆された。

第 7 章では、前章までの成果を要約し、総括している。

審 査 結 果 の 要 旨

申請者 横山 賢治は、地すべりを活発化させる要因である深層(すべり面付近)の地下水位の上昇機構を明らかにするため、地すべり表層の地下水が深層の地下水に与える影響を評価した。具体的には、既往の地下水位の観測手法を系統的に整理したうえで、様々な観測手法を組み合わせた総合観測と水収支解析を地すべり地において実施した。

まず、地すべり滑動の誘因となる地下水の観測手法の網羅的なレビューを行った結果、地下水観測手法には、観測孔内部の地下水の深度を直接計測する孔内水位測定や、観測孔に食塩などを投入して電気伝導度の回復速度の差を観測するトレーサー試験、観測孔の水や湧水の水質分析など、地下水の状態を直接的に計測する直接的手法と、電気探查や温度探查、流水音探查、電磁波探查等、直接水に触れずに地下水の分布を推定する間接的手法の 2 種類に分けられることを示した。直接的手法は、地下水の深度や流動深度、起源の同一性を直接確認できる。しかし、得られる情報は点の情報であることから広範囲の調査には大きな労力を要する。間接的手法は、広範囲の地下水情報を得ることができるものの、地下水と近い物理特性を有する土壌や地質が混在する場合にはその分離が難しく、地下水の分布の推定結果に不確実性が残る。これらのレビューに基づき、直接的手法と間接的手法を適切に組み合わせることで、

精度の高い3次元的な地下水情報を得ることができる可能性を示した。

レビューの結果を踏まえ、静岡県浜松市天竜区相津地内の地すべり地において、浅層地下水の網羅的な調査を実施し、浅層地下水が深層地下水動態に与える影響を調べた。直接的手法である浅層地下水観測孔を用いた浅層地下水位観測の結果、場所により水位の挙動が異なることを明らかにした。深層地下水観測孔により観測された深層地下水位は、浅層地下水位に比べ緩やかな水位上昇と低下挙動を示した。間接的手法である1 m 深地温探査を実施した結果、降雨時には特定領域に地下水流出経路が形成されていることが判明した。また地下水のCaイオン濃度を解析した結果、降雨時にCaイオン濃度が局所的に低下することを示した。浅層地下水位観測結果から等水位線を作成した結果、等水位線は地表の地形と異なる形状を示しており、浅層地下の地下水流動方向は必ずしも地表の最大傾斜方向と一致しないことを明らかにした。この結果は1 m 深地温探査と整合性を有する。水収支解析の結果、豪雨の前半において、浅層からの浸透地下水が深層地下水の上昇に大きな影響を有することを明らかにした。これらの調査結果から、地すべり地の浅層領域では不均質な地下水流出経路が形成されていること、豪雨前半に浸透した降雨は特定の領域において速やかに深層へと供給されること、この供給が深層地下水動態に大きな影響を与えていることを明らかにした。この結果は、深層地下水位の変化に及ぼす浅層地下水の影響の大きさを評価した、新規性の高い成果である。

地すべりは、家屋の倒壊や道路の寸断、河川閉塞による天然ダムの形成等、社会生活に大きな影響を与える自然災害である。本研究で明らかになった、地すべり地の地下水分布の不均質性と優先的な浸透経路の存在、浅層地下水が深層地下水へ及ぼす影響は、地すべり解析および対策工計画を改善し、地すべり災害の軽減に寄与するものであることを認める。

基礎となる学術論文

- 1) Yokoyama, K., Imaizumi, F., Egusa, T.: A review of groundwater observation methods for slow-moving landslide. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 15(2), 7-12, 2022.
- 2) Yokoyama, K., Egusa, T., Ikka, T., Yamashita, H., Imaizumi, F.: Effects of shallow groundwater on deep groundwater dynamics in a slow-moving landslide site. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 印刷中.