

東野名地すべり地の地下水特性 —孔内水位観測と水質調査の結果から—

Characteristics of groundwater from observations of the
groundwater levels and water quality in Higashi-nomyo landslide area

稲葉一成^{a)}*, 吉田英二^{a)}, 早川嘉一^{b)}

Kazunari INABA, Eiji YOSHIDA and Kaichi HAYAKAWA

Abstract

This paper deals with the result of the observations regarding the groundwater levels and water quality in Higashi-nomyo landslide area. So far it has been considered that the groundwater overflowed from the groundwater basin would permeate into the landslide slope located downward. This investigation revealed that the overflowed groundwater only exists at the top of the landslide slope while the water in the lower slope is derived from the deep layer and surface layer.

Key words : landslide, groundwater level, drainage well, water quality

和文要旨

東野名地すべり地C-5ブロックにおける地下水分布・流動を明らかにする目的で、孔内水位観測と水質調査を行った。当ブロックの地下水流動として、これまでの、地下水盆からオーバーフローした地下水が下方に位置する地すべり斜面へと浸透していくものと考えられていた。本調査では、地下水盆に由来する水は地すべりブロックの頭部に存在し、中腹部や末端部では、地下深部に由来する水と、表層部に由来する水が分布していることを明らかにした。

キーワード：地すべり、地下水位、集水井、水質

1. はじめに

東野名地すべり地は、新潟県北魚沼郡守門村の東端に位置する指定地面積245.47haの大規模地すべりである(図-1, 図-2)。基盤地質は第三紀の泥岩及び凝灰岩であり、その上を守門火山噴出物が広く覆っている。泥岩と火山噴出物の境界面は、地すべり頭部において急角度で北側に落ち込み、難透水性の泥岩が広大な地下水盆を形成している。この地下水盆内部には大量の地下水が貯留されており、ここからオーバーフローした地下水が下方に位置する地すべり斜面へと浸透していくことが、当地区における地すべり発生の主な誘因と考えられている¹⁾。かつては斜面末端を流れる破間川を閉塞するような大規模な活動が見られたが、地下水盆中の水を排除す

るための2本の排水トンネル(1972年~79年施工)や集水井等の地下水排除工が施工された現在、地区全体としては地すべり活動は沈静化しつつある。しかし、一部のブロックでは現在でも移動が続いており、特に、C-5ブロックでは、1999年11月~2000年5月に約3.5mの移動が観測されている(図-3)。この対策及び地下水観測のために、2000年~2003年に10基の集水井と13本の水位観測孔が設置されている(図-4)。

本報告は、東野名地すべりの発生機構を解明するため

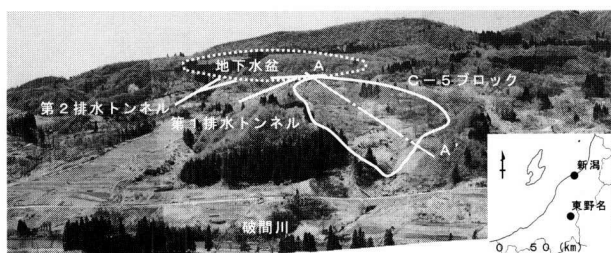


図-1 東野名地すべり地

Fig. 1 Landscape of Higashi-nomyo landslide area

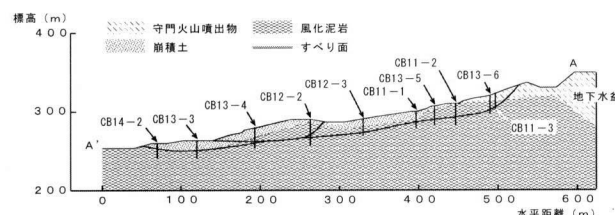


図-2 地質断面図 (A-A')

Fig. 2 Geological cross section of A-A' line



図-3 C-5ブロック頭部の被災状況
(CB13-6付近より頭部滑落崖を望む)

Fig. 3 Landslide disaster at the top of C-5 block

* 連絡著者 / corresponding author

a) 新潟大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Niigata University
〒950-2181 新潟市五十嵐2の町8050
8050 Ikarashi 2-no-cho, Niigata, 950-2181, Japan

b) 新潟大学農学部
Faculty of Agriculture, Niigata University

の研究の一環として, C-5ブロックにおいて行った孔内水位観測と水質調査の結果から, 地下水分布・流動について考察するものである。なお, これら調査結果の一部については, 口頭発表として既に報告している^{2),3)}。

2. 孔内水位観測

2.1 地すべり発生前後

C-5ブロックにおける地すべり活動は, 1999年11月頃から始まり, その移動量は2000年5月末までに約3.5

mに達した。その当時, 当ブロックに設置されていた水位観測孔は, CB11-1~3の3孔のみであった。地すべり発生前後における, これら3孔の孔内水位の観測結果を図-5に示す。CB11-3では, 3月末の融雪期に水位低下が見られた。CB11-3は冠頭部の亀裂地帯に設置されていることから, 地すべり活動に伴う亀裂の発生によって地下水が分散し, 水位低下したものと考えられる。CB11-3よりも斜面下方に位置するCB11-2とCB11-1では, このような水位変動は見られなかった。なお, これら3孔は, 地すべり活動による破壊やその後の集水井施工のために, 2000年には全て撤去されている。

2.2 集水井施工前後

集水井施工前後(2001年1月~2003年12月)における孔内水位の観測結果を図-6に示す。C-5ブロックでは, 2001年~2003年にNo.3~No.10の計7基の集水井が施工されており, これら集水井の集水ボーリング施工期間を図中に矢印で示した(No.6は2000年に施工)。なお, CB12-3, CB13-1, CB13-4は2002年11月以降は欠測となっている。

CB12-3では, 2001年7月末から水位低下が見られるが, この時点で施工が完了しているのは, 集水井No.3の集水ボーリングのみである。CB12-3では, 集水井No.3の集水ボーリングの先端から約80mも離れて

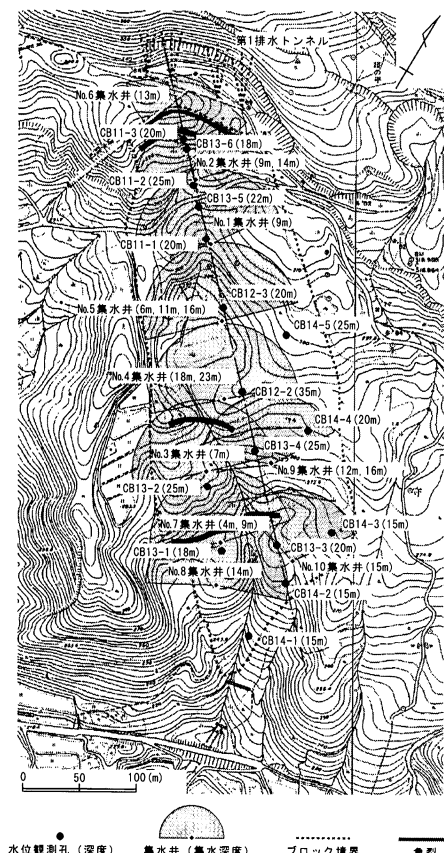


図-4 集水井と水位観測孔の配置

Fig. 4 Locations of drainage wells and observation holes

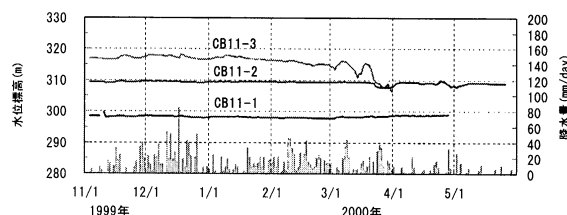


図-5 地すべり発生前後における孔内水位変動 (1999年11月~2000年5月)

Fig. 5 Groundwater levels before and after the sliding from November 1999 to May 2000

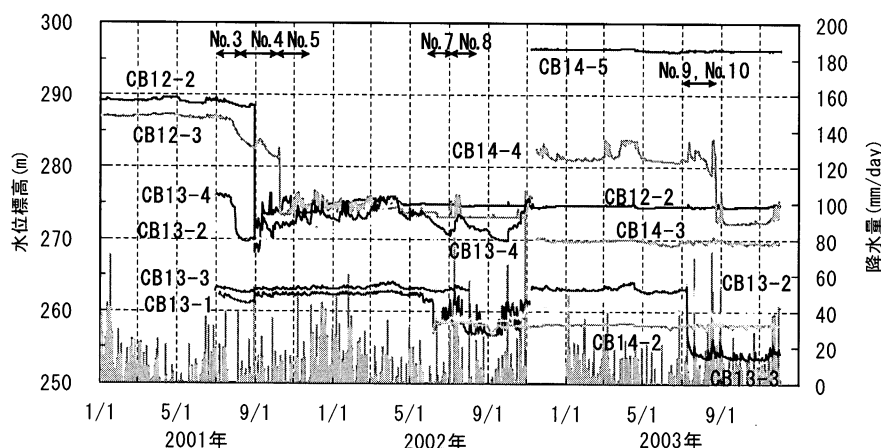


図-6 集水井施工前後における孔内水位変動 (2001年1月~2003年12月)

Fig. 6 Groundwater levels before and after the construction of drainage wells from January 2001 to December 2003

いるにもかかわらず水位低下が見られた。その後は、集水井No.4, No.5の影響も受けて、7月末～10月で水位は約14m低下した。その一方で、集水井No.3により近い位置にあるCB12-2では、集水井No.3の影響は見られなかった。これらのことから、集水井No.3からNo.5に及ぶ範囲の地下水は、自由地下水ではなく、裂か水として分布していると考えられる。

CB14-2とCB14-3の2孔を除き、集水井の集水エリア内に設置されている水位観測孔においては、いずれの孔も集水井の施工によって水位低下が見られた。CB14-4では集水井No.9の施工により水位が9m低下している。集水井No.9では、CB14-4の方向に施工された集水ボーリングNo.13とNo.14からの排水が特に多く見られ、排水とそれによる水位低下の関係は明瞭である(図-7)。また、CB13-2では、集水井No.7の施工により水位が11m低下しているものの、CB13-2の方向に施工された集水ボーリングからの排水は、集水ボーリングNo.10でわずかに見られるにすぎない(図-8)。集水井No.9とNo.7はともに崩積土層中の水を排水しているものの、図-7と図-8に示すように排水状況は異なっており(写真はともに2003年12月2日のもの)、地下水の賦存状態の違いがうかがえる。

3. 水質調査

3.1 調査概要

排水トンネル、集水井、水位観測孔において、2001年11月、2002年11月(一部は12月)、2003年12月の計3回採水した。集水井では内部に降りて集水ボーリングから直接採水し、水位観測孔では井戸用採水器を用いて採水した。試料水は、イオンクロマトグラフ法によって、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- について分析を行った。また、pH4.3アルカリ度を測定し、これを

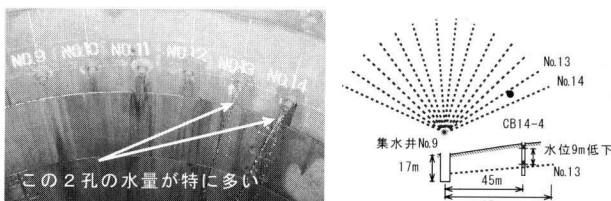


図-7 集水井No.9における排水状況
Fig. 7 The drainage situation in No.9

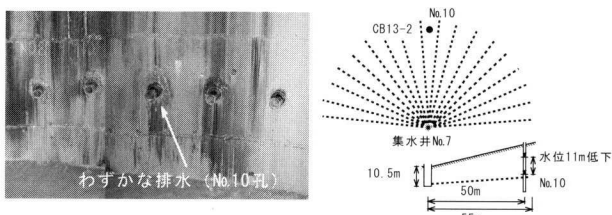


図-8 集水井No.7における排水状況
Fig. 8 The drainage situation in No.7

HCO_3^- とした。

3回の分析結果からは、CB13-5, CB12-3, CB12-2の3孔を除き、水質の経年変化は見られなかった。以下に、2003年の水質分析結果から、ブロック全体の水質分布と水質の経年変化について考察する。

3.2 ブロック全体における水質分布

2003年の分析結果をヘキサダイアグラムとして図-9に示す。水位観測孔はオールストーリーナ仕様であるため、孔内の上部(水面下1m)と下部(孔底部)で水質が異なるものがあった。この場合は、上部と下部の2つのヘキサダイアグラムを示した。それ以外の孔では、孔内下部のものを示した。また、集水井内での採水については、採水を行った集水ボーリングを図中に破線で示し、このうち水質が類似しているものについては、代表的なものを示した。

地下水盆中の水を排水している第1排水トンネルの水は電解質濃度が低く、雨水や融雪水と類似した水質である。これと同じ水質の水はブロック頭部の集水井No.6でのみ見られる。

ブロック頭部から中腹部に位置する集水井No.2,

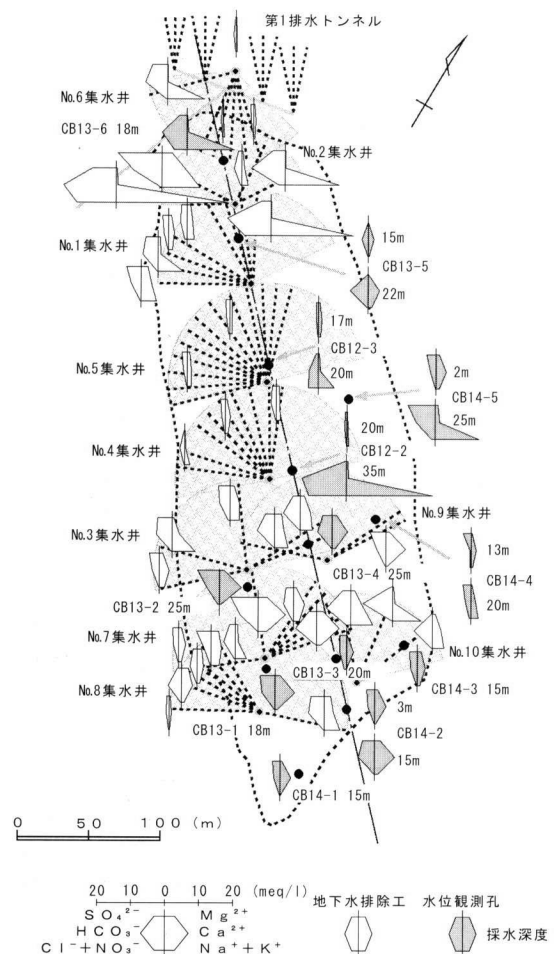


図-9 採水位置と水質のヘキサダイアグラム
(2003年12月採水)

Fig. 9 Sampling locations and pattern diagrams of water in 2003

No.1, 水位観測孔CB13-6, CB12-2 (採水位置35m)では, Cl^- を含んだ高濃度の $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水が見られる。これらの高濃度の水は地下深部に由来するものであって, 比較的長い時間地中に滞留していた水である。このことから, 集水井No.2からCB12-2に及ぶ範囲では, 地下深部に通じる亀裂等が存在するものと考えられる。

ブロック中腹部から末端部に位置する集水井No.3, No.7, No.8, No.9, No.10と, 水位観測孔では, $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型, $\text{Ca}-\text{SO}_4$ 型, $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水が見られる。ブロック末端部の水には, Cl^- がほとんど含まれておらず, SO_4^{2-} が多く含まれている。このことは, 高濃度の $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水と比較して, より表層に由来する水の影響が強いことを示している⁴⁾。

集水井の施工によって孔内水位の低下が見られた水位観測孔のうち, 孔内水と集水井内に排水されている水の水質が類似しているものは, CB12-3 (採水位置17m), CB13-2のみである。集水ボーリングからの排水とそれによる水位低下の関係が明瞭であったCB14-4でさえも, 集水井No.9の上段集水ボーリングNo.13, No.14の水とは水質は異なっている。集水ボーリングの構造上, その末端部で採水される水は, 延長全体にわたって集められた水が混合したものであることを考慮しても, 排水されている水と孔内水でのこのような水質の違いは, 当ブロックの地下水の分布や流動形態が非常に複雑なものであることをうかがわせる。

3.3 水質の経年変化

ブロック頭部から中腹部に位置する水位観測孔CB13-5, CB12-3, CB12-2の3孔では, Na^+ , Cl^- 濃度の変動が大きい。2001年～2003年の各年における, これら3孔のヘキサダイアグラムを図-10に示す。なお, 図中に示したヘキサダイアグラムは, いずれも孔底部のものである。

CB13-5では, 2001年の採水時では高濃度の $\text{Na}-\text{Cl}$ 型の水であったものが, Na^+ , Cl^- 濃度はともに低下し, 2003年では $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型の水へと変化している。CB12-3では, 2001年には $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水であったものが, 2002年には高濃度の $\text{Na}-\text{Cl}$ 型の水となり, 2003年には再び $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水となっている。CB12-2では, 高濃度の $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水ではあるものの, Na^+ , Cl^- 濃度はともに上昇を続けている。これらの現象については, $\text{Na}-\text{Cl}$ 型の水の供給が途絶えた, 供給経路が変わったなどの理由をあげることができるが, 現時点では明確な判断はできない。しかし, これら3孔の孔底部では, それぞれ時期は異なるものの, Na^+ , Cl^- ともに高濃度の水が見られることから, 地下水の流動経路につながりはあると考える。また, $\text{Na}-\text{Cl}$ 型の水の供給経路の変化は, 地下の亀裂の状況の変化とも考えられることから, 今後は, これら高濃度の $\text{Na}-\text{Cl}$ 型と $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水の動きと地すべり活動との関連性を調査していく必要がある。

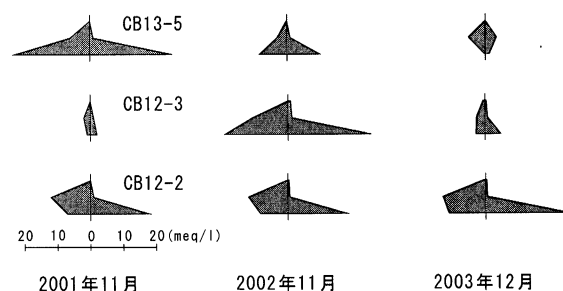


図-10 水質の経年変化 (2001年11月～2003年12月)

Fig.10 Variations of water quality from November 2001 to December 2003

4. まとめ

当ブロックの地下水分布・流動は, 大別して, 3つのグループに分けられる。ブロック頭部に分布する地下水盆に由来する水, 頭部から中腹部にかけて分布する地下深部に由来する高濃度の $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型, $\text{Na}-\text{Cl}$ 型の水, 末端部に分布する SO_4^{2-} を多く含んだ表層に由来する水である。頭部から中腹部の地下水は, 自由地下水ではなく, 裂か水として分布していると考えられる。排水トンネルを初めとしたこれまでの一連の対策によって, 地下水盆から地すべり斜面へ供給される水は効果的に排除されており, これまで地すべり活動の誘因と考えられてきた地下水盆由来の水の影響は, 現在では少ないと考える。ブロック全体の水の動きや, 地すべり発生のメカニズムを検討していく上では, 今後は, 地下深部から供給される高濃度の $\text{Na}-\text{Cl}$ 型, $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の水の挙動について把握していくことが重要である。

謝 辞

新潟県小千谷林業事務所ならびに国土防災技術株式会社新潟支店には, 水位データや資料の提供の他, 現地調査に際しても便宜を図っていただいた。元新潟大学積雪地域災害研究センター教授佐藤修先生には, 水質分析に際してご指導をいただいた。新潟大学農学部土木構築学研究室卒業生平沼桜子氏, 上田将之氏には, 現地調査や水質分析に際して協力いただいた。ここに記して, これらの方々に深く感謝したい。

参考文献

- 1) 高濱信行・早川嘉一・片桐信二・福本安正 (1991): 東野名地すべり—その1 地すべり地の生いたちと地下水—, 地すべり, Vol.28, No.1, pp.40-47.
- 2) 稲葉一成・早川嘉一・平沼桜子・西田隆・篠田和典 (2002): 東野名地すべり地の地下水水質について, 第41回日本地すべり学会研究発表講演集, pp.45-46.
- 3) 稲葉一成・吉田英二・早川嘉一 (2003): 東野名地すべり地の地下水水質—集水井施工に伴う地下水位・水質の変化について—, 第42回日本地すべり学会研究発表講演集, pp.395-398.
- 4) 佐藤 修 (1993): 地すべり地における地下水水質調査法 (その2)—地すべり地地下水の水質形成過程—, 地すべり技術, Vol.20, No.2, pp.148-153.

(原稿受付2004年2月3日, 原稿受理2004年8月27日)