

沢田地すべり地の地下水と ボラ（陥没地形）との関係

山 辺 康 晴*
坂 井 俊 介*

1. はじめに

地すべり地に認められるボラ（陥没地形）の多くは、地下水の溶脱（吸出し）現象、地下浸食によって形成されるものと考えられている。高野¹⁾は、このボラ（陥没地形、以下省略）の形成が地すべり活動の引き金になるのではないかと推定している。また、伊藤ら²⁾はボラの形成が山地における沢地形形成に密接に関係する現象の1つではないかと指摘している。著者らは以上提言に着目して研究を続けている。

今回は、長岡市水穴町の沢田地すべり地において実施した調査資料をまとめ、地下水（地下水脈）との関係を報告する。

2. 調査地概要

沢田地すべり地は長岡市の東方約6kmに位置し、昭和63年度に地すべり防止区域として指定された地すべり地である。この地すべり地は東山山系の高津谷高原（標高370m前後）から北に延びる山地～丘陵斜面にあたり、丘陵の一部を切り開いて造成された水穴団地東部に接する（図-1参照）。

地質的には、山地部が泥質岩を主体とした第三紀西山層、丘陵部が砂・粘土・礫を主体とした第四紀魚沼層から構成され、 $20\sim 35^\circ$ でほぼ西に傾斜して分布している。



図-1 沢田地すべり地

ボラの多く認められる斜面は水穴団地と接する西側斜面であり、標高75~90m間に合計4ヶ所のボラが認められる。ボラ下方の斜面は団地造成時に切り取られ、石積みやコンクリート擁壁によって法面処理されている。この石積みや擁壁の中段~末端部からは、1988年11月初旬において、14カ所の湧水が認められ、その湧水量は合計180ℓ/minにも達していた。また、同年10月下旬に発生した法面崩壊には、径10cm内外の水穴が存在し、当地の浅層部の地下水が水脈（水みち）状に賦存する事が確認された。

この様な状況の中で、著者らは多量に湧水する法面の上方斜面に位置する3つのボラ（No.1~3）に注目した。

3. ボラ概要

この3つのボラは、西側斜面中央部の標高75~85m間に位置する（図-2）。No.1, 2のボラは、いずれも楕円形状の平面形状を呈しており、その長軸方向がほぼ地表傾斜方向に一致している。一方、No.3のボラは円形状の平面形状を呈している。この3つのボラの最深部は、いずれも斜面下方に偏った断面となっている。No.1のボラは、3つのボラの中で最大規模を有し、長径約10m、短径約4m、深さ約1.8mにも及ぶものである。特徴的な事はボラ地形内の最深部に径1.0m内外の洞穴状の空洞が存在する（図-3）。この空洞は斜面下方にむけてS字状に屈曲しながら傾斜し、入り口から延長約6~7m程で収束している。この様な空洞は、No.2のボラにおいても認められるがNo.1のものに比べて規模が小さく、最大径約0.5m、延長約2mで収束する。一方、No.3のボラは、直径約2mと他のボラに比べて小さく、上述した様な空洞は認められてない。

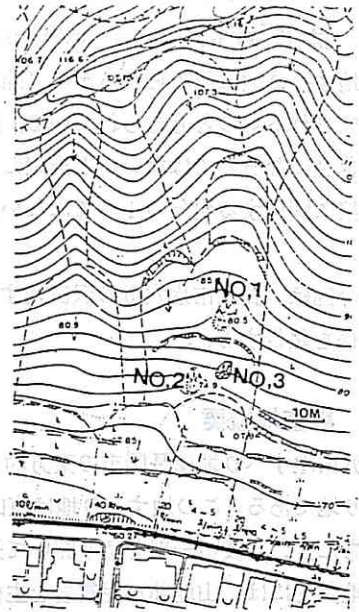


図-2 ボラ位置図

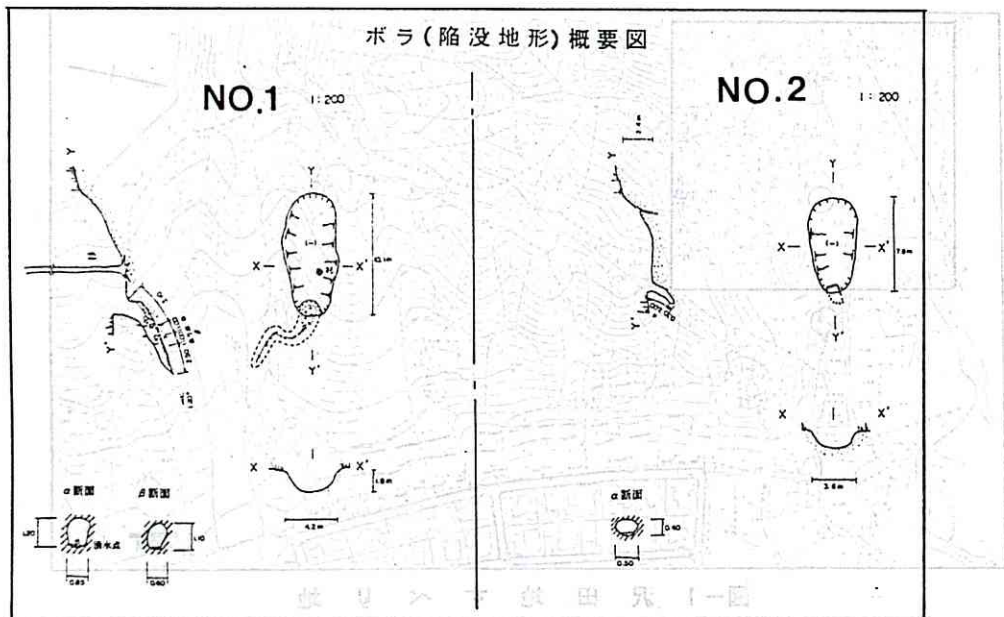


図-3 No.1・No.2 ボラ概要図

4. 地質断面

3つのボラを包含する地すべりブロックを対象に、H1-1～3の調査ボーリングを実施した。うちH1-1～2はNo.1のボラ地形内を掘削している。この3孔の結果を図-5にまとめる(尚、調査時期は1989年7月中旬～8月中旬である)。

想定されたすべり面下の不動層のうち、西山層相当の泥質砂岩には多量の地下水が賦存する事が判明した。この泥質砂岩中の地下水位は現場揚水試験時において、概ね6L-2.0～3.0まで上昇する被圧傾向が認められている。

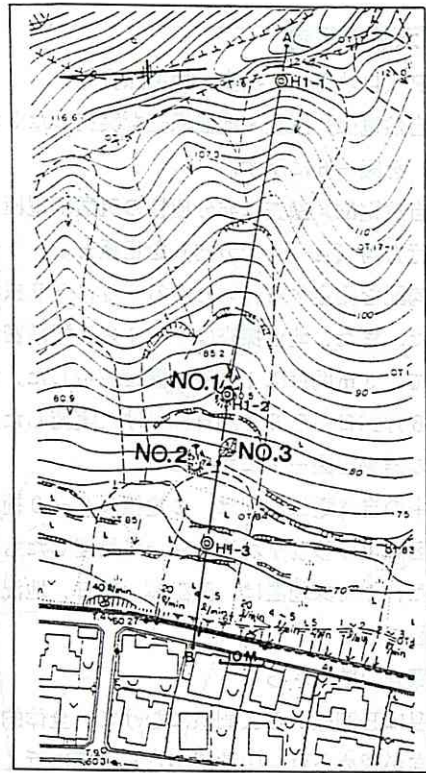


図-4 ボーリング位置図

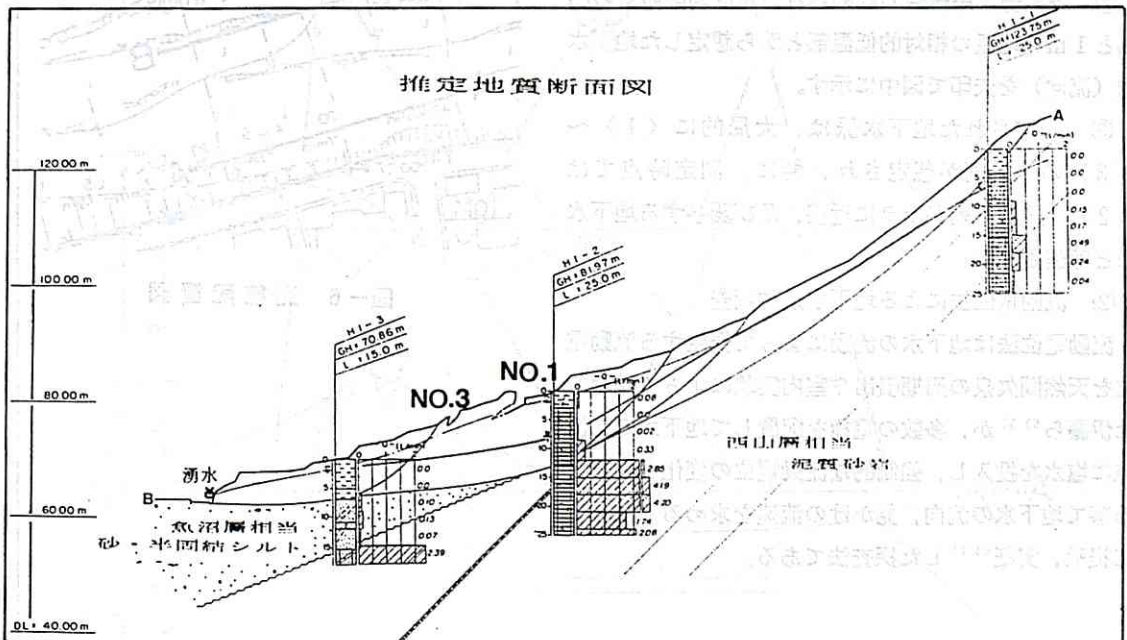


図-5 推定地質断面図

5. 地下水脈の想定

(1) SP (自然電位) 探査・地温探査²⁾

SP (自然電位) 探査・地温探査を実施した5測線 (A~E) を図-6に示す。

SP (自然電位) 探査は非分極性の硫酸銅電極を用いて、進行方向 (A→A' 方向) を正極とし、1m間毎の電位勾配を測定する、いわゆるシャクトリ虫法⁴⁾ で実施した。また、地温探査はサーミスタ型精密温度計を用いて、5m間毎に1m深地温を測定した。測定は1989年6月26日から6月28日にかけて実施した。

両探査の結果を図-7にまとめる。

尚、図中の自然電位勾配は、2電極の0-0補正を施し、3区間毎の移動平均法を用いて処理したものである。また、1m深地温は、測温体、経日、地況補正を施した値である。

この両探査の結果から

① 地温はE測線からA測線にむけて、全体的に高くなる傾向が認められ、山地部から丘陵部に近くなるにつれ、地下水の分布深度が深いか、流速が遅いかを示していると考えられる。

② 各測線に系統性の認められる電位勾配の負の凹部と1m深地温の相対的低温部とから想定した地下水脈 (流向) を矢印で図中に示す。

③ 想定された地下水脈は、大局的に〈1〉～〈3〉の3系列が想定され、特に、測定時点では〈2〉、〈3〉系列がボラに近接、及び関与する地下水脈と考察される。

(2) 流動電位法による地下水追跡調査

流動電位法は地下水の流動によって発生する流動電位を天然間欠泉の周期噴出や室内実験によって確認した伊藤ら^{5) 6)} が、多数の電極を配置して地下水の上流点に塩水を投入し、強制的な流動電位の変化をとらえる事で地下水の流向、見かけの流速を求める手法として提唱、実証^{6) 7)} した探査法である。

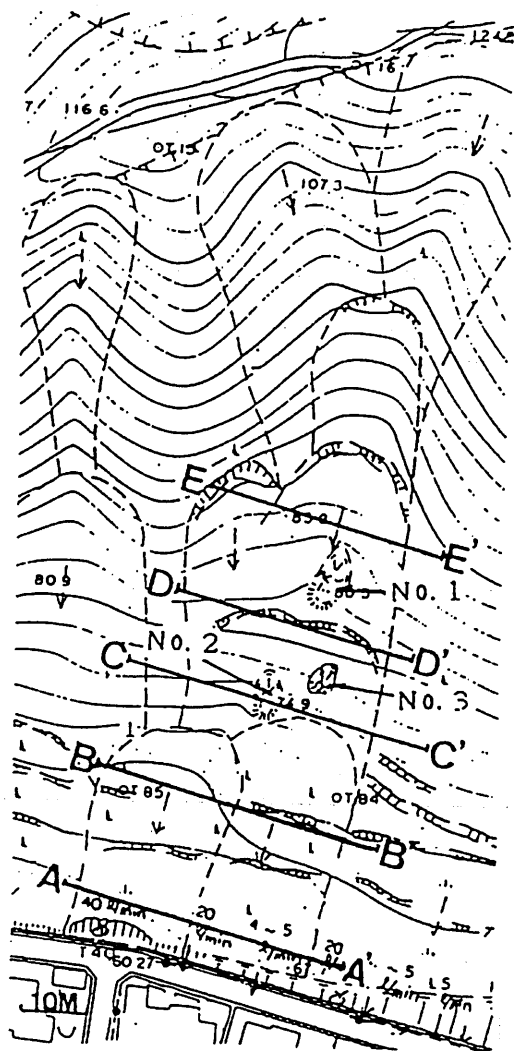


図-6 測線配置図

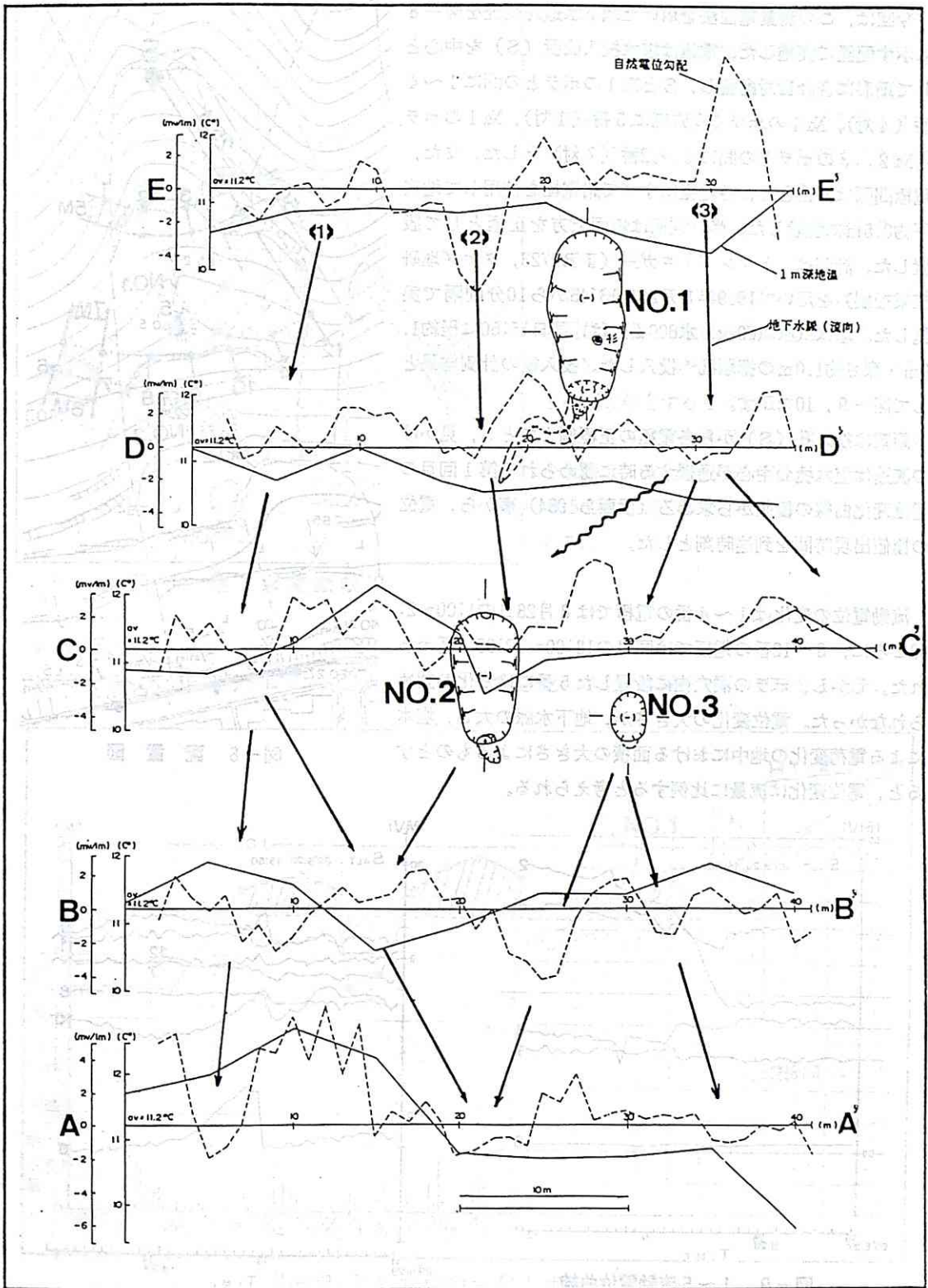


図-7 SP (自然電位) 探査・地温探査結果図

今回は、この流動電位法を用いた地下水追跡調査を図-8に示す配置で実施した。電極は塩水投入位置(S)を中心として扇形に合計12対配置し、SとNo.1のボラとの間に1~4番(4対)、No.1のボラの洞穴部に5番(1対)、No.1のボラとNo.2, 3のボラとの間に6~12番(7対)とした。また、電極間隔は5mとし、各電極はすべて鉛電極を使用して地表下約0.5mに埋設した。尚、電極は斜面上方を正極として設置した。計測は、トレンド・ロガー(JR2723, タケダ理研工業社製)を用いて1989年8月26日13:45から10分間隔で実施した。塩水(原塩60kg, 水600ℓ)は、同日15:50に径約1.0m・深さ約1.0mの掘削孔へ投入した。投入後の計測結果として図-9, 10を示す。

距離は投入孔(S)から各電極の正極側までとし、見かけの流速は塩水塊の中心が通過する時に認められる第1回目の電位変化曲線の極値から求める(伊藤ら1984)事から、電位の極値出現時間を到達時刻とした。

流動電位の変化は1~4番の電極では8月28日の1:00~2:00ごろに、6~12番の電極では同日の18:00~19:00に認められた。しかし、ボラの洞穴内に設置した5番には変化が認められなかった。電位変化の大きさが、地下水脈の太さ、塩水による電荷変化の地中における面積の大きさによると、電位変化は流量に比例すると考えられる。

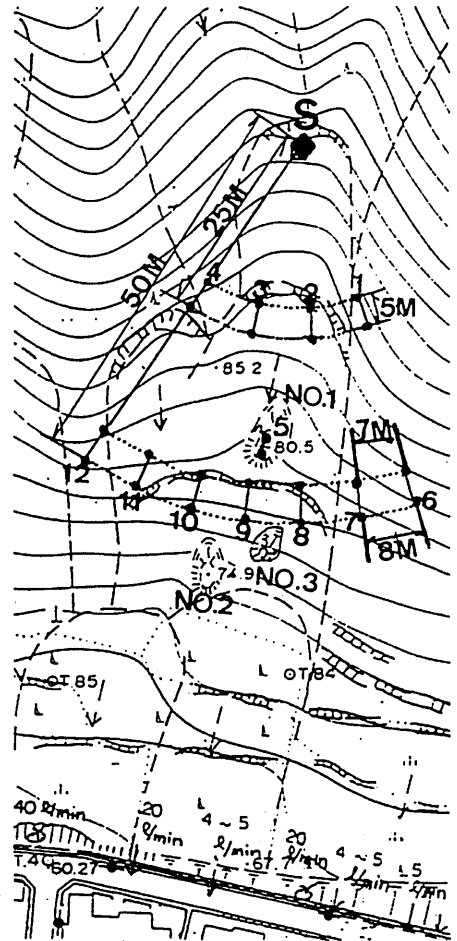


図-8 配置図

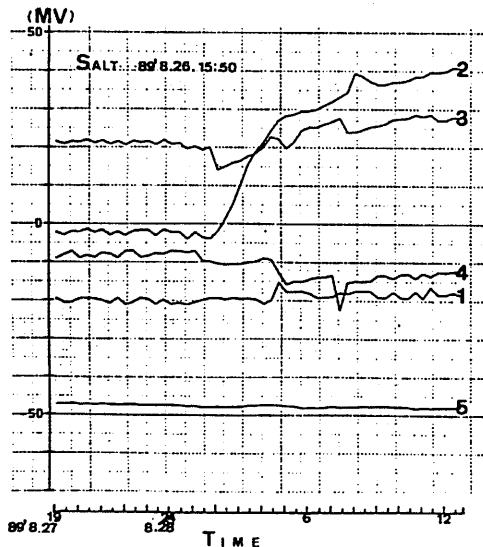


図-9 1~5流動電位曲線

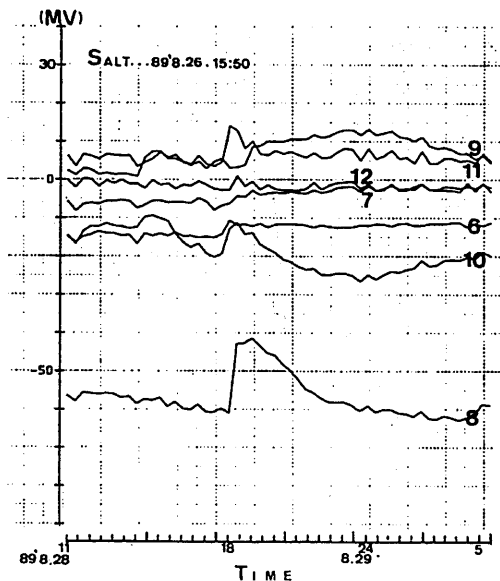


図-10 6~12流動電位曲線

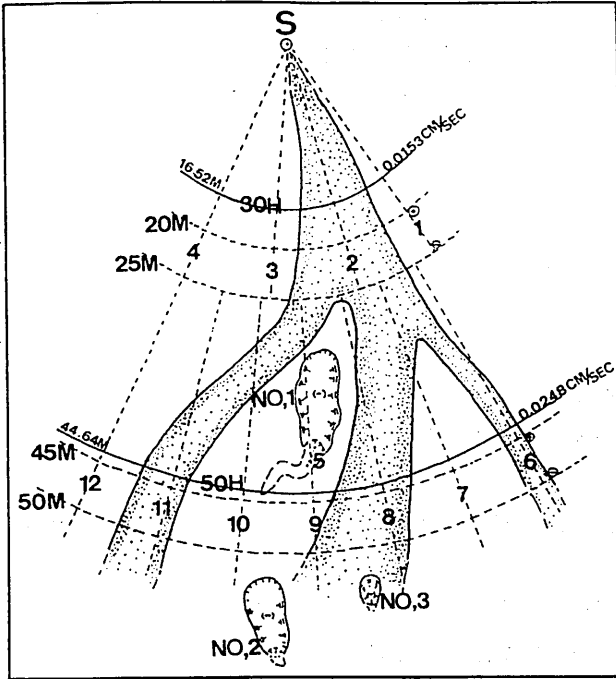


図-11 地下水流動状況

そこで1～12番の電位変化の正負や割合から図-11を作成し、地下水流動状況を想定した。この結果から、①調査時点では2⊕-8⊕系列の水脈が0.0521cm/sec(2⊕-8⊕間)と最も流速が速く、電位変化も大きい事から、流量も多い水脈と考えられる。

② この2⊕-8⊕系列の水脈はNo.2, 3のボラへ流下する。

③ 図-11にまとめた地下水脈はSP(自然電位) 探査・地温探査で想定された<1>～<3>の水脈のうち、<1>と<3>とに概ね整合すると言える。

④ 従って、6月下旬に想定された<2>の水脈は、流動電位法を実施した8月下旬において、水流として存在していないと考察される。

(3) 地下水位

1989年9月9日から12月9日までのH1-2の孔内水位変化とボラとの関係を図-12にまとめる。

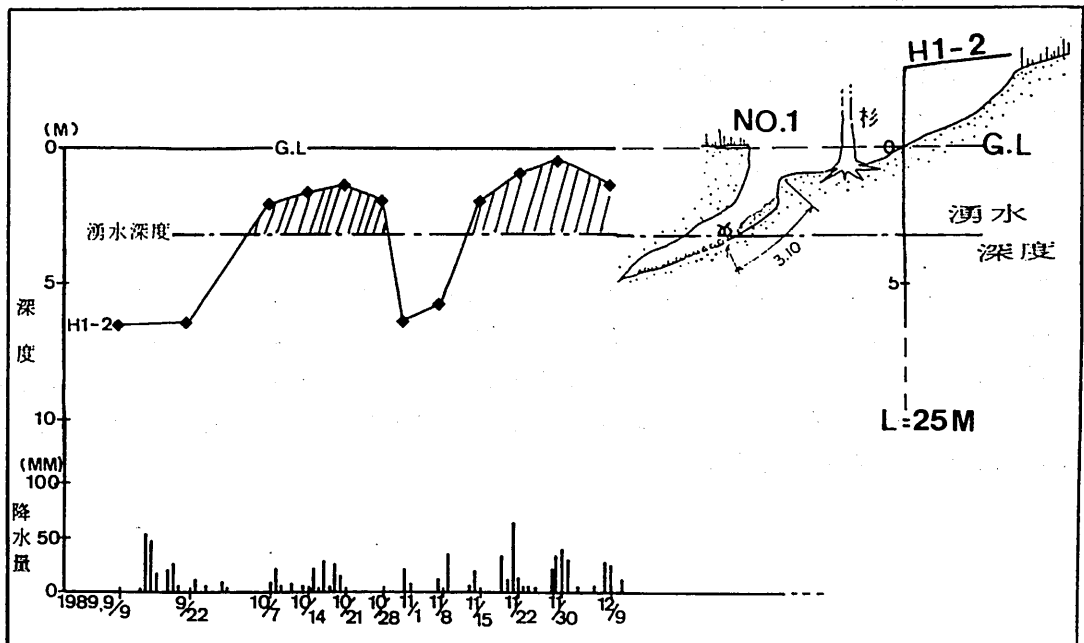


図-12 孔内水位の変化とボラとの関係

H1-2の孔内水位は10月、12月において、ボラの洞穴部の湧水深度を上回る地下水位を示している(図中斜線)。この地下水位が湧水深度をこえる期間では、洞穴部の湧水地点からの湧き水、及びS字状の洞穴部を流下する地下水を確認している。更に、この様な期間以外でも降雨後の短時間に湧水、流下する地下水を確認している。

この事から、No.1のボラには、

- ① 10月、12月等、いわゆる豊水期に深部から上昇して洞穴部にあふれ出す、季節変動する地下水
- ② 降雨後の短期間に、一時的に流下する浅層部の地下水が関与していると考えられる。

6. 地下水脈とボラ

以上の調査資料をまとめると、沢田地すべり地では、

- ① ボラ周辺には、大局的に〈1〉～〈3〉の3系列の水脈が存在する。
- ② そのうち、1989年6月下旬では〈2〉、〈3〉の水脈がボラに近接する。
- ③ また、1989年8月下旬では〈1〉、〈3〉系列の水脈が確認されたが、〈2〉の水脈は認められなかった。
- ④ 従って、〈2〉の水脈は、その出現・消失が季節変化する水脈である可能性が強い。
- ⑤ 一方、No.1のボラには、深部から豊水期等季節的に上昇、あふれ出す地下水と、降雨後の短時間、一時的に流下する地下水が関与している。
- ⑥ この様に、季節的、あるいは一時的に出現する地下水脈は上述した〈2〉の水脈と整合すると考えられる。
- ⑦ それに対し、〈1〉、〈3〉系列の水脈は、その存在が季節変化しない恒常的な地下水脈と評価される。これらから、沢田地すべりのボラには
 - i) 深部から季節的に上昇する地下水
 - ii) 降雨後の短時間、一時的に流下する地下水
 - iii) 季節変化の少ない、常在地下水^{*)}が水脈状に関与していると考えられる。

5. おわりに

佐藤ら⁴⁾は、ボラができるためには、1. 分散しやすい粘土が存在する。2. ナトリウムを主要陽イオンとする。電解質濃度の低い水が多量に供給される事が必要であるとし、特に沢田地すべり地では塩素イオンの割合が高く、水穴団地東部の湧水のうち湧出量の変化が大きい水が関与しているとしている。著者らは、この地下水が深部から豊水期に上昇し、ボラ付近を流動する水であり、季節的に出現する〈2〉の水脈に整合するものであると考察する。

～ 参 考 文 献 ～

- 1) 高野秀夫 (1989) ; 地すべり地下水について, IV地すべり活動と地下水, 地すべり学会・土質工学会, 第17会新潟支部シンポジウム
- 2) 山辺康晴・坂井俊介他 (1989) ; 地すべり地の地下水と陥没地形 (ボラ) との関係(1), 地すべり学会, 第28回研究発表会
- 3) 伊藤芳朗・柴田 東他 (1989) ; 地下水とボラ (陥没地形) との関係(2), 応用地質学会, 平成元年度研究発表会
- 4) 伊藤芳朗・柴田 東他 (1987) ; 断層, クラックの自然電位法による検出, 応用地質学会, 昭和62年度研究発表会
- 5) 伊藤芳朗・南雲政博他 (1978) ; 銭川間欠泉に伴う流動電位 (I) 地熱, 15, P19~27
- 6) 伊藤芳朗・熊谷 忍他 (1981) ; 流動電位法を用いた地下水の追跡, 地すべり学会, 第20回研究発表会
- 7) 伊藤芳朗・竹内篤雄他 (1984) ; 地下水流速の新しい測定方法の試みー流動電位法一, 日本地下水学会, 第26巻第3号
- 8) 新藤静夫・太田猛彦他 (1987) ; 崩災の規模, 様式, 発生頻度とそれに関わる山体地下水の動態, 文部省科学研究費自然災害特別研究(1), P 7~29
- 9) 佐藤 修・鈴木幸治 (1990) ; ボラ生成に關与する地下水, 地すべり学会, 第29回研究発表会
- 11) 山辺康晴・坂井俊介他 (1990) ; 地すべり地の地下水とボラ (陥没地形) との関係(3), 地すべり学会, 第29回発表会
- 12) 伊藤芳朗・柴田 東他 (1988) ; 地すべり地の自然電位 II (水源地地すべり・北武断層帯) 地すべり学会, 第27回研究発表会
- 13) 佐久間敏雄 (1987) ; 移動現象 P109~164, 博友社
- 14) 竹内篤雄 (1983) ; 地すべり地温測定による地下水調査法, 吉井書店