松代地震により発生した地すべりと湧水

岸 本 良 次 郎*

Landslides caused by Matsushiro Earthquake as related to the spouting of Groundwater

by Ryojiro Kishimoto

A large quantity of artesian groundwater spouted here and there in the alluvial fan of Fujisawa River near the epicenters of Matsushiro earthquake swarm in Nagano Prefecture, Japan, while this swarm was in full activity. And a few landslides were caused by this groundwater in this fan.

The groundwater pressure at different depths in some boreholes were observed. The quality and some other characters of the groundwater, along with some features of the landslides, were examined.

Fluctuations of the pressure, its estimated values at occurrences of the landslides and characters of the groundwater quality are discussed.

I はしがき

松代群発地震の第三活動期の昭和41年9月中旬に、多数の震源が集中している皆神山周辺一帯に、多数のキレツが生じ、多量の温泉性の被圧地下水が湧出した。これと前後して皆神山東北約1kmの松代町牧内地区等で地すべりが発生した。長野県等の関係機関ではただちに災害復旧等の諸対策を講じ、ついで、地すべり防止事業指定地区として42年度から調査に着手した。牧内地すべり地周辺は長野県耕地第二課所管で調査、対策を講じつつある。この報告は牧内地区周辺の諸調査のうち、地すべりの原因としての温泉性の被圧地下水に関する事項を主としてまとめたものであり、すでに行なった報告¹⁾²⁾にその後の調査結果を加えて修正したものである。

牧内などの地すべりの特色は、地震により生じたキレツから湧出した多量の地下水が主因であると考えられること、地盤表層の第四紀扇状地堆積物がすべったことなどであろう。この点から、この地すべりは一般の地すべりとは異なる特殊な地すべりということができよう。この意味で、牧内地すべりは興味あるものである。一方、ここで報告される諸事実は、他のタイプたとえば第三紀層地すべり等に、必らずしも適用されるものではないことはいうまでもない。

調査には多くの方々の御援助、御助言を得た。ことに、長野県耕地第二課、長野地方事務所耕地地課の方々には直接の御援助を得た。地下水の化学分析は長野県衛生研究所にお願いした。また、当地すべりの諸調査は当場大平成人企画連絡室長、萱野勇新技官と分担、共同して行なったものである。深謝する次第である。

II 地すべりと湧水などの概況

松代地震、地割れ、異常湧水、牧内地すべりなどの経過についてすでに詳しい報告³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾ほかがあるので、今回の報告に必要な事項だけを概説する。

松代地震による地割れ、湧泉異常などの兆候は以前からあったが、地震の第3活動期になると皆神山と奇妙山との中間の藤沢川の扇状地一帯各所に地割れと異常湧水が相伴って続発しだした。これらの異常現象が極大に達したとき牧内や西平山などの地すべりが起った。牧内地すべりの上部滑落崖直下には多量の湧水が川のように流れており、牧内地すべりはこの異常湧水に起因すると推定された。また、瀬関南の桑畑の一帯からも多量の湧水が流出した。同時に地割れが生じて地すべりが起こることが憂慮されたが幸いに落着いた。

奇妙山に続く牧内地区後背の山地は主に石英閃緑岩の山で、表層に薄いガイス堆積物が乗る。石英閃緑岩は藤沢川の扇状地に至ると急に深くなり、上を厚い堆積物がおおっている。牧内や西平山の地すべり、瀬関南の地割れなどは、この深さの急変する付近にあたり、上位の扇状地堆積物が滑動したものとされる。

III 調査方法 (図-1)

牧内地すべりの原因と考えられる異常湧水に関してはボーリング、地下水圧観測、水質試験などの調査が行なわれた。また、他に地中ヒズミと地盤傾斜の観測が行なわれた。

1. ボーリング

この地域では昭和42年1~2月にB1~B8の8孔、同9~12月にB9~B15の6孔を掘削した。

2. 地下水圧観測

* 農林省農業土木試験場造構部

図-1 調査地点

9月～12月に行なったボーリングのうち、B 9, B10 B11-2, B13, B14に地下水圧の観測施設を設置して、水圧の変化を長期観測した。この施設は次のような構造である(図-2)。水位・水圧を測定すべき深さ H' 付近にだけストレーナーを持つ 3/8 インチガス管を孔内に立て、その周辺の孔内空所には砂層を充テンする。それ以外の孔内空所はセメント・粘土等を充テンし水密にする。

図-2 水圧観測施設の構造

る。砂層周辺の地山内の地下水は、砂層とストレーナーを通してガス管内を H 点まで上昇する。水柱高 $\overline{HH'}$ の水圧は砂層周辺の地山内の地下水の圧力と平衡しているとして、地表面 O と H との間の長さ h を電気水位計で測定して地下水の水位・水圧を求めた。

H が O よりも高く上昇する測点では、ガス管に透明のホースを継ぎ足し、ホース内に上昇する水面 H の高さ h を測定した(図-3)。以下、 H が O より低い場合は $h < 0$, H が O より高い場合は $h > 0$ とする。この施設を各孔に1個ずつ、B13では上下2段に作った。また、B 9 B10, B13, B15にはパイプヒズミ傾斜計も併設した。

図-3 水圧観測施設の構造 ($h > 0$ の場合)

(図-5)。また、測点によっては管内にガスが浮上して来たが、ガス量は測定していない。また、温度補正も行っていない。

観測期間は二期間で、前期は昭和42年11月1日～43年3月31日の間である。B13の上下段だけは43年9月1日以来後期の観測を再開した。今回の報告は43年11月30日までのデータに基づいている。観測間隔は原則として1回/日である。

3. 水質調査

昭和43年10月10日に、図-1、表-2に示す各地点で、現場で水の電気伝導度を測定するとともに、採水して化学分析（長野県衛生研究所に依頼）を行なった。

4. 地中ヒズミ観測と地盤傾斜

図-5 のようにパイプヒズミ計を設置して地中ヒズミを観測し、図-1 に示す2地点で地盤傾斜を観測した。

IV 調査結果

1. 湧水地点

異常湧水は、地下深部の温泉性被圧水⁹⁾¹⁰⁾¹³⁾が地割れに連なる岩盤のキレツを通して上昇して来たもの⁸⁾とされている。被圧水の大部分は、上位の扇状地堆積物底からこれを突き破って岩盤のキレツの直上部付近の地表に流出しているものと考えられる。

異常地下水は特定地点からおもに湧出していることは、地表踏査状況からも推定されたが、また、次に述べるようにボーリングの掘削時および水圧の長期観測結果によっても認められた。

①ボーリング作業中に湧水があったのは牧内滑落崖下のB2とB13、瀬関南のB7、B8とB10、牧内崩土内のB3だけである（図-4、5、写真-1）。湧水量は概して深部ほど多いが（B2、B3、B8、B13）ことにB2

写真-1 B2孔掘削中の湧水状況
(日本総合建設の報告書より)

とB13では石英閃緑岩内で湧水が増加している。水頭高は深部ほど高い（B2、B8）。

②B10、B13の上下段およびB15では少なくとも一時期は $h > 0$ すなわち水圧面は地表面より高いが、B9、B14では地表下にある。また、前期における水圧面Hの標高は前四者では約480～490m、後二者では約450mでその差30～40mに達する（図-6、7、表-1）。

③B13の上段（堆積物内）と下段（石英閃緑岩内）を比較すると下段の方が水圧面が高い（図-6、7）。

2. 湧水圧の低下傾向

異常湧水は極大に達した後、漸減していることが水量、水質、水位などの調査⁸⁾¹⁰⁾から明らかにされているが、今回の水圧の長期観測により次のことが明らかになった。

①全測点ともHはあるとき突然急降下したり急上昇したりしてはいるが、傾向としては日が経つにつれ低下している（図-6、7）。

図-4 ボーリング状況 (S.42年1月～2月)

②水圧の低下速度は各測点同一ではない。前期の観測期間中でHの極端な変化がなかった期間については、低下傾向は直線的であると仮定して低下率を求めると、被圧性の高い測点B10、B13の上下段、B15の低下率が大きく、B11-2とB14がこれに次ぎ、Hが地表下深いB9は最小であった（図-6、表-1）。

③実際の低下傾向を前後2期間の長期観測結果の得られているB13の上、下段について求めたのが図-8で、

図-5 ボーリング状況（S. 42年 9月～12月）

表-1 水圧の変動状況（昭和42年11月1日～43年3月31日）

測点 No.	測定部		h (m)		Hの標高(m)		低下傾向	
	深さ(m)	地層	最大	最小	最高	最低	低下率 (cm/日)	左を計算した期間 (年月日)
B 9	48.3～50	石英閃緑岩	-19.40	-20.70	455	453	0.48	42.11.1～43.3.20
B10	41.7～43	扇状地堆積物	4.55	2.57	480	478	1.77	42.12.1～43.3.31
B11-2	25.6～26	風化石英閃緑岩	-5.65	-11.55	527	521	0.45	43.1.14～43.3.3
B13	上段 20～22	扇状地堆積物底部	10.00	7.90	487	485	1.94	42.11.1～43.3.3
	下段 32.6～35	石英閃緑岩	13.10	10.35	490	487	2.30	42.11.1～43.3.3
B14	40.7～50	扇状地堆積物	-6.70	-8.90	454	452	0.88	42.11.17～43.3.20
B15	53～55	石英閃緑岩	0.54	-1.68	488	485	1.77	42.11.1～43.3.20

h は時間に関して対数的に低下している。ただし、図では昭和41年9月17日の牧内地すべり発生日から起算した通算日の5日ごとのhをプロットした。

3. 牧内地すべり発生当時の地下水圧と地すべり

当時の異常湧水の水圧を、湧水点の標高分布⁵⁾または土質力学的方法¹²⁾から推定することは可能であろう。ここでは、牧内地すべり発生当時の、滑落崖直下の水圧を、水圧観測結果によって、推定してみる。

図-8に示した対数的な水圧低下が地すべり発生当時から続いていたと仮定して、外そうしてみると次のようになる。

B17下段（深さ32.6～35m、石英閃緑岩盤内）では $h \approx 27$ m（水柱）

Hの標高 ≈ 504 m

B13上段（深さ20～22m、扇状地堆積物の底部）では $h \approx 21$ m（水柱）

Hの標高 ≈ 498 m

という地表面上20～30mに達する水圧がこの地すべり地塊の直下に作用していたことになり、これに伴って多量の湧水が発生したのである。この水圧と水量が牧内地すべりの発生の原因であると考えられる。

この湧水は滑落崖下だけに集中的に出たものである。すなわち、滑落崖上方のB5、B6および地すべり地塊の中下部のB1、B4、B14では掘削中に湧水は認められない（図-4、5）。また、この湧水は、大部分は地表に流出しているが、一部は地すべり崩土を下方へ流下していると考えられる。すなわち、B14のHの標高はB13のそれよりずっと低く、後に述べるようにHの変動には降雨などの影響が認められない。

瀬関南の地割れ付近に湧出した湧水の水圧も湧出当時はほぼ同様の水圧の値であり、こ

図-6 水圧の変動状況（前期）

図-7 水圧の変動状況（後期）

図-8 水圧の低下傾向

の湧水が地すべりを起こしかけたものと考えられる。

4. 地下水圧の変動の原因

上に地下水圧の低下傾向を見たが、ここではしばしば繰り返される短い周期の変動の状況とその原因を考察する。すでに、湧水量と松代地震との関係などが報告されているが^{11) 8) 5)} (今回の報告と観測期間が異なるが)、今回の調査によっては、短い周期の水圧の変動とそれに影響すると考えられる諸要因との関係は次のように明確にならなかった (図-6, 7)。

①各測点とも時とともにこの種変動は小さくなる傾向である。また測点相互を比較すると、2で述べた低下傾

向の大きい測点ほど変動が大きい。これらのことは時とともに水みちなどの地下の状況が落ちついて来ているゆえと一応推定できるであろう。

② 降雨、大気圧または地震と変動との関係は明りょうでない (ただし、たとえば12月1日震度2の地震のあった日にB13の上下段などでHが階段状の変動をしているように、地震の作用と思われるHの変動もあるが明確でない)。また、震源の位置と湧水量の変化との関係⁵⁾ にならい、Hの変動との関係も調べたが明確でなかった。

③ 水圧観測期間の地中ヒズミには有意の変化が認められなかった。

④ 同期間の地盤傾斜 (図-9) と水圧の変動との関係も明確でなかった。ただし、B11-2の1月14日の約6mの水圧急降下と1月26日 (地震が活発な日) 以来の地盤傾斜計 No.2 における地盤傾斜の増加とは関係があるであろう。すなわち、両測点は同一ガイスイ層上にあると考えられ、この層に来ていた被圧水がなんらかの原因で減少したところに地震が多発して、ガイスイ層が歪んだとも考えられる。

⑤ 水圧観測期間中に災害復旧事業が進行して⁸⁾ いたこと、水圧測定時の温度などを補正していないこと (Ⅲ. 2) などは水圧測定結果にやや影響し、水圧変動の要因を明らかにするさまたげになった場合もあるであろう。また、観測期間は松代地震の末期で、大地震がほとんど

図-9 地盤傾斜の変動状況

なかったことは地震と水圧の関係を不明確にした原因であろう。

5. 水質調査結果

異常湧水の水質についてはすでに詳しい報告⁸⁾⁹⁾¹⁴⁾ほかがあるので、今回の報告では2～3の考察を行なうだけとする。

① この地域は水質的に図-10の4地域に分けられ、それぞれの地域内では各種の地下水は水質的にはほぼ同一の性格である(表-2)。すなわち、牧内地すべりの滑落崖下、瀬関南、牧内南、牧内地すべり北方の前から順に、ほぼ SO_4^{--} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} の各成分が多く、水の電気伝導度は高く、pHは低い。 SO_4^{--} だけは牧内南では少なく他の地域ではほぼ同量である。

② SiO_2 を除く各成分の濃度、電導度、pHなどの間には、4地域を通じほぼ比例関係があり、各地域の地下水は牧内地すべりの滑落崖下の地下水を前記の順に次第に薄めたような関係になっている。なお、比例関係が最もよく成立するのは Cl^- と電気伝導度である(図-11)。また、各地域を通じもっとも多量に含まれているのは Cl^- である。

③ 暗渠排水、自然の湧水などの地下水露頭の違いに起因すると思われる水質の相違は認められなかった。

④ B13の地下水と比べると、暗渠 No. 4(B13付近の湧水を排除している)の地下水はずっと各成分の濃度が低い。暗渠を流下する過程でなんらかの機構(たとえば圧力が低下することによる溶存成分のガス化、析出など)によって希釈されるのであろうか。または他の低濃度の地下水が混入するのであろうか。希釈という見地から先述の水質による地域区分が説明できないであろうか。

図-10 水質による地域区分

図-11 地下水の電気伝導度と Cl^- 濃度との関係

6. まとめ

上の諸事実から、今回の調査地区内の異常湧水、地すべりなどに関して次のようにまとめることができるであろう(表-2)。

① 異常湧水はおもに地割れなどの特定地点(牧内南、牧内地すべりの滑落崖下、牧内北方、瀬関南の4地域)から湧出した。湧出後水圧は漸減傾向にある。短期的な変動の原因は明確でない。

② 4地域の湧水は、一連の地下水ではあるが、相互に成分濃度、水圧の低下傾向などに違いがある。

③ 牧内南の地下水は量的に少なく、やや濃度が低く、水圧の低下速度は小さい。B9にはこの地下水が流下していると推定される。

④ 牧内地すべり滑落崖下の地下水は多量に流出し、水圧は高く、濃度は最高である。水圧低下速度は大きい。

滑落崖下の地下水の一部は、崩土内を下方(B14など)に流下している。

⑤ 牧内地すべりは、滑落崖下に湧出した地下水の水圧と水量に起因している。地すべり当時の水圧の推定値が得られた。

⑥ 牧内北方の地下水は量的に少なく、濃度が低い。水圧の低下速度は小さい。

⑦ 瀬関南の地下水は多量に流出し、水圧は高く、濃度は高い。水圧低下速度は大きい。B10は水圧的にこの地下水に属すると推定される。

この湧水によって地すべりが起こりかけたが、この際の機構は牧内地すべりと同様であろう。

⑧ B11-2付近にも異常湧水があると思われるが未詳である。

表-2 水 質 分 析 結 果

地 域	測 点 No.	硫酸イオン SO ₄ ²⁻ ppm	塩素イオン Cl ⁻ ppm	ナトリウム イオン Na ⁺ ppm	カルシウム イオン Ca ⁺⁺ ppm	マグネシウム イオン Mg ⁺⁺ ppm	ケイ酸 (比色) SiO ₂ ppm	pH (ガラス電極)	電 導 度 (15°C) μS/cm	備 考
牧 内 南	湧 水 1	234	671	89.0	283	105	23	7.48	1,640	
	湧 水 2	253	1,180	82.5	601	147	30	6.83	2,800	
	横ボーリング 1	292	1,610	12.7	392	130	34	6.94	3,200	
	横ボーリング 2	241	890	57.0	392	130	34	6.94	2,400	
	集 水 井 1	255	911	11.6	272	155	19	6.70	2,300	
牧滑内 牧内 地すべり の下の	湧 水 3	400	4,300	230	1,840	396	53	5.87	7,500	
	暗 渠 4	330	3,150	184	1,320	496	48	6.32	5,600	湧水3, B13付近の湧水を排水したもの。
	B13 上 段	397	5,270	170	2,105	827	44	5.97	9,450	水圧観測用測管内の水を直接採水
	B13 下 段	399	5,220	247	2,230	582	50	5.93	9,500	水圧観測用測管内の水を直接採水
牧 内 地 す べ り 北 方	湧 水 4	204	1,360	42.6	463	265	41	7.02	3,100	
	湧 水 5	123	890	33.5	344	149	49	6.50	2,180	
	湧 水 6	35	247	30.4	107	60.1	47	6.54	900	
	湧 水 7	140	1,320	39.2	408	205	51	6.27	2,560	
	横ボーリング 3	41.6	803	25.1	129	63.8	62	6.58	1,100	
	横ボーリング 6	60	18.5	17.8	135	71.5	39	7.92	400	
瀬 関 南	暗 渠 1	412	1,875	116	471	610	52	9.94	3,600	
	暗 渠 2	400	3,050	74.0	1,100	591	65	6.33	6,200	
	暗 渠 3	364	2,860	146	1,100	429	67	6.23	5,500	
	暗 渠 5	316	2,720	170	758	539	63	6.14	5,200	
	横ボーリング 4	354	1,830	124	569	470	57	6.27	4,100	
	横ボーリング 5	380	1,670	146	553	334	49	6.30	3,800	

V む す び

松代地震とそれに伴う地すべり・湧水などの地変現象に関しては多くの調査研究がある。今回の調査はいままで報告されていない水圧の変動現象を中心にまとめたものであり、松代地震と湧水機構の解明に少しでも役立つところがあれば幸いである。しかし、今回の測定深度はなにもふんにも浅く、地下深部の水圧の状況は国立防災科学技術センターを中心に行なわれている 2km の長大ボーリング調査などにまづほかないであろう。

つぎに湧水は地下深部から上方へ向って流出していることが今回の調査によって水圧的にも確かめられたと思われる。牧内地すべりなどの対策としては、大口径の縦坑や縦孔による排水が、上位の扇状地堆積物内に流入する地下水の水圧も水量も減少させるから有効であると考えられた。

参 考 文 献

- 1) 岸本良次郎(1968): 松代町の地すべり地付近の地下水圧, 第5回災害科学総合シンポジウム
- 2) 岸本良次郎(1969): 松代地震により発生した地すべりと湧水, 昭和44年度農業土木学会大会講演会
- 3) 全国地すべり対策協議会(1969): 松代地震と地すべり, 地すべり記録集 No. 3
- 4) 山岸登(1968): 地割れと地すべり, 気象庁技術報告No. 62
- 5) 山岸登ほか: ゆう水の変動, 気象庁技術報告 No. 62
- 6) 長野地方気象台, 気象庁地震観測所(1967): 地震調査報告第三報, 松代地震の記録
- 7) R. MORIMOTO et al (1967): Landslides in the Epicentral Area of the Matsushiro Earthquake Swarm—Their Relation to the Earthquake Fault Bull. of the Earthquake Research Inst. Vol. 45
- 8) 松林正義ほか(1967): 長野県松代地区の地すべりについて, 新砂防 Vol. 20 No. 3
- 9) 山口真一ほか(1967): 松代地盤隆起型地すべりについて, 京大防災研年報10号A
- 10) 北野康ほか(1968): 松代地すべり地湧水の地球化学的研究, 京大防災研年報11号A
- 11) 春日功(1967): 松代地震による加賀井温泉の変化地学雑誌 Vol. 76, No. 2
- 12) 川上浩(1969): 裾花・牧内地すべりの安定解析, 地すべり Vol. 8, No. 4
- 13) 飯島弘(1967): 松代地震にともなう異常湧水と地すべり, 応用地質 Vol. 8, No. 2
- 14) 野口喜三雄ほか(1967): 松代地震と地下水, 松代地震と地すべりに関するシンポジウム研究発表要旨

学会だより ◇◇◇

地すべり学会幹事会議事録(44年度第3回)

日 時 昭和44年9月18日

場 所 フリスコ

出席者 山口真一, 大石道夫, 渡 正亮, 高田雄次,
中村三郎, 藤原明敏

議事内容

1. Landslides in Japan の配布(総部数 2000部)
- 1-1 配布先
 - a) 国際土質工学会にて配布(300部, うち100部は船便にて郵送)
 - b) 賛助会員, 運営委員, 幹事に各一部
 - c) 各研究所 8 箇所 × 5 部
 - d) 関連学会
 - e) 予知班, (大学関係)
 - f) 行政機関, 建設, 農林, 国鉄, 防災センター
 - g) 海外開発事業団
 - h) コンサルタント協会
- 1-2 個人会員に無償配布はしない。(1冊300円)
2. 海外における反響(山口)

Skenpton はじめ有名人の関心を惹き, 日本の地すべりの現状を紹介するのに大いに役立った。
3. パンフレットの内容の検討,
 - 3-1 組織の説明 予知班の所在を明確にする。
 - 3-2 正誤表を作成する。
 - 3-3 地すべり 対策協議会の既刊論文もはさみ込みで載せる。
4. 地すべり学会発足5周年記念論説特集