

## 松代周辺の表層地質と地盤災害

飯島 弘

国立防災科学技術センター

### Surface Geology of Matsushiro Area and Disasters by the Matsushiro Earthquake Swarm

By

Hiroshi Iijima

*National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo*

#### Abstract

This paper presents some results of surface geology and the unusual disasters in Matsushiro Area caused by the Matsushiro earthquake swarm in the period 1965 ~ 1967.

Matsushiro area is divided roughly into four geomorphological units as follows:

1. Natural levee, 2. Back swamp, 3. Fan or Talus slope, 4. Mountain.

Surface geological features and ground conditions for the vibration of earthquake are corresponding well to the above geographical classification.

One of the most extraordinary disasters caused by the earthquake swarm was spouting out of a vast body of ground waters. These ground waters show abnormality not only in the chemical composition but also in the volume. The total volume of ground water which spouted out to the ground surface during seven months is assumed to be about  $1 \times 10^7$  cubic meters.

It is a remarkable character that wooden houses and other structures were very rarely damaged by the vibration of earthquake directly. Most of wooden houses and stone walls were damaged rather by landslides or cracks which were originated from displacement of underlying base rocks.

まえがき

松代群発地震は、第3活動期に入るや、その震源域の北西側周辺部において湧水の増加をみ、特に皆神山周辺においては多数の地割れとおびただしい量の湧水が発生した。その結果、牧内はじめ各地で地すべりが発生し、住民に大きな損害と極度の恐怖を与えた。これら地すべりの原因を探り今後の防災に役立てるため、皆神山周辺の表層地質と地盤災害について調査したのでここに報告する。

1. 地形および表層地質

1) 地形

松代町および周辺の地形は、自然堤防地帯、後背低湿地帯、扇状地帯および山地に4大別される。

(i) 自然堤防地帯

自然堤防地帯は千曲川右岸に沿って、松代町象山口と西寺尾を結ぶ線の北西側に幅約500mで西南～北東方向に発達している。表層は砂ないし砂礫よりなり、後背低湿地との比高は0.5～1.0m程度で比較的乾燥している。地下水水位面は地表から2m前後と推定される。

(ii) 後背低湿地帯

後背低湿地帯は自然堤防地帯の東側に広く発達し、両者の境界線に沿って沼の分布がみられる。松代市街地北部は後背低湿地帯の中の微高地に立地し、東寺尾、加賀井、象山口などの部落は後背低湿地の周縁に位置している。扇状地との境界付近には多数の湧水がみられ養魚の水源地として利用されている。後背低湿地帯は一般に地下水水位面が浅く、とくに東寺尾、加賀井付近のように半島状に突出した山地の東側には沼沢地が残存し、表層は有機質の軟弱な粘土層よりなっている。

(iii) 扇状地

扇状地の発達には盆地の東北部および東部にいちじるしい。藤沢川の流域には桑根井部落の発達する比較的規模の大きい隆起扇状地および菅間、竹原、瀬関などの部落をのせる複合扇状地がみられる。また皆神山南麓を西流する蛭川は皆神山西麓に小規模な扇状地を形成している。

扇頂部、および扇状地に山地が迫った部分には押し出し状の巨角礫が厚く堆積し、扇尖から扇端部にむかって構成礫層の粒径は次第に減少している。

これら扇状地の地下水水位面は一般に深いが、牧内西部のボーリング調査により一部に被圧地下水が存在することが明かにされた。扇端部には多くの湧水がみられる。

の湧水がみられる。

(iv) 山地

沖積面との比高約250mの皆神山(東西1.4km, 南北1.3km)は松代盆地の後背湿地帯と扇状地帯の境界付近に位置している。侵食はあまり進んでおらず、溶岩円頂丘の原形をとどめている。

盆地北方の尼殿山(EL807m)、奇妙山(EL1099.5m)は当地域の基盤(第三紀中信層群およびこれを買ぬく閃緑岩、ひん岩類)をおおう火山岩類よりなり、地形は急峻でオーバーハングもみられる。山脚部および扇頂部には節理面から剝離・崩落したブロック状の安山岩の崖錐が厚く堆積している。また基盤の閃緑岩類よりなる山地の山脚部には、強度の風化作用により粘土化した崖錐が堆積している。

盆地の東方および南方の山地には新期火山岩類の分布はみとめられず、基盤の中信層群および閃緑岩類が露出し、地形は北方山地にくらべてゆるやかである。

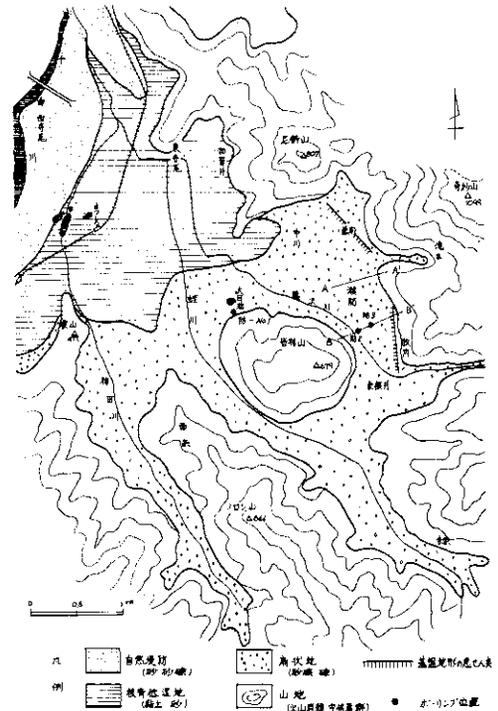


図-1 地形分類図  
Topographical classification map.

2) 表層地質

盆地およびその周辺の表層地質区分ないし地盤区分は前記地形区分とほぼ一致する。したがって地形区分毎に表層地質の概要をのべる。

(i) 自然堤防地帯

千曲川によって形成された自然堤防地帯は、砂礫を主体とし部分的に薄い粘土層を夾在する。固結した基盤岩までの深さは120mを超えるが、後背低湿地帯にくらべて一般に構成粒子が大きく地盤条件は良好である。

(ii) 後背低湿地帯

松代市街地、北東方の加賀井地区におけるボーリング資料によれば、深度20m前後までは有機質の軟弱粘土層、深度20m～40mは砂層ないし砂礫層よりなっている。基盤は中信層群の硬質頁岩ないしこれに貫入する閃緑岩類よりなり、埋積された基盤表面はきわめて凹凸に富んでいる。粘土層は松代市街地付近でやや厚く30m程度になるが、表層および中間部に砂ないし礫層をはさまる。

軟弱な有機質粘土層について力学的な測定は実施されていないが、木造二階建程度の荷重(0.1～0.15 kg/cm<sup>2</sup>)で容易に沈下を生ずる典型的な軟弱地盤である。

後背低湿地帯の地盤は、前記軟弱粘土層の存在から静的荷重に対しても、動的荷重に対しても不良な地盤であるといえる。

(iii) 扇状地

菅間・竹原・瀬関部落が立地する扇状地および牧内部落西方の山麓部で13本以上のボーリング調査が行なわれたが、基盤岩が確認されたものは扇頂部ないし、山脚部で実施された5本のみである。

扇尖部および扇端部の深度70～80mのボーリングでは、いずれも基盤岩に到達せず未固結堆積物の厚さは数十m～百数十mを超えるものと推定される。

菅間付近のボーリング資料および牧内付近の露頭の資料によって明かにされた顕著な点は図-1に示すように菅間付近ではNW-S E方向、牧内付近ではN-S方向の線を境にして基盤が約100m以上盆地側に落ち込んでいることである。この落ちこみが断層によるものか否かについては不明であるが、露頭とボーリング資料から推定される埋積された基盤の傾斜は65°～70°に達する。

皆神山と牧内背後の山地が最も近接する狭さく部の藤沢川の段丘上で実施した深さ130mのボーリング(防セNo.2)注)によっても基盤岩は確認されず、左右岸ともに急斜面をなす埋積谷ないし断層谷の存在が考えられる。(図-1参照)

また、ボーリング(防セNo.2)の柱状図をみると、深度18mおよび深度63m付近に堆積環境の変化を示すと考えられる境界面が認められる。

すなわち、深度18m付近に有機質の黒色粘土の薄層があり、それ以浅は比較的ルーズな礫混り砂質粘土より、現藤沢川の運搬した土砂であると考えられる。深度18m～63mの間は6～10mのサイクルで角礫質の部分と砂質ないし粘土質の互層をなし、繰返し発生した土石流の累積したものと考えられる。とくに58m～63mの間の角礫層は礫径も不揃いで乱堆積状を示している。深度63m以深は礫混り砂質粘土がやや優勢となり全般に地層も締めり堆積のサイクルもやや大きくなっている。

このボーリング孔を利用して実施した層比抵抗、自然電位および弾性波速度等の検層結果からも図-2-aの柱状図に示すように63～67m付近に地層の不連続面が識別されている。ボーリングのコアでみる限りでは、礫種は圧倒的に安山岩が多いが、深度48m～110mの間に閃緑岩の礫も散在し、安山岩の山地と同時に基盤の閃緑岩の山地も相当な侵蝕を受け、峡谷の埋積を進めたものと考えられる。

ボーリング(防セNo.3)で粘土質の部分を選んで行なった標準貫入試験のN値は深度5mでN=22を示し、よく締っている。

扇状地は全般的に安山岩の大礫、礫、閃緑岩類の礫と砂および粘土からなっているが、礫は角礫状のものが噛み合いその間を締った砂、粘土が填充しているので地盤としては比較的良好である。扇端部および異常湧水のみられた部分以外では一般に地下水水位は深い。

(iv) 山地

滝本付近に半固結の滝本層(円礫、軟かい泥層)が局部的に分布する以外は固結度の高い中信層群

注) 松代群発地震の調査研究のため防災センターで行なったボーリングを防セNo.1～3と名づける。防セNo.1は1966年5～7月に行ない現在観測井と呼ばれているものである。

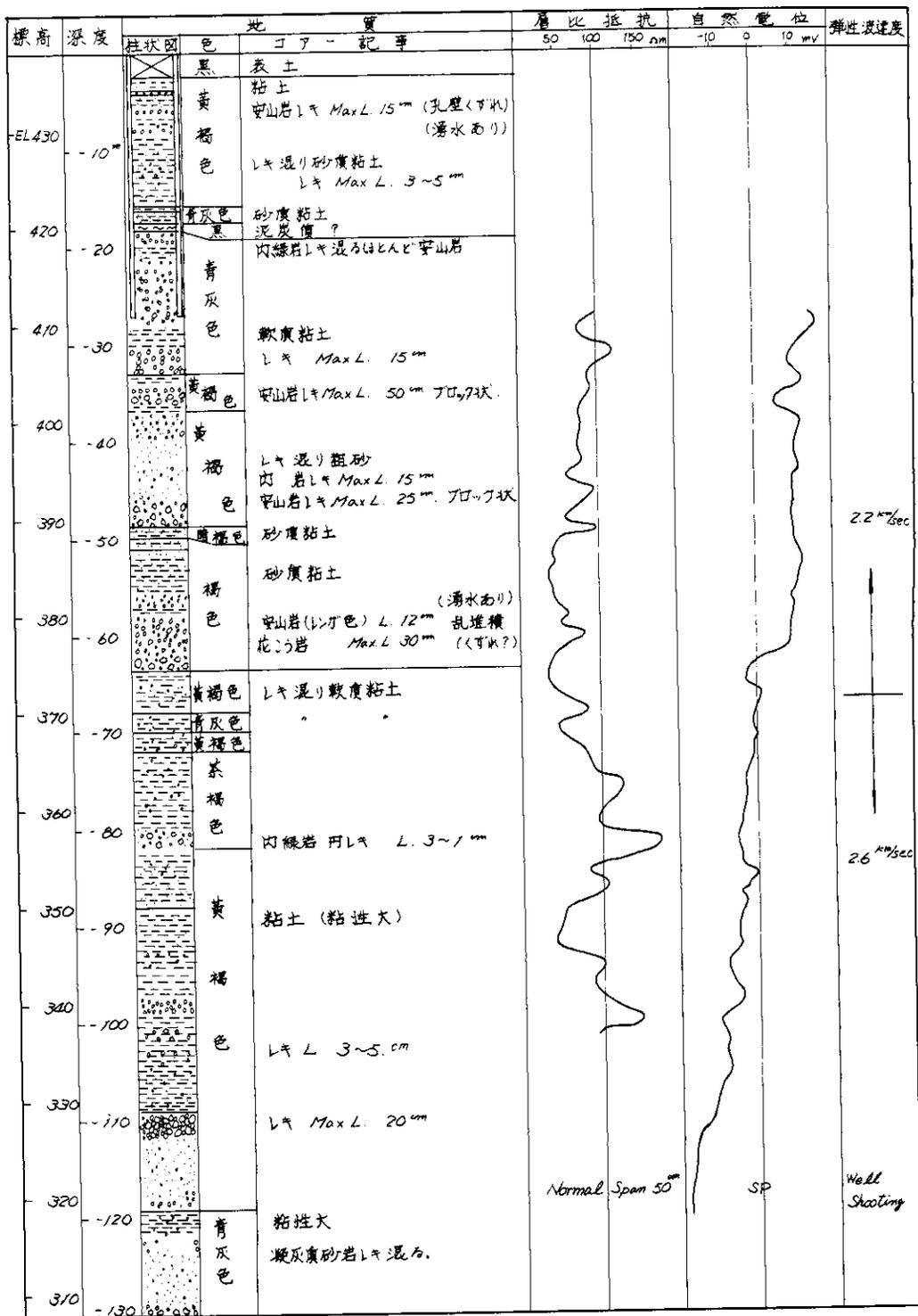


図-2-a ボーリング柱状図(防セNo.2 (EL438m))  
Columnar section of the boring No.2

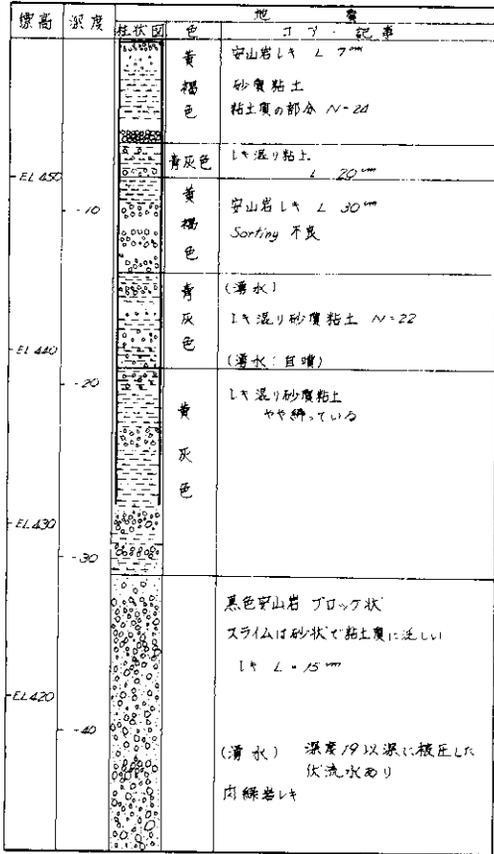


図-2-b ボーリング柱状図(防せNo.3  
(EL458m))  
Columnar section of the boring No.3

の硬質頁岩および火山岩類よりなる、火山岩類には一般に節理の発達が顕著で、ブロック状に崩壊した崖錐が山脚部にみられる。

## 2 異常湧水と地盤災害

### 1) 異常湧水

松代群発地震にもなって発生した大量の湧水は地震動自体による家屋・公共施設の被害を上廻る有形・無形の被害をもたらした。

今回のように松代盆地内の各所に水質・水量ともに異常な地下水が噴出し、これが地すべり発生の主要原因となり、また盆地内のかんがい、排水路の系統を大幅に変更させるを得なくなるような事態を招いた例は稀なものと考えられる。以下

- i) 異常湧水発生時の状況
- ii) 異常湧水の量的な変化
- iii) 水比抵抗値の分布とCl<sup>-</sup>濃度の関係についてのべる。

### i) 異常湧水発生時の状況

光波測量によりN-S方向に最大の伸びが観測された時期(1966年8月~9月)とほぼ同じ時期に松代盆地の扇状地、扇状地と山地の境界付近および尼厳山西麓の沖積地縁辺部に異常湧水が発生した。湧水の発生箇所数は盆地内で確認されたものだけで約70ヶ所に達した。聞き取り調査および踏査によって判明した湧水発生時の概況は次のとおりである。

1966.9.6 : 瀬関南部・笠原地区の桑畑上部(標高470~500m)よ

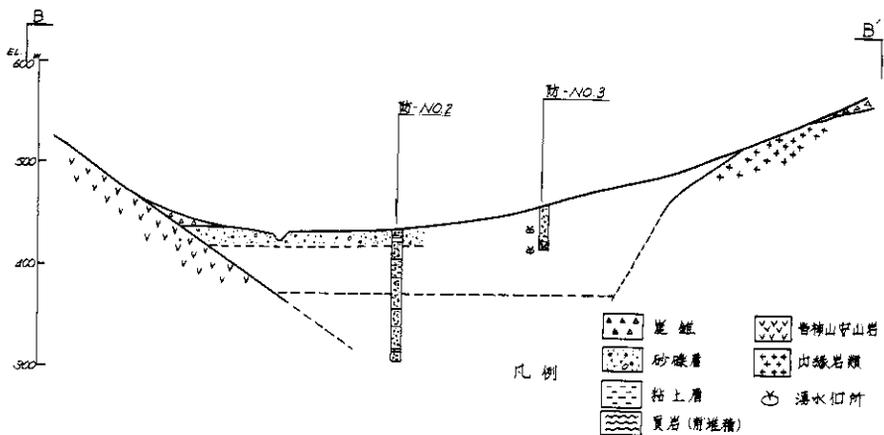


図-3-a 地質断面図  
Geological profile

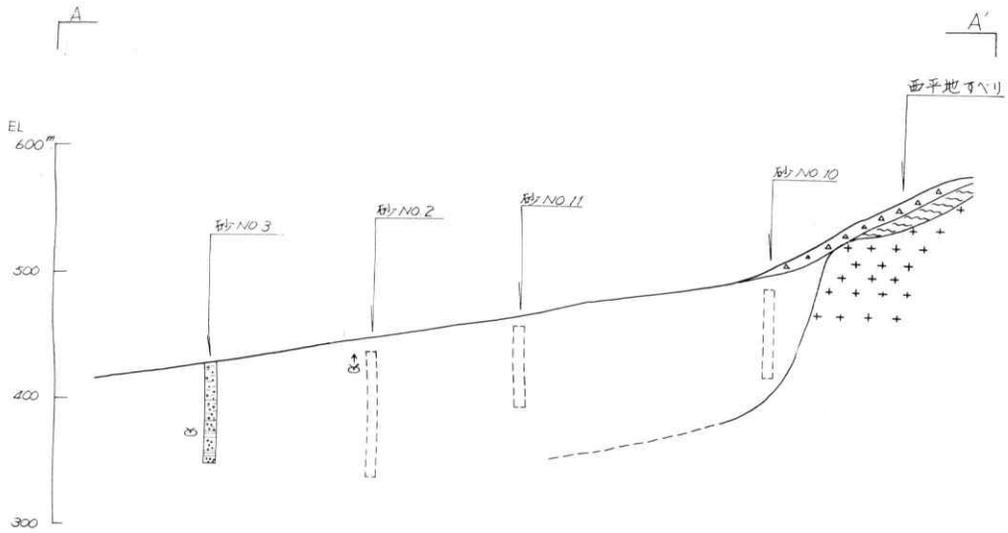


図-3-b 地質断面図  
Geological profile

り大量（推定  $12\text{m}^3/\text{min}$ ）の湧水、小規模な風化粘土層のくずれ発生、ほぼ同時に牧内地区（標高  $490\text{m}$  付近）の桑畑より湧水。

- 1966. 9.10 : 滝本地区（標高  $570\sim 600\text{m}$ ）では8月中・下旬から沢水の涸渇がみられ、9月になりより深刻となる。
- 1966. 9.15頃: 加賀井地区の家屋裏手の石垣（標高  $370\text{m}$ ）およびリンゴ畑から湧水増大。
- 1966. 9.17 : (牧内地すべり発生)
- 1966. 9.18 : (瀬関南地区（標高  $510\text{m}$ ）小地すべり発生)
- 1966. 9.20 : 瀬関地区（標高  $430\text{m}$ ）ガスを混えた湧水増大。  
中川～菅間の道路の路面（標高  $410\sim 420\text{m}$ ）より湧水。
- 1966. 9.20前後: (桐久保地区（標高  $600\text{m}$ ）地すべり発生)
- 1966. 9.21 : 瀬関地区北西部（標高  $390$



写真-1 大日堂東方の桑畑の湧水状況

Spouting-out of ground water in a mulberry field near Dainichido.

m) 道路面より湧水。

- 1966. 9. 下旬 : 皆神山北西麓・大日堂付近の桑畑（標高  $380\text{m}$ ）より湧水。  
気象庁地震観測所坑内の湧水量増加。

1966.9.下旬 : (立石沢地区(標高550m)  
地すべり発生)

1966.10.9 : (西平地すべり発生)

上記の経過をみると、顕著な異常湧水は藤沢川東北岸に発達する扇状地に相次いで発生している。湧水個所は1966年1月~5月の間に山岸ら<sup>8)9)</sup>や中村ら<sup>1)</sup>により発見・観測された en échel-on構造を有する地割れ群 (General strike N60°W) に沿って分布している。時間の経過につれて扇頂から次第に扇状地末端に向って地下水位の異常が波及的に前進していった。さらに7~10日の遅れをみて藤沢川の対岸、皆神山山麓大日堂付近の桑畑に湧水が発見された。また気象庁地震観測所坑内の湧水量が徐々に増大し観測業務に支障をきたすようになった。

盆地内最大の湧水地点である瀬関南部地区では

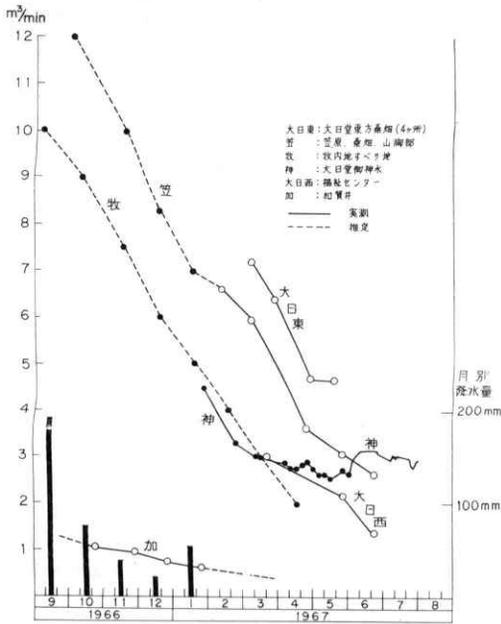


図-4 各地域の流量の変化図

Variation of volume of groundwater at various areas.

推定  $12\text{m}^3/\text{min}$  に達する湧水が山脚部および桑畑から噴出し、地下水面が地表面より上昇してしまったような状況を呈した。地すべりの発生をみた牧内地区も推定  $10\text{m}^3/\text{min}$  の湧水が地すべり発生後も崩落崖下部の数ヶ所から湧水しているのが認められた。

ii) 異常湧水の量的な変化

1966年9月に発生した異常湧水は降雪量や

降水量とはほとんど相関を示さず減少を続け、1967年4月頃には発生時の水量の  $1/3\sim 1/4$  に減少した。図-4に地区別の異常湧水量の時間的变化の概要を示してある。

測定方法は大日堂付近を除き、それぞれの地区で湧出した水がある程度排水路に集められた地点で、水路の断面積・水深・流速を測定し、流量(湧出量)を測定した。

測定期間中に緊急対策工事による水路の切かえなどがあり、観測点をやむを得ず変更したために測定精度が若干低下した例もあった。

全般的な傾向として、1966年9月の中・下旬をピークとして各地区とも湧水量は減少を続けているが、とくに大量の湧水がみられた瀬関南部地区・牧内地区などでは減水の割合が著しく、加賀井地区のように発生当時の湧水量が少なかった

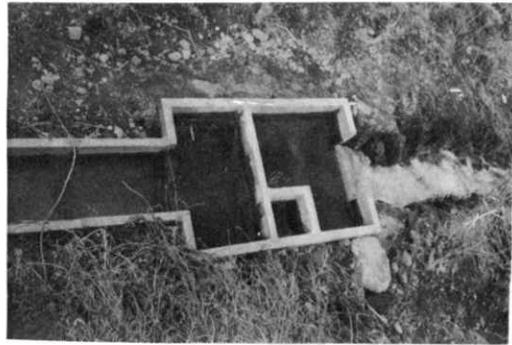


写真-2 湧水量測定値用ノッチ(大日堂付近)  
Notch used for hydrometrical observations near Dainichido.

地区では減水の程度も小さい傾向がみられる。1967年5月以降、すなわち異常湧水発生以来8ヶ月目に至り、水量の減少に鈍化傾向が認められた。

皆神山麓の大日堂御神水(大日池すなわち農業用溜池に流入)の水量測定は写真-2に示すコンクリート・ノッチで測定しているの、他の測定値より精度は高い。

この御神水の水量が1967年5月頃、 $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 程度増加を示しているが、ちょうど同時期に大日堂西南部の排水工事が開始されているので、伏流水の一部が御神水中に流入していることも考えられ、全部が湧出量の増大とするには疑問が残る。

地震活動と異常湧水の機構的な関連、ないし異常湧水の起源について考察を進める場合、水質と同時に水量も一つの手掛りを与えるものと考えられる。前述のように測定条件が変化したり、測定精度が不揃いである点を前提として、地区別の総湧水量をとりまとめたのが表-1である。

上記表によれば1966年9月~1967年4月に至る約7ヶ月間の推定湧出総量は

$$7 \times 10^6 \text{ m}^3$$

に達する。しかし、表-1にとりあげた湧水は比較的顕著なもののみで、その他にも少量の湧水は盆地内の各所に認められる。そこで、1967年4月以降の湧出量も加算した場合には、今回の群発地震による異常湧水の全量は

$$1 \times 10^7 \text{ m}^3$$

に達するものと推定される。

iii) 水比抵抗値の分布とCl濃度の関係

異常湧水が発生してから約5ヶ月を経過した1967年2月~4月の間に、松代付近の湧水・表

表流水および温泉水について水温・水比抵抗の測定を一回実施した。測定は携帯用電気電導度計(東亜電波製 CM-3M型)を使用し、79測点について行った。測定結果は表-2に示すとおりである。

著しく低い比抵抗値を示す水は長礼-田中-池田の宮-瀬関-牧内をつらねる線に沿って分布する。この分布はいわゆる地割れ発生地帯とほぼ一致している。

河川表流水についてみると、上記の低比抵抗地帯を流れる藤沢川が最も低い値を示し、皆神山南麓を流れる蛭川、気象庁地震観測所前を流れる神田川と南に行くほど高い比抵抗値を示している。

1,000Ωcm以下の低い比抵抗値を示す水と10,000Ωcm以上の高い比抵抗値を示す水の平面的な分佈を図-4に示す。水温と水比抵抗の関係は図-5のとおりで明瞭な相関は認められない。しかし、水比抵抗値の高い部分は一般に水温が低く、水比抵抗値の低い部分は水温のバラツキが大きい傾向がみられる。

図-6は水比抵抗値とCl濃度の相関をプロットしたものである。Cl濃度の測定は防災センター鈴木宏芳技官が実施した。

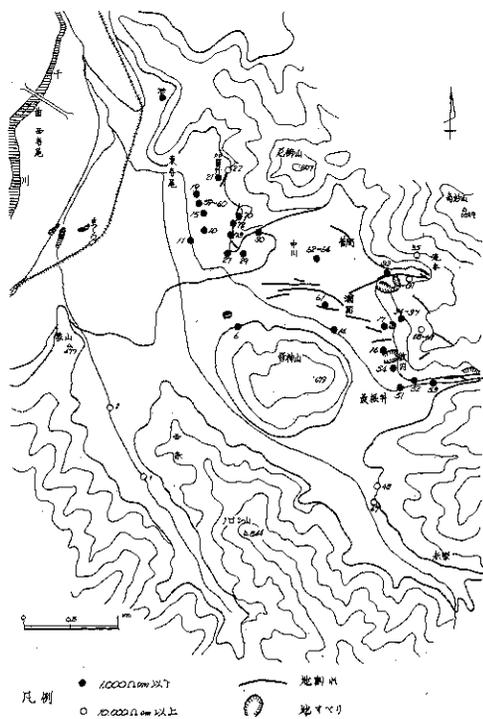
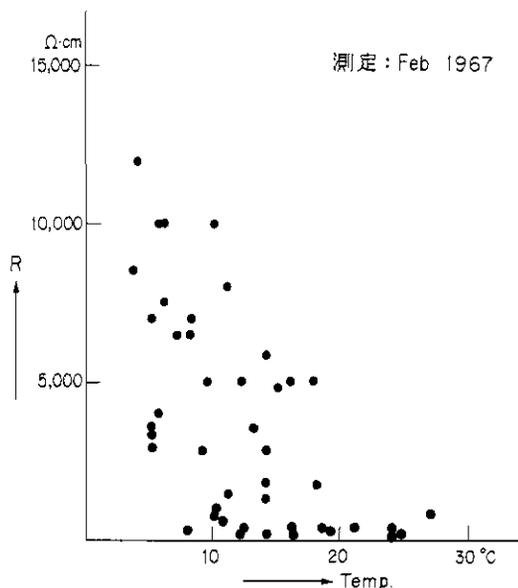


図-5 水比抵抗測定値分布図  
Distribution of water specific resistivity

表-1 異常湧水の湧出量  
Quantities of anomalous spouting-out of ground water in the Matsushiro basin.

| 地区    | 1966   |        |        |       | 1967   |        |        |        | 計   |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-----|
|       | 9      | 10     | 11     | 12    | 1      | 2      | 3      | 4      |     |
| 笠原    | (42.5) | (51.8) | (43.2) | (36)  | (30)   | 28     | 21.6   | 15     |     |
| 牧内    | (35)   | (39)   | (32)   | (26)  | 21.6   | (17.4) | (13.0) | (8.8)  |     |
| 加賀井   | (6.5)  | 4.3    | 3.9    | 3.5   | 3.0    | (2.2)  | (1.7)  | (0.9)  |     |
| 瀬関    | (1.1)  | 1.0    | (0.9)  | (0.7) | (0.35) | (0.22) | (0.16) | (0.09) |     |
| 菅間    | (0.2)  | (0.13) | (0.09) |       |        |        |        |        |     |
| 大日堂付近 | (25)   | (30)   | (30)   | (30)  | 26     | 26     | 22     | 17.5   |     |
| 計     | 110    | 126    | 110    | 96    | 73     | 58     | 58     | 42     | 700 |

注 単位: 10<sup>4</sup>m<sup>3</sup> ( ):推定値 1966.9月は半月



図一六 水温と水比抵抗の関係

Relation between water temperature and water specific resistivity.

2) 地割れおよび地すべり

表層地質の項でものべたように松代周辺には、地盤条件のよくない後背低湿地帯が広く分布し、表一三に示すようにマグニチュード5を越える地震が13回(1965. Nov. ~ 1966. Oct.)も発生している。しかし、直接地震動による被害は比較的少なく、被害の大部分は異常湧水や地すべりなど二次的な作用によるものが著しい。

地震が次第に大きくなっていったこと、最大規模のもので1966年4月5日に発生したマグニチュード5.4程度であったこと、および地盤条件の悪い部分の土地利用度が低いことなどが地震動による直接被害が比較的軽微であった理由の一部をなすと考えられる。

i) 地割れ

松代およびその周辺地域で地割れ現象が現れ始めたのは1966年の初め、ないしは1965年の末頃からであると推定される<sup>8)</sup>。

中村ら<sup>1)</sup>の調査によれば1966年1月21日に松代町竹原地区で長さ275mに達する割れ目が発見され、また竹内<sup>4)</sup>によれば1966年4月5日のM=5.4の地震によって若穂町温湯付近に地割れが発生したという。しかし、松代周辺で多数の割れ目が発見されるようになったのは1966年8月からで、群発地震の第3ピーク時とほぼ一致する。

1966年末までに発見された地割れ群の概要を図示したものが図一五である。地割れは山地および扇状地では比較的連続した状態で観察されるが、その延長が後背低湿地帯に続く場合にはほとんど追跡できない<sup>8)</sup>。

その発生以来の観察によれば<sup>1) 2)</sup>これらの地割れ群について成因・形態の特徴および挙動から二つに大別できる。すなわち、基盤岩に発生した横ずれ断層の動きが地表に現れた割れ目群、および地震動ないし異常湧水によって地表部分の土塊の力学的平衡条件が変化し、ゆるやかな土塊の移動に起因する地割れ群の二つの群である。前者すなわち基盤の断層の地表的表現と考えられる地割れ群は地形とはほとんど無関係にN70°~80°W方向に連続し、Fissure Zoneを構成する個々のクラックはen échelon構造を示すことが特徴的である。一方、土塊の移動に起因すると考えられる地割れの場合には、断続的に観察される割れ目を追跡すると大なり小なり馬蹄型にわん曲している。

このような成因的な差をもつ地割れ群の種類によって構造物の被害の現われ方にも差異がみられる。すなわち基盤のずれに由来する割れ目群は、一般にFissure Zoneの幅は数m程度であり、水平的にも垂直的にも変移量が小さいので、家屋等の直下をFissure Zoneが通る場合には変状が現われ被害を生じているが、その範囲は限定されている。一方、後者の場合にはある範囲の土塊が移動しているため木造家屋や石垣の変状、倒壊などの被害が多く発生している。とくに後背低湿地すなわち軟弱地盤地帯に接して立地している松代町加賀井、長礼地区更埴市石坑地区および若穂町温湯地区では、移動を抑制すべき部分の土塊がきわめて軟弱な粘土であり容易にはらみ出し(盛り)現象を起したため集中的に家屋の被害を発生している。またこれらの地域の場合にはいずれも異常湧水による土の強度の低下や間隙水圧の発生などによる悪条件が重なり被害を促進している。

ii) 地すべり

1966年9月17日、牧内地区に発生した地すべり、その2~3日後に発生したという朝久保の地すべり、および同年10月9日に牧内の北方約700mの西平地区に発生した地すべりは今回の群発地震にともなう地盤災害の中でも最も顕著なものである。またこれらの地すべりはともに、

表-2 水比抵抗測定一覧表

Specific resistivity of water in Matsushiro town

| 測定 | 測定年月日     | 水比抵抗値<br>( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) | 水温 (°C) | 測定箇所            | 備考    | 測定 | 測定年月日     | 水比抵抗値<br>( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) | 水温 (°C) | 測定箇所         | 備考      |
|----|-----------|---------------------------------------|---------|-----------------|-------|----|-----------|---------------------------------------|---------|--------------|---------|
| 1  | 42. 2. 8  | 10000                                 | 6       | 地震観測所前神田川       | 河川表流水 | 41 | 42. 2. 22 | 6500                                  | 7       | 金刀比羅神社垣川     | 河川表流水   |
| 2  | "         | 10000                                 | 6       | 中村神社前神田川        | " "   | 42 | "         | 6500                                  | 7       | 県道橋下 蛭川      | " "     |
| 3  | "         | 7000                                  | 5       | 向陽寺東 蛭川         | " "   | 43 | "         | 4000                                  | 6.5     | 菅神山南橋用水路     | 表流水     |
| 4  | "         | 5800                                  | 14      | 福祉寮溝            | 伏流水   | 44 | "         | 7000                                  | 8       | 欠の諏訪社下       | " "     |
| 5  | "         | 1800                                  | 16      | 大日堂湧泉           | 湧水    | 45 | "         | 8000                                  | 11      | 欠腐状地桑畑       | 湧水      |
| 6  | "         | 400                                   | 18.5    | 大日堂東北方コンクリートパイプ | " "   | 46 | "         | 6500                                  | 8       | 欠、蛭川         | 河川表流水   |
| 7  | "         | 5000                                  | 16      | 大日堂東横坑(飲用)      | " "   | 47 | "         | 10000                                 | 10      | 欠、蛭川右岸石垣     | 湧水      |
| 8  | "         | 4800                                  | 15      | 大日堂東桑畑          | " "   | 48 | "         | 26000                                 | 4       | 豊栄小裏沢水       | 表流水     |
| 9  | "         | 1800                                  | 14      | 大日堂排水口          | 池水    | 49 | "         | 3000                                  | 5       | 豊栄小東の沢       | " "     |
| 10 | "         | 380                                   | 24      | 田中部菴            | 湧水    | 50 | "         | 3500                                  | 5       | 桑根井神社下       | " "     |
| 11 | "         | 780                                   | 10      | 淨福寺東藤沢川         | 河川表流水 | 51 | "         | 850                                   | 10      | 立石沢入口藤沢川     | 河川表流水   |
| 12 | "         | 5000                                  | 9.5     | 真勝寺東用水路         | 表流水   | 52 | "         | 320                                   | 12      | 牧内東南林道下石垣    | 湧水      |
| 13 | "         | 8500                                  | 3.5     | 真勝寺 蛭川          | 河川表流水 | 53 | "         | 900                                   | 10      | " 沈着物        | 表流水     |
| 14 | "         | 220                                   | 12      | 瀬開南 排水路         | 湧水    | 54 | "         | 180                                   | 16      | 牧内地すべり東側排水   | 湧水      |
| 15 | 42. 2. 10 | 80                                    | 34      | 松代若温泉           | 温泉    | 55 | 42. 3. 12 | 30000                                 | 5       | 清滝           | 表流水     |
| 16 | "         | 700                                   | 8       | 牧内地すべり排水        | 湧水    | 56 | "         | 6000                                  | 4       | 滝本東南の沢       | " "     |
| 17 | "         | 200                                   | 14      | 瀬開南 湧水地点        | " "   | 57 | 42. 3. 23 | 1000                                  | 10      | 乙女沢末端記念 前    | " "     |
| 18 | "         | 7500                                  | 6       | 善福寺南用水路         | 表流水   | 58 | "         | 1800                                  | 9       | 防々N02~N03 中間 | 湧水      |
| 19 | 42. 2. 19 | 80                                    | 24      | 一陽館排水路          | 温泉    | 59 | 42. 3. 28 | 50                                    | 40      | 一陽館          | 温泉      |
| 20 | "         | 5000                                  | 18      | 加賀井センター並下       | 湧水    | 60 | "         | 70                                    | 34      | "            | " "     |
| 21 | "         | 180                                   | 24.5    | " 林務ボーリング       | " "   | 61 | "         | 210                                   | 14      | 瀬開石垣         | 湧水      |
| 22 | "         | 10000                                 | 5.5     | 加賀井水路           | 表流水   | 62 | "         | 800                                   | 16      | 竹原ボーリング湧水    | " "     |
| 23 | "         | 2800                                  | 9       | 加賀井北壁崩壊より       | 湧水    | 63 | "         | 750                                   | 16.5    | 竹原砂防ボーリング2   | " "     |
| 24 | "         | 1300                                  | 14      | 加賀井北方桑畑         | 湧水    | 64 | "         | 770                                   | 16      | " 排水路        | " "     |
| 25 | "         | 8500                                  | 12.5    | 東桑農協西方用水路       | 表流水   | 65 | "         | 7000                                  | 11      | 菅間西方排水路      | 表流水     |
| 26 | "         | 2800                                  | 14      | " ハス田出口         | " "   | 66 | "         | 3700                                  | "       | 菅間西北方ボーリング4  | 湧水      |
| 27 | "         | 450                                   | 21      | 東桑農協東方桑畑        | 湧水    | 67 | "         | 8000                                  | 9       | 牧内裏山地すべり凹地池  | 池水      |
| 28 | "         | 1500                                  | 11      | タマヨリヒメ神社前       | " "   | 68 | "         | 26000                                 | 7       | " 湧水         | 湧水      |
| 29 | "         | 950                                   | 27      | " 池             | 池中の湧水 | 69 | "         | 24000                                 | 7       | 牧内沢上流        | 地表水     |
| 30 | "         | 600                                   | 19      | 善徳寺東水路          | 湧水    | 70 | 42. 3. 29 | 340                                   | 12      | 田中東沢         | " "     |
| 31 | "         | 12000                                 | 4       | 乙女沢水道取水の上       | 河川表流水 | 71 | "         | 40                                    | 38      | 松代若温泉        | 温泉      |
| 32 | "         | 9000                                  | "       | 菅間水道水源池         | " "   | 72 | "         | 1500                                  | 7       | " 裏がけ        | 湧水      |
| 33 | "         | 600                                   | 10.5    | 乙女沢地すべりの下       | " "   | 73 | "         | 30                                    | 20      | 田中東南桑畑       | " "     |
| 34 | "         | 600                                   | 12      | 瀬開南 京大ノッチ       | 湧水    | 74 | "         | 70                                    | 30      | " 桑畑         | 湧水(開水前) |
| 35 | "         | 320                                   | 16      | " ボーリング         | " "   | 75 | "         | 100                                   | 27      | " "          | 湧水(G=1) |
| 36 | "         | 300                                   | 16      | " 桑畑            | " "   | 76 | "         | 800                                   | 15      | 東桑小学校横沢      | 表流水     |
| 37 | "         | 250                                   | 16      | " "             | " "   | 77 | 42. 4. 25 | 1500                                  | "       | 地震観測所排水坑     | 湧水      |
| 38 | "         | 1100                                  | 9       | 牧内センターボーリングNo3  | " "   | 78 | "         | 80                                    | "       | ゴミ焼却場下       | " "     |
| 39 | "         | 3400                                  | 5       | 田中東方用水路         | 表流水   | 79 | "         | 4000                                  | "       | 若穂町温泉        | 伏流水     |
| 40 | 42. 2. 22 | 5000                                  | 12      | 福祉寮西桑畑          | 湧水    | "  | "         | "                                     | "       | "            | "       |

表-3 1965年11月～1966年10月に発生したM=5以上の地震  
Earthquakes (Magnitudes  $\geq 5$ ) occurred from Nov.  
1965 to Oct. 1966.

|    | Date       | Location   |           | M   |
|----|------------|------------|-----------|-----|
| 1  | 1965.11.23 | E 138° 14' | N 36° 31' | 5.0 |
| 2  | 1966. 1.23 | 138° 13'   | 36° 31'   | 5.1 |
| 3  | 1966. 4. 5 | 138° 19'   | 36° 35'   | 5.4 |
| 4  | 1966. 5. 6 | 138° 15'   | 36° 31'   | 5.0 |
| 5  | 1966. 5.28 | 138° 13'   | 36° 34'   | 5.3 |
| 6  | 1966. 6.12 | 138° 19'   | 36° 32'   | 5.0 |
| 7  | 1966. 6.26 | 138° 21'   | 36° 33'   | 5.0 |
| 8  | 1966. 8. 3 | 138° 12'   | 36° 28'   | 5.3 |
| 9  | 1966. 8. 8 | 138° 19'   | 36° 32'   | 5.1 |
| 10 | 1966. 8.28 | 138° 08'   | 36° 28'   | 5.3 |
| 11 | 1966. 8.29 | 138° 15'   | 36° 34'   | 5.1 |
| 12 | 1966. 9.14 | 138° 15'   | 36° 34'   | 5.0 |
| 13 | 1966.10.26 | 138° 22'   | 36° 33'   | 5.3 |

前節(2-2)でふれた異常湧水の発生ときわめて密接な関連をもっているものと考えられる。

牧内地すべりと西平地すべりはほぼ南北方向に配列しているが、いずれも表層地質の項でのべたとおり基盤岩(閃緑岩類)が急傾斜で扇状地側に落ちこむ埋積地形の急せん点上に位置している。牧内～西平間の山脚部には基盤岩の露頭もみられるが一般に基盤岩は凹凸に富み厚い崖錐におおわれている。

牧内地すべり：地すべりは閃緑岩の風化した崖錐が10～15mの厚さで堆積し、平均地表面傾斜25°～30°を示す山脚部に発生した。すべりは粘土状に風化した崖錐中に発生し、移動土塊中に観察される追路面の転位の状況からみて円弧状のすべり面による回転運動があったものと考えられる。

地すべり発生の数日前から、牧内北方約250mの瀬関南部で大量の湧水がみとめられ、牧内でも湧出量が次第に増大の傾向にあったこと、および地すべり発生後の崩落崖下部の数ヶ所から7～10m<sup>3</sup>/minの湧水が引き続き湧出していることから、地すべりの直接的誘因は異常湧水であると考えられる。

牧内地すべりのメカニズムを推定する上で、牧内部落の井戸で浅層地下水の水位面について継続観測を行なった細野<sup>7)</sup>の研究および湧水の水質の変化について測定を行なった野口ら<sup>8)</sup>の研究は興味

あるものである。

細野の観測によれば、牧内部落の手掘り井戸(地すべり発生地点の南西約80m、深さ7.6m)の水位が、1966年8月3日および同年8月8日の地震(表-3参照)によって、それぞれ1.25m、0.75mの異常な上昇を示したという。この異常な上昇は降水とは無関係な地震動による地下水面の動揺であり、地震発生から9～13時間のタイムラグを経て上昇が起っているという。

一方、水質変化に関する野口らの研究によれば地すべり発生当日の牧内で採水した湧水のCl<sup>-</sup>濃度は18～37ppmであったが、地すべり発生後、次第に塩化物濃度が増大し、1966年10月7日には400ppmに達し、さらに増加を続けているという。

これらの研究結果および地すべり発生後の調査結果から地すべり発生に至る間の経過は次のように推定される。

i) 地すべり発生以前から、地震動に伴う浅層地下水の水位面の異常な上昇・下降がみとめられている。これは、在来の浅層地下水の流動経路および流動量が地震動によって変化したものと考えられる。しかし、浅層地下水の変動だけでは地すべり発生の原因とはなり難いものと考えられる。

ii) 1966年9月上旬頃から地下深部に由来する異常湧水が発生し、除々に浅層地下水の水面を押し上げた。

iii) 地すべり地の崖錐は次第に水で飽和され、異常湧水の増大にともない、風化崖錐中に過剰間げき水圧の発生、粘着力の低下をまねき、地すべり発生に到った。

西平地すべり: 地すべりの崩落崖を観察すると、地表から3~8mの表層部には $\phi 20\sim 50$ cmの安山岩の角礫がみられ、その下部に礫を含む再堆積した暗灰色粘土層および礫を含む砂質粘土層がみられる。基盤の閃緑岩は牧内と同様に強度の風化作用を受け、すべりはこの部分に発生している。この地すべり地は、崩落崖に露出する地層断面からみても、過去に地すべりおよび崩壊を発生した地域であると考えられる。

崩落崖上部砂質粘土層中から少量の湧水がみられ、その水比抵抗値は $10,000\sim 12,000\Omega\text{cm}$ できわめて高い値を示す。一方、地すべりの南を流れる乙女沢の水比抵抗を測定してみると、地すべりの上流部では $9,000\sim 12,000\Omega\text{cm}$ 、地すべりの直下流部では $600\Omega\text{cm}$ と急変する。従って地すべりの下部から水比抵抗値の低い異常湧水が湧出しているものと考えられ、牧内と同様に、異常湧水が地すべり発生の重要な誘因となっているものと考えられる。

牧内地すべりが円弧すべりの形態をとるのに反しこの地すべりは山くずれ的な形態を示している。これは、表層を厚くおぼっている安山岩のブロック状の崖錐層の存在によるものと推定される。

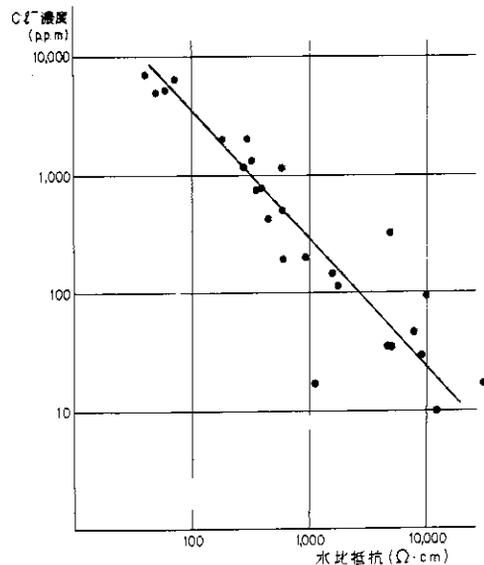
桐久保の地すべり: 外観的には牧内と似て基盤岩(風化した石英閃緑岩類)が急傾斜で谷に落ちこむ所に形成された巾のせまい河岸段丘の1部が地すべりをおこし、田が流動・変位したものである。発生地点は西平・牧内の地すべりの延長方向よりは東よりで、むしろ、牧内地すべりのESE方向(個々の地割れの方向に当る)に当る。他と同様に $\text{Cl}^-$ の多い湧水を生じており、特に地すべりにより生じた崖の東端近くには、あたかも強い水圧で土が吹きとばされたごとく、円錐形(軸は水平)にえぐられたあとがあり、そこより湧水をみている。

牧内地すべりの北、瀬関南部地区の桑畑の頂部牧内背後の山から土石流が流下したような地形的外観を示すU字谷の末端で、これも高い水圧により崩積土の1部が突き流されたような外観の小さな崩壊がみられる。その地点の湧水も $\text{Cl}^-$ を含み、その後ほられた調査ボーリングからは $\text{Co}_2$ ガ

スもでている。なお、この付近に表土層がずり下った所が2箇所ある。

以上のほか立石沢に崩壊2箇所と、地すべりに土地のずり下った所が1箇所ある。山地のことゆえ、発生日は正確にはわかっていない。発生箇所は桐久保地すべりの東方に当る。ここには風化石英閃緑岩はみられず、地質は第3紀層で、その上の深さ1~数mの表土層が板状に滑落したという感じのものである。湧水を伴うが、野口・高橋の調査によると、水温、 $\text{Cl}^-$ とも通常の地下水であるという。なお、地すべり状にずり下った所は杉林で、以前に谷に押出された所が著しく湿潤となり、円弧状の亀裂が入って多少谷にずり下ったと思われるものである。

以上のほか、地すべりには至らなかつたが、異状湧水をみた地帯で地すべり群型の地割れが、加賀井・長礼・菅間・岩沢、笠原(山中滝本新田から松の窪、等に多数発生し、所によっては落差、地割れ巾各40cm程度となつたが、何れも地すべりにはならないですんでいる。ただし、これらは、湧水をその付近にみても量的には少ない所ようである。



図一七 水比抵抗と $\text{Cl}^-$ 濃度の関係  
Relation between water specific resistivity and  $\text{Cl}^-$  concentration.

参 考 文 献

- 1) K. Nakamura and Y. Tsuneishi (1966):  
Ground crack at Matsushiro Probably of underlying strike-slip fault origin. I-Preliminary Report. Bull. Earthq. Res. Inst. vol. 44, pp. 1371 ~ 1384
- 2) 金井清 (1966): 強震計観測と常時微動観測, 松代地震総合報告会・講演要旨
- 3) 沢村ら (1967): 松代震源域の地質と地質構造. 防災科学技術総合研究速報 5 3~11 国立防災科学技術センター 1
- 4) 竹内順治 (1967): 松代地震による被害と地盤の関係 特に地下水位との相関について. 地質学雑. vol. 73 No. 6 263-276
- 5) 野口ら (1967): 松代地質と地下水. 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
- 6) 国立防災科学技術センター (1967): 松代群発地震観測資料 (第1報), 防災科学技術研究資料, 1
- 7) 細野義純 (昭和42年): 消防水利に利用する地下水の研究 (そのⅢ) 地震動ともなう地下水の変動について. 災害科学研究会, 消防研究所
- 8) 東京管区气象台・長野地方气象台 地震調査報告. 松代群発地震 (第2報), (1966年1月21日-6月30日), 昭和41年異常現象調査報告第5号 (1966~7)
- 9) 東京管区气象台・気象庁地震観測所 地震調査報告第3報. 松代地震の記録