長野県松代町牧内－瀬関地区の地下水理

著者	武居 由之，室住 正義，黒田 和男
雑誌名	防災科学技術総合研究報告
号	18
ページ	41-50
発行年	1969-03-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002565/

防災科学技術総合研究報告　第18号　1969年3月

551.491：550.837：551.2/.3：550.341（521.52）

長野県松代町牧内－瀬関地区の地下水理

武居由之・室住正義・黒田和男

地質調査所

Hydrogeological investigation of saline underground water at Sezeki-Makiuchi district, Matsushiro Town

By

Yoshiyuki Takei, Masayoshi Murozumi and Kazuo Kuroda

Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

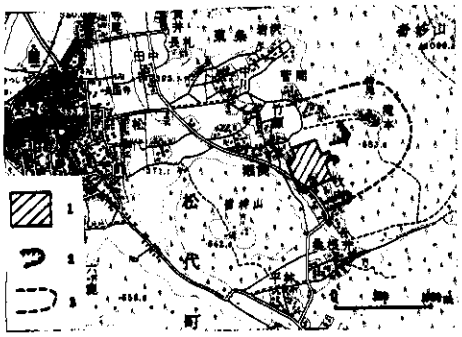
At the third period of culmination of the Matsushiro earthquake swarm, numerous cracks were formed and saline water was poured out at the Sezeki-Makiuchi district, Matsushiro Town, Nagano Prefecture. Hydrogeological investigation was carried out by the writer for determining the position and path of the saline underground water by geophysical exploration and surface water inspection. Results of the investigation are described in this paper.

The surveyed area consists of fan and talus which are sediments rich in gravel. Depth of the basement (presumably Tertiary sediments or quartz-diorite) is more than 200 m at the northwest corner of the area. In the area specific resistivity contours of a = 10 m, 20 m, 40 m and 80 m were mapped by horizontal electrical exploration. Five electrical drillings are also carried out. Moreover, temperature and resistivity of water were measured at each of the springs and wells, and so contours of temperature and resistivity were mapped. The writer calculated and mapped the formation resistivity factor "F" from the above mentioned data. Result of the interpretation from the above-mentioned data is as follows: the path of the saline water is considered as the fissures which are formed by earthquake activities. Although fresh water is supplied from the mountains, water of wells in this area are the mixture of saline water from fissures and fresh water from mountains.

1. まえがき

長野市松代町周辺では，昭和４０年８月から群発地震が発生し，翌４１年の夏期には１たん衰えたかに見えていた活動が再び激しくなり，地表に地割れが頻繁に生ずるようになった．４１年９月１７日には，遂に牧内地区で，おびただしい湧水とともに面積15,000m²，最大深さ２０ｍの地すべりが発生し，人家，農地に被害をおよぼすに至った．その後小規模な地すべりは各所に発生し，また地割れからは地下水が急激に湧出した．この異状地下水に関して水量，水質の測定が諸機関の手で行なわれ，水質は$CaCl_2$　$Ca(HCO_3)_2$に富むもので，Cl^-の含量は４１年８月に１８ppmであったものが，４１年１０月には3,200ppm,42年１月には4,100ppmと急増したことが報ぜられた．この地下水が地上のどの部分から湧出しているかという点については，地上踏査により判明しているが，地下にどのような形で賦存しているかという点はなお不明であり，しかも牧内地区などに見られる地すべりも地下水に由来しているとみられていることから災害を起す可能性も考えられていたので，異常地下水の賦存状態を明らかにするため，牧内・瀬関地区について物理探査・応用地質調査を実施した．

調査期間は，４２年２月下旬から３月中旬にわたり，牧内部落と瀬関部落の中間，南北５２０m，東西４４０m の区域について，水平法電気探査と，直流法垂直探査を行ない，さらに電気探査を実施した地域内およびその周辺の水露頭調査，地表地質の調査を行なった．作業の分担は次表のとおりである．



図－１　調査地域要図
1.電気探査区域　2.地すべり地
3.地すべり地水比抵抗測定の範囲
Index map of Sezeki-Makiuchi district

表－１　調査研究実施一覧表

番号	項目	所属	氏名
1	電気探査計画の立案	物理探査部探査課長	柴藤喜平
		物理探査部 探査課	武居由之
2	電気探査測点設定	技術部地形課	磯山　功
		仝	橋本尚幸
3	電気探査　観測	物理探査部 探査課	武居由之＊
		仝	室住正義＊
4	水露頭調査	応用地質部環境地質課	山田営三
		仝	黒田和男＊
5	写真地質・地形調査	技術部地形課	磯山　功
6	地質資料の収集	応用地質部環境地質課	黒田和男
		仝	黒田和男
		仝	山田営三

＊印：執筆者

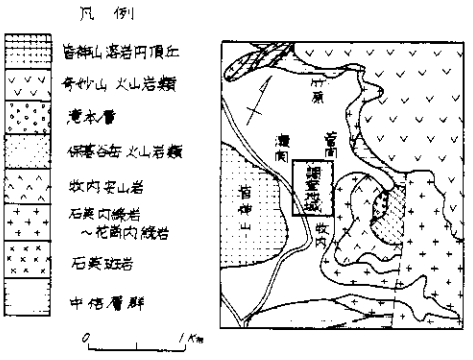
調査の実施に当って，松代町役場からは，本調査の周知と便宜をはかる等，種々の援助を受けた．ここに感謝の意を表する．

2. 地形・地質の概要

松代町周辺の地質は，すでに沢村らにより報告されており[1]，また松代から須坂に至る地域の地質は，沢村らにより本報告書中に別項として記述されているので，ここでは，主として牧内，瀬関地区の地質を，空中写真観察の結果をもとにして述べる．

この地域は，牧内，瀬関等の集落ののる扇状地が，西平山を含む背後の山および，南側の皆神山にはさまれて存在し，皆神山の北麓を横沢川が流れ，滝本の集落を通って流れる乙女沢が，西平山の麓をかすめて，横沢川に注ぎ，ここにも大規模な扇状地が発達している．背後の山の中腹に当る高度６００m付近までは，泥岩を主とする中信層群（新第三系，中新統）と，これを貫ぬく石英閃緑岩類があり，この上に牧内安山岩と呼ばれる輝石安山岩質の熔岩を主とする火山岩体が乗っており，石英閃緑岩類と牧内安山岩との境界付近には，西平山の地すべり滑落崖にうすく，時代未詳の泥岩が挟まれるのが観察された．牧内安山岩の上には保基谷岳火山岩類が乗っている．なお，滝本の集落がのっている平坦地の背後には，石英閃緑岩類の上にのって，奇妙山火山岩類が広く露出している．

空中写真観察の結果では，石英閃緑岩類と牧内安山岩類の境界位置から上に，過去の地すべり性

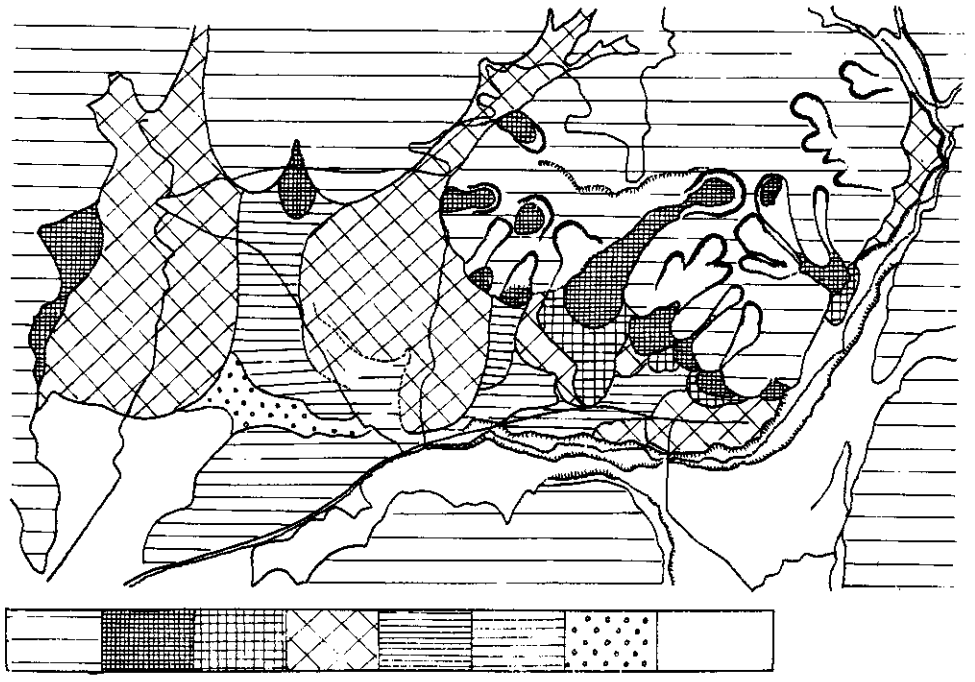


図－2　調査地域周辺地質図
Geological map

崩壊の痕跡と思われる馬蹄型のくぼみと，これに対応するように山麓に崖錐が発達している．たとえば，牧内北東方には畑地となっている崖錐状の地形がありほとんど山頂付近にまで延びているが，その頭部には，slump状の崩壊跡地形がみられる．また扇状地を主とする平坦地を細かくみると，高さ５０ cm 程度の急斜面が２～３段認められ，したがって崩壊も，繰返し発生してそのたびに新しい扇状地が形成されていったことがうかがえる．

牧内，瀬関，竹原，菅間等の集落がのっている扇状地の基盤までの深さは，確認された所で７０ m以上あり，電気探査の結果[2]でも，少なくとも２００mの深さが推定されている．

なお，水平法電気探査を実施した地域は，乙女

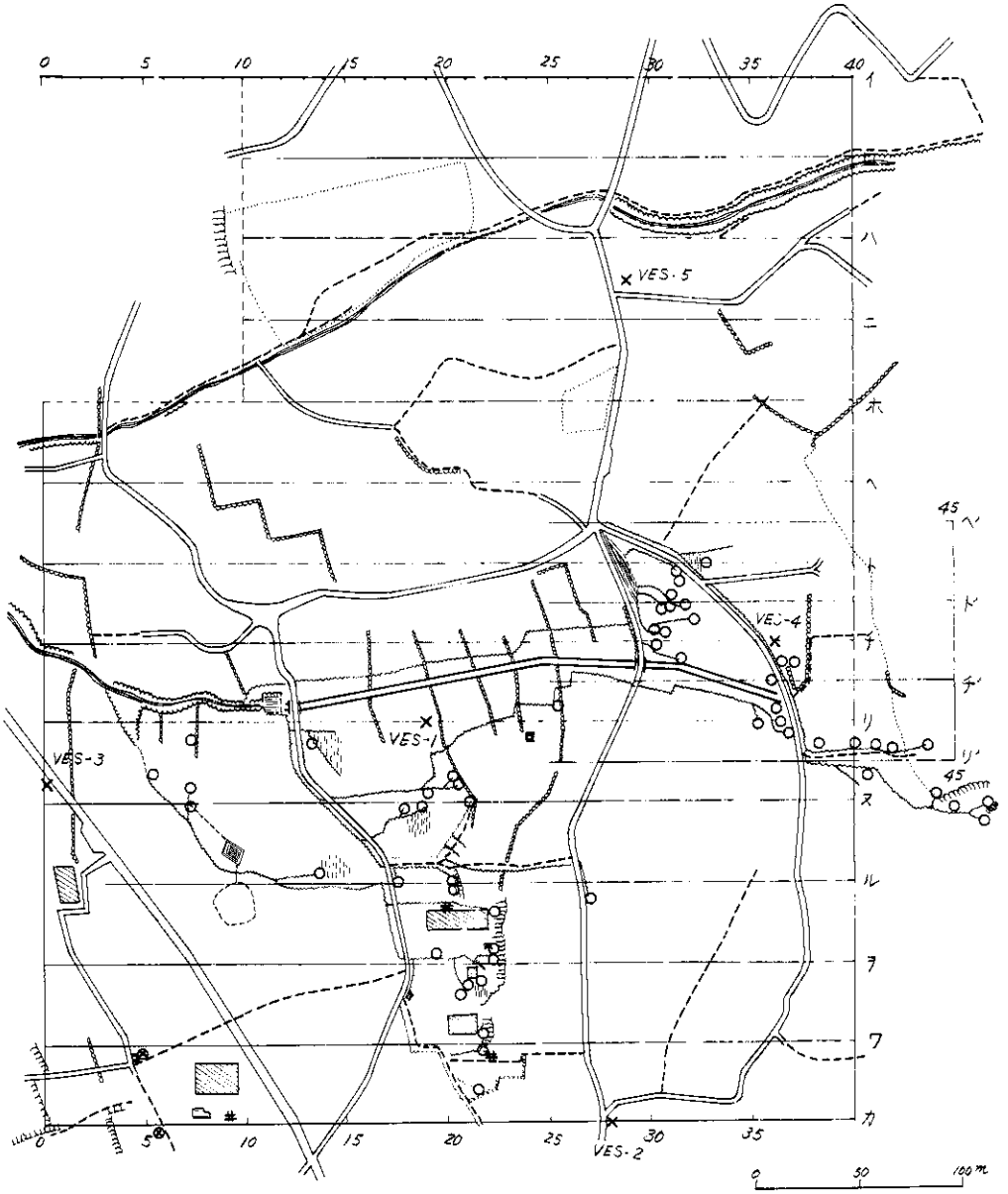


図－3　調査地域周辺地形分類図
Landform classification map

沢の扇状地の南縁に沿い，また1部は権現山からの崖錐性扇状地の北縁にかかり，その中央部は，双方の扇状地にはさまれた谷間となっている．

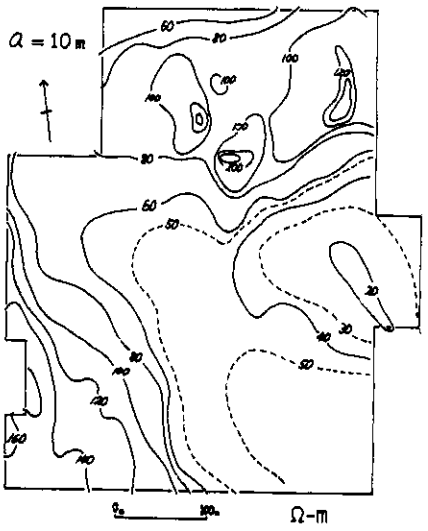
3．水平法電気探査の結果

物理探査は，扇状地性堆積物内に賦存する塩分と温度に富んだ水の存在状態を明らかにする必要上，水平法電気探査を行なった．測線，測点配置は図－4に示すとおり，東西10mごと，南北40m間隔に設定し，計576点について2極法配置により a＝10m，20m，40m，80mの4種の間

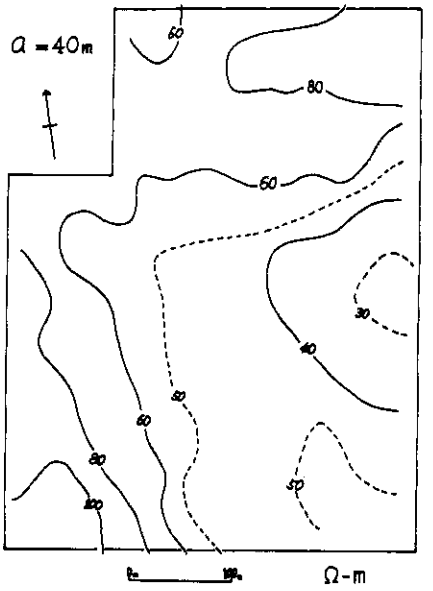


図－4　測線配置図

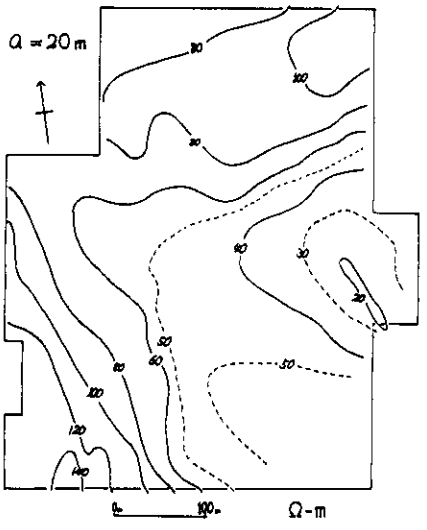
Planning map of electrical exploration



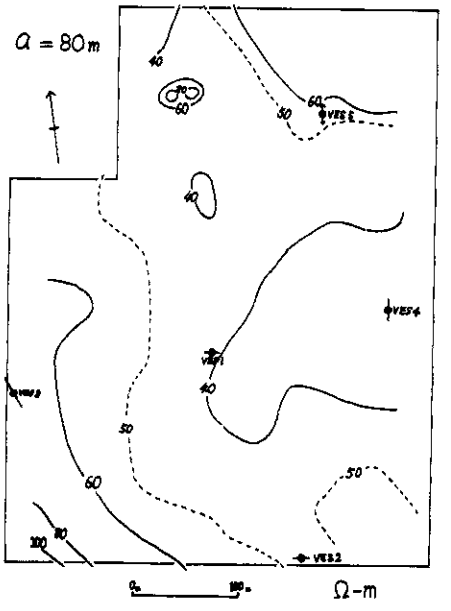
図－5　比抵抗分布図　　a＝10m
Resistivity map, a＝10m



図－7　比抵抗分布図　a＝40m
Resistivity map, a＝40m



図－6　比抵抗分布図　　a＝20m
Resistivity map, a＝20m



図－8　比抵抗分布図　a＝80m
Resistivity map, a＝80m

隔で測定を行なった．使用装置は，タカヤ電気KK製，地質調査所型電気探鉱装置である．

水平法電気探査の結果は図－5～8に見掛け比抵抗分布図として示した．

a＝10mでは，地表浅部の状況が分布図に示されている．図の北部では，東方から一連の高比抵抗帯が西方に向い，ところどころに数100Ωmの高比抵抗値が得られているのは，局所的な表層の異常物，砂礫，岩塊等の影響とみられる．図の西南部では，西方から漸次北東方へ向かって低下する高比抵抗部があり，南東部では50Ωm台の中比抵抗域が広く分布する．東部には最低20Ωm以下の低比抵抗帯が南東より北西へ向け伸長している．

a＝20m の見掛け比抵抗分布図では，a＝10mの場合と同様の傾向であるが，局所的な高比抵抗部が消えている．これは，地表付近の影響がなくなった為であろう．なお低比抵抗部もさらに明瞭となっている．

a＝40mの見掛け比抵抗分布図では，高比抵抗帯，低比抵抗帯ともに縮少し，著しい異常値はとくに認められない．

a＝80mの見掛け比抵抗分布図では，40～60Ωm域がほとんど全域を占めており，著しい異常値がなお認められなくなるとともに，低比抵抗域は，不明瞭ながらも2列に分離する傾向がみられるようになる．

水平探査の結果を総合すると，北部には西へ向かう高比抵抗帯，西南部には北東へ傾く高比抵抗部，南東部には広い中比抵抗域，さらに東部には，北西に向かう1条もしくは2条の低比抵抗帯が存在する．南東部の中比抵抗域は，深部においても変化のない一様な層と推定できる．北部の高比抵抗帯は，隣接地域の探査情報によっても，東方から連らなって来たものであることが認められている．東部低比抵抗帯の延長方向にあたる北西端でも，一部に低比抵抗部があり，それらの間の連続性について，a＝80m分布図でやや傾向があらわれているが明確ではない．

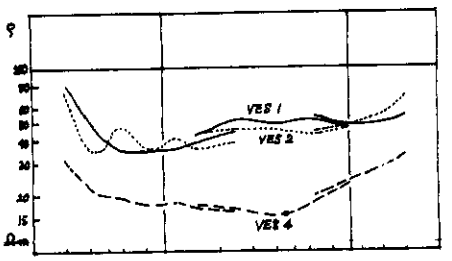
北部の地表近くの高比抵抗部は，aが大きくなるにしたがって，急激に減少しているが，これは乙女沢扇状地の表層部とで，電気的に大きな差があることを示しており，明らかに2層構造と考えることができる．

4．垂直法深部電気探査の結果

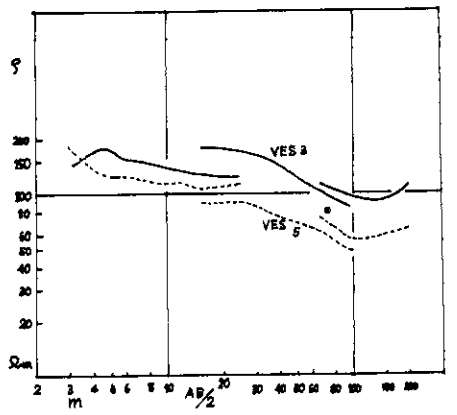
皆神山を中心とする松代群発地震地域では，地下構造解明を目的として，深部の電気探査が，当地質調査所で実施され，その成果もすでに1部は報告された[2]．その結果，表層と解析された部分は厚さ150～200m に達し，前述の水平法電気探査の探査深度よりはるかに深くなっている．一方，調査地域の東側は，この地域の基盤をなしている石英閃緑岩が露出していることもあり，局所的には基盤が浅く存在している場合も予想されたので，基盤深度の探査を目的として直流法の垂直探査を実施した．

直流法の垂直探査は，水平法電気探査を実施した地域内で5点を選び，直流電流計，高感度電位差記録計を使用し，電極配置はSchlumberger 配置により最大電極間隔 $AB/2$＝200mまでとした．

測定結果として得られたVES 曲線を図－9，図－10



図－9　VES曲線 No.1，No.2
VES-curve No.1，No.2



図－10　VES曲線 No.3，No.4，No.5
VES-curve No.3，No.4，No.5

に示す.

解析結果では，基盤岩類に最も近いと予想したVES4において，深度42m以深に50Ωm以上の層，崩積層内のVES2において80m以深に基盤，扇状地内のVES3において75m以深に基盤があるとした.

なお,VES点を5点と定めたのは，水平探査の結果，地表付近の比抵抗分布にかなりの地域差があらわれているので，解析の精度も著しく低下すると判断したためである.

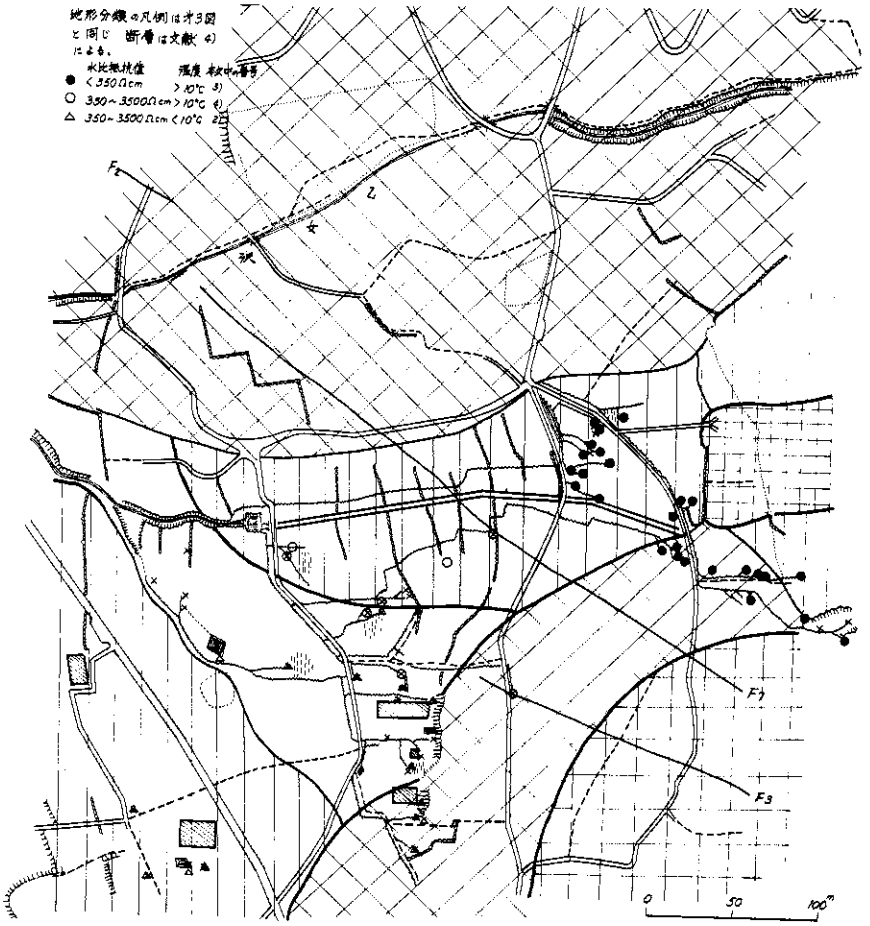
5．水露頭調査の結果

当調査地域内には，41年8月以前は水の少ない地区であり，水露頭としては若干の湧水がある以外，ほとんど井戸のみであった．しかし，41年8月以後，地割れの発生と同時に地域内各所に新らしい湧水が見いだされた．当調査期間には，一部湧水の減少した場所もあるが，最盛期の状態が依然として継続していたので，湧水群の特徴を把握するため，地域内のほとんどすべての水露頭について，水温，水比抵抗値および湧水状態の調査を行なった．なお水比抵抗値の測定は，横河電機KK製，コーラウシブリッジによった.

電気探査を実施した地域内についての水比抵抗値の測定点および測定値をまとめて図－11に，さらにその周辺の地域についての測定点と測定値をまとめて図－12に示す．また，水温，水比抵抗値のすべての測定結果を，水比抵抗値－水温関係図としてまとめたのが図－13である.

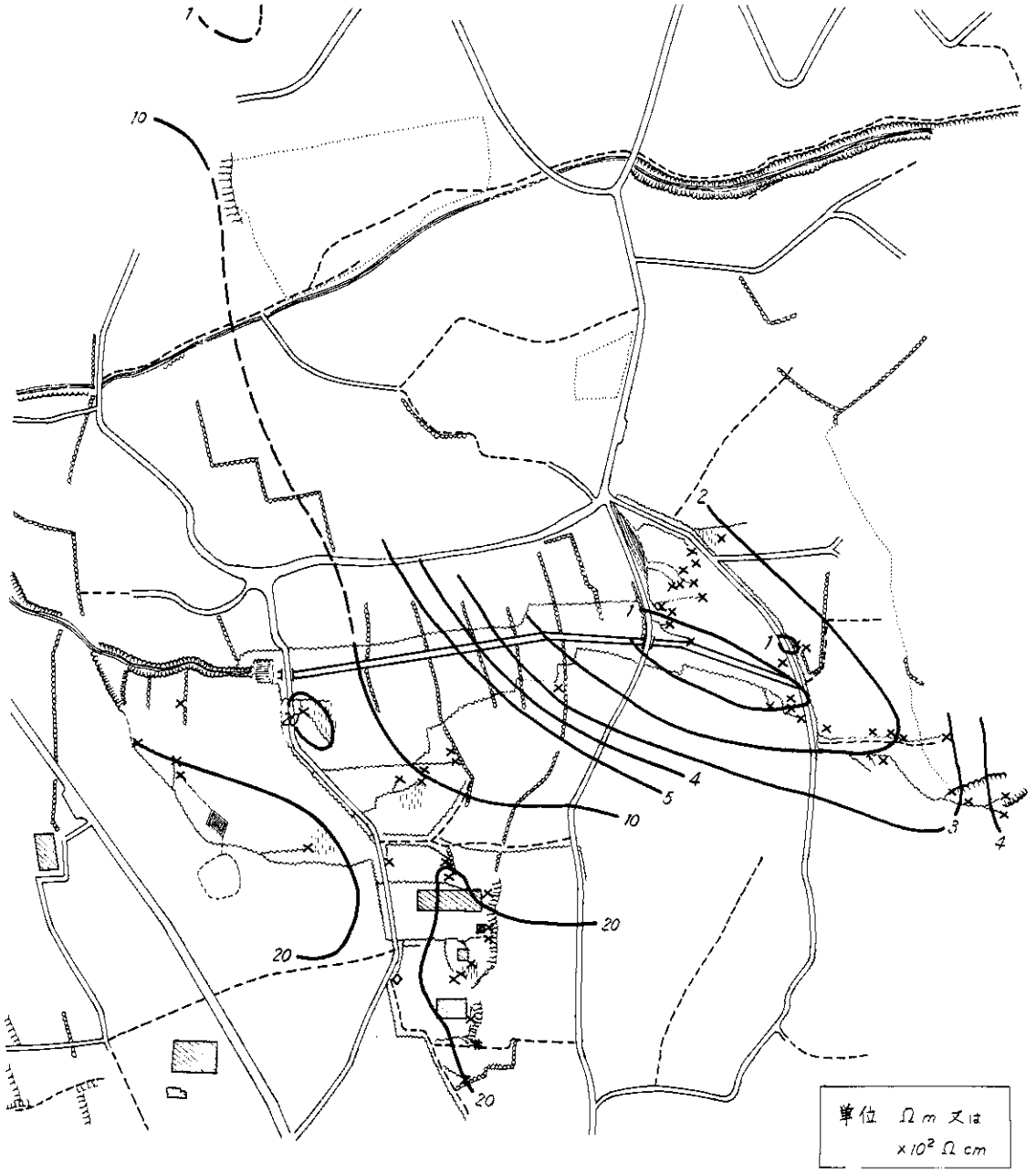
水露頭調査の結果から地域内の地下水区を次のように区分することができる.

1) 水比抵抗値3,500Ωcm以上，水温10℃以下の湧水が分布する区域，この水は，もともと



図－11　調査区域内湧水点測点分布図

Distribution of saline springs and wells.



図－１２　　水比抵抗等値線図（単位Ωm）

Contour map of specific resistivity and water.

山に降った雨水が滲透して表土中を通り，再び地表にあらわれるもので，牧内の集落背後の通称“柳の清水”を代表とし，山の中腹にあらわれる．

なお，この分布域は図－１１の範囲内にはない．

2) 水比抵抗値3,500～350Ωcm，水温１０℃以下の湧水域，これは牧内の集落北縁を中心とし

てあらわれている.

3) 水比抵抗値３５０Ωcm以下，水温１０℃以上の湧水域，これは今回の異状湧水の全部を占めており，地域東部にあらわれる.

4) 水比抵抗値3,500～３５０Ωcm，水温１０℃以上の湧水域，これは前記2)，3)の中間に位置する漸移帯としてあらわれている.

水比抵抗値と水温とは，図－１３に示されるように一定の関係をもっているように見られる．この関係は，同じ成分の水の比抵抗値の温度変化に比較して非常に大きなものであって，異質の水が地域内に存在する以外には，考えられない．さらに水露頭の地質，地形条件を各測点ごとに検討してみると，3)の湧水は，温泉質のものであり，2)の湧水の起源については将来の検討にまつとして，とにかく温泉質の地下水が若干混入し，あるいは影響を受けたものである．4)の湧水は，図－１２をみても2)，3)両者を結ぶ中間に位置しており，双方のもととなっている地下水が混合したものであるとみてさしつかえない.[注1)]

なお，水露頭の密集した地区について，水比抵抗等値線図を描くと図－12のようになり，水比抵抗値が極小を示す場所が，地域東部から，北西方向に延びていることがわかる.

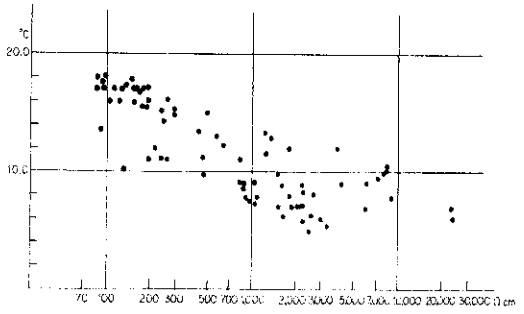
6．地域内の地下水理について

前項で述べてきた地形，地質調査，水平法電気探査および水露頭調査の結果を総合して，地域内の地下水の賦存状況を考察してみる.

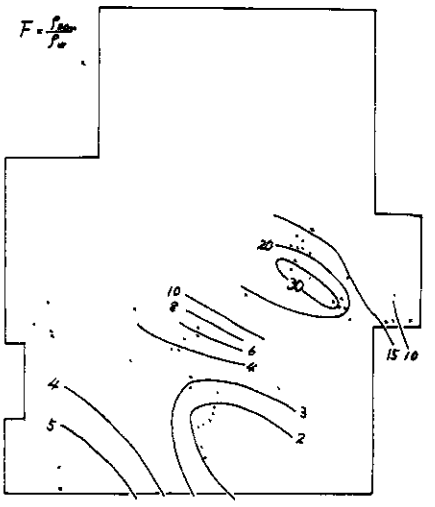
本調査地域は，扇状地の一部であって，基盤は，水平法電気探査の探査深度よりも深い位置にあることが，垂直法電気探査および試錐の結果からたしかめられているので，少なくともａ＝２０ｍの場合の見掛比抵抗分布図は，扇状地内の堆積物の電気的性質を表現している．さらに，試錐の結果，扇状地の堆積物は，礫，砂，泥の混合物で，著しい礫質部，砂質部，粘土質部の挟みも見あたらないことから，大地の見掛比抵抗値を支配している要素の中で，地層そのものの性質による差違については，特別の考慮を必要としないとみてもさしつかえない．このように考えてみると，大地の見掛比抵抗の中で，少なくともａ＝２０ｍの場合は，間隙を充たしている地下水の比抵抗値に関係していると判断される.

ここで，ａ＝２０ｍの場合における大地見掛比抵抗値と，その地点または最も近い湧水地点における水比抵抗値の商を，地層係数分布図として図－１４に示した.

地層比抵抗値と，その中に含まれる水の比抵抗値の商は，地層比抵抗係数と称されて，全く地層の構成に関する単元だけを有する係数とされている．この地域に関する限り，地層の構成はどこでも一様であるとみてさしつかえないので，地層比抵抗係数は，間隙を充たしている地下水の性質だけに関係した数値となってあらわれる筈である.



図－１３　水比抵抗－水温関係図
Relation between specific resistivity and temperature



図－１４　Ｆ－値分布図
Map showing "formation resistivity factor"

一般に帯水層において，山口(1960)は[3]，地層係数は2～11であり，また洪かん地堆積物，扇状地堆積物，火山噴出物，段丘堆積物の順に大きい値をもっていることが概略に示されるとした．この調査地域内に於ては，南東部はF値が2～3で，崩積堆積物，南西部は4～5でいちおう妥当な値となっている．しかし東部異状湧水帯では，F＝20～30となり，地層係数としては，著しく大きい値をもっている．もし，水比抵抗値100Ω cm程度の地下水が，層状地下水として地中に賦存しているならば，地層係数は南東部と同じ2～3をとるべきであり，このことから，この異常湧水は非常に局部的のものであり，地層係数分布図の，極大値が北東方向へ延びていることから，この方向に伸長する裂かを通って上昇し，地表に湧水となってあらわれたものであることが判断される．

図－11には，地表にあらわれた亀裂（断層）の中で，調査地域内にあるものを[注2]示してある．温泉性の湧水帯，あるいは地層係数の極値が，F7断層と平行しており，a＝80mの比抵抗分布図の中で低比抵抗部が北西隅にあらわれたという事と合わせて，北西－南東方向の地中の亀裂を通って，温泉性の地下水が上昇し，地表に湧出したということが，以上の各種の調査結果を総合して判断される．

なお，亀裂の中を上昇して来た温泉水は，1部は層状水に移化し，そのために，前項で述べた漸移帯があらわれ，あるいは牧内の集落内の地下水が汚染されているという推定もなされる．

7．まとめ

この調査は，隣接地域で災害をともなう地すべり現象が発生したこともあって，割れ目の発生，異常湧水，小崩壊などにより地域内に災害が続発するという可能性の検討を目的とした研究の1部であり，そのために地表踏査と物理探査を駆使して地域内の地下水理をとらえることを主題としたものである．

結果としては

1) 湧水をもたらした地中の地割れの存在が推定され，かなり深部から由来した脈状水の存在を見出したこと．

2) 乙女沢扇状地は，電気探査では高抵抗で地下水位も低い地域であり，その中に断裂帯の延長方向が伸びて瀬関の集落がその上にのっている．しかし，瀬関周辺でも深部から浅部へかけて著しい低比抵抗は観測されていない．

3) 当地域の南東端より東部は低抵抗帯でかつ含有成分の多い温泉性の湧水帯の延長部であり，しかも崩積層からなる急傾斜地であることから，地すべりの危険性を予測することができる．

4) 幸いにして調査終了後，群発地震活動，湧水ともに減少し，とりたてて被害が続発するような事態にはならなかった．今後は，このような地下水理調査が，地震活動初期に短期間に施行されることが期待される．

注1）各湧水群の化学成分ごとの特徴と，その起源などについては，地質調査所中村・前田両技官により検討が進められており，追って公表される予定である，なお，文献4）にはその一部が述べられている．

注2）文献4）にすでに用いた記号をそのまま本文でも用いている．

参考文献

1) 沢村孝之助ほか4名(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No.5

2) 小野吉彦(1967)：松代地域の電気探査．防災科学技術総合研究速報，No.5

3) 山口久之助(1960)：帯水層の地層比抵抗係数と水理定数との関係について．物理探鉱，Vol.13，No.4

4) 中村久由ほか3名(1967)：松代群発地震をさぐる　温泉と地すべり，地質ニュース，No.149