

地すべり地地下水の自動観測システムの開発

佐藤 修*・青木 滋*・吉田昭治*・仲川隆夫**・鈴木幸治*

Developments of an observation system for groundwater in landslide areas

by

Osamu SATŌ, Sigeru AOKI, Shōji YOSHIDA,
Takao NAKAGAWA, and Kōji SUZUKI

(Abstract)

Most landslides have occurred during the snow-melting and heavy rainfall seasons in Niigata Prefecture. It is considered that their occurrences are closely related to the percolation of snow-melting and rain waters, however the knowledge about the groundwater conditions during these seasons is lacking because the measurements are fairly difficult without any automatic observation systems.

We have developed the following four type of observation systems to determine the groundwater level and water quality automatically.

1) The system for measurements of water level, electric conductivity and temperature of groundwater with analog data recorder. This system was installed at the Nigorisawa landslide, in Nagaoka City.

2) The system for measurements of the above items with digital data recorder using a personal computer (EPSON HC-20). This was installed at the Mushigame landslide, in Yamakoshi Village near Nagaoka City.

3) The system for measurements of not only the above items but also snow depth, volume of snow-melting water and atmospheric temperature with the same type data recorder and transmission of data to Niigata University by a wire system. This system works at the Higashi-Mushigame landslide adjoining the above landslide areas.

4) The system for measurements of water level, electric conductivity and temperature of groundwater with digital data recorder and transmission of data by wireless system. This system was installed at the Koshi landslide in Matsunoyama Town.

On the basis of the observations during several seasons, the merits, demerits and accuracy of each system are also discussed.

Key words : Automatic observation system, Communication system, Groundwater , Landslide area.

キーワード : 自動観測システム, 通信システム, 地下水, 地すべり地

* 新潟大学積雪地域災害研究センター

** 新潟大学積雪地域災害研究センター 研究生

Ⅰ は じ め に

新潟県下の地すべりは、融雪期のほか、長雨および大雨の最中やその直後に発生することが多く、融雪水や降水が地下に浸透することが地すべり発生の誘因であると考えられてきた。しかしながら、地すべり発生が予期されるような融雪水や降水が存在する条件下での地下水の運動についてはほとんど知られていないのが現状である。ことに、多量の積雪がある初春の融雪過程と地下水の状況については、この時期の人手による現地観測が困難なために、小川ら（1986）による地すべり地内の間隙水圧の測定例を除き、研究に耐え得る資料は皆無に近い。

筆者らは、過去数年にわたって、降雪期や融雪期における地下水の状況を主に水質と水位に注目して調査するとともに、人手による現地観測の困難さを補うために、観測の自動化によってデータを得ることができるシステムの開発を企ててきた。それらの試みは、

- A. アナログ記録計による水位、電導度、水温の測定。
- B. デジタル記録・演算システムによる水位、電導度、水温の測定。
- C. デジタル記録・演算システムと有線通信システムによる水位、電導度、水温の測定、および新潟大学積雪地域災害研究センターへのデータ転送、処理（この試みでは、地下水関係の観測のほかに積雪深、融雪水量、気温、多層移動量などの測定もあわせて行った）。
- D. デジタル記録・演算システムと無線通信システムによる水位、電導度、水温の測定およびデータ転送である。

本報告は、これらの調査の技術上のねらい、調査方法の概要、それぞれの方法の利点や問題点を記録して、今後の観測手法の改良・発展の一助を目的としたものである。なお、それぞれの調査で得られた結果については、一部はすでに報告したものもあり、また、その一部は別稿で報告する。

Ⅱ 観測システムの概要

山間部の積雪期や融雪期における地すべり地地下水の自動観測を目的とするために、観測計画の立案やシステムの設計にあたっては、次の条件をとくに考慮した。

1. 多量の積雪により、観測地点への接近が困難である。
2. 積雪期間が長い（観測地点の一つとして選んだ松之山越地区では、普通の降雪のある年では12月中旬から5月初旬まで自動車による交通ができない）。
3. 観測機器を収容する小屋などの観測施設には積雪の沈降力に耐え得る強度が必要である。
4. 地すべり地のような斜面では、斜面に沿った雪の移動により観測施設が破壊される危険性が高い。
5. 一般に電源として、商用電源は利用できない。電池を利用するとしても、設置環境の温度が低く電池の効率が悪い。
6. 観測に使用する機器は、ほぼ0℃の環境下で長時間安定に作動することが必要である。
7. 目的に応じて自由にボーリングできる場合を除いて、利用できるボーリング孔に埋設されている塩化ビニール管の内径は40mmであり、使用するセンサーの直径は30mm以下であることが望ましい。

次に、各調査において、これらの問題をいかに取り扱ったかを述べる。

A. アナログ記録計による水位、電導度、水温の測定

観測の目的と測定環境：観測地には、新潟県古志郡山古志村虫亀地区の1980年4月に発生した地すべり地（虫亀地すべり地）を選んだ。本地すべり地では、滑落崖の直下の調査ボーリング孔内の地下水は2層

に分かれ、浅層は硫酸イオンで特徴づけられる低電導度の水、深層は高電導度の塩化ナトリウムに富む特異な水からなっている。また、夏期の調査から、深層の地下水が上昇、下降を繰り返すことが明らかになっていた(佐藤, 1981)。そこで、虫亀地すべり地の地下水の積雪期、融雪期の地下水位の変動と同時に起こる深層の地下水の上下変動を観測し、融雪水や雨水が塩化ナトリウムに富む深層の水質にいかなる影響を与えるかを研究することを目的とした。

観測の技術的ねらい：(1)夏期や秋期には、一ヶ月に一度現地に行き記録紙・電池の交換を行い、水圧水位の測定を行うとともに、自動採水器で試水を採取し、冬期の調査のための準備を行う。(2)冬期には、これらの装置を雪中に設置する方法を検討するとともに、3ヶ月間無保守で観測機器を作動させる工夫をする。

システムの概要と設置：水位の測定には共和電業の間隙水圧センサーと同社の打点式記録計RSB-13Aを、水温の測定には千野電気株式会社製のES200-1型記録計と水中投入測温抵抗体MODEL R900-1を使用した。また、電導度はINSTRUMENTATION SPECIALITIES COMPANY製の自動採水器MODEL 1680を使用して、地表から4m深の地下水を999分(約17時間)ごとに採水し、試水を実験室に持ち帰り測定した。これらのシステムは、1982年の5月に設置した。

夏期と秋期(5月11日～11月18日)には、水圧計の記録計は、ポリバケツに入れて土中に埋設した。また、自動採水器は斜面から移動しない程度に下半分を土中に埋めた。この時は温度計は使用しなかった。センサーは、深さ20m直径50mmの塩化ビニールパイプに全層ストレーナを切った新潟県の地すべり地では標準的な井戸に設置したが、観測開始後に工事が始められた集水井戸の影響を受けて、水位が低下し観測不能になった。

冬期には、上記理由によって、塩化ナトリウムに富む地下水が同様に存在する50m程離れた井戸にセンサーを設置しなおした。温度計、水位計の記録計および補助電源としてバッテリーをプラスチックコンテナに入れ下半分を土中に埋めた。自動採水器は前と同じような方法で設置した。雪による破壊を防ぐため機器の上に屋根を架けた。屋根の骨組みには足場パイプとジョイントを、屋根板にはプラスチック波板を使用した。1982年12月20日にこれらの機器を設置した。

1983年4月7日に機器の作動状態を検査するために、雪を掘り観測システムを調べた。観測地点では、システム点検時においても2.7mの積雪があった。すでにこの段階で、システムを収納したプラスチックコンテナに融雪水が入り温度計用の記録計は使用不能になっていた。

観測結果：夏期・秋期の地下水の水位、電導度、塩化物イオン濃度と長岡市の日降水量を図-1に示す。5月後半からの水位変化はなかったが、水質変化は大きい。このときの水質変化については既に報告した(佐藤, 1981)。11月12日からの水位の急低下は観測していた崩壊土中の地下水を排除する目的で作られた集水井による排水が進んだためである。なお、降水量と水位、水質との関係については、まだ理解できない点があり、今後更に調査をすすめる必要がある。

冬期の観測は、プラスチックコンテナに融雪水が入ったために、失敗であった。この理由は、屋根は十分な強度を保っていたが、融雪期に積雪中に地下水のように水が溜まり、地面から15cmも高い位置のコンテナの口から浸水することに気が付かなかったためである。

以上に述べた観測、データ整理を行った結果、アナログ記録方式には、(1)観測項目が増えるごとに記録計が必要となる。(2)記録されたデータの整理のためには、データをデジタル化することが必要になり、長期の観測では読み取りの作業量が膨大になる等の問題点があることがわかった。

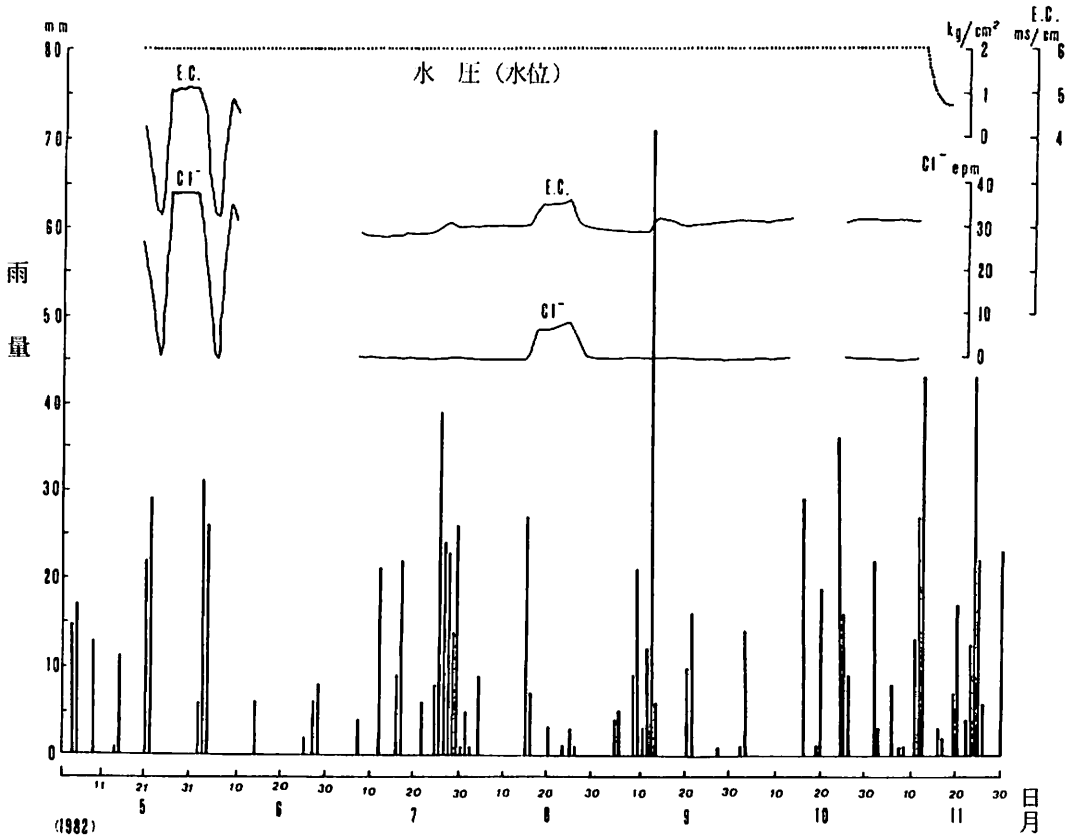


図-1 アナログ記録計による観測結果(新潟県長岡市虫亀地すべり地)

Fig. 1 Results of observation using analog data recorder at the Mushigame landslide.

B. デジタル記録・演算システムによる地下水の水位、電導度、水温の測定

アナログ記録計と自動採水器の組み合わせによる観測の欠点を改善するためには、(1)多種類のセンサーを一つのシステムで管理出来ること、(2)デジタル記録ができ、コンピュータによるデータの処理が容易なこと、(3)さらに電池により長期間観測出来ることが必要である。ハンドヘルドコンピュータを利用した観測器の開発を計画していたところ、CTIサイエンスシステム開発事業部の開発したC-500型計測・演算システム(以下CTIS-C500と略す)が、これらの条件をほぼ満たしていることがわかったので、これを採用して観測を試みることにした。

システムの概要と設置場所: CTIS-C500は、センサー・増幅部、A/D変換部・演算記録部・電源部から成る。演算記録部はハンドヘルドコンピュータHC-20が用いられ、記録にはHC-20に付属するミニプリンターとマイクロカセットテープレコーダを利用する。センサーとして、電導度・水温計3個、水圧水位計1個を接続した。これらのセンサーは、地すべり調査用のボーリング孔でも使用できるように、径の細いタイプに改良した。

設置場所としては、1980年の暮れから1981年の正月にかけて地すべりが発生した新潟県長岡市濁沢地すべりを選んだ。1983年12月27日に機器を設置し、計器の異常のため観測を中止した翌年5月16日までの約5ヶ月間観測を行った。観測システムは、地すべり地の跡地に新潟県によって建てられた観測用のプレハブ小屋に置き、センサーは小屋内に設けられた観測用の井戸に設置した。また、長期間観測を継続するためにシステム本体がもつバッテリーの補助として、自動車用のバッテリー2個を並列に接続した。なお、

先に述べた計器異常は、その後の調査で操作ミスによるものであることが明らかになったので、プログラムの一部を改良して、この種の異常の発生を防止できるようにした。なお、プレハブ小屋の雪下ろしは4回行った。

観測：井戸の深さは18m、水位は深さ8.25m、電導度と水温はそれぞれ7.5 m、10m、18mの深さで測定した。なお、測定間隔は4時間とした。

測定結果は、HC-20でマイクロカセットテープに記録されたデータを読み取り、RS-232Cインターフェイスを経由して、APPLEIIのフロッピーディスクに転送した後、X-Yプロッタに出力した(図-2)。

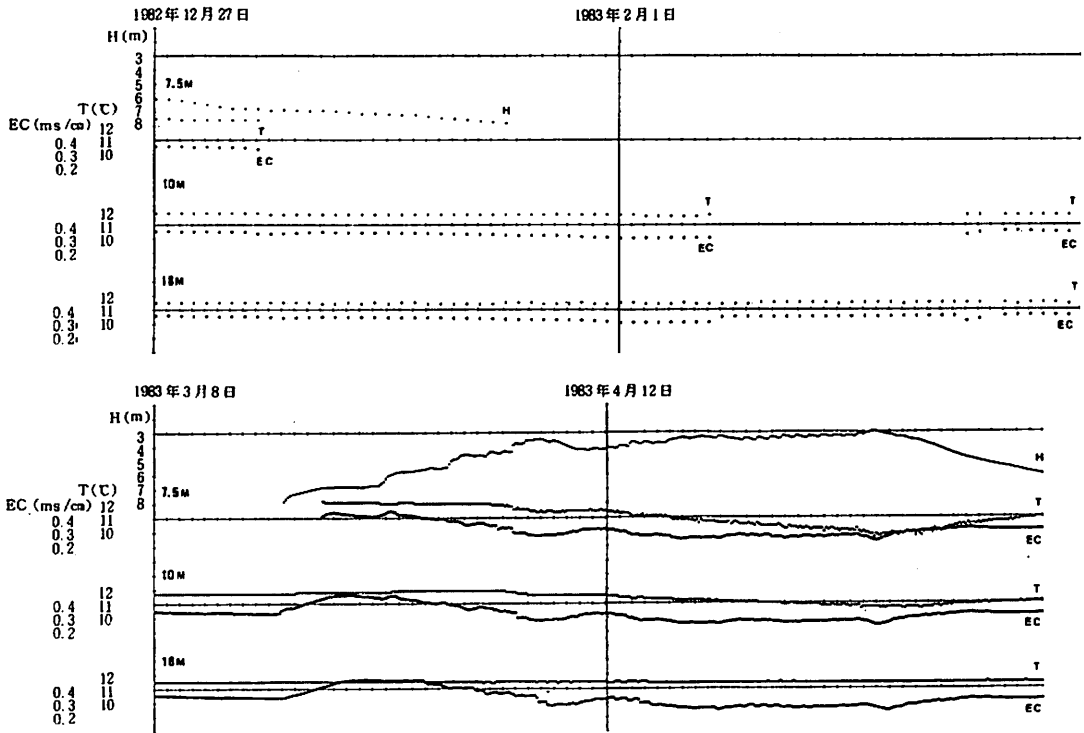


図-2 デジタル記録・演算システムによる観測結果(新潟県長岡市濁沢地すべり地)
H: 水位(m), T: 水温(°C), EC: 電導度(mS/cm)

Fig. 2 Results of observation using digital data recorder at the Nigorisawa landslide.

水位は12月末から低下を続け、1月5日頃には7.5mの水温・電導度のセンサーが、1月23日には水位センサーがそれぞれ地下水面上に露出し、測定不能となった。さらに、2月7日頃には10mのセンサーよりも地下水位が低下し、水温・電導度の測定が不能となった。その後、2月の末には10mのセンサーの位置まで水位が回復し、また3月18日頃からは水位センサーの位置まで水位が上昇し、水位や7.5mの水温・電導度の測定がそれぞれ可能となった。その後の水位の上昇は滑らかではなく、時々短期間に水位が急上昇することを繰り返し全体として水位が上昇することを示している(図-2)。この結果から水位測定間隔はこの調査のように最低でも4時間の間隔を必要とすることがわかった。また、水位の上昇と水温、電導度の変化も興味深い変化を示しているが、これは別の機会に論じたい。各測定項目について、特に4月以降、日変化がみられる事がある。これは、その後の調査により増幅機の温度依存性によるものである事が明らかになった。改良の結果、現在ではその影響は認められない。なお、後述のDの結果は改良した

機器によるものである(図-4)。

C. デジタル記録・演算システムと有線通信システムによる水位、電導度、水温の測定と、新潟大学へのデータ転送、処理

この観測では、地下水関係の観測のほか積雪深、融雪水量、気温、多層移動量などの測定を併せて行った。

測定環境：観測を行ったのは、新潟県古志郡山古志村虫亀地区で、東虫亀地すべり対策事業地域内の一地すべり地である。この地を観測場所に選定したのは、以下の諸条件をほぼ満たしたためである。

- (1) このシステムでは、通信回線にNTTの営業回線を、電源にAC100Vを利用することにしたので、経費節減のために、電話回線と電灯線が引きやすい人家の近くであること。
- (2) ボーリング地点を自由に選定できるとともに、観測機器を入れる小屋を建てることができ、しかもこれらの設置が住民の生業・生活に支障を与えないこと。
- (3) 今回が電話回線による観測データ転送の最初の試みでもあり、積雪期に観測システムが不調となったときの補修のために、なるべく積雪期も近くまで自動車による交通が可能な場所であること。

観測システムの概要：前述のCTIS-C500にモデムを接続し、観測した地温、地下水の水温・水位・電導度のデータを電話回線を経由して転送するシステムは、CTIS-C500のソフトウェアのわずかの変更で可能となる。しかし、この調査では他に多くの項目を測定する計画となったために、新たなシステムの開発が必要になった。

一方、吉田らは、地すべり地の地下水位・間隙水圧の多点測定を目的に越後電機株式会社の協力を得て開発し、ハンドヘルドコンピュータHC-40、A/Dコンバータ、ICRAMカートリッジ(越後電機製ICRE256)から構成されるシステムを松之山越地すべり地に1986年から設置して観測を実施していた(吉田ほか、1987)。そこで、本調査では、このシステムを利用・改良し、6点の地下水位を測定するとともに、他に測定された積雪深計、温度計(大気温)、融雪水量計(小林ら融雪量測定グループ)、多層移動量計(株式会社日さくとの共同調査)およびCTIS-C500によって得られた地下水の水温、水位、電導度や地温のデータを電話回線を経由して、送信する機能を持たせた。具体的には、CTIS-C500で測定されたデータは、HC20のRS-232Cインターフェイスを経由して、HC-40のシリアルインターフェイスに転送される。また、水位測定用センサーや他の測定器のデータはA/Dコンバータもしくは電圧変換器を経て、システムバスからHC-40に入力される。HC-40では、これらのデータをICカードに記録するとともに、新潟大学積雪地域災害研究センターに設置したホストコンピュータPC-9801VMからの要求に応じて、ICカードに記録されたデータを転送する。ICカードからの転送データは、HC-40のRS-232Cインターフェイス、モデム、電話回線、モデム、PC-9801VMのRS-232Cインターフェイスを経由して、ホストコンピュータのフロッピーディスクに記録される。なお、モデムはNCU内蔵で自動着信機能を持つEPSON SR-120ATを使用した。

その他の観測機器の概要は次の通りである。

- (1) CTIS-C500のシステムは、ソフトウェアの一部を変更したほかは、前述のものと同じである。
- (2) 水位の測定センサーには、共和電業製の圧力センサー(2K型、5K型)を使用した。
- (3) 積雪深の測定には、海上電機株式会社製の超音波積雪深計TS-43型を用いた。
- (4) 気温の測定には、海上電機株式会社製のST-10型を用いた。
- (5) 融雪水量の測定は、転倒降雨量計を利用した。

(6) 多層移動量計は株式会社日さくの試作品で、構造原理等は別に公表される予定である。

システムの設置：機器の設置では次の点に留意した。調査地の最大積雪深は平年で4mを越えると予想され、機器設置のための小屋が建てられる場所は、滑落崖から20m程離れた場所である。このような条件のもとで安定な小屋について検討した結果、嶺新協地質調査事務所の設計したコルゲート鉄板製の小屋が、既に調査地の近くで越冬観測に利用されていることが判明した。そこで、同社の了解を得て同じ仕様の小屋を作成し観測小屋とした。小屋には、観測用の井戸を設けるとともに、HC-40による観測・データ転送システム、CTIS-C500観測システム、モデムなどを設置した。多層移動量計は、移動量観測点近くに設けた同じ仕様の小屋に設置し、電気信号のみを観測・データ転送システムに有線で送った。

また、地下水の水位、水温、電導度測定のための井戸は、地すべり地の地質・地形の調査とボーリング調査の結果から推定された地すべり面の上あるいは下にストレナを設けた。なお、地下水の水位は、水圧変化から算出することにした。

```

870407 180026 水温 0.1°C
7.63m 7.3°C 0.066mS
9.28m 9.2°C 0.432mS
870407 210026 水温 0.1°C
7.70m 7.3°C 0.067mS
9.29m 9.2°C 0.432mS
870408 26 水温 0.1°C
7.28m 7.3°C 0.067mS
9.28m 9.3°C 0.428mS
870408 30026 水温 0.1°C
7.47m 7.3°C 0.067mS
9.28m 9.2°C 0.430mS
870408 60026 水温 0.1°C
7.46m 7.3°C 0.067mS
9.28m 9.2°C 0.429mS
870408 90026 水温 0.1°C
7.58m 7.3°C 0.067mS
9.28m 9.2°C 0.430mS
870408 120026 水温 0.1°C
7.76m 7.3°C 0.067mS
9.28m 9.2°C 0.428mS
870408 150026 水温 0.1°C
7.89m 7.3°C 0.067mS
9.28m 9.3°C 0.421mS
870408 180026 水温 0.1°C
7.99m 7.3°C 0.066mS
9.28m 9.3°C 0.424mS
    
```

観測：各測定項目の時間間隔はICカードの記憶容量(64Kバイト)と解析に必要なデータ密度を考慮して定めた。一例を示すと、水位：3時間、積雪深と気温：20分、融雪水量：10分、移動量：2時間、CTIS-C500観測システム：3時間である。

観測結果は、各項目の担当者により今後整理・検討される予定であり、ここでは、観測小屋の内部に設けた井戸の地下水の電導度、水温、水位のデータについて転送されて来たものをそのままプリントした結果の一部を示す(図-3)。

<< 地質/電導度 >>
 87/04/08 18:00:26 より 87/03/19 21:00:26 まで
 インターバル 180分

No.	°C	m	°C	mS	m	°C	mS
1	0.1	7.99	7.3	0.066	9.28	9.3	0.424
2	0.1	7.89	7.3	0.067	9.28	9.3	0.421
3	0.1	7.76	7.3	0.067	9.28	9.2	0.428
4	0.1	7.58	7.3	0.067	9.28	9.2	0.430
5	0.1	7.46	7.3	0.067	9.28	9.2	0.429
6	0.1	7.47	7.3	0.067	9.28	9.2	0.430
7	0.1	7.28	7.3	0.067	9.28	9.3	0.428
8	0.1	7.70	7.3	0.067	9.29	9.2	0.432
9	0.1	7.63	7.3	0.066	9.28	9.2	0.432

図-3 有線通信システムによるデータ転送例(新潟県古志郡山古志村虫亀地すべり地)

a) 現地での打ち出し結果 b) データ転送後、ホストコンピュータによる打ち出し結果

Fig.3 An example of transmission of data by wire system.

a) Print out by the data recorder at the field

b) Print out by the host computer after the transmission of data

D. デジタル記録・演算システムと無線通信システムによる水位、電導度、水温の測定

測定環境：松之山越地すべり地は民家から離れており、電話回線や電源として電灯線を利用することは、経済的に極めて困難である。この地すべり地での積雪期、融雪期の地下水位等の観測は、現地の小屋に長期間データを保持しうる観測・記録システムと十分な電池を電源として準備するBで述べた方式で観測することが可能とはいえ、電話回線によるCの方式で、随時データを転送し、検討することはできない。このような場所における地すべり地の冬期の地下水位、地下水温、地下水の電導度等の観測には、現地で自動観測システムによって得られたデータを無線により転送できるシステムを開発する必要がある。そこで、CTIサイエンスシステム開発部の協力を得て積雪期、融雪期の集水井戸の地下水の水位・電導度、水温の

測定データを無線で送ることを試みた。

観測のねらい：(1)松之山地区では多い年には5 mを越える積雪がある。雪の密度は大きく、融雪期には0.4以上となると予想され、観測設備を雪の重さから守る手段を工夫する。(2)バッテリー電源の補助として、太陽電池を降雪の多い場所では有効に働かせる実験をする。(3)山間地での無線通信の有効性を検討する。

システムの概要と設置：測定・記録部は、BのシステムではハンドヘルドコンピュータHC-20が使われていたが、このシステムではHC-41を使用し、データはRAMディスクに記録する。センサーはBのシステムで用いたものと同じである。送信機は、出力5 Wのもので、周波数はUHF帯を使用する。アンテナは無指向性のGP型のを地上6 mに架設した。バッテリー電源の補助として用いた太陽電池は、最大出力45Wのアモルファスシリコン電池である。太陽電池は、5 mの積雪でも雪より上に電池面が出るように、古電柱を利用した柱を立て、その頂部に設置した。電池の取り付け角度は着雪をさけ、しかも積雪表面からの反射光を利用するために電池板を地表に対して垂直に取り付けた。その方角の決定には太陽光の方向と、土地の積雪期の卓越風を考慮した。

これらの観測システム、送信機、バッテリーは、積雪に対する強度と断熱効果を配慮して、グラスファイバー強化プラスチック製の収納ボックスに収納した。

受信局は松之山町水山越地区の公民館に設置し、電源は電灯線(AC100V)を使用した。受信用アンテナは、公民館の二階部分の雪おろしの妨げにならない個所に取り付けた。

観測：集水井内の地下水の水位、水温、電導度と収納ボックス内の気温を2時間ごとに測定し、HC-41のRAMディスクに記録し、0、6、12、18時に公民館の受信局に送信した。受信局では、受信したデータをプリンターに出力するとともに、フロッピーディスクに保存した。研究室では、フロッピーディスクのデータをもとに図化した。観測結果の一例を図-4に示した。

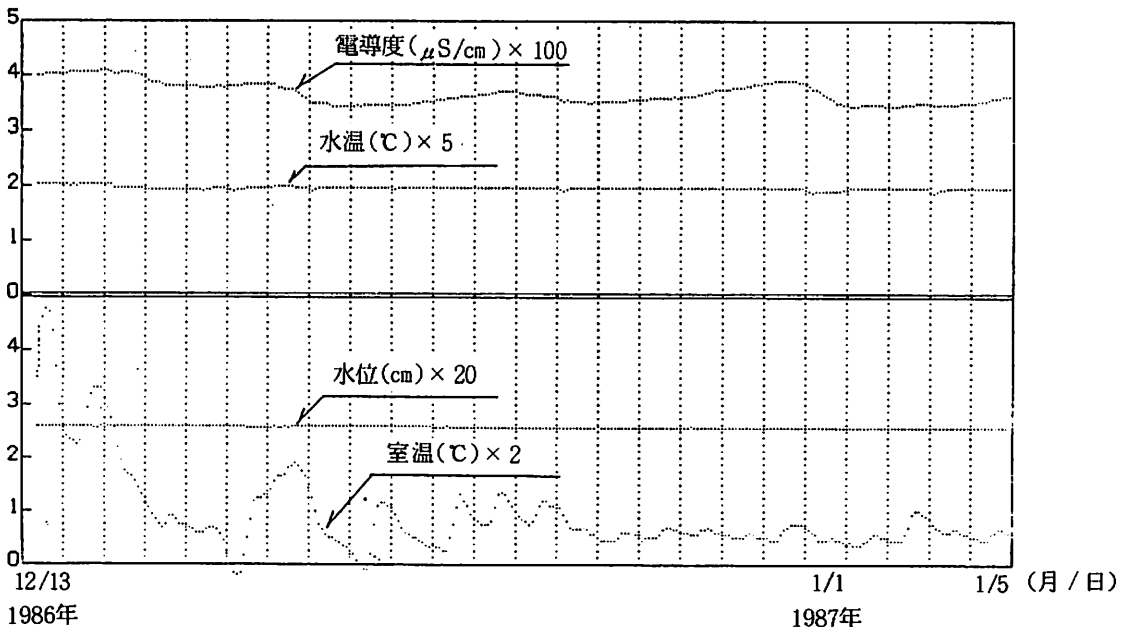


図-4 無線通信システムによるデータ転送例(新潟県東頸城郡松之山町越地すべり地) 転送データをもとにグラフ化

Fig. 4. An example of transmission of data by wireless system.

水位は、集水井のために安定している。水温は、ほぼ一定で約10℃を示す。電導度はかなりの変化がみられ、集水井に集まる水は、水質を異にする水がなん種類かあることを示している（図-4）。図-4には示さないが、融雪の盛んな3月でも電導度は300 μ S/cm程であり、融雪水が直接多量に流入しているとは言えないことが興味深い。収納ボックス内の温度が常に0℃以上であり、しかも日変化している（図-4）。この理由は、断熱性の良い収納ボックス内で観測・送信システムが出す熱によりボックス内の温度が上がり、しかも太陽電池から送られてくるエネルギーの一部がボックス内で熱に変わり、温度の日変化を生じたためと考えられる。

この調査に使用したシステムでは、一部データに欠落がみられた。原因は、送信側と受信側のデータ受け渡しのタイミングが一致しないことがあるためであったが、既に改良を加え、調査を続行している。

Ⅲ 討 論 と ま と め

地すべり地における種々の観測の自動化は、研究、調査、さらに将来は地すべり予測にも広く用いられることになる。しかし、これまでに検討してきた各種の方法には、それぞれ長所・短所がある。地すべり地の条件が多様で、観測目的もそれぞれ異なっているのだから、すべての条件に対して適用できる万能の方法がないのは当然と考えられる。そこで、なるべく人手に頼らないで、山間地の地すべり調査をできるかぎり安価に行う方法としての自動観測という見方から、試験してきた各方法の評価を試みる。

1. アナログ記録計を用いる方法

調査項目が少ない場合には、機器が比較的単純で安定性があるアナログ記録計による方法は、観測データの変化の様子が現場でもみることができるので捨てがたい。しかし、これまで商用電源が利用できない条件で、低温下に、無保守で長時間記録するように設計された記録計は少ない。これに対して、デジタル記録計は安価で、広く普及する傾向にあることから、今後の観測の自動化においては、アナログ記録計を用いる方法は限られた分野でのみ使用されることになる。

2. デジタル記録計による観測

調査項目が多くなる場合には、コンピュータで制御される観測機が有利になる。多項目のデジタルデータを記録するデータロガーも多数市販されるようになってきたが、またこれは高価であることに加えて、この計画では、最終的にリアルタイムでデータをみる装置の開発を目指したので使用しなかった。Bで行ったように、一定時間観測したのちデータを回収すれば良い時には、データロガーが採用される場合は多いであろう。

ハンドヘルドコンピュータを利用する計測記録装置は、上記の地すべり地の他、新潟大学構内の井戸の観測、長野県小谷村蒲川の土石流地帯の流水・地下水の観測等の経験から、現在の市販のシステムでも十分に地すべり地での観測に使用できる水準に達していると判断している。

3. 観測地からのデータ転送システム

有線、無線の両システムについて一冬の観測を経験したにすぎない現段階では、結論的なことは言えないが、現段階で確認した、あるいは予想される両者の長所、欠点を整理した。現在行っている調査は降雨、降雪、融雪時に地すべり地で何が起きているかを知る目的で計画したものであり、地すべりの予測、警報のためのデータ収集とは考え方が幾分異なる。

冬期の山間部の地すべり地の調査では、人が容易に現場に行けない、電話回線が使えない、商用電源が使えない等、調査の諸条件は極めて劣悪である。このような条件下では、一般には無線によるデータ転送の

方式が有利である。しかしながら、無線の使用は、無線局の開設にあたって電波管理局の認可や無線従事者の資格が必要な場合があること、使用できる波長・出力に電波法の制限があること、地形によっては電波障害によってデータ転送ができない場合があること等の制約があって万能とは言えず、普及の障害となる。

一方、有線による伝送は、電話回線などデータ通信に使える有線システムが直ちに利用できる環境では、経費、通信の安定性からも有利なシステムである。住居に被害を与える可能性のある地すべりなどは、これにあてはまる。しかし、通信回線を新たに敷設しなければならない環境では、敷設費、維持管理費がかかり、山間の地すべり地では一般的ではない。

以上に述べた観測システム以外に解決すべき問題として、豪雪地帯の冬期の観測で測定機器を安全に、しかも簡便に収納する方法を早急に開発する必要がある。

本報告では、筆者等の研究上の興味から、地下水の水位、水質に関する調査を主としたが、地すべりの研究には、移動量、融雪水量など多くの項目を測定する必要がある。しかしながら、各項目の観測を自動化するのに必要なセンサーの開発は十分ではない。例えば、虫亀で使用した超音波積雪深計は、積雪深はもとより融雪水量の推定にも極めて役立つ計器である。しかし、ここで使用した機種は必要十分な性能を有しているとは言え、交流電源（AC100V）を必要とし、しかも高価である。条件の悪い山間地で自動観測による地すべり研究を進めるためには、バッテリーの使用が可能で消費電力が少なく、安価でかつデジタル信号を出すことができる積雪深測定用のセンサーを開発する必要がある。

謝辞

これらの調査を遂行するにあたり、機器の開発、貸与などお世話になったCTISシステム開発事業部、機器の開発に協力して下さった越後電機株式会社、機器設置にあたって快く調査用地の使用を許可下さった地主の人々、用地使用のため便宜を計って下さった山古志村役場、松之山町役場に心からの謝意を表明します。虫亀の地すべり地の調査用の小屋の設計図を快くお貸し下さった榊新協地質調査事務所に感謝致します。なお、研究費の一部として新潟大学特定研究経費（昭和58年度 気象、地質、地下水からみた地すべり発生機構の研究、昭和61年度 旧期地すべりからみた地すべり危険地帯の予測の研究）を使用したことを記して感謝します。

文 献

- 小川正二・亀井健史・和田 正・橋本正樹（1986）：融雪期における地すべり地の間隙水圧・地下水位・地温の変動特性。地すべり，23，3，21-27。
- 佐藤 修（1981）：地すべり地の陸水の水質(1)虫亀・高倉地すべり。新潟大。災害研年報。3，47-58。
- 吉田昭治ほか（1987）：自動観測システムによる地すべり地の地下水観測と地下水挙動の特性について-松之山越地すべり地を例として-。新潟大。災害研年報。9，