

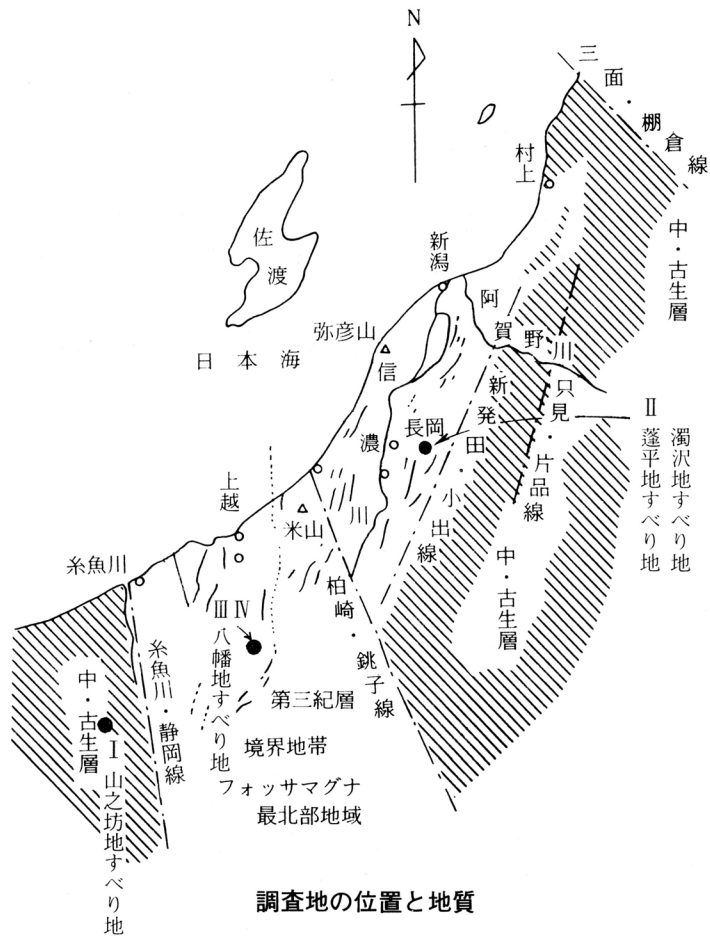
第15回シンポジウム

地すべり計測技術の現状と問題点

—— 最近の地すべり現場における計測例 ——

1987.5.8

主催 地すべり学会新潟支部
土質工学会北陸支部
新潟県地質調査業協会
地すべり対策技術協会新潟支部
後援 新潟県砂防課・農地建設課・治山課



~~~~~ 目 次 ~~~~~

|                         |    |
|-------------------------|----|
| I 地すべり計測技術の現状と問題点 ..... | 1  |
| II 地下水に関する計測例と問題点 ..... | 8  |
| III 地中変位と気象・地下水の経時計測    |    |
| — 八幡地すべり地における例 — .....  | 16 |
| IV 地すべり土塊・防止杭の応力計測      |    |
| — 八幡地すべり地における例 — .....  | 31 |

~~~~~

序

今回のシンポジウムには地すべり学会新潟支部が創立してから15年の節目の記念すべきシンポジウムとなりました。創立の初回からこれまで地すべりにたずさわる現場の技術者、研究者を始め、多くの関係者によって提起されました課題について熱心な討論を重ねてまいりました。

地すべりは、地質学、土質工学、土木工学、地下水学等の総合的な、しかもこれらの境界科学となっており、それを反映して幅広い専門分野の人たちが参加しております。それだけにそれぞれの人たちが英知をだしあって討論することは地すべり技術の発展にきわめて有意義なことであります。

そしてまた、このことができるということは、当支部が民主的な協力により運営され、発展していることによるものと思います。

今回のシンポジウムは地すべりの諸計測を課題といたしました。今日、計測技術が飛躍的に進歩していますが、これを地すべり対策技術に応用し、地すべり発生の予知と災害の未然防止に役立てることは緊急な課題であります。

内容豊かな討論がなされることを願うとともに、この会がみなさんの創意によりさらに民主的発展を続けることを心から期待したいと思います。

地すべり学会新潟支部長

藤 田 至 則

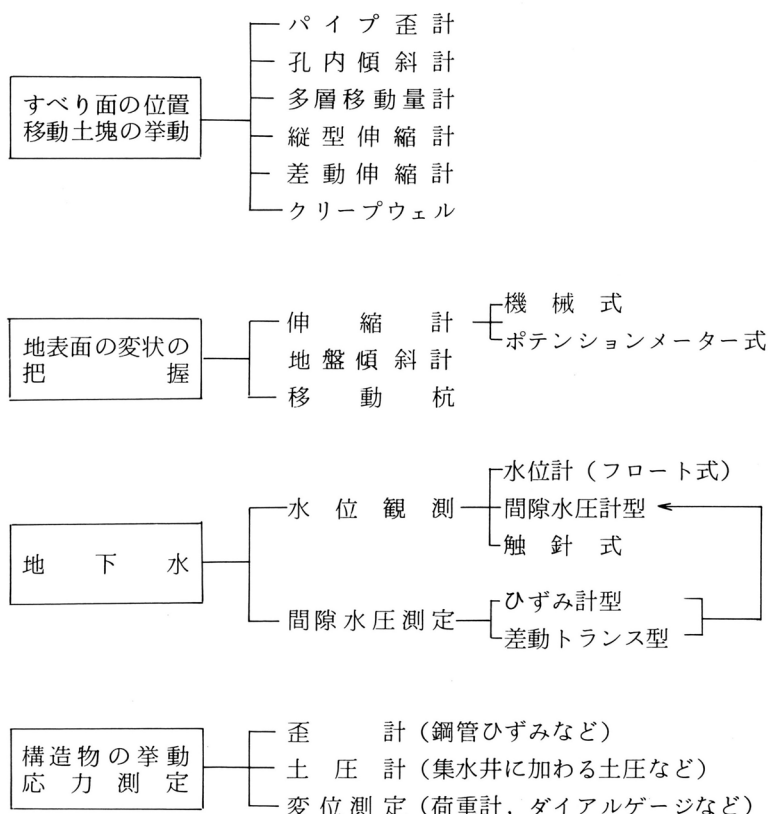
I 地すべり計測技術の現状と問題点

黒 木 三 郎[※]

1 はじめに

地すべり調査に用いられている各種計測は表-1に示すような多種類のものが用いられている。これらの計測手段は、目的は同じであっても、その構造・機構はそれぞれ異なる。たとえば、すべり面の位置、移動土塊の挙動の判定方法であるパイプ歪計などと、差動伸縮計による測定などにおいては、前者が連続したパイプの変形を“ひずみ”の分布から把握しようとするのに対し、後者は、背骨状に分断されたパイプの変形をワイヤーの伸びで検出しようとするものである。当然地すべり土塊の挙動は同じであっても、パイプに加わる応力分布は異なり、見かけ上は異なった変状を呈していると解釈

表-1 地すべりで用いられる各種計測



※ 国土防災技術(株)

される場合もあり得る。

また計測方法の機構も、リチャール型水位計に代表されるような「ギャ」と「てこ」を利用した機械的なものと、間隙水圧計に代表されるように物理的变化を電気抵抗の変化などに置き換える「電気式」のものに大別される。特に後者は、コンピューターによる図化、集中管理、長期間にわたるデータの蓄積などが可能となり、積雪時の観測や、地すべり常時監視が容易に行われるようになった。このように計測技術のハードの面の発達は著しいものがある。しかし、計測手法が特に前述した「電気式」の場合、センサー、測定器などが我々にとっては「暗箱」的であり、これら測定器などの基本的な原理の理解なしでは、得られたデータの解釈に大きな誤まりをおかす可能性もおこり得る。また基本的な問題でも解決もしくは、基準作りに努めなければならない問題も多い。

筆者がこれまで経験した問題点の一端を紹介し、御検討をお願いしたい。

2 基本的な問題点

計測技術に係わる基本的な問題点として、次の3点をまず挙げたい。

- a) 計測機器などを正しく設置しているか。
- b) 観測期間、間隔は妥当か。
- c) 計測機器のもつ問題点は何か。

2-1 計測機器を正しく設置しているか

計測機器の正しい設置は当然のことであるが、この点について反省も含めて、特にパイプ歪計、孔内傾斜計などの「すべり面の位置、挙動」の計測機器の「クリアランス」の問題をとりあげる。

図-1は孔内傾斜計観測結果の代表例である。a～cは地すべり地内に設置されたもの、d～eは、鋼管杭(φ318.5, 10.3%)内にガイドパイプを設置し、モルタル充填固定したものである。

この観測結果から、b)を除いたa, cはすべり面の判定はむつかしく、また移動土塊の挙動が異なるような印象をうけるし、事実そうであるかも知れない。これに対し、申(基礎工 vol.13, No.9)は、地すべり抑止杭の式から、図-2に示すような小口径のパイプのたわみと、モー

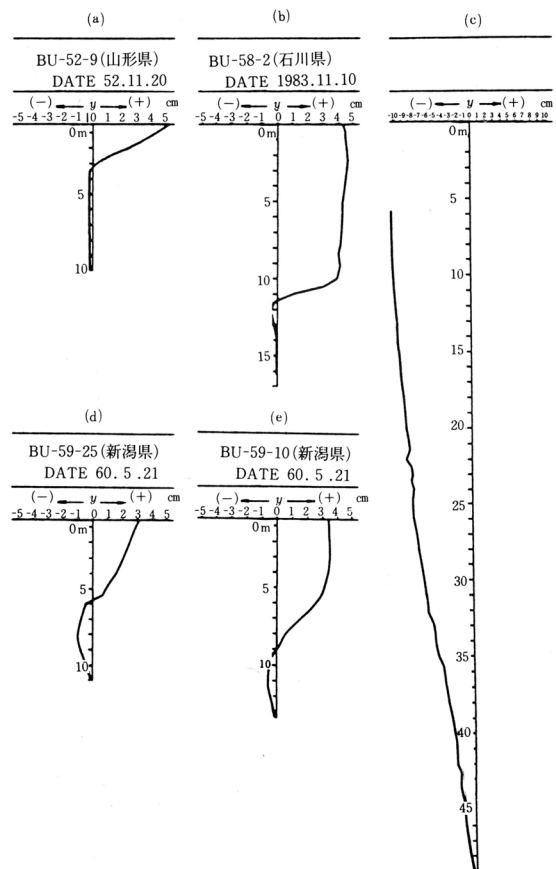


図-1 孔内傾斜計観測の代表例(たわみ図)

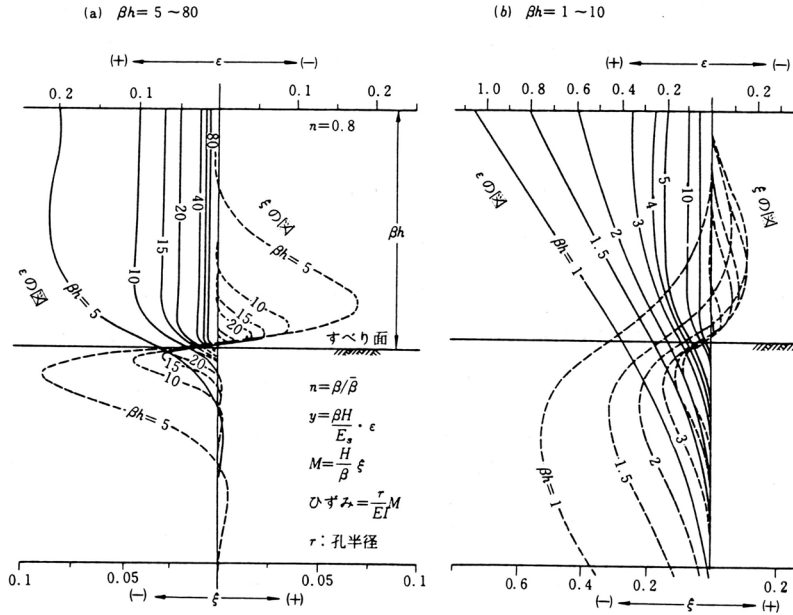


図-2 小口径のパイプのたわみとモーメント図 (Shinによる)

メント図を求め、これらの結果より図-1のa, b, c, の変形のしかたは、等分布荷重のもとで βh (β = 杭特性長, h = すべり面深度) の差で説明できるとしている。すなわち $\beta h < 3$ ではCタイプ、 $\beta h > 3$ ではbタイプになるとしている。当然 β はガイドパイプと孔間のクリアランスの充填のしかたで異なる。それに伴って見かけ上のパイプの変形も異なるということになる。パイプ歪計も、全く同様であり、

図-3に示したのが山田等(昭和59年)の模形実験の結果であり、クリアランスの充填は十分留意する必要があることが理解できる。

同じような移動土塊の挙動を示す地すべりにおいても、他の条件でパイプの変形が異なるし、また差動伸縮計のような、構造的に全く異なる機構の観測結果がどのようなものであるかも興味深い。

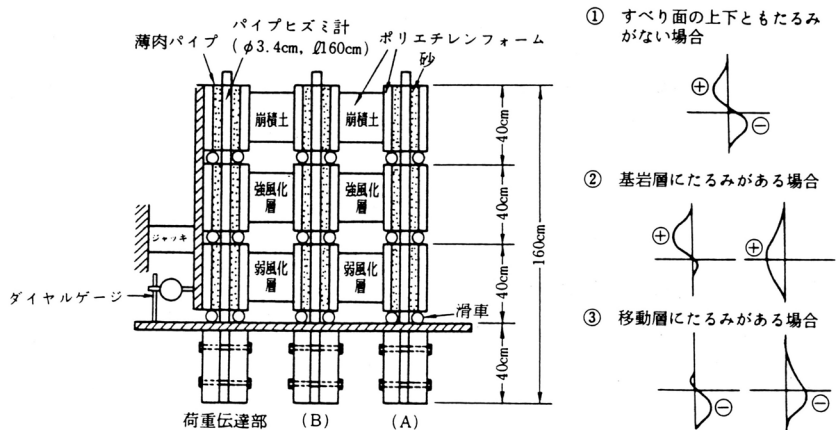


図-3 砂詰め不完全度によるひずみ図の変調

2-2 観測期間、間隔は妥当か

地すべり調査を行っている期間中に地すべりが発生し、「ひずみ計」「傾斜計」などにひっかかるとは限らない。これ等の結果をもとに、本地区の地すべりが、安定しているとは断じ得ない。このような地すべり地に遭遇した場合、はたして観測を何年続ければよいのか？という問題は非常にむづかしい。地すべり対策工事の終了すなわち「概成」の判断も困難となってくる。地すべりの予知予測の問題も含めて、何等かの基準の確立を計らねばならない。

地すべり調査が年度単位で行われるため、新潟県の場合特に融雪時の観測が欠測となる場合がある。しかし、前述した計測技術の発達によって、しだいにこの問題は解決されつつある。

次にアナログ式の自動観測のシステムでないかぎり、測定間隔が問題となる。現在水位観測などは、1週間に一回とかという測定間隔で行われている場合がある。図-4はある地すべり地の水位変動を、もし10日間隔で実施していた場合はどうなるかを示したものである。かなりの部分のピーク水位をカットしたグラフになっていることがわかるし、特に10月以降にそれが顕著である。地すべり発生などをピーク水位（最高水位）などと対比し、検討しようとする場合はかなりの問題を残しそうである。昭和62年1～2月頃においては最大3.0 m以上の水位上昇の差を見のがしたことになる。ただ水位と地すべり発生を考察する上で、このような厳密さが必要とされるかどうかとも問題として残される。

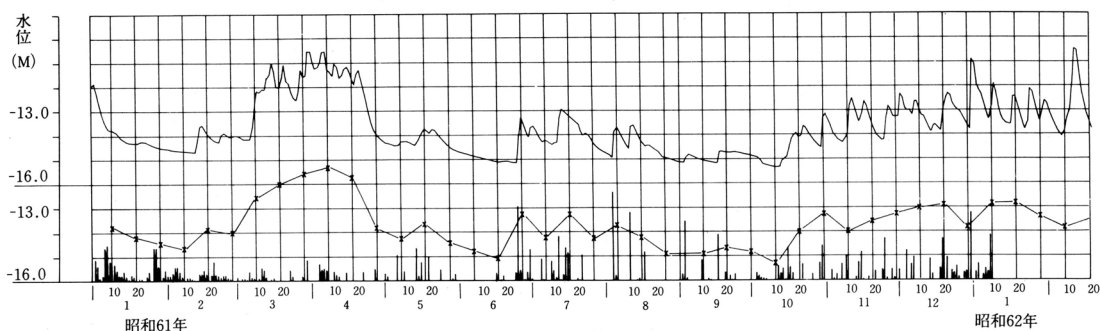


図-4 水位変動図 上段：毎日測定
下段：10日間測定

2-3 計測機器のもつ問題点

各種計測機器のうち、特に電気式のもの、微小な電圧あるいは電流変化を「変動」とおきかえ測定するものであり、コード長、温度などの影響を受けやすい。これらの電圧・電流変化をデジタル表示に変換するいわゆる測定器は、極力このような影響をカットするように作られてはいても、完全ではない。測定端子のさび、スイッチボックスの使用などでも大きくノイズをひろう場合があるし、雷が大敵である。またセンサー側の問題点として、知りたい変動量以外の変動量をひろう可能性がある。図-5は、間隙水圧計（ひずみゲージ式）で、ノッチの水位を測定したものであるが、実際の水位変化と比して、かなりの異状を記録している。この異状は、おそらく、気圧変化をひろ

っているものと考えられ、現在原因の追求を行っている。cmオーダーの変化を間隙水圧型のセンサーでひろおうとした失敗例のひとつである。これらについてはフロートとポテンションメーターを組合せたものが、有効であるという報告がある。

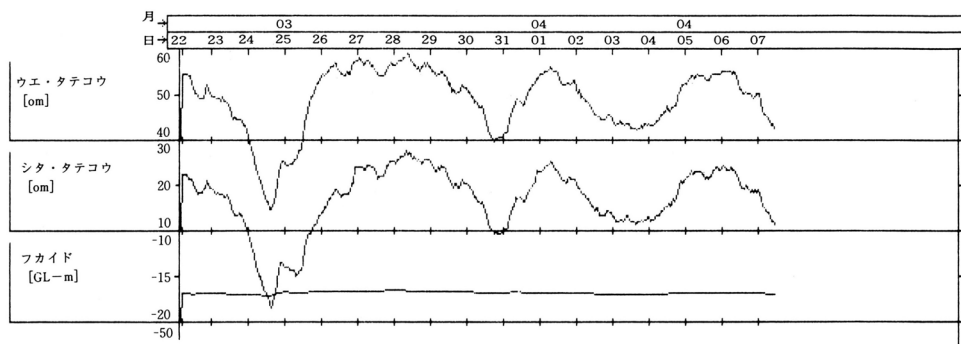


図-4 水位計（ひずみゲージ式）結果測定図

3 今後の計測技術

エレクトロニクス時代となり、地すべり地での計測もこの技術利用が主流となるであろう。しかし、現実的には経費の面で割高であり、メーカー側との協力によるコストダウンの努力が是非とも必要である。地すべりの計測は、特に地すべり予知などを含めた場合リアルタイムでのデータが必要であり、常時監視というシステムの採用も考えねばならず、また、大地すべり発生時の場合遠隔地での集中管理システムなどの開発も急がれよう。いかに経費を安くするかにつきよう。

図-6はある地すべり地でのパソコンを利用した常時地すべり監視のシステムの一例であり、図-7は、リアルタイムで表示されたディスプレイのハードコピーである。

今後このような計測に移向していくと考えられるが、数々の問題を秘めており、我々もその問題点をよく理解し、ハード部門をうけもつ業界とのタイアップでよりよい方向に進むべきであろう。

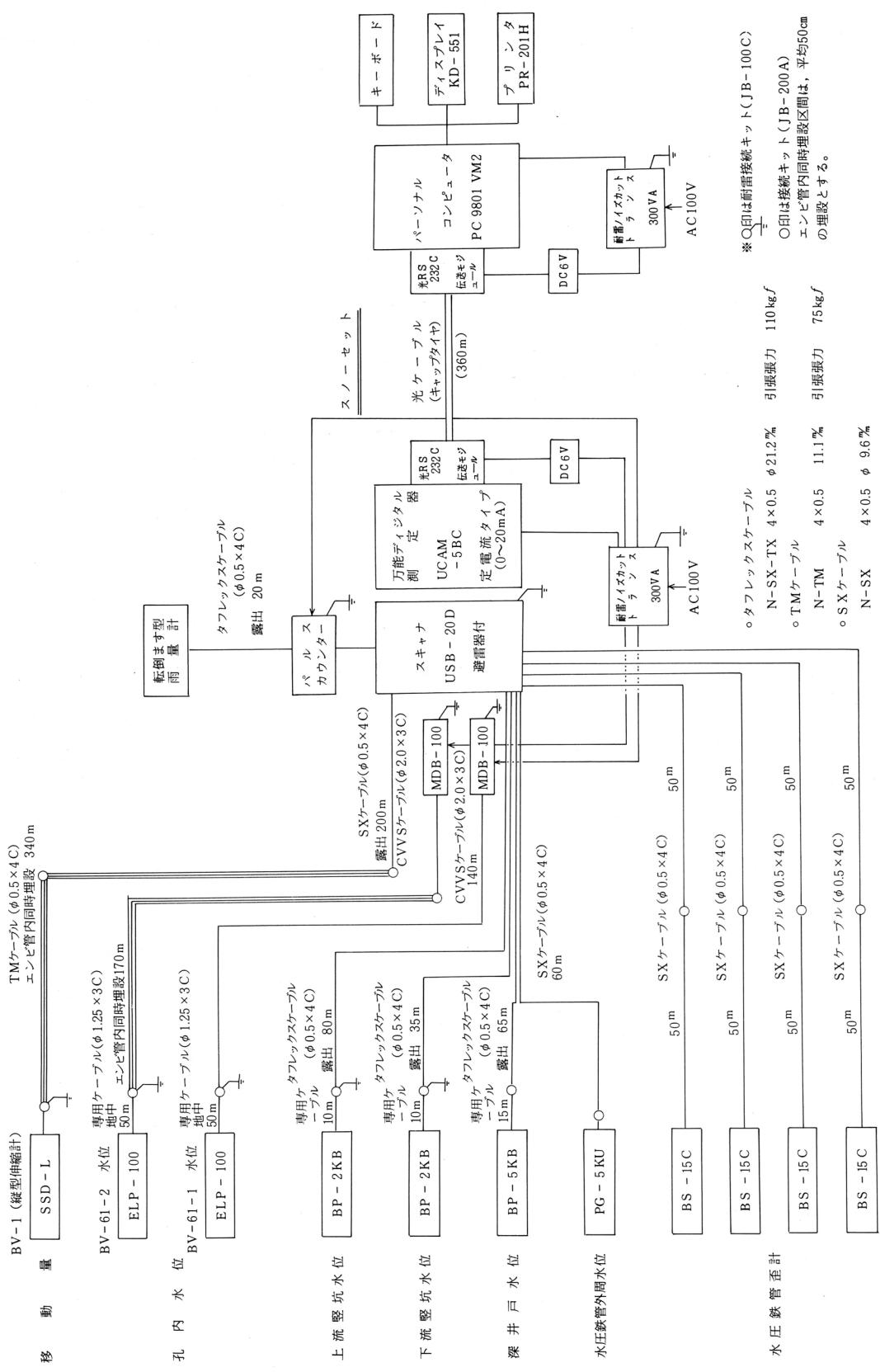


図-6 地すべり警報システムブロック図

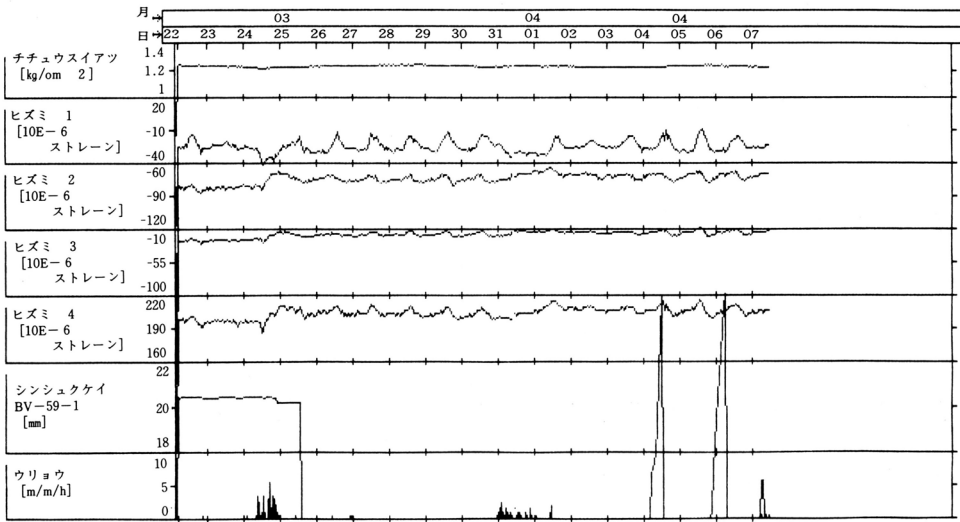


図-7 ディスプレー表示例図

Ⅱ 地下水に関する計測例と問題点

南 雲 政 博[※]

1 はじめに

地すべりに関しての計測は、その目的の違いから多くの手法が採り入れられている。ここでは地すべり発生の誘因として最も大きな、地下水に関する計測について 2, 3 の実例を基に紹介する。

2 地下水に関する計測(目的と手法)

地下水を計測する場合については、その目的から

- ① 広域の分布調査 ② 限定した状態における計測 ③ 長期連続計測

等に大別できる。手法としては、

- ①……………電気探査や地温探査 ②……………地下水追跡や地下水検層

- ③……………地下水位測定や間隙水圧の測定 に代表される。

これら手法のうち、電気探査の分類に入る S、P (自然電位) に着目した手法と、流動電位を変化させての地下水追跡法、融雪期における地下水位の測定の 3 項目について、現況と問題点を述べさせていただく。

3 S、P法(自然電位法)

S、P 探査は1950年代に鉱床探査の有力な手法として用いられていた。しかし、他の分野では積極的な利用は行われていない。そこで地すべり地でのこの S、P 法を適用してみた。この結果、地下水脈の探査には有効な手法となり得ることが判明したため、ここに実例を紹介する。

3-1 測定方法

判定器具としては、硫酸銅電極 1 対 (2 本) と電位差計 (精度 0.1 mV 程度, 入力インピーダンス 1 MΩ 以上) とこれを接続するリード線があれば良い。電極間隔は、深い情報を得るには長めに、浅い場合は短くとしている。(通常は 2~5 m 程度としている。)これを予め設定した測線上を移動させて電位差を記録するだけである。したがって、計測時間及び機材も少なく、極めて簡便な手法である。

3-2 実施例

図-1, 図-2 は、長野市地附山地すべり地での結果である。この結果から⊖電位の部分に脈状地下水の存在が推定された。

※ 株式会社 興 和

図-3, 図-4は麓平地すべり地での結果である。この結果から地すべりブロックの中央部では顕著な地下水脈は見られない。しかし端部では各測線共⊙の電位となる。なおC測線では鋼管杭の法線を横切ったため大きな異常を生じた。

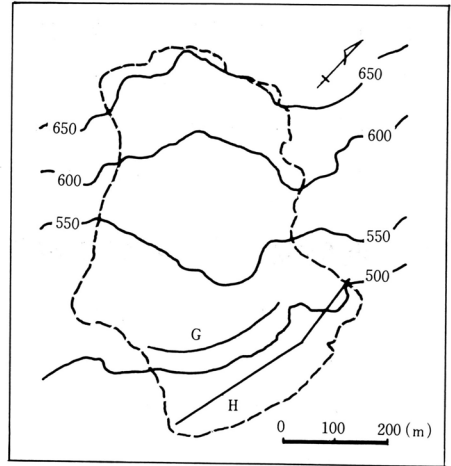


図-1 測定地の地形, 測線配置

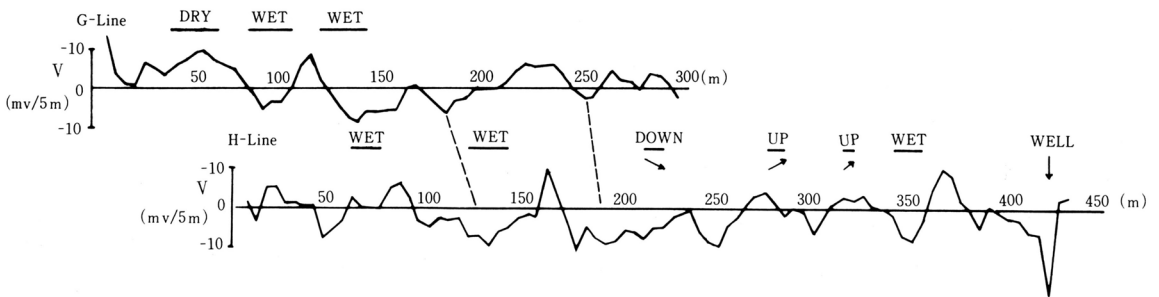


図-2 自然電位勾配 (15m間平均電位)

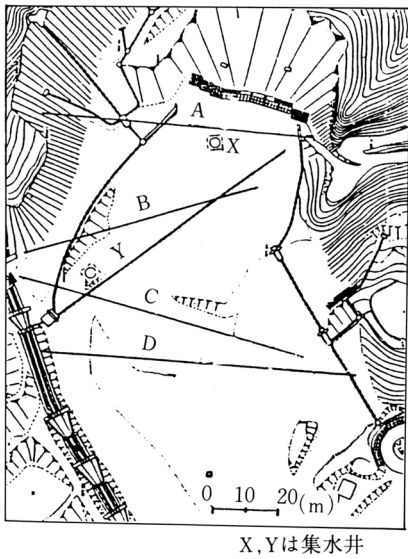


図-3 麓平地すべり地測線配置図

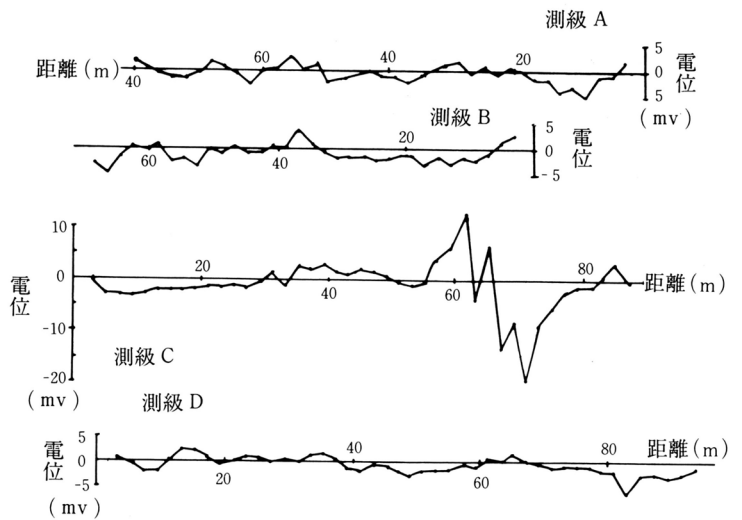


図-4 電位分布 (3点移動平均法による)

3-3 問題点と今後の方向

非常に簡易に実施できる本手法は、今後実施例を多くすることによって、地下水分布を知る概査

として有効なものとなる。しかし地表面の含水の違い、地形の起伏、埋設物の存在等、雑音となる要素の除去が問題となる。とりあえず今後は地温探査と併用する形で測定を行い、他のデータとの整合性を考えながら、これらの問題を解決したいと考えている。なお、微細な問題としてS、Pのスペクトルをとる手法も検討しているが、未だ途中であるため発表は別の機会にゆずる。

4 流動電位法を用いた地下水追跡

地下水が流動している場合には、流動電位が発生していることが知られている。地表面でこの流動電位を測定するには、他の電位の影響を受けていてこれだけを分離することは著しく困難である。この流動電位を測定する場合には人工的に流れ（流速）を変化させてやるか、液体の誘電率を変化させてやる必要がある。今、地下水に食塩を混入させたとすると、今まで一定であった流動電位は変化する。この変化した地点とその時間が求められれば、地下水脈の位置と流速が計算できることになる。

従来の地下水追跡法では、電解物や色素を投入し、それが到達するまで待つ手はなく、その到達地点は必ずしも主要な地下水脈であるとは限らない場合が多かった。この様な問題に対し、流動電位法は任意の地点で観測できる利点を持っている。

4-1 測定方法

図-5は測定方法の概念図であるが、用意するものとして、電極（通常は鉛電極が良い）を数～10数対、多チャンネルのレコーダー（分解能0.1mV程度のもの）、リード線（ねずみ等に強いもの）があれば簡易に測定できる。

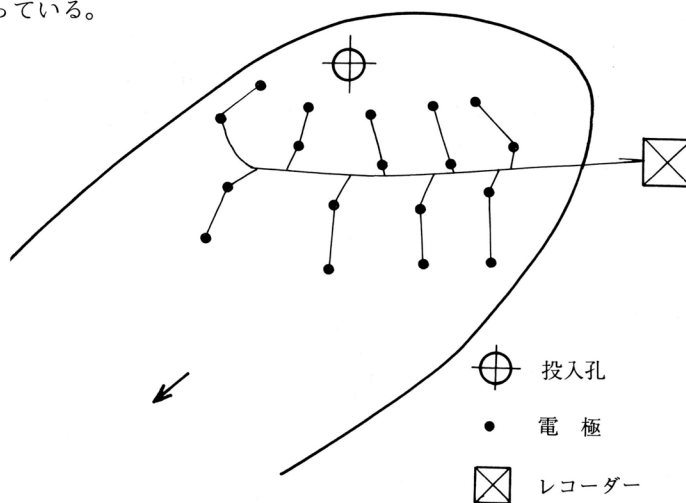


図-5 流動電位法を用いた地下水追跡方法

4-2 実施例

1981年に長岡市濁沢地すべり地で実施した例を紹介する。

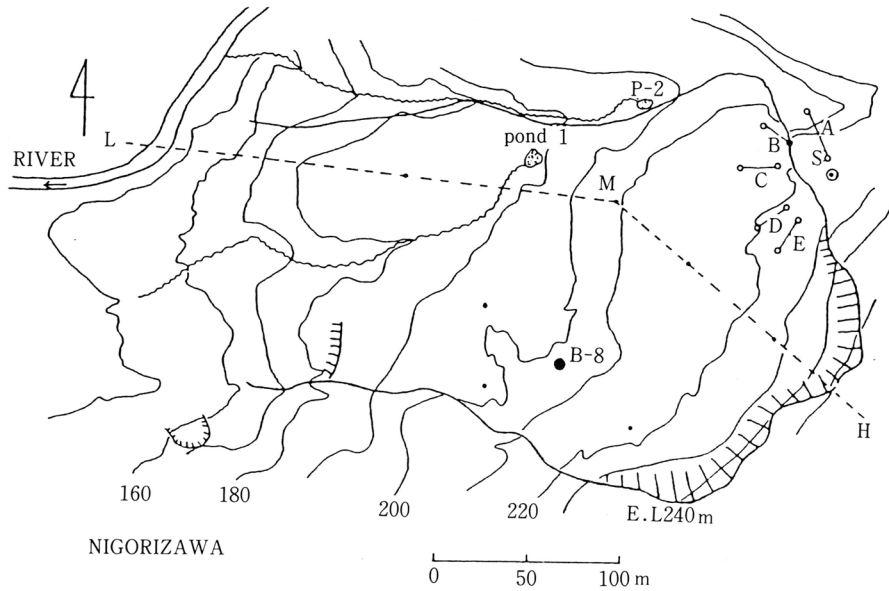


図-6 測定位置 (S:投入点 A~E:電極)

図-6のSで示した既設ボーリング孔を投入孔として5対の電極を扇状に配置した。電極の間隔は地下水面までの深さよりも長くした。

食塩水を投入して連続的にその電位差を記録した結果は、図-7となる。

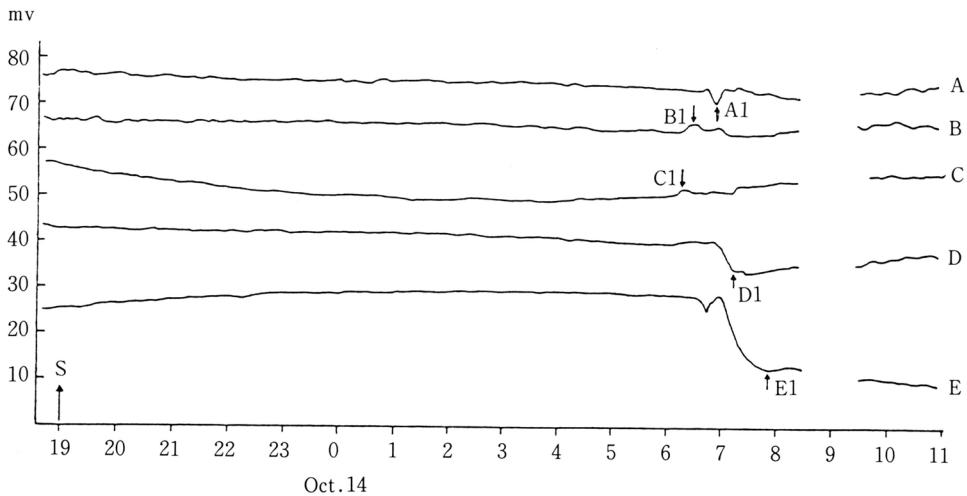


図-7 流動電位の経時変化 (S:投入時間)

この結果A1~E1を食塩水の到達時間とすると各方向の地下水流速は図-8となる。また変化量が流量と対応するとして見積ると、E方向が主流の地下水脈であるとの解釈ができる。

この手法による地下水追跡をこれ以後数ヶ所で行った結果、意外な地域に大量の地下水が賦存し

ていた事実がその後の水抜きボーリング等で確認されたケ所もある。

4-3 問題点と今後の方向

最大の問題点は、投入点から離れすぎると、食塩水が希釈され、流動電位の変化がバックグラウンドと区別できなくなる可能性がある。したがってある限定された範囲（100～200m）での地下水脈を調査する手段として用いるのが良いと思われる。また投入孔は既設の調査孔を用いるのが一般的である。しかし、調査孔が主要地下水脈上であることは少なく、できれば地温探査等によって事前に地下水脈を把握した上で、投入孔を設定するのが望ましい。

なお、今後は地すべりブロック外からブロック内に流入する地下水脈を測定する場
合に利用すべきであると考ええる。

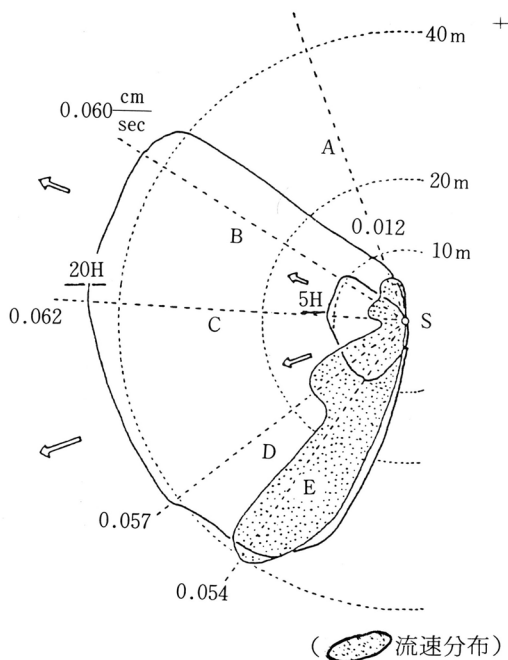


図-8 流速分布と流量分布

5 地下水位の連続観測

新潟県を始めとする日本海側の地すべり地では融雪期に活動するケ所が多い。これら地すべり地の多くは豪雪地にあり、積雪期間の地下水位を連続的に観測するには非常に困難を伴っていた。しかし近年、記憶型の地下水位測定装置が開発され、融雪期の地下水位変動がある程度わかるようになってきた。ここに紹介する例は、地すべりブロック外とブロック内に設置した地下水位の記録であるが、非常に興味深い問題を提供してくれる。

5-1 測定方法

測定は半導体拡散センサーを用い、水圧を記録する。サンプリングは1時間1回とし積雪前に観測孔内にセンサーを挿入しておく。その時の水位を手動で測定する。記憶部は、地中に埋設しても地上に出しておいても良い。これを融雪後に回収し記憶されているデータを取り出す。以上非常に簡単な作業で積雪期～融雪後までの地下水位が得られる。

5-2 実施例

1985年12月～1986年5月の間蓬平地すべり地で観測を行った。観測孔は図-9に示すとおり、1孔は地すべりブロック内(60-5)もう1孔は地すべりブロック外(60-3)とした。なおこの付近は事前に地下水の調査が行われており、60-1～60-3へ延びる尾根が地下水の流路であると推定されていた。

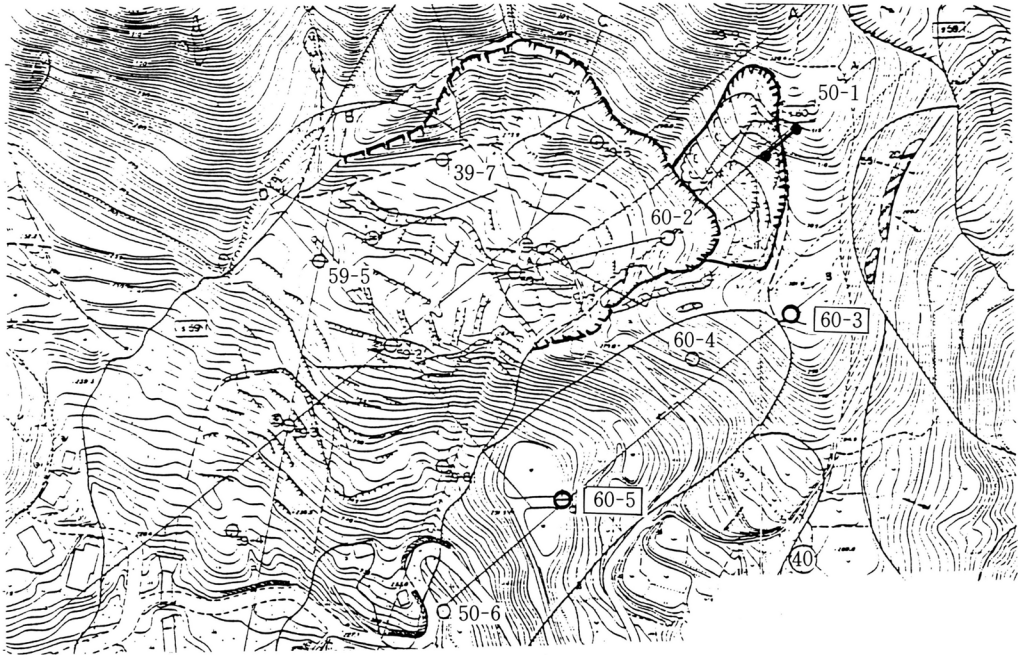


図-9 蓬平地すべり地と観測孔位置（観測孔 60-3, 60-5）

センサーは60-3が深度25m, 60-5が深度10mに設置した。

観測結果は、図-10に示すが両孔共3月中旬から水位が上昇傾向にある。水位のピークは、融雪が終了する直前に表われる。この傾向は、従来からいわれている積雪深50cm程度が地すべり発生

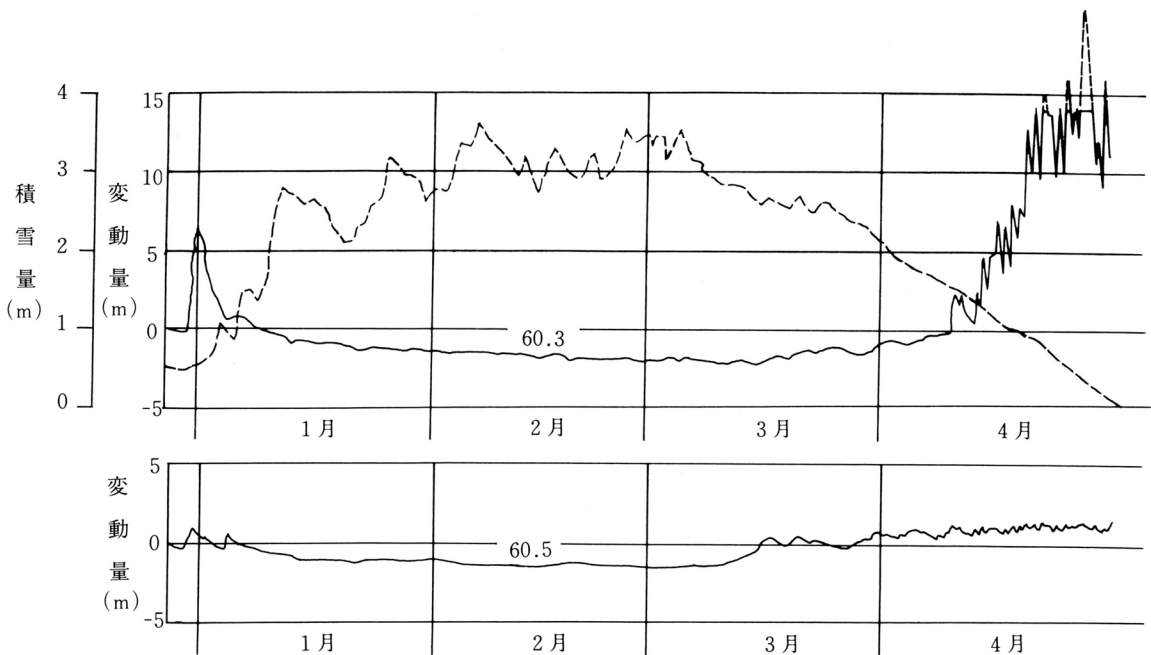


図-10 観測結果

が多いとの見解と一致する。地下水位の上昇パターンは積雪 150 cm までは長時間の変動を示し、それ以降は約 24 時間周期となる。これは気温の周期性と一致する様である。

地すべりブロック外にある 60-3 とブロック内の 60-5 では、60-3 の方が大きく変動している。この結果から、双方の地下水は単純に連続したものではないと判断される。したがって、この地すべりブロックにはブロック外から相当の水圧 P_w が作用していることにもなる。

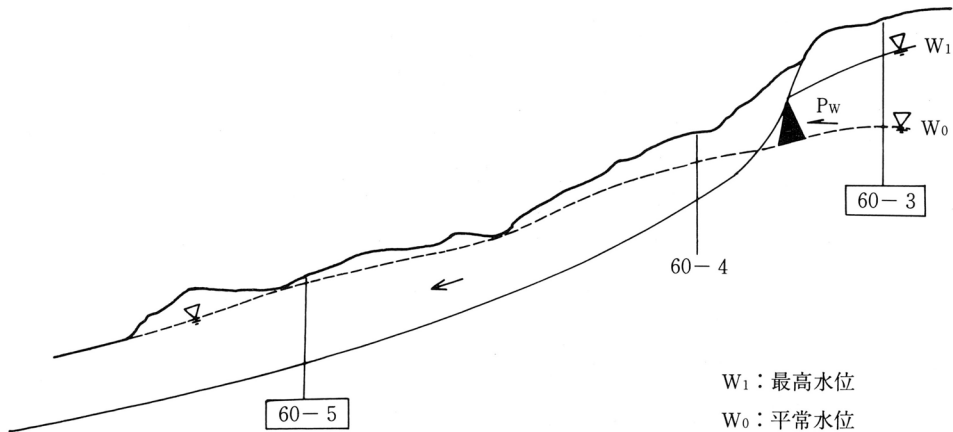


図-11 観測孔を切る断面

この P_w を今回の観測結果から最低水位 (GWL min) と最大水位 (GWL max) の差で概算すると、ブロックに加わる外力 P_w は、

$$P_w = \frac{1}{2} (\text{GWL max} - \text{GWL min})^2 = \frac{1}{2} (10)^2 = 50 \text{ tf/m}$$

となり、融雪期には常時に較べて単位幅当り 50 tf もの外力がこのブロックに作用していると思積ることができる。

この様に、融雪期に地下水位を連続して測定することは、地すべり地の地下水を知るうえで必要不可欠の問題であると思われる。

5-3 問題点と今後の方向

今回の測定は、全層スレーナー加工された観測孔を用いて行ったものである。したがって各滞水層の融雪期の変動を知るうえでは、層別地下水位の観測も行う必要がある。

融雪期の地下水位変動は周期性を持っており、その周期から測定間隔は 6 時間以下とすることが望ましい。

測定孔は、ブロック内とブロック外を対して対比できる様に配置する必要がある。

なお融雪期における地下水位が完全に、しかも連続的に測定された例は少なく、今後データが蓄積された時点で融雪期の地下水について詳細に検討したいと思っている。

6 む す び

地すべりの発生誘因として最大のものである地下水について、その計測方法を述べてきたが、今後の方向性として次の3点が重要であるといえる。

- ① 地すべり地内の地下水は、そのブロック外からの流入形態を明らかにしなければ、地下水を測定していることにはならない。
- ② 融雪期（特に日本海側の地すべり地）の地下水位の連続観測が重要である。なお、この観測は、①と関連して地すべりブロック内と併せて流入経路である地すべりブロック外でも観測する必要がある。
- ③ 地下水の形態及び動態を知ることによって地すべり発生の予知予測の可能性を検討することができる。

以上地下水に関連した計測について一般的でない方法を取りまぜて説明したが、何れも大きな労力を必要としない手法であり、今後も多くの実験をくり返しより地すべり計測として有効な手段となるべく諸問題を整理したい。

参 考 文 献

1. 伊藤芳朗, 桐原啓真, 石井栄一, 畑山憲治, 南雲政博「長野市地附山地すべりの熱画像, 自然電位法による地下水, クラックの検出」第25回地すべり学会研究発表会 1986
2. 柴田東, 伊藤芳朗, 南雲政博「自然電位法(S.P法)によるクラック, 地下水の検出」第22回土質工学研究発表会(発表予定)
3. 伊藤芳朗, 斎藤輝夫, 市川浩, 南雲政博, 川口英雄, 竹内篤雄「地下水流速の新しい測定方法の試み(流動電位法)」日本地下水学会紙VOL 26, No.3 P77~96
4. 伊藤芳朗, 高野秀夫, 坂井俊介, 南雲政博, 野村徹「融雪期における地下水位変化」第25回地すべり学会研究発表会 1986

Ⅲ 地中変位と気象・地下水の経時計測

—— 八幡地すべり地における例 ——

水 谷 宣 明[※]

1 はじめに

地すべりと気象・地下水との関連ははやくから指摘されており、融雪期における間隙水圧・地下水位・水質・地温等の計測・研究例も最近増えてきている。しかしながら、いわば地すべりの誘因ともいえるこれらのデータと、地すべりそのものの動きとをあわせて計測している例はそれほど多くない。これは、水位・水圧などの測定点数に比べて、地中変位を歪計などで測定するとなると15～25m程度の各深度で多数の計測を行う必要が生じ、これにみあうような適切な計器が見あたらなかったのが現状であった。

発表者らは八幡地すべり地の調査において、昭和57年よりデジタルストレインレコーダ（共和電業製RMH-8A：8～24チャンネル，最大8000データ収録可能）を現在までに4台導入した。これにより、鋼管杭に取り付けた歪計・土圧計により地中変位を計測し、地中に埋設した間隙水圧計により地下水の計測を行っている。杭に作用する力の解析から、地すべり土塊の挙動杭打工が移動を阻止する過程については、福本が別途報告しているとおりである。

本地すべり地における経時的な計測結果からは、防止杭の効果が発揮されるようになった最近においても、融雪・降雨とそれに続く地下水の変化に応じて、微小ながら地中変位が累積する傾向が見られる。その一方では、集水井の施工により間隙水圧・地下水位がはっきりと低減し、その効果によって地中変位量が減少している現象とらえられている。

ここでは計測例の一部を紹介しながら、地すべり計測技術の現状と問題点について考えていきたい。

2 地すべり地の概況と計測・解析の方法

新潟県西南の新井市八幡地すべり地（図-I）は、昭和初年から半世紀以上にわたって県営防止工事を続けてきた、新潟県下における移動の最も激しい地すべり地の1つである。昭和55年より移動の最も活発な斜面上部の450m間の防止工事に着手し、移動の機構解明調査としてボーリングをはじめ地表・地中移動観測、地下水、土質試験等の諸調査を行い、60年までに17段におよぶ杭打工を主体とする防止工事を行ってきた（図-II）。

※ 株式会社 日さく

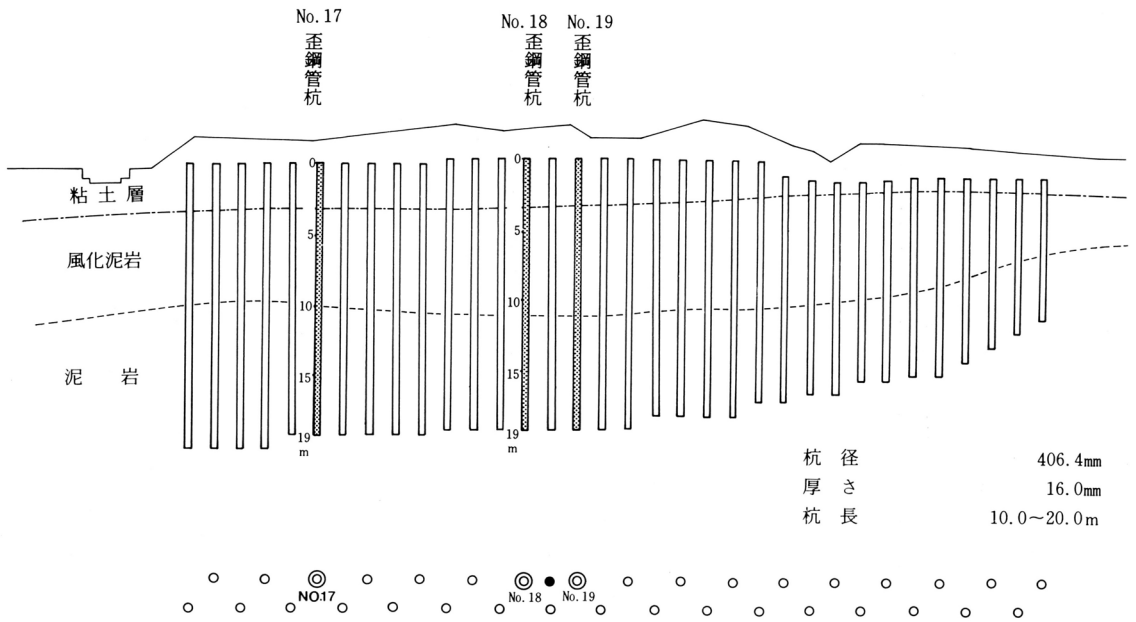


図-1 No.16杭打工杭配置図

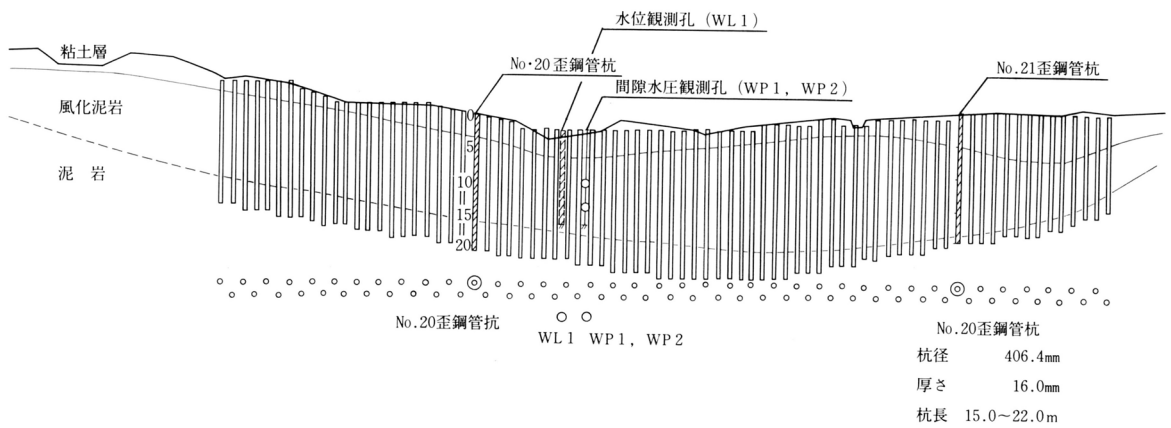
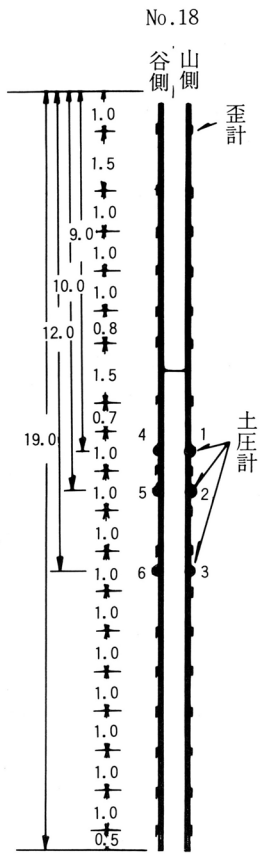
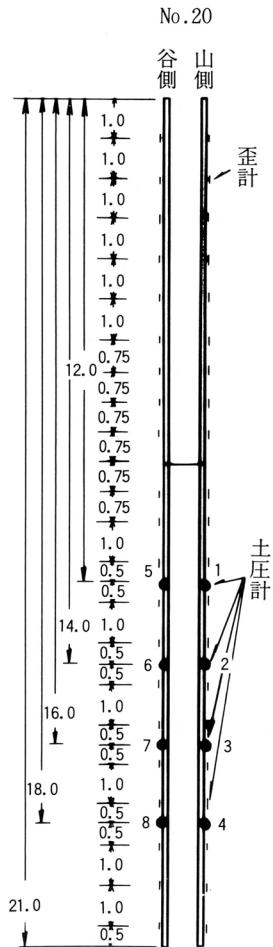


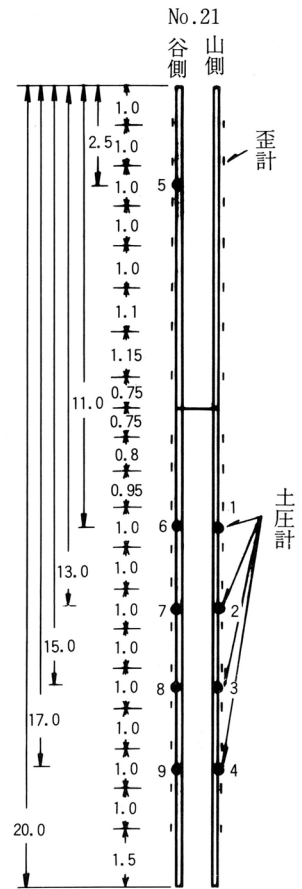
図-2 No.17杭打工杭配置図



杭径 406.4mm
 厚さ 16.0mm
 杭長 10~20m
 断面 2次モーメント
 37,400Cm⁴
 断面積 196.2cm²



杭径 406.4mm
 厚さ 16.0mm
 杭長 15~22m
 断面 2次モーメント
 37,400Cm⁴
 断面積 196.2cm²



杭径 406.4mm
 厚さ 16.0mm
 杭長 15~22m
 断面 2次モーメント
 37,400Cm⁴
 断面積 196.2cm²

図-3 歪鋼管杭計器配置図

調査の過程において、塩ビパイプ歪計・ガス管歪計などの手観測による計測を多数行ってきたが、4 mを越す積雪のために冬期間の計測が難しく、また移動が激しいために計器がすぐに破損してしまい、地中変位がよく把握できないなどの問題があった。そこで、昭和57年に8チャンネルのデジタルストレインレコーダ(以下DSRと略す)を導入し、降雪期～融雪期にかけての計測に成功した。

昭和58年11月にはNo.16杭打工法線にNo.19歪鋼管杭を設置した(図-1)。また、昭和59年11月にはNo.17杭打工法線にNo.20歪鋼管杭を設置した(図-2)。昭和60年度施工の集水井工の効果を見るために、60年7～9月には間隙水圧計3基を埋設した。これらはDSRの残りのチャンネルに接続し、あわせて近傍に水位観測孔を設置し、自記水位計による計測を始めた。さらに、昭和60年5月から、No.21歪鋼管杭に歪計と土圧計を設置した。これらの計器の配置は図-3に示すとおりである。

これらの計測記録を持ち帰り、1日1点の記録をプロッターにより時系列図として作成している。現在のところ現地において降水量・積雪深の計測は行っておらず、最寄り気象観測所のデータを採用して図示している。

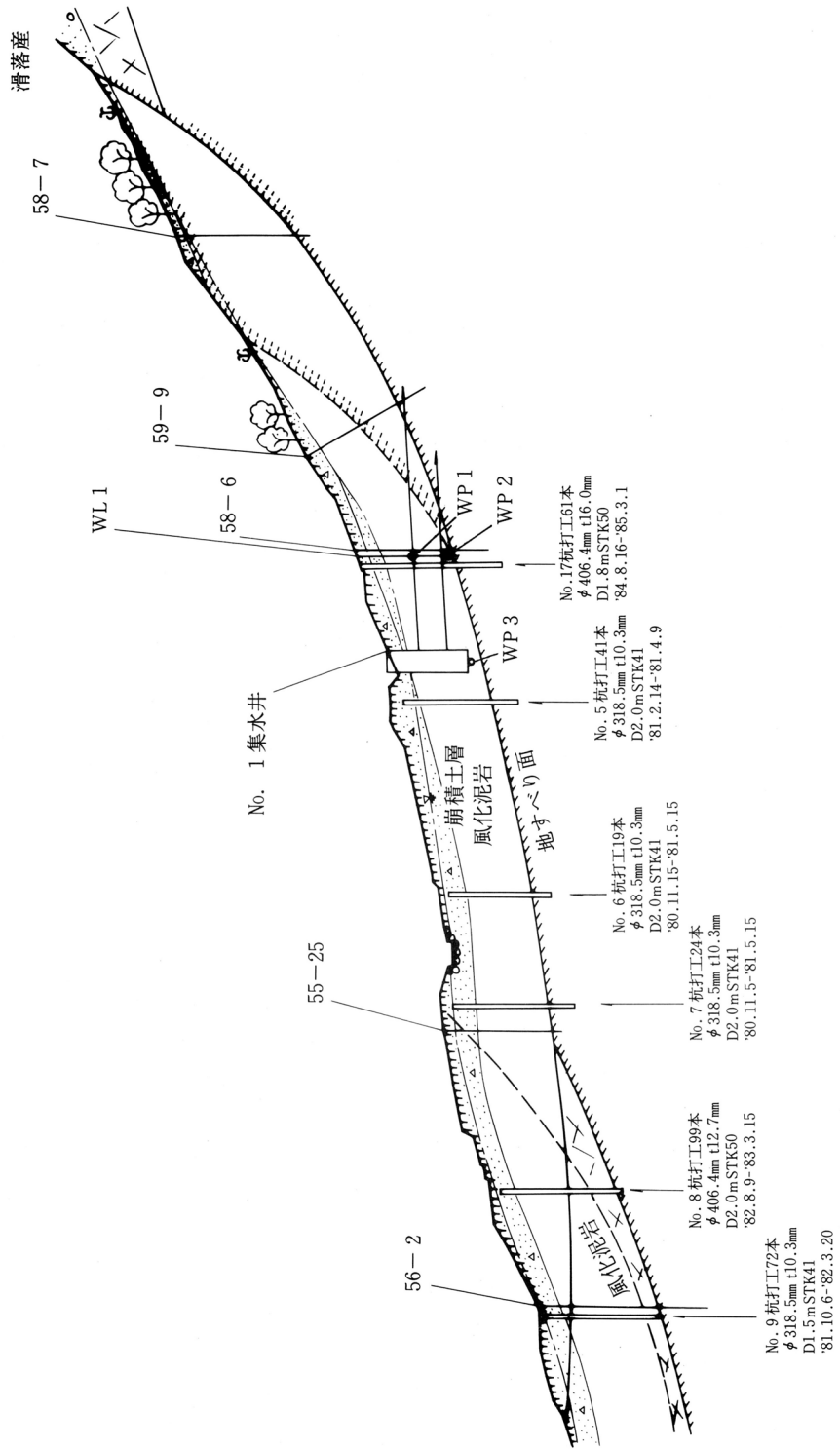
3 集水井の施工と水位・水圧の変化

AS2ブロックでは、滑落崖の上方斜面からの地下水流入量が多く、下方ブロックへの地下水の供給源となっていると考えられ、No.17杭打工の終了とともに2基の集水井を施工した。地下水状況を把握するために、No.1集水井の井筒底に間隙水圧計WP3を埋設し、上流側20.0mの位置でボーリングを行い深度8.5mと13.5mに間隙水圧計WP1、WP2を設置し、DSRの3チャンネル分を用いて連続測定を行った。このボーリングの近傍とNo.2集水井の50m上流側にGP100の水位観測孔を設け、3ヵ月巻自記水位計(WL1、WL2)による観測を行った(図-4)。

測定を開始した昭和59年7月以降の記録は図-5に示すとおりである。これによると、井筒底の水圧は井筒底の気圧とほぼ等しい値を示し、過剰な水圧は働いていない。ボーリング孔の間隙水圧をみると、浅層のWP1と深層のWP2では約2mの水頭差があり、WP2の方が圧力が高くなっている。これらの水圧は8月25日より一斉に下がっており、集水ボーリングの効果を示すものと判断される。この近傍の地下水位は10月10日まで高水位を保っているが、最終的には換算した間隙水圧とほぼ同じ水位で安定する。すなわち、地下水排除が十分に行われた状態では、各層毎の水圧や水位は全く同じレベルに達したものと考えられる。

WL2はNo.1集水井近傍のような明らかな水位低下は示していないが、秋雨期で約2m、融雪期では4.5mもの水位変動のあることがわかった。

WL1においては、積雪中に異常な水位上昇と急低下の現象がみられた。



図一4 上部斜面地質・杭配置断面図

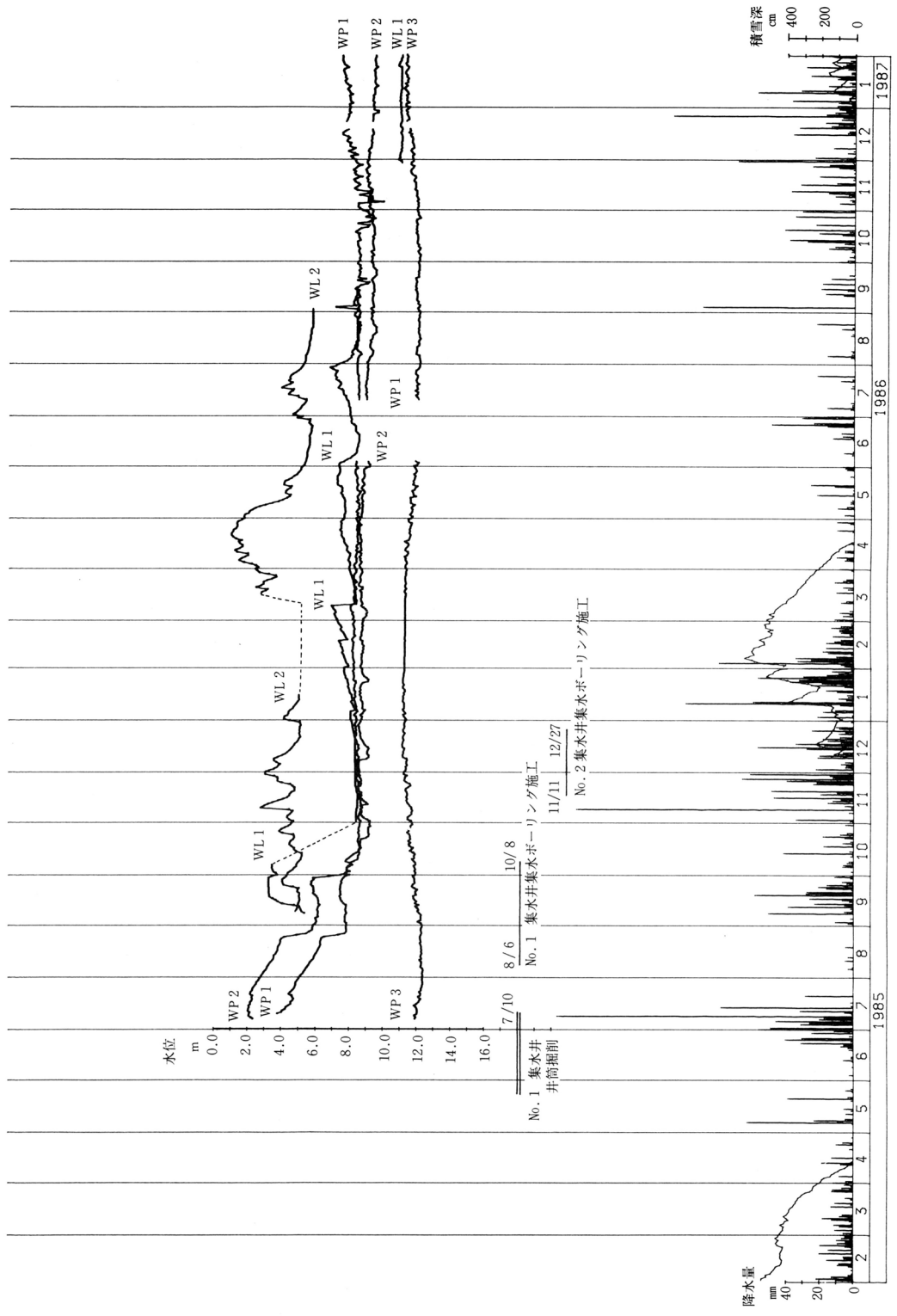


図-5 水位・水圧等経時変化図

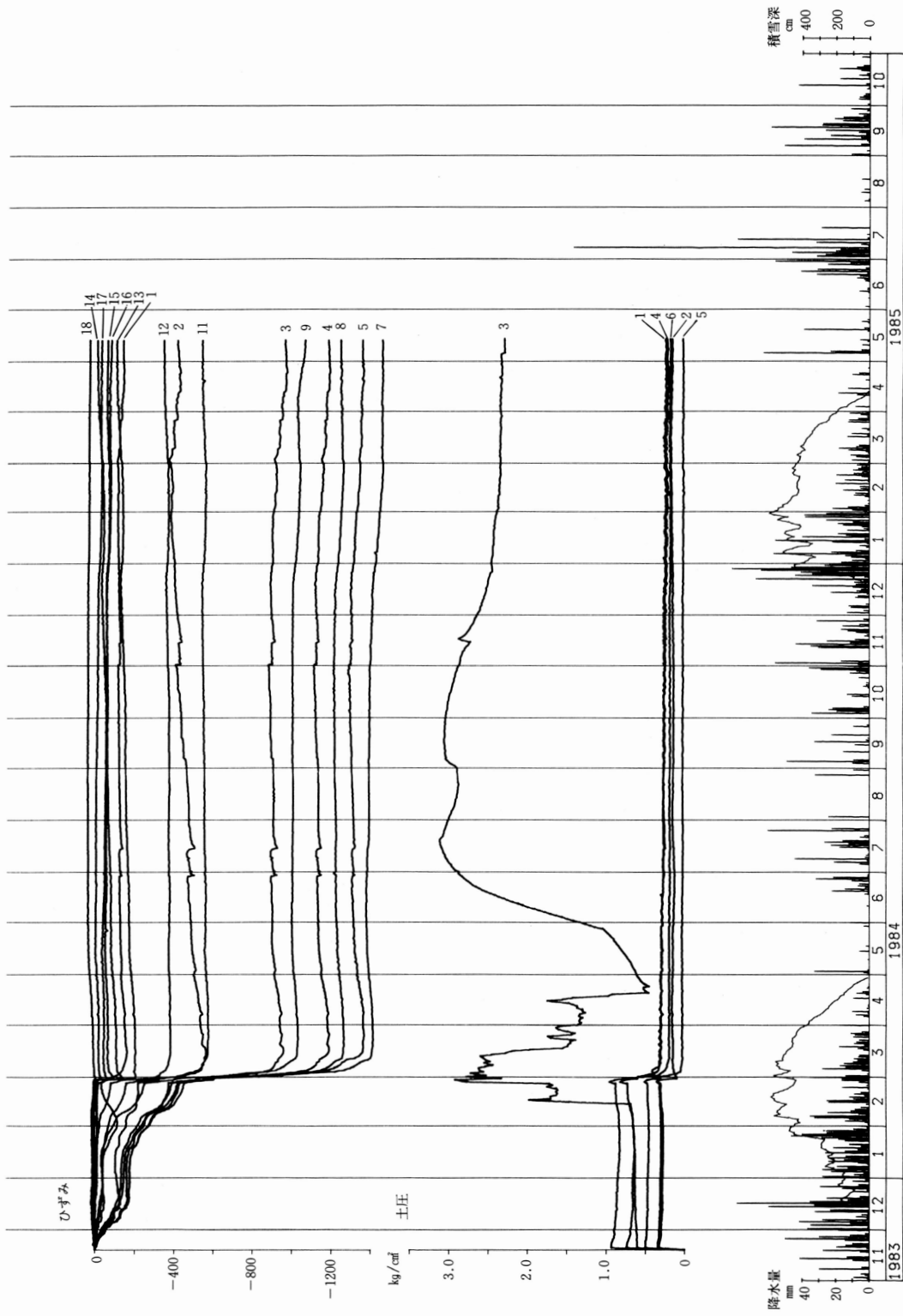
4 杭打工・集水井工の施工と地中変位量の変化

No.18歪鋼管杭は昭和58年11月22日に設置したもので、その記録は図-6に示すとおりである。設置した時期は多量の秋雨の影響も受けて、この斜面では深度7m付近を中心として歪の累積傾向が続いた。この傾向は積雪が増え始めた1月中旬から活発になり、2月27日から3月4日の8日間に1200 μ もの急増を示した。土圧の変化をみると、No.3以外の土圧量は昭和59年2月26日まではほぼ一定で、2月28日から急増したのち29日以降減し、いずれもそれ以前の半分以下の土圧量となっている。このような動きは3月15日を過ぎるとほとんど認められなくなった。昭和59年2月も58年と同程度の豪雪であったにもかかわらず、融雪による地中変位は歪・土圧ともほとんど変化として現れていない。

No.20歪鋼管杭では昭和60年2月14日からの記録がとれている(図-7)。本斜面はすでに多数の杭打工により安定度が高まっていたが、昭和60年3月25日頃より4月半ばにかけて積雪深が急減する時期に約100 μ の歪累積を示している。6月末～7月初めの梅雨末期の豪雨時にも約200 μ の歪累積がみられた。7月中旬より8月末まで異常乾燥が続いたが、8月25日に全層にわたっての歪変化がみられた。土圧は融雪期中に漸増する傾向にあり、豪雨時にも増加傾向を示した。8月末の歪変化と比較して、すべての測点で土圧が急減し、その後はほぼ一定の値をとっている。これは図の水圧変化と比較すると、明らかに集水井施工による水圧低下によってもたらされたものと判断される。本孔では11月の秋雨、3年続きの豪雪にもかかわらず、その後目立った歪累積はない。

No.21歪鋼管杭には、No.18の計測器を移設し、昭和60年5月18日より計測を始めた(図-8)。ここでは7月16日に全ゲージが異常値を示したり、12月23日～5月25日間が欠測となるなどのトラブルがあった。本孔はNo.1集水井から約50m隔たっているがNo.20と同様、8月25日に水位低下による歪変化が現れていることから集水井の影響範囲に入っている。しかしながら、ここでは9月下旬の降雨によって歪累積が徐々に始まり、11月8日の秋雨の豪雨を契機に、その後継続的に歪累積が続いている。八幡地すべり地は秋雨期から活動が盛んになることが知られていたとおり、本孔の動きはその傾向を示すものであろう。

昭和61年11月末より、再び歪累積が進行している。このころ、本孔より約50m上流側で施工していたNo.3号井の井筒に変形が生じており、地すべりが再活動する徴候を示した。



図一6 No.18歪鋼管杭の歪・土圧の経時変化

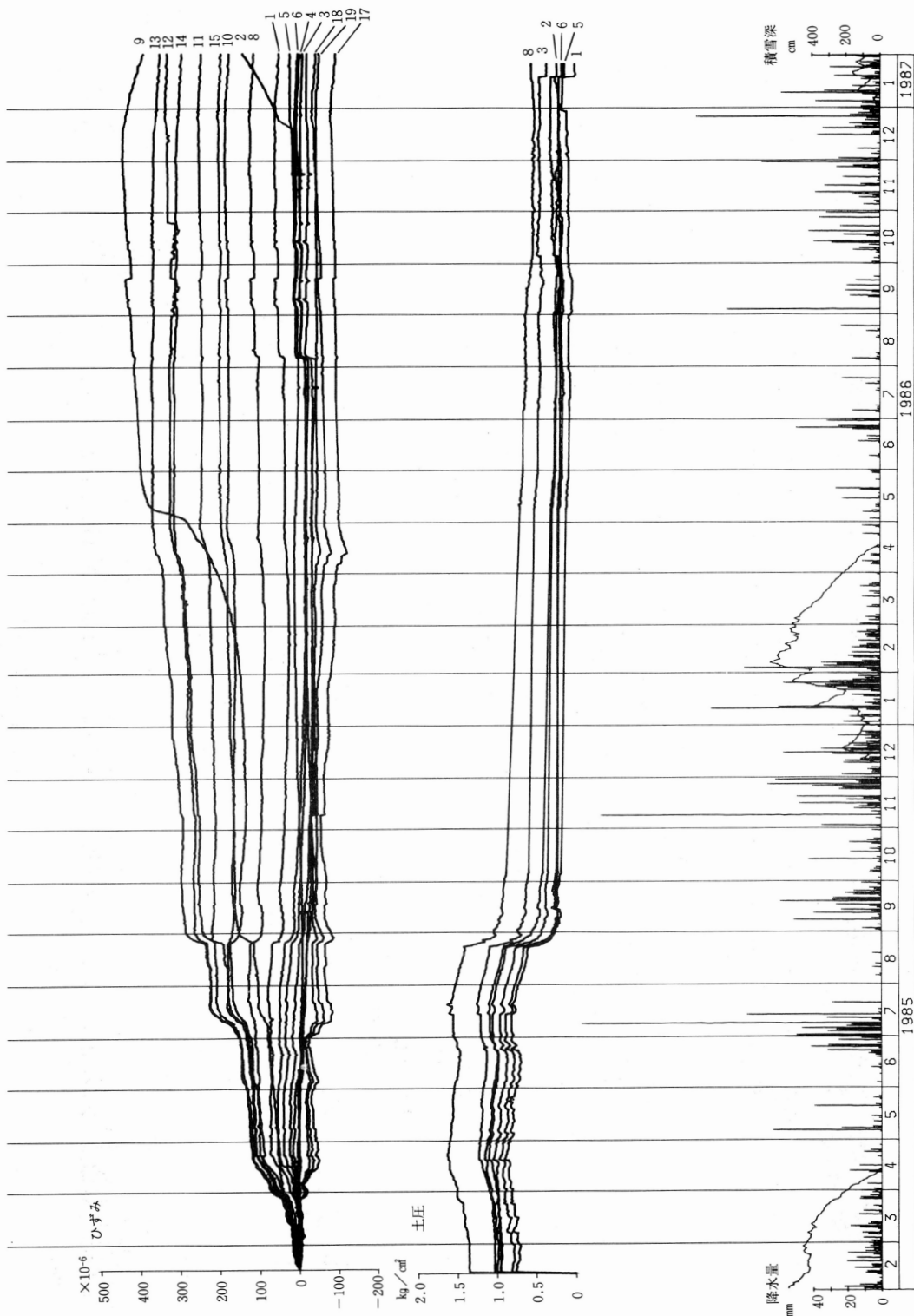
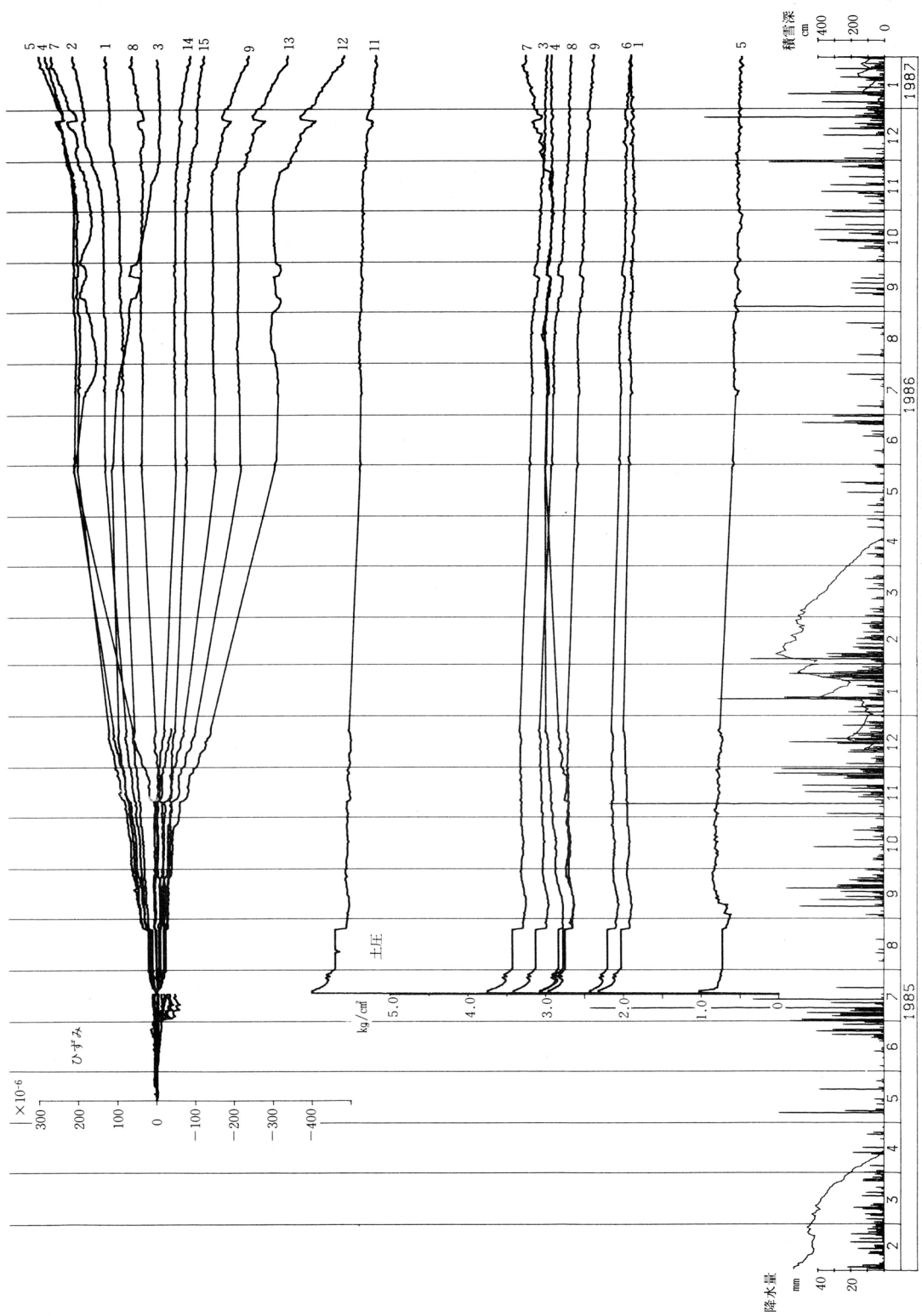


図-7 No.20歪鋼管杭の歪・土圧の経時変化



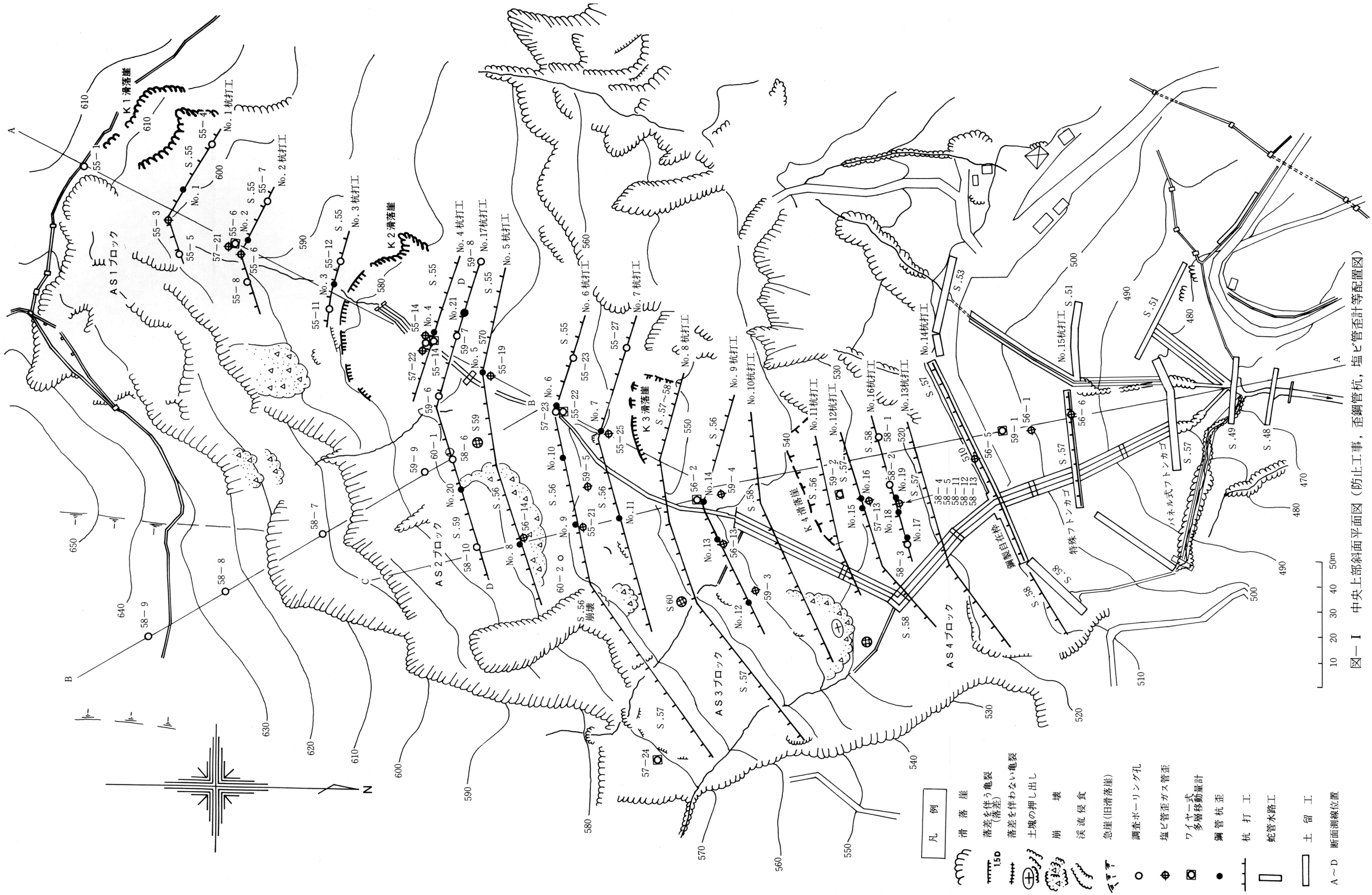
図一八 No.21歪鋼管杭の歪・土圧の経時変化

5 まとめと今後の問題点

第三紀層黒色泥岩からなる本地域周辺では、粘性の高い崩積土層からなる地すべりブロックの地下水位は高いにもかかわらず、透水性が小さいため対策工としての地下水排除の効果にはやや疑問があるとされてきた。しかしながら、八幡地すべりにおける連続観測結果では、降雨・融雪による水位・水圧の変動は意外にも大きく、それが密接に地中変位と関連していることがわかった。

杭打工のみならず地下水排除工による水位・水圧の低下、およびそれに基づく地すべりの安定効果にも顕著なものがあり、今後の防止工事に大いに役立つものであろうと判断された。

地中変位とその誘因となる地下水との関連を明確にすることは、防止工事計画の立案に有用である。今後はこのような観測事例を多く蓄積していくことが必要であり、安価で簡易な計測機器を普及させることも課題の1つであろう。



図一I 中央上部斜面平面図(防止工事, 歪鋼管杭, 塩ビ管歪計等配置図)

- 凡例
- 滑 落 崖
 - 落差を伴う亀裂 (落差)
 - 落差を伴わない亀裂
 - 土塊の押し出し
 - 崩 壊
 - 渓流侵食
 - 急崖(旧滑落崖)
 - 調査ボーリング孔
 - 塩ビ管歪ガス管歪
 - ワイヤーストック
 - 多層移動量計
 - 鋼管杭歪
 - 杭 打 工
 - 蛇管水路工
 - 土 留 工
 - A~D 断面測線位置

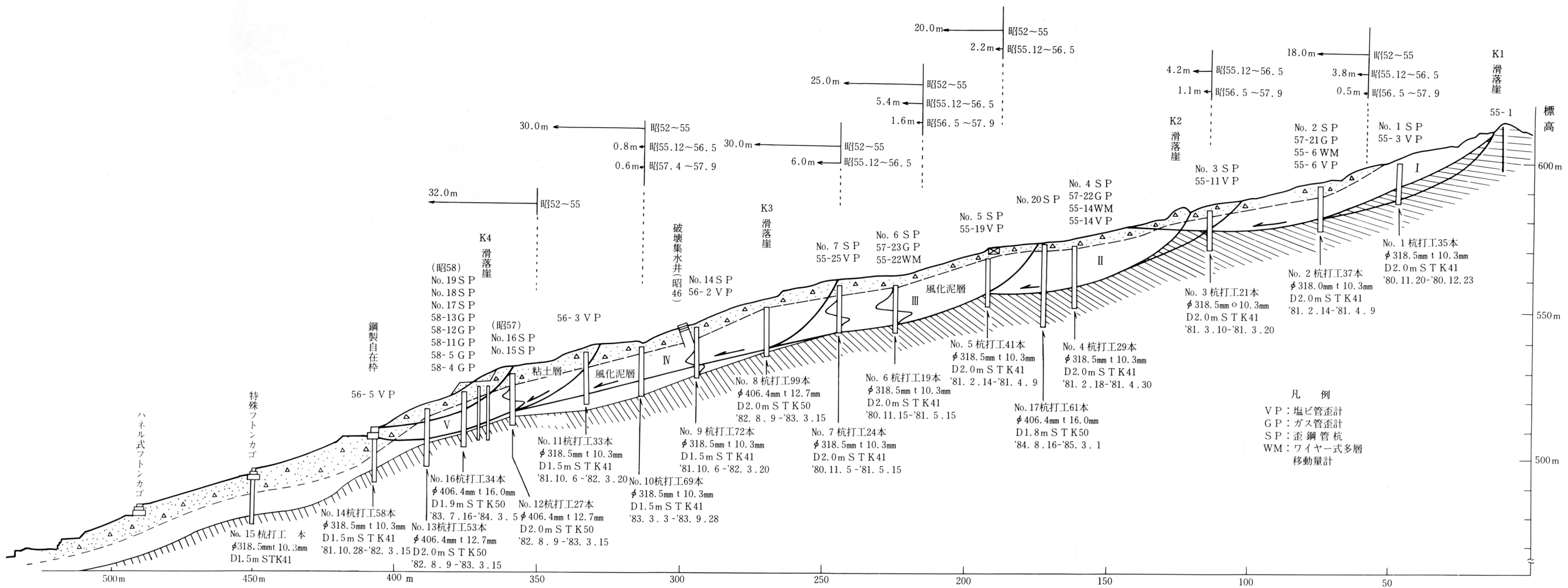


図- II 中央上部斜面地質断面図

Ⅳ 地すべり土塊・防止杭の応力計測

—— 八幡地すべり地における例 ——

福 本 安 正[※]

1 はじめに

従来の地すべりの諸観測の欠点を挙げると、

- (1) 長期の経時計測ができないため、降雪期から融雪期にかけての測定がきわめて困難であって、移動の発生にとって最も重要な季節が欠測となる。
- (2) 読みとりやグラフ記録方式による測定はとりまとめおよび解析に不便である。

これらの欠点を克服する方法としてデジタルストレンレコーダ（共和電業製）を使用し、防止杭のひずみと土圧計の経時計測を行い、これまでの方法では不可能であったデータの収録と解析を行うことができた。

この方法の特長は次のごとくである。

- (1) 無人で長期間のデータ集録をリチウム電池3本で行うことができる。
- (2) 測定器の設置、管理が簡単で経費がかからないことと、どこへも移動が容易である。
- (3) マイコンへの接続出力が容易であって、解析、図化が簡単にできる。

新井市八幡地すべり（県治山課所管）において行った例について述べる。

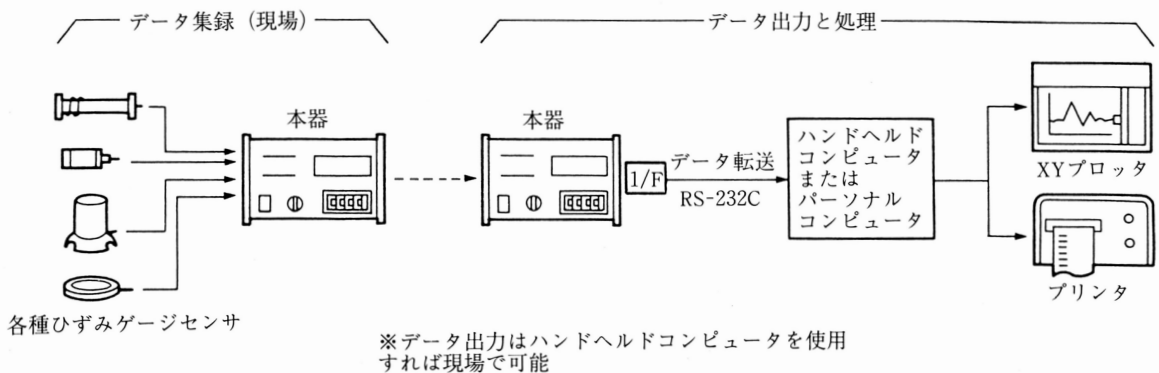


図-1 ブロック図

※ (株) 新協地質調査事務所

2 八幡地すべり地の上部斜面の概況

この斜面は泥岩層（新第三紀寺泊層）よりなり、昭和45年の大災害後以前よりさらに活発な移動が継続するようになった。

この斜面に杭打工2段、集水井工2基を昭和46年に施工したが、たちまち破壊し、その後施工した水路工、土留工も破損してしまった。昭和52年に攪乱状態になった斜面を整地し、平滑な斜面としたが、その年の12月に陥没と亀裂が蔓延し、翌年12月には整地以前の起伏にとんだ状態を呈するにいたった。当時の移動量は大きいところで年間20mに達するところもあった(図-Ⅱ参照)。

この対策としてこれまでの工法と施工方法に対して検討を加え、抜本的な防止計画を確立した。

- (1) まず最初に斜面上部から中腹部の移動を、杭打工法により防止する。
- (2) 続いて末端部まで杭打工事を施工したのちに山腹部に土留工を築造し、斜面末端部の安定を施工する。

この防止方法は、従来の「最初に抑制工を施工したのち、抑止工を施工するとか、杭打工は下部から開始する」などの考え方とは反する施工順序である。1980年から杭打工を開始し、1985年までに17段の杭打を実施した結果、これまで不可能と思われていた激しい移動を防止させ、末端部の土留工の修復築造も行うことができた。

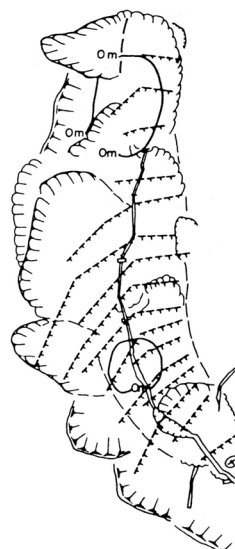
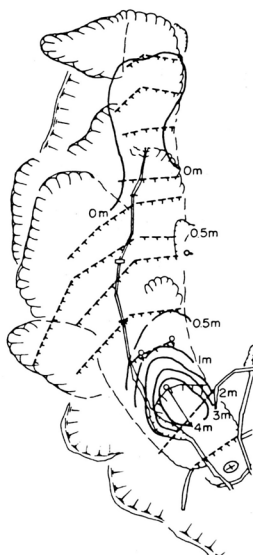
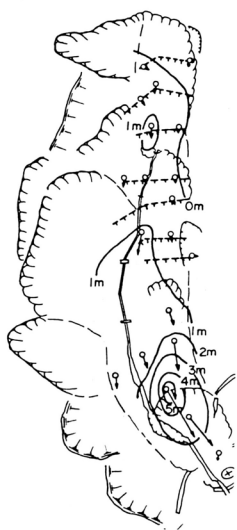
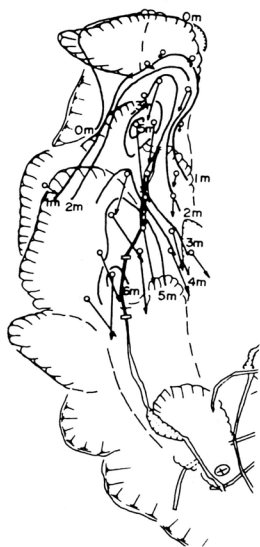
杭打工事施工後の移動の終息経過は図-2に示すとくである。

S 55.12.14 ~ S 56.5.11

S 56.9.23 ~ S 57.4.23

S 57.4.23 ~ S 57.9.23

S 58.6.3 ~ S 58.11.25



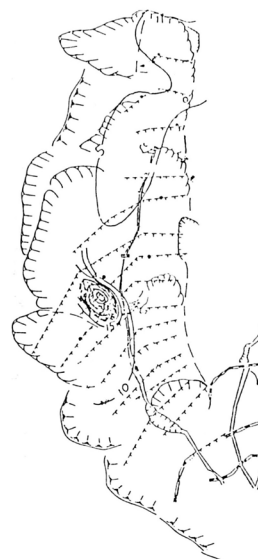
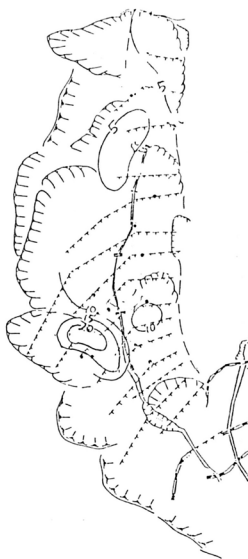
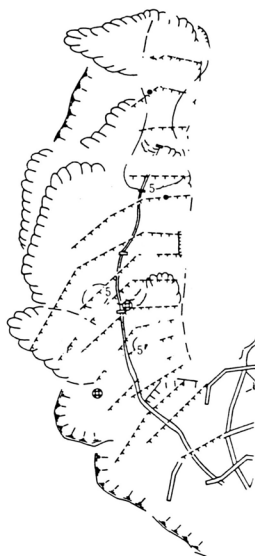
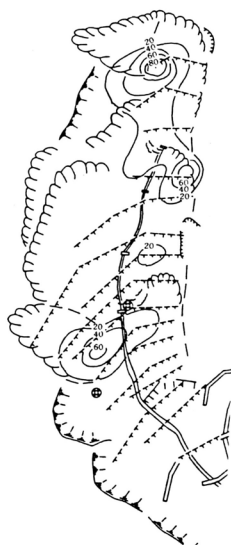
移動量
 5m 10m

S 58.11.25 ~ S 59.5.25*

S 59.5.25 ~ S 59.12.5*

S 59.12.5 ~ S 60.5.25*

S 60.12.3 ~ S 61.5.20*



* 移動量の単位はcm

図-2 杭打防止工事進行による地表移動量の変位

3 計測結果

この調査地にはかず多くの諸観測を行ったが、その中から代表的な例で説明する（詳細は治山課「八幡地すべり」参照）。

3-1 歪鋼管杭の手動式計測結果

3-1-1 昭和55年度施工杭（径318.5mm，厚10.3mm）

活発に活動中の斜面に昭和55年から杭打工事を開始し，7段目の鋼管杭を施工した。このうち4，7段目の歪鋼管杭のモーメント分布を示すと図-3，4のごとくなる。

5m近くにも達する豪雪のため測定が困難をきわめた。いずれの杭とも挿入後1か月以内に破壊領域に達している。SM60の手動式測定のため，ひずみ増大の経過をとらえることができなかった。

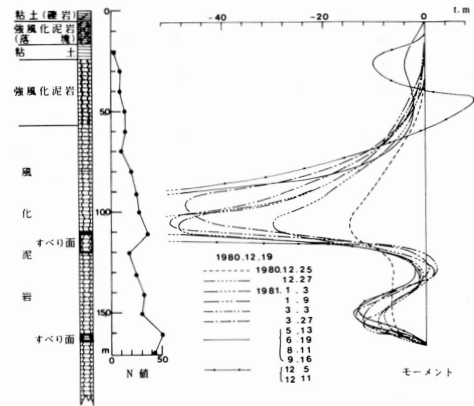


図-3 No.4歪鋼管杭モーメント

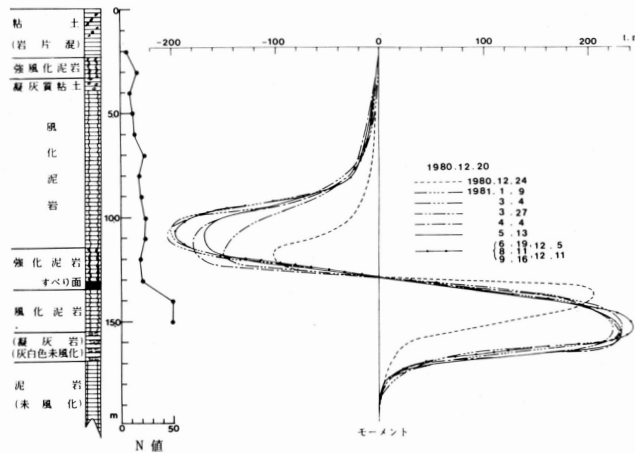


図-4 No.7歪鋼管杭モーメント

3-1-2 昭和57年施工杭

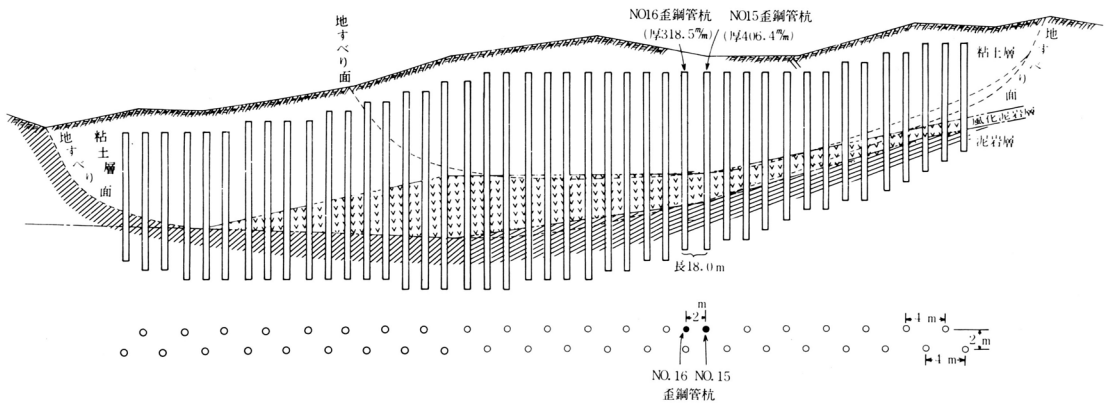


図-5 杭配置，土質累重図

図-Ⅱ，図-5 に示す位置に43本の鋼管杭の施工を行った。そのうちの2本の杭に歪計を図-6のごとくとりつけ，2.0 m間隔で配置した。

No.15歪鋼管杭は，この段の他の杭同様径406.4mm，厚12.7mm，断面2次モーメント $30.5 \times 10^3 \text{ cm}^4$ とし，これに対しNo.16歪鋼管杭は径318.5mm，厚6.9mm，断面2次モーメント $8.2 \times 10^3 \text{ cm}^4$ とした。したがって，No.16歪鋼管杭の剛性は他の杭の剛性の26.9%に相当した。

この2つの剛性の相違する歪鋼管杭を20cmの間隔に並列して挿入設置し，計測を続けた。

計測はSM60D（共和電業製）で行ったが，図-6に示す8個の歪計はデジタルストレンレコーダに連結し，1日4回の測定を行った。その経時的ひずみ累積図は図-7のごとくになった。

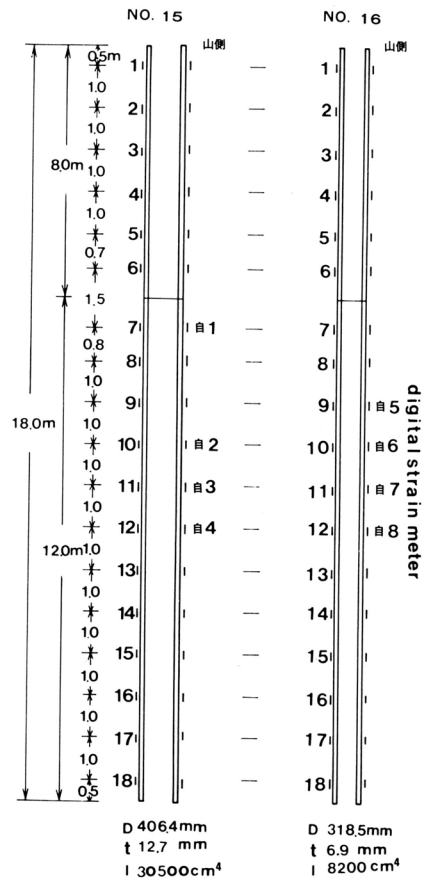


図-6 歪鋼管杭寸法，歪計配置

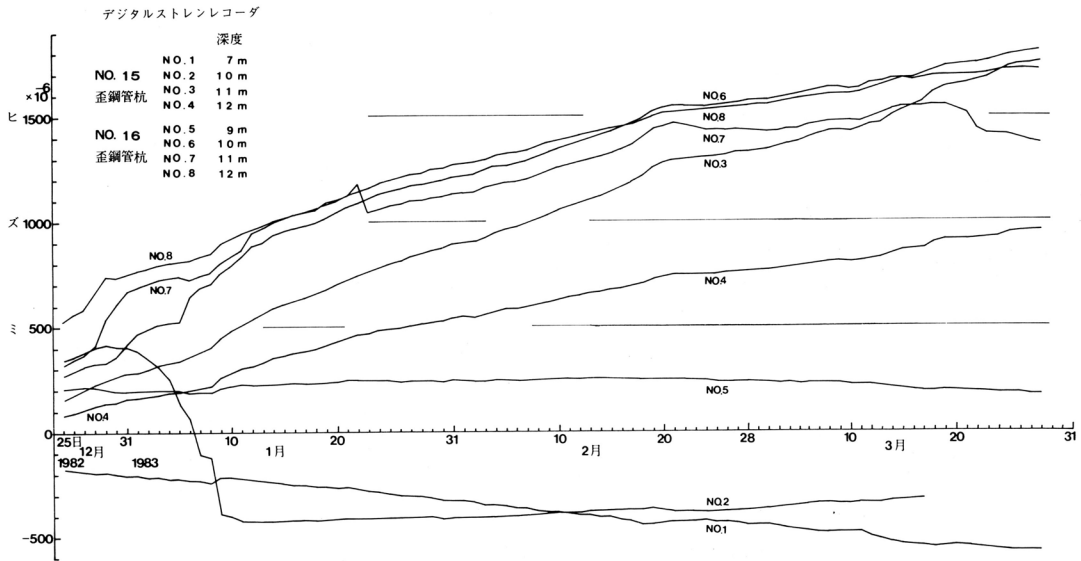


図-7 デジタルストレンレコーダひずみ累積図

No.15およびNo.16歪鋼管杭のひずみ量より図上微分および積分により杭に作用するモーメント，せん断力，杭反力およびたわみを求め図示すると図-8，9のごとなる。なお杭末端のひずみがゼロに収束しないので半無限長杭として計算してまとめた。

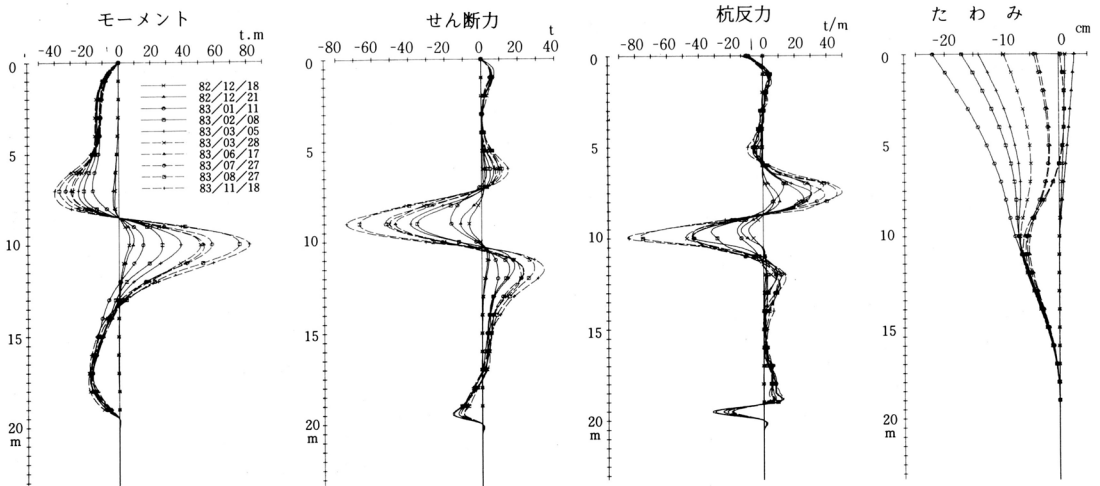


図-8 No.15歪鋼管杭断面力分布

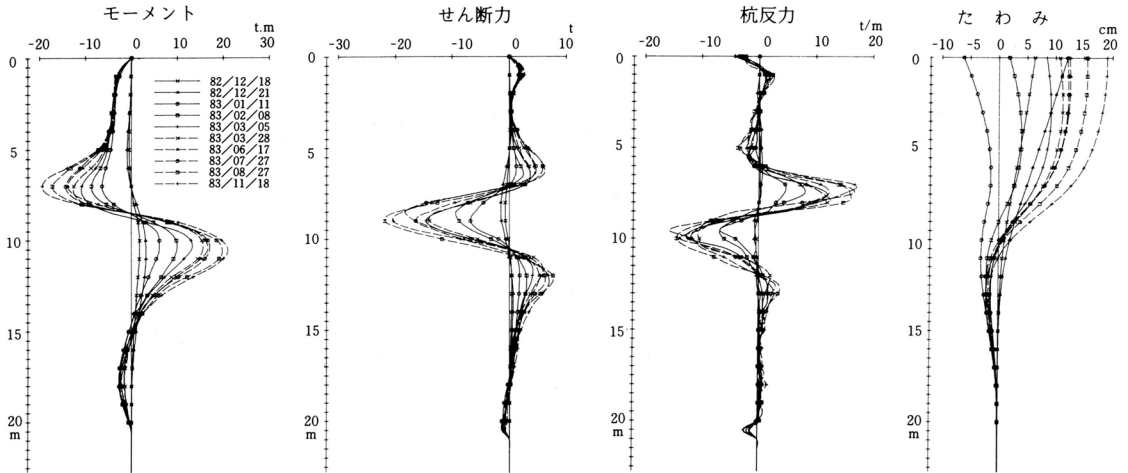


図-9 No.16歪鋼管杭断面力分布

この両杭の断面力分布を考察すると次のごとくなる。

- (1) No.15歪鋼管杭の第1最大モーメントよりも地すべり面下の第2最大モーメントが大きい。No.16歪鋼管杭では両方ほぼ等しいが、いくらか第2最大モーメントが大きい状態となっている。
- (2) 両杭の最大モーメントを下記の日で比較すると最大モーメントは3：1となっている。

	1983年1月11日	2月8日	11月18日
No.15歪鋼管杭	26.7 t・m	37.5 t・m	82.0 t・m
No.16歪鋼管杭	6.0 t・m	10.5 t・m	21.7 t・m

- (3) 両杭の断面積、断面2次モーメント、最大ひずみおよびモーメント（計算による）を比較すると下記のごとくなる。

	断面積	比	断面2次 モーメント	比	最大ひずみ	比	モーメント	比
No.15歪鋼管杭	148.7 cm ²	2.2	30.5 × 10 ² cm ⁴	3.7	890 × 10 ⁻⁶	0.79	28.1 t・m	2.3
No.16歪鋼管杭	67.6 cm ²	1	8.2 × 10 ² cm ⁴	1	1,130 × 10 ⁻⁶	1	12.2 t・m	1

したがって、断面比は1：2.2であるが、最大ひずみは0.79：1となり、剛性と最大ひずみから求めたモーメントの比は1：2.3となる。このことから剛性の大きい杭にはその分だけ大きな地すべり土圧を分担していることを示している。

また最大モーメントの実測値の両杭の比は最大ひずみから計算で求めた最大モーメントの比より大きくなっている。

- (4) 杭設計には杭の抵抗力をせん断力とする方法と曲げ抵抗（モーメント）とする方法とが採用されている。しかし実際の杭は「弾性床上のはり」として作用している。

また斜面上部ではせん断、下部では曲げとして作用するとの提案があるが、計測結果による

と、このような考え方は根拠のない実際の杭に適合しない想定である。

- (5) 地すべり防止杭は径 318.5 mm の鋼管杭が最も一般的に使用されている。しかし、移動の活発な斜面では、たちまち破壊領域に達する。さらに剛性の大きい径 406.4 mm、厚 12.7 mm の鋼管杭を使用しても最大モーメントはかなり大きくなるので、とくに移動の激しい斜面においてはさらに剛性を大きくする必要がある。

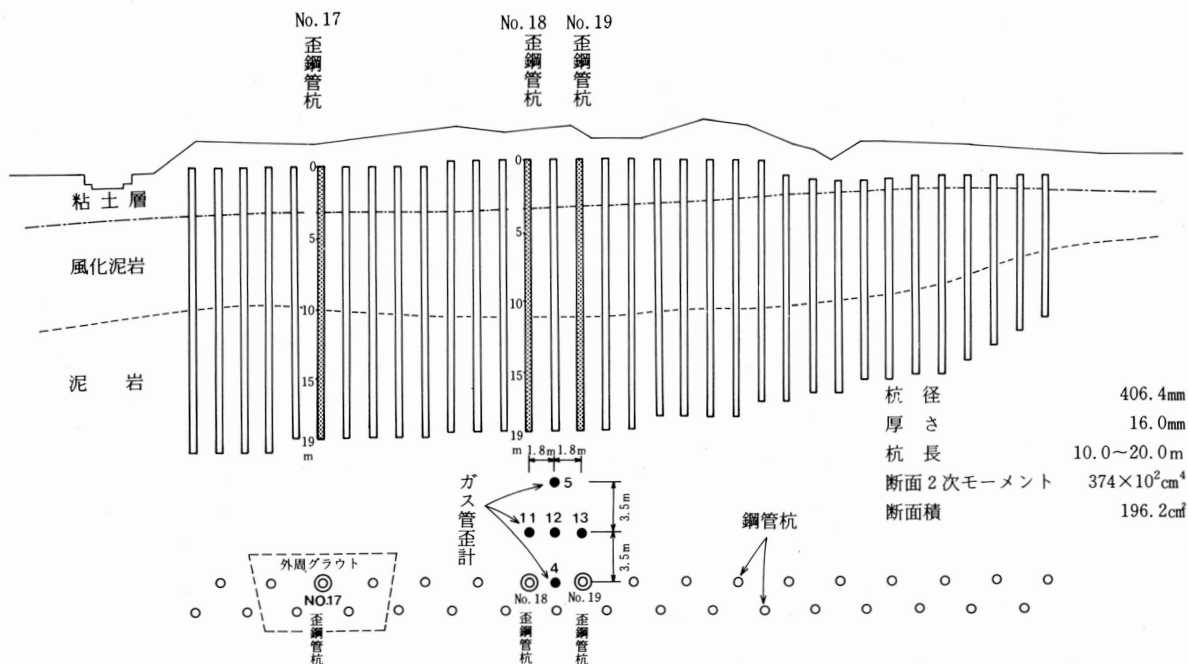


図-10 鋼管杭・ガス管歪計配置図

3-1-3 昭和58年施工杭

前述の昭和57年度施工杭の計測により、さらに剛性を大きくする必要が認められたので、杭径406.4mm、厚16.0mmの鋼管杭を使用し、図-10のごとく配置した。

この杭の断面2次モーメントは径318.5mm、厚10.3mmの杭の3.14倍、径406.4mm、厚12.7mmの杭の1.23倍である。

3本の歪鋼管杭のうちのデジタルストレンレコーダで計測したNo.18歪鋼管杭のひずみ経時計測結果を示すと図-12のごとくなる。

この図でみられるごとく2月28日に急増し、しかも地すべり面付近のひずみが最大となっている。しかしその後は一定の値を保って安定している。これは地すべりが発生したが、杭の抵抗によって変位が停止し安定するに至ったことを示している。

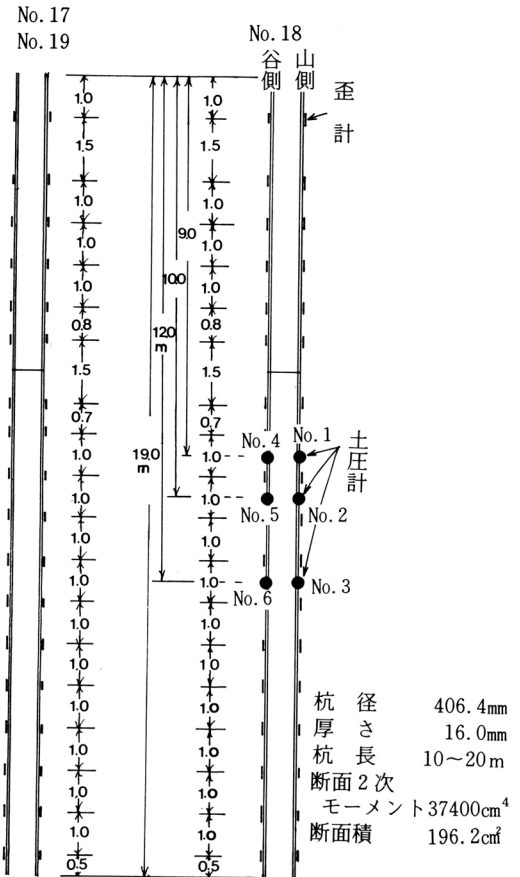


図-11 歪鋼管杭歪計，土圧計配置図

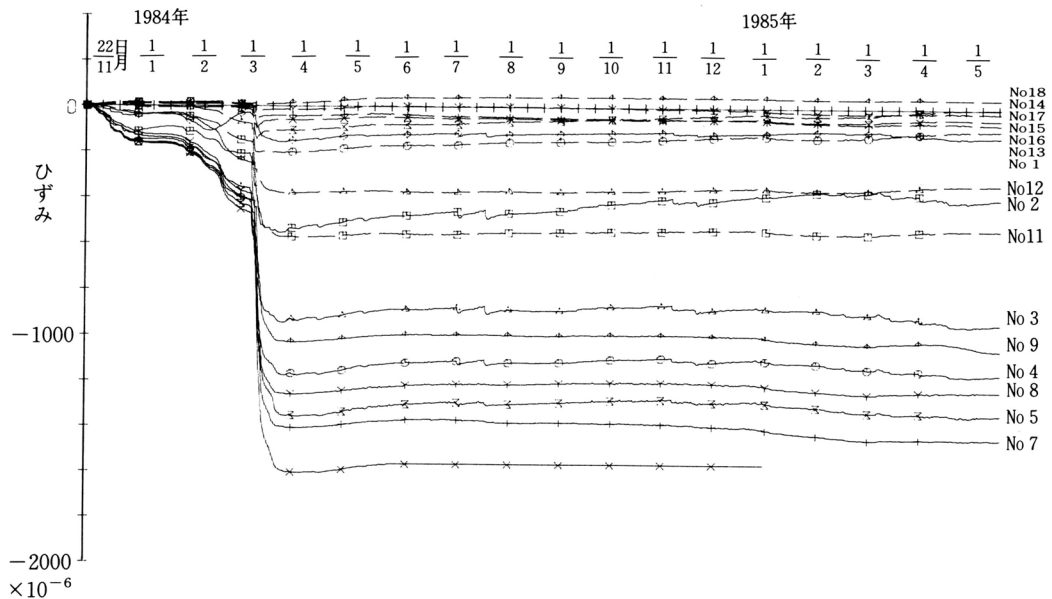


図-12 No.18歪鋼管杭のひずみ経時変化（デジタルストレンレコーダ自記記録）

このことは、この杭にとりつけた土圧計をデジタルストレンレコーダに計測した図-13の累積図においても鮮明に表われている。

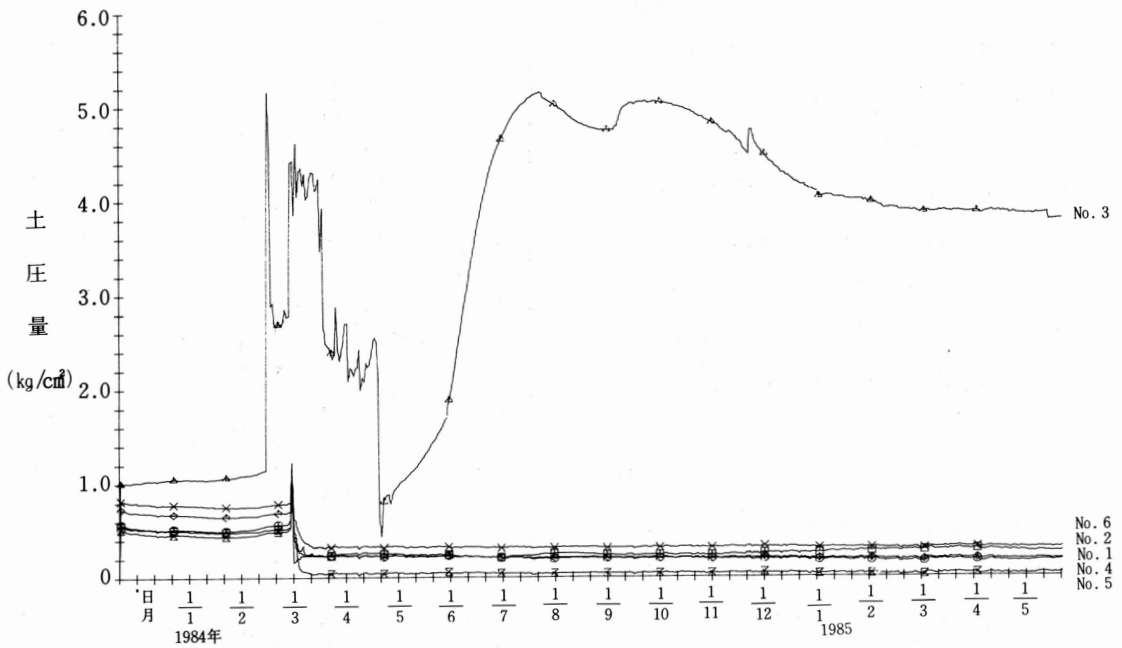


図-13 No.18歪鋼管杭の土圧量の経時変化 (デジタルストレンレコーダ記録)

しかし、図-13にみるごとく土圧計では土圧が増大したのち急低下している。これは地すべりによって土圧がたかまったのち解放したものとみることができる。

ひずみ計測をもとにNo.18歪鋼管杭の断面力分布を求めると図-14のごとくなる。

この図で示されるごとく、1984年3月17日以降は増大なく、安定した状態を維持し続けている。したがって剛性を大きくした効果が表われているものと考察することができる。

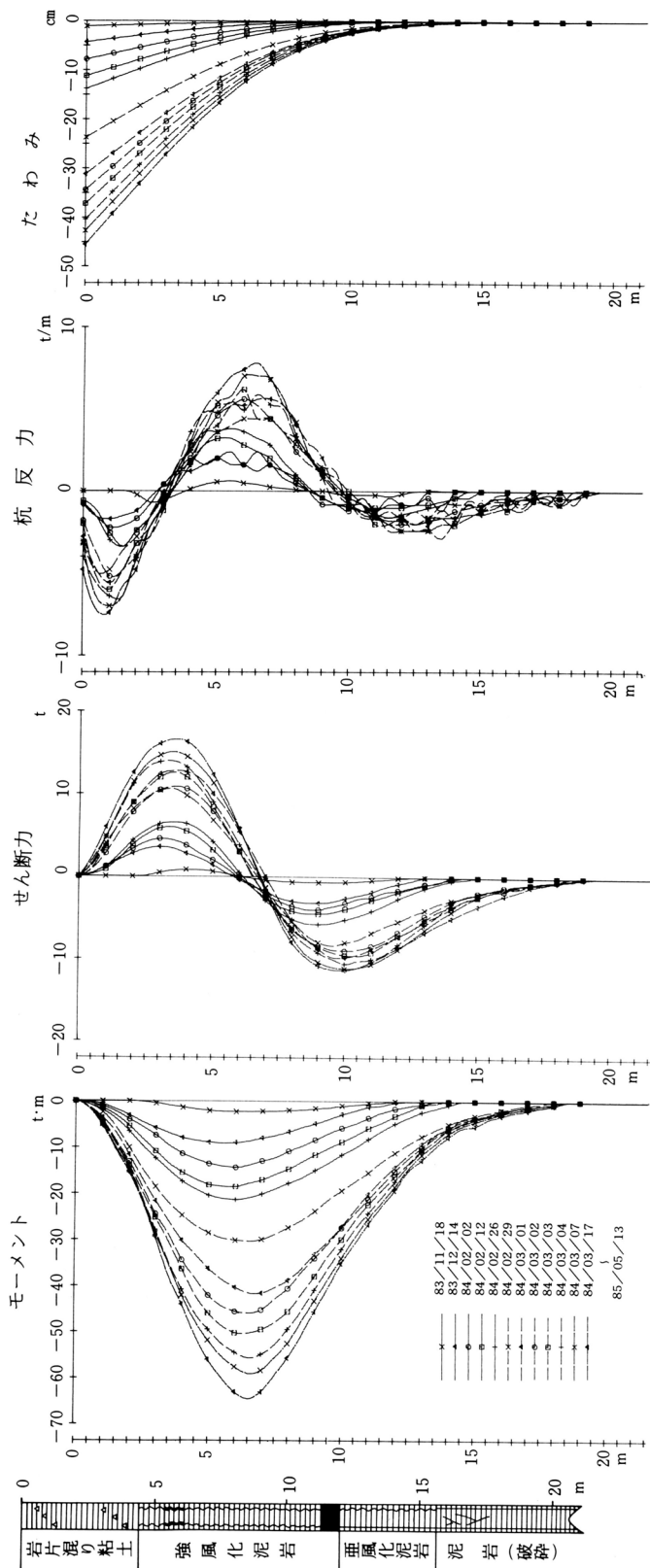


図-14 No.18 歪鋼管杭の断面力分布