横穴試錐排水孔における水平温度検層の意味について*

On the Significance of Temperature Logging in Horizontal Drainage Bore Holes

竹内 篤雄* 内藤 光雄**
Atsuo TAKEUCHI Mitsuo NAITOU

Abstract

Ground water drainage works by horizontal bore holes occupies very important position in landslide preventive works. And a large sum of expense is required for carrying out this works. Nevertheless, it is very grave problem that ground water does not drain from some horizontal drainage bore holes in the rainy season.

Temperature logging was carried out in some horizontal drainage bore holes as an effective means for investigating the cause of this problem. This logging is recognized as very effective means for detecting flowing ground water strata in vertical bore holes.

As a result of these investigations, next matters are cleared:

1) By means of comparing with normal ground temperature curve taking account of thickness of soil layer and obtained temperature curve in situ, we can obtain some significant information on places of flowing and leaking positions of ground water in horizontal drainage bore hole.

2) Furthermore, we can obtain useful data which are able to discuss that the horizontal drainage bore hole carried out temperature logging is exist in ground water vein stream or not.

The last of in this paper, we propose some improvable measures on the basis of the result of investigation in this time.

1. はじめに

地すべり防止対策工法の一つとして多くの地すべり地において横穴試錐排水孔による地下水排除工が多数施工されており、それなりの成果を上げていることは衆知のことである。この試錐排水孔においては、渇水期に地下水の排出を見なくても降雨期にそれを見ることができれば施工効果はあったと判断できる。しかしながら、降雨期においても全く地下水の排出をみることでない排水孔が多数存在することもまた事実である。このような現象の存在することは、地すべり防止対策上においてもまた経済的な見地からしても好ましいことではない。

筆者等は種々の調査結果に基づいてその施工位置が決められたと思われるにもかかわらず、何故このような現象が起こるのかについてその原因を探る必要があると考えた。つまり試錐掘削直後においては多量の地下水の排出をみたが、ゲーシングを抜いて保孔管を挿入してからその排出が見られなくなったり、あるいは当初から全く

地下水の排出をみなかった等いろいろな場合がある。そこでその原因を探る一つの手段として、調査用垂直試錐孔において流動地下水の存在深度を探索する手法として、その威力を発揮している温度検層法を取り上げてその適応性について検討してみた。なお、本稿は1983年4月から1985年11月までの間に静岡、石川、兵庫、および和歌山の各県の地すべり地において実施してきた約95孔の測定結果に基づいて種々の検討を行ったものである。

2. 調査方法

横穴試錐排水孔における温度検層は次のようにして行った。

水中用サーミスタ型精密温度計のセンサーを孔口から1 mの所に挿入し、約10分間放置して周辺の温度にセンサーが十分になじんでから50 cm毎に奥へ挿入し、据え置き時間30秒で次々に温度を読み取って行く。したがって測定しているのは孔内空気の温度に平衡状態に達したセンサーの温度であり、孔内に水流がある時には検層ヘッドの一部が水流に浸されるためにセンサーに水温の影響が現れることになる。なお、この検層の仕方は確定したものであるというわけではないため、いくつかの方法

* 第22, 23回地すべり学会研究発表会、および日本地下水学会昭和59年度秋期講演会にて発表したものにその後の資料を加えた。

* 京都大学防災研究所

** 川崎地質株式会社

で行い、検層結果の解析および作業能率の点からみて上記の方法で実施した。

3. 測定結果の解釈の仕方

2章で述べた方法によって得られた結果には地質的、地形的な要因を始め地下水の存在状態による影響も含まれている。したがって、検層結果から地下水に関する情報を抽出するためには、上記二者の因子による温度変化を十分に考慮に入れる必要がある。なお、今回計測した排水孔は全て3~9°の上向きで掘削されており、一応孔曲りはないものと仮定して土被りの厚さを計算した。

3-1 平常地温の算出

横穴試錐排水孔は一般に孔奥に行くにしたがって、その土被りは厚くなる傾向にある。したがって、検層結果を解釈するには、土被りの変化にともなう地温の変化状況を予測しておく必要がある。流動地下水の存在しない場合の地温の変化は次式で与えられる。

$$\theta_{z=n} = \theta_0 + \theta_s \exp(-z(\pi/m\tau)^{1/2}) \sin((2\pi/\tau) * t - z(\pi/m\tau)^{1/2}) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\theta_{z=n}$ は任意の時間と深さにおける地温、 θ_0 は年平均地温、 θ_s は年変化の片振幅、 z は任意の深さ、 π は円周率、 m は熱拡散率、 τ は周期、 t は任意の時間、を各々表す。

この式を用いて、任意の測定時間における深度方向の地温を算出し、測定結果と対比すればよいことになる。なお m については調査地の地質状況に合わせて決める必要があり、現地に存在する（できれば試錐孔芯から）岩石・土壌を採集し、それらの熱的性質を計測して求めると、より現状に近い計算値を算出できる。

(1)式には地形的因子に関するものとして z が、また地質的因子に関するものとして m が、それぞれ含まれているので、この式を用いることによって種々の地質的地形的因子を加味した任意の時間と深度に関する平常地温を推定することができる。

なお場合によっては、計算された平常地温と現地で得られた測定値との間に±2°C位いの差があることがあるが、この原因は検層の仕方と平常地温の求めかたにあると推定される。前者については絶対的な比較を行う場合には、その検層にはかなりの時間を掛けて行う必要がある（誤差を±0.1°C以下に抑えるには一測点あたり10分程度の時間が必要）が、今回のように相対的な変化に重きを置く場合には、一測点当りの据え置き時間は30秒程度で差し支えないようである。一方後者については、現在の平常地温の推定方法に問題があることは判っている。つまり、現在、平常1m深地温を推定しようとする場合、調査地の存在する緯度と標高とだけを用いており、斜面傾斜方向とその勾配、地況の違い、および気象条件の違いは考慮されていない。これが現地で推定された平

常1m深地温と計算値との誤差を大きくしている原因の一つであると推定されている。この誤差を少なくするために、現在、これまでに集積された250カ所の資料に基づいて、これらの因子についての補正の仕方を検討中である。

3-2 微地形変化に伴う平常地温の変化

横穴試錐排水孔における温度検層結果に一番大きな影響を与えるのは微地形的な変化、つまり試錐掘削方向における土被り厚の変化である。この変化状況が単調な場合はあまり問題にはならないが、それが複雑に変化するときはかなり問題となる。そこで2,3の横穴試錐孔の掘削位置とその地形断面図とから、土被りの変化に伴う平常地温の変化状況を試算してみた（図-1）。この図を見ると、土被り厚の変化は平常地温に複雑な影響を与えていることが判る。つまり例(A)は単調に土被りが増加して行く場合で、それに伴う温度変化も単調である。それに対して例(B)は l （孔口からの距離）が10mより奥になると温度変化を示しておらず、あたかも地下水が孔奥から流動してきて、10m付近で漏水しているかのように見える。また例(C)においてはかなり複雑な地下水の流入・漏水が行われているように見える。しかし地形断面図を見ると、これらの変化は地下水には関係なく、地形変化に伴うものであることが判る。このことから、温度検層結果を解釈する時には、できるだけ正確な地形断面図を作成し、それに応じた平常地温を推定しておく必要性のあることが理解できると思う。

なお微地形変化の孔内温度に及ぼす影響は土被りの薄い場合は大変大きい、ある程度の厚さになるとその影響はかなり小さくなる。また現地での測定結果によると

図-1 土被りの変化と平常地温の変化：

ここで l は孔口からの奥行き、上段は土被りを考慮した地温、下段は上向き5°に掘削された試錐孔と地表断面図。

地形急変点で土被りが薄い場合でもその影響は平常地温に比べてかなり平滑化されていることが示されている。

3-3 地下水流脈の存在による温度変化

横穴試験排水孔を掘削した場所またはその周辺に地下水流脈が存在している場合、その存在が温度検層結果にどのような影響を与えているかを知っておくことは、実際の検層曲線を解釈する場合に大変役立つものである。そこで、水脈中に掘削した場合、水脈を貫いて掘削した場合、水脈の側近を掘削した場合および水脈と平行に掘削した場合等を例として、それらの温度検層結果に与える影響について計算してみた。

上記の各例を計算するにあたっては、図-2に示すような状況を設定した。つまり、北緯34.1°、東経135.6°、標高415mに位置する単調な傾斜地に仰角5°で長さ50mの横穴試験排水孔が設けられており、温度検層は8月22日に実施された。なお、その時の流動地下水の温度は13.0°Cであった。調査当日の試験孔掘削方向の土被り厚に応じた平常地温を計算すると、図-2の上半分に示したようになる。もしこの試験孔の近辺に地下水流脈が存在しないとすれば、このような温度検層結果が得られるものと思われる。

次にこの試験孔の近辺に、種々な形で地下水流脈が存在させた場合の温度検層結果の変化状況について試算したものを示す。

地下水流脈中に掘削した場合：図-3.1の右上に示したような状態にあり、しかも孔奥から孔口まで漏水がないとすれば、その時の温度は実線(a-a')で示したように流動地下水の温度そのものになるはずである。また試験孔が途中から水脈を外れており、例えば35m付近から地下水が流入しているとすれば、その温度検層曲線は(a'-a)となる。一般に孔口から地下水が十分に排出されている場合には上記の二曲線のようになるが、試験孔

図-2 横穴試験排水孔のモデル(下)とその平常地温曲線(上)

内のある地点で地下水が全て漏水した場合は、例えば孔口から10m付近で完全漏水したときの検層曲線は(a-a')または(a'-a'')のようになる。

これら三つの検層曲線の種々な組合せが現地でよく見かける形である。したがって図中に示した破線の平常地温曲線と実際の検層曲線とを比較検討することにより、横穴試験孔内における地下水の流入箇所および漏水箇所に関する情報をえることができる。

地下水流脈を貫いて掘削した場合：図-3.2の右上に示したように水脈を貫通して掘削した場合でしかも試験孔内に全く地下水が載らないときの検層曲線は実線で示した(b-b')のようになる。また地下水が完全に試験孔内に載ればその曲線は(b-b'')のようになる。もし一旦載った地下水が孔口から15m付近で完全漏水しているときは(b-b'')のようになる。部分漏水が生じているときは当然その量に応じて、その曲線はb'とb''の間にくる。これらの曲線も現地ではよく得られるものである。

地下水流脈の近くを通過して掘削した場合：図-3.3の右上に示すように地下水流脈の近くを通過して試験孔が掘削された場合には、実線で示したように水脈が存在する付近で平常地温に比べて検層曲線が乱されて入ることが判る。この場合には水脈が存在する付近の平常地温と流動地下水の温度との差が小さいためにその乱れは小さいが、図-3.4に示すように水脈が孔口付近に存在し、平常温度と流動地下水の温度との差が大きな場合は、実線で示すようにかなり大きな地温の乱れが生ずる。

地下水流脈の近くをそれと平行に掘削した場合：図-3.5の右上に示すように水脈の近くをそれと平行に掘削

図-3.1 水脈の位置と温度検層結果—水脈掘削の場合—

図-3.2 水脈の位置と温度検層結果—水脈を貫いて掘削した場合—

図-3.3 水脈の位置と温度検層結果—水脈の側を掘削した場合 1—

図-3.4 水脈の位置と温度検層結果—水脈の側を掘削した場合 2—

図-3.5 水脈の位置と温度検層結果—水脈と平行に掘削した場合—

した場合には、その検層曲線は実線で示したようになる。水脈存在による平常地温への影響は孔口に近い程大きなことが示されている。このように平常地温を平行移動したような検層曲線もよく得られることがある。

上に示した諸例は極めて単純な地形的条件の元におけるものであるが、実際には図-1に示したように種々の地形断面において温度検層が実施されており、得られる検層曲線もその影響を受けて複雑になっている。したがって、実際の検層曲線を解釈する場合には、前にも述べたように、できるだけ正確な地形断面図を作成し、それに基づいて試錐孔の土被りに応じた平常地温を計算し、その曲線と現地で得られた検層曲線とを比較検討し、さらに図-3に示した各種の地下水流脈の存在による平常地温の変化状況を参考にした上で、その解釈を行うようにしたいものである。

4. 実施例

横穴試錐排水孔における温度検層はこれまでに静岡、石川、兵庫、および和歌山の各県において計95本実施してきたので、それらの中からいくつかをここで紹介する。

4-1 地下水の排水が見られる場合の検層例

地すべり地に多数施工されている横穴試錐排水孔を見ると、その水の出方にもいろいろな場合がある。そこで、ここではかなりの湧水があるものから平程度のものまで何本かの試錐孔における検層結果とその解釈例についてのべる。

毎分10リットル程度の地下水を排出している試錐孔の検層結果を図-4.1に示す。この図をみると孔奥から孔口までほとんど同じような温度を示しており、地下水が孔奥から湧出していることを示唆している。土被り厚から推定した平常地温 (θ_u) と比較すると両者が全く異なっていることが判る。

同じく毎分6リットル程度の地下水を排除している試錐孔の検層結果を図-4.2に示す。この検層結果は前者とはかなり異なっている。32m付近から地温の上昇が認められることから判断すると孔奥からの地下水の湧出はあまりなく、25~31m付近で11.5°Cの温度を示す地下水の湧出があると推定される。孔口に近付くにしたがって温度変化が激しくなり、13m付近および11.5m付近に0.7°Cおよび2.8°Cにおよぶ温度の飛躍点が認められる。これらの温度飛躍の原因を調べるために試錐掘削方向を踏査したところ、温度飛躍点付近の地上には谷地形が存在しており、そこには水温16.87°Cを示す水が流れていることが判った。この事実と谷地形を示す場所における試錐孔の土被り厚およびその構成物質（谷床堆積物）とから判断すると、試錐孔内における温度飛躍は谷水の試

図-4.1 実例その1—地下水排水量10L/分—

図-4.2 実例その2—地下水排水量6L/分—

図-4.3 実例その3—地下水排出量0.5l/分—

図-4.4 実例その4—地下水排出量 滴水程度—

錐孔内への流入によるものと推定される。また流出している水の温度から推測すると、孔内から流出している水の大部分は谷水であると思われる。

図-4.3に示したのは毎分0.5リットル程度の少ない地下水を排除している試験錐孔における検層結果である。やはり平常地温曲線とはかなり異なった形を示している。地下水は孔奥から流出しているようであるがその地下水が孔口から2.5mと5m付近から漏水しているように見受けられ、孔口に近付くにしたがって平常地温に接近している様子がよく示されている。

図-4.4はポタポタと水滴が落ちる程度にしか地下水の排出を見ない試験錐孔における検層結果である。6m付近に温度の飛躍点が認められ、この付近で地下水の流入が推定される。そしてその後、2m付近まで一定温度を示していることから、ここまではある程度の水量で流動していることが考えられる。この付近で地温は急速に平常地温曲線にかなり近付いているのでここでかなりの量が漏水していると推定される。

4-2 地下水の排出が全く認められない場合の検層例

この節では横穴試験排水孔掘削後全く地下水の排出を見ない試験錐孔における温度検層結果についていくつかの例を示す。

図-5.1に示した検層図は全く地下水の排出をみない試験錐孔におけるものである。検層曲線には地下水流出に伴う温度異常を示唆するような現象は認められず、地下水の存在しない場所に掘削された場合の典型的な検層曲線の例である。

図-5.2も図-5.1と同様に地下水の排出を見ない試験錐孔における検層結果である。平常地温曲線と比較すると全体に1°C位低温となっているがこの原因は3-1でのべたように調査地の地況および地形的因子によるものか、あ

図-5.1 実例その5—地下水排出量 なし1—

図-5.2 実例その6—地下水排出量 なし2—

るいはこの試験錐孔の近くに地下水流脈が存在すると推察される。それ以外に孔奥に温度急変箇所が認められるが、これは孔奥の25m付近で地下水が流入しておりそれが21m付近ではほとんど漏水し、また20m付近で再び地下水が流入し、それが17m付近で漏水している可能性のあることを示唆している。この点は孔奥まで挿入したセンサーのケーブルが17m付近からセンサーにかけて濡れていることでも理解できる。

4-3 付近に地下水流脈が存在する場合の検層例

試験掘削を行った場所には全く地下水の排出を見ない場合でもその近くで湧水が存在しているという例は多くの地すべり地で見受けられる現象である。そこでこのような現象の起きている試験錐孔で温度検層を行った結果を図-6に示す。これを見ると、平常地温曲線と比較して3°C程度温度が低い。この温度差は地況および地形的因子による誤差を大きく越えており、試験錐孔の近くに地下水流脈が存在している影響を受けていることを示している。ちなみに、センサーとケーブルはほとんど濡れていなかった。

4-4 地下水が漏水している場合の検層例

試験掘削当初はかなりの地下水の排出をみた試験錐孔でも掘削終了後保孔管を挿入し、ケーシングを抜き去った後急速にその排出量が減少するという例も多くの地すべ

図-6 実例その7—地下水流脈が側にある場合—

り地で見聞する現象の一つである。このような現象の起る原因の一つは、ストレーナーを切った保孔管に一旦載った地下水が孔口まで来る途中で漏水してしまうためであると推定されている。そこでこのような現象の認められた試錐孔で温度検層を実施してみた。

図-7.1は孔口で毎分3リットル程度の地下水の排出を見ている試錐孔での検層結果である。この図をみると、孔奥から10m付近まではほぼ 12.0°C で一定しており、孔奥から地下水がかなりの量流入していることが判る。10m付近および15m付近で温度が急速に上昇しているのが認められ、この付近で地下水が漏水していることが示唆されている。さらに5m付近で地下水流入による地温の低下が認められ、それが再び2.5m付近で漏水していることが地温の急速な平常地温曲線への接近によって推定される。

図-7.2は孔口で毎分5リットルの地下水の排出を見る試錐孔での検層結果である。この図をみると孔奥から24m付近まではそばに地下水は存在するが保孔管には十分に載っていないような状況が推定され24~16m付近までは温度が一定であることから推測してかなりの量の水が保孔管の中を流動しているようである。15mおよび8m付近で一部の地下水が漏水していることが温度の急変によって推定されるが、8m以後5m付近までに再び徐々に地下水の流入があると思われ、その温度が下げられている。4m付近で多少地下水の出入りを伺わせるような温度変化が認められるが、最終的には孔口で 12.3°C という低い温度となっている。

図-7.3は孔口での排水量が毎分4リットルある試錐孔での温度検層結果である。この図をみると、15m付近で多少の地下水の漏水が生じていると推定される温度の変化が認められ、その後孔口にいたるまでに再び徐々に地下水が流入していることが温度の低下によって示されて

図-7.1 実例その8—地下水が漏水している場合1, 排出量3ℓ/分—

図-7.2 実例その9—地下水が漏水している場合2, 排出量5ℓ/分—

図-7.3 実例その10—地下水が漏水している場合3, 排出量4ℓ/分—

図-7.4 実例その11—地下水が漏水している場合4, 排出量0.2ℓ/分—

いる。

図-7.4は孔口における地下水の排水量は毎分0.2リットルという少量な試錐孔における検層結果である。この図をみると、孔奥から流入してきた地下水が28m付近で少し、25m付近で大量に漏水していることが示されている。引き続き17m付近までに少しずつ漏水しつづけ、その後は極少量の地下水しか保孔管には載っていないという事実が示すように、その検層結果は平常地温曲線にほぼ近似している。

これまでに示した例をみても判るように、地下水漏水を伴う試錐孔における温度検層曲線は、その漏水量の多少によって曲線がかなり変化するものであることが理解できると思う。

5. 横穴試錐排水孔の改善方法の一提案

4章にのべたことから横穴試錐排水孔の施工されている場所の水理地質的な状況を推察すると図-8に示すようになると思われる。

つまり、地すべり地の地中には良好な透水層が何枚も存在し、それらの土層の中にある流動性の地下水が横穴

図-8 地下水流脈と排水試錐孔の模式図

試験排水孔内に流入したりあるいは孔内から漏水したりしているものと思われる。

したがって、横穴試験排水孔の初期の目的を達成するためには、一度試験排水孔内に流入した地下水を漏水させることなく速やかに地表に排除する必要がある。そこで既設の試験排水孔と新設のものに分けてその改善方法について試案を提起してみたい。

5-1 既設の横穴試験排水孔の改善策

既設の試験排水孔内に地下水を流入しやすくするためには次の方法が考えられる。

- 1) 孔内洗浄…孔内の土砂や異物（植物の根など）の排除
- 2) 漏水防止…孔内漏水箇所への止水
- 3) 集水加工…試験排水孔爆破等による集水

1) 孔内洗浄

横穴試験排水孔で温度検層を行うときによく遭遇するのは土砂や植物の根あるいは動物の遺骸による穴詰まり、バクテリアの繁殖による穴詰まりである。これらの原因による地下水排出阻止の現象はその原因を取り除くことにより容易に排出能力を回復することができる。現在では既設の試験排水孔を有効に利用しようと言うことで種々の孔内洗浄方法が考案されており、地すべり学会でもいくつかの方法が発表されている^{1)~3)}。

2) 漏水防止

横穴試験排水孔における温度検層結果をみると地下水の漏水によると推定される温度異常部が存在することが多々ある。このような現象は好ましいことではないので、これを防止する必要がある。その方法としては、ペントナイト、セメントミルク、あるいは薬液注入による止水が考えられる。これによって地下水流入に関与していないストレーナーと透水性のよい地下水透水箇所は、その穴を塞がれて地下水の漏水を阻止することができるようになる。

3) 集水加工

上記の他にも降雨時においても地下水の排出を見ないかあるいは水の出が悪い試験排水孔において、水が集まり易いように爆薬によって試験排水孔を爆破し、その周辺の土塊に亀裂を生じさせる工法も考案されている^{4), 5)}。この場合、試験排水孔内の爆破地点の選定は、事前に温度検層を実施して、近くに地下水流脈が存在する可能性の高いことを確認してから行うとより効果的ではないかと思う。

5-2 新設の横穴試験排水孔の改善策

これから新たに横穴試験排水孔を設けようとする場合には、掘削状況の詳細な観察と掘削直後の温度検層による地下水流出箇所の具体的な把握を行った後で、次のような手法を採用するとよいのではないかと思う。

- 1) パッカーの設置
- 2) ストレーナーの加工の工夫

3) ストレーナー設置位置の選定

4) 孔径落としての漏水防止

1) パッカーの設置

試験排水孔掘削段階において、地下水の流出箇所が何箇所存在し、それらの場所がどこであるかは知ることができる。そこで保孔管挿入に際して、地下水流出箇所の手前に各々パッカーを設置しておくことにより、保孔管の下を流下する地下水をパッカーで止め、保孔管への地下水の流入量を増加させようとするものである。この場合、パッカーより手前孔口までは盲の保孔管にする。この方法は2)でのべる方法と併用することによって、その効果は倍増するものと思われる。

3) ストレーナー加工の工夫

現在用いられている保孔管には種々の素材のものがあ、それらには様々のストレーナー加工がなされている。一般に地すべり地で使用されているのは図-9に示すものが多いようである。このような構造では地下水が流入しにくいとともに、全周にストレーナーが切られているために、一度保孔管に載った地下水が漏水しやすいとされ、いくつかの工夫がなされている^{6), 7)}（図-10）。これらの工夫の中で、保孔管の上半分だけにストレーナーを切るというものがあるが、この構造には一概には賛成しかねる。というのは、地下水が下から保孔管内へ流入することもあることと、30mないし50mという長い保孔管を挿入すると、それは孔内で何回も回転してしまい、ストレーナーが全て上を向いているという保証は全くないためである。

またストレーナーの加工の方法についても現在は径5mmの穴を開けたものが多いが、これよりは幅1mm、長さ10cm程度のスリット状のストレーナーを設け、これにフィルターを巻いたものの方が土砂の流入が少なく、地下水の集水能力にも優れているようである。

3) ストレーナー設置位置の選定

現在地すべり地では、全孔にわたってストレーナーを切った保孔管を挿入している場合が多いが、4章の例で示したように、地下水の流入している所と漏水している

図-9 現在多用されている保孔管模式図

図-10 保孔管改良の一例⁶⁾

所とが複雑に存在しているので、全孔にわたってストレーナーを切る必要はないと思われる。地下水の流出している所のみストレーナーを切るか、またはジョンソンスクリーンのようなものを、その場所に設置した方がよいのではないかと思う。当然のことながら、ストレーナーを設置する手前にはパッカーを取り付けて流出地下水を効果的に保孔管に流入させるべきである。ストレーナー加工保孔管設置位置とその区間長については、1)のパッカーの設置の項で述べたように、試錐排水孔掘削時における地下水の流出箇所に関する情報を基にして決めるとよいと思われる。

4) 孔径落としての漏水防止

長い横穴試錐排水孔を掘削する場合には、通常孔口付近では大きな孔径で掘削を行い、順次規定の孔径まで落として行く方法を取ることが多い。このような構造を持つ試錐孔に保孔管を挿入すると孔径落の場所で保孔管内に流入した地下水が漏水してしまうことになる。このような現象は現地でよく見受けられるもので、保孔管の脇あるいは少し離れたところから地下水が出ているのがこの例である。この現象を防止するには孔径落の場所まで大きな孔径に合うパイプを挿入するか、あるいはケーシングパイプをそのままにしておくと思う。

6. 今後に残された問題点

以上述べたように、横穴試錐排水孔において温度検層を行うことにより、地下水の流入箇所あるいは漏水箇所に関する貴重な情報が得られるとともに、降雨時においても全く排水をみない試錐孔については、その原因をある程度推定できることが示された。しかしながら、この調査法はまだ確定されたものではなく次のようないくつかの問題点がある。

6-1 測定の方法

試錐孔において温度検層を行う場合、センサーを孔口に置いてそこから始めるのが良いのか、あるいは孔底(孔奥)まで挿入してしまい、そこから測定を始めるのが良いのか問題となる。そこで両者の測定結果を比較してみた(図-11)。この図をみると、孔奥から測定した場合はセンサーが周囲の温度に馴染む過程の温度が示されているようで孔奥でかなり温度が高くなっている。また孔口から測定した場合にも前者と同じような現象が認められるが孔奥は正常となっている。試錐孔における温度検層では、孔口よりもむしろ孔奥における精度の高い情報が求められることから、試錐孔における温度検層は孔口から始めたほうがよいのではないかと思う。この方が孔奥にセンサーを挿入する際の孔内温度の乱れも防げるので、孔奥から測定する場合よりも精度の良い測定値が得られるという利点もある。ただ、検層の目的に応じた方法が行えるようにしておきたい。

図-11 孔奥から検層した場合の検層曲線(点線)と平常地温(破線)との対比例

6-2 センサー挿入開始時間

今回はセンサーを孔口から1 m、または孔奥に挿入して10分間周囲の温度に馴染ませてから50cm間隔で測定を行った。6-1でのべたように、センサー挿入後10分と言う時間ではセンサーは十分に周囲の温度に馴染んでいないことが示されている。そこでセンサーが周囲の温度に馴染むにはどの程度の時間が必要であるかについて検討してみた。使用するセンサーの熱容量と測定する時の孔内温度とセンサーの温度との差にもよるが、最も長いもので周囲と同じ温度になるに要する時間は一時間半もかかった。またこの時に0.5°C程度の温度差になってから測定を開始するとしても約30分の時間を要している。したがって、現地ではできるだけセンサーを、孔口温度に近い状態に保っておく努力をする必要があるようである。

センサーの熱容量についてはその構造に起因しているので、据え置き時間を短くするには、センサーの構造を如何に熱容量の小さな物にするかが今後の課題となる。

7. まとめ

横穴試錐排水による地下水排除工法は地すべり防止工法の一つとして重要な位置を占めている。多額の経費を用いて掘削した試錐孔から降雨時においてもまったく地下水の排出をみないということはゆゆしき問題である。この原因を探る方法の一つとして、垂直試錐孔内の流動地下水の存在深度に関する情報を得る手段として、その有効性が認められている温度検層を実施してみた。その結果、土被りを考慮した平常地温曲線と測定値とを比較検討することにより、地下水の流入箇所と漏水箇所に関する有意義な情報が得られると共に、本来地下水が存在する場所に掘削されたものであるか否かを検討することができる資料も得られることが判った。そこで、現地調査結果に基づいて、地下水が存在する場所に掘削されたと判断されるにも関わらず、孔口において地下水の排出をみないものにたいしては、その問題を改善する余地があるのならばどのような処置を講ずればよいかについて幾つかの試案を提起した。

さらに、今後横穴試験を掘削する場合、地すべり活動に悪影響を及ぼす地下水を、効果的に排除するにはどのような手法を講じたらよいかについても、2,3の試案を提起させて頂いた。

今後は6章に述べた問題点の解決を計るととも、現地の計測資料を蓄積して、よりよい横穴試験孔における温度検層法として育成して行きたいと考えている。

最後に、この調査研究に対し、終始快い御理解を頂きました京都大学防災研究所島 通保教授に心から謝意を表すると共に、現地測定に対してご協力頂きました川崎純男氏、松田克志氏、谷垣和伸氏、若山悦昭氏ならびに各々の地元の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 川部幸一・板垣宏一・山川和美：SFT 洗淨フィルター層形成工事およびSTP集水パイプについて、第21回地すべり学会研究発表会論文集，1982. 10, pp. 92-94.

- 2) 川部幸一・板垣宏一・山川和美：集・排水ボーリング孔の目詰まりの原因とその対策工事について、第23回地すべり学会研究発表予稿集，1984. 8, pp. 164-165.
- 3) 仲野昭治郎・板垣宏一・堀江四郎：保孔管の目詰まりと洗淨効果(Ⅱ)，第24回地すべり学会研究発表，1985. 8, pp. 178-179.
- 4) 藤原明敏・川部幸一・板垣宏一・山川和美：集水ボーリング先端爆破工事爆破状況について、第21回地すべり学会研究発表論文集，1982. 10, pp. 96-97.
- 5) 藤原明敏・川部幸一・板垣宏一・樽石博行・山川和美：集排水ボーリング先端爆破工法その後のテストについて、第22回地すべり学会研究発表予稿集，1983. 7, pp. 96-97.
- 6) 川部幸一・板垣宏一・樽石博行：集水パイプの集水効果について、第20回地すべり学会研究発表会論文集，1981. 10, pp. 52-53.
- 7) 藤原明敏・川部幸一・板垣宏一・樽石博行・山川和美：集水パイプの集水効果について(その2)，第22回地すべり学会研究発表予稿集，1983. 7, pp. 94-95.

(原稿受理日 昭和61年6月25日)

危険降雨量に基づく斜面崩壊発生時期の予知に関する検討

「地すべり」Vol. 23, No. 2 (通巻第86号) 1986年(昭和61年) 9月

矢田部龍一, 榎 明潔, 八木 則男

危険降雨量に基づく降雨時の斜面崩壊発生時期の予知法を開発するため、降雨量と崩壊の關係に影響する要因の検討、間隙圧の現地測定、また、数値解析を行なった。その結果、限界雨量曲線を数値解析的に求められること、崩壊発生までの総降雨量には浸透特性、透水層厚の影響が大きいこと、また、斜面内の圧力ポテンシャルを測定することにより、現時点で幾らの連続総降雨量によって崩壊が発生するかをより精度良く求めることができることなどが明らかになった。

写真判読による大規模地すべり地形の変化

「地すべり」Vol. 23, No. 2 (通巻第86号) 1986年(昭和61年) 9月

井上 公夫

天草における第3紀層の地すべり解析

「地すべり」Vol. 13, No. 2 (通巻第86号) 1986年(昭和61年) 9月

荒牧昭二郎, 北園 芳人, 中山 洋, 鈴木 敦巳, 梶原 光久

横穴試験排水孔における水平温度検層の意味について

「地すべり」Vol. 23, No. 2 (通巻第86号) 1986年(昭和61年) 9月

竹内 篤雄, 内藤 光雄

横穴試験排水による地下水排除工法は地すべり防止工法の一つとして重要な位置を占めている。多額の経費を用いて掘削した試験孔から降雨時においてもまったく地下水の排出をみないということはゆゆしき問題である。この原因を探る方法の一つとして、垂直試験孔内の流動地下水の存在深度に関する情報を得る手段として、その有効性が認められている温度検層を実施してみた。その結果、土被りを考慮した平常地温曲線と測定値とを比較検討することにより、地下水の流入箇所に関する有意な情報が得られると共に、本来地下水が存在する場所に掘削されたものであるか否かを検討することができる資料も得られることが判った。

自然放射能探査と電気探査

「地すべり」Vol. 23, No. 2 (通巻第86号) 1986年(昭和61年) 9月

栃木 省二, 大内 章義