地温測定による地下水排除工の効果判定の可能性について*

——大石地すべり地を例として——

On the Possibility of Judging the Effectiveness of Groundwater Drainage Works by Measuring One-meter-depth Temperature

——Take the case of the Oh-ishi landslide area——

竹内 篤雄** · 二宮 寿男***

中村 和弘**** · 上野 郁夫****

Atsuo TAKEUCHI Toshio NINOMIYA

Kazuhiro NAKAMURA, Ikuo UENO

Abstract

Investigating method of one-meter-depth temperature measurement was carried out in the Oh-ishi landslide area belonging to the metamorphic rocks zone for the first time in February 1980. On the basis of the results, groundwater drainage works were carried out. In this time, the investigating method was carried out again in the same area in February 1983 for examining the reproducibility of temperature distribution and the introduced variation by groundwater drainage works.

As the results, next matters were shown:

- 1) The reproducibility of the temperature distribution was recognized clearly in a landslide area belonging to the metamorphic rocks zone.
- 2) The effectiveness of groundwater drainage works was recognized satisfactorily by the observed results of groundwater level and the quantity of drainage in groundwater-vein streams.
- 3) The possibility of judging the effectiveness of groundwater drainage works was shown by comparing with the $\theta_{z=1}-y$ diagrams and the distributing diagrams of underground temperature before and after groundwater drainage works.

1. 序

1 m深地温測定による地下水流脈調査法はこれまで主として数多くの第三紀層型地すべり地において実施され、その有効性と実用性が認められつつある^{1), 2), 3), 4)}。この調査法が地質条件の異なる変成岩地帯の地すべり地においてもそのまま適応できるか否かを検討するために、1980年2月に高知県長岡郡本山町に位置する大石地すべり地を試験地として、初めて実施された。その結果については本学会誌⁵⁾にすでに発表した。

1980年2月の良好な調査結果に基づいて、1980～81年度にかけて地温測定調査により抽出された高温分布域において横孔排水試錐による地下水排除工が集中的に行われた。

変成岩地帯の地すべり地における地温分布状況の再現性と、前述のようにして施工された地下水排除工の効果

が地温分布状況にどのような変化をもたらしたかについて検討するために、1983年2月に前回とほぼ同一測点において同調査を行ったところ、良好な成果が得られたので、ここにのべる。

2. 調査場所、時期、および調査方法

同調査研究は高知県長岡郡本山町大石に位置する地すべり地で実施された。本地すべり地には主として三波川帯に属する緑色片岩および泥質片岩が分布している。なお地形・地質の特長については前報⁴⁾でのべたので、本論では省略する。

調査時期は2回とも2月中旬(1980年2月12～22日と1983年2月14～23日)が選ばれている。この時期は冬期間での地温測定実施最適時期にあたる。

調査方法は前回とほぼ同一地点に10×25mの網目状に計624点の測点を設け、通常の方法⁶⁾で1 m深地温を測定した。竹内の方法⁷⁾により得られた測定値に対して種々の因子補正を行い、その後で地温分布図を作製した。分布状況の解釈および検証は、高・低温部に掘られた調査用試錐孔における地下水検層、温度検層、および横孔

* 第22回地すべり学会にて発表

** 京都大学防災研究所

*** 高知県砂防課

**** 相愛工業株式会社

排水試錐孔からの排水量、地下水位観測結果等により行われた。

3. 地温分布の再現性

いずれの物理探査法においても常に問題となるのは、その調査結果の再現性である。ある地域を同一探査法で何回か調査した場合、そのたびにその分布状況の変化を合理的に説明できないような原因で全く異なった分布を示すのでは探査法としての信頼性が問題となる。

そこで当調査地においても、地温測定による排水効果の検討を行う前に、その再現性について検討してみた。

1980年2月と1983年2月における高温分布域を抽出し、対比したものが図-1である。調査時における流動地下水温 (θ_w) は $14.8 \sim 15.8^\circ\text{C}$ であるのに対し、平常1m深地温 (θ_s) は 6.0°C であった。したがって、上述の水温をもつ浅層地下水が流動していれば、 θ_s は高められる方向へ乱されるので、2回共高温部を抽出した。図-1をみると、大局的には両年における高温部分布域はきわ

図-1 1980年2月(網部分)と1983年2月(横線部分)の高温部対比図

図-2 1980年2月と1983年2月の $\theta_{z=1}$ -r-y 図の対比、
実線：1980年、点線：1983年

めて類似していることが示されている。ちなみに排水試錐工事の影響を受けていないと推定される調査地上部と下部の測線において、2回の測定値を対比すると、図-2に示すように、かなりよい一致性が認められる。特にBi-10測点での一致が目立つ。これは測点近くにある岩盤からの亀裂性地下水脈の湧出の影響を受けているものであることが後の調査で明らかにされた。各測線毎に両年の測定値の相関係数を求めると、資料数24で $r=0.63 \sim 0.83$ であった。これは同資料数で95%の信頼性を持って有意ある関係があるとするに必要な値0.41よりもかなり大きな値である。

これらの結果から判断すると、変成岩地帯の地すべり地においても、地温測定調査結果の再現性は十分にあると言えよう。

4. 地下水位変動および排水量による効果判定

1980年2月の地温測定調査結果に基づいて施工された横孔排水工事による地下水排水量および、その付近にある試錐孔の水位変動量によって、排水効果の検討を行う。

4-1 地下水排除に伴う地下水位変動

地下水排除に伴う水位変動状況を把握するために、調査地の全試錐孔において水位観測を行った。その結果によると、地温測定によって推定された水脈内に存在する

試錐孔 S55 VB 1 および S55 VB 3 では地下水排除によって前者で 2～3 m、後者で 5～6 m の水位降下が認められた。一方水脈外に存在する試錐孔では慢性的に高い水位を有し、地下水排除の影響はほとんど認められなかった。

ここで水脈内の S55 VB 3 における地下水排除に伴う水位変動について述べる。

S55 VB 3 孔の 1981 年 5～11 月および 1982 年 5～11 月の間の降水量と地下水位との関係を図-3 に示す。この図をみると、1981 年 8 月 27～29 日に計 121 mm の降雨があり、これによって VB 3 の水位は GL. -11.35 m から GL. -2.23 m まで 9.12 m も急上昇している。この時の 100 mm 降雨に対する水位上昇率は 7.54 m である。一方 1981 年度の横孔排水工事が施工された後の水位変動状況を見ると、1982 年 8 月 23～27 日の間に計 474 mm に達する大雨に対し、水位は GL. -12.23 m から GL. -11.59 m までわずか 0.64 m 上昇しているにすぎない。これの 100 mm 降雨に対する水位上昇率は 0.14 m となっている。つまり横孔排水工事が施工される以前に比べて、その水位上昇率は 1/54 に低下している。

このことは本来大雨によって供給された地下水が土塊内に貯留され、大幅な水位上昇をもたらすはずであったものが、地下水排除工により、その地下水が効果的に排

除され、土塊内水位上昇をきわめて低いものに抑えていることを示唆していると考ええる。

4-2 地下水排水量と降水量との関係

水脈内外に掘られた横孔排水試錐孔の排水量の対比はすでに竹内等⁴⁾によってなされており、水脈内の方が降雨時の排水量、基底排水量共に水脈外のものに比べて多いことが示されている。

今回は HB55-6 および HB56-1 の各横孔排水試錐孔を例にとり、基底排水量と降雨時の排水量とを対比した(図-4)。図-4 をみると、基底排水量は通常秋の無降雨期に観測されており、その値は HB55-6 が 2 l/min、HB56-1 が 0.05 l/min となっている。一方降雨時の排水量は 1981 年 8 月 27～29 日の大雨の時で、HB55-6 は 10.7 l/min から 50.0 l/min に増加している。100 mm の降雨に対する排水量は 32.5 l/min となっている。一方同排水孔の 1982 年 8 月 23～27 日の大雨時の排水量は 7.9 l/min が 60.0 l/min に増加しており、100 mm 降雨に対する排水量は 11 l/min となっている。また同年 9 月 22～24 日の大雨(325 mm)時には、8.7 l/min から 75.0 l/min に増加し、その増加率は 20.4 l/min/100 mm となっている。したがって、HB55-6 排水孔では基底排水量が 2 l/min であり、それが降雨時には 25～37 倍にも増加することが示されている。また 100 mm 降雨に対する増加率は 11～33 l/min であることが示された。

HB56-1 排水孔においては 1982 年 7 月 22～24 日の降雨で、0.96 l/min が 8.33 l/min に増加し、100 mm 降雨に対する増加率は 10 l/min となっている。また同年 8 月 23～27 日の大雨時には、0.47 l/min が 1.62 l/min に増加し、その増加率は 0.24 l/min/100 mm となっている。基底排水量に対する比率は 30～170 倍にも増加していることが示された。

1980 年度に施工された排水試錐孔と 1981 年度に施工された試錐孔との間に排水量に大きな差があるのは、図-5 に示されているように、前者は標高 420 m と 400 m に施工されたのに対し、後者は標高 410 m とちょうど前年度の排水孔施工位置の中間部に施工されたため、すでに上下において大部分の水が排除されており、その残りの地下水を排除していることによると推定される。

いずれにしても前述したことから、前項でのべた地下水位変動幅の減少および水位低下現象とを考えると、水脈内地下水の排除が降雨時には多量に増加しており、本来排水工の施設が無い場合に土塊内に貯留され地すべり活動を助長したであろう地下水が効果的に排除されていることを示すものと言える。

5. 地温測定による地下水排除工の効果判定の可能性

5-1 水脈規模の変動に伴う 1 m 深地温の変化

図-3 S55 VB 3 試錐孔の排水工事前後における水位変化状況

図-4 横孔排水試験孔の排水量と降雨量の関係

図-5 地形断面図に投影された横孔排水試験孔と調査用試験孔の位置関係

前述までのことによると、1980～81年度の地下水排除によって地下水位がかなり低下したことが示されている。そこで、水脈内に掘られた S55VB 3 における地下水位変動を例にとって、その変動の 1 m 深地温 ($\theta_{z=1}$) に与える影響を検討する。

同試験孔の基岩は深度 18.5 m にあるので、それより上地下水位面までの直径を有する水脈が存在すると仮定して、 $\theta_{z=1}$ への影響を試算する。

同試験孔の 1981 年度の最高水位は 8 月 29 日に発生している。そこでこれと 1982 年の同じ月日の水位を用いて、水脈規模の変動による $\theta_{z=1}$ への影響を示したものが図-6_a である。8 月下旬の $\theta_{z=1}$ は竹内の表⁹⁾によると 24.1°C であり、流動地下水温は現地測定によると 15.8°C となっている。両者の差は 8.3°C ある。施工前の最大水脈を A、施工後のそれを B とすると、A は半径 8 m、B は半径 3 m となる。これらの $\theta_{z=1}$ への影響は水脈直上で前者は -4.4°C であるのに対し、後者は -0.6°C と小さく

なっている。つまり水脈規模縮少による影響はかなり大きいことが示されている。

次に今回の調査を行った冬期間における水脈変動の $\theta_{z=1}$ への影響を検討する。横孔排水試験前後の S55VB 3 孔の水位変化を知る必要があるが、この試験孔は前回 (1980 年 2 月) にはまだ掘削されていなかったため、この時の水位はそれ以後の観測結果から推定しなくてはならない。今回 (1983 年 2 月) の調査時にはそ

の水位は GL. -9.4 m であった。一方横孔排水試験施工前後の夏・秋期の水位変化は 1981 年と 1982 年の間で 5～6 m 後の方が低下している。そこでこの水位低下が冬期にも存在していたと仮定すると、1980 年 2 月の水位は GL. -3.4 m 位いと推定される。したがって、ここでは一応 1980 年 2 月の水脈規模を半径 7.5 m、1983 年 2 月のそれを半径 4.5 m として計算した。その結果を図-6 の右側に示す。これによると、 $\theta_{z=1}$ の変化は水脈直上で前者 (A) では +2.5°C であったものが後者 (B) ではそれが +0.9°C に低下していることが示されている。

5-2 排水効果の $\theta_{z=1}$ への影響

上述のように、地下水排除工による水脈規模の縮小は 1 m 深地温にかなり大きな影響を与えることが示された。これだけの温度変化があれば、地温測定調査によって十分に排水効果の判定を行える可能性があると判断して、1980 年 2 月と 1983 年 2 月の $\theta_{z=1}$ -y 図を対比してみた (図-7)。図中 ⊙ 印は横孔排水試験の位置を示す。これに

図-6 S55 VB3 試錐孔における地下水位変動の $\theta_{z-1}-y$ 図への影響

a : $\theta_w=15.8^\circ\text{C}$, $\theta_u=24.1^\circ\text{C}$, $\theta_b=-8.3^\circ\text{C}$, Aは1981年 8月,
Bは1982年 8月の水脈規模

b : $\theta_w=15.8^\circ\text{C}$, $\theta_u=6.0^\circ\text{C}$, $\theta_b=+9.8^\circ\text{C}$, Aは1980年 2月,
Bは1983年 2月の水脈規模

図-7 排水工事施工前後における $\theta_{z-1}-y$ 図の変化状況

実線：1980年 2月，点線：1983年 2月，○：横孔排水試錐孔施工位置，斜線部：排水工事後の温度低下部

よると，排水工事を施工した付近では地温の低下が認められ，その大きなものは 2.5°C にも達する。これは前項で計算した値とほぼ一致するものである。また M, L 両測線共測点10～13間の温度低下の方が測点17～22間のそれよりも大きい。この原因の一つには排水試錐孔の施工密度の違いにあると思われる。

次に排水試錐を掘削した付近の地温分布状況を対比すると図-8に示すようになる。1980年度および1981年度に集中的に地下水排除工事が行われた測線 I から M において北西から南東にのびる水脈の存在する付近の温度がかなり低下しており，1980年 2月の調査結果では連続的に

存在していた高温部が，今回（1983年 2月）はそれが不連続になると共に，その挟がかなり狭くなっている。これに対し，北方に存在する水脈は前述の水脈ほど温度低下は認められないが，この原因は排水試錐孔の施工密度にあると思われる。

図中測線 P の測点13～19間に前回は認められなかった高温部が認められるが，これは測線 O の測点18～19間に掘られた排水試錐孔の流末が集中しており，流末処理が1983年 2月の調査段階では未整備であったため，一度排除した地下水が再度浸透しているのが原因ではないかと推定される。測線 Q, R では従来存在していた高温部が大部分消失している。この事実は上方から流下してくる地下水が効果的に排除されているため，この付近まで流下する地下水の量がかなり減少していることを示唆していると思う。

以上のべたことにより，1 m 深地温測定調査を地下水排除前後に行い，その結果を対比すれば，排水工事の効果の評価がある程度可能であると考えて差し支えないと考える。

6. 結 語

変成岩地帯の地すべり地において1980年 2月にはじめて1 m 深地温測定による地下水流脈調査法が実施され，その結果に基づいて地下水排水工事が実施された。それから3年後に変成岩地帯の地すべり地における地温分布状況の再現性と，施工された排水工事の効果がどのように地温分布に現われているかを検討する機会を得たの

図-8 排水工事施工付近の地温分布状況の対比

斜線部：1983年 2月の高温部
打点部：1980年 2月の高温部

で、前回と同時期である1983年2月に再度同一調査地域で地温測定調査を実施した。その結果次のことが示された。

- 1) 変成岩地帯の地すべり地においても1 m深地温分布の再現性は十分に認められる。
- 2) 水脈内に掘られた調査用試錐孔の地下水位および横孔排水試錐からの排水量の観測結果により排水工事の効果の良好性が認められた。
- 3) 排水効果の1 m深地温への影響は、排水工事施工前後の $\theta_{z=1-y}$ 図および地温分布図を対比することにより明らかにされ、地温測定調査による排水工事効果の判定は可能であることが示された。
- 4) 地温分布図の対比によると、排水工事の効果は工事区間とその下流方向に大きく現われていることが示されると共に、排水工事の施工密度の違いが地温分布状況に明らかに示されることがわかった。

今回の調査結果によると、2回の地温測定調査の分布状況を対比すると、現在我々の持っている知識では合理的に説明しにくい現象も見られた。今後はさらに資料を蓄積し、このような点の解明に努め、地温測定による排水工事効果判定法の改良を行ってゆきたいと考えている。

謝 辞

本研究を行うに当りましては高知県土木部砂防課の方

々の地温測定調査に対する暖かい御理解と御協力に謝意を表します。現地調査に当りましては本山土木事務所の方々の快よい御協力を得ました。ここに記し感謝致します。

調査を順調に行えましたのは相愛工業株式会社の方々および大石地区の住民の方々の快よい御協力の賜ものと感謝しております。

参 考 文 献

- 1) 竹内篤雄：1 m深地温測定による地下水流脈調査のいくつかの実施例、水温の研究、Vol. 21, No. 5, 1978. 1, pp. 7~23.
- 2) 竹内篤雄：皆月地すべり地における1 m深地温測定による地下水流脈調査法について、日本地下水学会誌、第20巻第2号、1978. 7, pp. 1~14.
- 3) 竹内篤雄・島 通保：1 m深地温分布の再現性と地下水流脈探査結果の検証例、物理探鉱、第29巻第6号、1976. 12, pp. 11~18.
- 4) 竹内篤雄・島 通保：宮神地すべり地における1 m深地温測定調査結果に基づく排水工事とその効果について、地すべりVol. 15, No. 1, 1978. 6, pp. 17~22.
- 5) 竹内篤雄・永野正展・中村和弘：冬期における破碎帯型地すべり地での1 m深地温測定調査結果について、地すべり、Vol. 18, No. 1, 1981. 6, pp. 33~41.
- 6) 竹内篤雄：地すべり 地温測定による地下水調査法、吉井書店、1983. 8, pp. 30~34.
- 7) 6)と同じ、pp. 32~33, pp. 42~50.
- 8) 6)と同じ、p. 38.

(原稿受理日 昭和58年12月12日)

平均地すべり面強度定数の算定法について

「地すべり」Vol. 20, No. 4, (通巻第76号) 1984年(昭和59年) 3月

宜保 清一, 武居 有恒, 小波蔵政良

地すべりの安定解析では、剪断試験結果は単なる参考資料として取り扱われているが、解析の精度を高めるためには設計定数の算定に直接または間接的に実験定数を組み入れる必要がある。

本論文では、すべり面や節理面に形成されている Slickenside や完全軟化粘土薄層に注目し、すべり面強さと残留強さ、ピーク強さおよび完全軟化強さとの関係の重要性を指摘した。そして残留強さ等の定数、Mohr-Coulomb の式および残留係数 R を逆算法によって得られる $c'-\phi'$ 関係に導入して平均すべり面強度定数を決定する方法を提案し、その合理性についても実際に地すべり事例に適用して確認した。

すべり面のせん断強度定数と粘土鉱物との関係

「地すべり」Vol. 20, No. 4 (通巻第76号) 1984年(昭和59年) 3月

玉田 文吾

地すべり粘土の内部摩擦角 ϕ' は、土質試験時の試料の厚さ、ダイレイタンスーなどによって変化するが、地すべり粘土に含まれる粘土鉱物(モンモリロナイト)の含有率 B_n によっても変化する、 $B_n \leq 40\%$ では

$$\phi' = \phi_0 \exp(-A_1 \cdot B_n)$$

の関係がある。同時に、せん断特性も B_n の増加に伴って排水形式から非排水形式へと変化する。 ϕ' は、このほかに粘土鉱物以外の土粒子の鉱物組成および形状によっても多少変化するが、 B_n が ϕ' に最も大きな影響を与える。

今般の結果は、地すべり粘土の鉱物分析による ϕ' の間接的な測定および地すべり面探査に応用できる可能性がある。

阿武隈山地南部における山地崩壊に与える森林の影響

「地すべり」Vol. 20, No. 4 (通巻第76号) 1984年(昭和59年) 3月

柴原 俊昭

阿武隈山地南部の斜面崩壊は、その90%が北側斜面に発生している。本報告では主に森林に視点をあて、樹木の成育状況を南北両斜面で比較し、崩壊発生との関係を調べた。その結果、崩壊は林令12年以下のところに多発し、同林令地でも北側斜面の樹木の成育の悪さが認められた。特に北側斜面での根系発達の悪さは土壌緊縛力を弱め、崩壊防止機能を低下させているものと考えられる。また、土壌層においても北側斜面の発達が悪く、母材層との境が明瞭であることから、土壌層と母材層の間がすべり面となって崩壊につながるものと考えられる。

地温測定による地下水排除工の効果判定の可能性について

—大石地すべり地を例として—

「地すべり」Vol. 20, No. 4 (通巻第76号) 1984年(昭和59年) 3月

竹内 篤雄, 二宮 寿男, 中村 和弘, 上野 郁夫

1980年2月に変成岩地帯の地すべり地においてはじめて1m深地温調査が実施され、それに基づいて地下水排水工事が行われた。今回再度同一地区で地温調査が行われ、地温分布の再現性と施工された排水工事の効果がどのように地温分布に現われているかが検討された。その結果次のことが示された。

- 1) 変成岩地帯の地すべり地においても1m深地温分布の再現性は十分に認められる。
- 2) 水脈内に掘られた調査用試錐孔の地下水位および横孔排水試錐からの排水量の観測結果により排水工事の効果の良好性が認められた。
- 3) 排水効果の1m深地温への影響は、排水工事施工前後の $\theta_{z-1}-\psi$ 図および地温分布図を対比することにより明らかにされ、地温測定調査による排水効果判定の可能性が示された。
- 4) 地温分布図の対比によると、排水工事の効果は工事区間とその下流方向に大きく現われること、排水工事の施工密度の違いが地温分布状況に明らかに示されることがわかった。