



加熱式地下水検層法

～環境によい、高精度の地下水流動層検出法～

独立行政法人 土木研究所

土砂管理研究グループ

雪崩・地すべり研究センター

丸山清輝

1. お話しする項目

- (1) 地下水検層法の課題と新調査法
- (2) 加熱式地下水検層法の概要
- (3) 性能確認試験結果
- (4) 現地適用試験結果
- (5) まとめ

地下水検層法の課題と 新調査法

2. 地すべり地における地下水調査法の役割

地すべりの主な誘因は地下水



地すべり防止工事では主に地下水排除を実施

地すべり対策施設(地下水排除施設)
を効率的かつ効果的に整備するには



高精度で簡便な地下水調査法を開発し、地すべり地内の地下水流動層を把握する必要がある。

3. 地下水検層法の課題と新調査法

従来の地下水検層法



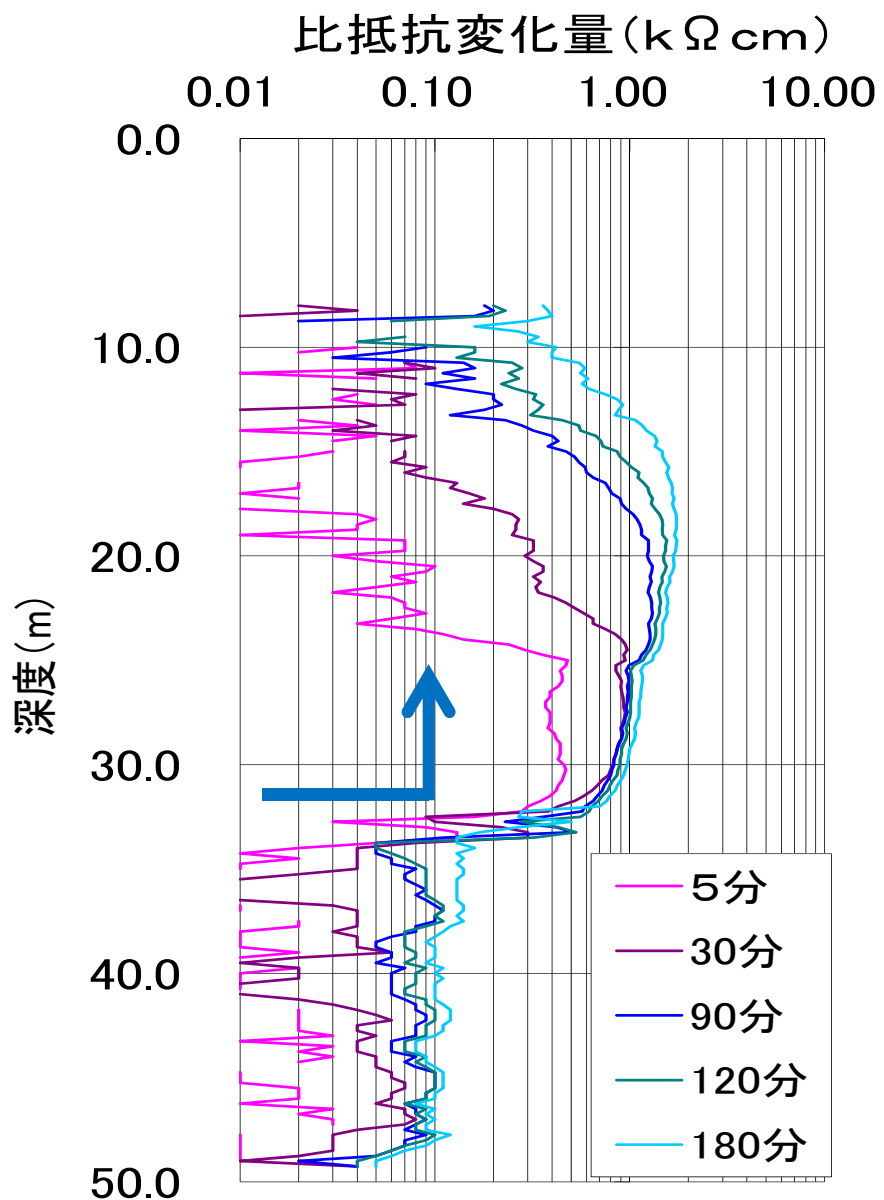
食塩を地下水に溶かし、流入地下水による比抵抗の変化から地下水流動層を調査(食塩検層)

(1) 食塩による地下水検層法の課題

- 1) 時間をおいて数回計測する必要がある。
- 2) ボーリング孔内の食塩濃度を均一にすることが難しい。
- 3) 比抵抗の小さい地下水が存在する地すべりでは調査できない場合がある。
- 4) 井戸水等の地下水への悪影響が懸念される。
- 5) 調査結果から地下水流動層の判定が困難な場合がある。

(2)食塩検層での地下水流動層の判定事例

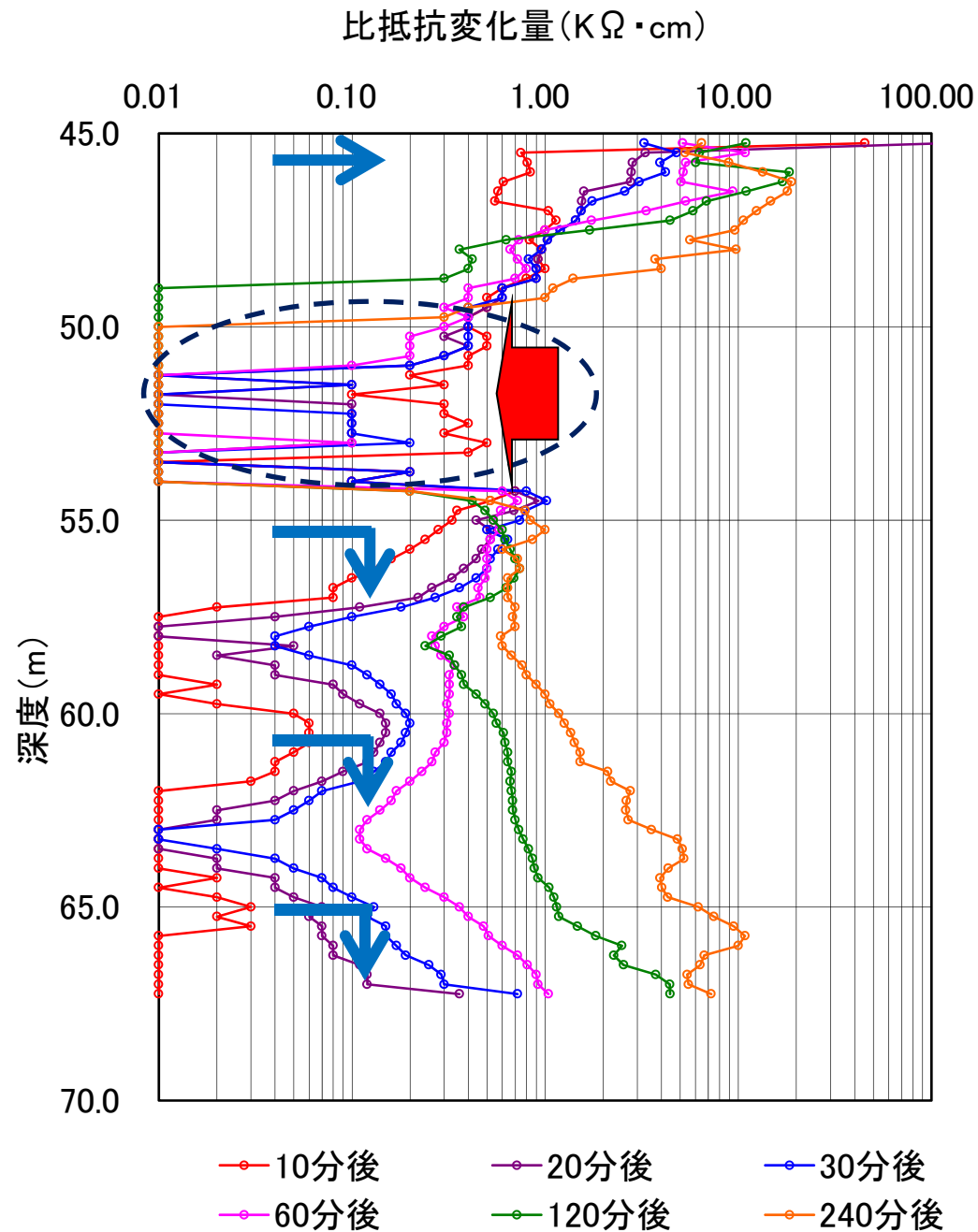
1)地下水流動層の判定が容易な事例



深度32m以浅で、比抵抗が時間の経過とともに増大している。

深度32m付近の地下水流動層から流入した地下水が、ボーリング孔内を上昇していることが分かる。

2)地下水流動層の判定が容易でない事例



青矢印の地下水流動層が推定されるが、赤矢印の区間では比抵抗の減少(塩分の集積?)が認められる。

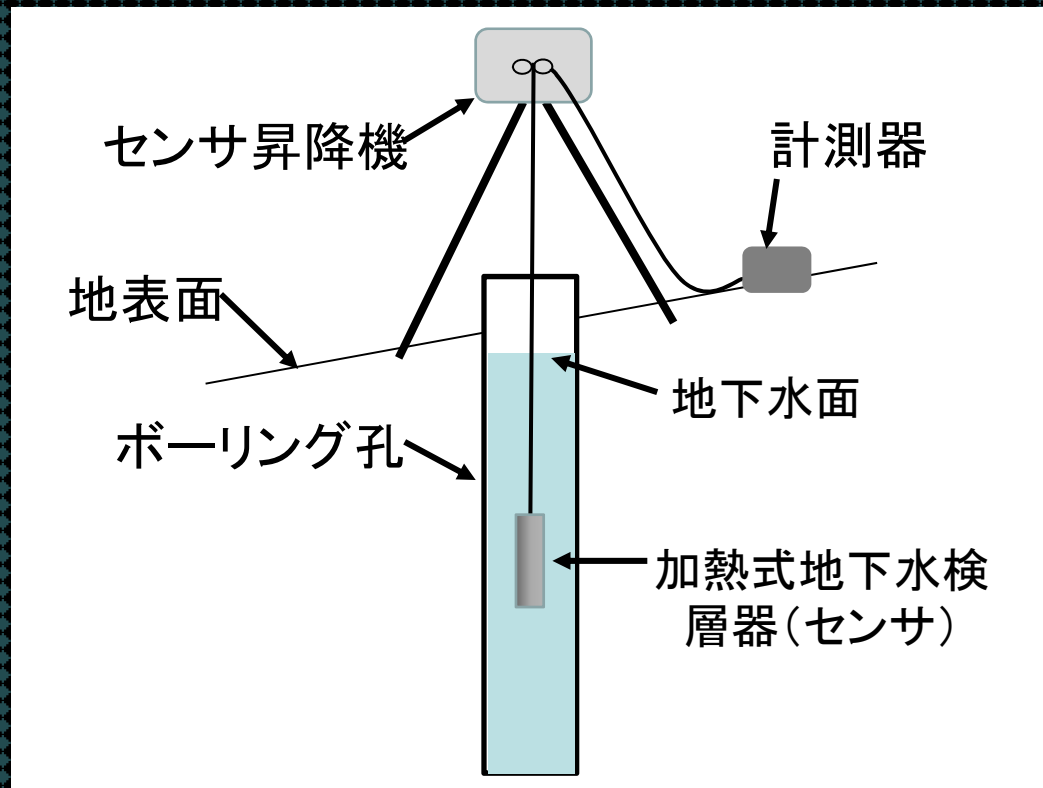
比抵抗の経時変化が単純でなく、地下水流動層の判定に経験を要する。

(3)考案した地下水検層法(加熱式地下水検層法)の特徴

- 1) 計測回数が1回で済む。
- 2) ボーリング孔内地下水中に薬剤等を溶かす必要がない。
- 3) 地下水の比抵抗の大小に関係なく調査できる。
- 4) 調査結果から地下水流動層の判定が容易にできる。

加熱式地下水検層法の 概要

4. 加熱式地下水検層法の概要



加熱式地下水検層器
設置図

- ① ボーリング孔内の地下水面下にセンサを1cm/secの速度で下降させながら、
- ② 地下水温、地下水を加熱するヒータ温、加熱された地下水温を計測し、
- ③ それらのデータを整理して地下水流動層を調査する。

4.1 加熱式地下水検層の機材



①加熱式地下水検層器
(センサ)

②センサ昇降機

③計測器

④データ収集用ロガー

⑤パソコン

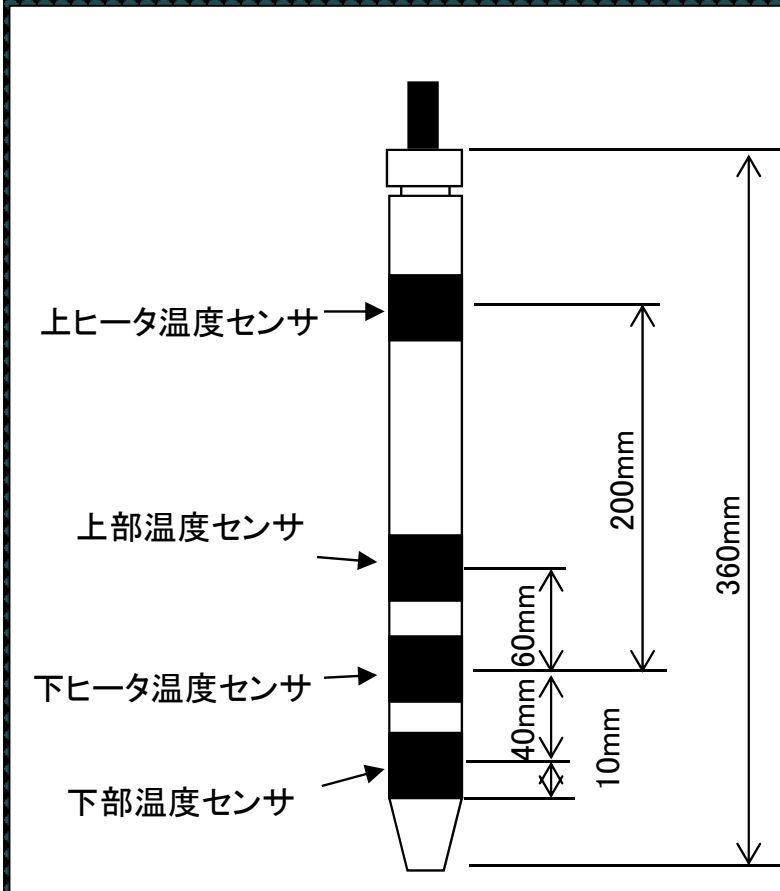
⑥発動発電機

※最大調査深度 145m

4.2 加熱式地下水検層器を用いた地下水調査の状況



4.3 加熱式地下水検層器(センサ)



●大きさ → 長さ36cm、直径1.6cm

●センサ

- ・下部温度センサ → 地下水温度計測用
- ・下ヒータ温度センサ → ヒータ温度計測用
- ・上部温度センサ → ヒータで加熱された地下水温度計測用

なお、上部ヒータ温度センサは研究用に取付けたもの

4.4 加熱式地下水検層の計測手順

●計測手順

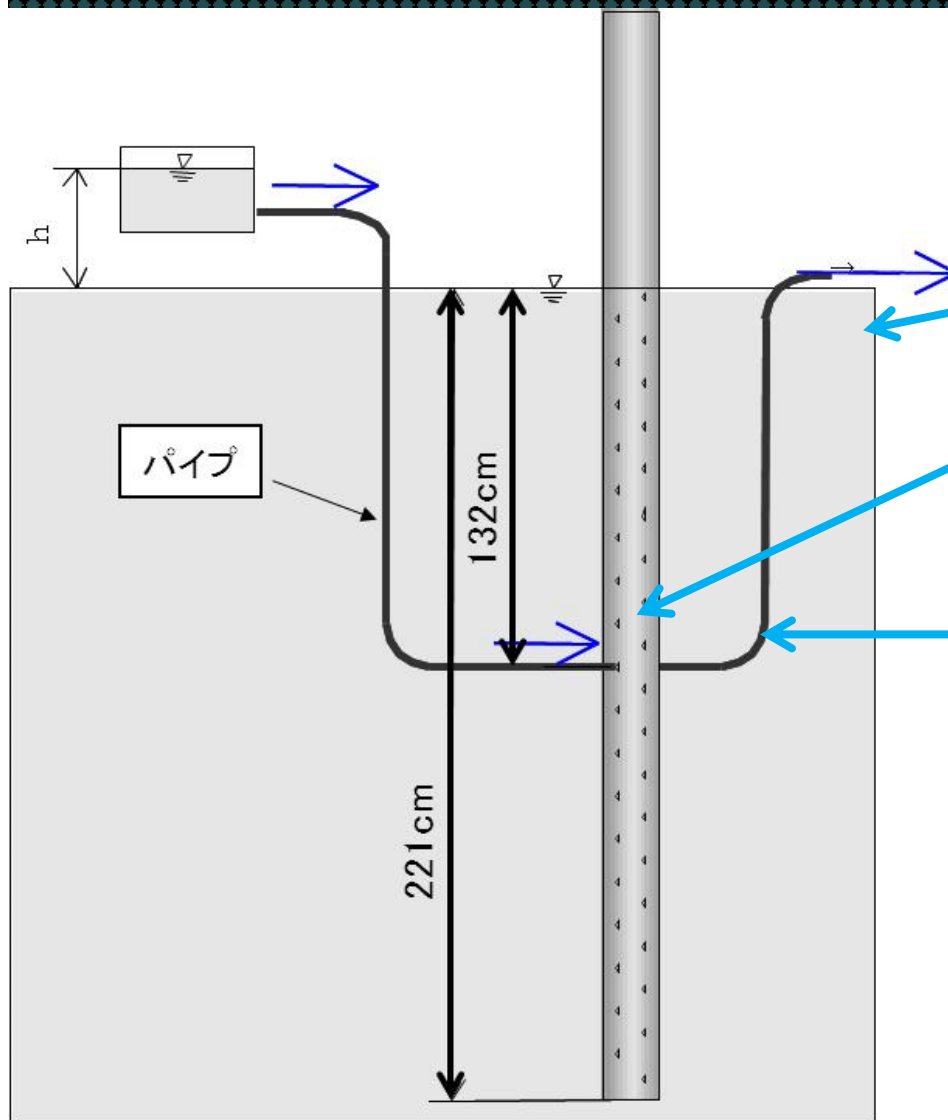
- ① センサを地下水面まで降ろす。
- ② ヒータに通電し発熱させ、5分程度待つ。
- ③ センサを昇降機により1cm/secの速度で降下させながら、深度1cmピッチでヒータ温度と地下水温を自動計測する。
- ④ センサがボーリング孔底まで達したのを確認し、計測を終了する。

●計測回数 → 食塩検層の1孔あたり数回に対し、1回で完了する。

加熱式地下水検層

性能確認試験

5. 加熱式地下水検層の性能確認試験



試験装置の構成

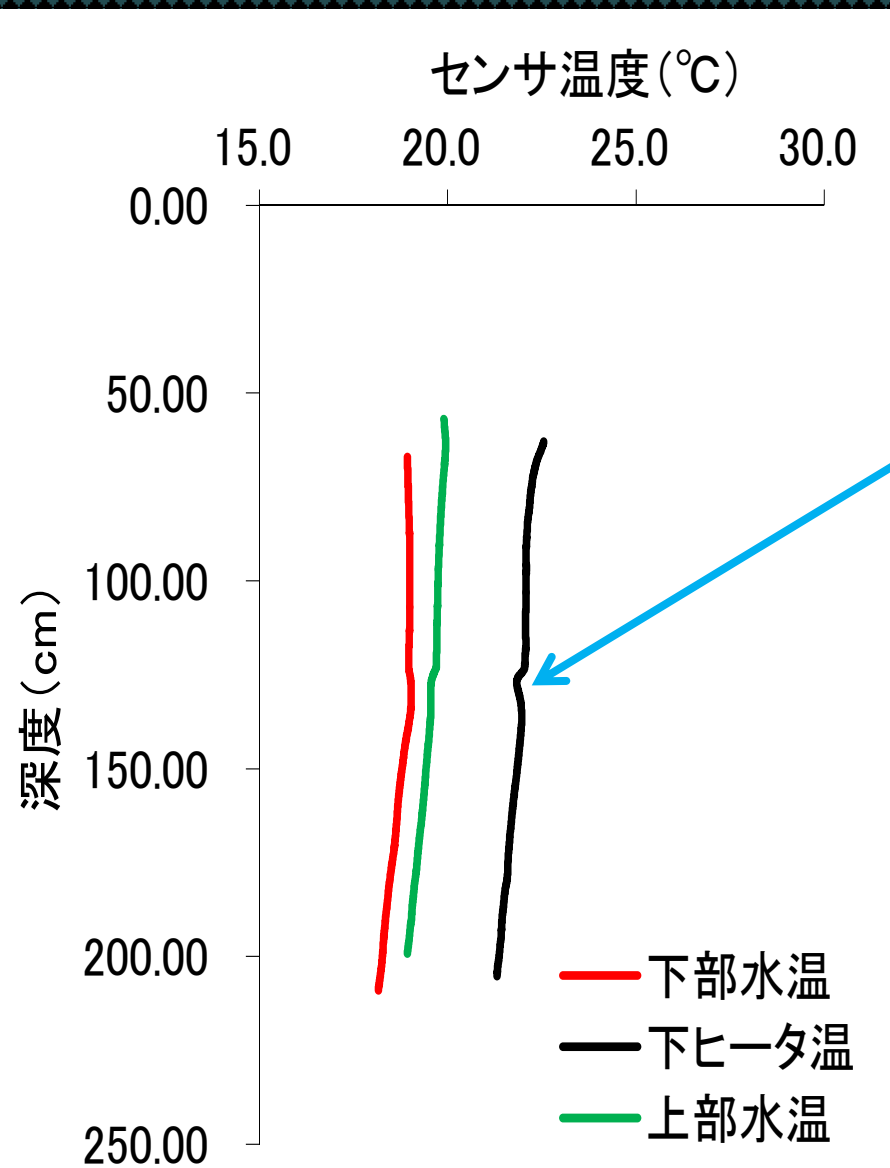
- ・水槽（長さ2.0m、幅2m、高さ1.5m）
- ・ボーリング孔に相当するストレーナ管（φ40mm 現場用）
- ・水タンクとストレーナ管の地下水流動層をつなぐパイプ（φ4mm）

●試験では、地下水流動層に水を供給し、加熱式地下水検層で地下水流動層の深度を調べた。

試験装置

5.1 加熱式地下水検層の性能確認試験結果

(1) 各温度センサでの温度分布(地下水流動層の流量100 ml/min)



局所的な温度低下が生じており、地下水流動層の設置深度と一致



地下水流動層が捉えられている。

5.2 加熱率を用いたデータ整理法

地すべり地のデータでは、深度方向の温度分布から、地下水流動層の深度判定ができない場合が数多くあった。

そこで、(1)式で求める加熱率によるデータ整理法を考案

$$\lambda = (T_{w2} - T_{w1}) / (T_h - T_{w1}) \quad (1)$$

ここで、 λ : 加熱率

T_{w2} : 加熱された地下水温 (°C)

T_{w1} : 地下水温 (°C)

T_h : 下ヒータ温 (°C)

である。

5.3 加熱率による地下水流動層の流量推定法

水流のない深度での加熱率は、地すべり地毎に異なった。



そこで、水流の影響がない加熱率を1.0とする基準化した値を(2)式で求め、同じ尺度で検討できる地下水流動層の流量推定法を考案した。

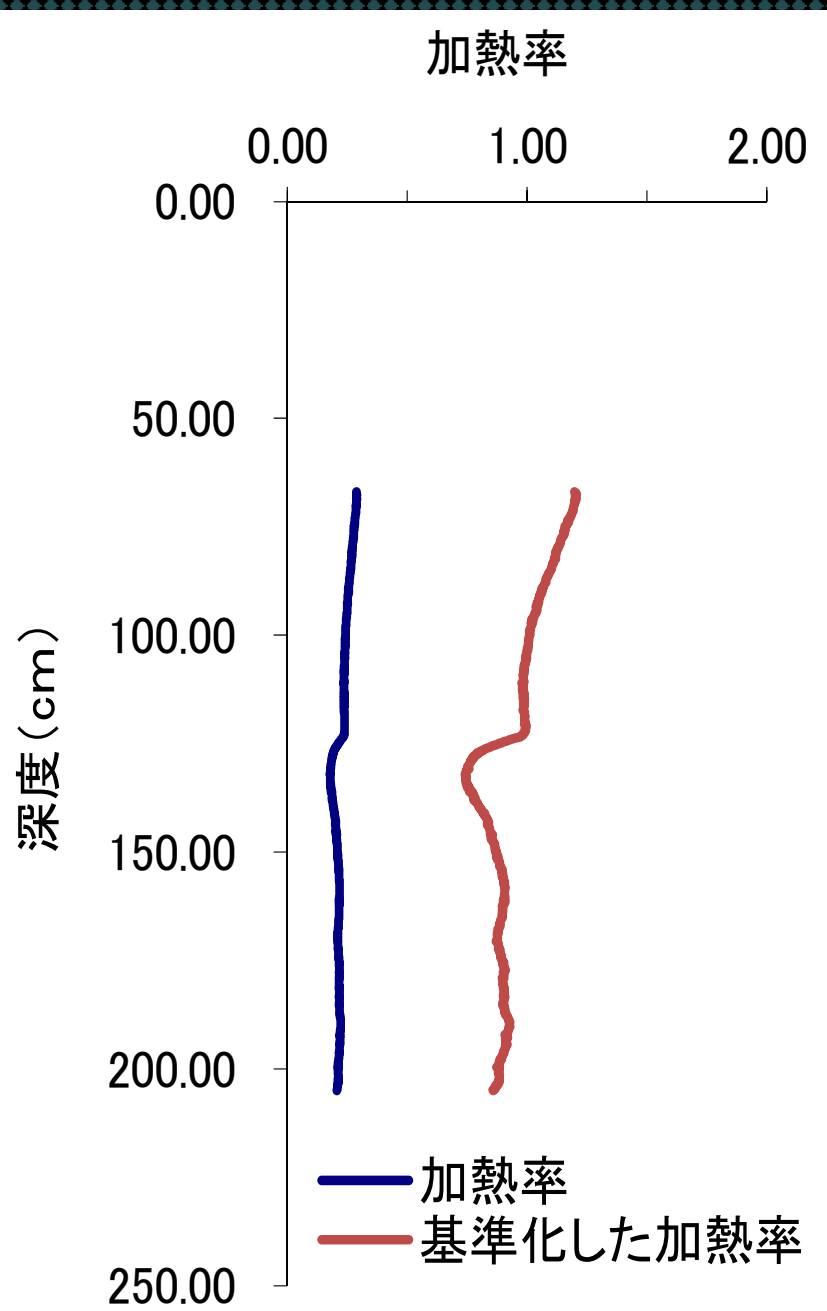
$$\lambda_d = \lambda / \lambda_b \quad (2)$$

ここで、 λ_d : 基準化した加熱率

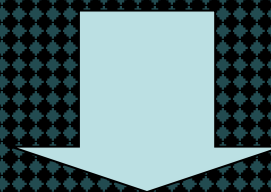
λ : 加熱率

λ_b : 地下水流動層からの水流の影響がない深度の加熱率である。

5.4 加熱率の深度方向の分布



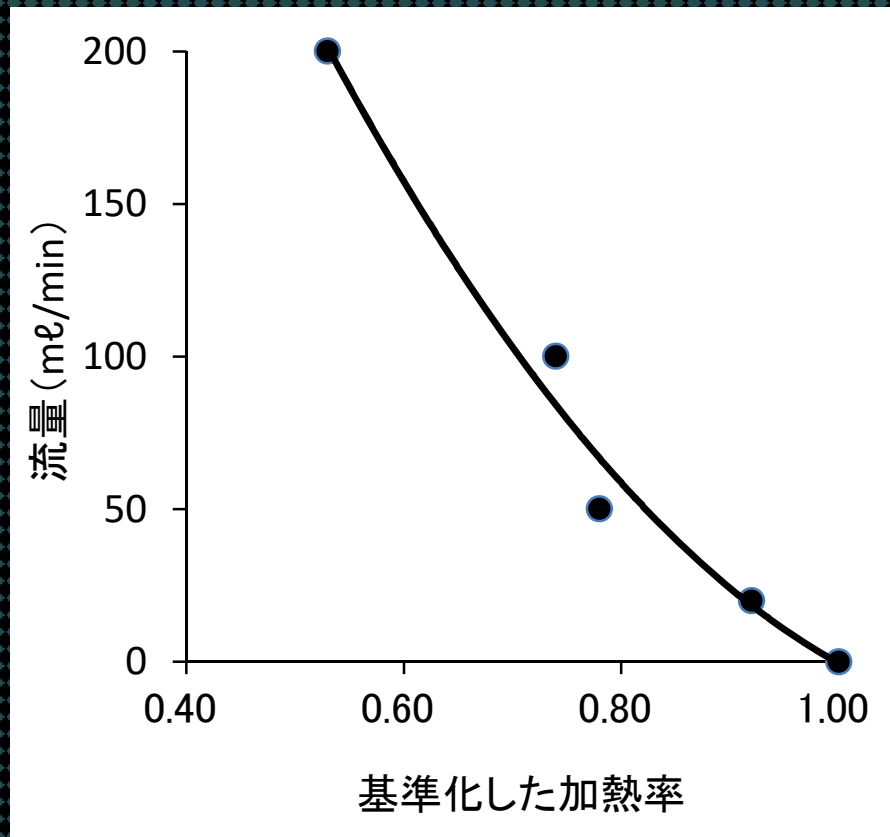
加熱率は、局部的に低下し、地下水流動層の設置深度と一致する。



地下水流動層深度の判定が温度変化に比べ容易になっている。

地すべり地のデータからは、**基準化した加熱率の変化**で、地下水流動層の深度判定が容易にできることが確認された。

5.5 基準化した加熱率と地下水流動層の流量との関係



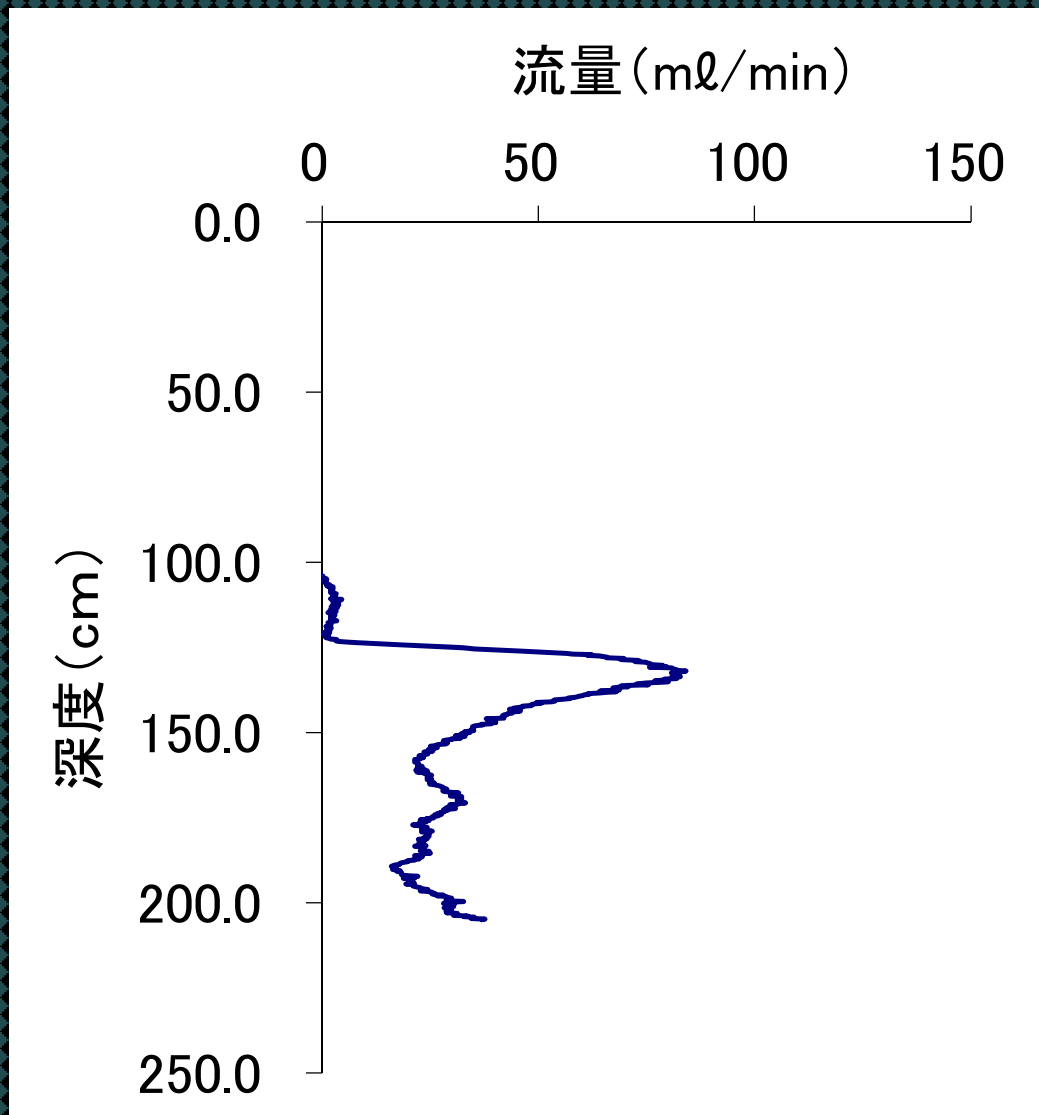
基準化した加熱率と流量との関係は、(3)式で表される。

$$Q = 495.53 \lambda_d^2 - 1187.30 \lambda_d + 691.36 \quad (3)$$

ただし、基準化した加熱率1.00の流量は、0ml/minとした。

また、 $Q < 0$ の場合は、 $Q = 0$ とする。

5.6 基準化した加熱率による流量推定結果



- ・流量は深度130cm付近でピーク値84 ml/minを示し、地下水流動層の深度と流量がほぼ正確に示されている。

現地適用試験

6. 現地適用試験結果



・ 滝坂地すべり(福島県)、赤崎地すべり(新潟県)で実施

6.1 滝坂地すべり(福島県)における現地適用試験

滝坂地すべり

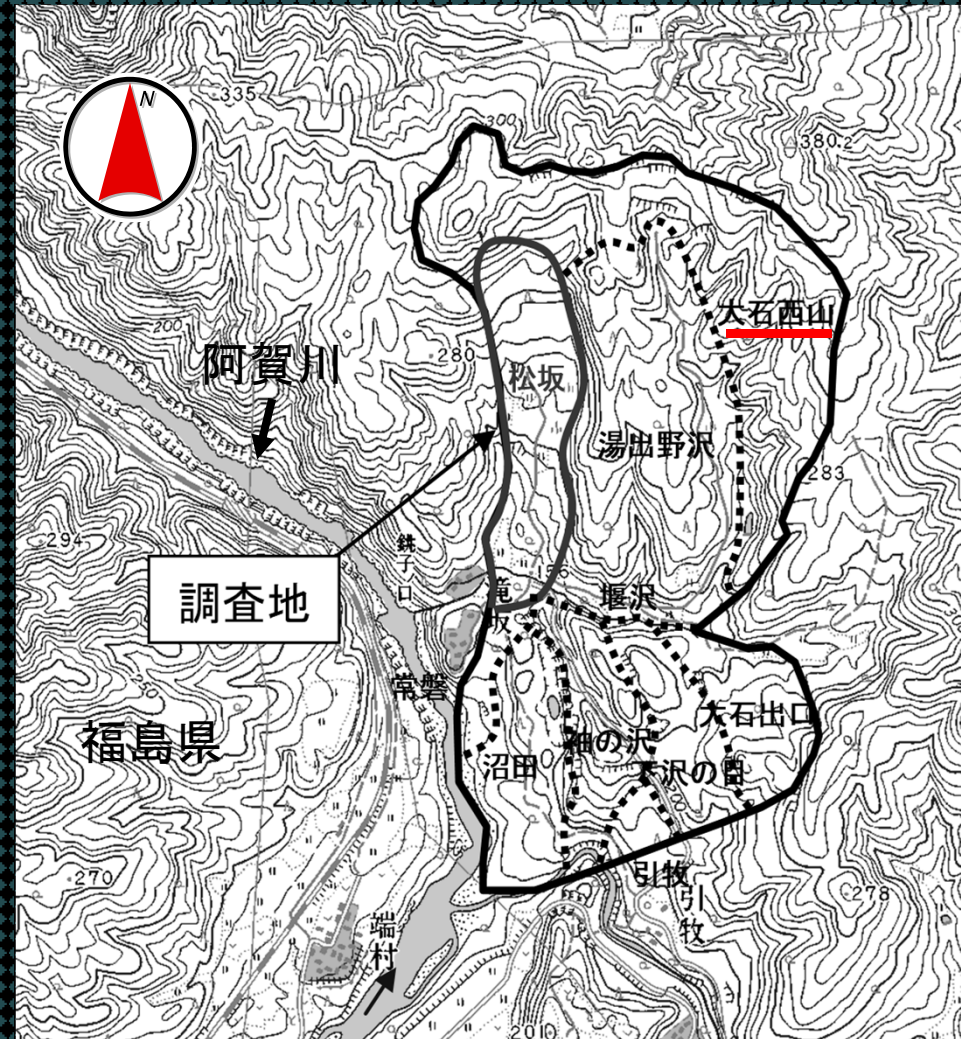
規模: 南北約2,100m

東西約1,300m

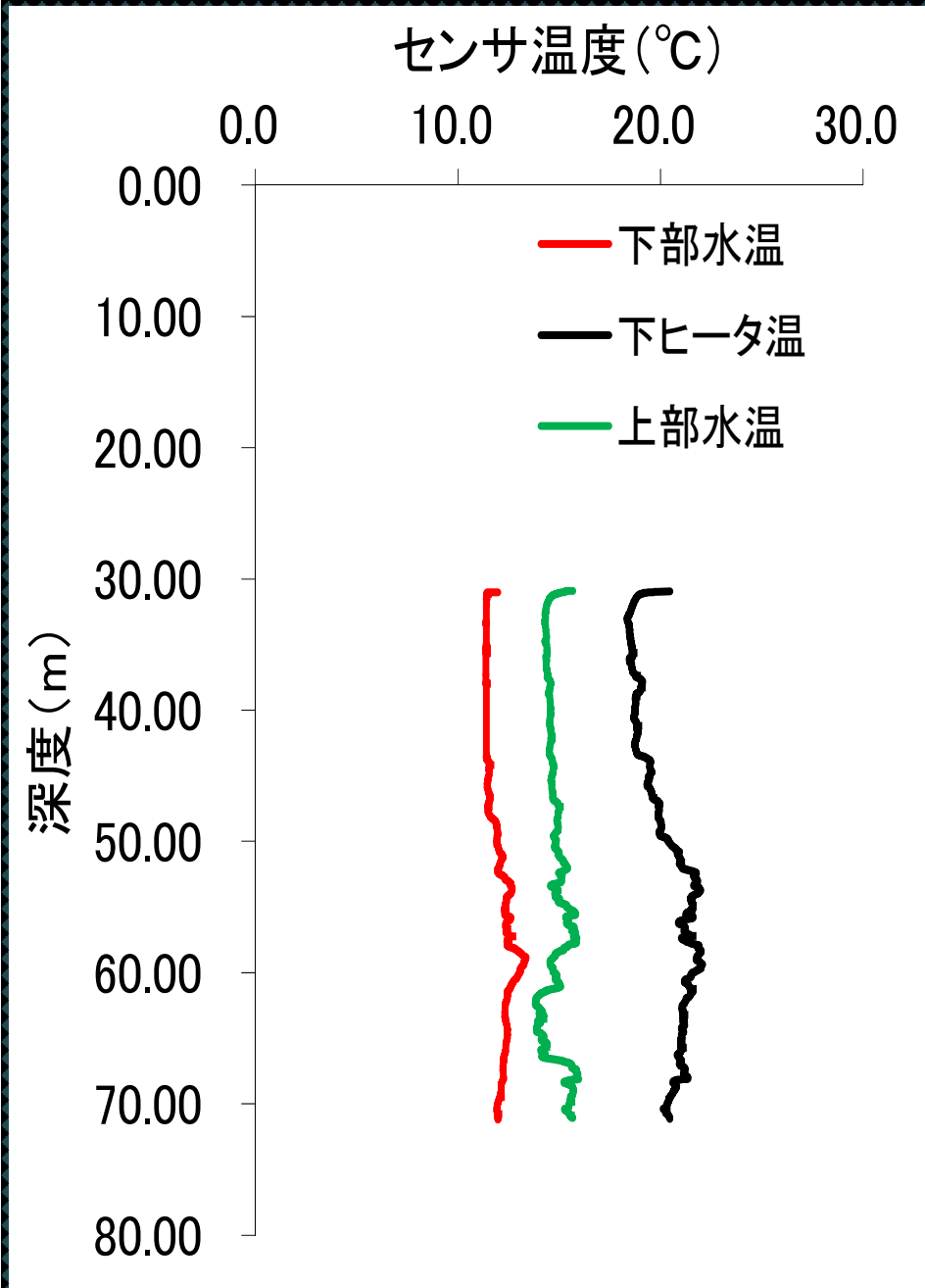
面積約150ha

(日本屈指の大規模地すべり)

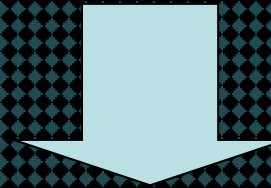
地質: 主に新第三系のグリーンタフ(緑色凝灰岩、砂岩、泥岩)が分布し、先第三系花崗閃緑岩が貫入している。



(1) ボーリング孔 (BV-286) の各温度センサでの温度分布

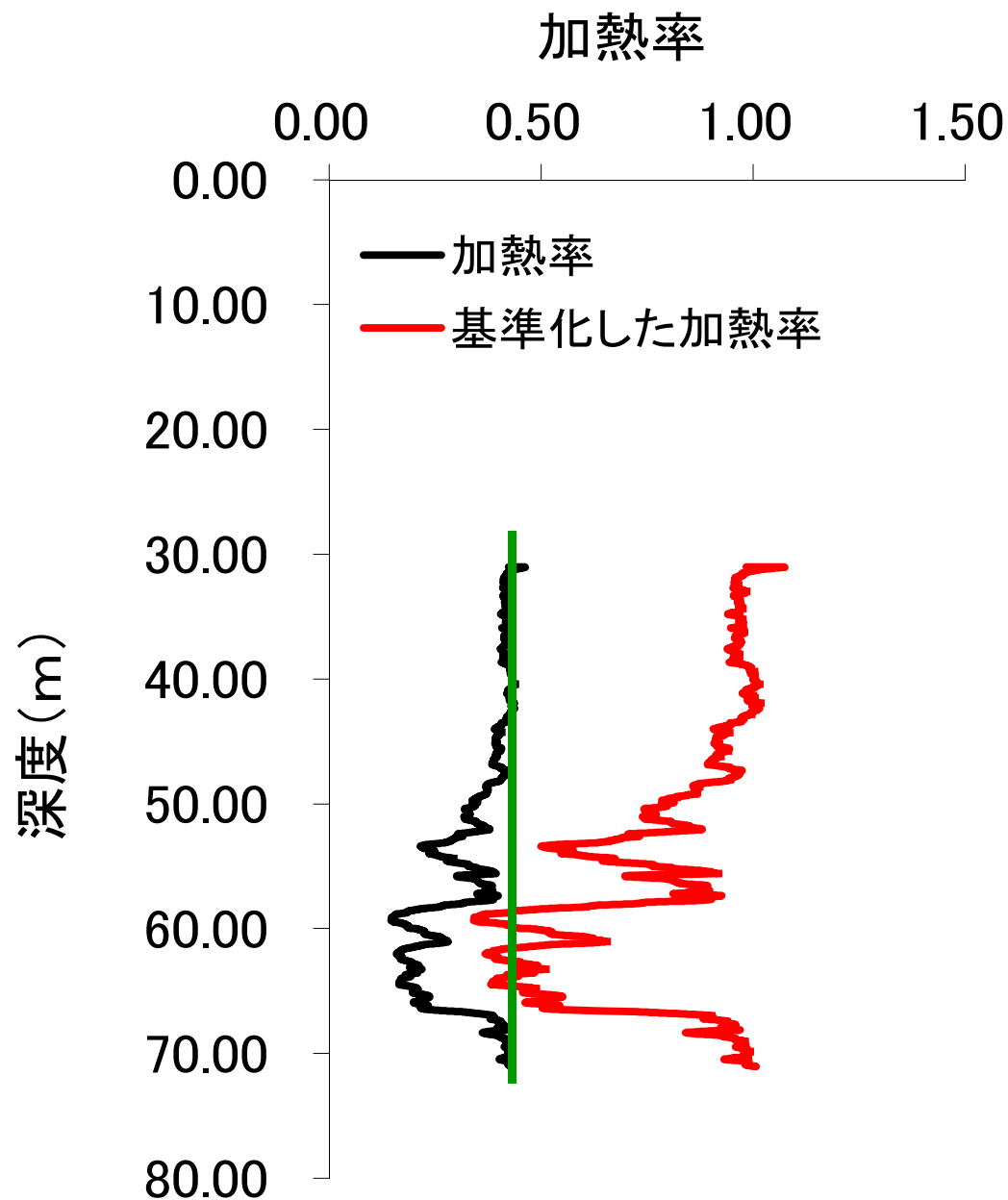


各温度センサでの温度は、変化する大きさと深度が異なる。

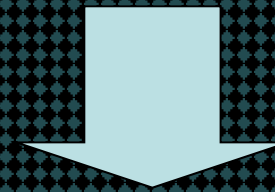


温度変化から、地下水流動層を明確に判定することは難しい。

(2) 加熱率の分布



加熱率の変化は、ほぼ0.43から始まり、大きく変化した後また0.43に戻っている。



深度方向の地下水流動層の判定が、容易になっている。

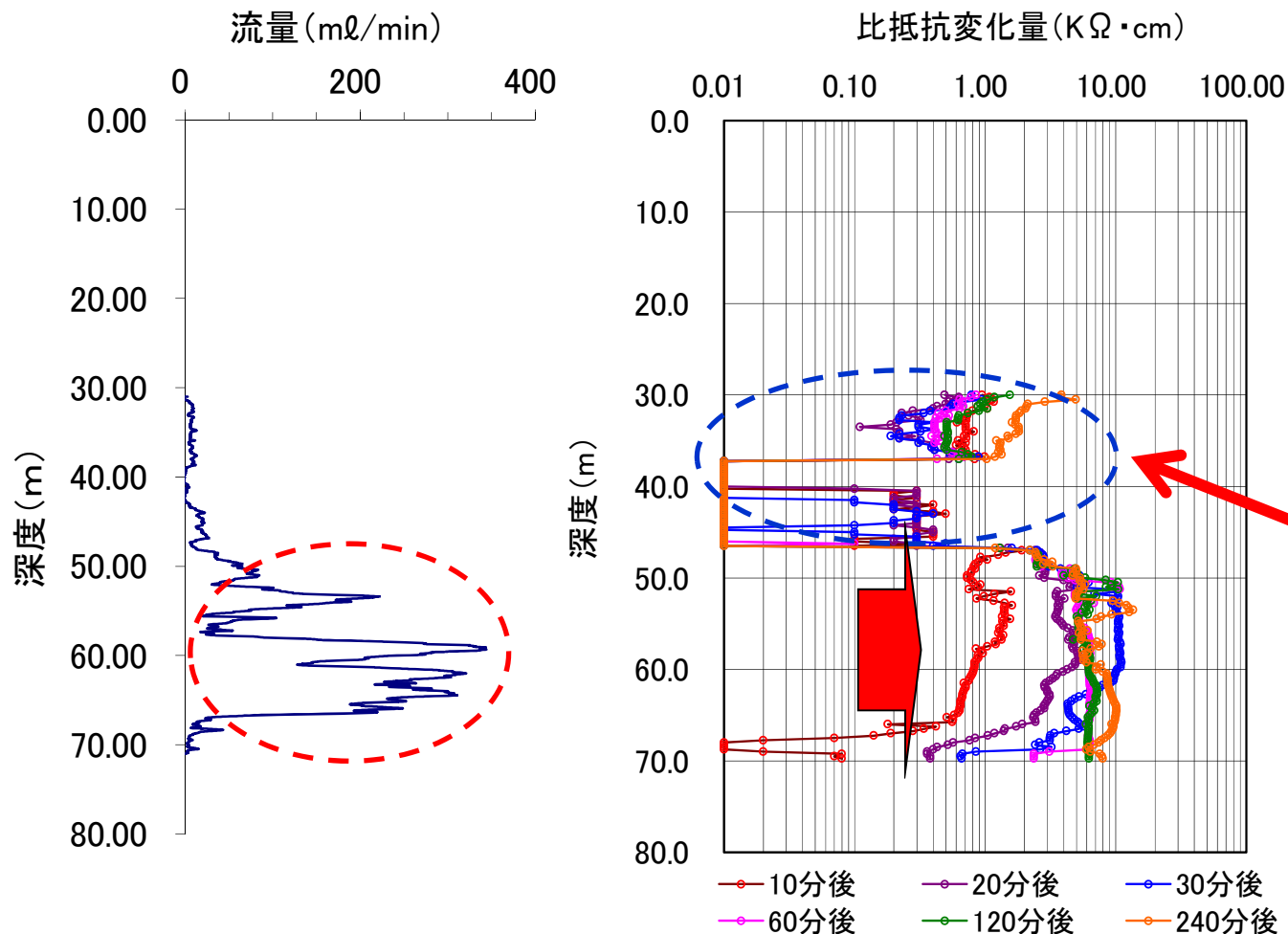
(3) 加熱式地下水検層と食塩検層との結果の対比

●加熱式地下水検層：

深度45～69mで、200ml/min以上の地下水流動層が捉えられている。

●食塩検層：

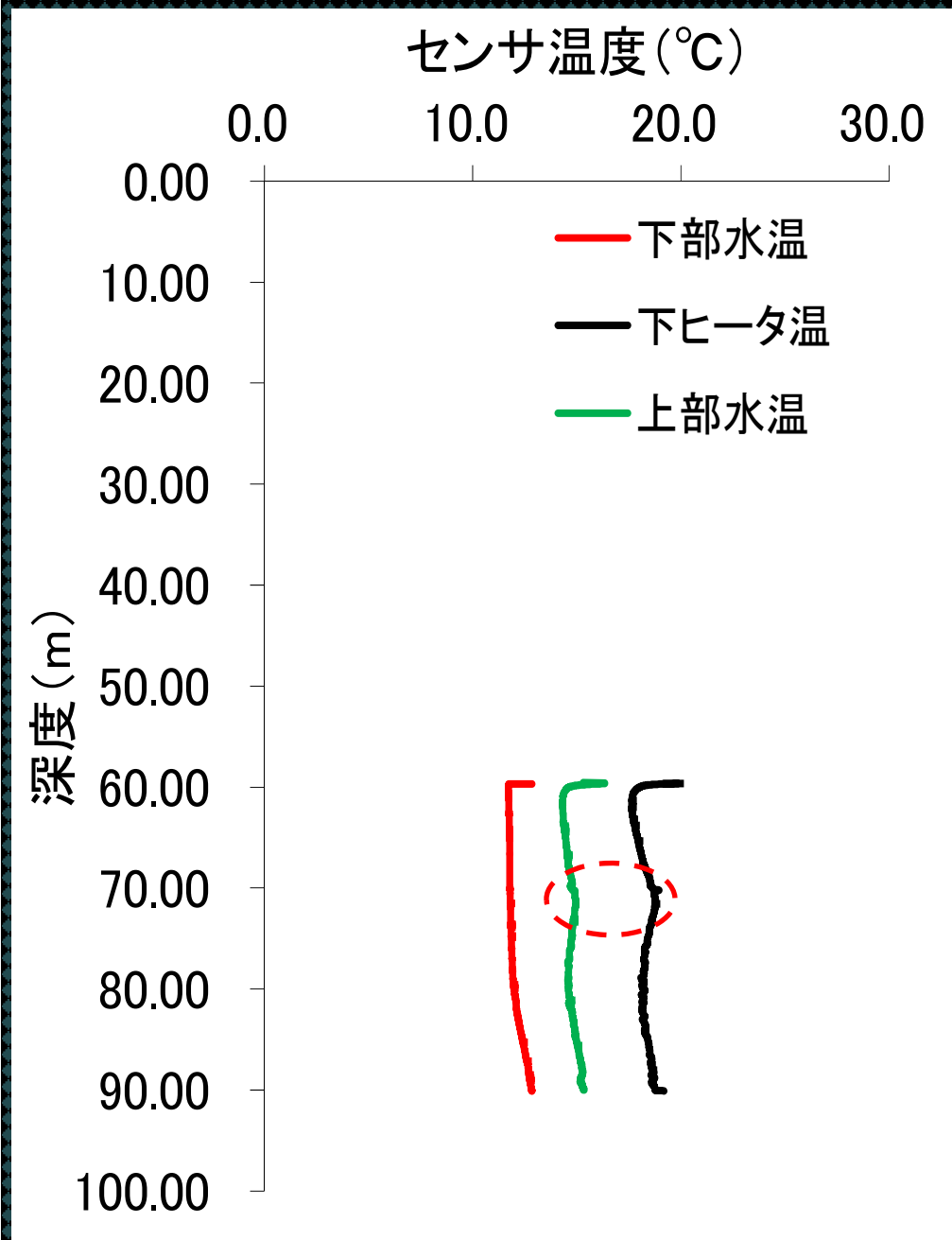
赤矢印の区間で比抵抗の増大があり、地下水流動層が捉えられている。



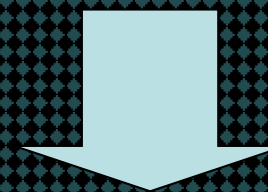
両者の地下水流動層は、ほぼ一致している。

比抵抗が単純に増大せず、不可解な変化をしている。

(4) ボーリング孔 (BV-284) の各温度センサでの温度分布

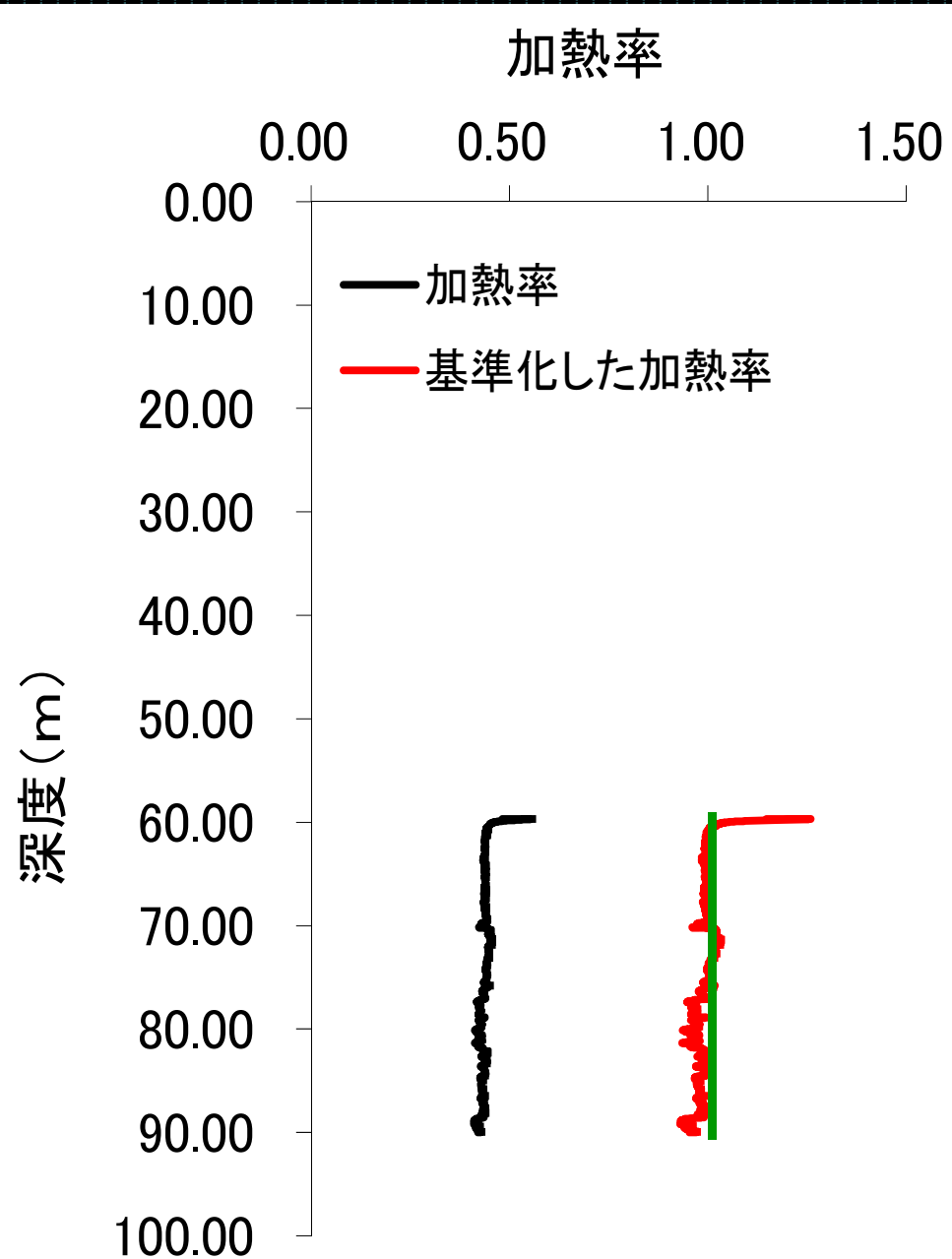


下部ヒータ温と上部水温は、深度72m付近で上昇している？

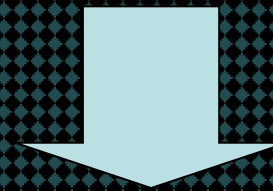


流速で水温は上昇しないので、この原因は不明である。

(5) 加熱率の分布



加熱率は局部的に変動するが、深度方向ではほぼ一定値で推移している。



地下水流動層の有無の判定が、容易になっている。

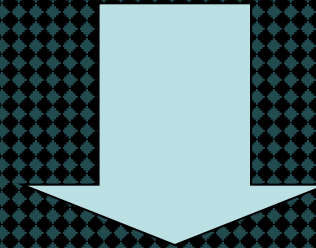
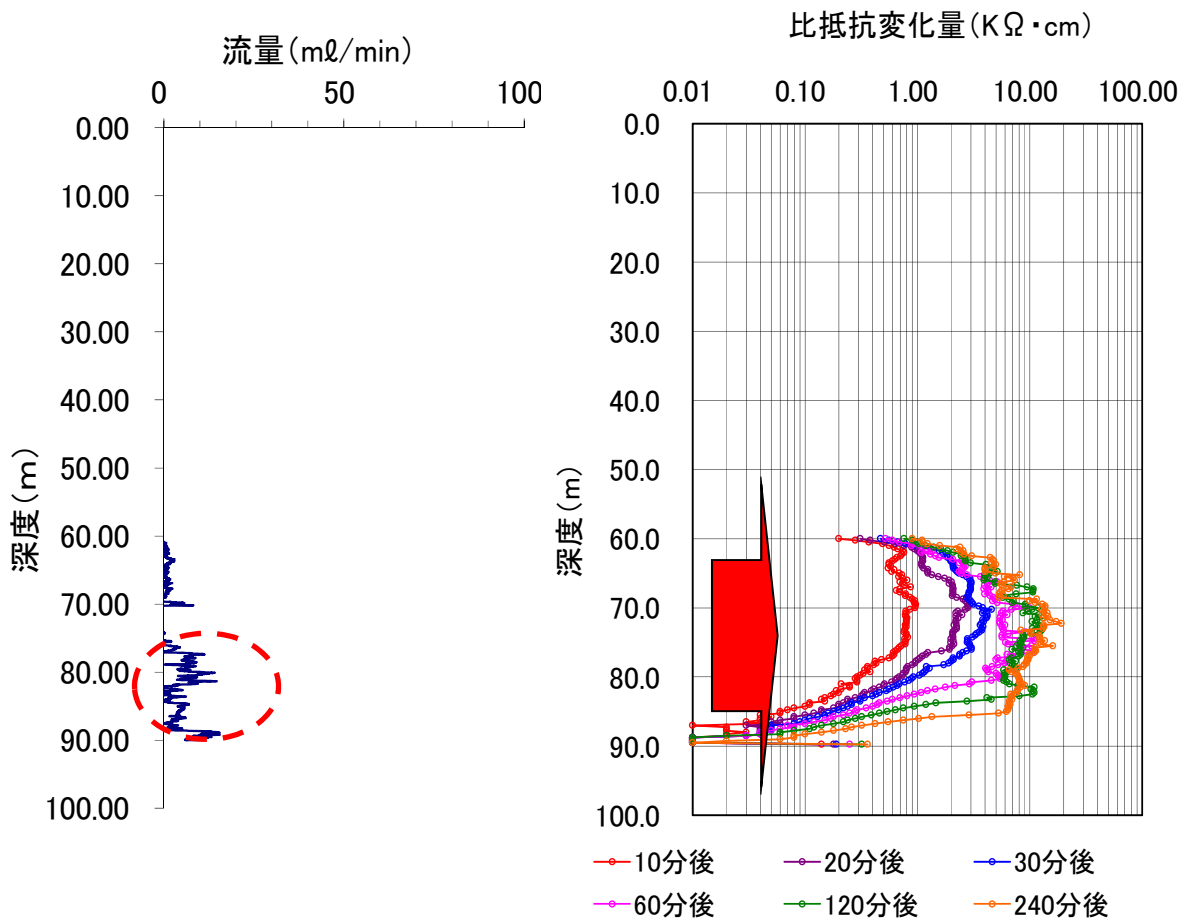
(6) 加熱式地下水検層と食塩検層との結果の対比

●加熱式地下水検層:

深度76~90mで流量が10ml/min前後の地下水流動層が捉えられている。

●食塩検層:

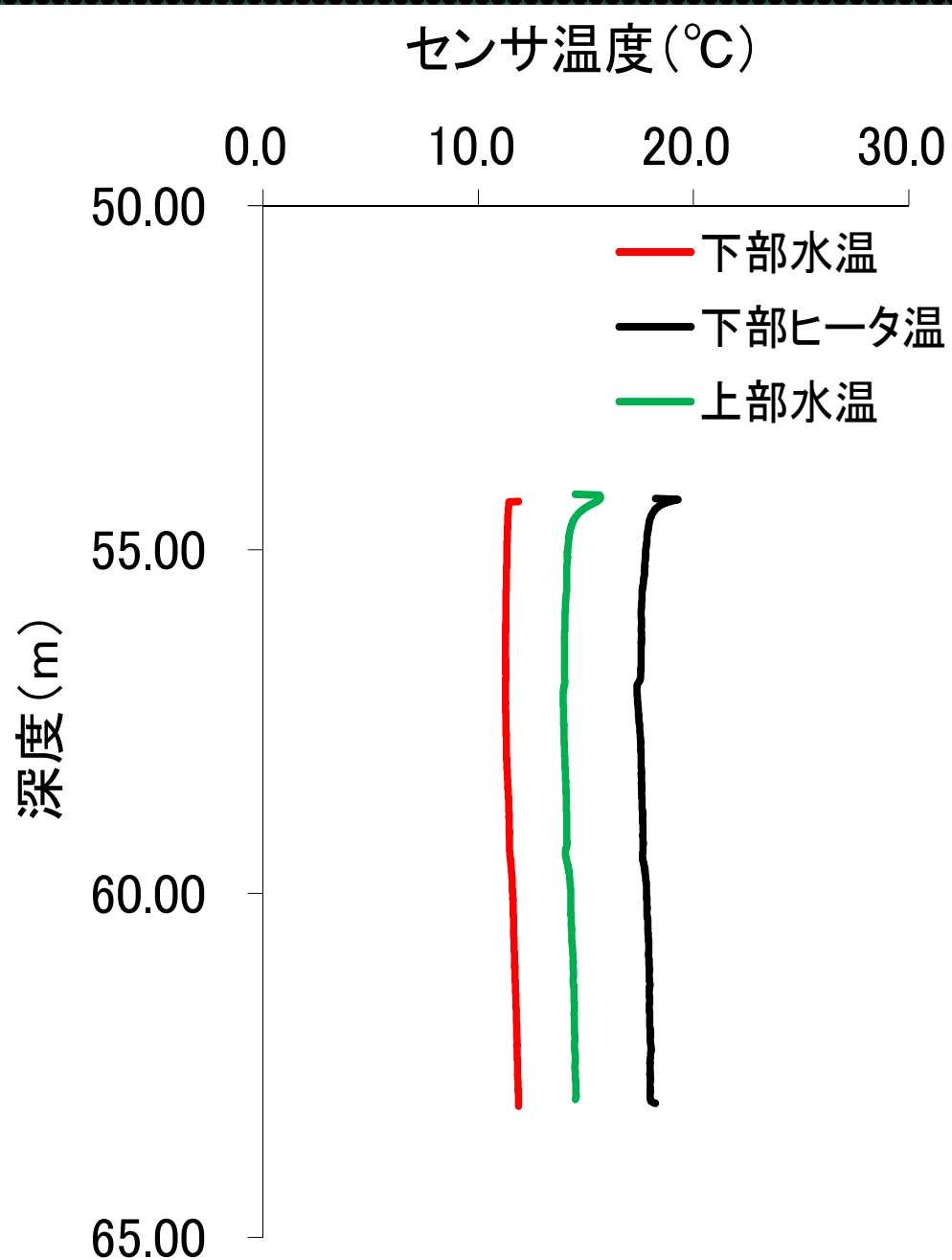
赤矢印の区間で比抵抗の増大があり、地下水流動層が捉えられている。



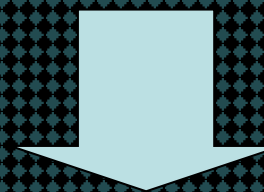
・両者の地下水流動層は、ほぼ一致している。

・食塩検層では地下水流動層の存在は分かるが、深度の特定は難しい。

(7) ボーリング孔 (BV-283) の各温度センサでの温度分布

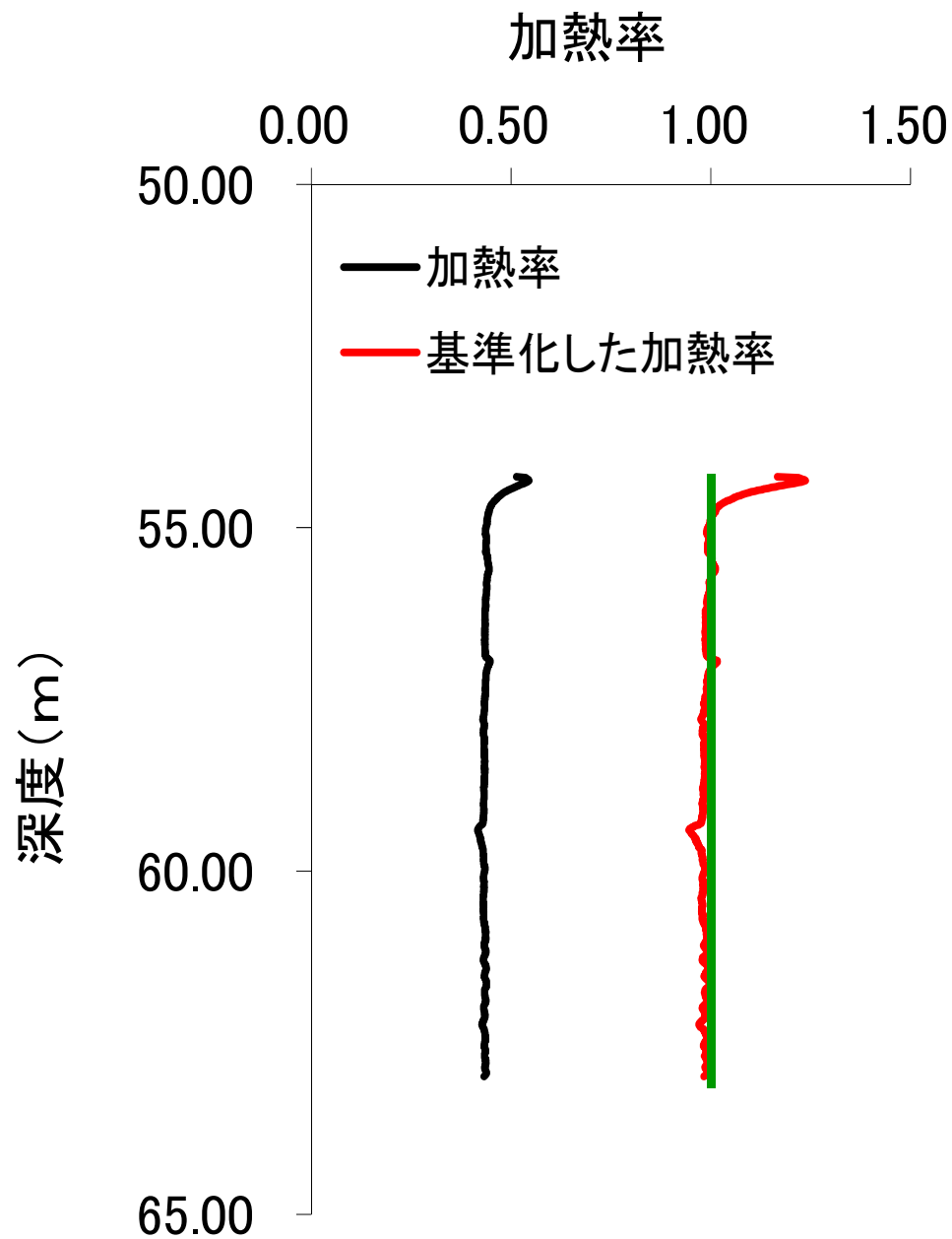


下部ヒータ温と上部水温の変化は小さい。

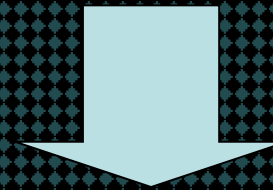


地下水流動層による温度の変化は、ほとんど認められない。

(8) 加熱率の分布



加熱率は局部的に小さく変動するが、深度方向ではほぼ一定値で推移している。



地下水流動層の有無の判定が、容易になっている。

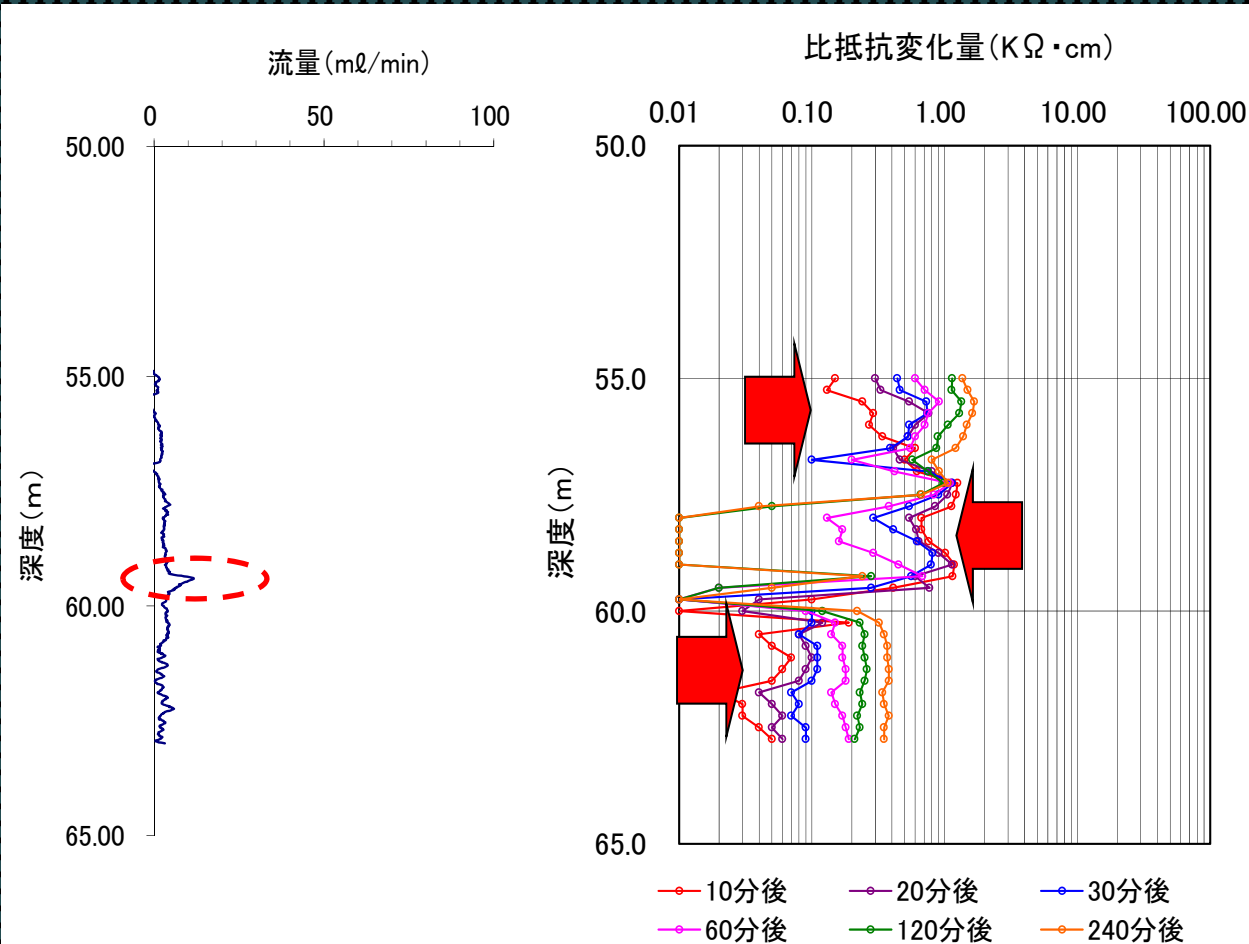
(9) 加熱式地下水検層と食塩検層との結果の対比

●加熱式地下水検層:

深度57mで流量が10ml/min前後の地下水流動層が捉えられている。

●食塩検層:

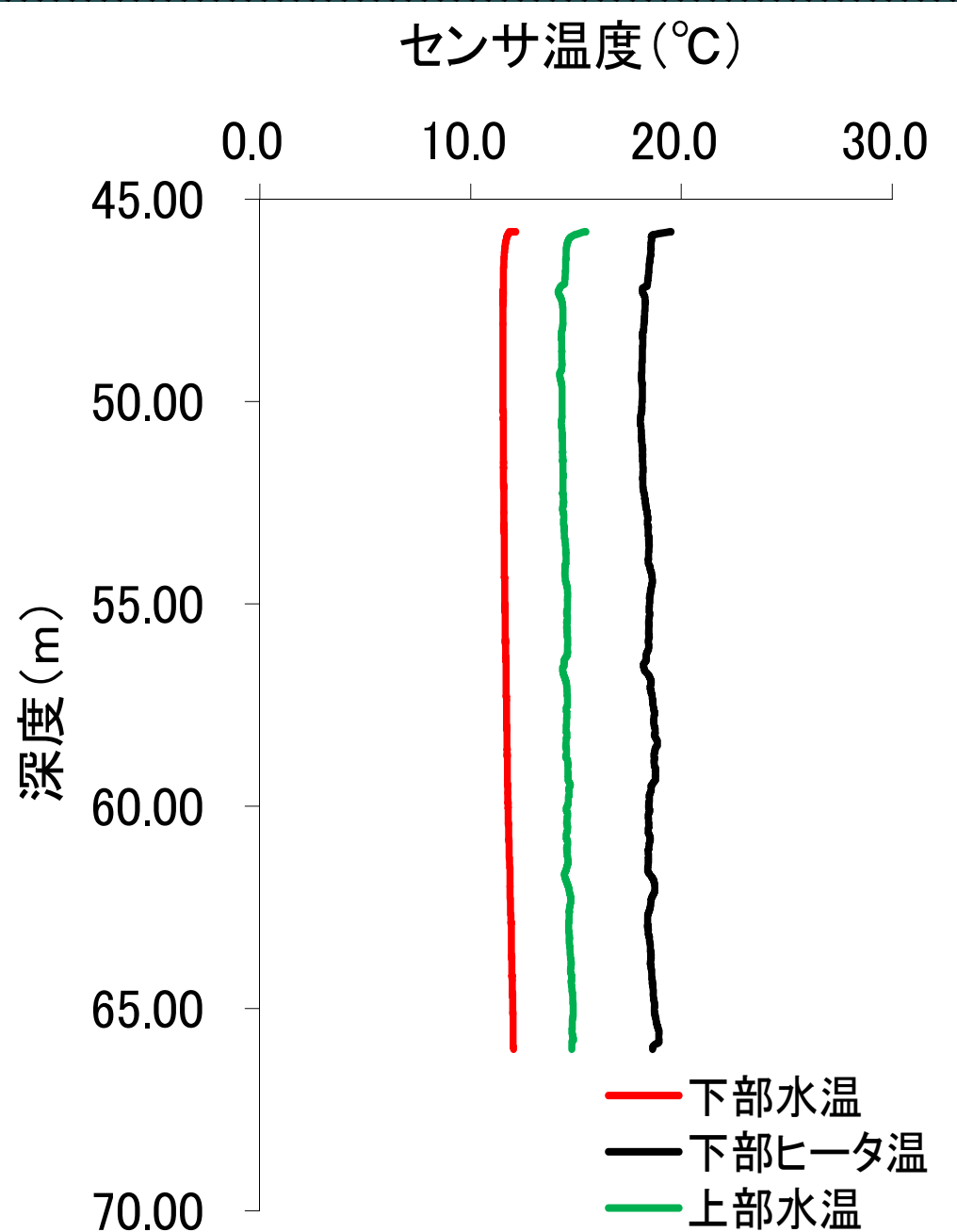
比抵抗の変化は全体に小さく、加熱式地下水検層での流量が少ない結果と一致している。



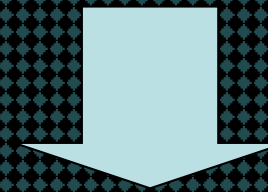
・食塩検層では、**赤矢印**のように、比抵抗が大きくなる区間と小さくなる区間がある。

・比抵抗の変化機構が複雑であり、地下水流動層の判定が容易でない。

(10) ボーリング孔 (BV-285) の各温度センサでの温度分布

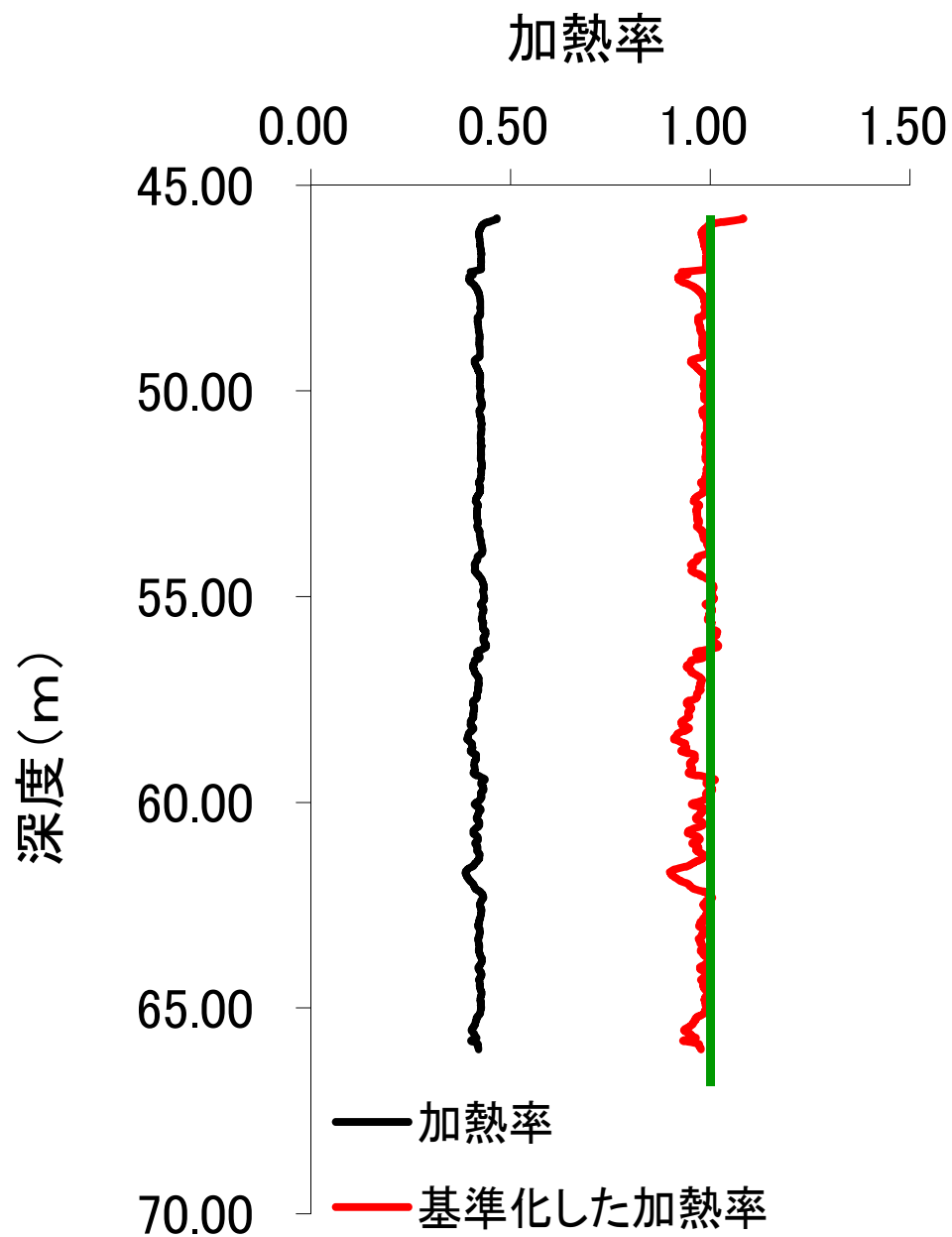


下部ヒータ温と上部水温の変化は小さい。

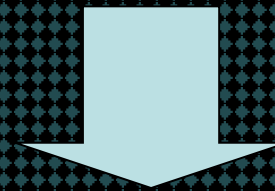


地下水流動層による温度の変化は、ほとんど認められない。

(11) 加熱率の分布



加熱率は局部的に変動するが、深度方向ではほぼ一定値で推移している。



地下水流動層の有無の判定が、容易になっている。

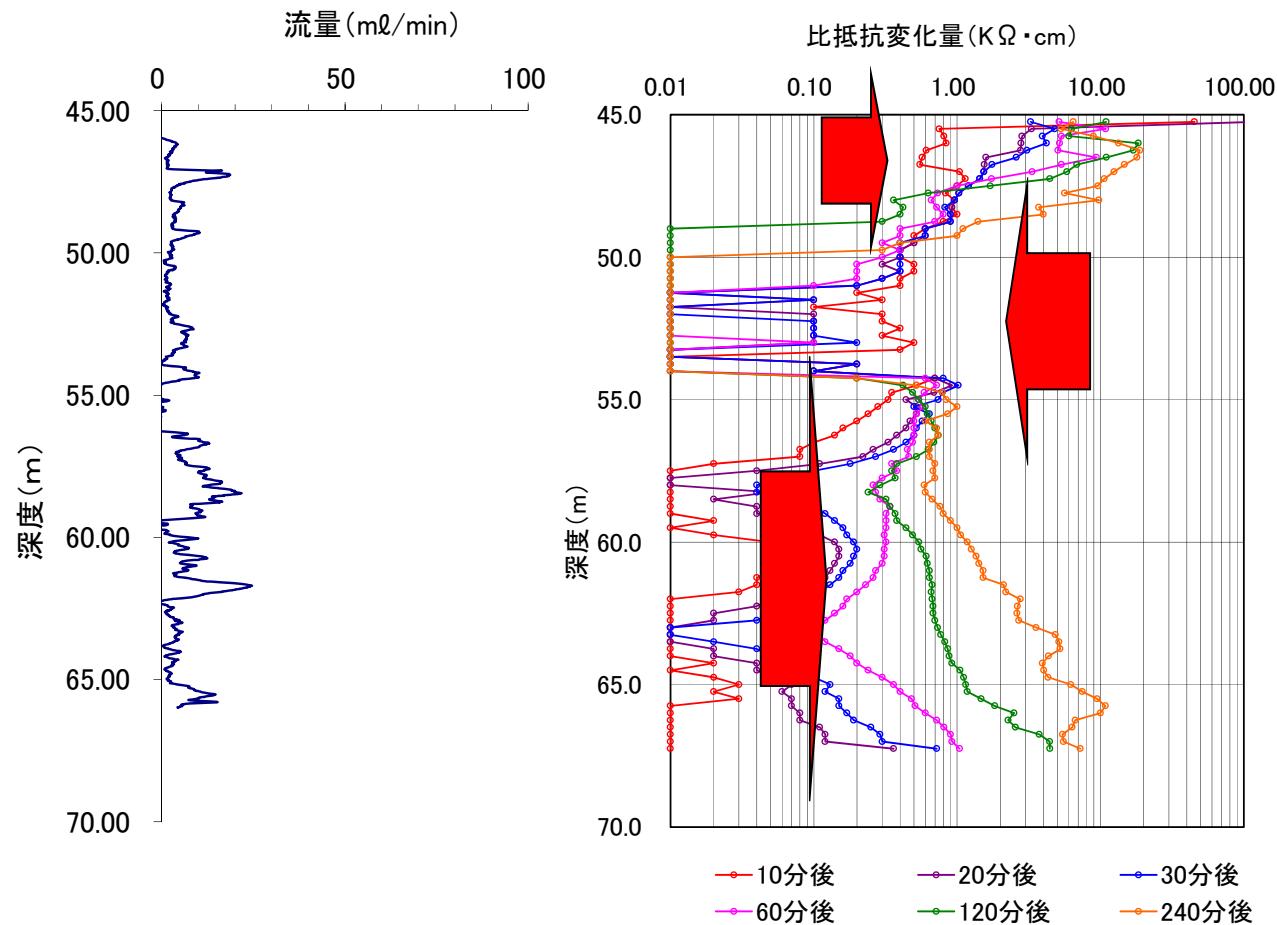
(12) 加熱式地下水検層と食塩検層との結果の対比

●加熱式地下水検層:

流量は少ないが、幾つもの地下水流動層が捉えられている。

●食塩検層:

比抵抗は、**赤矢印**のように大きくなる区間と小さくなる区間がある。



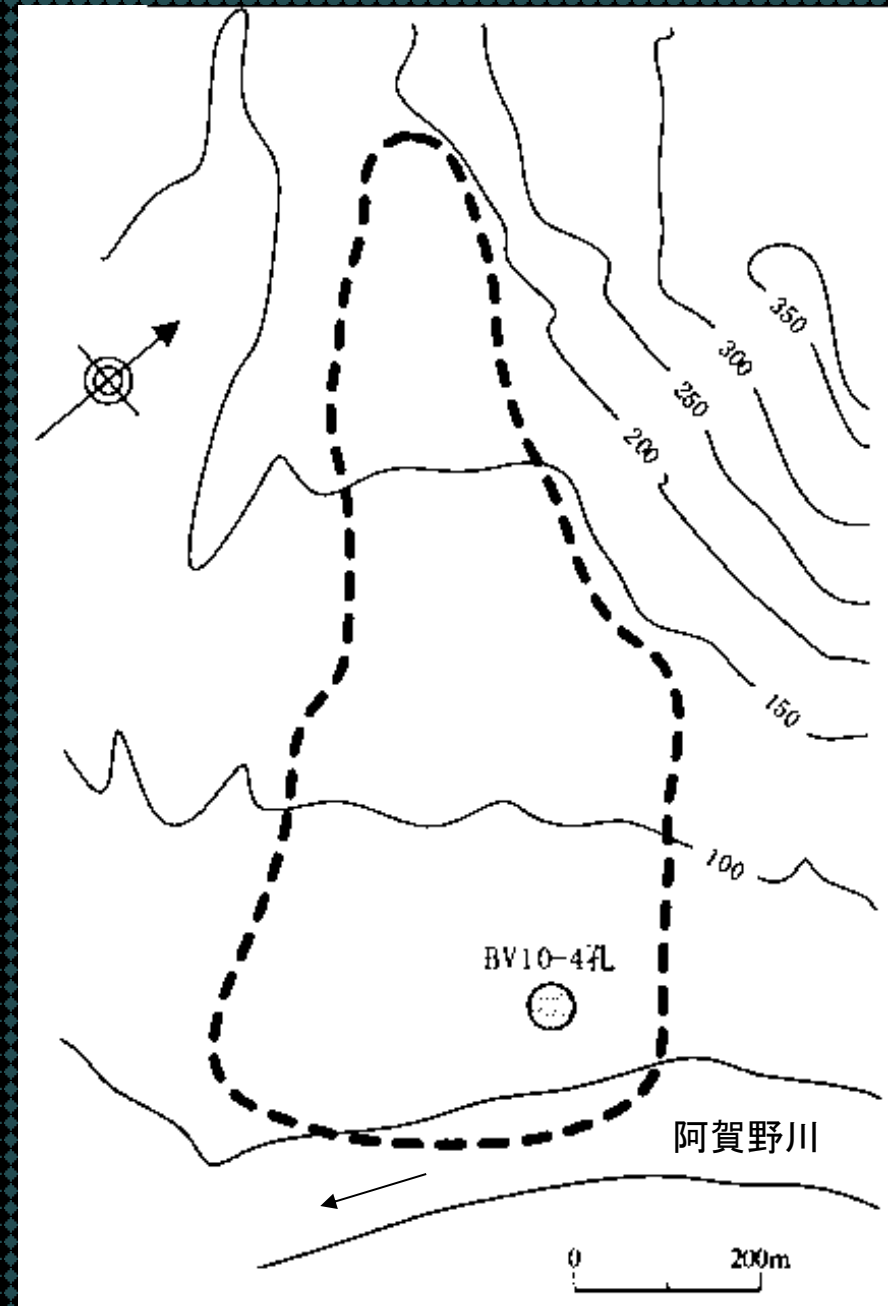
食塩検層では、**比抵抗**の変化機構が複雑であり、地下水流動層の判定が容易でない。

6.2 赤崎地すべりにおける現地適用試験

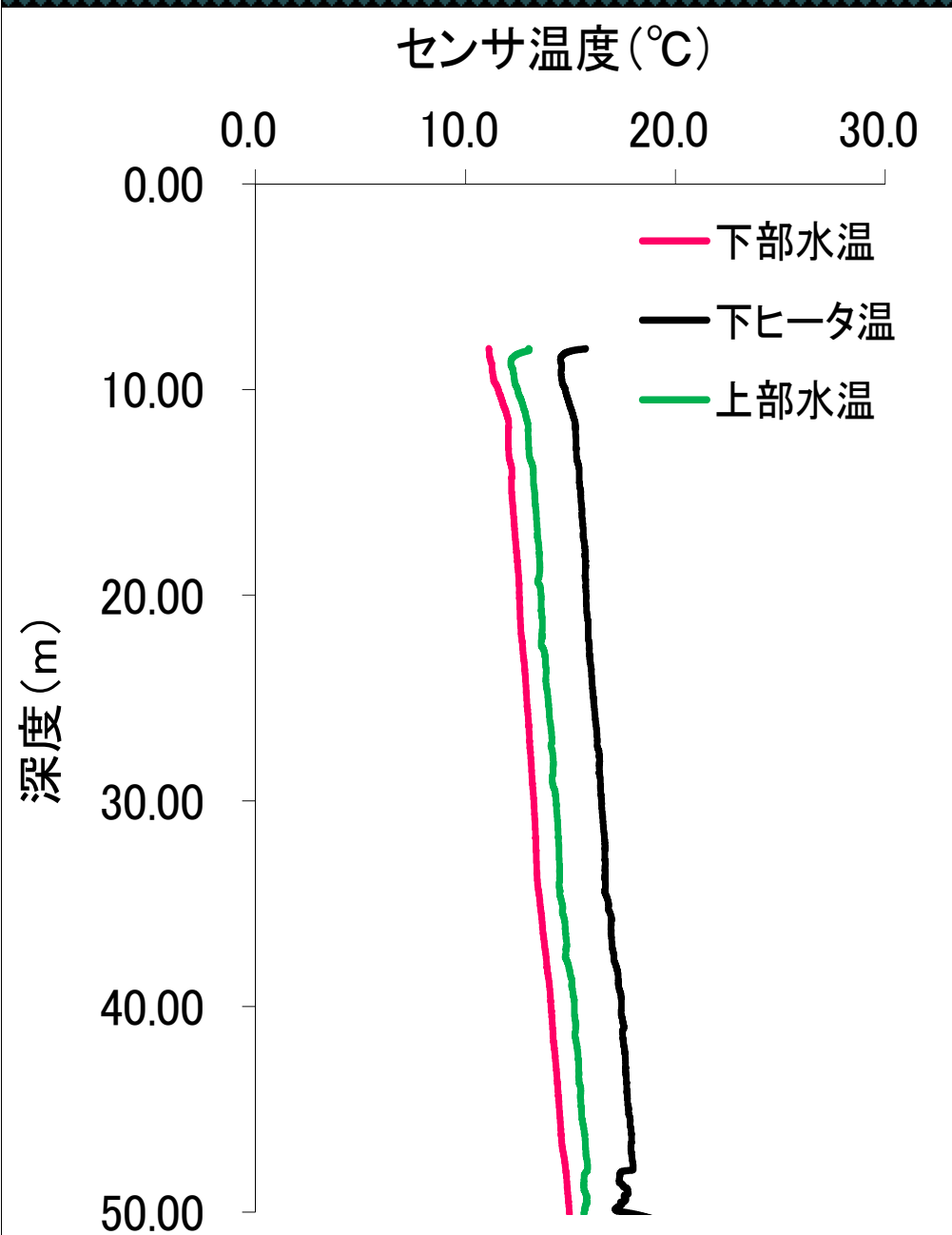
●赤崎地すべり

規模：長さ約1,000m、幅約500m、
面積約53ha

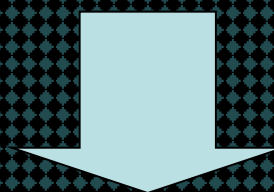
地質：基岩が新第三系の津川層、
凝灰岩とアルコース質砂岩
から成る。



(1) ボーリング孔の各温度センサでの温度分布

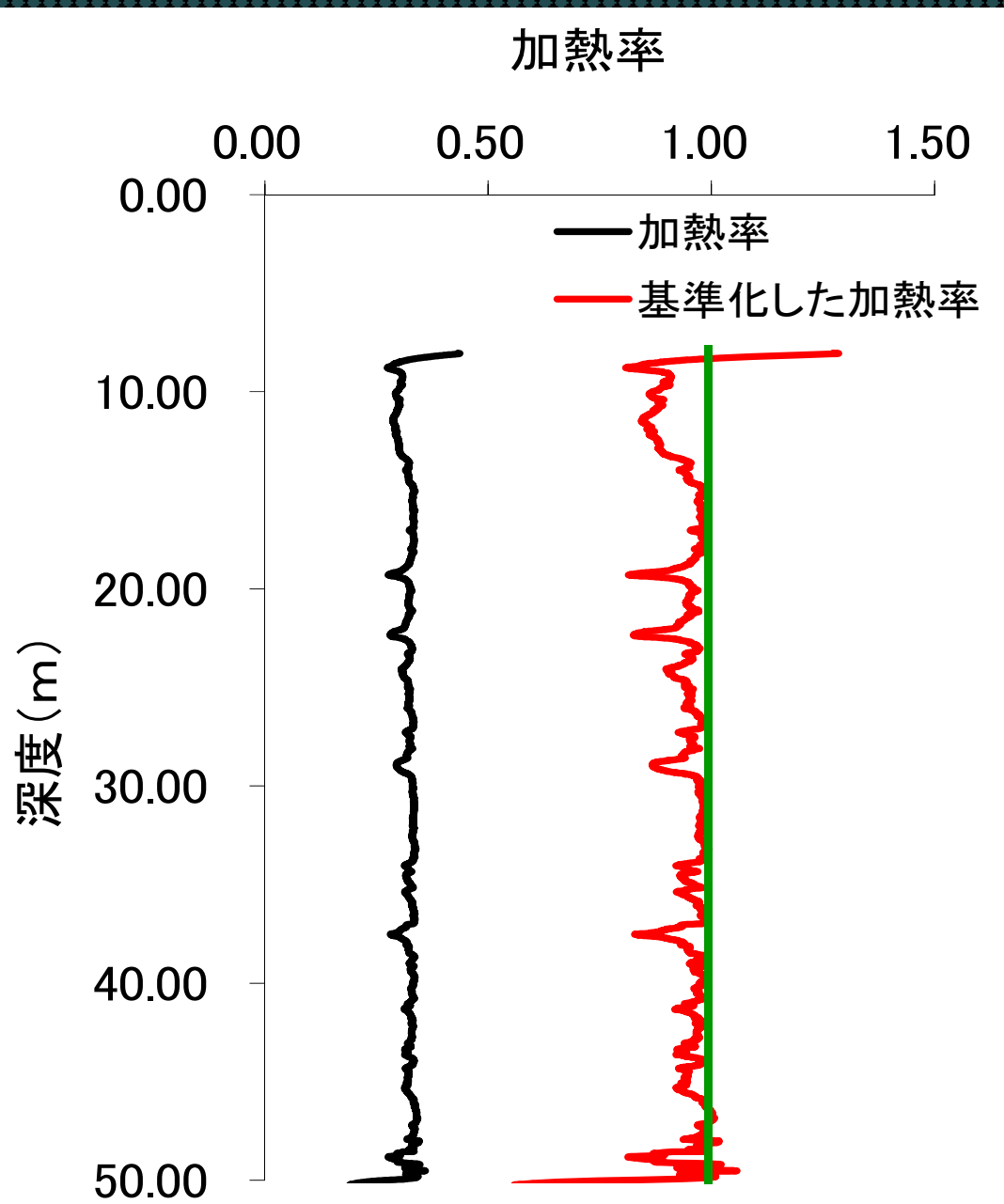


各温度は、深度の増大に伴い上昇する傾向があるが、局所的な温度の低下は認められない。

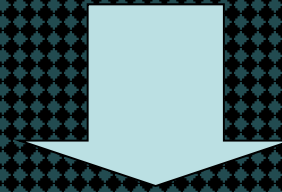


各温度変化から、地下水流動層の判定は難しい。

(2) 加熱率の分布



加熱率は局部的には変動するが、深度方向ではほぼ一定値で推移している。



地下水流動層の深度の判定が容易になっている。

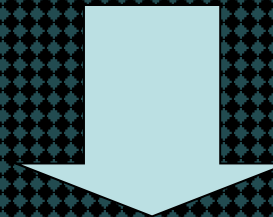
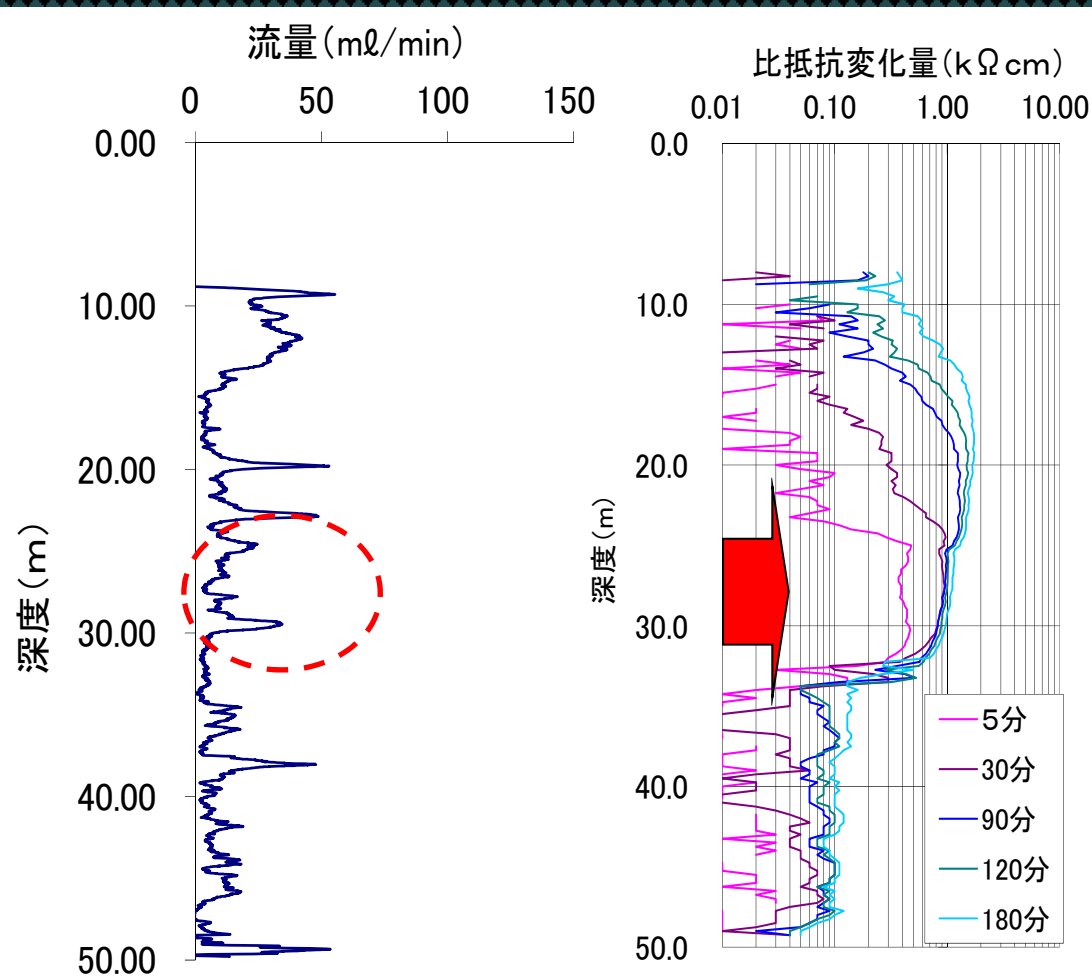
(3) 加熱式地下水検層と食塩検層との結果の対比

●加熱式地下水検層：

流量が50ml/minに達する地下水流動層が5箇所で見えられている。

●食塩検層：

赤矢印の区間で比抵抗の増大があり、地下水流動層が見えられている。



・食塩検層の地下水流動層は、加熱式地下水検層の深度20～30mの地下水流動層が対応している。

・食塩検層では地下水流動層の存在は分かるが、細かな深度の特定は難しい。

まとめ

7. まとめ

加熱式地下水検層には以下の特徴があり、現地適用試験では性能が確認された。

●加熱式地下水検層の特徴

- 1) 計測回数が1回で済む。
- 2) ボーリング孔内地下水中に薬剤等を溶かす必要がない。
- 3) 地下水の比抵抗の大小に関係なく調査できる。
- 4) 調査結果から地下水流動層の判定が容易にできる。

調査の希望があれば、対応しますので、ご連絡下さい。

TEL 0255-72-4131

雪崩・地すべり研究センター

担当 丸山