

第49回試錐研究会

講演資料集

開催日 平成23年2月17日(木)
会場 札幌サンプラザ 「金枝の間」
(札幌市北区北24条西5丁目)
主催 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 地質研究所
協賛 北海道地質調査業協会
社団法人全国さく井協会北海道支部

第 49 回試錐研究会プログラム

日 時 : 平成 23 年 2 月 17 日 (木) 13:00~17:30

場 所 : 札幌サンプラザ 2 階「金枝の間」

(札幌市北区北 24 条西 5 丁目 Tel. 011-758-3111)

主 催 : 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 地質研究所

協 賛 : 北海道地質調査業協会・社団法人全国さく井協会北海道支部

13:00 開会

開会の挨拶 (13:00 ~ 13:10)

北海道立総合研究機構 地質研究所 所長 藤本 和徳

特別講演「地すべり調査における試錐の役割とその活用」(13:10~14:50)

13:10 ~ 13:50 地すべり調査におけるボーリングの役割

防災地質工業(株) 雨宮 和夫

13:50 ~ 14:20 地すべり調査ボーリングと掘削技術

明治コンサルタント(株) 坪山 厚実

14:20 ~ 14:50 地すべり調査ボーリングのコア観察

(有)地盤工房 中村 研

休憩 (14:50 ~ 15:20)

一般講演 (15:20~17:20)

15:20 ~ 15:45 表面波探査の温泉・地下水調査への応用

アースサイエンス(株) 加藤 孝幸
(株)有賀さく泉工業 渡邊 哲夫
(有)ハーデスサーブ 布川 昭一

15:45 ~ 16:10 汎用型ボアホールカメラの適応性について

(株)ドーコン 山田 司

休憩 (16:10 ~ 16:30)

16:30 ~ 16:55 最近係わった温泉のホウ素とメタンについて

北海道立衛生研究所 内野 栄治

16:55 ~ 17:20 化学組成からみたニセコ地域の温泉 -南部から東部の温泉の特徴-

北海道立総合研究機構 地質研究所 柴田 智郎

閉会の挨拶 (17:20 ~ 17:30)

北海道地質調査業協会 理事長 千葉 新次

17:30 閉会

18:00 ~ 意見交換会

目 次

□ 特別講演「地すべり調査における試錐の役割とその活用」

地すべり調査におけるボーリングの役割	1
防災地質工業(株) 雨宮 和夫	
地すべり調査ボーリングと掘削技術	3
明治コンサルタント(株) 坪山 厚実	
地すべり調査ボーリングのコア観察	17
(有)地盤工房 中村 研	

□ 一般講演

表面波探査の温泉・地下水調査への応用	25
アースサイエンス(株) 加藤 孝幸 (株)有賀さく泉工業 渡邊 哲夫 (有)ハーデスサーブ 布川 昭一	
汎用型ボアホールカメラの適応性について	32
(株)ドーコン 山田 司	
最近係わった温泉のホウ素とメタンについて	42
北海道立衛生研究所 内野 栄治	
化学組成からみたニセコ地域の温泉 -南部から東部の温泉の特徴-	50
北海道立総合研究機構 地質研究所 柴田 智郎	

特別講演

「地すべり調査における試錐の役割とその活用」

地すべり調査におけるボーリングの役割 …………… 1

防災地質工業(株) 雨宮 和夫

地すべり調査ボーリングと掘削技術 …………… 3

明治コンサルタント(株) 坪山 厚実

地すべり調査ボーリングのコア観察 …………… 17

(有)地盤工房 中村 研

地すべり調査におけるボーリングの役割

雨宮 和夫*

*防災地質工業株式会社

キーワード：地すべり，すべり面，すべり層，孔内水位，地下水排除工

1. はじめに

ボーリング掘削技術，特にコア採取技術の近年の進歩は，斜面地質学においても画期的な発展をもたらした。これは同時に，調査時のボーリング技術およびコア観察技術に，格段に高い要求が突きつけられることになった。この背景には，ボーリング技術の進歩もさることながら，斜面地質学での，構造地質学や堆積学の知見の適用や共通認識が進んだことも関係していると思われる。また，計測技術の進歩により，地すべり変動を多角的総合的に観察・解析できるようになってきたことも大いに貢献している。

2. すべり層のコア採取と地すべり解析

地すべりの解析にとって最大の課題である地すべり移動体の断面形状の把握は，すべり層（すべり面）を判定しておこなう。これはボーリング調査によっておこなわれている。しかし約20年前までのダブルコア掘削では採取がほとんど不可能で，すべり層付近は無水掘削が普通であった。スリーブ内蔵式サンプラーなどの普及により，すべり層を直接手にとって観察できるようになった。これによりすべり層の判定がかなり可能になってきた。また，すべり層を原状に近い状態で直接手にとって観察できるようになった結果，そのすべり層が，現在地すべり変動している“生きた”すべり層（すべり面粘土）か“死んだ”すべり面粘土かを判定することも可能となった。

地すべり地の地すべり移動体とその内部構造，それ以外の地質構成とを把握することができれば，地すべりの復元・発達史を論じることができる。地すべり変動が大きくなると，移動体はしばしば下の河川堆積物や対岸斜面を覆うこともある。この点でも，礫と軟弱な基質が混在する物質を，原状をほとんど損なわずに採取できる掘削技術の進歩が貢献している。

3. ボーリング孔を利用した計測技術と地すべり

3.1 地中変位計測と地すべり構造・運動

すべり層の地中変位を計測する方法として，パイプ歪計，孔内傾斜計などがある。パイプ歪計計測などは地下水位観測と合わせて近年（半）自動計測が一般的になり，ノイズが低減され信頼性が向上したデータが得られるようになり，地すべり変動の時空を緻密に議論できるようになってきた。①地すべり滑動因子としての地下水位の変動と地すべり変動の関係，②ひとつの地すべりユニット（ブロック）内での差動運動やその変遷，③地すべり変動のタイプ，④地すべり変動の進展とすべり層の転移，などがあげられる。パイプ歪計の計測の結果ではすべり層付近の変動には異なるタイプがあり，時間とともにめらかな変位の増加を示すものから，階段状に変位が増加するタイプ，その中間の特徴をもつものがある。

3.2 地すべり地の地下水位と帯水層別地下水位観測孔

地下水と地すべり変動の関係は，すでに解明されている

かのように考えられている。しかし，実際には不明なことが多い。すべり層近傍の力学を問題とした時には，すべり層（すべり面）に作用する間隙水圧が地すべり変動の主要因子の一つであることは間違いない。ところで，地すべり移動体と周辺の水理地質構造は，移動体の源岩構造のほか，地すべり変動による変形，かく乱などにより難透水物質と透水物質が複雑に分布している。間隙水圧が地中の各点におけるポテンシャルだとすると，その計測は必要な点における間隙水圧を取り出すことが必要となるはずである。実際の調査現場では，間隙水圧を全層ストレーナーのボーリング孔水位で代用することが多く，孔内水位は水圧の異なる地下水位が合成されたものとなっている。そのことは次の問題を抱えることになる。①安定計算に必要な初期間隙水圧の設定，②地下水排除工の対象地下水帯水層の決定，③地下水排除工の施工効果判定，が信頼性高く実行できないことである。特に③は，実際に排水されているのに，孔内水位が期待通り低下しない例が多い。これを解決する方法として，地すべり地内の地下水構造が複雑なことを認め，必要とする地下水帯水層にのみストレーナーを設置し，それ以浅を遮水した構造の帯水層別地下水位観測孔を設置するのが効果的である。すべり層付近の間隙水圧のみを抽出して計測することにより，集水ボーリング（横穴ボーリング）の施工効果を的確に計測判定することが可能である。また，集水ボーリングによる地下水位の低下の影響は，空間的に限定された領域にあることも実証できる。地すべり移動体の地下水構造は，おおむね上部で高透水性，下部に低透水性であると考えられる。全層ストレーナーのボーリング孔内水位の観測では，表層近くの地下水が孔内に流入する結果，集水ボーリングにより深部で地下水位が低下しても，孔内水位の観測では一見低下していないようなデータが得られることが容易に認識できる。こうした不具合を解決すれば，施工効果の評価を高め，結果工事費の低減を実現できる。

4. 地すべり変動の進展・拡大と観測

パイプ歪計の計測で，当初変位が増加していた深度の変位が終息するのに平行して，隣接する深度の歪計で変位が増加することがあることが知られていた。これらを総合すると，地すべり変動が進行するに従い，別の位置ですべりが発生し，複数のすべり層が重なったデュプレックスを形成していると解釈することができる。結果として，地すべり移動体が下位や外を“削って”あるいは下付けするようになる。

5. おわりに

地すべりに関して地表踏査，ボーリング，孔内計測技術を総合することにより，地すべりの実体的把握をさらに発展させることが可能であり，期待される。

地すべり調査ボーリングと掘削技術

坪山 厚実*

*明治コンサルタント(株) 本店 技術部長

キーワード：掘削技術，ケーシング，コアバーレル，ビット

1. はじめに

かつて、すべり面の粘土や、せん断面、破碎の状況についてボーリングによりコアを採取することは非常に困難なことであったが、ここ10数年のうちにコアの採取技術が著しく向上し、破碎帯のような硬軟が複雑に混じる土塊についても高率な採取率が得られるようになってきている。地すべり調査においても、軟らかい粘土と細礫を含むすべり面付近の試料が、ほぼ不攪乱状態で採取でき、コアによるすべり面の観察が詳細に行える機会が多くなり、地すべり機構の解明におおいに役だっている。

2. 地すべり調査におけるボーリングの役割

地すべり調査の代表的な調査手法としてボーリング調査があげられる。これにより、地すべりの層厚、構成される地質状況が把握できる。また、ボーリング孔を利用して様々な調査・試験が実施できる。

(1) 地質状況の把握

オールコア採取を原則とし、移動土塊の状況、不動土塊の状況、すべり面の状況

(2) 移動変形調査

パイプ歪計、孔内傾斜計

(3) 地下水調査

地下水位調査、地下水検層、地下水追跡、簡易揚水試験、水質調査、

(4) 物理探査

速度検層、温度検層、

(5) 標準貫入試験

(6) 土質試験（試料採取）

物理試験（粒度・比重・含水比・液性限界・塑性限界・単位体積重量）、浸水崩壊度試験、スレーキング試験、X線分析、繰り返し一面せん断試験、リングせん断試験等

この中でも地すべり地の地質状況を把握することがボーリングの主目的であり、地すべり地の調査に特有の調査手法が必要である。

3. 掘削技術

3.1 掘削方法

地すべりの調査ボーリングの主目的を地質状況の把握に置く場合、オールコアで掘削することが必要であり、標準貫入試験は抑止杭、アンカー等の設計に必要な物理定数を求める必要がある場合に実施する。

掘削は掘削時の摩擦による焼き付けを防止するため、ロッドを通じて冷却水を送水しつつ掘削する。泥水はスライム排除、孔壁の崩壊防止に有効であるが、地すべり調査におけるボーリング孔では一般的に地下水検層や、地下水観測を行うことが多く、泥水を使用することより孔壁の透水性が変化する可能性があるため、泥水が使用されることは少ない。

ただし、コア採取を主目的とする場合や、孔内傾斜計設置など、地下水調査にかかわることが無い場合は泥水の使用も可能である。

3.2 ケーシング

地すべり調査では原則として、掘削に伴う孔壁の保護はケーシングによる。移動土塊中は地すべり活動に伴い、著しく破碎されており、特にすべり面付近の地質状況は脆弱で、地下水の流動も顕著であることが多く、崩壊を発生しやすい。よってケーシングはすべり面まで確実に実施し、すべり面以下の不動層も破碎等、脆弱な地質状況にある場合は孔底まで挿入する必要がある。

掘削時だけでなく、パイプ歪計や孔内傾斜計設置中に於ける孔壁崩壊等のトラブルを防ぐため、ケーシングによる孔壁保護を原則とする必要がある。

3.3 コアバーレル

一般に調査ボーリングで用いられる土質・地質試料採取に用いられるコアバーレルには以下のものがあげられる。

- ・シングルチューブコアバーレル
- ・ダブルチューブコアバーレル
- ・トリプルチューブコアバーレル
- ・破碎帯用ダブルチューブコアバーレル
- ・軟弱地層用ダブルチューブコアバーレル
- ・ワイヤーラインコアバーレル

上記のダブルチューブタイプのなかでも、地すべり調査でよく用いられるコアバーレルは破碎帯用ダブルチューブと軟弱地層用ダブルチューブである。

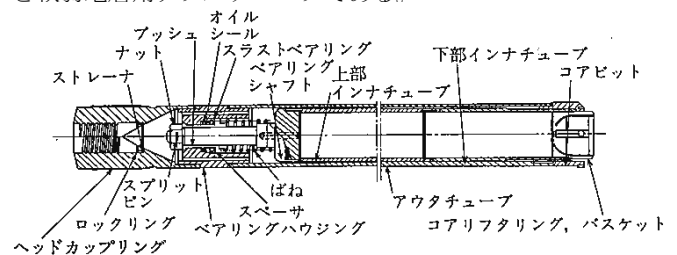


図1 軟弱地層用ダブルチューブ

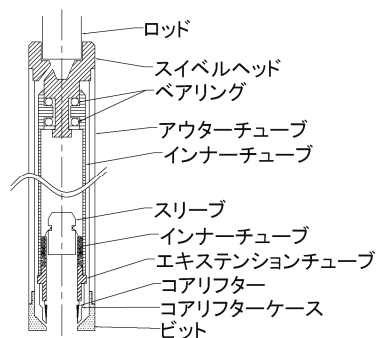


図2 破碎帯用ダブルチューブ

軟弱地層用のものは、インナーチューブの頭部にバネを仕込んでおり、インナーチューブの先端（バスケット or カッティングシュー）がビットより若干飛びだしている。硬質な地層を掘削時はバネが圧縮され、先端はビット面と並ぶ。軟弱地層ではバネの力で常に軟弱層に突き刺さるような形で掘進するので、循環水によりコアが流出することがなく、また、インナーチューブは回転しないため、崩れやすい地層のコア採取に適している。

破碎帯用はコアリフターに接続したエクステンションチューブにコア収納用のビニールチューブが組み込まれており、掘削時にコアは順次ビニールチューブに収納されコア詰まりを防止する。軟弱地層用についてもビニールチューブにコアを收容する構造のタイプが主流となっている。

3.4 ビット

掘削ツールの最先端に取り付けられ、直接地盤を掘削するものである。ボーリングの目的や、地盤の状態に応じて多くの種類がある。代表的なメタルクラウンとダイヤモンドビットについて示す。

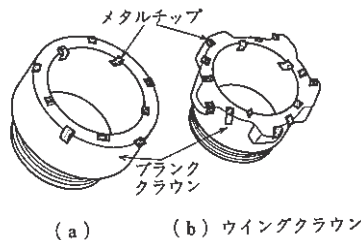


図3 メタルクラウン

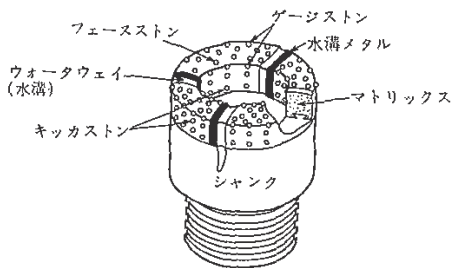


図4 ダイヤモンドビット サーフェイスタイプ

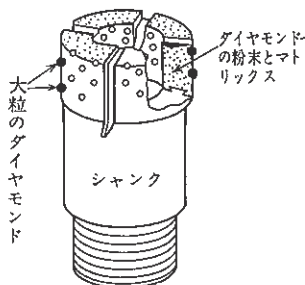


図5 ダイヤモンドビット インプリグネーテッド

メタルクラウンは刃先に超硬チップを植え込んでおり、主として軟岩～中硬岩に適する。経済的であり、軟岩の場合、切削速度も速い。硬い岩石には適さない。

ダイヤモンドビットは比較的大粒のダイヤをマトリックス表面に植え込んだサーフェイスタイプとマトリックスにダイヤの粉末を練り込んだインプリグネーテッドに分けら

れる。

中硬岩～硬岩の切削に適しており、寿命も長い。地質状況に応じてダイヤモンドのサイズ、マトリックスの固さ等を調整し、様々な地質状況に対応できる。切削スピードはメタルクラウンに比べて小さいが、コアの採取率は高くなる。

ビットはコアバーレルとともに目的に応じて様々な改良が加えられており、複雑な地質状況に対して適応するタイプが用意されている。

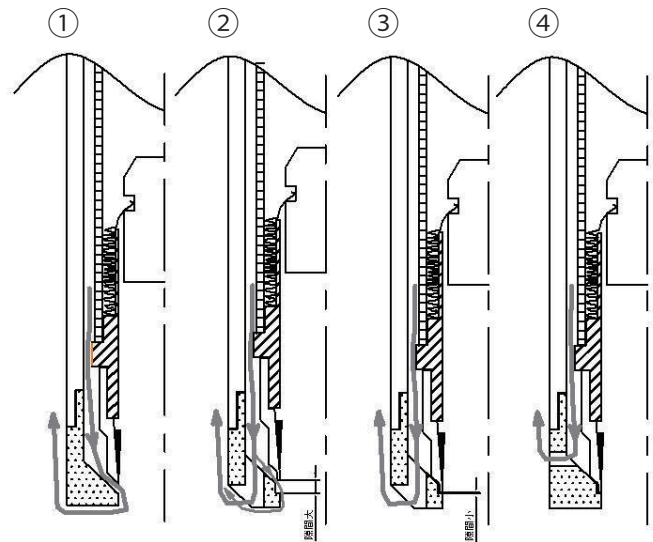


図5 ビットと冷却水の関係

- ① 硬岩用ビット
コアが流出する恐れが無い場合冷却水はコア周辺にも流れる。
- ② 軟岩用ビット（隙間大）
コアリフターケースとビットの隙間を大きくし、冷却水の一部がコア周辺に流れる。
- ③ 軟岩用ビット（隙間小）
コアリフターケースとビットの隙間を極小とし、コア周辺にほとんど冷却水が回らないようにする。
- ④ 超軟質用ビット
サイドに水抜き穴があり、冷却水はコア周辺には回らない。非常に流出しやすい地質に適する。

4. おわりに

ボーリングオペレーターはこれらのコアバーレル、ビットを組み合わせて地質状況に応じて回転数、圧力、送水量を調整し、採取率向上に努めている。熟練したオペレーターによる現場の意見を取り入れ、メーカーとの共同作業によってビットやコアバーレルの改良が不断に行われている。

5. 文献

- 全国地質調査業協会連合会(1993)：新版ボーリングポケットブック
 国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所(2008)：地すべり防止技術指針及び同解説 p12
 日本道路協会(2009)：道路土工 切土工・斜面安定工指針 p389

2011年2月17日 第49回試錘研究会

地すべり調査ボーリングと 掘削技術

明治コンサルタント(株)
技術部 坪山 厚実

1. 地すべり調査における調査ボーリングの役割

1. 地質状況の把握

移動土塊の地質状況
不動土塊の地質状況
すべり面の地質状況

2. 移動変形調査

パイプ歪計、孔内傾斜計

3. 地下水調査

地下水位調査、地下水検層、地下水追跡、簡易揚水試験、水質調査

4. 物理探査

速度検層、温度検層、電気検層、トモグラフィー

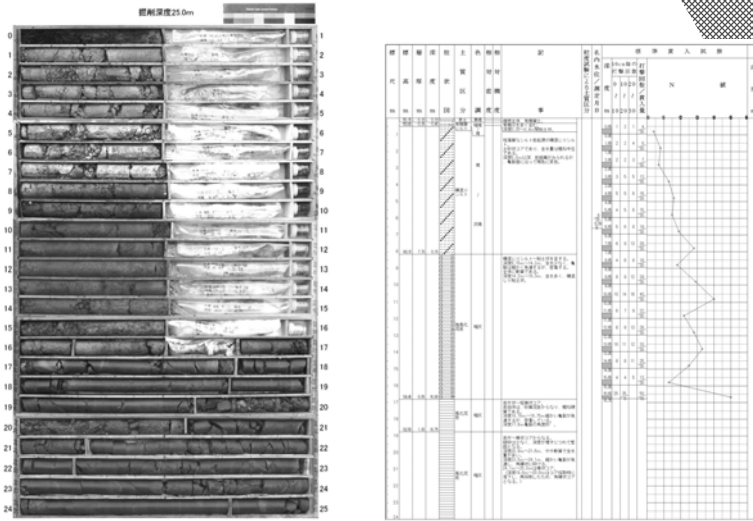
5. 標準貫入試験

6. 土質試験（試料採取）

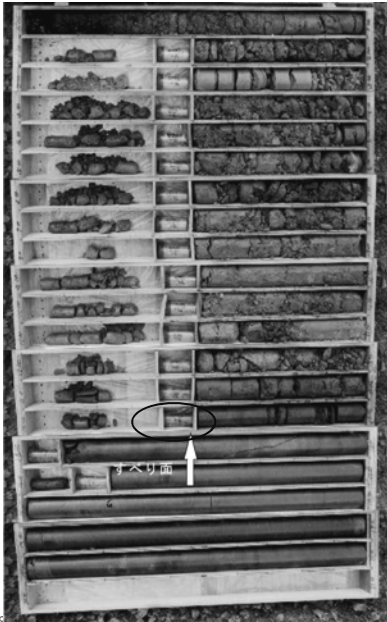
物理試験（粒度・比重・含水比・液性限界・塑性限界・単位体積重量）
浸水崩壊度試験、スレーキング試験、X線分析
一軸圧縮試験、繰り返し一面せん断試験、リングせん断試験

3. 掘削技術

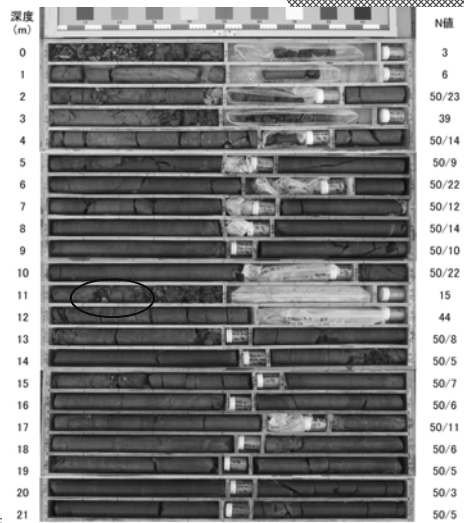
3.1 掘削方法 標準貫入試験を併用した場合



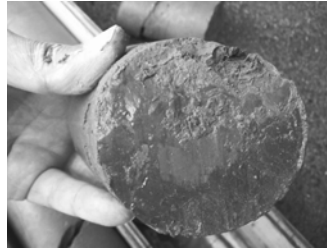
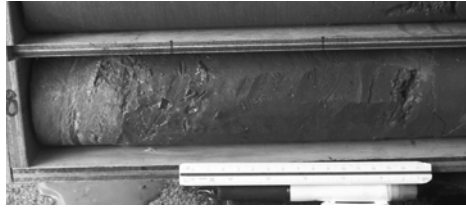
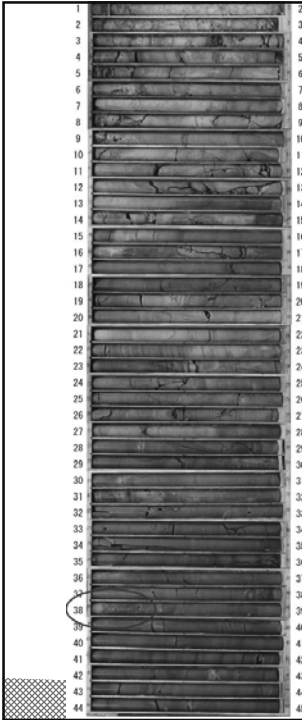
移動土塊と不動土塊の物性値の違いが明瞭に判別できる場合がある。また、抑止杭やアンカーの設計にN値が利用できる。



すべり面と貫入試験の位置が重なるとすべり面の把握が困難となるケースがある。

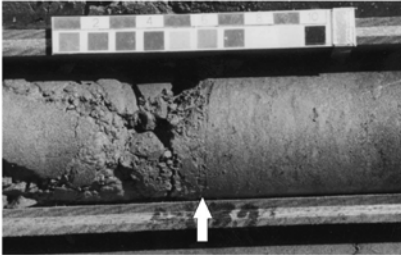


オールコアリングの場合



岩盤すべりにおいて、貫入試験を実施した場合、浅い深度で $N \geq 50$ を呈したり、試験区間によっては深度38m付近のすべり粘土の存在に気がつかない可能性がある。

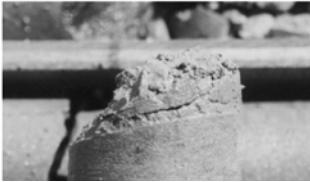
B-3孔 すべり面



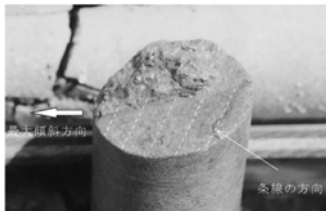
B-3孔 GL-18.7m
地すべり土塊は破砕されており、様状コアの芯部とは連続した境界をなしている。

すべり面付近の破砕状況

すべり面の傾斜角
すべり面粘土の有無
// 粘土の性状
擦痕の有無・方向



B-3孔 GL-18.7m
すべり面はシャープなせん断面を有し、傾斜角は 10° である。すべり面粘土はわずかである。



B-3孔 GL-18.7m
写真では判然としないが、すべり面は非常に平滑で、条線は最大傾斜方向と 70° 斜交している。

地すべりの調査ボーリングにおいてコア判定に主眼を置く場合にはオールコアで掘削することが望ましい。標準貫入試験は抑止杭、アンカー等の設計に必要な物理定数をN値より求める必要がある場合に実施する。

- すべり面を決定するためのボーリング調査では標準貫入試験は行わず、全区間のオールコアボーリングを得ることが望ましい。
 - ・・・日本道路協会： 道路土工 切土工斜面安定工指針
- ボーリング調査においては、オールコア採取を原則とし、
 - ・・・国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所：
地すべり防止技術指針及び同解説
- ④すべり面の位置決定のための調査ボーリングは、すべてオールコア採取方式(口径φ66mm)とする。鋼管杭工及びアンカー工等の対策工設計にあたって地盤の強度等を把握する場合は、必要に応じて地すべり解析のための調査ボーリングとは別孔で標準貫入試験等の調査を実施する。
 - ・・・全日本建設技術協会：平成22年 災害手帳
- ボーリング調査は、地下構造や地質・土質を調査するために主として垂直ボーリングによって行うものとし、オールコア採取を原則とする。
 - ・・・北海道建設部砂防災課：傾斜地保全技術指針（地すべり・急傾斜地）

3.2 ケーシング

○掘削に伴う孔壁の保護はケーシングによる。

移動土塊中は地すべり活動に伴い、著しく破碎されており、特にすべり面付近の地質状況は脆弱で、地下水の流動も顕著であることが多く、崩壊を発生しやすい。よってケーシングはすべり面まで確実に実施する。

○すべり面以下の不動層も破碎等、脆弱な地質状況にある場合は孔底まで挿入する。

掘削時だけでなく、パイプ歪計や孔内傾斜計設置中のトラブルを防ぐため、ケーシングによる孔壁保護を原則とする必要がある。

○泥水は地下水調査に影響する可能性があるため、原則として使用しない。

コア採取が主目的である場合や、孔内傾斜計設置等地下水調査にかかわることが無い場合には使用できる。

軟弱地層用ダブルチューブコアバーレル

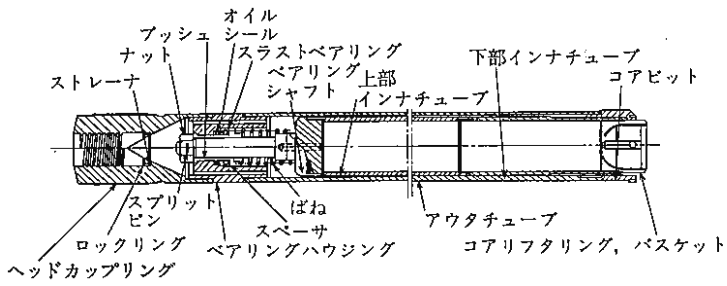


図 2・77 軟弱地層用ダブルチューブコアバーレル

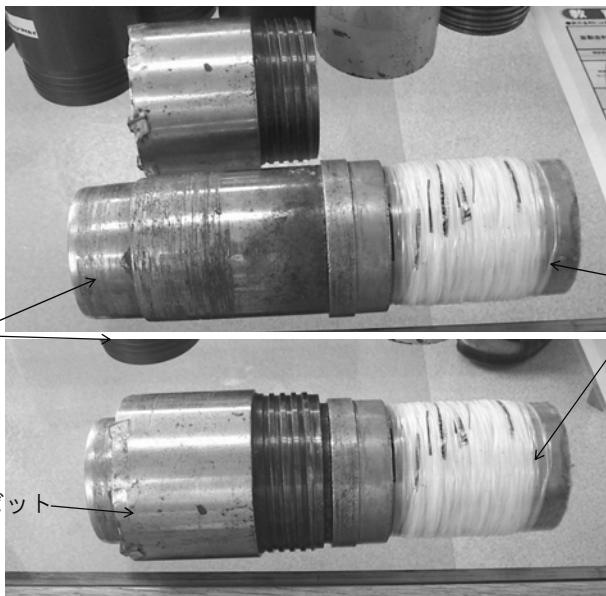
(社)全国地質調査業協会連合会 ボーリングポケットブックp96



軟弱地層用ダブルチューブコアバーレル



メタルビットとシュー（バスケット）
シューはビットより突出している



シュー

ビニールチューブ

メタルビット

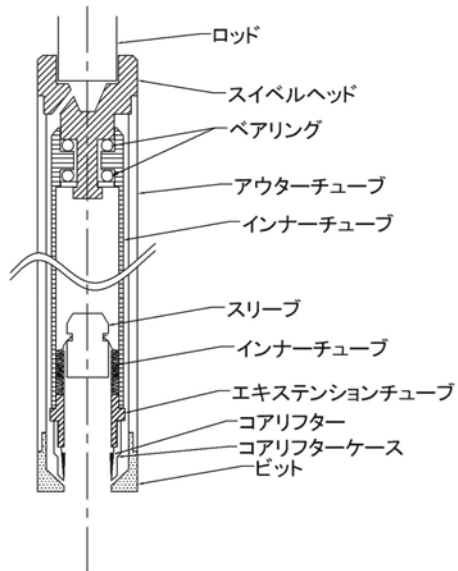
シューとエクステンションチューブ

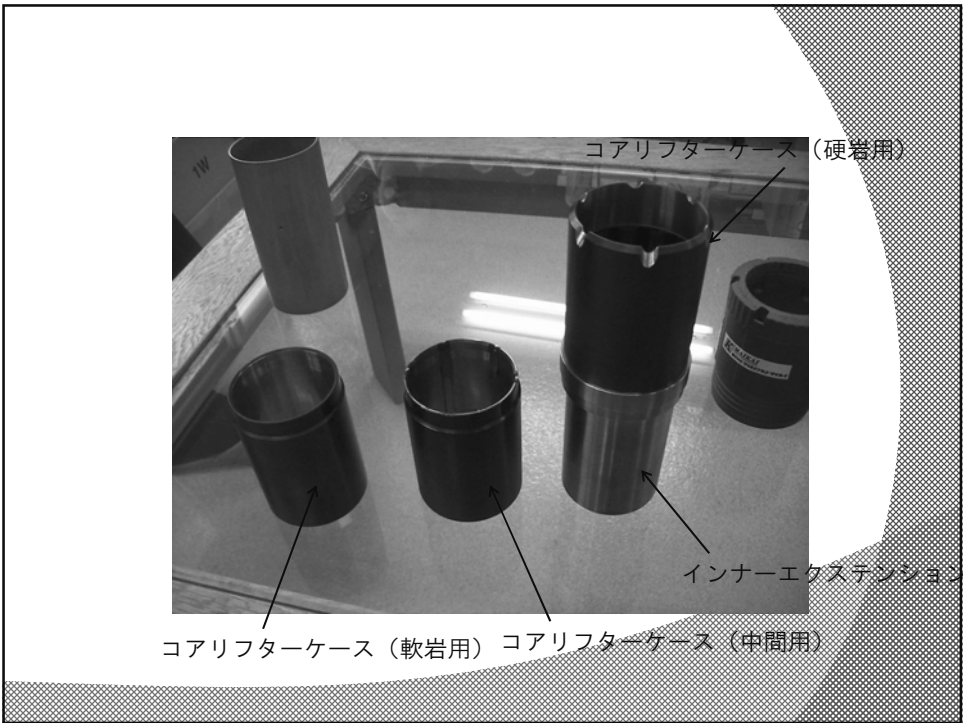
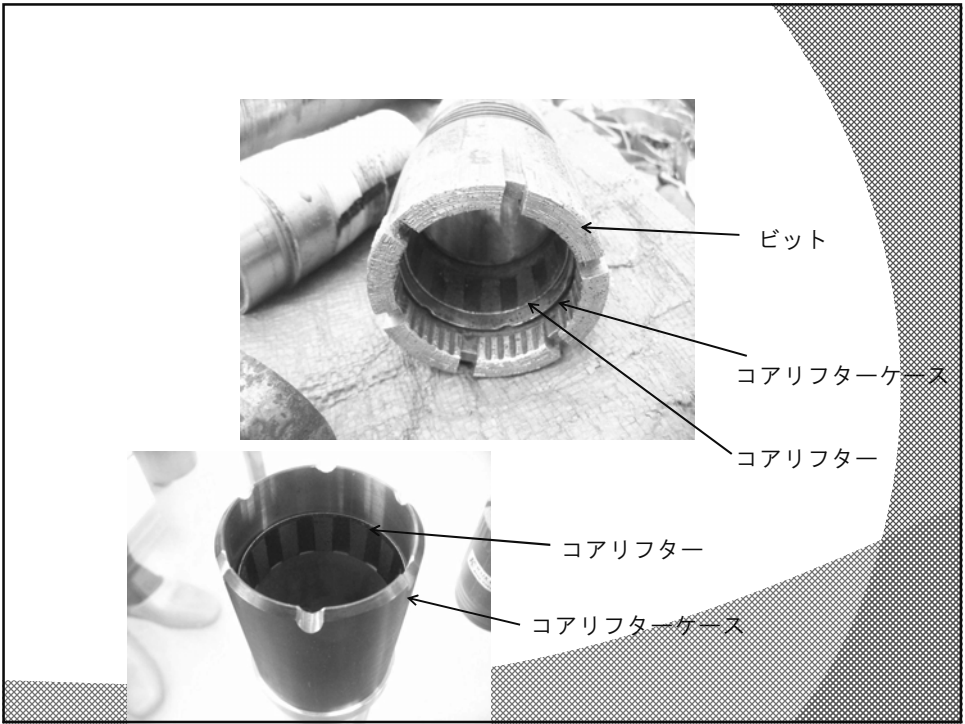


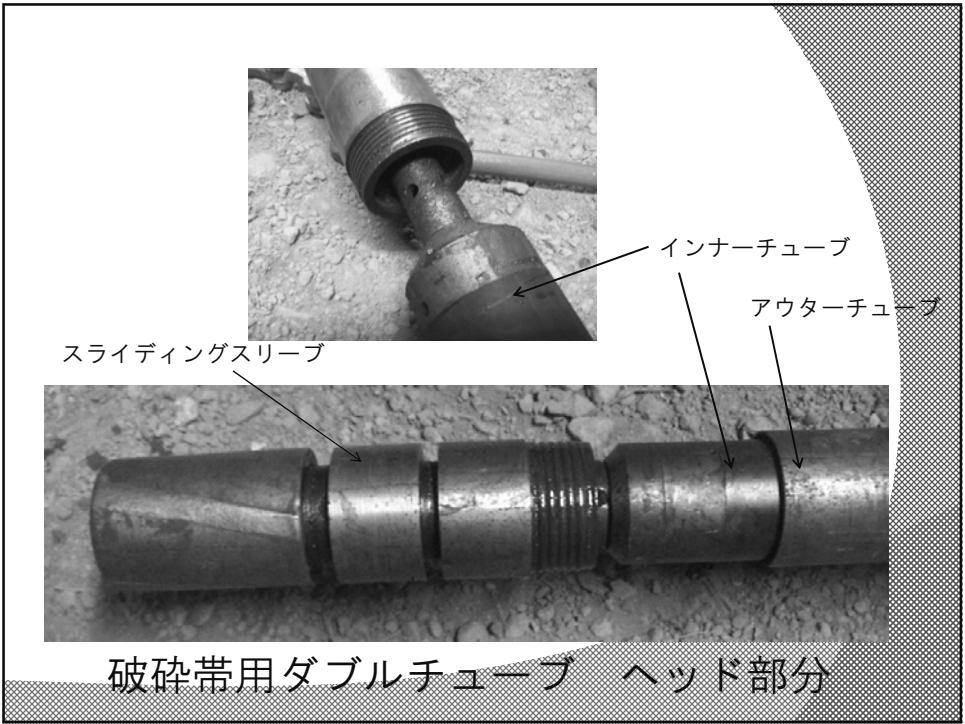
ヘッドの分解状況

バネの圧力はインナーチューブを通じてエクステンションチューブ→シューへ伝わる。

破砕帯用ダブルチューブコアバーレル





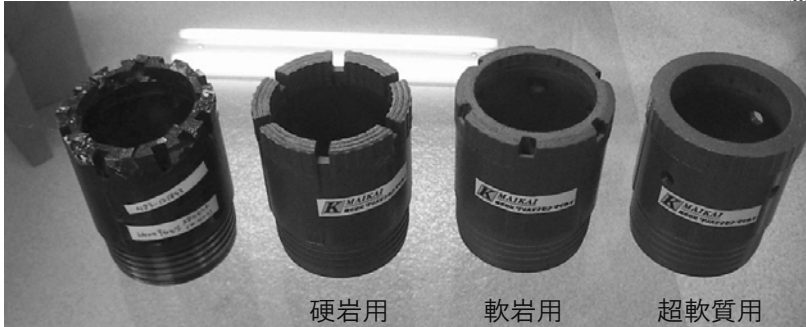


3.4 ビット



インブリグネイテッドビット

サーフェイスタイプ



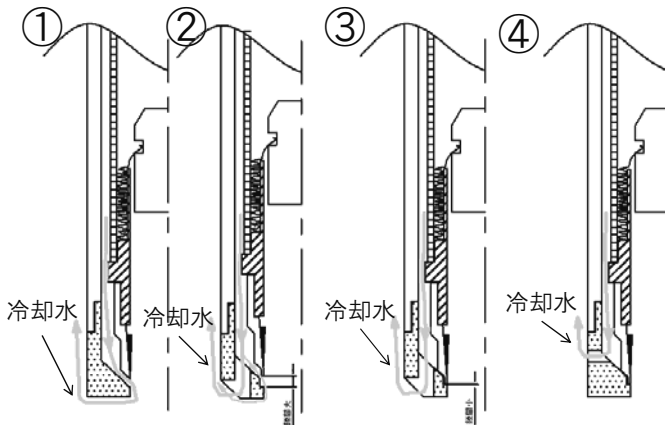
メタルクラウン

硬岩用

軟岩用

超軟質用

インプリグネイテッドビット



冷却水

冷却水

冷却水

冷却水

硬岩用
ビット

軟岩用
ビット

軟岩用
ビット

超軟質用
ビット

スライディングスリーブにより、
コアリフターケースとビットの
隙間を調整して冷却水の流向・
流量を調整できる

4. おわりに

ボーリングオペレーターはこれらのコアバーレル、ビットを組み合わせ、地質状況に応じて回転数、圧力、送水量を調整し、採取率向上に努めている。熟練したオペレーターによる現場の意見を取り入れ、メーカーとの共同作業によってビットやコアバーレルの改良が不断に行われている。

以上

地すべり調査ボーリングのコア観察

中村 研*

* (有) 地盤工房

キーワード：コア洗浄，すべり面，すべり面の位置

1. はじめに

地すべり調査において、ボーリング調査の目的のうち最も重要なのはすべり面深度の認定である。すべり面を貫いたボーリングであれば、すべり面あるいはすべり面を示唆する物質が必ずボーリングコアの中に含まれるはずである。コア観察はこれらを認定する作業であり、コア観察によってすべり面の深度や形状、地すべり機構を考察するための重要な情報が得られる。

2. コア観察の前処理

地すべり調査においてオールコアリングが要求され、コア観察によるすべり面の判定の重要性が指摘される一方で、「ボーリング調査ですべり面が確認されることは極めて希なことであり、他の調査結果との総合判定で行われるべきである(山崎, 2007)」という意見がある。その理由は、「すべり面は礫混じり粘土層に形成されることが多いため、送水掘削ではコアを流してしまうし、無水掘削ではすべり面周辺の粘土層が乱されてしまう。結局、ボーリングコア観察ではすべり面が認定できない」である。この理屈は至極もっともであるし、何らかの理由ですべり面判定が難しい場合、便利な台詞でもある。

しかし、近年、コアパックサンプラー等のボーリング機材の改良がなされ、亀裂の多い岩石や風化岩でも地盤内の状態に近い形でのサンプリングが可能になってきた。さらに、打ち込みサンプラーが一般化し、軟弱な土砂でも不擾乱状態に近いコアを採取することが可能となってきた。サンプリング技術の向上は、スムーズにスライムを排除し、コアにスライムを付着させない工夫の積み重ねであり、その極致が界面活性剤を使用する気泡ボーリング等である。

良質のコア採取は望ましいが、特殊な工法は費用がかさむため常用化するのは難しい。そこで一般的な工法で採取されたコアを観る技術が求められる。幸いなことに、現在では一般的な工法でもコアの内部はさほど擾乱されていないことが多くなってきた。表面の泥さえ除去することができれば、内部の健全部は見えるという理屈である。ただし、状態の悪いコアや無水掘りのコアでは、得られる情報は限られたものになる。

そこでコアの洗浄が重要になる。これまでは、岩石コアの洗浄は当然であるが、地すべりのコアのように礫混じり土砂状のコアは洗浄されないことが多かったと思われる。

細粒分を含んだ攪乱されていない土は意外と水に対して抵抗力があり、水をかけながらブラシでこすっても粒子の配列は崩れない。これをしばらく放置すると、表面のスライムは水を吸って緩いへドロ状となり、噴霧器で洗い落とすことができる。これがコア洗浄の原理である。

「コアに水をかけるとコアが溶けるのではないか、礫の配列が崩れるのではないか、土砂の含水比が変化してしまうのではないか…」というような心配は杞憂である。限界はあるが、5mm程度のスライム壁であれば洗い落とすことは可能である。ただし、コアの洗浄によって多量の泥水が

発生するので、泥水を処理する施設は必要である。

なお、泥壁をスクレーパーで掻き落としたり、ナイフで断面を見るというような方法もあるが、刃に礫が引っかかってコアを乱すことが多い。刃の引きずりは新たな泥壁を形成し、コアの観察を妨げることから、あまりよい方法とは言えない。

3. すべり面の位置

すべり面は、以下のような箇所形成されていることが多いことから、これらの箇所に着目してコア観察を行うことが有効である。

(1) 地すべりの平面形状による経験則

地すべりの平面形状とすべり面深度(D)の間には一定の関係があることが知られている(上野, 2001)。地すべり斜面長(L)と地すべり幅(W)を用いる方法があるが、地すべり幅(W)を用いる方法が汎用性が高く、地すべり横断形状比 $W/D \approx 6$ が目安となるので、当該深度周辺が着目点となる。ただし、すべり面が地質構造に規制されるような岩盤すべりや初期の風化岩すべりの場合は、上記の関係から大きく外れることもある。

(2) 崩積土と岩盤の境界付近

崩積土地すべりや粘質土地すべりの場合、すべり面は崩積土と岩盤の境界付近に形成されることが多い。崩積土と岩盤とを的確に見極めることが重要である。多くの場合、地すべり移動体の侵食によって岩盤の風化帯は欠損している。

(3) 岩盤の風化境界、岩盤の破碎境界

岩盤地すべりや風化岩地すべりの場合、移動体内部に生じる転位や破断、緩みによって移動体の破碎や風化が進行するため、すべり面を挟んで風化程度や破碎程度が急激に変化することが多い。

(4) 色調の変化点

地すべり移動体は不動地山に比べて緩みが大きいいため、酸素を含んだ地下水や空気によって移動体内の礫や土粒子は酸化する。結果的に、すべり面周辺の粘土化帯を挟んで色調が酸化色から還元色へと変化することが多く見られる。

(5) 岩盤内に挟在される粘土層や粘土化帯

岩盤地すべりや風化岩地すべりの場合、構造運動による粘土層や変質作用によって形成された粘土化帯がすべり面となることがある。粘土層や粘土化帯を境界に破碎程度や色調の変化がある場合は、これらがすべり面になっている可能性がある。

(6) N値曲線の変化点やN値の低下部

地盤の物性が変化すればN値も変化することが多いので、N値曲線の変化点は何らかの境界を示唆する。また、すべり面周辺にはある一定の粘土化ゾーンが形成されることが多い(小野ほか, 2008)ことから、すべり面近傍でN値が低下する事がある。

色調の変化が乏しく破断面を多数含む泥質岩や蛇紋岩の場合、N値の変化に注目することは地層の変化点や脆弱化

の程度を認識する上で非常に有効である。標準貫入試験を実施すると、試験区間のコアが欠損するために、試験区間のすべり面を認定できないという意見がある。しかし、貫入試料を極力乱さないようにビニール袋に収納する手法も一般化しており、試験区間の試料が全て欠損するわけではない(鴨居, 2007)。欠点よりも上述した利点の方が遙かに大きいので、地すべり調査において貫入試験は実施すべきである。ただし、貫入試料の採取が困難な岩盤すべりや硬質な岩片を含む地層では有効性は小さくなる。

4. すべり面を示唆する物質や構造

現在のボーリング技術では完全なサンプリングは不可能であるし、標準化入試験を実施すれば若干のコアの欠損が生じることはやむを得ないので、必ずしもコア観察によってすべり面そのものを発見できるわけではない。しかし、すべり面周辺には数 10cm~1m 前後の粘土化帯が形成されており、その区間には地すべり特有の物質や構造が見られることがある(小野ほか, 2008)。

このような物質や構造の例として、表面が磨かれた円礫を含む粘土層や表面に凹凸のあるせん断面もつ岩片などがある。これらを見いだすことができれば、すべり面の位置は実用上特定できることになり、地すべり調査の主目的は果たすことができる。ただし、これらには外見上似たようなものもあるので、これらを見分ける眼力を鍛えておく必要がある。

文 献

- 上野将司(2001): 地すべりの形状と規模を規制する地形・地質要因の検討. 地すべり vol.38, No.2, pp.1-10
- 小野征一, 矢野一人, 田中良昌, 吉峰慎一(2008): 西南日本外帯の地すべりにおける診断事例とコア観察のポイント. 地すべり vol.45, No.4, pp.45-52
- 山崎孝成(2007): 現場で役に立つ地すべり工学「5.応急調査・応急対策工の計画」. 地すべり vol.44, No.1, pp.58-64
- 鴨井幸彦(2007): すべり面判定における標準貫入試験の効用—新潟県における地すべりを例として—. 地すべり vol.44, No.1, pp.50-56



泥岩地帯の地すべり調査のボーリングコア。すべり面は7.15m付近にある。

左下の写真は深度5.4~5.0mの打ち込みサンプラーのコアであり、右下の写真は深度6.4付近の軟岩ダブルコアチューブによる地すべり移動体のコアである。内部構造の観察が可能である。

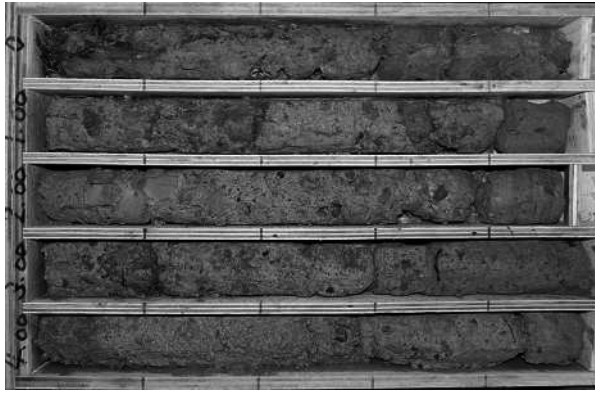


近年のボーリングコア



火山碎屑岩地帯に発生した地すべりのボーリングコア。深度8.5mまでが打ち込みサンプラーによるボーリングコアであり、8.8m以降がダブルコアチューブによるコアである。すべり面は8.0m付近にあり、岩盤はやや変質した火山礫凝灰岩である。写真上が洗浄前、下が洗浄後。内部構造の見え方が大きく異なる。

コアの洗浄-1



第三紀の泥岩地帯に発生した地すべりのボーリングコア。沢埋め盛土を打ち込みサンプラーで採取している。丹念に洗浄すると、 $N < 5$ 程度の軟質層でも土の内部構造が観察できる。近接拡大写真を見ると、礫質土の礫の形状や腐植物が混入している様子が観察できる。



コアの洗浄-2

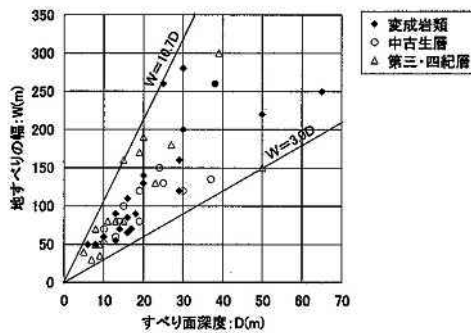


図-9 地すべりの幅と深度の関係

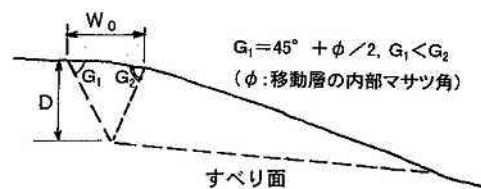


図-5 かん没帯の幅とすべり面深度の説明図

- すべり面の深さ(D)と地すべり平面形状との間には一定の経験則がある。汎用度が高いのは横断形状比 $W/D \doteq 6$ である。
- 生成初期の陥没帯では、陥没幅とすべり深さが同程度になることも知られている(上野, 2001)。

すべり面の位置—平面形状による経験則—



崩積土地すべりの場合、すべり面は崩積土と岩盤との境界に形成されることが多い。地すべり移動体の侵食によって風化帯は欠損している。

写真は泥岩地域の地すべりのボーリングコア。すべり面の位置は深度6.65m付近。



すべり面の位置—崩積土と岩盤の境界—



中生代から第三紀の付加帯の堆積岩に発生した地すべりのボーリングコア。

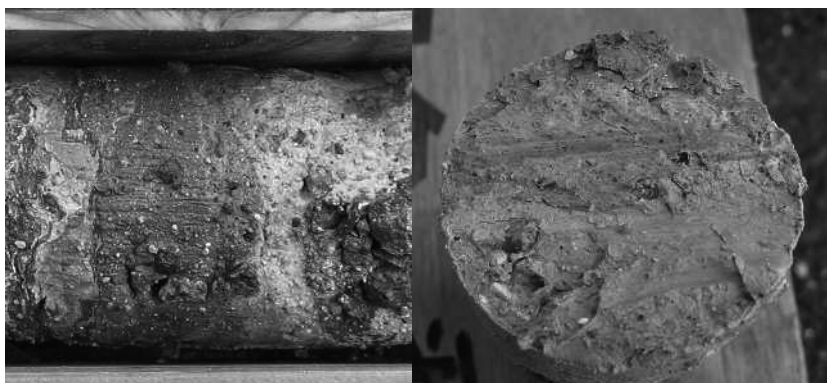
深度19.0m付近で破碎程度や色調が大きく変化している。当該部には表面が磨かれた円礫を含む粘土化部もあり、すべり面は深度19.0m付近と判断される。

すべり面の位置—岩盤の風化境界，破碎境界—



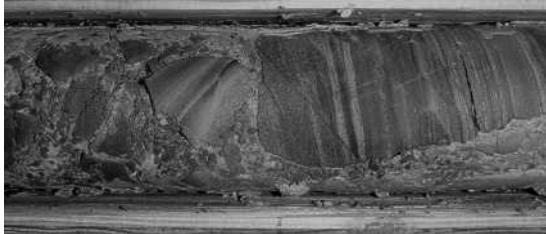
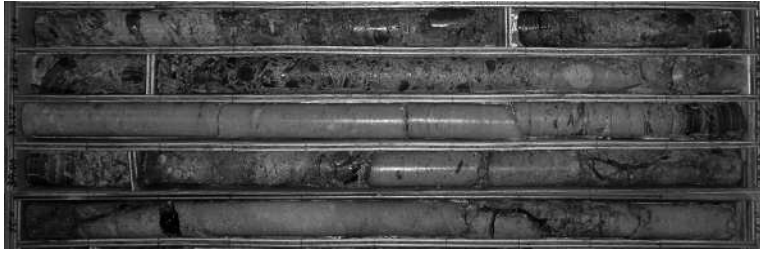
古第三紀の泥岩に発生した地すべりのボーリングコア。深度4.40mに粘土層を伴う層理面断層が見られる。粘土層を境として亀裂頻度に変化し、上部には亀裂面の酸化が見られることからすべり面と判断した。層面断層はフレキシユラルスリップ褶曲によるものと推定される。

すべり面の位置—岩盤内に挟在される粘土層や粘土化帯—



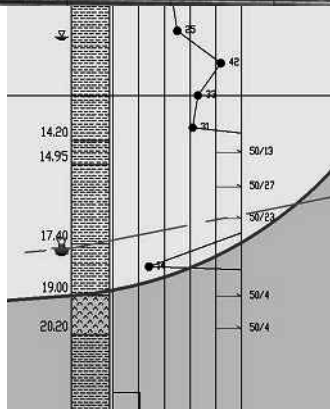
第三紀の火山碎屑岩地域に発生した地すべりのボーリングコア。深度21.60m付近の粘土化した凝灰角礫岩内にせん断面が見られる。色調の変化点に相当し、粘土層には表面が磨かれた円礫を含むことから、すべり面と判断される。

すべり面の位置—岩盤内に挟在される粘土層や粘土化帯—



第三紀の火山碎屑岩地域に発生した地すべりのボーリングコア。深度33.90m付近の泥岩と火山碎屑岩の境界付近に粘土層を伴うせん断面が見られる。色調の変化点に相当し、上盤側の火山碎屑岩は礫状になっていることから、すべり面と判断される。火山碎屑岩は堆積岩域に貫入した大規模なシートと考えられる。

すべり面の位置—岩盤内に挟在される粘土層や粘土化帯—



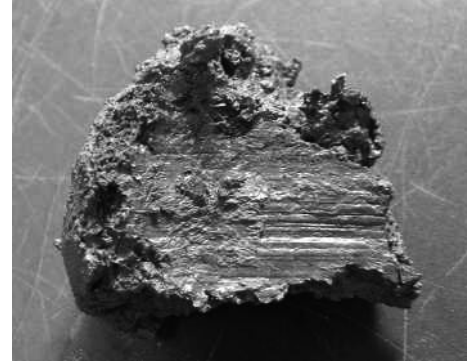
中生代から第三紀の付加帯の堆積岩に発生した地すべりのボーリングコア。
すべり面近傍には一定の粘土化帯が形成されることがあり、粘土化帯ではN値が低下する傾向がある。破碎程度や色調も大きく変化しており、すべり面は深度19.0m付近と判断される。

すべり面の位置—N値曲線の変化点やN値の低下部—



中生代から第三紀の付加帯の堆積岩に生じた地すべりのすべり面。

貫入試験試料中に表面が磨かれた円礫を含む礫混じり粘土層が見られる。粘土層中にはすべり面と判断されるせん断面が見られた。



すべり面の構造-1



泥岩地帯のすべり面の様子。すべり面は直線的であるが、すべり面直下には多数の従属せん断面が見られる。

下の写真はせん断面をはがしたところ。



すべり面の構造-2

一般講演

表面波探査の温泉・地下水調査への応用 …………… 25

アースサイエンス(株) 加藤 孝幸
(株)有賀さく泉工業 渡邊 哲夫
(有)ハーデスサーブ 布川 昭一

汎用型ボアホールカメラの適応性について …………… 32

(株)ドーコン 山田 司

最近係わった温泉のホウ素とメタンについて …… 42

北海道立衛生研究所 内野 栄治

化学組成からみたニセコ地域の温泉
-南部から東部の温泉の特徴- …………… 50

北海道立総合研究機構 地質研究所
柴田 智郎

表面波探査の温泉・地下水調査への応用

アースサイエンス株式会社 ○加藤 孝幸
株式会社 有賀さく泉工業 渡邊 哲夫
有限会社 ハーデス サーブ 布川 昭一

1. はじめに

地下地質を知るためのさまざまな地質関連分野において、近年、ボーリング調査の減少傾向にも増して、地表踏査の軽視が続いている。この状況の中で、物理探査は日進月歩で新しい方法が開発され、精度も向上している。

温泉・地下水調査において、層状タイプの調査法については貯留層が水平で「層状」の広がった面を形成していることなどから、比較的探査法が確立されている。一方、割れ目タイプ（裂かタイプ）については天然の温泉・湧水の主要なタイプであるにもかかわらず、探査が困難で、ボーリングの当たりはずれが多く、調査技術者の悩み所である。すなわち、地下にある傾いた板状の「脈」をピンポイント（実際は帯状ゾーン）で推定しなければならない（図1）。

一般に電気探査その他物理探査を利用して地下の水理地質構造を推定するには、当然、地質構造の大局の把握が必要になる。とくに割れ目タイプの調査では地表に現れている断層を主とする連続性の良い開口割れ目の把握が必要なので、構造地質学的な解析を含む詳細な地表踏査が物理探査データの正しい解釈の成否を握ることとなる。

ここで紹介するのは表面波探査を割れ目タイプの温泉や地下水探査に適用し、詳細な地表踏査と組み合わせて解析し、実際にボーリングを行った事例である。

1つは八雲町熊石における温泉調査。もう1つは遠軽町若咲内における地下水調査である。

2. 表面波探査

表面波探査とは、起振機などによって表面波（レイリー波）を発生させ、2つの検出器に伝わる波の位相差を解析することによって地下の地質構造を調べる探査法である。表面波速度（ V_r [m/S]）は、通過する地層の密度によって変化する。

ここで用いた表面波探査はビック（株）の装置で、（有）ハーデス サーブが探査方式を工夫したものである（東海林ほか、2006・2007 など）。解析方法は各検出器間の周波数による分散曲線を求め、位相差から深度方向のレイリー波速度（ V_r ）を求める。 $V_r \approx V_s$ である。解析結果は2次元、3次元の速度構造断面図として図示される。この方式の探査法の利点は①検出器 A-B 間の距離が1mなので、直下のデータが得られる（図2）、②各測点での測定が独立しているので、側点毎のデータを個々に吟味できる、③発破やかけやを使わず、起振器によって定常波を繰り返し発振できるので、データの再現性が確かめられる、④起振器が20kgなど軽量なので人力運搬が可能である、⑤丘陵地や山地での探査も可能である、⑥探査深度が50m+と表面波探査法

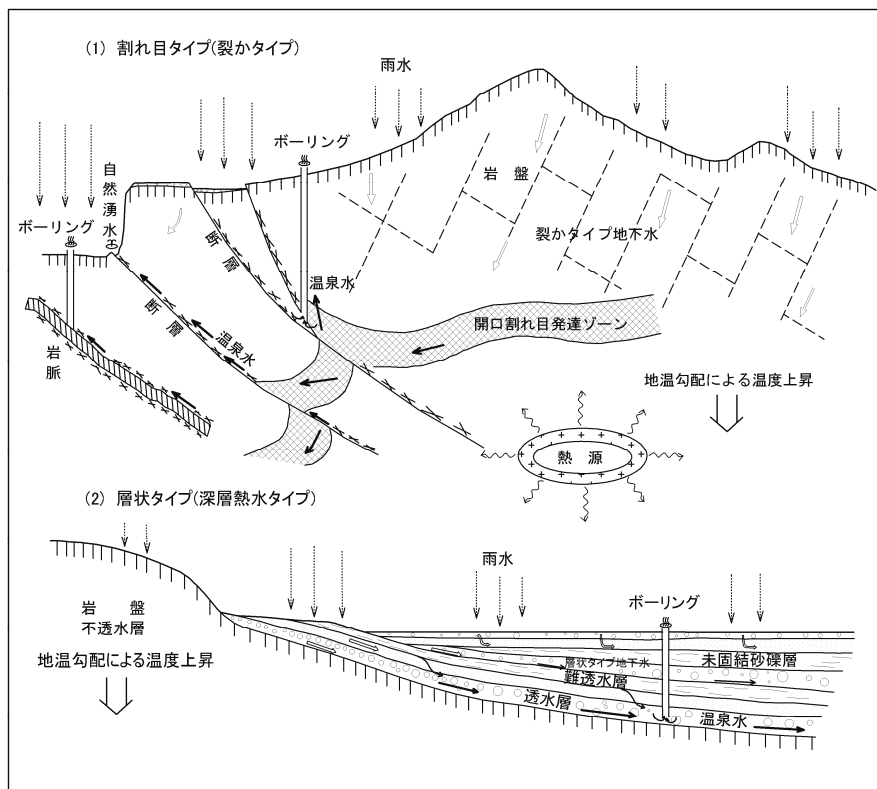


図1 温泉・地下水の賦存形態の概念

の中では深い(現在、探査深度 200m を開発中), などである。

これらの利点を利用すれば、断層破碎帯など比較的規模の大きいフラクチャーを把えることができ、かつ踏査では推定困難な段丘礫層下に伏在する断層なども把えることができる可能性がある。

ただし、フラクチャーの調査では短い間隔で、多数の測点を設定する必要があることから、事前の踏査を充分に行って、フラクチャーの検出可能性があるエリアを絞り込んでおく必要がある。

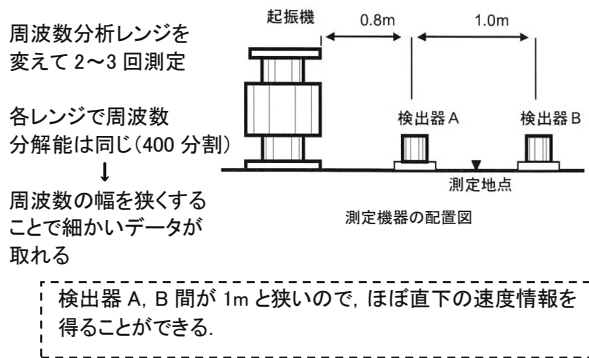


図2 ビイック式表面波探査の起振機-検出器の配置

3. 八雲町熊石, 平田内温泉の新泉源開発

3.1 経緯

平田内温泉は現在互いに近傍にある3泉源から約4km離れた下流での総合利用のため、合計1t/分以上という大量の揚湯を必要としている。しかし、炭酸塩スケールが付き易く、泉源はしばしば揚湯量の減少を招いた。そのため、1969年以来、ボーリングが繰り返し行われている。

2008年には、稼働中の泉源に干渉しない新泉源確保のために総合的な調査が行われた、(アースサイエンス(株), 2008)。そこでは踏査、電気探査、表面波探査、1m深地温探査、炭酸ガス探査を行っている。また、これと並行して、表面波探査を割れ目タイプ温泉の探査に適用すべく、独自の社内研究業務として多数行った。ここでは、表面波探査と踏査の関係、掘削結果に絞って紹介する。

3.2 温泉地質概要

平田内温泉の泉源付近は地下に花崗閃緑岩体が伏在し、それを中新世の玄武岩質安山岩溶岩、火砕岩、礫岩・砂岩・泥岩からなる固結度が高い白別層が覆う。白別層は熱水変質作用を受けており、局部的に粘土化している。また、これに貫入する流紋岩脈が複数認められる。地温勾配が高い地域で、全体として10°C/100m前後(北海道立地下資源調査所, 1995)であるが、具体的には深度200m程度まで地温は急上昇し、約90°Cとなる。しかし、それ以深は3.7°C/100mで、深度1,000mでも123°Cになるに過ぎない(北海道立地下資源調査所, 1985; 松波ほか, 1988)。既存泉源(多くはボーリング深度150~350m, 湯量300~700l/分)で、湯量と泉温(90°C程度のものを河川水で希釈して、60°C±にして使用)がともに大きいものは流紋岩の周辺や内部のフラクチャーから揚湯しているものである。泉質はナトリウム-塩化物泉で、pHは中性、HCO₃とSO₄を含み、炭酸ガスを伴う。

3.3 調査・探査結果

地表踏査を詳しく行った結果、白別層に貫入する流紋岩脈が、既存資料(北海道立地下資源調査所, 1976; 松波ほか, 1988)に示されたものを含めて合計3本見出しされた。

このうち、既存7泉源はこれらのうち、既知の1つの流

紋岩の周辺に集中しており、しばしば相互に干渉することが知られている。

2番目の流紋岩については尾根~斜面に分布しており、これをターゲットとする温泉ボーリングの実績がない。さらに3本目の岩脈は、既存泉源の南側、平田内川沿いの駐車場南端を北西-南東方向に横切る。この岩脈沿いには29°Cの湧水が見られる。

表面波探査はこの3本目の岩脈周辺および既存泉源の多い既知の岩脈とその北側の花崗閃緑岩体周辺で行った。

3本目の岩脈周辺で表面波探査を行った結果について、平田内川沿いの2次元解析断面(図3)および調査結果の解釈と流紋岩の下盤側の境界付近をねらったボーリング候補地(図4)を示す。

3.4 ボーリング結果と表面波探査の評価

候補地点において、2009年に深度100mのボーリングが行われた(14号井)。これによると、流紋岩は深度20m未満で抜けて、それ以下は白別層の火砕岩が分布していた。深度50m以浅、深度70~75mおよび深度90m前後の白別層は破碎ないし、粘土化している。これらは表面波探査の低速度帯の分布とよく一致している。ストレーナーを深度47m以深の3ヶ所に入れて揚湯試験を行った結果は、揚湯量105l/分、泉温40.5°Cということで、求められている泉源としては不十分であり、廃井となった。

調査の評価としては、①流紋岩脈の底の深度が予想深度の50mより浅く出てしまった。表面波探査の低速度帯が一部流紋岩の変質部であるとした解釈の誤りである。②これに伴って、その下盤付近を流動する温泉がやや低温であった。③これは、北側の流紋岩脈周辺の最高温の源泉と比べて、本流紋岩の周辺は期待(60°C)より温度低下した温泉が流動している可能性を示している。④その結果、変質した白別層中のフラクチャーからの揚湯となり、揚湯量が流紋岩やそれと直接するフラクチャーからのそれに比べて少ない結果となった。⑤しかし、表面波探査が温泉を一定量含む低速度帯を把えたという点については高く評価できる。⑥割れ目タイプ温泉調査において、物理探査データの正しい解釈には、地表踏査に基づく地質構造、変質、地下水・温泉水の挙動についての注意深い解析がとくに重要である。これについてのつめが甘かったと言える。

4. 遠軽町, 若咲内

4.1 経緯

遠軽町若咲内で、水井戸の開発を目的とした地下水調査を2010年に行った。実施した調査は、地表踏査・電気探査・表面波探査である。

地表踏査の結果から、本地域では段丘礫層中の地下水のほか、下位の岩盤中の割れ目タイプ地下水も対象として開発を進めることが必要であることが分かった。地下水探査に従来から一般に用いられてきた(垂直)電気探査法では割れ目タイプ地下水が流動する断層破碎帯を検出することは困難である。そのため、破碎帯(幅の狭い低速度帯)を検出することが可能な表面波探査も行うこととした。

4.2 水理地質概要

調査地は大局的に西から東へ横谷をつくって流下する湧別川の右岸の段丘面とその周辺である。開発可能な場所は比高7~8mの段丘面上である。段丘堆積物下には固結度が高い中新統藻別層(八幡ほか, 1988)の火砕岩・溶岩・礫岩や岩脈が分布し、熱水変質作用を被っている。地下水は段丘堆積物中の層状タイプ地下水に加え、湧別川沿いの西部や南北の山地で涵養されたものが、藻別層中のフラクチャーを流動していると考えられる。

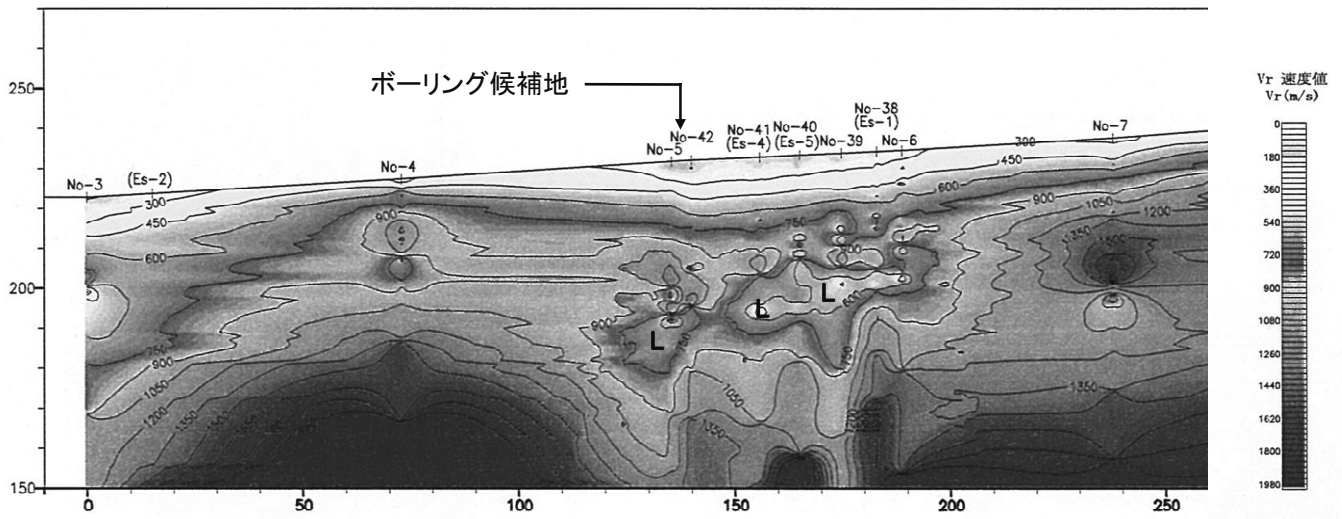


図3 平田内川沿いの2次元解析断面図
 Vr:レーリー波速度(m/s)「候補地」下で、低速度部(L)が
 深度40m以深に顕著

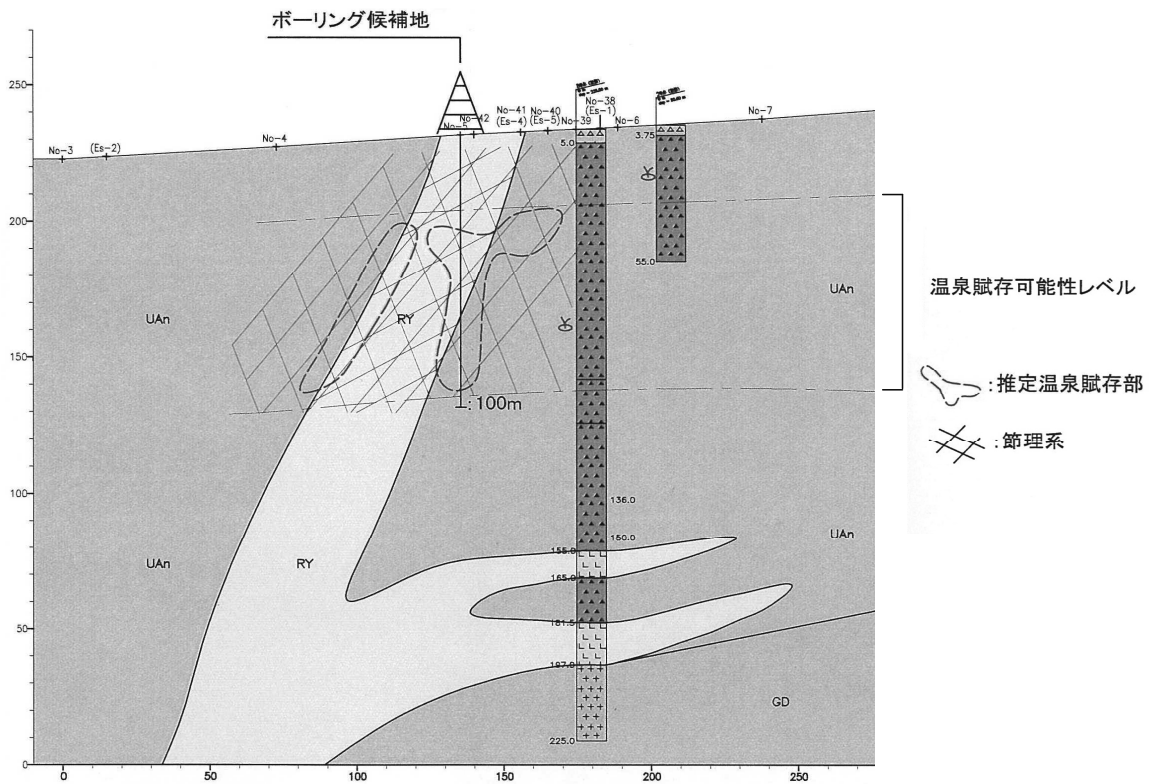


図4 調査結果の解釈とボーリング候補地
 2本の地質柱状図は既存のボーリング(廃井)による。
 RY:流紋岩 UAn:白別層(安山岩・火砕岩) GD:花崗閃緑岩

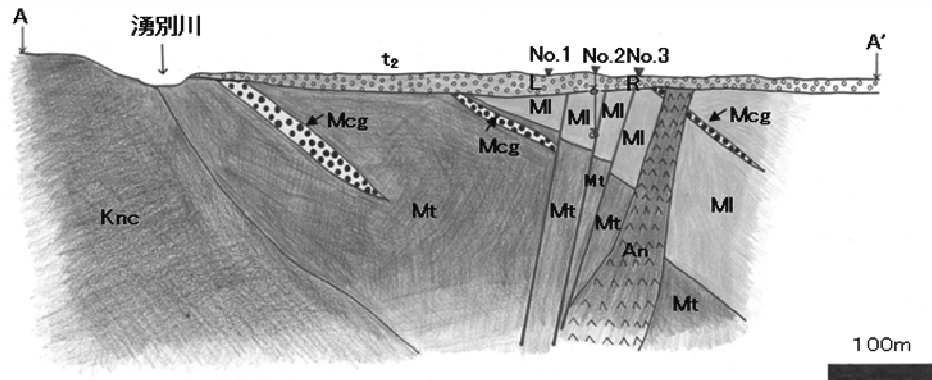
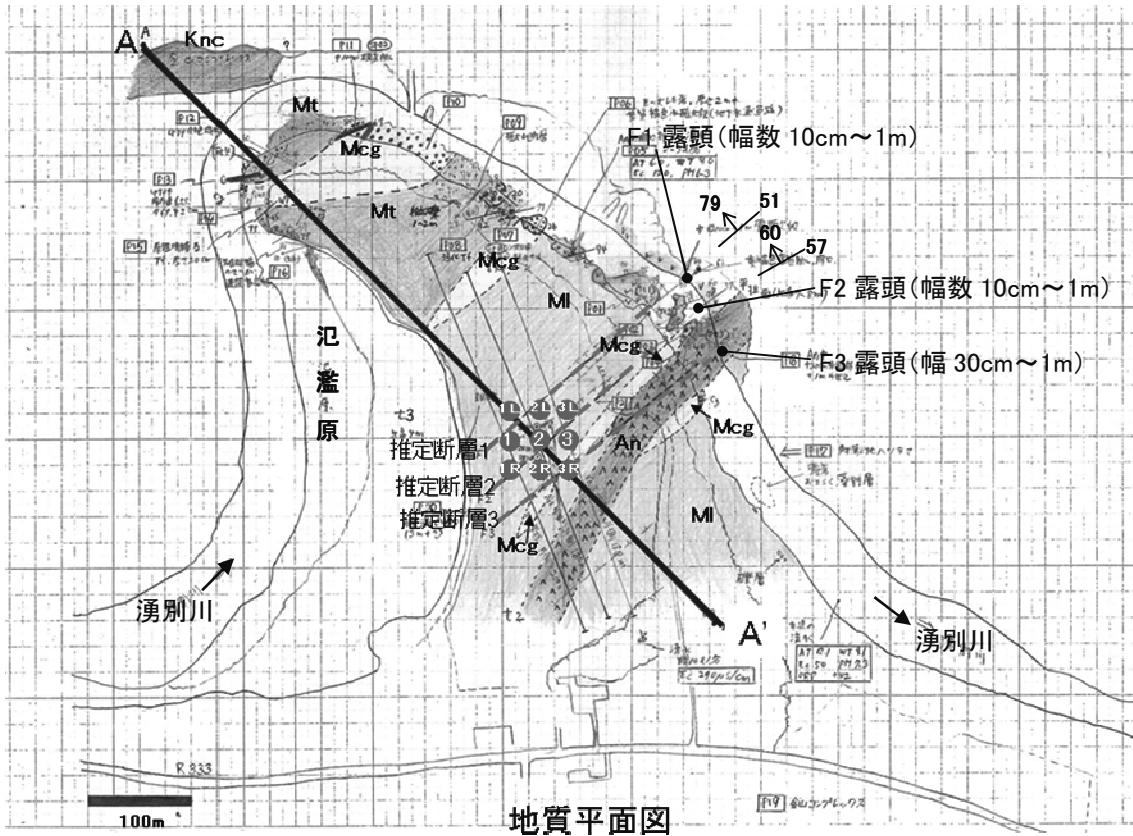


図5 若咲内地区の地質図

地質平面図では、便宜上、段丘堆積物(t_2)を除いて表現している。
 図中には、表面波探査の測点の位置をあわせて示す。
 ボーリング地点はNo.2である。

〔地質凡例〕

- (白亜紀)Knc: 金山コンプレックス
- (中新世、藻別層)Mcg: 礫岩 MI: 溶岩 Mt: 火砕岩
- (岩脈)An: 安山岩 Cd: 碎屑岩脈
- (第四紀) t_2 : 段丘堆積物

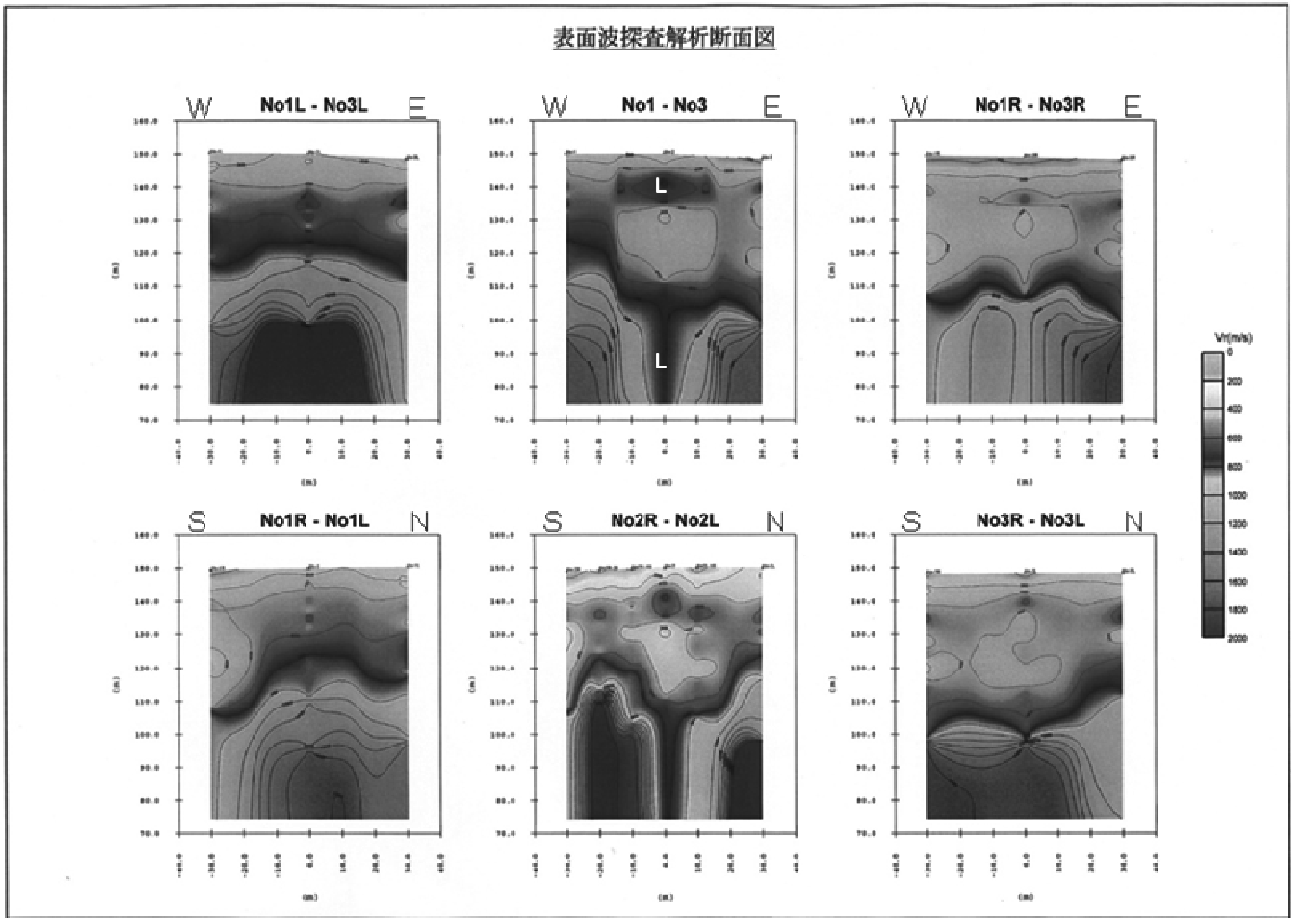


図6 表面波探査解析断面図

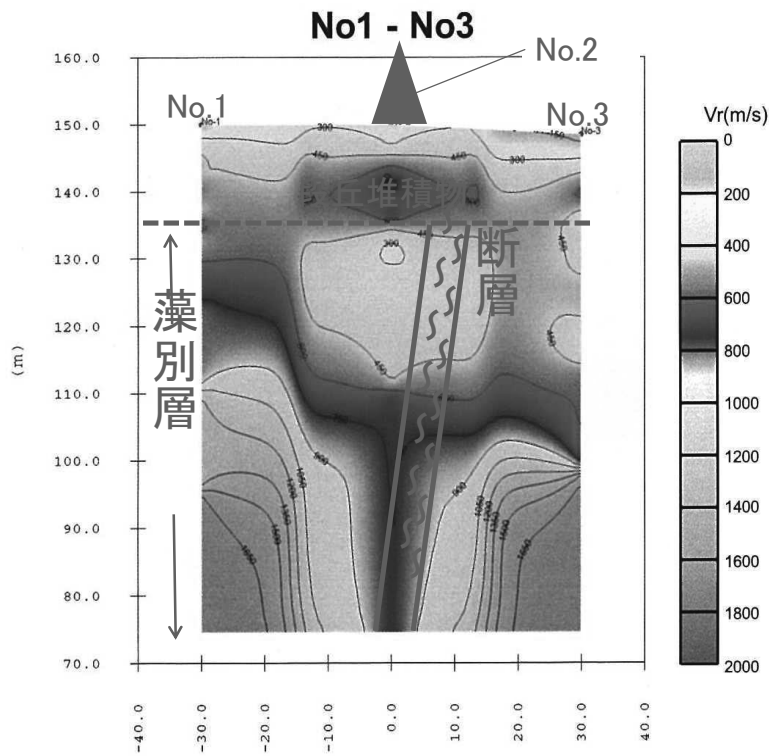


図7 表面波探査解析断面の解釈

No.1～No.3 側線 縦軸は標高[m]
 No.2 直下の標高 110m 以深に、周囲よりも速度の速い「低速度帯」が認められる(図中の周囲よりも暗い部分)

4.3 調査・探査結果

踏査の結果、開発可能地周辺の段丘堆積物の厚さは1~3mで、ところにより、さらに厚いかも知れない。藻別層中の断層は以下の3系統が認められる。①幅数10cm以上の破砕部を伴う北東-南西系、高角北傾斜のものが5本確認され、これらのうち3本の延長は開発希望地周辺に延長する。この方向は千島弧外弧の東北日本弧への衝突・日高山脈の形成に伴って形成されたといわれる上支湧別構造帯の方向に一致する。②北西-南東系(横ずれ)、③東西系(横ずれおよび縦ずれ)も存在する(図5)。②③の断層は連続性の良いものが多いものの、破砕部の幅は微小である。

表面波探査は北東-南西系の断層に伴う破砕部を検出できるよう5mメッシュの配置を基本にその間も含め、合計12測点で行った。

表面波探査の2次元解断面を図6に示す。この内の各図は図5の9測点について東西、南北、合計6測線の断面図である。

これによると唯一、測点No.2の直下だけが深部まで相対的な低速度帯となっている。これを踏査結果と総合すると図7のような解釈が可能である。

4.4 ボーリング結果と表面波探査の評価

No.2地点において2010年に深度70mのボーリングが行われ、口径150Aのケーシングで、ストレーナーが深度10.5~16.0m、38.0m~43.5mに切られた。揚水試験の結果は限界揚水量1830/分(自然水位GL-11.5m、動水位-38.2m)である((有)有賀さく泉工業、2010)。この水量(1200/分で使用)は酪農家の雑用水の用途として充分なものであった。段丘堆積物は深度15mまでで、段丘砂礫層からの揚水は少なく、大部分が藻別層中の破砕部からの揚水と考えられる(図8)。そのためpHは9.1と高い。ボーリング孔内

に出現した地質は以下のようなものである。地表から深度1.5mまでは表土(耕作土)で、深度1.5~15m間は段丘堆積物の砂礫[金山コンプレックス中の変形泥岩や新第三系の熱水変質岩(凝灰岩)を含む]である。深度15m以深は輝石安山岩あるいは凝灰岩で、黄鉄鉱が生成している。深度30m付近より絹雲母など灰白色の粘土が多くなり、40~50mでもっとも多い。熱水変質作用に加えて、断層運動に伴って形成された破砕帯である可能性が高い。

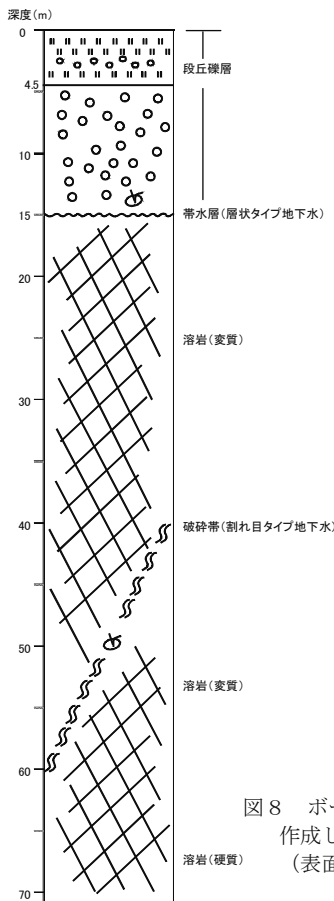


図8 ボーリング結果に基づいて作成した地質柱状図(表面波探査No.2測点)

調査の評価としては

- ①ボーリングで出現した破砕帯の位置は表面波探査の低速度帯のそれとよく一致した。
- ②段丘堆積物の厚さは湧別川沿いの踏査から1~3mあるいはそれ以上と考えたが、No2地点では厚さ14mもあった。表面波探査の解析図は段丘堆積物の厚さもよく反映している。
- ③これらは、詳しい地表踏査の結果に基づいて表面波探査の測点を認定することにより、段丘堆積物下に伏在する幅数10cm以上の破砕帯を検出できることを示している。一方で、探査データに基づいて、踏査に基く解釈を再検討する必要があることを示している。

5. まとめ

割れ目タイプの温泉や地下水の調査に表面波探査を適用する試みを道内の中新統分布域、2カ所で行った。表面波探査を細かいピッチで行えば、割れ目タイプの温泉や地下水調査において、伏在する厚さ数10cmの破砕帯(これに伴う低速度帯)を検出することが可能である。そのためには、地表踏査を詳しく行って、表面波探査のエリアを絞り込む必要がある。また、一般論にも通ずるが、①地表踏査を先行させ、②物理探査のエリアを絞り込み、③データとその解析は互いに独立して行い、④その上で、踏査と物理探査の相方向のチェックを行い、⑤既存のあらゆるデータを総合して解析することが重要である。

ここでは、表面波探査の新しい手法とこれを割れ目タイプ温泉・地下水探査への適用することの有効性を示した。また、その有効性の鍵を握るのは、他の物理探査と同様、精度の良い地表踏査との連携が必要であることを強調した。

謝辞

平田内温泉の調査にあたっては、八雲町熊石支所の担当者の皆様、若咲内の調査にあたっては安藤牧場の皆様の御協力を得た。

表面波探査にあたっては、(有)ハーデスサーブの東海林博氏ほかの、踏査にあたってはアースサイエンス(株)の飯田友章・米島真由子両氏の御助力を得た。

これらの諸氏に感謝いたします。

文献

- アースサイエンス(株)(2008):「平田内温泉ボーリング調査業務報告書」。八雲町。
- (株)有賀さく泉工業(2010):「安藤ファーム井戸工事報告書」。
- 北海道立地下資源調査所(1976):「北海道の地熱・温泉(A) 西南北海道中南部。地下資源調査所 調査研究報告 第3号」。
- 北海道立地下資源調査所(1985):「北海道の地熱・温泉-1985年。I版。地下資源調査所調査研究報告 第15号」。
- 北海道立地下資源調査所(1995):「60万分の1 北海道地温勾配図」。
- 松波武雄・和気 徹・鈴木豊重・横山英二・川森博史・内田 豊(1988):「遊楽部岳南部地域の地熱資源。地下資源調査所調査研究報告 第18号, 68p」。
- 東海林博・布川昭一・高橋輝一郎・加藤孝幸・佐々木克久・斉藤晃生・安田 匡・国分英彦・沢村 寛(2006):「シオワッカ鉱泉の表面波探査。日本応用地質学会北海道支部平成18年度研究発表会, 講演予稿集, 26, 16-18」。
- 東海林博・布川昭一・高橋輝一郎・国分英彦・安田 匡

(2007) : 表面波探査 (定常式) と速度検層の関係. 日本
応用地質学会北海道支部 平成 19 年度研究発表会, 講演
予稿集, 27, 19-22.

八幡正弘・田近 淳・黒沢邦彦・松波武雄 (1988) : 5 万分
の 1 地質図幅「丸瀬布北部および同説明書」. 北海道立地
下資源調査所, 110p.

汎用型ボアホールカメラの適応性について

山田 司*

*株式会社ドーコン 地質部

キーワード：汎用型ボアホールカメラ，孔壁観察，孔壁画像，濁水対策

1. はじめに

現在の地質調査において，ボアホールカメラによるボーリング孔内観察は一般的な調査手法として確立されてきた。本報告で使用している汎用型ボアホールカメラは，低コストで運用でき，専門技術者でなくとも容易に操作が可能であることを念頭に置き開発されたものである。

汎用型ボアホールカメラについては，平成 21・22 年度に(社)全国地質調査業協会連合会の「新マーケット創出・提案型事業」に選定，平成 21 年度に(独)産業技術総合研究所の「中小企業等製品性能評価事業」に採択され，多くの撮影記録や解析結果が得られた。その結果，撮影画像の品質や作業性などは実用段階にあることが確認された。

2. ボアホールカメラの概要

汎用型ボアホールカメラは，市販の水中カメラに撮影深度や方位を判別するためのリールや可とう管等を追加して構成した地質調査機器である。従来型のボアホールカメラは，円錐鏡を用いた側方視画像や超音波測定による画像を用いることが多いが，本機は前方視画像を用いた撮影である。本機の特徴は，安価で簡便に使用できる利点を有するが，深度・方位の計測センサを有さないため，計測誤差として深度±0.2m 程度，方位±20° 程度を考慮して撮影画像を扱う必要がある。

3. 撮影画像例

現場で記録する孔壁画像は基本的に動画であるが，資料整理の際には動画と合わせて，代表的な箇所を静止画（キャプチャ画像）として記録表や報告書にとりまとめる。実際に撮影した画像（静止画）例を以下に示す。

事例 1) 泥岩

橋梁基礎調査で掘削された亀裂の発達した珪質泥岩。急傾斜地に橋脚が計画され，仮設切土の安定性評価を行うために孔壁観察を行った。

事例 2) 安山岩

海岸線に沿った急崖露岩斜面から水平方向に掘削された安山岩。斜面の相対的な亀裂方向の確認のため孔壁観察を行った。

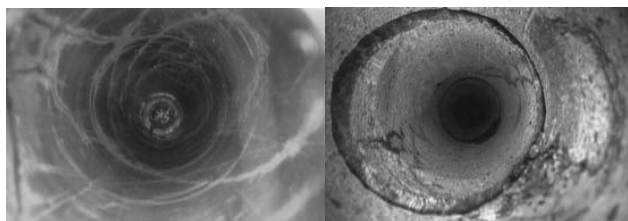


写真 1 珪質泥岩（写真左）と安山岩（写真右）

写真 1 に示すように，孔壁の掘削面状況，亀裂の方向や開口度など，相対的ではあるが明瞭に確認することができる。

4. 濁水対策例

ボーリング孔内観察では，孔内水（地下水）の濁りが大きな問題となっている。一般的な濁水対策のうち，水位低下手法は孔内の水位低下効果に限界があり，また沈殿剤を用いた対策は比較的高価で使用した場合の時間的制約を受けるとともに，場合によっては効果が現れないことがある。

本報告で行った濁水対策は，孔内へ挿入したビニールチューブに清水を注入し孔壁に密着させ，孔内の濁水を排除し，ビニールチューブの清水中から観察（撮影）する手法である。泥岩の孔内で実際に濁水対策を実施した孔内画像（静止画）例を以下に示す。

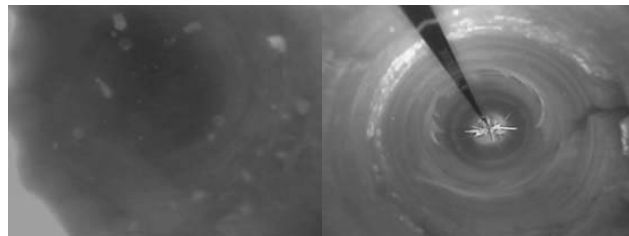


写真 2 濁水処理前（写真左）と処理後（写真右）

写真 2 に示すようにビニールチューブに照明がやや反射するものの亀裂の状況など観察が可能となる。

5. まとめ

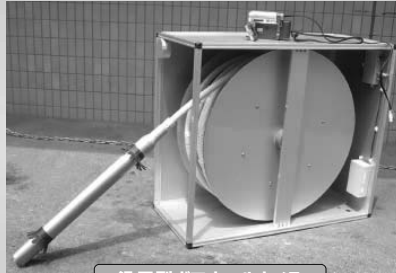
ボアホールカメラによる孔内可視化は極めて有効な調査手法である。しかし，現状では費用が高く，現地における多様な解析に対応するため専門技術者の操作が必要であることから限られた業務でのみの実施となっていた。

汎用型ボアホールカメラおよび濁水処理方法が確立すれば，多様な調査業務において実施可能となり，成果品の品質向上とコストダウンの両立が実現できることとなる。また，将来的に汎用型ボアホールカメラが地質調査における標準仕様となることでボーリング情報の使用価値が高まることとなる。

文 献

- 太田保（2009）：地質調査業の停滞は若者の責任か(超簡易型ボアホールカメラの撮影で解決か)。日本応用地質学会東北支部 第 17 回研究発表会予稿集。
- 山下智士・太田保・原口強・国松直・山田司・銭谷竜一（2010）：汎用型ボアホールカメラを用いた地質調査の標準化への試み。日本応用地質学会 平成 22 年度研究発表会論文集。
- 太田保・原口強・国松直・原重守・山田司・銭谷竜一（2010）：汎用型ボアホールカメラの全地質への適応性。日本応用地質学会 平成 22 年度研究発表会論文集。
- 山田司・銭谷竜一・太田保・国松直・佐々木孝幸・齊藤重則（2010）：濁水中での汎用型ボアホールカメラの撮影方法の検討。日本応用地質学会 平成 22 年度研究発表会論文集。

汎用型ボアホールカメラの適応性について



汎用型ボアホールカメラ

株式会社ドーコン
地質部 山田 司

1.ボアホールカメラの必要性

現状の地質調査：ボーリングコア採取



問題点：原位置の位置情報(走向傾斜)が失われる。
亀裂の開口度が不明である。



ボアホールカメラで解決可能だが、
既存機器は高価、かつ専門技術者が必要。
適用はダム等の大規模地質調査に限定



小規模な調査業務にも適用可能なボアホールカメラを開発

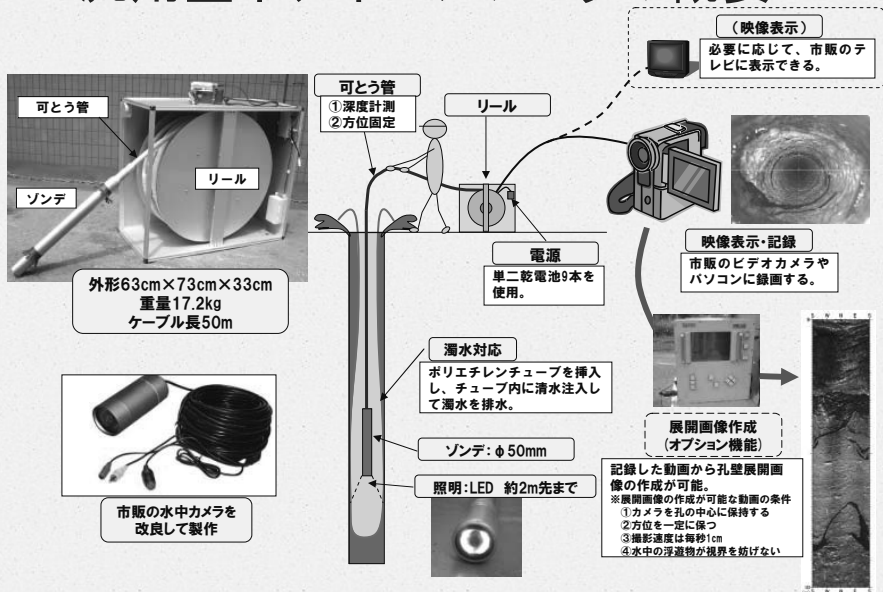


開発した「汎用型ボアホールカメラ」



- ①低コストで運用できる
- ②専門業者でなくても操作できる

2. 汎用型ボアホールカメラの概要



機器仕様

項目	仕様
本体重量	17.2kg
外形寸法	63cm×73cm×33cm
ケーブル長	50m
カメラ寸法(ソウデ)	長さ50cm、外形50mm
電源	13.5V(単二乾電池9本)
記録・映像表示	ハンディカメラ、ノートPC

NETIS登録：TH-090002-A
実用新案登録：3119012号

従来型カメラとの比較表

名称	ボアホールイメージングプロセッサ	ボアホールテレビユア	汎用型ボアホールカメラ
特徴	側方視型 円錐鏡で撮影	側方視型 超音波で測定 濁水可	前方視型 専門技術者不要
機体価格	1,000万円以上	同左	30万円
測定費(100mあたり)	70~80万円	同左	13万円
記録速度	0.9m/分	同左	通常観察 6.0m/分 展開画像 0.6m/分
品質 (測定精度) 深度 回転	1cm 10° 以内	1cm 10° 以内	±20cm ±20°
成果品	展開画像 クラック解析図	展開画像 クラック解析図 (白黒出力)	動画 キャプチャー静止画 展開画像可能 (別ソフト使用)



汎用型ポアホールカメラ撮影実績表 (株式会社ドーコン)			
件名等	北海道地域の地質・土質を対象としたカメラ画像撮影	撮影No.	No.1
場所	北海道 礼文島	ポアリング 最終深度	29m
月日	平成21年7月9日 10:00~11:00		
孔径	66mm	方向	鉛直下方
撮影対象地質	火山角礫岩 (新鮮部)		
撮影状況	トンネル坑口が封鎖されている尾根地形上から掘削したボーリング孔。現在は水放観測孔として保孔されている。孔内水位は GL-18.8m であり、対象区間の撮影は良好であった。		
結果	〔柱状図〕	〔コア写真〕	
	〔観察写真〕	〔観察記録〕	
コメント	・コア観察では、礫と基質部の境界が分離した状況であり、初性的なものも部分的によるものが判断できない。孔内観察で密着した状況が確認できた。		

3.実証実験

- ▼コアで確認されるコアの状況は孔壁でどのようなになっているか？
- ▼コアで見られる亀裂は本当に地山内で割れているのか？
- ▼地下水は孔内でどうなっているのか？



全国的に実証実験を行い、有効性を確認

実験 (1) 孔壁の画像について

実際のコア状況の画像 (動画) を紹介

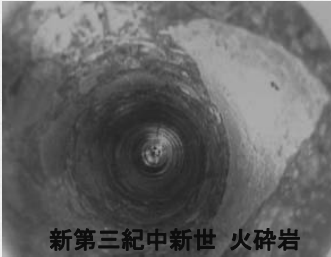
実験 (2) 亀裂について

コアで見る亀裂と実際の亀裂の対比

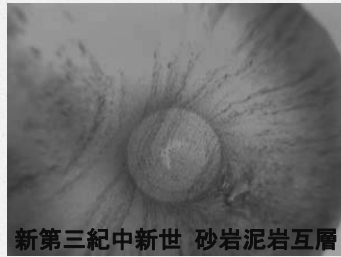
実験 (3) 地下水について

孔内で湧出する地下水
濁水対策について

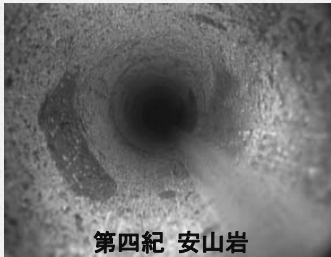
実験(1) 孔壁の画像について



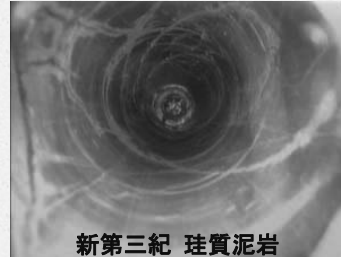
新第三紀中新世 火砕岩



新第三紀中新世 砂岩泥岩互層



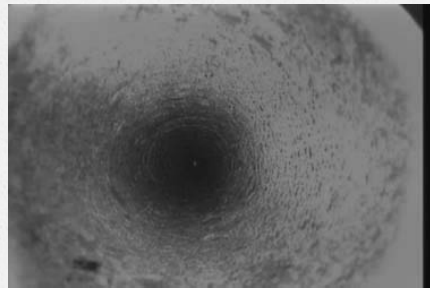
第四紀 安山岩



新第三紀 珪質泥岩

孔壁の動画について

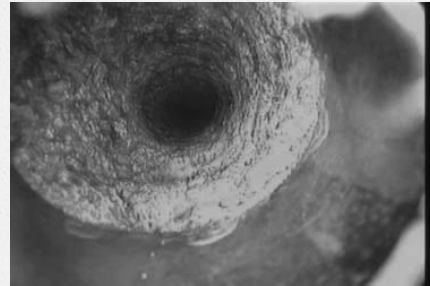
- ・ 挿入深度は、可とう管の目盛で管理
- ・ 挿入速度は、6.0 m/分 程度
- ・ 動画を確認しながら挿入するため、速度調整が可能



火山角礫岩



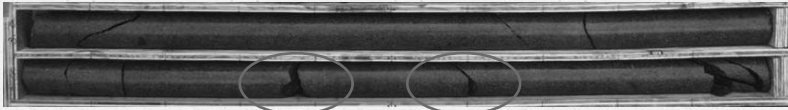
珪質泥岩



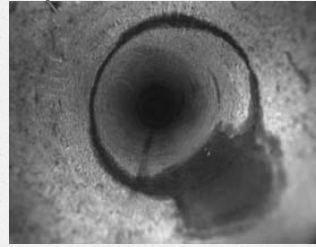
ヒン岩/泥岩

実験(2) 亀裂について

<第四紀 安山岩 (水平孔)>



開口亀裂



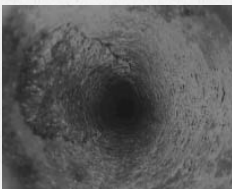
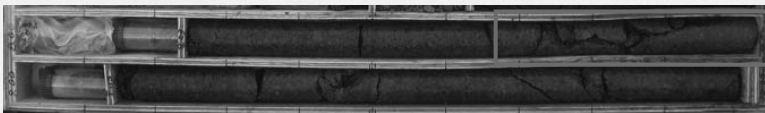
密着亀裂

孔内観察では、亀裂の開口度は不明だが、孔壁観察で開口度が判定可能となる

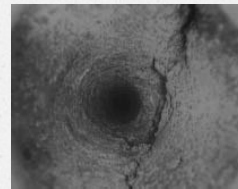
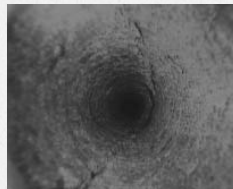
実験(2) 亀裂について

<新第三紀中新世 火砕岩>

上位 → 下位



上位

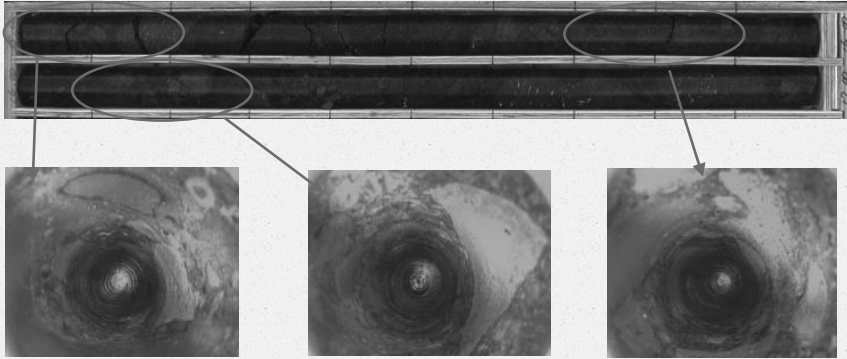


下位

孔内観察では、高角な亀裂が1条確認されるが、コアで見られる亀裂の発達は見られなかった

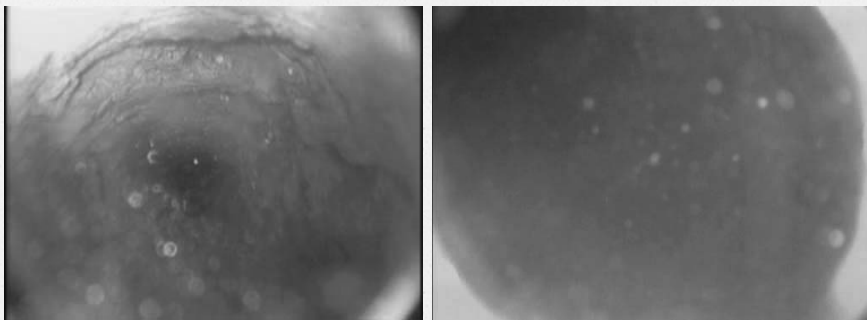
実験(2) 亀裂について

<新第三紀中新世 火砕岩>



コア観察では、新鮮な亀裂として認識されるが、孔内観察で密着した状況が確認され、掘削時（もしくは掘削後）に礫と基質部が分離したものと判断される

実験(3) 地下水について



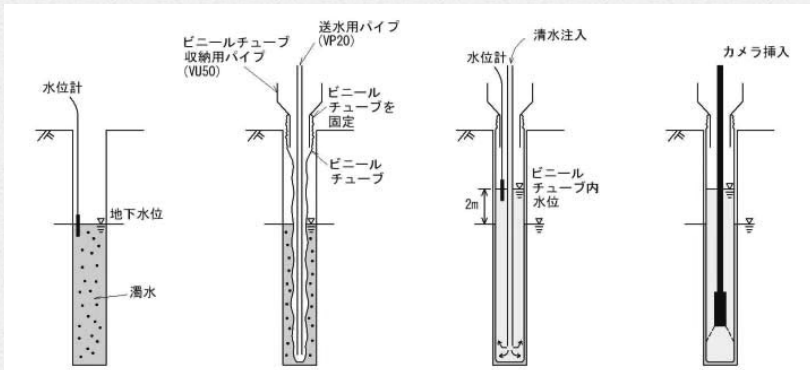
- ・砂岩や泥岩などは細粒分が流出しやすく、濁水となりやすい
- ・静水状態であっても、ゾンデの挿入で地下水を濁らす原因となる

<従来の対策>

- ・水位低下工法 — 効果に限界がある
- ・沈殿剤 — 比較的高価、時間的制約を受ける

ビニールチューブを用いた濁水処理

本濁水対策は、孔内へ挿入したビニールチューブに清水を注入し孔壁に密着させ、孔内の濁水を排除し、ビニールチューブの清水中から観察（撮影）する手法である。



第49回試験研究会

13



① 収納用パイプにビニールチューブを装着する



② ビニールチューブを送水用パイプで孔底まで挿入する



③ 送水用パイプによりビニールチューブ内に清水を送る(地下水位+2m程度まで)

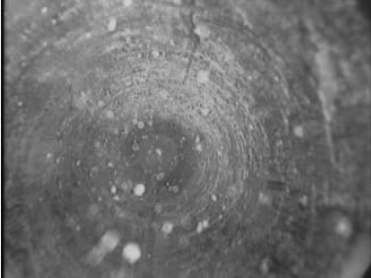


④ 送水用パイプおよび水位計を引き抜きカメラを挿入

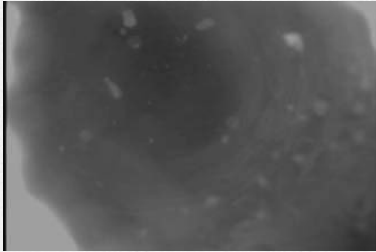
第49回試験研究会

14

対策前



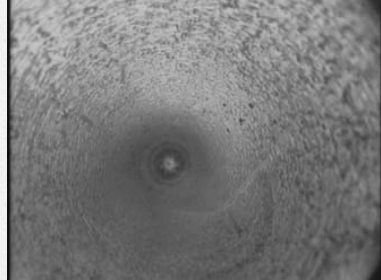
地下水は比較的透明度が高いが、ソルデが孔壁に触れるため、細礫が沈降する



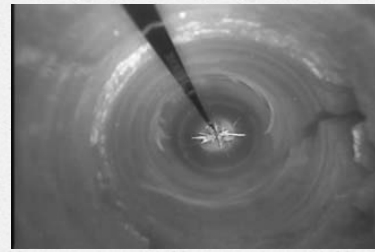
地下水中に細礫や細粒分が舞い、視界が悪くなる

第49回試錐研究会

対策後



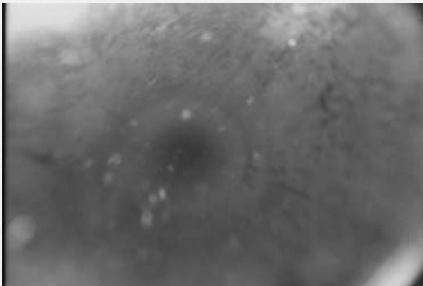
ビニールチューブの密着性がよく、観察状況は良好である



一部、ビニールチューブの反射が見られるが、亀裂など明瞭に確認ができる

15

濁水処理の動画について



濁水処理前

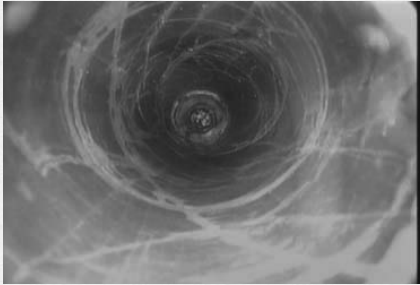


濁水処理後

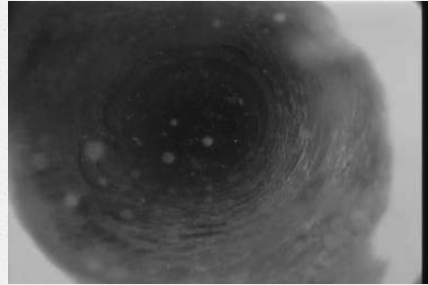
第49回試錐研究会

16

その他の地下水の動画について



亀裂からの湧水(裂か水)



水圧を受けた地下水

4.まとめ

汎用型ボアホールカメラ

全地質へ適用が可能

濁水対策が確立



本カメラの実用化



標準仕様化

- ・本カメラが実用化されると、多様な調査業務において実施可能となり、成果品の品質向上とコストダウンの両立が実現可能となる
- ・本カメラが地質調査における標準仕様となることでボーリング情報の使用価値が高まることとなる

最近係わった温泉のホウ素とメタンについて

内野 栄治*

*北海道立衛生研究所 健康科学部 温泉保健科

キーワード：北海道の温泉，可燃性天然ガス，ホウ素，分布，起源

1. はじめに

平成 20 年度現在，北海道は温泉地数，入湯客数が全国 1 位，総湧出量全国 2 位など，我が国でも有数の温泉王国となっている。当所では 1948 年以来 3000 件に及ぶ道内各地の温泉分析を担当し，1995 年から，温泉の保健作用を重視した研究にも取り組んでいる。その成果等は，これまで本試錐研究会でも「道内温泉の保健・医療面への有効利用について」，「温泉の健康科学—当所における取り組み—」の各演題で述べてきた。

本講演では温泉法の改正等に伴い，何かと話題の多かった温泉水の可燃性天然ガスとホウ素に関して道内の検出状況等について概説する。

2. 法改正の背景

2007 年 6 月，東京都の温泉施設で可燃性天然ガス（メタン）による爆発火災が発生し，女性従業員 3 名が死亡，通行人 1 人を含む 4 人が重傷を負うという痛ましい事故が起きた。環境省はこれを契機に温泉の採取等に伴い発生するメタンによる災害を防止するため，2007 年 11 月に温泉法の一部を改正し，2008 年 10 月から施行した。

また，温泉には自然由来の有害な物質が高濃度で検出される例も多いことから，水質汚濁防止法により温泉を利用する旅館からの排水にも一定の基準が設定されている。しかし，温泉に含まれるその物質の一つであるホウ素は除去処理装置の導入に向けた課題も多く，2001 年以来一律基準に替え緩やかな暫定基準が延長されたままになっている。

3. 調査方法

3.1 可燃性天然ガス

2008 年 10 月から 2009 年 3 月までに当所で実施した 120 ヶ所に加え，他の分析機関で実施した道内 685 ヶ所の分析結果を基に解析した。測定は環境省告示の「温泉法におけるメタン濃度測定手法マニュアル」に基づき実施した。

3.2 ホウ素

1979 年 1 月から 2010 年 4 月までに，当所で調査した道内の 1078 ヶ所（混合泉，浴槽水等を除く）のホウ素の分析結果について解析した。測定は全てマンニット法を用いて実施した。

4. 結果及び考察

4.1 可燃性天然ガス

検出した源泉，すなわち災害の防止のための措置を必要としない A 規準を超過，もしくは温泉水から可燃性天然ガスを分離するための B 規準に係わる試験を実施した源泉は各々 89，20 ヶ所となり，全体の 15.9%を占めた。検出した温泉の泉質は塩化物泉系が最も多く 64.7%，ついで単純温泉が 18.6%であった。またモール系と推定される温泉が少なくとも約 33%あった。そして SO_4^{2-} がほとんど検出されない温泉が約 51%あった。主たる採取地層は堆積岩類が約

80%，火山岩類が約 15%であった。その他，検出した温泉の地域分布等について検討した。

4.2 ホウ素

湧出形態別にみると，自然湧出と自噴の平均値は一律排水基準（基準）値 40.5mg/kg を超えた。自然湧出では基準を超えるものが 43.7%に達し，動力と比べ一律基準の 2 倍，5 倍，10 倍以上といった高濃度に検出される割合も多かった。基準を超えたホウ素を含む温泉は酸性泉と塩化物泉が各々 55.0%，54.4%と高く，以下，硫黄泉 24.8%，硫酸塩泉 15.3%，炭酸水素塩泉 13.9%，単純温泉 2.1%，冷鉱泉 0%となった。その他，ホウ素濃度の地域分布，ホウ素濃度と湧出母岩並びに他成分濃度との関係等についても検討した。

5. まとめ

今回検出したメタンの多くは，温泉を胚胎している地層が主に新第三系の堆積岩類であること，pH や泉温を含む泉質の特徴等から，約 160 万年以上前の太古，海底や低湿地に堆積した有機物が微生物により分解され供給されたものと推定した。

一方，高濃度のホウ素は火山近傍の温泉，化石海水由来の嫌氣的な温泉， HCO_3^- に富んだ冷泉に多くみられる。これらはホウ素がグローバルな循環の中で沈み込み帯からの放出，海底や湖底堆積物へ浸漬した有機物の分解， CaCO_3 などの沈殿物からの溶出により供給された可能性を示唆している。

謝 辞

調査にご協力頂いた道総研 地質研究所 主査（地域エネルギー）高橋徹哉氏，（株）ドリリング計測 顧問 松波武雄氏並びに（株）ホクカン，（株）環境総合科学，（株）環境科学研究所，太平洋総合コンサルタント（株），（財）北海道薬剤師会公衆衛生検査センター関係諸氏に深謝致します。

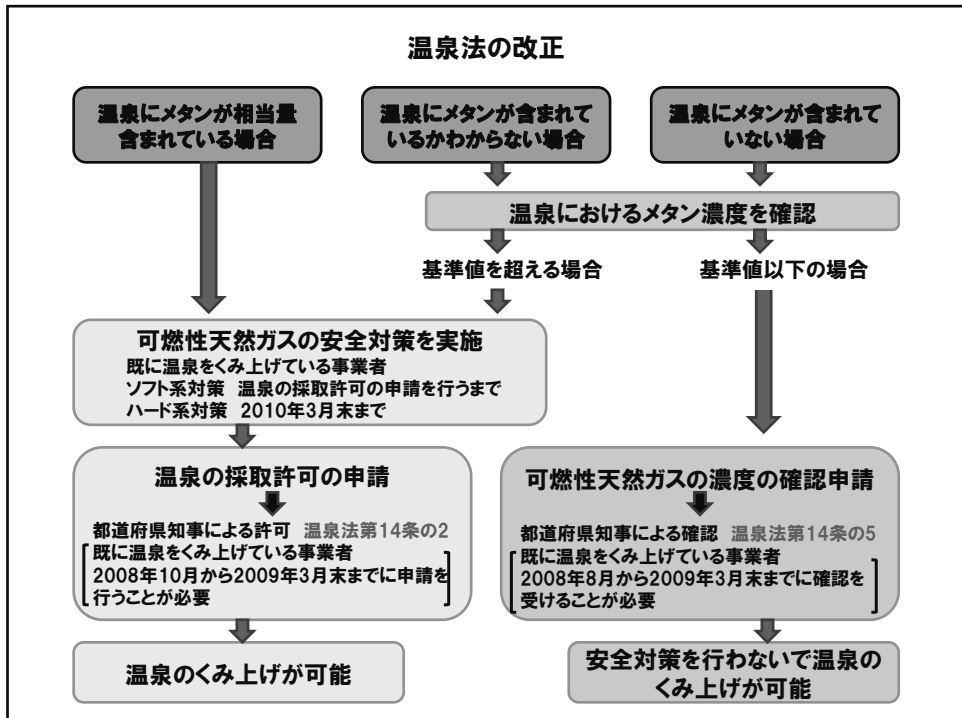
文 献

- 内野栄治・市橋大山・青柳直樹(2005)：北海道の温泉のヒ素，ホウ素及びフッ素濃度，第 58 回日本温科学大会大会講演要旨集，P49.
- 内野栄治・青柳直樹・中山憲司(2009)：改正温泉法による道内温泉のメタンガスの検出状況，第 62 回日本温科学大会大会講演要旨集，P43.
- 内野栄治・青柳直樹・中山憲司(2009)：温泉法改正に伴う道内温泉のメタン測定，第 61 回北海道公衆衛生学会抄録集，P71.
- 内野栄治・青柳直樹・市橋大山・中山憲司(2010)：湧出形態別に見た道内温泉のホウ素濃度，第 63 回日本温科学大会大会講演要旨集，P49.
- 内野栄治・青柳直樹・中山憲司(2010)：北海道における改正温泉法によるメタン検出温泉の分布と地球化学的特徴，温泉科学，59，282-294.

温泉法改正のきっかけとなった温泉付随ガスに起因する爆発事故

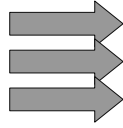


2007年6月19日、東京都渋谷区の温泉施設(毎日新聞)



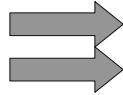
測定の方法は

(A) 災害の防止のための措置を
必要としない基準



水上置換法
槽内空気測定法
ヘッドスペース法

(B) 温泉水から可燃性天然ガスを
分離するための基準



槽内空気測定法
ヘッドスペース法

(C) 可燃性天然ガス排出口の基準

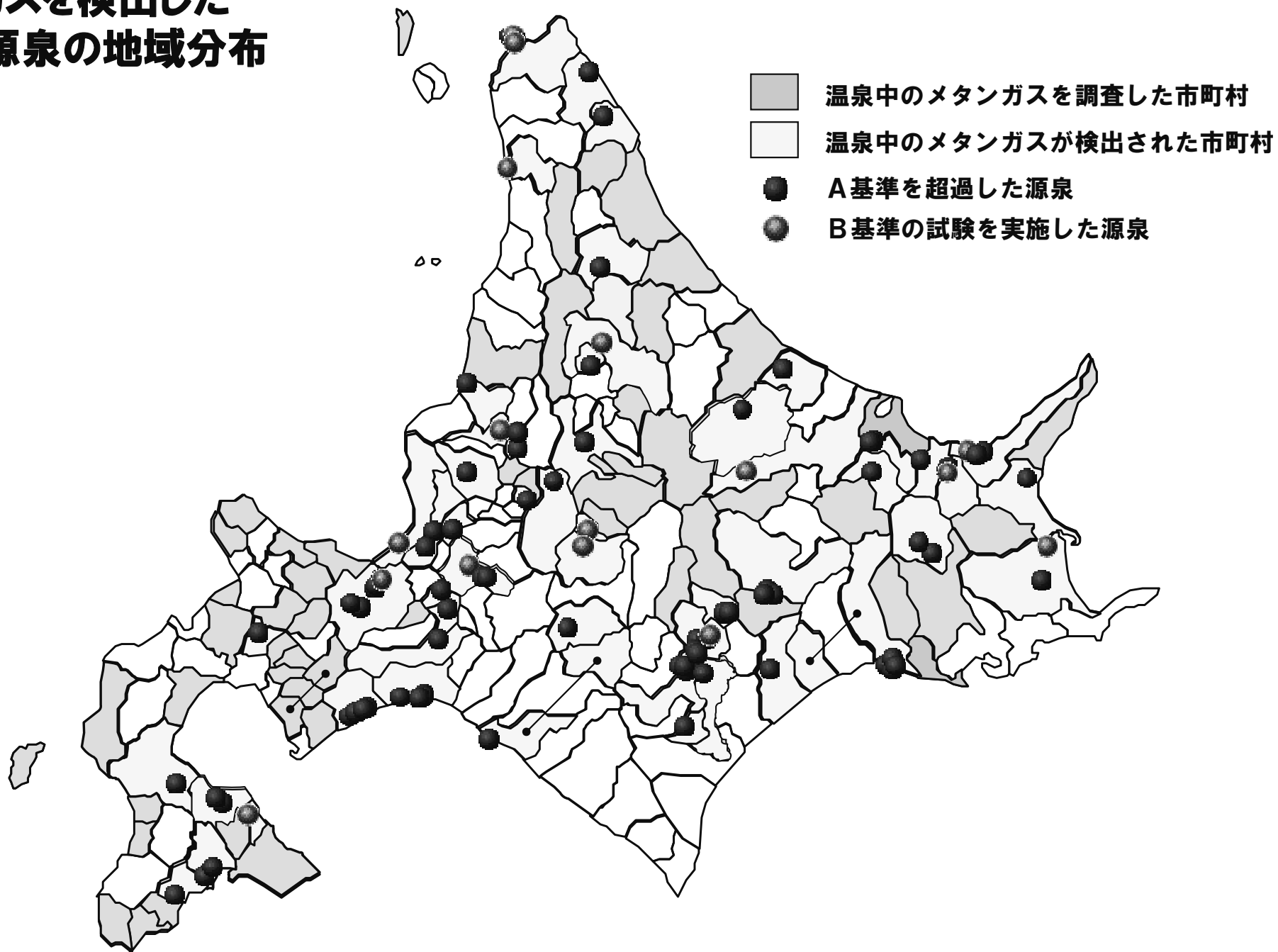


槽内空気測定法

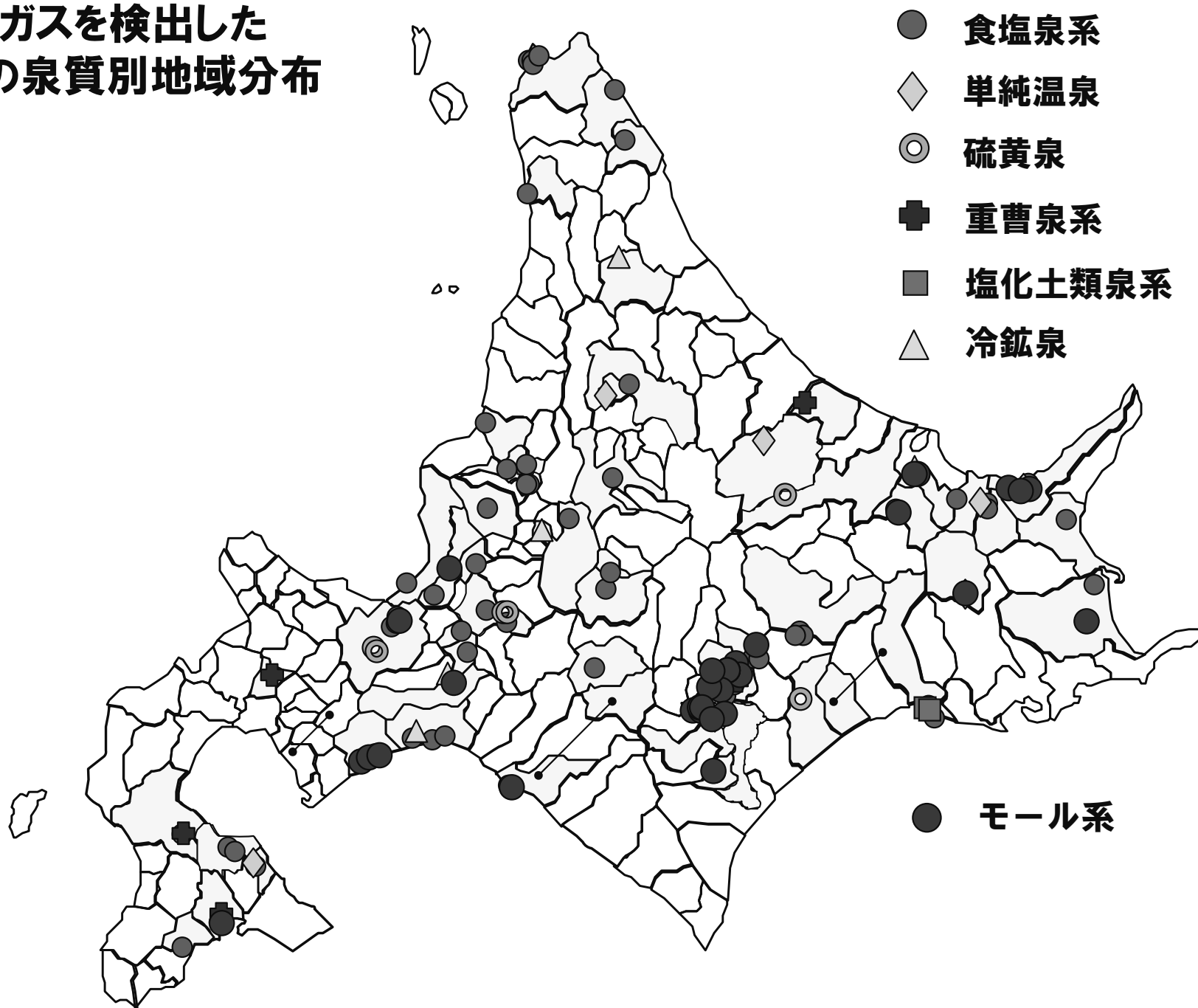
源泉周辺にて



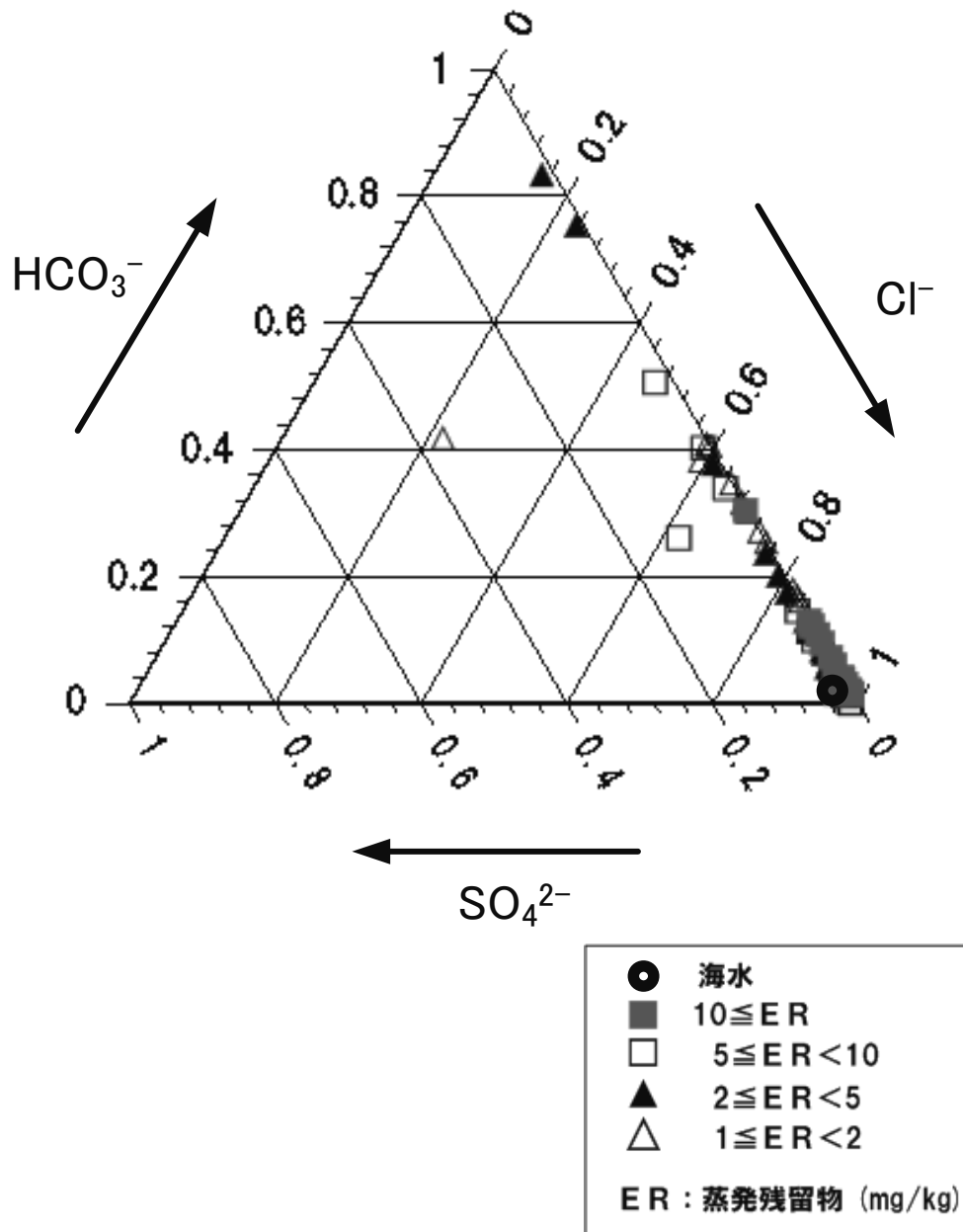
メタンガスを検出した 源泉の地域分布



メタンガスを検出した 源泉の泉質別地域分布



メタンガスを検出した源泉の成分組成

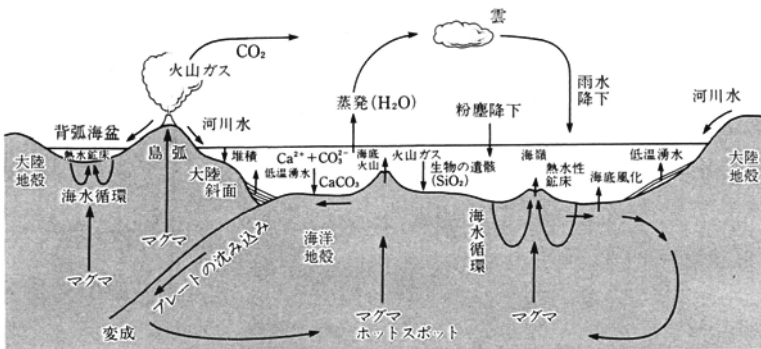


ホウ素に関する改正案
(温泉排水に係わる暫定排水基準)

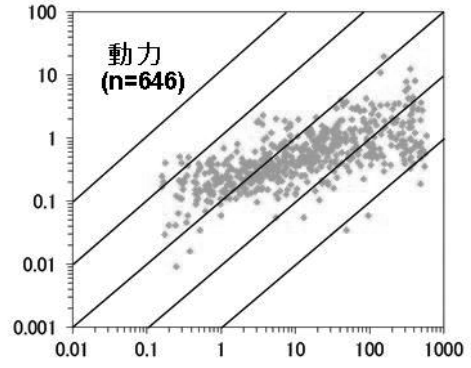
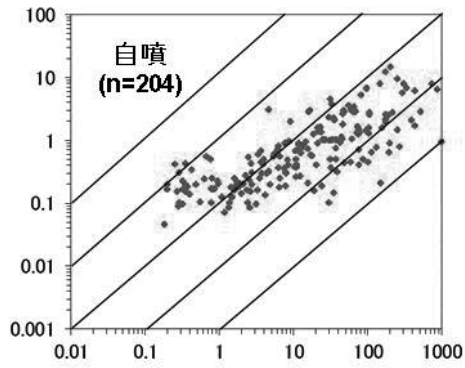
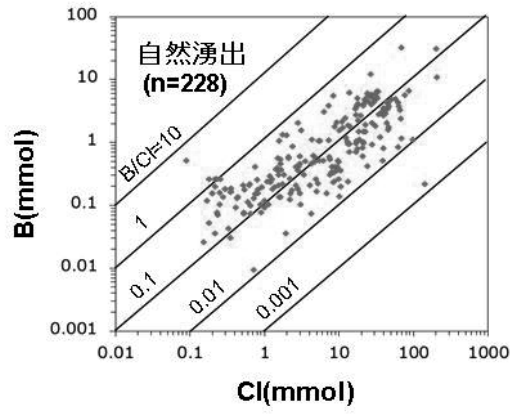
最大(許用限度)

海域以外の公共用水域
10mg/l (HBO₂として、40.5mg/l)

海域
230mg/l (HBO₂として、931.5mg/kg)



地球表層部の構成要素と物質循環(鹿園, 1995)



道内温泉のBとCl⁻濃度との関係

化学組成からみたニセコ地域の温泉 —南部から東部の温泉の特徴—

柴田智郎

*道総研 地質研究所 資源環境部 資源環境グループ

キーワード：温泉，化学組成，温泉資源，ニセコ地域

1. はじめに

ニセコ地域は北海道西南部に位置し、ニセコ火山群によって南北に2分される。その火山群は東西方向の約27kmにわたり連なり、北を堀株川、南および東を尻別川、西を日本海に囲まれ、標高1000m以上の多数の火山体からなる(大場, 1960; 堀ほか, 1986)。主な火山体は、西から雷電山、岩内岳、目国内岳、白樺山、シャクナゲ岳、チセヌプリ、ニトヌプリ、イワオヌプリ、ワイスホルン、ニセコアンヌプリからなり、岩内岳およびワイスホルンの2山は東西の列から北方に離れているが、他はほぼ直線上に並んでいる。

火山群の山腹、山麓には多数の温泉が自然湧出している。自然湧出している温泉は、雷電山の西山腹にある朝日、白樺山の南斜面にある新見、チセヌプリの南山腹にある湯本、ワイスホルンの東側斜面山腹にある花園、北東麓にあるワイス、イワオヌプリ南山腹にある五色、ニセコアンヌプリ西南麓の昆布、薬師、東南麓の山田温泉である。花園、ワイスは北に、昆布、薬師温泉は南に離れているが、これら4温泉を除く5温泉は、火山群に平行して東西のほぼ一直線上に位置する。

近年、ニセコ地域ではボーリングによる深部温泉の開発が進められ、自然湧出している地域以外でも温泉が汲み上げられている。これら深部温泉の成因や化学組成は十分に理解されていない。また、古くからの自然湧出の温泉との関係も不明である。そこで、当所では平成21年度より3年計画で調査を行っている。本講演では調査したニセコ火山群の南部から東部にかかる温泉について化学組成からその成因について述べる。

2. 温泉開発

ニセコ地域はアウトドアスポーツ観光を積極的に取り組み、世界に誇る魅力的なリゾート地として発展している。近年は外国人観光客が増加し、宿泊施設や新たな別荘等の建設が進んでいる。また、本地域は豊富な地熱資源があり、温泉は観光産業を下支えしてきた。北海道立地質研究所(2008)によると、温泉開発の状況は、選択する地域によって数の増減はあるが、掘削による温泉井は130井を越え、現在50井が利用されている。

温泉井の掘削深度は100m以浅から1400m超まで、さまざまな深度があるが、頻度分布を見ると、100~300mと900~1100mの範囲に多くの温泉井がある。開発された時期は1980年を境とし、それより前に開発された温泉井の深度は比較的浅く、それ以降では深くなっている。

3. 温泉の化学組成

温泉の湧出機構は火山群の火山活動と密接に関係しており、現在も湯本にある湯沼には高温ガスが噴出し、黄色の硫黄球が浮遊している。本調査では、掘削井の温泉のほか、自然湧出の温泉と湧水について調べた。チセヌプリとイワ

オヌプリの山腹で自然湧出している湯本(大湯沼)と五色温泉のpHは2~3と低いが、その他の温泉はpHが5~7と弱酸性から中性を示し、また、温泉の化学組成は多様である。自然湧出している温泉は、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} およびClに富んだアルカリ土類非炭酸塩型の組成を示している。一方、掘削井の多くはアルカリ非炭酸塩型の組成を示し、海水が関係しているものと思われる。湧水や一部の温泉はアルカリ土類・アルカリ炭酸塩型の組成を示し、表層や深層の地下水に多く見られる組成である。試料の濃度は幅広い範囲に分布しているが、大きく3つの端成分の混合で説明できる。その3端成分とは濃度が低い湧水(表流水)、アルカリ土類金属イオン(Ca^{2+} 、 Mg^{2+})濃度と SO_4^{2-} 濃度が比較的高い自然湧出の温泉、アルカリイオン(Na^+ 、 K^+)濃度とCl濃度が高い平野部に位置する掘削井の温泉である。

4. 水の同位体組成

自然湧出の温泉は天水起源の水を一端とし、一般的に島弧火山の流体(熱水)といわれる組成に向かって直線的に分布していることが判明した。この直線関係は、これらの温泉が天水起源の地下水と火山からの熱水との混合によって生成していることを示唆している。

一方、その他の温泉は、天水線から僅かに $\delta^{18}\text{O}$ の値が高くなっていることから、天水起源の地下水が地下深部の高温岩体に触れ、加熱されるとともに岩体と反応し、 $\delta^{18}\text{O}$ が高くなったと考えられる。

5. おわりに

温泉の成因については、総合的に判断すると少なくとも3つの起源が考えられる。その1つは天水を起源とするもので、これは天水を起源とした地下水が高温の岩体で加熱されたもので、山間部にある多くの掘削井の温泉がこれにあたる。2つ目は火山からの熱水が混合したもので、自然湧出の温泉に見られる。最後は平野部で見られる掘削井の温泉で、高Cl濃度の熱水である。これは海水を起源とする水が堆積物中に貯留する間に地温で加熱されたものと考えられる。本地域では、今後も温泉開発が活発に行われることが予想されることから、資源の動向については引き続き注意深く監視する必要がある。

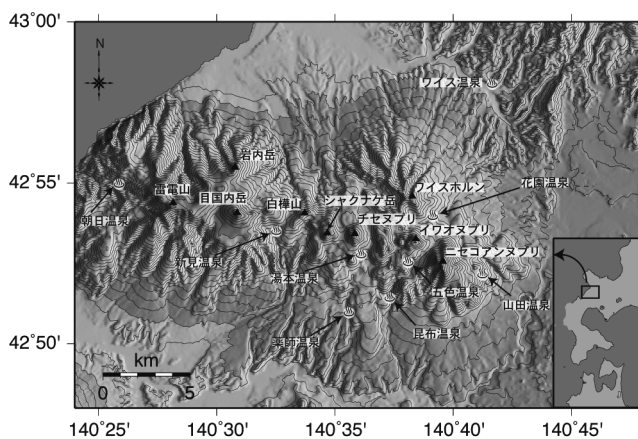
文 献

- 堀 昌雄・高木慎一郎・玉生志郎・村岡洋文・品田正一・清川 求(1986):全国地熱資源総合調査の地域レポート(1)ニセコ地域(火山性熱水対流系地域タイプ①)。地域エネルギー, 11, 340-368。
北海道立地質研究所(2008):北海道地熱・温泉ボーリング井データ集および索引図(統合版)北海道における地熱・温泉利用の現状-2007年度版-, DVD。
大場与志男(1960):ニセコ火山群の岩石について, 地質学雑誌, 66, 788-799。

化学組成からみたニセコ地域の温泉 —南部から東部の温泉の特徴—

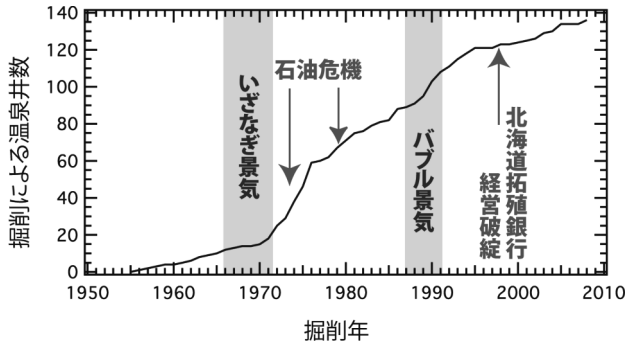
地方独立行政法人北海道立総合研究機構
地質研究所資源環境部資源環境グループ
柴田 智郎

火山群と自然湧出の温泉



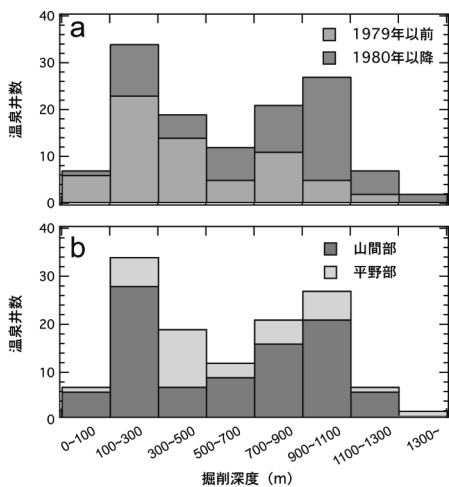
温泉の湧出機構は火山活動に関係している

温泉の開発



リゾート開発とともに温泉井の掘削が行われている。
 現在、掘削による温泉井は130井を越え、約50井が
 利用されている。

温泉の開発

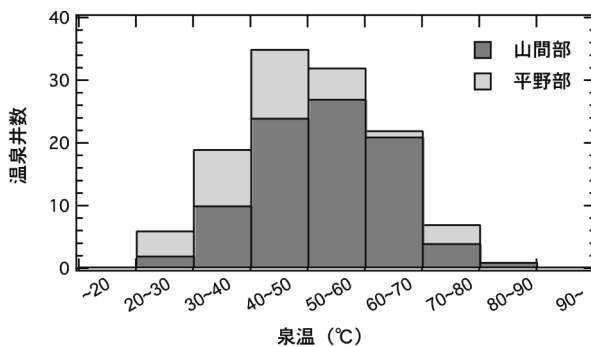


開発深度:

100mから1400mまで
 様々であるが、100から
 300mと900から1100m
 の範囲のものが多い。

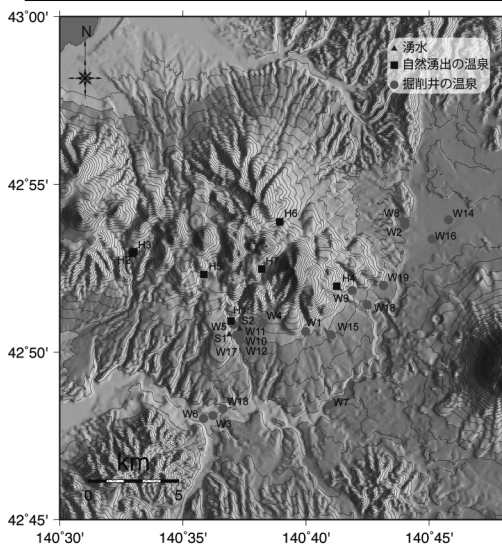
80年以降は深度が深
 くなる。

温泉の温度



泉温：50～70°Cが全体の約55%を占める

試料の採取地点



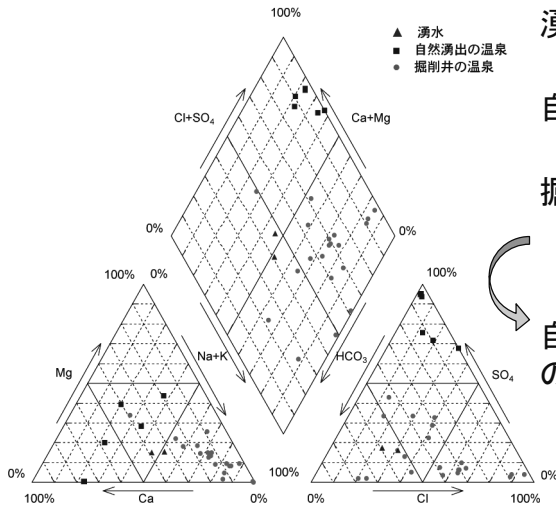
火山群の南側から東側

湧水：2試料

自然湧出の温泉：7試料

掘削井の温泉：19試料

温泉の化学組成



湧水:

アルカリ土類・アルカリ炭酸塩

自然湧出の温泉:

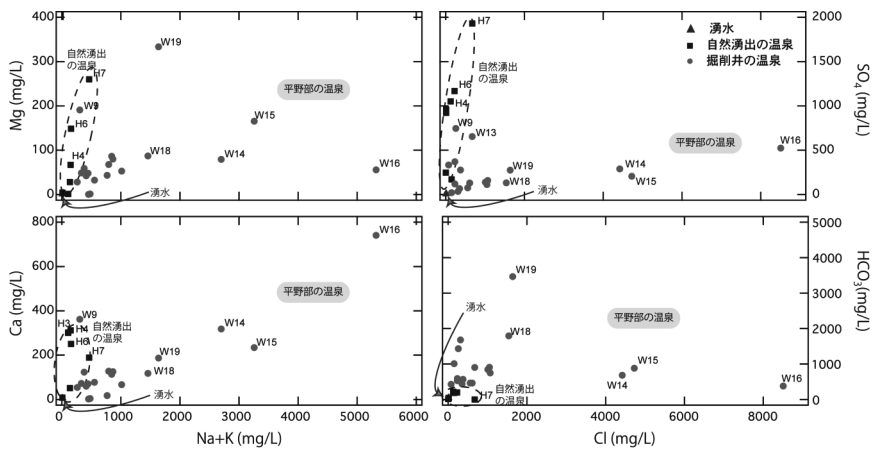
アルカリ土類非炭酸塩

掘削井の温泉:

アルカリ非炭酸塩

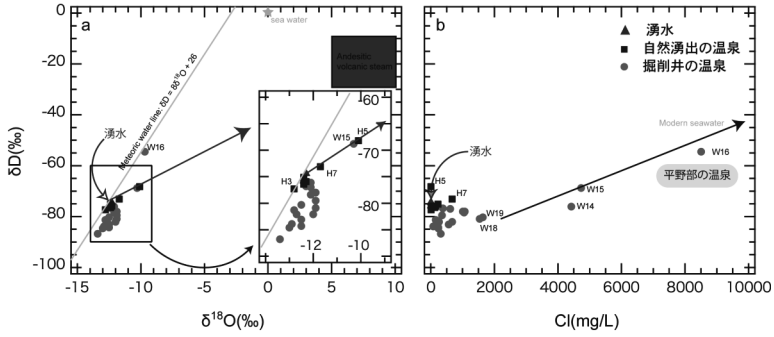
自然湧出の温泉と掘削井の温泉は異なる

温泉の化学組成



三端成分: 湧水・自然湧出の温泉・平野部の温泉

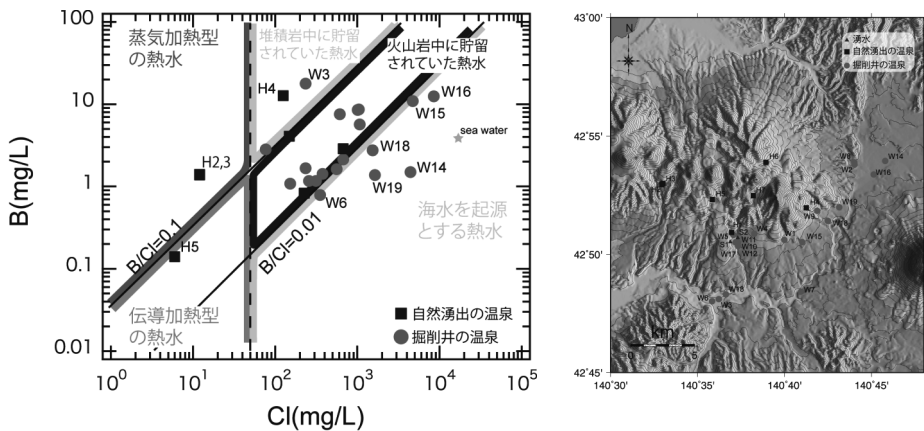
同位体組成



自然湧出の温泉: 火山性の熱水の混入

掘削井の温泉: 天水を起源(山間部) or 海水を起源(平野部)

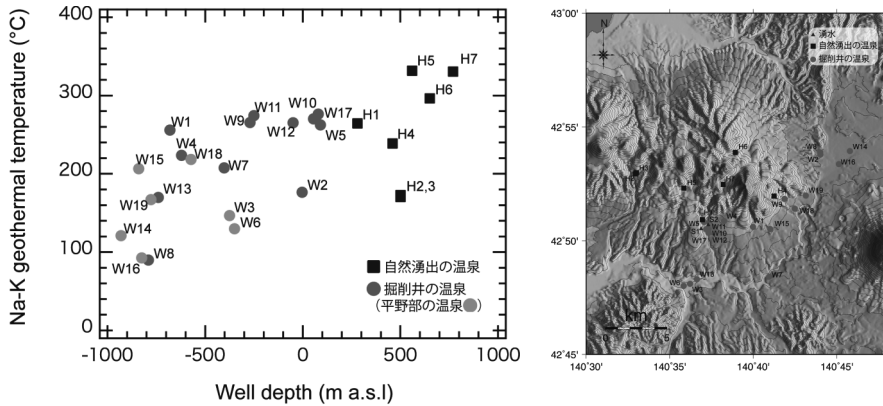
ホウ素と塩素の関係



掘削井の温泉:

火山岩中に貯留・海水を起源に分かれる

地化学温度



地化学温度

自然湧出の温泉 \geq 掘削井の温泉 \geq 平野部の温泉

まとめ

温泉の成因は、化学組成、同位体組成などから総合的に判断すると少なくとも3つの起源が考えられる。

1つは天水を起源とするもので、これは天水を起源とした地下水が高温の岩体で加熱され、温泉となったもので、山間部にある多くの掘削井の温泉がこれにあたる。

2つ目は火山からの熱水が混合したもので、自然湧出の温泉に見られる。

最後の3つ目は平野部で見られる掘削井の温泉で、高Cl濃度の熱水である。これは海水を起源とする水が堆積物中に貯留する間に地温で加熱されたものと考えられる。

第 49 回試錐研究会講演資料集

平成 23 年 (2011 年) 2 月 17 日 発行

編集 試錐研究会
出版 独立行政法人北海道立総合研究機構 地質研究所
〒060-0819 北海道札幌市北区北 19 条西 12 丁目
電話 011-747-2420
FAX 011-737-9071
URL <http://www.gsh.hro.or.jp/>

印刷 岩橋印刷株式会社
〒063-8580 北海道札幌市西区西町南 18 丁目 1-34
電話 011-669-2512
