

第34回試錐研究会

講 演 資 料 集

期 日：平成8年3月13日(水)

会 場：札幌サンプラザ(2F 金枝の間)

(札幌市北区北24条西5丁目)

第34回 試錐研究会

プログラム

主催 北海道立地下資源調査所

協賛 北海道地質調査業協会
(社)全国鑿井協会北海道支部

日時 平成8年3月13日(水)
10時～17時

場所 札幌サンプラザ 2F 金枝の間
(札幌市北区北24条西5丁目 Tel.011-758-3111)

あいさつ

北海道立地下資源調査所長 早川福利

特別講演

“高温岩体地熱エネルギーの開発”

工業技術院 資源環境技術総合研究所
地殻工学部長 厨川道雄

昼 食 (12:00～13:00)

講 演

1. 古平町の温泉開発

(株)ユニオンコンサルタント 三井昭夫

2. 温泉井の補修工事についての事例

(株)ドリリング計測 吉田匡身

3. 温泉ボーリングにおける諸計測

道立地下資源調査所 大津直

(新技術の紹介)

4. 油圧式パワートルク&スピニングレンチについて

(株)セキサク 渡辺信秀

5. 玉石・転石層における急速穿孔システムについて

(株)利根 井内克則
(株)アイチコーポレーション 柳幸宏

6. ボアホールテレビを中心とする最近の孔内可視化技術

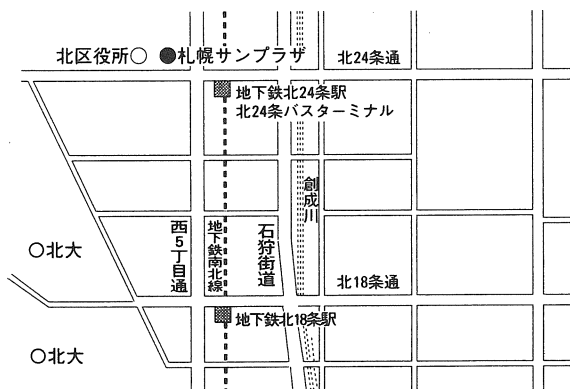
応用地質(株) 大橋武一郎
田子公一
佐野康

あいさつ

北海道地質調査業協会理事長 斎藤昌之

懇親会 (17:30~19:30)

会場 札幌サンプラザ
(2F 高砂の間)



特 別 講 演

高温岩体地熱エネルギーの開発

資源環境技術総合研究所

地殻工学部 厨川 道雄

1. はじめに

地下深部の岩盤は、マグマなどの熱によって暖められ非常に高い温度になっていることがある。火山国である我が国はこのようなところが多い。高温の岩盤に地表から水が供給され、熱水や蒸気として地層に貯えられると、天然の地熱貯留層が形成される。一般に地熱発電は、このような天然貯留層から熱水や蒸気を地表へ取り出して行っている。しかし、高温の岩盤の中に必ずしも天然の地熱貯留層が存在するとは限らない。例えば地下に十分な水が存在しなかったり、岩盤の透水性が低かったり、あるいは地下に高温の水があっても貯えられていない場合である。このような岩盤を、高温岩体と呼んでいる。地熱資源に乏しいヨーロッパでは高温岩体を「長期間にわたって商業的に熱エネルギーを取り出すために、地表から人工的に注水を行う必要のある地熱システム」、またアメリカでは「現有の技術で商業的に熱水や蒸気を取り出すことができず、新技術により開発する必要のある地熱エネルギー」との広い定義が行われるようになってきた。

高温岩体から熱エネルギーを取り出すアイデアは、1970年代初頭にアメリカニューメキシコ州のロスアラモス国立研究所で提唱された（Smithら, 1975）。高温の岩盤に2本の坑井を掘削し、一本の坑井から人工的に割れ目（フラクチャ）をつくり、他の坑井まで伸ばす。このフラクチャを天然のボイラーとして利用し、熱エネルギーを取り出そうとするものである。

高温岩体資源量については1993年に新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が調査（NEDO, 1993）を行い、12,700万kWの電力を20年間にわたる発電可能な資源量を見込んだ。この評価はNEDOが地熱促進調査のために日本全国28カ所で掘削した坑井内の温度をもとに行った。まず、高温岩体資源と一般地熱と区別するため坑井に沿う温度分布が対流タイプではなく伝導タイプの坑井

を、次に高温の岩盤を選ぶため深さ2 kmの温度が250℃以上の坑井を抽出した。上記の条件を満たす坑井が存在する地域は18カ所であった。そこでそれぞれの地域において条件を満たす複数の坑井が囲む範囲と、250℃に達した深さから5 kmまでの範囲から高温岩体の体積を決定した。熱抽出の効率や発電効率を考慮し、この範囲の高温岩体の保有するエネルギーの3%が電力として取り出せるものとした。高温岩体の資源量は莫大なため、将来商業的に開発することが可能になれば、21世紀のエネルギー源として大きく貢献できる可能性を秘めているといえる。

我が国の高温岩体に対する技術開発の取り組みは比較的早く、1975年にはニューサンシャイン計画の一環として、資源環境技術総合研究所は室内での基礎研究を開始した。それ以降、岐阜県焼岳西側山麓での小規模な現場実験（寿賀他, 1984）、ニューメキシコ州フエントンヒルでの日・米・西独3ヶ国によるIEA国際共同研究（厨川, 1984）、山形県肘折でのNEDOによる現場実験（Matsunaga & Yamaguchi, 1992）と精力的に研究開発が進められてきた。その他、国内においては電力中央研究所が地下から有効に熱エネルギーを取り出すために、1本の坑井から複数のフラクチャをつくる技術開発を目指し、秋田県雄勝において現場実験を行っている（Kaieda et al., 1992）。これらの現場実験による技術開発の他、東北大学は破壊力学を用いた地下熱抽出システムの設計を目指し、理論的研究や室内実験を中心とした広範な研究を行っている（Takahashi and Abe, 1988）。このように活発なわが国の高温岩体開発研究は、各国の注目を集めるまでに至っている。ここでは肘折を例に、わが国の高温岩体の技術開発について述べる。

2 肘折高温岩体プロジェクト

山形県肘折では国や民間企業によって天然の地熱貯留層の調査が進められ、地温勾配の高いことが確認されている。高温岩体の実験場は、比較的新しい火山活動（約1万年前）で形成された肘折カルデラに位置する。カルデラの直径は約2 km、標高は約400 mである。カルデラ内には、第1図に示すように、民間企業が2本の地熱調査井、SKG-1井（深度1,500 m）とSKG-2井（深度1,800 m）を掘削した。特に、カルデラの南端に近いSKG-2井の温度は、第2図に示すように

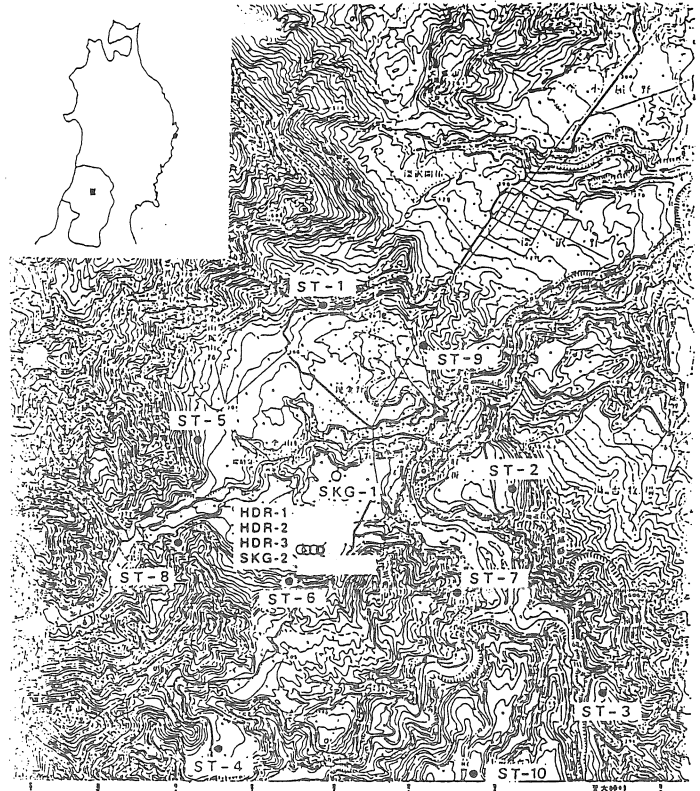
深さ1800mで254℃に達したものの、天然の地熱貯留層の存在は認められなかった。実験場周辺の地質は、先第三系の花崗閃緑岩を基盤とし、新第三系及び第四系よりなる。肘折火砕流堆積物の年代は約9600年前と推定され、肘折カルデラは非常に新しい時代に形成されたといえる。基盤岩である花崗閃緑岩の頂部は、1,450~1,480mである。

SKG-2井は、1,300mから坑底部1,800mまで裸坑となっていた。

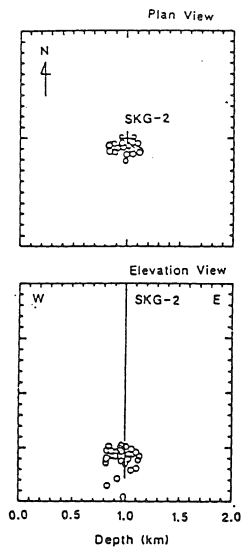
1985年に深さ1,800m付近に水圧破砕によって

フラクチャをつくるため、地表から坑底部の14mを残して7インチのケーシングパイプを設置した。1986年10月、高圧ポンプを用いて、33~100kg/sの流量で合計約1,080tの水を注入した。坑口圧力は、流量100kg/sのとき約16MPaに達した。注入終了後、坑口を開放すると、地下に圧入された水は地表に噴出した。地表に戻った水量は約370tで、注入量の約35%に相当する。フラクチャマッピングのため、岩盤にフラクチャが発生する際の破壊音(AE)を観測した、AEの震源は第2図に示すように、SKG-2坑井の坑底部の南側上方に集中し、坑井の北側下方にはわずかなAE震源しか認められなかった。したがって、フラクチャは主として坑井の南側に成長したものと考えた。

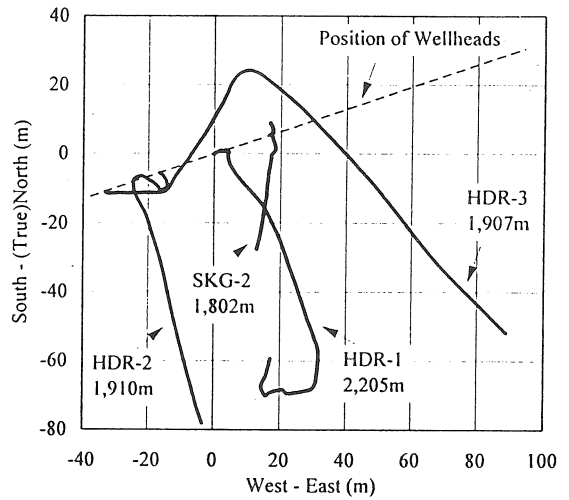
1987年には、水圧破砕により形成されたフラクチャの位置を直接確認するため、HDR-1井を掘削した。SKG-2井の南側で、かつ2本の坑井の坑底部付近の距離が約40mとなるように、HDR-2井の軌跡を決定した。第3図はSKG-2井、HDR-1井及びその後掘削されたHDR-2



第1図 肘折カルデラと坑井の配置図



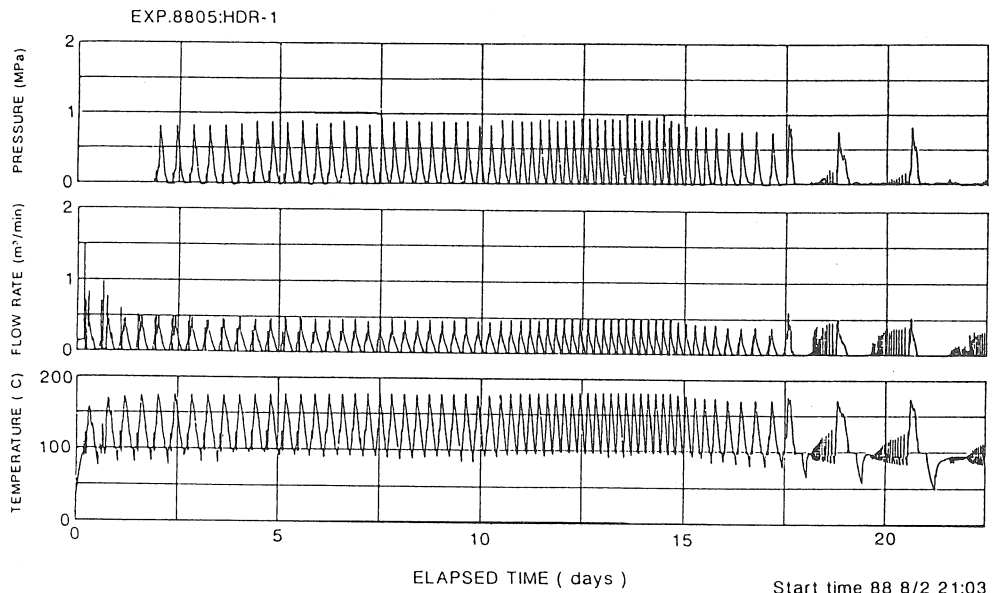
第 2 図 1986年の水圧破砕の際のAE分布



第 3 図 SKG-2井、HDR-1井、HDR-2井、HDR-3井の坑跡

井、HDR-3井の坑跡を平面上に投影したものである。HDR-1井の深度1,500mから坑底までの300mは、裸坑となっている。

1988年7月には、これら2坑井間のフラクチャの導通を改善するため、SKG-2井へ2,000tの水を流量33~100kg/sで注入した。注入を開始した時点にはHDR-1井からの生産流量の顕著な増加が認められな



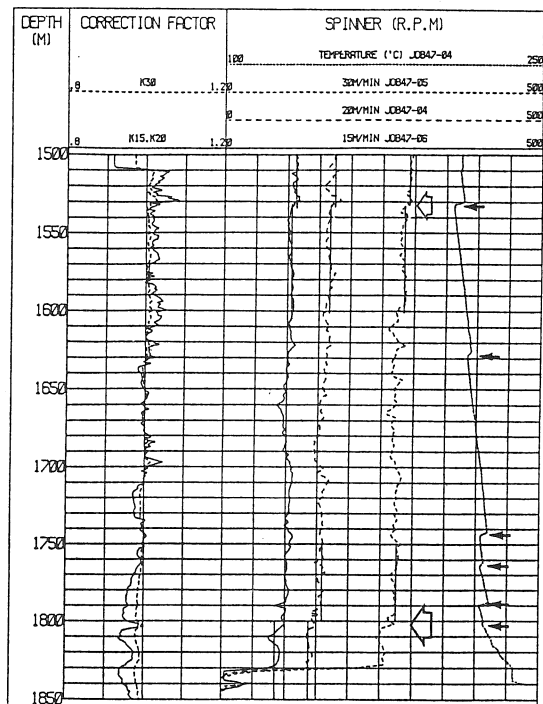
第 4 図 Exp. 8805における坑口圧力、流量、温度の経時変化

ったが、その後次第に増加を続けた。生産水の温度がほぼ100℃に達した時点で、熱水及び蒸気が間欠的に噴出を始め、最大流量は28 kg/sを越え、温度は170℃を上回った。この噴出は約30分間続いた。その後、断続的な噴出を繰り返し、ほぼ2日間にわたりHDR-1井からの噴出が続いた。

2. 1 2坑井を用いた熱抽出実験 (Exp. 8805)

1988年にSKG-2井とHDR-1井との間につくられた人工貯留層の評価を行うことを目的に、16日間の熱抽出実験 (Exp. 8805) を実施した。SKG-2井への注入流量は、実験開始から約10日間は8kg/s、それ以後は17kg/sを保った。それぞれの流量での坑口圧力は、3.4MPa及び5.9MPaであった。第4図は、HDR-1井の坑口温度、圧力及び流量の経時変化を示す。熱水及び蒸気が生産井から間欠的に流出し、間欠のサイクルの長さは、時間の経過とともに短くなった。また、生産水の温度は、実験開始直後から上昇し、次第に一定値に近づく傾向を示した。この熱抽出実験で、合計13,600tの水を注入し、生産井から注入量の約33%を熱水及び蒸気として回収した。

実験中にHDR-1井においてPTS (圧力、温度、流量) 検層を行った。その一例を第5図に示す。右端の曲線は温度、右から2~4番目の曲線は、スピナの回転数を示している。これによると、深度1,530m、1,625m、1,742m、1,762m、1,788m及び1,800mに温度異常が認められる。SKG-2井に注入した水は、長さ14mの裸後部から岩盤内のフラクチャに流れ、その後次第に広がって広い範囲でHDR-1井へ流入したものと考えられる。スピナ検層の結果から、このうち深さ1,788m~1,800mの範囲から全



第5図 Exp. 8805におけるHDR-1井内のPTS検層結果

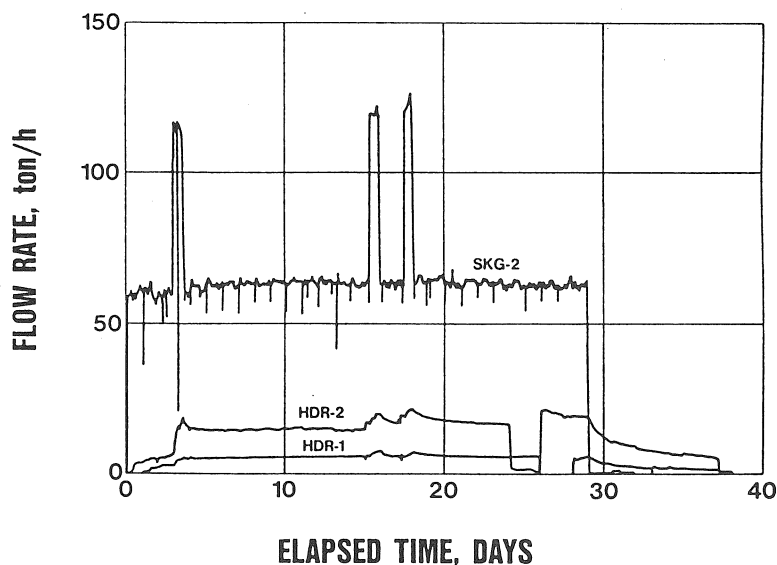
量の約55%に当たる熱水が流入したものと推定される。

この実験により、高温岩体から熱エネルギーが抽出できることが我が国で初めて実証された。しかし、蒸気と熱水の生産が間欠的になり、かつ注入した水に対し回収された水の割合は33%程度であったため、地下につくられた人工貯留層の特性を把握するためのデータを十分得ることができなかった。このため、1989年にはこの人工貯留層の特性をより詳細に把握する目的で、さらに生産井HDR-2を掘削することにした。注水により発生したAEは、主としてSKG-2井の西南西の方向に生じたため、HDR-2井の掘削ターゲットをSKG-2井の西南西約40mに定めた。掘削中に、わずかではあるがSKG-2井の水位上昇が観測された。

2. 3 3坑井を用いた熱抽出実験 (Exp. 8902)

1989年に約1カ月にわたり、SKG-2井から注水し、HDR-1井とHDR-2井から熱水として回収する熱抽出実験 (Exp. 8902) を行った。先に実施したExp. 8805では、坑口を解放していたためHDR-1井内で熱水がフラッシングし、間欠的に熱水と蒸気が噴出した。そこで、Exp. 8902では、生産井の坑口のバルブを調節することにより坑口圧力を加え、生産井内でフラッシングが生じないようにした。この実験において、注入する水の流量は一定量 (17kg/s) を保った。

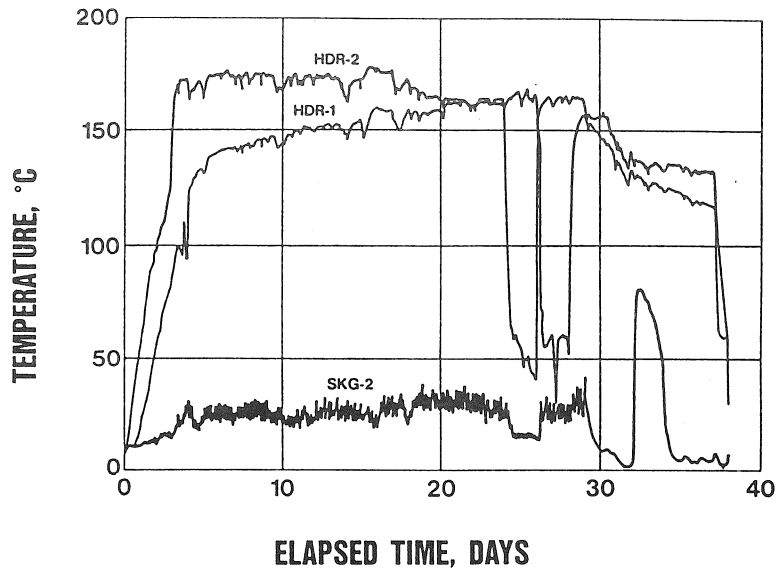
第6図～第8図は、注入井及び生産井の坑口における流量、温度、圧力の経時変化を示す。注入井であるSKG-2井の坑口圧力は、注入流量を一定とすると、坑井内の水の密度及び裸坑部周辺の岩盤の透水性に依存する。実験開始時



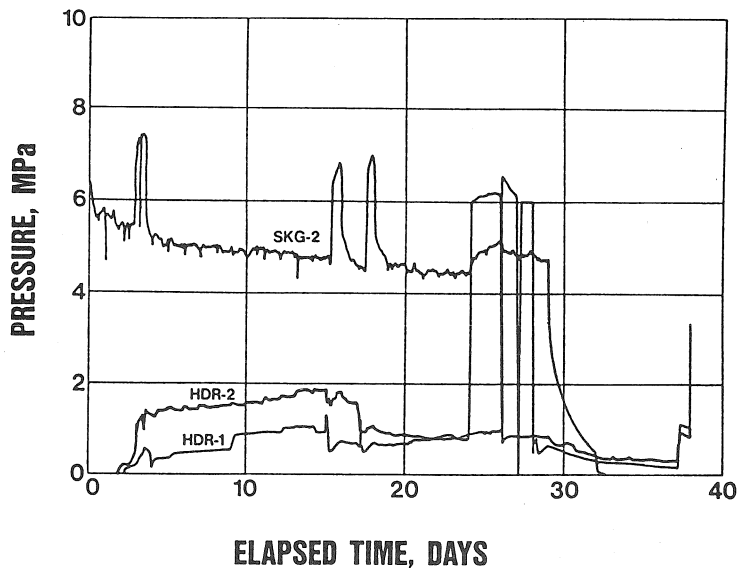
第6図 Exp. 8902における注入井及び生産井の流量

の坑口圧力は6 MPaであったが、次第に減少して最終的には4.5 MPa程度になった。注入を続けることにより坑井内の水の温度が下がって密度が増加したことと、裸坑部から水が流出しやすくなったためである。HDR-1井の坑口圧力は約1 MPa、HDR-2井のそれは約2 MPaであった。注入流量17 kg/sのとき、HDR-1井からの流量は約1.5~1.6 kg/s、HDR-2井からの流量は約4.2~4.9 kg/sで、HDR-1井に比べてHDR-2井からの流量は約3倍となった。

また、実験開始12日後と22日後にヨウ化カリウムなどを用いたトレーサ試験を行った。第9図に2回目に実施したトレーサ試験結果を示す。この図からHDR-1井に比べてHDR-2井から回収された熱水に含まれるトレーサ濃度が高く、かつ検出時間が早いことがわか



第7図 Exp. 8902における注入井及び生産井の坑口温度



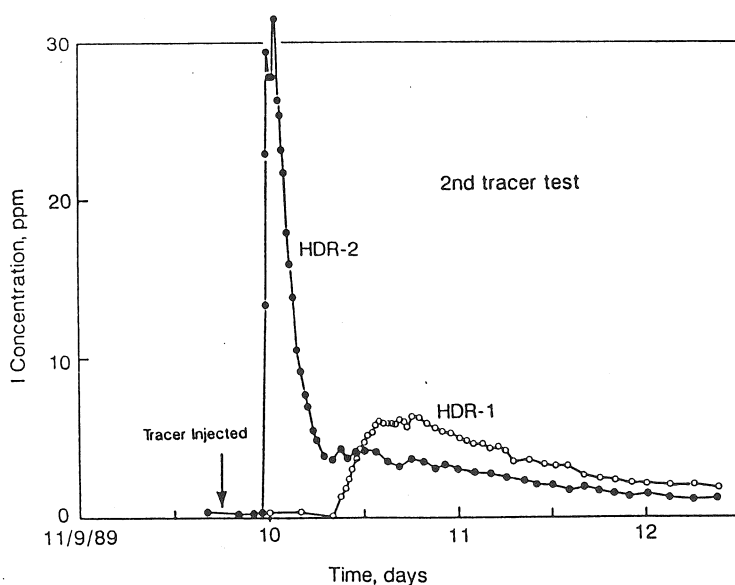
第8図 Exp. 8902における注入井及び生産井の坑口圧力

る。このようなことから、SKG-2井とHDR-2井との間に卓越した透水層が存在するものと考えることができる。また、2本の生産井から回収された熱水の量は、注入流量に対して約35~40%であった。

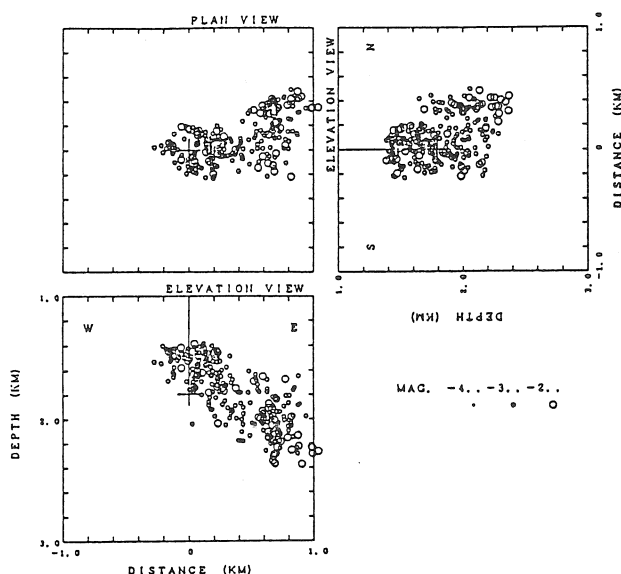
HDR-1井からの生産水の温度は、次第に上昇

した後、150℃と一定値を保つ傾向を示したのに対し、HDR-2井からの水温は、循環開始後約170℃に達した後、150℃まで減少した。この循環試験で得られた熱出力は、循環試験終了時には約6MWtに達した。

熱抽出実験期間中に観測されたAEの震源分布を第10図に示す。この図からわかるように、これまでの実験に比べてAEの発生領域が拡大し、かつ深部での発生が顕著であることがわかる。また、SKG-2井の西側に付近でのAEの発生は極めて少ないが、この領域には既に卓越したフラクチャが発達しており、水の流れによってもはやAEが発生しないものと考えられる。



第9図 Exp. 8902のトレーサ試験結果の例



第10図 Exp. 8902で得られたAE分布

SKG-2井に注入した水はHDR-2井内のPTS検層から1,560~1,580m、1,653m、1,665m、1,756m、1,764mの深さでHDR-2井へ流入することがわかった。このうち、1,756mと1,764mの2個所から全量のうち約70%以上が流入した。また、熱水がHDR-1井へ流入した深さは、1988年の循環試験時と同様1,530m、1,625m、1,742m、1,762m、1,788m及び1,800mであった。

この実験結果から、フラクチャのフローインピーダンス、すなわち生産井と注入井との圧力差を生産流量で割った値を求めた。SKG-2井とHDR-1井との間のフラクチャのインピーダンスは2.5~3MPa/(kg/s)、SKG-2井とHDR-2井間のフラクチャのそれは0.6~1MPa/(kg/s)であった。また、フラクチャ全体のインピーダンスは、0.6~0.7MPa/(kg/s)と低い値であった。

2. 3 坑井を用いた熱抽出実験 (Exp. 9102)

Exp. 8902において、生産井を2本設けたにもかかわらず、回収率は35~40%と低かった。この原因は、SKG-2井とHDR-2井とを結ぶ方向に高透水性ゾーンが存在しているが、HDR-1井はこの高透水性ゾーンからはずれていたことがあげられる。また、シミュレーションモデルによる検討により、肘折実験場のように卓越したフラクチャが発達しているところでは、高透水性ゾーン内に注入井を挟むような形で生産井を配置する必要のあることが指摘された。

そこで、1990年に3本目の生産井HDR-3井を第3図に示す位置に掘削した後、1991年8月~11月にかけて3ヶ月にわたる熱抽出実験を実施した。実験初期には流量を50kg/sまで増やし、注入井と生産井を結ぶ人工貯留層内の割れ目の圧力を上げて水を流れやすくした後、流量を17kg/sに保った。

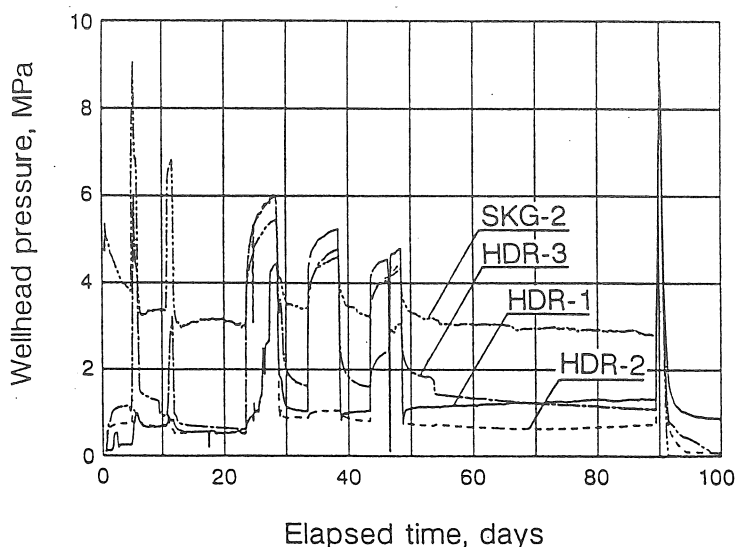
第11図~第13図に熱抽出実験で得られた各坑井の坑口圧力、温度及び流量を示す。生産流量は、循環初期においてHDR-1井、HDR-2井、HDR-3井の順に大きかったが、実験の進行に伴ってHDR-1井とHDR-2井の流量が漸増したのに対し、HDR-3井の流量は漸減し、循環終期にはHDR-2井とHDR-3井の流量はほぼ同じ値を示した。回収率(注入量に対する生産量の割合)は、75~80%となった。また第12図に示すように、生産井から回収された流体の温度は、50~180℃であったが、この経時変化は生産井毎に異なる傾向を示した。すなわち、HDR-1井は循環終期にも上昇する傾向にあり、HDR-3井はほぼ安

定し、HDR-2井は循環終期に降下している。これは、注入井とそれぞれの生産井の間の水の経路と流量が異なっているためである。

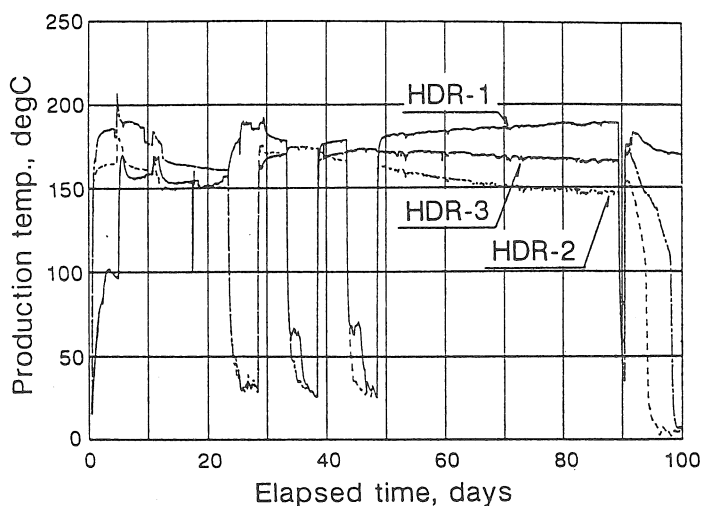
Exp. 9102では、3本の生産井に対しほぼ週1回の割合でPTS検層を行った。第14図は実験開始前（破線）と実験中（実線）に行った温度検層結果である。図中に熱水が流入したと思われる深さ（ゾーン）を矢印で示した。これらの位置を第15図に示す。次にそれぞれの深さから流入する熱水の流量をスピナー検層結果から計算した。

ただし、HDR-1井はケーシングパイプ

が設置してあり、直接流量を測定できなかったため、温度検層結果をもとにMurphyが提案した方法（Murphy, 1977）によって流量を推定した。第16図～第18図はそれぞれの生産井の異なるゾーンから流入した熱水流量の経時変化である。また、第19図～第21図にこれらに相当するゾーンの温度変化を示す。これらのデータから、有限要素法プログラムFEHM（Zyvoloski, 1984）を用いて、注入井か

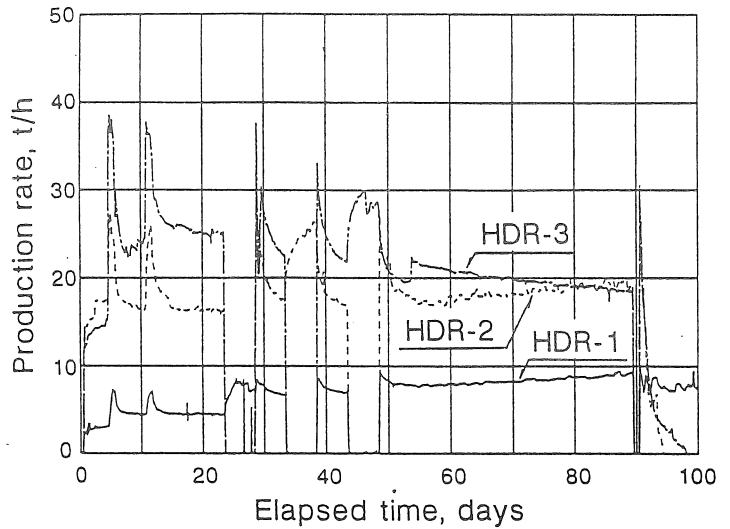


第 1 1 図 Exp. 9102の坑口圧力

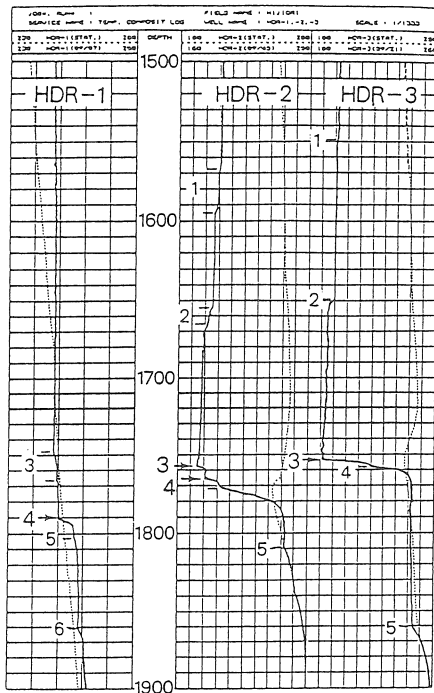


第 1 2 図 Exp. 9102の生産水の温度

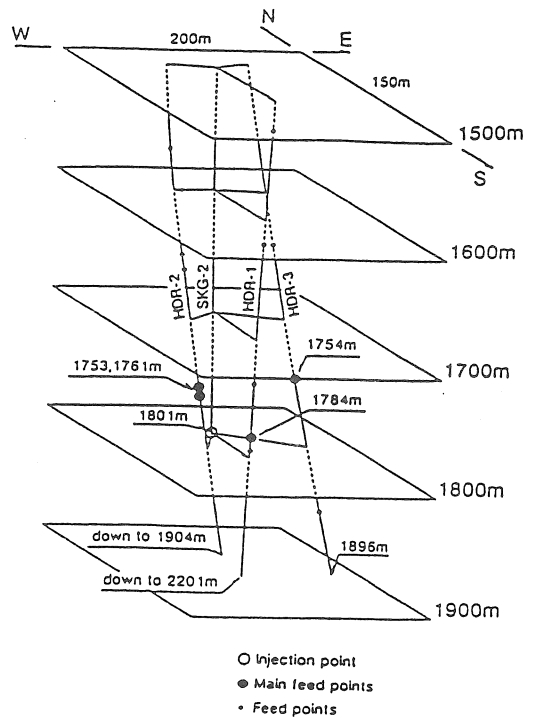
らそれぞれのゾーンに至る熱交換面積を推定することにした。簡単のため、熱交換面は注入井の坑底部と各ゾーンを含む平面であると仮定した(第22図)。各ゾーンの温度変化を見ると、温度は実験に伴って一様に減少せず、実験開始20日後に上昇あるいは変化せず、その後再び減少しているものが多い。これは何



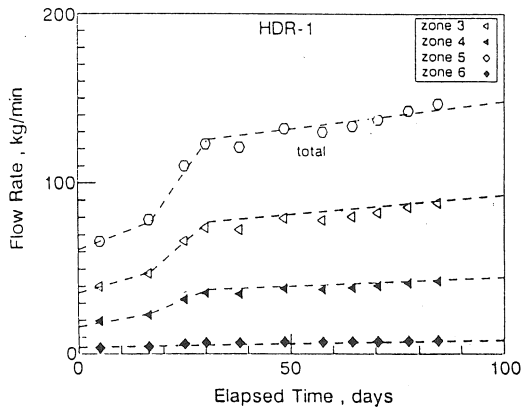
第13図 Exp. 9102の生産流量



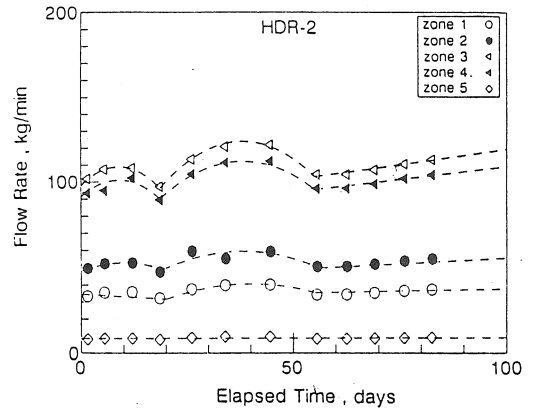
第14図
Exp. 9102のPTS検層結果



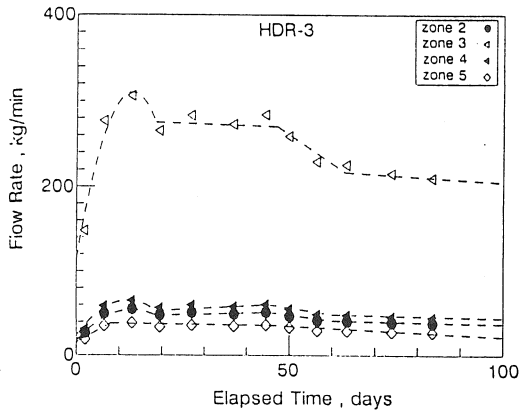
第15図
各坑井の坑跡と生産ゾーン



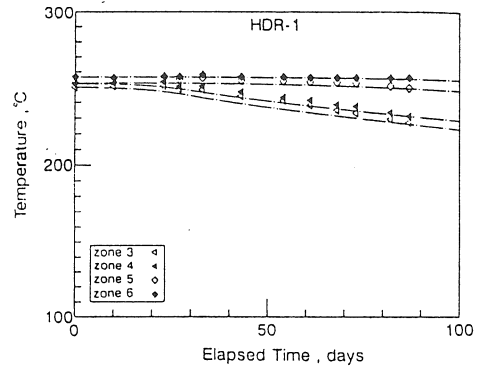
第 1 6 図 HDR-1井の各ゾーンの流量



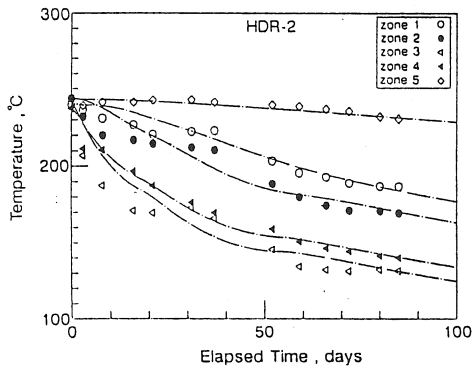
第 1 7 図 HDR-2井の各ゾーンの流量



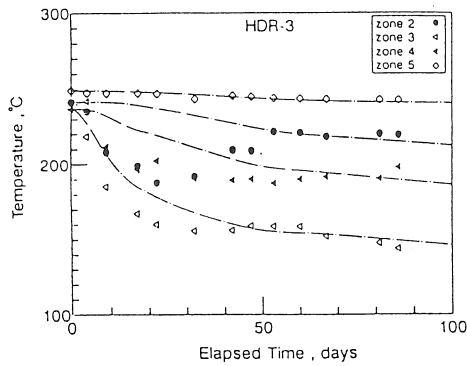
第 1 8 図 HDR-3井の各ゾーンの流量



第 1 9 図 HDR-1井の各ゾーンの温度

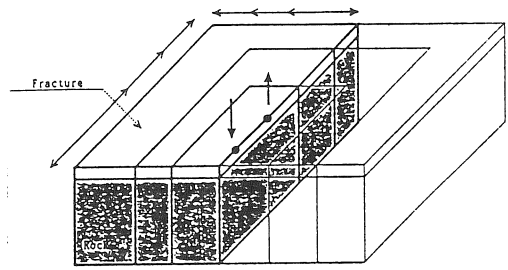


第 2 0 図 HDR-2井の各ゾーンの温度

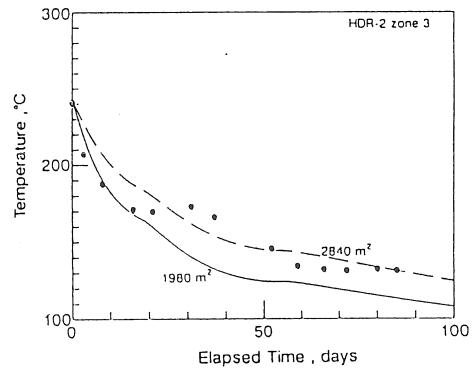


第 2 1 図 HDR-3井の各ゾーンの温度

らかの原因で流体の循環中に熱交換面積が増加したものと考えられる。そのため、実験の初期と後期に分けて、熱交換面積の推定を行った。例として、第 2 3 図にHDR-2井のゾーン3における計算結果を示す。これによれば、循環中に熱交換面積は 1980 m^2 から 2840 m^2 に増加したものと考えられる。第 1 表にこ



第 2 2 図 熱交換面解析モデル



第 2 3 図 実験経過に伴う熱交換面積の増加例

第 1 表 実験初期における各ゾーンの熱交換面積

(unit; m^2)

	HDR-1	HDR-2	HDR-3
zone1	————	1554	————
zone2	————	2072	3340
zone3	12000	2840	8880
zone4	9600	3124	2916
zone5	1260	1032	4488
zone6	1440	————	————

第 2 表 実験の経過に伴う熱交換面積の増加

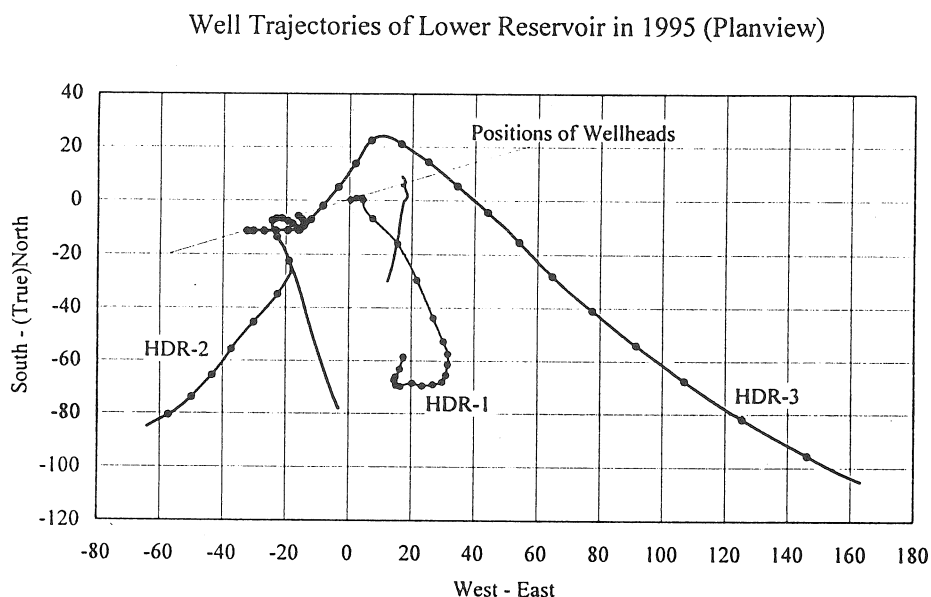
	HDR-2	HDR-3
zone1	1332 -----> 1554	————
zone2	1480 -----> 2072	668 -----> 3340
zone3	1980 -----> 2840	6660 -----> 8880
zone4	————	1620 -----> 2916

の方法によって推定した初期の熱交換面積をまとめたもの、また第2表に主なゾーンについて熱交換面積の変化を示す。

この実験によって約80%の回収率を得たことから、肘折のように比較的割れ目の発達した岩盤に対しても、坑井を適切に配置することにより、効率的に熱エネルギーの抽出が可能なが示された。

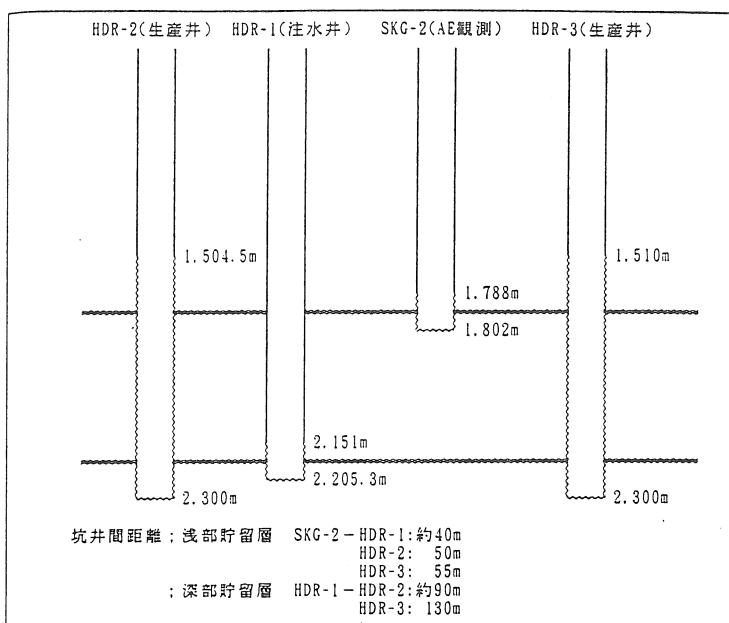
2. 4 深部貯留層の開発

数回の熱抽出実験を行い、深さ1800mにつくられた人工貯留層の評価をほぼ予定通り行ったので、より温度が高く、深い岩盤の開発を目指して2200mで熱抽出を行うことにした。深さ2200mの貯留層を深部貯留層と呼んでいる。まず、HDR-1井を注入井とし、HDR-2井とHDR-3井とを生産井として用いることにした。HDR-1井の深さは2205mで、坑底部50mは裸坑である。さらに、HDR-2井とHDR-3井とをそれぞれ2300mまで増掘りした。注入井と生産井との距離を100m程度にするため、特にHDR-2井は1910mから1600mまで埋め戻し、サイドトラックにより方向を修正して掘削した。第24図に坑井の軌跡を、また第25図に4坑井の配置を模式的に描いたものを示す。



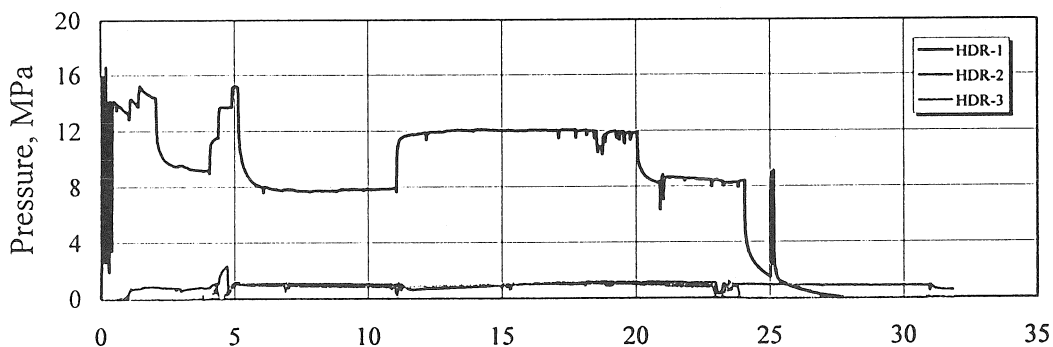
第 2 4 図 1995年現在の各坑井の坑跡

1995年にはHDR-1井からHDR-2井及びHDR-3井に至るフラクチャの導通を確認する目的で、約1ヶ月間にわたる注水実験を行った。第26図～第28図にそれぞれの坑井の坑口圧力、温度及び圧力を示す。注入流量は概ね17～33kg/sを保った。HDR-1井からHDR-3井に比べ



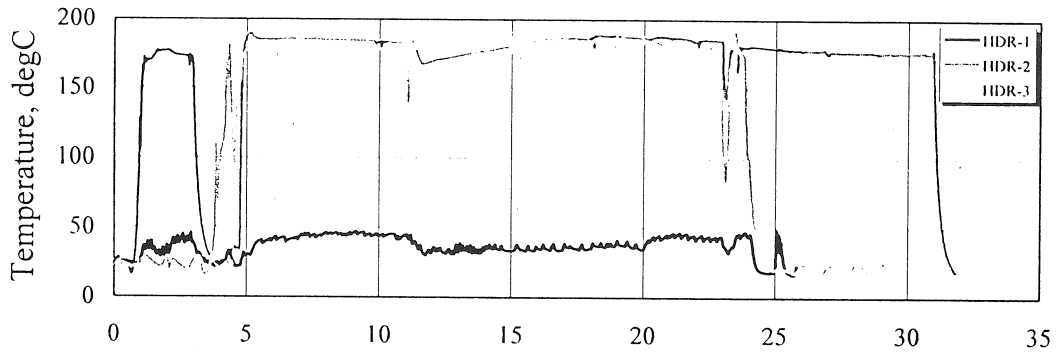
第25図 Exp. 9501の坑井配置模式図

Exp.9501 (1 injection & 2 production wells, Deep reservoir)



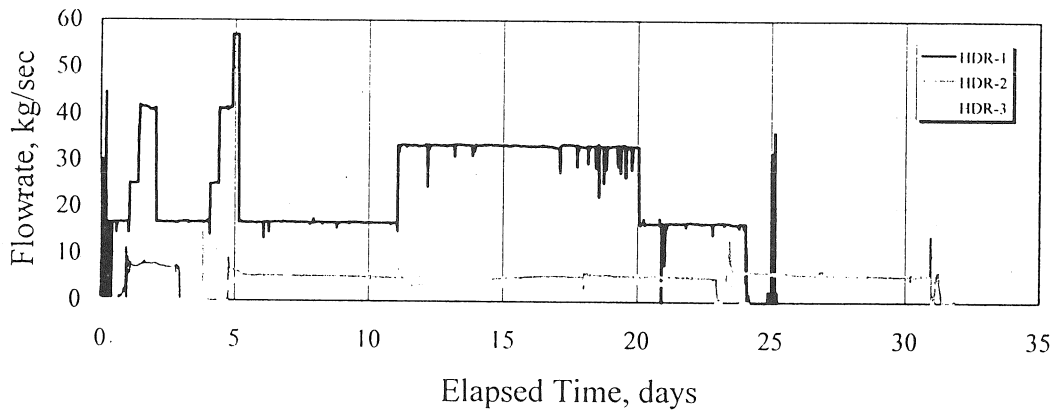
第26図 Exp. 9501の坑口圧力

Exp.9501 (1 injection & 2 production wells, Deep reservoir)



第 2 7 図 Exp. 9501 の 坑 口 温 度

Exp.9501 (1 injection & 2 production wells, Deep reservoir)



第 2 8 図 Exp. 9501 の 注 入 及 び 生 産 流 量

てHDR-2井への流れがよいこと、注入流量が17kg/sのとき回収率は約60%であったが、流量を倍にすると生産流量が減少したことなど、いくつかの結果が得られたが、これらについては現在解析中である。

肘折においては、1996年にHDR-1井からHDR-3井へのフラクチャの導通性の改善を行い、その後2年間の連続熱抽出実験に向けて地表設備などの準備に入る予定である。

3. 21世紀における実用化に向けて

高温岩体を開発するには、

- ① 高温岩体適地を探索する技術、
- ② 高温の岩盤内に坑井を掘削する技術、
- ③ 熱エネルギーを抽出するためのフラクチャを造成する破碎技術、

- ④ 形成されたフラクチャの広がり把握する検層技術、
 - ⑤ 検層結果をもとに、最適な生産井を配置する設計技術、
 - ⑥ 人工貯留層から必要な期間、効率的に熱を取り出すための熱エネルギー抽出技術
 - ⑦ 取り出した熱エネルギーの利用技術
- が必要である。

⑦に関しては従来の発電あるいは熱利用技術がそのまま、また②についても多少の違いはあるものの従来の技術が適応できるであろう。①については従来技術が適用可能ではあるが、高温岩体開発技術そのものがどのような地層まで適用可能か現状では不明のところがある。高温岩体開発で中心となる技術は③、④及び⑤である。高温岩体の場合、人工的に貯留層をつくり、流体の循環によって発電に必要な高温の地熱流体を長期間にわたり安定的に供給することが必要なので、十分なフラクチャをいかにつくるかが重要である。

肘折では深さ1800mの人工貯留層から3カ月間の熱抽出実験で熱水として取り出した熱エネルギーは8MW程度である。また、現在開発中の深さ2200mの貯留層からは9～10MW程度の熱エネルギーを抽出した。仮に20MW規模の発電所の開発を想定すれば、発電効率等を考えると数十倍のスケールアップが必要となる。

フラクチャをつくるには、石油開発の分野で実績が多い水圧破碎法が現在のところ最も確実に効率的な方法と考えられる。高温岩盤の広い範囲から熱エネルギーを抽出するには、1本の坑井の中で複数のフラクチャをつくる必要がある。水圧破碎によってこれを行うためには、簡便でしかも確実に坑井内の裸坑部の一定区間を区切って水圧を加える手法が必要である。しかし、現在使われているゴム製のパッカーはまだ耐熱性や耐久性の点で問題が多く、ドイツで考案されたアルミパッカーもドリルアウトが必要である。この分野における今後の研究開発は不可欠であるが、見通しは立っていない。だが、ロスアラモスでの実験によると、100mの裸坑部から数枚のフラクチャが発達しており、必ずしも短い区間で水圧破碎を繰り返す必要はないかもしれない。また、ソルツでは坑底部からフラクチャを発生させるため、高比重の流体（塩水）を用いて成功した例もある。

③とも密接に関係するが、広い熱交換面積を確保するためには水圧破碎によるフラクチャの広がりを正確に把握し、フラクチャのど

こに向かって生産井を掘削するかを判断することが必要である。このため、地質データの利用や坑井内や地表からいろいろな探査が行われている（新妻, 1990）が、現在最も重要視されているのは水圧破碎の際に発生するA Eの震源分布である。

また、坑井の掘削位置は循環流体の回収にも大きくを及ぼす。我が国のように地質条件が複雑な場合、循環系からの逸水をいかに少なくするかという点も重要な問題である。せっかく地表から注入した水がざるのように抜けて熱水として回収できなければ、熱抽出システムとしての役をなさない。この点で前述した肘折での多坑井による回収率の大幅な改善は、今後の展開に対して非常に有望な方向を示したといえる。

更に、熱エネルギーの抽出を安定して行うには、それぞれのフラクチャに均等に水を流す必要がある。あるフラクチャの流動状況が良いと、そのフラクチャだけが冷却されて開口し、更に流れが集中する、いわゆる短絡が発生する可能性がある。しかし肘折では、1991年の3ヶ月間の実験中、当初導通状況が良かったSKG-2井とHDR-3井間にこのような現象は発生せず、逆に他の坑井との間の導通状況が改善される結果となった。

いずれにしろ、高温岩体の開発技術は発展途上にある。これまで、アメリカのフェントンヒルプロジェクト、イギリスのコーンウォールプロジェクトを始め、ECのもとでフランスとドイツが中心となっているソルツプロジェクト、我が国の肘折プロジェクト、雄勝プロジェクトが、多岐にわたる岩盤条件の下で技術開発が進められてきた。これらの成果をまとめ、今後の高温岩体の開発方向を示唆する目的で、現在IEAのもとでの実施協定を計画中である。

参考文献

Baria, R., J. Baumgartner, A. Gerard, and P. Moore
(1992) GPK1-Preliminary Results Obtained During
the Drilling Operations at Soultz. SOCOMINE
Rept., 12p.

Batchelor, A.S. (1991) Presented at the Conference on Hot
Dry Rock and other Renewable Energy
Resources for the 21st Century, Santa Fe.

Brown, D.W. (1992) Update on the Long-Term Flow

- Testing Program, GRC Bull, 157-161.
- Camborne School of Mines(1988) Contractor report for U.K. DOE, ETSU G137-P11.
- Duchane, D. (1990) Hot Dry Rock: A Realistic Energy Option, GRC Bull., 83-88.
- Genter, A. and H. Traineau (1992) Borehole EPS-1, Alsace, France: Preliminary Geological Results from Granite Core Analyses for Hot Dry Rock Research. Scientific Drilling, 3, 205-214.
- Haenel, R. ed. (1982) The Urach Geothermal Project, E. Schweizerbart'sche Verlagbuchhandlung.
- Kaieda, H., S. Sakurai, I. Motojima, H. Kondo, K. Kiho, R. Suzuki, S. Higashi, S. Sasaki, and Y. Horii (1992) Ogachi Project for HDR Geothermal Power in Japan - First Hydraulic Fracturing Result. Proc. of 1992 GRC Meeting.
- 厨川道雄 (1984) 米国ロスアラモスにおける高温岩体プロジェクト。地熱学会誌, 6, 87-100.
- 松永 烈 (1992) 能動的な地熱抽出システムに関するシンポジウム論文集, p. 83-88.
- Matsunaga and Yamaguchi (1992), A Three-Month Circulation Test at the Hot Dry Rock Test Site in Hijiori, Japan. GRC Bull., 21, 162-166.
- 宮入 誠・反町 美与志・大崎 豊 (1992) 石油資源開発技術研究所研究報告, 8, p. 81-98.
- Muffler, L. J. P. (1979) Summary. in Assessment of Geothermal Resources of the United States-1978, USGS Circular 790, 156.
- NEDO (1989) 調査報告書 8822.
- 新妻 博明 (1990) 地下岩盤き裂計測法。応用地質学会シンポジウム予稿集, 42-51.
- 大久保 進・松永 烈 (1992) 肘折高温岩体地域における天然フラクチャ系と人工レサバー。日本地熱学会鹿児島大会要旨集, A6.
- Parker, R. (1989) Characterisation of the Rosemanowes HDR Geothermal Reservoir Using An Extended Circulation. Proc. 4th Int. Seminar on the Results of EC Geotherm. Energy

- Res. & Demo.,
141-153.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(1994)、高温岩体資源利用
拡大のための基盤調査、NEDO-P-9325
- Smith, M.C., R.L.Aamodt, R.M.Potter, and D.W. Brown(1975)
Manmade Geothermal Reservoirs.Proc. UN Geothermal Sympo.
San Fransico, 3, 1781-1787.
- 寿賀祥五・中谷章雄・瀬尾邦夫(1984)焼岳における高温岩体プロジ
ェクトの現状。地熱学会誌, 6, 155-168.
- Takahashi, H. and H.Abe(1988)Design Methodology of Arti-
ficial Crack-Like Reservoir for HDR, Geothermal Energy
Extraction - An Overview of the Gamma Project in Japan.
Energy-Sources Tech. Conf. & Exhib. ASME Pub. Geotherm.
Energy, 25-32.
- Tester, J.W., D.W.Brown, and R.M.Potter(1989), Hot Dry
Rock Geothermal Energy -A New Energy Agenda for the 21st
Century.LANL Rept.LA-11514-MS.
- Tsutomu Yamaguchi, Kunio Seo, Shogo Suga, Toshinobu Itoh
and Michio Kuriyagawa(1984), Hydraulic fracturing and
propping tests at Yakedake field in Japan, Preprint,
Geothermal Resources Council Annual Meeting, Reno,
Nevada
- 山口 勉、佐藤嘉晃、松永 烈、及川寧己、厨川道雄、高温岩体
熱抽出システムの評価のための現場実験とモデル化(1991)、
資源・素材学会誌、106, 14

講

演

1. 古平町の温泉開発

株式会社ユニオンコンサルタント 地質部 三井昭夫

1. はじめに

古平町では、かねてからふるさと創生事業の一環として温泉開発を取りあげ、図1-1に示した範囲(古平川下流域)で、平成元年度に地質基礎調査(野外調査および既存資料収集)を、平成7年度に深部電気探査を行い、その可能性について検討を進めてきた。その結果、古平町を含む積丹半島地域の温泉は、いずれも循環水型の裂か泉で、新第三紀中新世の古平層群から採湯されており、古平川下流域の地下深部にも同層群の伏在が予想され、ボーリングによる温泉湧出の可能性のあることが指摘され、立地条件および地質状況等を考慮し、古平町新地町地区の旧古平高校跡地において、平成7年6月に古平町地熱水利用ボーリング探査事業を実施する運びとなった。ボーリングは、6月30日に着手し、11月19日に予定深度である1,300mの掘削を終えた。井戸仕上げ後に実施した揚湯試験では最大揚湯量240ℓ/min、揚湯温度49.5℃の温泉が確認された。平成8年3月現在は、温泉利用(施設規模や設備等)について計画・準備が進められている。当社は、古平町の温泉開発で事前調査から掘削に至るまでお手伝いする事ができたので、これらの業務について報告する。

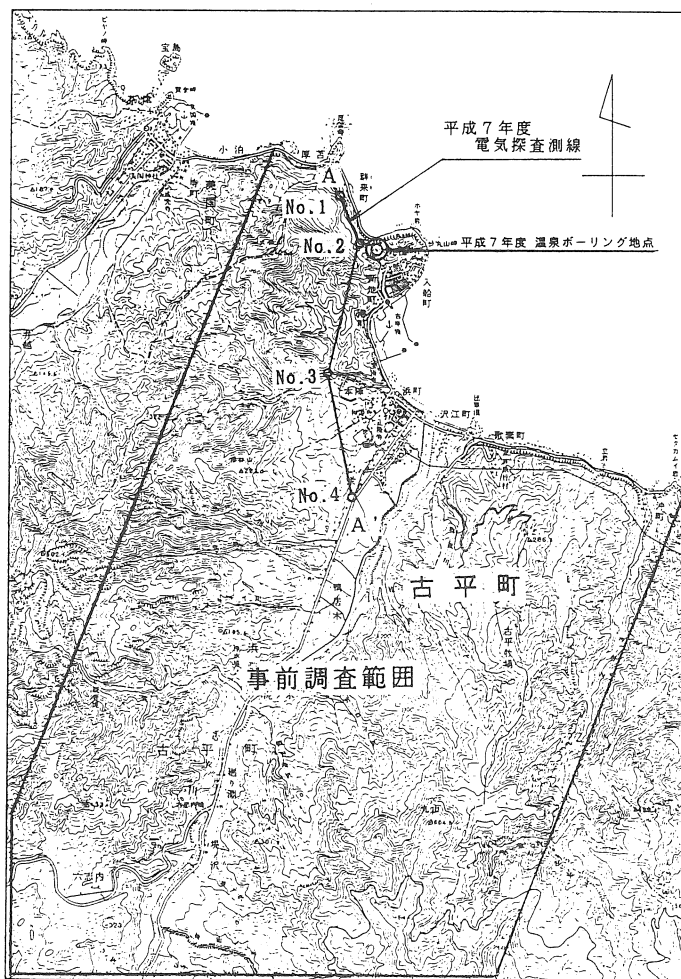


図1-1 案内図

2. 事前調査

事前調査は、調査地域の地下地質構造を想定し、掘削地点の選定・掘削深度・ケーシングプログラムなどを決定する大切な基礎資料となる。古平町では、野外調査（地表踏査）と既存の温泉・地質資料収集および電気探査を行って、総合的に地下地質構造と温泉湧出の可能性を検討した。

- ・野外調査（平成元年度，ふるさと創生事業古平町温泉開発基礎調査）
- ・電気探査（平成7年度，古平町地熱開発ボーリング探査委託業務）

（1）古平町の地質

古平町は、積丹半島の北東部に位置し、いわゆる”西南北海道グリーンタフ地域”に属している。したがって、地質構成は、新第三紀以降の海底火山活動によってもたらされた火山岩類と火山砕屑物を主とするほか、陸源性の堆積岩類からなっている（図2-1参照）。また、地質構造は大局的にみて北東に20°前後傾斜する同斜構造を示し、古平町浜町から美国町厚苫にかけて最上部層が分布する。丸山西方海岸には南北方向の断層が推定されている。したがって、業務地の地下深部には、尾根内層の粗粒砂岩・凝灰岩類の伏在と断層破碎帯の存在が推定される。なお、調査地付近は数多くの既往地質資料があるが、それらのうち北村信（編）の地質層序と古平町が実施した事前調査（古平町温泉開発基礎調査および古平町地熱開発ボーリング探査委託業務）との層序関係を表2-1に示す。

表2-1 参考資料 層序対比表

地質時代		北村 信(編)	平成元年度古平町温泉開発基礎調査	平成7年度地熱開発ボーリング探査委託業務	平成7年度地熱水利用ボーリング探査事業
第四紀	更新世	段丘・河床堆積物 地すべり堆積物	沖積層 段丘堆積物	現河床・氾濫原 及び段丘堆積物	第四紀堆積物 (崖錐および河床礫)
第四紀	更新世		天狗岳溶岩		
第三紀	中新世	トーマル川層	豊浜層	トーマル川層	トーマル川層
		尾根内層	古大和層	尾根内層	尾根内層
		古平川層	平国富層	古平川層	
		?		?	
	第三紀		層群		花崗閃緑岩

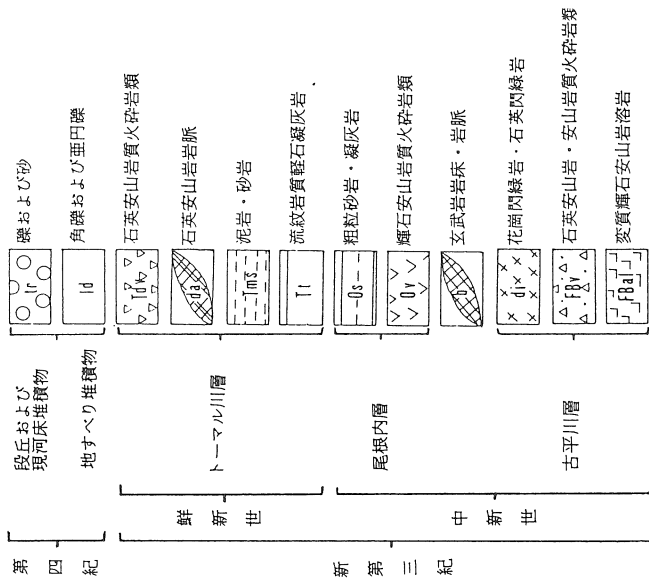


図 2-1 古平川下流域地質図

(新生代東北本州孤地地質資料による一部)

(2) 積丹半島地域の温泉

一般に温泉は、成因的に処女水型(地下深部の岩漿の凝結水と考えられるもので実際には存在しない)、循環水型(地熱と地下水が熱交換して生じるもの)、化石水型(地層の堆積時に地層中に閉塞されたもので、石油や天然ガスの採集に伴って排出される水などである)に分類され、地質条件を考慮すれば、以下のように区分される。

- (1) 火山性泉：火山の噴出口やその周辺にある温泉で酸性泉が主体(図2-2(1))
- (2) 層状泉：堆積岩の空隙中に層状にある温泉 (図2-2(2))
- (3) 裂か泉：断層・亀裂・割れ目から湧出する温泉

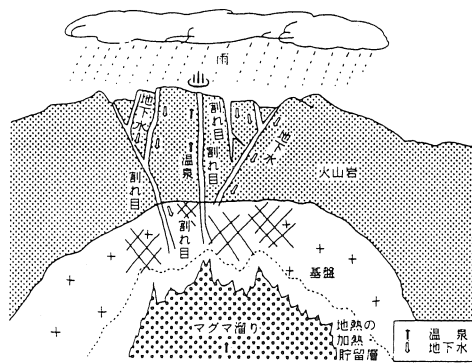


図2-2(1) 火山性の温泉の模式図

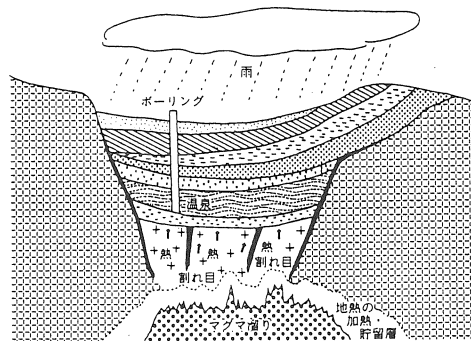


図2-2(2) 非火山性の温泉の模式図

古平町を含む積丹半島地域のボーリングによる温泉は、ほとんどが古平川層(古平層群に相当する)から採湯されており、その湧出温度は30.4~55.6°Cの範囲にある。事前調査では、古平町の海岸地域(古平町家族旅行村など)の地下深部にも古平川層が広く伏在し、掘削深度が1,400m前後で温泉湧出の可能性があると結論されている。しかし、積丹半島地域の温泉は、いずれも循環型の裂か泉であるところから地域的な地質条件によって湧出量が左右されることが推測される。

(3) 電気探査

電気探査は、地表地質調査結果および既往資料で得られた地質構造を検証するために実施した。この電気探査は、地層の電気的性質の相違を利用して、地下構造を推定するものである。測点配置は前掲図1-1に示すとおりで、開発候補地を中心に厚苦岬から栄町付近に至る約4.5km間に4測点を配置した。解析結果は、比抵抗値4~80 Ω ・mと低い値を示し、比抵抗層は3ないし4層に区分される。これらの比抵抗層区分と地質を対比し、No.1~No.4測点までの地質断面を推定すると図2-3のようになる。なお、今回の電気探査では、4測点いずれも低比抵抗層で占められ、当初予想された重力基盤とみられる深成岩類や新第三紀中新世の古平川層に属する火山岩類を捉えることはできなかった。

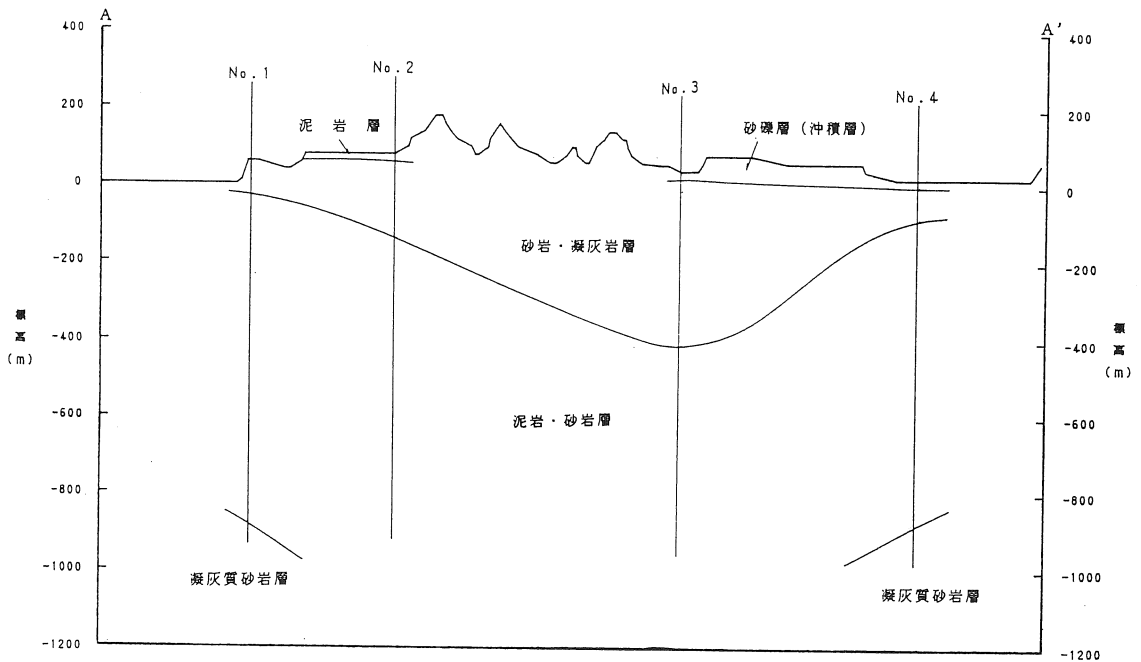


図2-3 推定地質断面図

また、既往の重力探査・地表踏査資料を併せて温泉開発の可能性について考察を加えれば以下のとおりである。なお、重力探査に基づく地質構造図と重力基盤断面図は図2-4に示すとおりである。図2-4によると、栄地区西方の摺鉢山と美国町との町界にあたる厚苦岬西方には高重力域があり、その間が低重力域となって西北西方向に延びている。特に等重力線が北部の厚苦地区から新地町地区にかけて東西方向に並び、1 mgal線の間隔が狭く、重力基盤が南に向かって急

激に深くなっているのが読みとれ、厚苔岬から美国川沿いの重力基盤断面図にも現れている。また、高重力域から低重力域への移行部は直線的であり、地下に断層構造の伏在が予想される。今回の電気探査でも丸山西方海岸からNo.3測点の西側をとる南北方向の断層の伏在が予想され、温泉開発候補地点の地下深部には比較的断層や亀裂が発達しているものと考えられる。

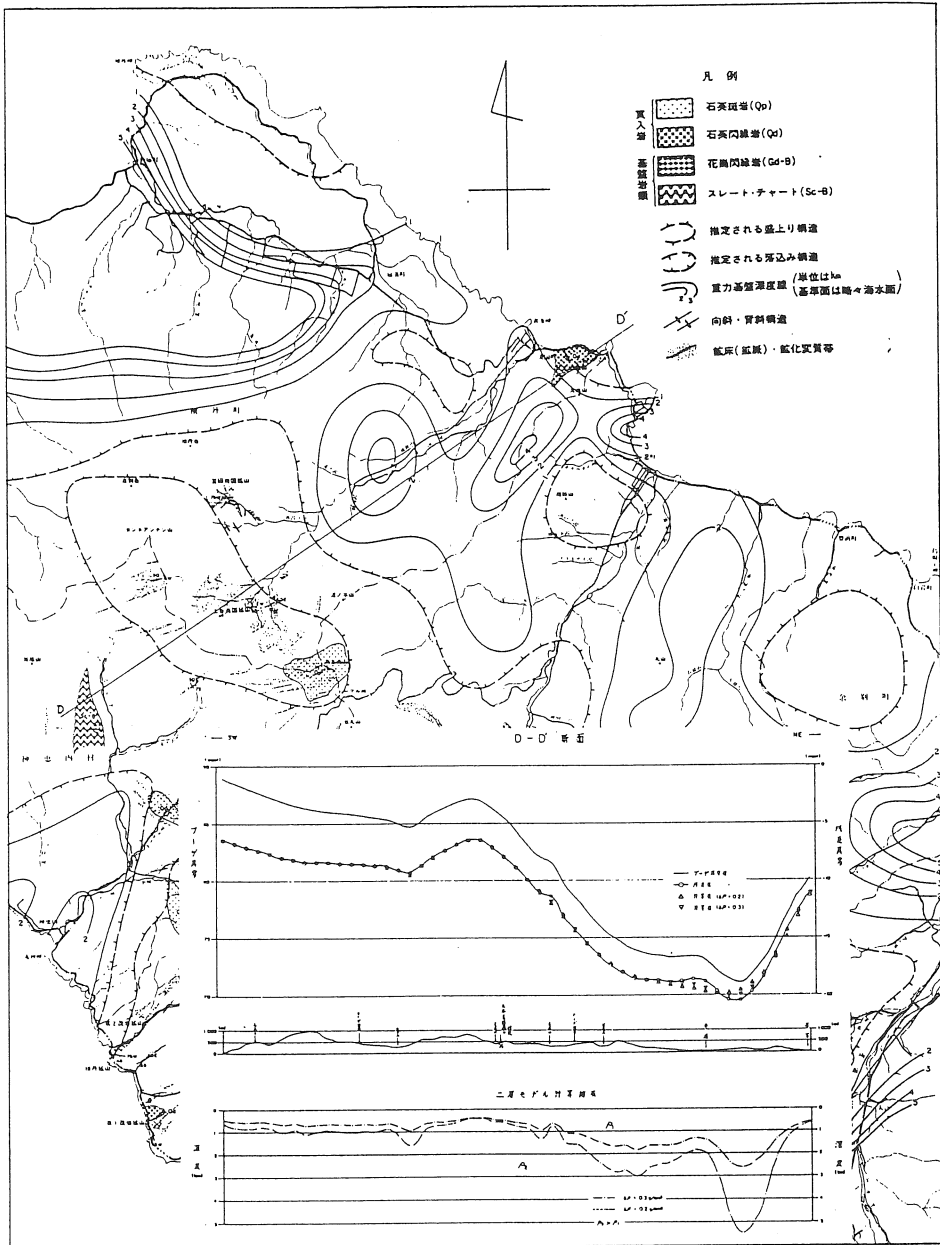


図2-4 地下構造図と重力基盤断面図
(金属鉱業事業団資料による)

3. ボーリング掘削

ボーリングは、平成7月6月に着工し、11月下旬に工事を完了する予定で進められたが、深度600余m以深で当初(事前調査)予想されなかった花崗閃緑岩に着岩し、掘削率が著しく低下し、また種々のトラブルにも見舞われたため作業が遅れ、11月19日に予定深度1300mの掘削を終えて、その後の各種試験・付帯作業を行い12月11日に全工事を完了した。本項はボーリング掘削についてとりまとめたものである。

(1) 概要

ボーリング掘削の内容についてまとめれば表3-1のとおりである。

表3-1 ボーリング掘削内容一覧表

掘削作業	掘削深度	1,300m [NQφ193.7mm-1300m]
	掘削最終坑径	7 ⁵ / ₈ (φ193.7mm)
	仕上げ管口径	150A 6" SGP (ODφ165.2mm, ID 155.2mm)
	掘削方向	垂直
	試料採取	コア：ほぼ200m毎6個。ただしNo.1は深度300m カッタリングス：ほぼ10m毎 130個
坑井内	物理検層	電気検層：500m掘削時、1300m掘削時 各1回 (ES-1, ES-2) 比抵抗(電極間隔 0.25, 1.0m), 自然電位 温度検層：500m-TS1-1, 2. 1, 300m TS2-1, 2, 3.*
	坑内洗滌	清水注入法
調査試験	揚湯試験	エアリフト法および水中モーターポンプ法
	水質分析	温泉水分析
	坑井地質	コアおよびカッタリングス観察
付帯作業	準備	計画・資材準備・搬入・敷地造成設営
	撤去	解体撤去・廃泥処理・整地・坑口処理

※温度検層TS2-3は、TS2-2において坑底温度測定が不能であったため、ストレーナー管施工後に再度実施したものである。

(2) 掘削状況

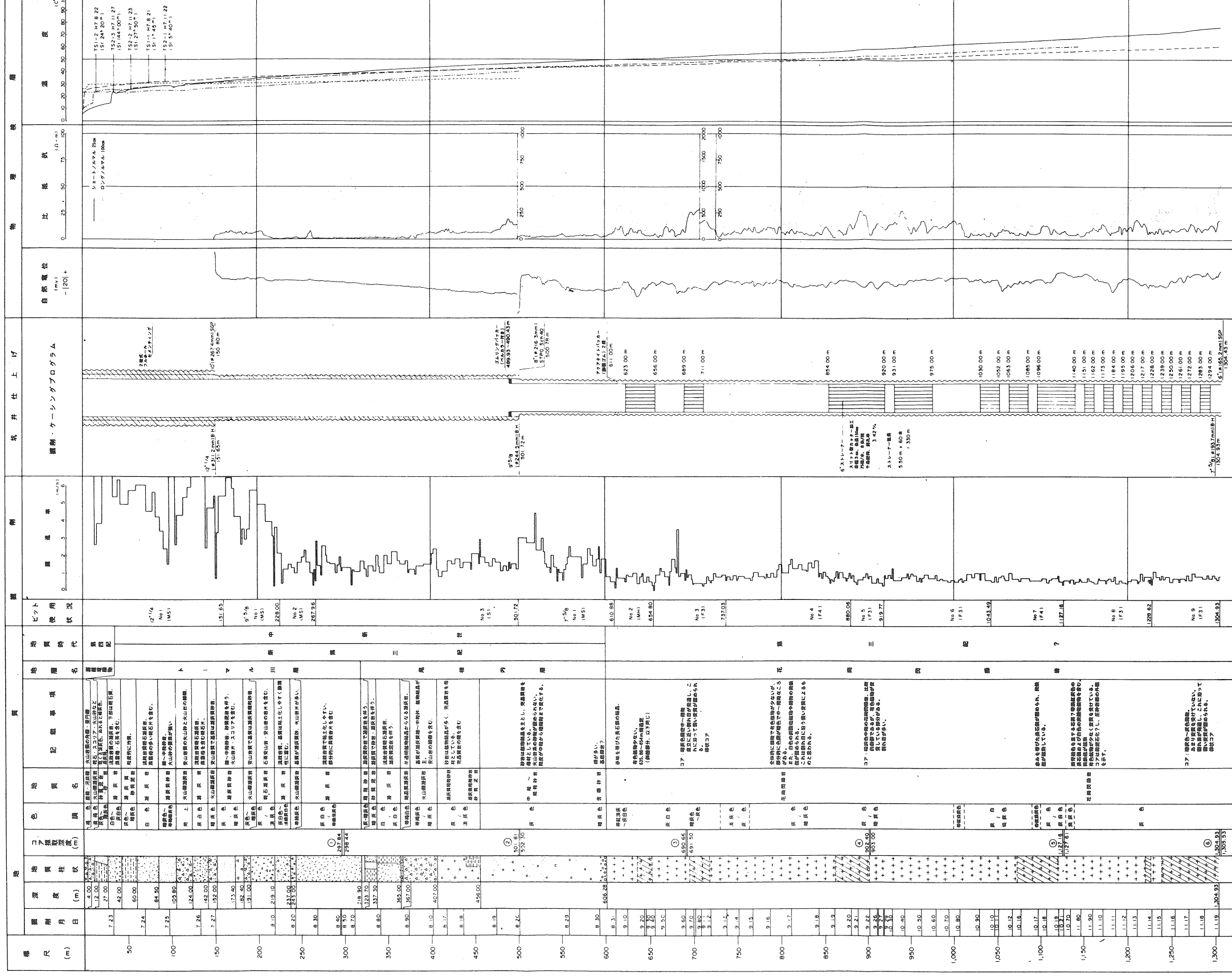
掘削工法は、泥水を使用したロータリー工法で、掘削のスピード化を図るためケーリー掘りを行った。各主要機器は、深度1300m掘削するのに必要な能力を持つものを選定した。掘削状況をまとめれば表3-2掘削状況一覧表および図3-1総合柱状図に、工程は図3-2掘削実施工程図に示すとおりである。

表 3 - 2 掘削状況一覧表

掘削深度		0 ~ 1304.93m		
項目		1	2	3
段		1	2	3
掘削深度 (m)		0~151.65	151.65~501.72	501.72~1304.93
掘削径 / インチ (mm)		12" 1/4 (φ311.2)	9" 5/8 (φ224.5)	7" 5/8 (φ193.7)
泥水	種類	ベントナイト	ベントナイト・BX	ベントナイト・リホナイト
	調泥剤	苛性ソーダ・テルセロズ・テルホリマ-L		
トリコンビット		MS-1	MS-2	MS-1 F3-5
種類・使用記録(丁数)			S-1	MH-1 F4-2
試錐機		HLL-スペシャル		
泥水ポンプ		(主)D-100-70 (副)D-30-7		
掘削ツール		2" 7/8ドリルパイプ+4" 1/4クリ-		
ドリルカラー		8"	6"1/4・6"3/4	
ビット	荷重 (t)	0.6~2.8	0.8~3.2	0.2~7.5
	回転数 (rpm)	45 ~ 90	45 ~ 90	45 ~ 90
ポンプ	圧力 (kg/cm ²)	2.5~5.5	3.0~32.0	14.0~37.0
	送泥量 (ℓ/min)	max 400	max 480	325
掘進率 (m/h)		最小 2.40 最大 8.32 平均 4.60	最小 0.24 最大 6.41 平均 1.68	最小 0.25 最大 3.50 平均 0.77
地質		凝灰質砂質泥岩 凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰質砂岩	凝灰岩, 粗粒砂岩, 結晶質凝灰岩, 火山礫凝灰岩, 砂質泥岩	中粒・粗粒砂岩, 花崗閃緑岩
逸泥・湧水		認められず		635m~逸泥5~20 ℓ/min 644.72m~全量逸泥, 718mまで逸泥5~20 ℓ/min 1072m以深は所々5~10 ℓ/minの逸泥が認められる

図 3-1 総合柱状図

縮尺 1 : 4,000



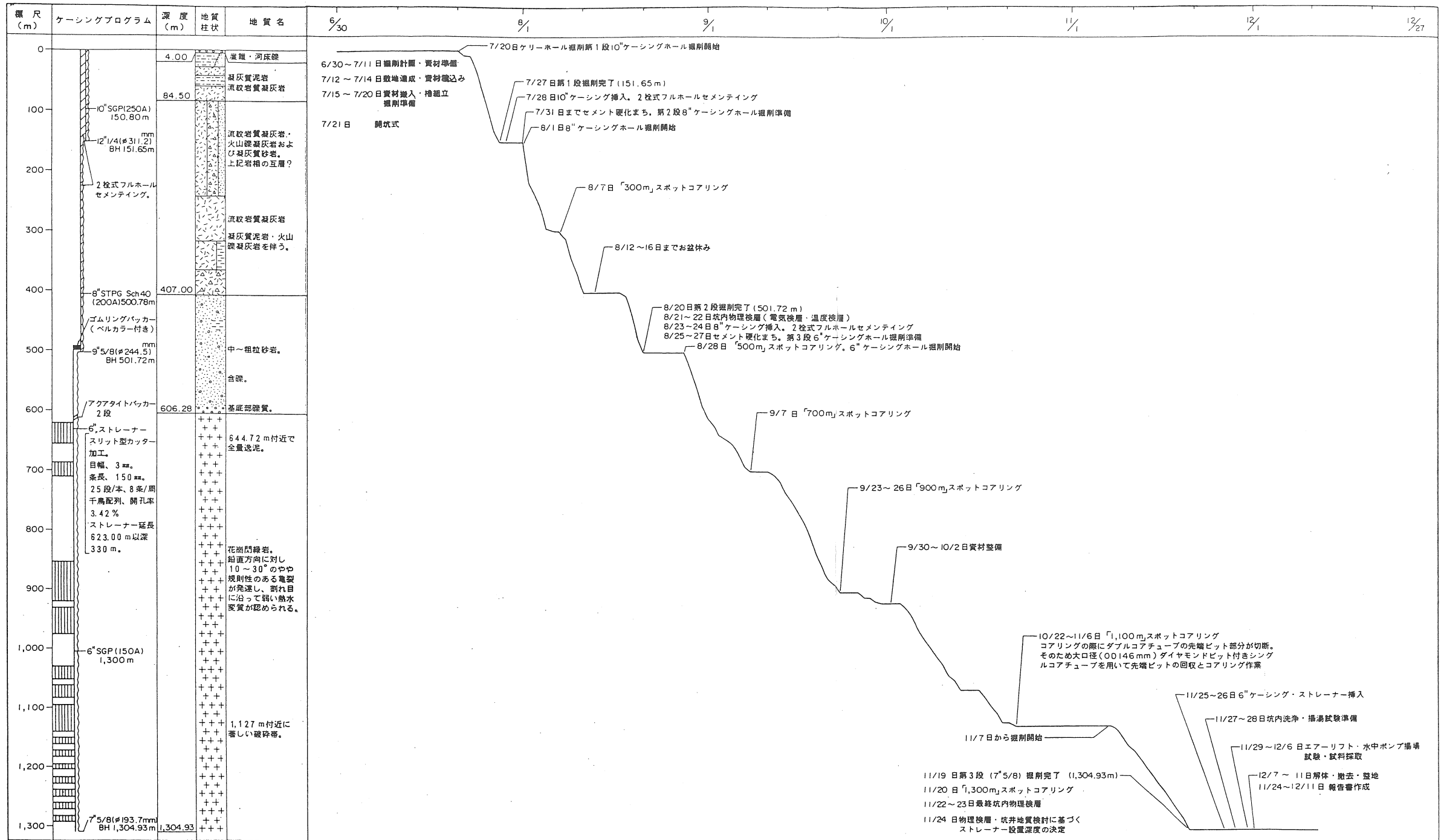


図3-2 掘削実施工程図

(3) 坑井地質

本坑井の地質は、表層部の第四紀堆積物を除くと、新第三紀中新世の火山碎屑岩類を伴う堆積岩類と基盤を構成する花崗閃緑岩からなっている。これらの層序関係と岩相・岩質の特徴は図3-1および表3-3に示した。

表3-3 坑井地質層序表

地質時代		層序区分	層厚 (m)	主な岩質
第四紀 新 中 後 期 中 新 世 前 半 紀 世 半	第四紀堆積物		崖錐および河床礫	火山岩の角礫・亜円礫および砂質粘性土。
	トーマル川	凝灰質砂質泥岩	56.0	塊状凝灰質砂質泥岩、凝灰岩を挟む。
		凝灰岩	24.5	白色流紋岩質、黒雲母を含む軽石
		凝灰質砂岩	106.5	安山岩質の火山礫凝灰岩と凝灰質砂岩の互層
		火山礫凝灰岩		
	尾根内層	凝灰岩	127.9	白色流紋岩質、一部粘土化。
		凝灰質砂質泥岩	48.1	砂質泥岩と軽石凝灰岩、砂岩を伴う。
		凝灰岩		
	火山礫凝灰岩	40.0	安山岩質、基質は凝灰質の細～中粒砂。	
			中～粗粒砂岩	199.3
第三紀 紀 ?		花崗閃緑岩	698.0+	粒度が粗粒から細粒まで多様で、鉛直方向に対し10°～30°斜交する亀裂がやや規則性をもって発達する。一部に圧砕岩様を呈し、片状化しているところがある。割れ目に沿って白色の炭酸塩鉱物が形成している。

新第三紀層上部のトーマル川層は、凝灰質砂質泥岩と流紋岩質凝灰岩を特徴とする。砂質泥岩は珪藻化石を多産し、これの生層序年代が9.5Maから11.55Maを示し、トーマル川層の地質時代がこれまで考えられていたよりは古く、後期中新世前半に形成されたことを示唆している。尾根内層は、上半部が安山岩質の火山碎屑岩と凝灰質砂質泥岩・凝灰岩から構成されているが“グリーンタフ相”の要素は認められない。下半部は比較的均質な中～粗粒砂岩からなり、砂岩組成が古期堆積岩類や下位の花崗閃緑岩の碎屑物を主とし、“グリーンタフ”起源の火山岩類は認められない。これは下半部が尾根内層の上半部と異なる単元の地層である可能性を示唆している。一方、深度606.28m以深は、本地域の重力基盤と考えられる花崗閃緑岩が確認され、古平川上流地域に広く分布する新第三紀の古平川層（グリーンタフ相）が欠除している。この点については断層によるものか、北方に向かって薄化せん滅することによるものか明らかではないが、尾根内層下半部の砂岩層の層相から考えると後者の可能性が強い。花崗閃緑岩は、粗粒から細粒まで多様な岩相を示し、鉛直方向に対し10°～30°交斜するやや規則的な亀裂（節理の可能性はある）が認められ、これに沿って熱水作用に伴う炭酸塩鉱物が形成されている。

(4) 物理検層

深度500m, 1300m掘削終了時に電気検層および温度検層を実施した。温度検層は、坑井内の温度の回復状況を把握するために掘管揚管直後と送泥停止後長時間経過後の各2回実施した。なお、検層結果は前掲図3-1総合柱状図に示した。

① 自然電位(SP)

本坑のSP曲線は、大概すると深度500m以浅では変化が少なく全般に直線状を呈するのに対し、深度500m以深では緩やかな凹凸を多く伴う。本坑のSP曲線は比抵抗曲線におおむね対応しており、深部ほど変動幅が大きいことから花崗閃緑岩の岩相が不均質なことを反映しているためと考えられる。

② 比抵抗

本坑の比抵抗分布は深度470m以浅では全般に $20\Omega\cdot m$ 以下の低比抵抗値を示すのに対し、深度470m以深では $50\Omega\cdot m$ から最大で $1,300\Omega\cdot m$ まで変化に富んだ曲線を示す。

③ 温度検層

温度勾配および温度回復量については図3-3のようになる。本坑の温度分布は、深度とともに漸増しており、最高温度は坑底(深度1304.93m)で $72.7^{\circ}C$ であった。温度勾配は $2.3\sim 3.2^{\circ}C/100m$ で、深度1000~1100mで $3.2^{\circ}C$ と最も高くなっている。

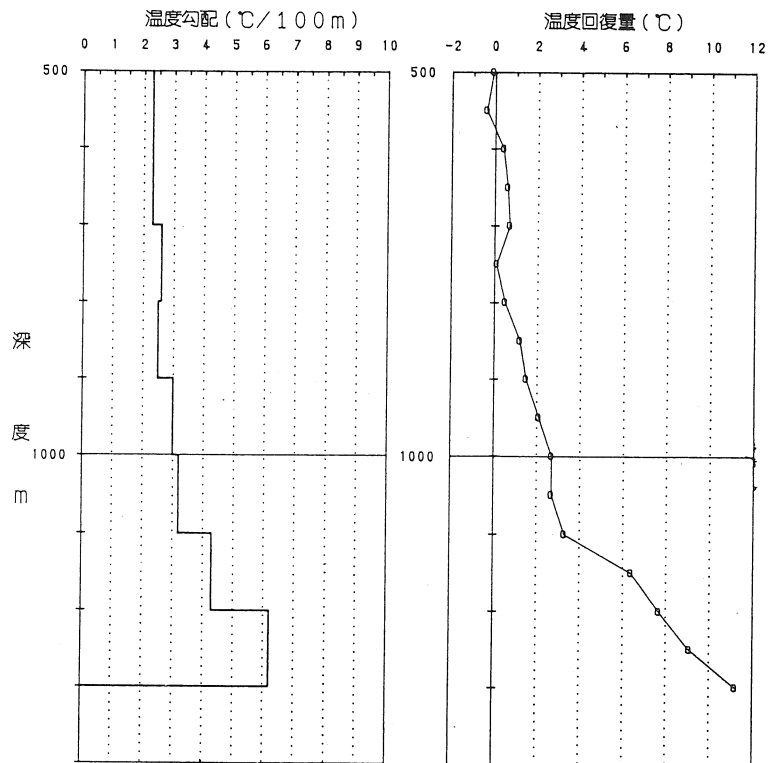


図3-3 温度勾配および温度回復量図

④ 検層結果と地質

比抵抗値と地質との対比は表3-4に示すとおりである。

表3-4 坑井地質・比抵抗対比表

深 度 (m)	坑 井 地 質	比抵抗値 ($\Omega \cdot m$)
150～ 219	砂岩, 凝灰岩	15前後
219～ 456	流紋岩, 凝灰岩, 砂岩, 泥岩	15以下
456～ 606	砂岩	10～ 100
606～1300	花崗閃緑岩	50～1300

(4) 坑井仕上げ・洗滌

① ケーシング

各段階毎のケーシングは、ケーシングプログラムにもとづき、予定どおりに挿入した。低温流体の流入防止のため、第1段と第2段のケーシングはそれぞれ二栓式フルホールセメンチングを行い遮水した。また、6" スリットストレーナー位置は、掘削状況・地質・検層結果等によって総合検討して決定した。

② 坑内洗滌

清水注入とエアリフト洗滌を行った。洗滌方法は掘管を坑底近くまで降下し、清水を送り坑内の泥水と置換洗滌した。また、より一層の洗滌効果と坑井のおおよその揚湯能力を知るためにエアリフト揚湯による洗滌を行った。なお、掘削時に使用した泥水で形成された泥壁によって湯脈が閉塞されている場合も十分考えられるのでウェルクリーナー（泥壁洗浄剤）溶解水5000ℓ（11%溶液、ウェルクリーナー625Kg）をエアリフト洗滌開始前日に注入した。

(5) 揚湯試験

比湧出量・揚湯量・揚湯温度等の井戸能力を把握することを目的とする。実際に本格的な揚湯を開始する場合の貴重な資料となる。揚湯試験結果をまとめれば図3-4のとおりである。

本坑井の揚湯特性としては、揚湯量250ℓ/minまでの揚湯量に対しての揚湯水位はある程度の時間が経過した以降で安定する。図3-4によれば、揚湯量の増加に対しての揚湯水位は大きな曲線特性を示し、揚湯量200ℓ/min付近を境に低下率がやや大きくなる。また、揚湯温度は一般に揚湯量と相関関係にあると言われており、本坑井においても揚湯量が増えれば揚湯温度が上がる傾向を示している。

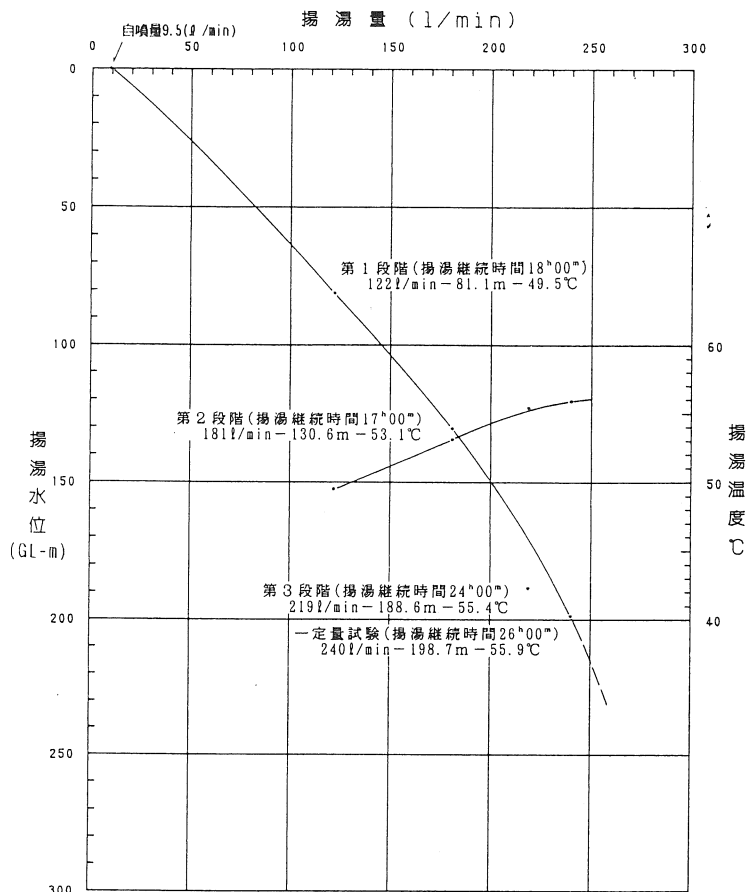


図 3-4 揚湯量-揚湯水位-揚湯温度特性図

(6) 泉 質

分析結果をまとめれば以下のとおりである。

pHは6.70で中性で、温泉水に溶存する成分の総計であるT. S. M (全固形物量)は15.47g/kgとかなり高い濃度であり、全道平均3.62g/kgを大きく上回っている。主要成分は、陽イオンではナトリウム(Na^+)が4501mg/kg、カルシウム(Ca^{2+})が939.9mg/kgで、組成比はナトリウムが79%、ついでカルシウムが16%を占める。陰イオンは塩素イオン(Cl^-)が8262mg/kg、硫酸イオン(SO_4^{2-})が1067mg/kgで、組成比は塩素イオンが87%、ついで硫酸イオンが11%を占める。したがって、泉質名は、温泉の化学組成が塩化ナトリウム(NaCl)が主体をなしていることから、ナトリウム-塩化物泉(中性高張性高温泉)(旧食塩泉)である。

分析結果から、金属に対する腐食や温泉沈殿物によるスケールの発生・付着および排湯等については利用設備計画の段階で十分留意する必要がある。また、泉質組成による分類を行えば図3-5に示すとおりで、本温泉はIV. 非重炭酸ナトリウム型に分類される。また、本井は近隣の古平温泉(沢江)や美国温泉2号井な

どと同様に高濃度塩化物泉に属し、現海水もしくは化石海水と天水の混合型と考えられる。

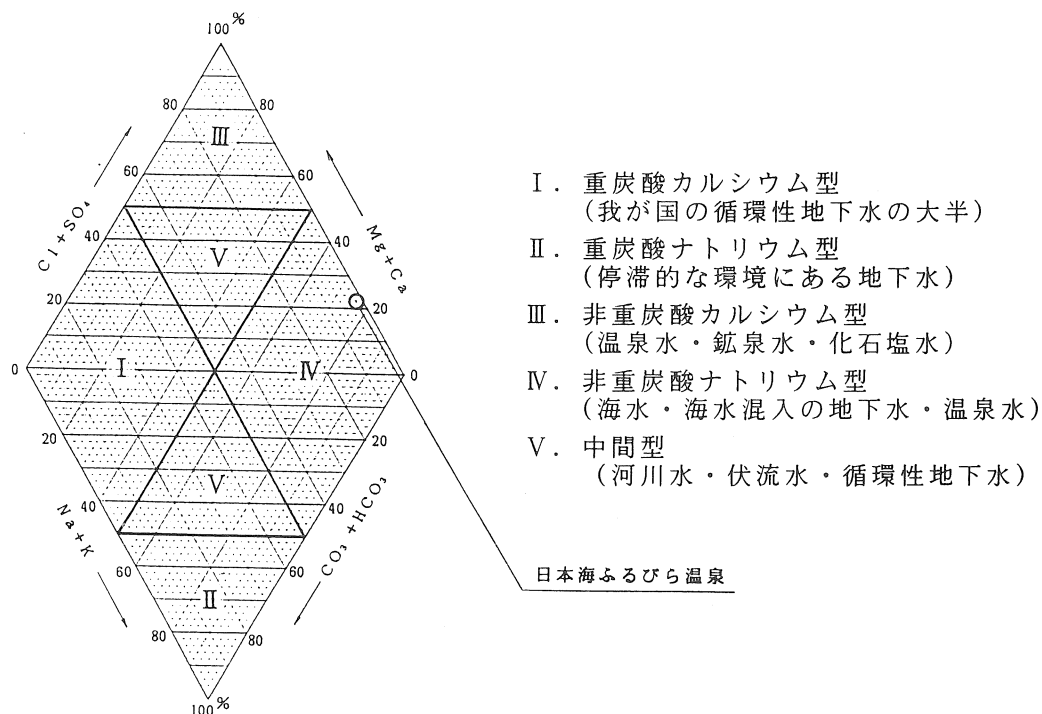


図3-5 水質組成図 (キーダイヤグラム)

4. 本井の評価と今後の課題

本坑井は、掘削予定深度1,300mを終了した時点で、地質や掘削状況および検層結果等を十分検討したうえで仕上げた。本坑井は自噴井ではあるが量的にかなり少なく、動力揚湯をせざるを得ない。水中モーターポンプ法による揚湯試験結果では、揚湯量240 l/minまでの揚湯水位は、比較的短い時間で安定することが確認された。また、揚湯温度が最高で55.9℃を記録したことから流体の胚胎箇所多くは深度1000m以深であるものと考えられる。また、付随ガスについては、非可燃性の炭酸性のものであり、100~240 l/min揚湯時で55~85m³/dayが確認されたが、ガス分離器の必要はないものと考えられる。この井戸特性から本坑井は、短期間で枯渇する可能性は極めて低いものと推定されるが、水位低下・温度低下・揚湯量の減少等が生じる可能性もあり得るので、実際の泉源利用に際しては、長時間揚湯を考慮すれば200 l/minで揚湯温度53~55℃が一つの目安になるものと考えられる。泉質による金属腐食やスケールの発生・付着・排湯等について十分留意する必要がある。現時点では、泉源の利用施設の規模や必要量は不明であるが、道内の一般的な保養施設程度の浴用に供給する分については十分な結果であったものと判断される。

5. あとがき

以上が古平町の温泉開発の事前調査から掘削までの報告であるが、今後の利用計画および設計に際しては、貴重な地下資源（熱エネルギー）を有効に利用することを念頭に置き、泉源維持費・温泉の利用価値・管理性等を総合的に検討するのが望ましく、この熱エネルギーの利用により古平町の地域開発がより一層進むことが期待される。

最後に、今回の発表にあたり御協力を賜りました古平町役場の関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1. 根本忠寛・対馬坤六・上島宏(1955) : 5万分の1地質図幅「古平および幌武意」同説書, 北海道開発庁
2. 北海道立地下資源調査所 (1977) : 北海道の地熱・温泉(B) 西南北海道北部
3. 金属鉱業事業団内部資料 (1981) : 昭和56年度 広域調査積丹地域重力探査報告書, 資源エネルギー庁
4. 金属鉱業事業団内部資料 (1982) : 昭和57年度 広域調査積丹地域重力探査報告書, 資源エネルギー庁
5. 金属鉱業事業団内部資料 (1983) : 昭和58年度 広域調査積丹地域地質調査報告書
6. 北村 信(編)(1986) : 新生代東北本州弧地質資料集第1巻-その1-島弧横断ルートNo.1 b : 茅沼-古平
7. 松波 武雄 (1992) : 北海道の高濃度塩化物泉について(北海道立地下資源調査所報告第64号)
8. 松波 武雄 (1995) : 北海道の海岸地域に分布する高濃度塩水について(地下資源調査所報告第67号)
9. 古平町 (1989) : 平成元年度 ふるさと創生事業古平町温泉開発基礎調査報告書
10. 古平町 (1995) : 平成7年度 古平町地熱開発ボーリング探査委託業務報告書
11. 古平町 (1995) : 平成7年度 古平町地熱水利用ボーリング探査事業委託業務報告書

2. 温泉井の補修工事についての事例

株式会社 ドリリング計測 吉田 匡身

1. はじめに

近年、浴用のみならずエネルギー利用の見地からも数多くの温泉が開発され種々の施設において有効利用されている。これらの施設での温泉の利用形態も多岐に渡り、泉源の能力に応じた最大限のムダのない利用が行われていることが多い。それだけに揚湯能力の低下や揚湯及び引湯設備のトラブル等の発生が、泉源の維持管理上の大きな問題となっている。

温泉は、その地域や個々の坑井において泉質、揚湯特性が異なりそれぞれの個性に合わせ利用形態が創意工夫されているが、中には高濃度塩化物泉に代表されるように泉源の維持管理に多くの障害を抱える例も少なくない。これらの障害は、主にスケールの付着や腐蝕に起因し、利用施設の引揚管、孔井内のケーシング、水中モーターポンプ等揚湯設備のトラブルを引き起こす。これら温泉利用に関わる数々の問題のうち孔井内において発生した障害とそれに対処する為実施した補修工事について事例を交え述べてみたい。

2. 揚湯障害の現象とその原因について

泉源維持管理に支障をきたす問題のうち、泉源の異常となる現象について区分し、その考えられる原因について以下に述べる。

泉源における揚湯障害の現象

- ① 泉 温 低 下
- ② 泉 質 変 化
- ③ 異 常 出 砂
- ④ 湧 出 能 力 の 低 下
- ⑤ 揚 湯 設 備 の ト ラ ブ ル

① 泉温低下

泉温低下を引起こす原因としてまず多いのがケーシング管腐蝕による破孔や、ベルカラー部及びストレーナー上部パッカーからの低温泉の流入がある。

また、ケーシング管及びストレーナー部のスケール付着や圧潰による温泉の流路の制限、あるいは帯水層の湧出能力の低下による場合もある。

② 泉質変化

泉質変化の原因としては、泉温変化同様に腐蝕孔やパッカーからの異なる泉質を持つ温泉あるいは水の侵入によるものと、多層仕上げの場合各帯水層における湧出能力の変化によるものが考えられる。

③ 湧出能力の低下

スケール付着によるケーシング、ストレーナー部の閉塞やケーシング圧潰による温泉の流路の制限によるものと、帯水層自体の湧出能力の自然的減衰が原因として上げられる。

④ 異常出砂

ケーシング及びストレーナー破損や、パッカー部からの漏水に伴う砂の混入が主な原因であるが、過剰揚湯及びストレーナーの目幅の不適も考えられる。

⑤ 揚湯設備のトラブル

ケーシング内のスケール付着や、腐蝕による鉄錆の発生により水中モーターポンプの引揚げが困難になったり、揚湯管の腐蝕孔からの漏水による揚湯量低下、また出砂を原因とするインペラー拘束により揚湯不能となる場合もある。

また、エアリフト揚湯においては、揚湯管エアインジェクション管の腐蝕、スケール付着による揚湯量減少、抑留等が考えられる。

3. 各揚湯障害の原因に対する補修工事について

(1) 事前の調査

揚湯障害における種々の現象から予測される原因に対し補修工事の方法を決定するにあたり、孔内物理検層や揚湯試験を行い、より詳細な孔内状況を把握する必要がある。

以下に事前調査の種類とその目的についてまとめた。

①物理検層	— 温度検層	湧水深度、漏水深度の判定 地層温度の把握
	— 電気検層	ケーシング破損深度の判定 (破孔の大きな物)
	— 自然電位	地層対比、湧水、漏水深度(ケーシング破損深度)の判定
	— 孔径検層	スケール付着状況、ケーシング破損深度 ケーシング挿入深度の判定
	— ケーシングカラーロケータ (CCL)	ケーシング及びストレーナー挿入深度、 ケーシング接続箇所、ケーシング破損 深度の判定
	— 自然ガンマ線	地層対比、帯水層の判定

②揚湯試験 — 現状での揚湯特性の把握

(2) 補修工事

孔井内で起きる種々の障害はいくつかの共通した原因の元に発生し、それぞれの障害も互いに複合的に関連している事も多い。

ここで、事前調査及び現象から予測される障害の原因に対する補修工事の工法について以下に要約してまとめる。

①スケールの付着

- ・ ケーシングのスケールによる . . . 浚渫によるスケール除去
閉塞、孔径縮小
- ・ ストレーナー部の閉塞 . . . ガンパ、スプリッターによる開孔

- ②ケーシングの腐蝕
 - ・ 腐蝕孔からの低温泉の流入、異常出砂
 - ・ ・ ・ 内装管の挿入
スクイズセメンチングによる腐蝕孔の閉塞

- ③パッカー部の漏水
 - ・ ベルカラー部パッカーの漏水
 - ・ ・ ・ 内装管及びパッカーの設置
 - ・ 中間遮水パッカーからの漏水
 - ・ ・ ・ スクイズセメンチング

- ④ケーシング管圧潰
 - ・ ・ ・ リーミング、内装管の挿入

- ⑤帯水層の湧出能力低下
 - ・ ・ ・ エアリフト、スワッピング、清水圧入等による湧出能力の回復
 - ガンパ、スプリッターによる開孔

4. 補修工事事例

以上、補修工事の概略について述べたが、これら工法の実施について現象別にいくつかの事例を上げて紹介する。

(1) 湧出能力、泉温の低下（小清水町2号泉）

《補修工事に至る経緯》

小清水町は、1号、2号の2井を有し、両井とも掘削当時高温多量の温泉が湧出した。この豊富な湯量を生かしさまざまな施設で多目的利用されているが、利用に従い揚湯量及び泉温低下という現象が起きた。

《調査及び補修工事》

2号井のケーシングプログラム及び掘削当時の揚湯状況を1図に、事前調査として行われた孔径検層結果を2図に示す。

2図より650.0m付近から徐々に孔径が縮小し、ストレーナー深度上部である777.0～860.0m間では著しい縮小が認められる。この区間の孔径縮小が温泉湧出のさまたげとなり、揚湯量や泉温の低下の原因をなすものと判断された。この孔径縮小を改善する為、浚渫によるスケールの除去を行った。浚渫は3段階に分け、徐々に孔径を拡大していった。

浚渫終了後の揚湯試験により大幅な揚湯温度上昇が認められた。

(2) 異常出砂（北村1号井）

《補修工事に至る経緯》

北村1号井は、当初自噴による施設利用がなされてきたが、その後付随する天然ガスの利用や施設の増設に伴い水中モーターポンプによる動力揚湯に切り替えた。

水中モーターポンプ設置当時より出砂が確認され、出砂状態での利用が続けられていたが、その後出砂量の増加によりポンプが稼働不能となりこの時泉温の低下も確認された。

《調査及び補修工事》

北村1号井のケーシングプログラムを3図に示す。

北村1号は高濃度塩化物泉に分類される。一般に高濃度塩化物泉はケーシング管の腐蝕が進行しやすく、本井における出砂及び泉温低下もケーシングの腐蝕孔からの低温泉の流入とそれに伴う出砂によるものと推定された。

補修工事に先だち、低温泉の流入深度を確定する為温度検層を行った。4図の温度検層結果より、192.0～215.0m間に低温泉の流入と思われる温度変化が認められ、この深度に腐蝕孔が存在するものと推定された。

この腐蝕孔を閉塞する為、内装管を挿入した。内装管の挿入状況を5図に示す。内装管は湧出速度上昇による昇温を期待して、3"ケーシング上部から水中モーターポンプ設置深度に渡る区間に挿入した。内装管上部にはゴムリングパッカーを、下部には吸水膨張ゴムとシュロ皮によるパッカーを設置した。

内装管設置後の揚湯試験において出砂の停止と泉温の上昇が確認された。

(3) 揚湯設備のトラブル（恵山3号井）

《補修工事に至る経緯》

恵山3号井は高濃度塩化物泉の為、開発当初から維持管理が困難で定期的な水中モーターポンプの整備や孔内浚渫の元に利用されてきたが、平成7年に水中モーターポンプの引揚げが困難になり、利用が休止された。この為新たに6号井が開発されたが、これと併わせて3号井の利用の可能性に関する調査が行われた。

《調査及び補修工事》

まず、スケール付着及び腐蝕の為孔内に抑留されていると思われる水中モーターポンプの引揚げを行った。水中モーターポンプは顕著な抵抗もなく引揚げ可能であったが、揚湯管が腐蝕の為切断寸前であった。

その後、孔内のスケール付着状況を調べる為検層を行った。7図に孔径及びCCLの検層結果を示す。

183.0m以深に著しいケーシングの腐蝕が認められ、183.0～185.0m、190.0～194.0m間はケーシングが消失に近い状態となっている。194.0m

以深は、地層の崩壊あるいは、スケールによる棚が形成されているものと思われ、検層ゾンデが降下不能であった。

また、エアリフトによる揚湯を行った所、利用時と変わらぬ揚湯状態であったが、出砂が認められた。この為ケーシング腐蝕深度以深を浚渫し内装管を挿入した後揚湯した結果揚湯量が激減した。やむおえず内装管を引き抜き揚湯したところ、浚渫時の排砂の効果による出砂の減少が認められ揚湯状況も回復した。

(4) 泉温低下、泉質変化（長野県A井）

《補修工事に至る経緯》

A井は掘削当時揚湯温度が低かった事から、8図に示す様に内装管が挿入され泉温の上昇に成功し、浴用等に利用されてきた。

利用開始後7年経過した時点で泉温が著しく低下した為、加熱利用せざるおえない状況となった。

また、A井の泉質は塩素イオン濃度で8581mg/lと高濃度であったが泉温低下時には、1/10以下に減少した。

《調査及び補修工事》

泉温低下の状況から低温泉の流入が予測された為、温度検層により流入深度の調査を行った。

9図の温度検装結果より、430.0m付近で6"SGP内に侵入した低温泉が内装管上部ゴムリングパッカーから漏水しているものと判断された。

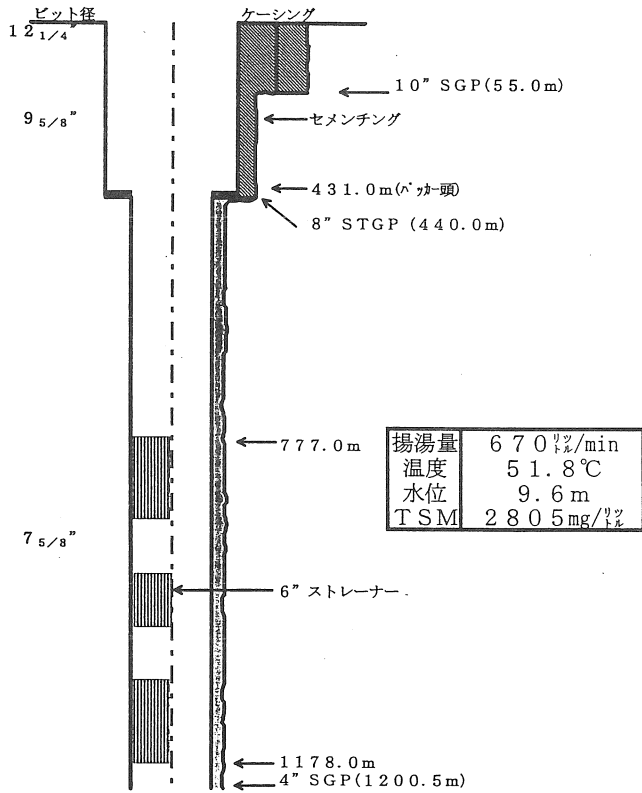
これを遮断する為、10図の様にすでに挿入されている内装管上部に新たに内装管を追加挿入した。内装管下部には内装管重量での圧着方式による自重式パッカーを、上部にはゴムリング及び吸水膨張ゴムパッカーを設置した。

内装後揚湯量は半減したが、揚湯温度と塩素イオン濃度の上昇が確認された。

5. おわりに

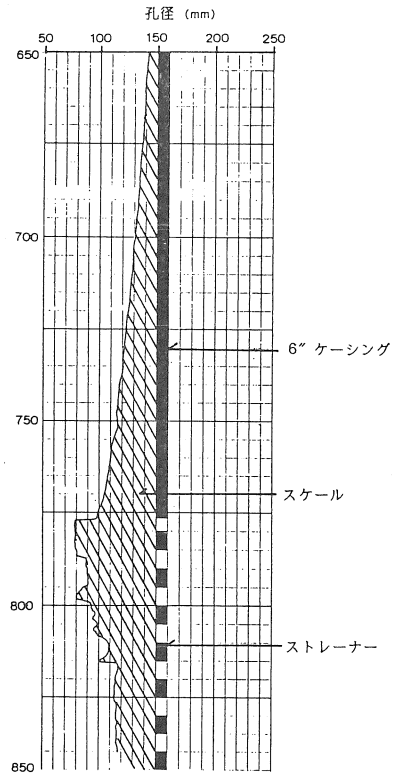
温泉井の補修工事についていくつかの事例を紹介した。それぞれの泉源において補修工事後に揚湯障害が改善されたが、その後同様の障害が生じた泉源もありその他の泉源もいずれ再び障害を起こす可能性が高い。現状の補修工事の実状として、コスト面での制約下において調査を行いながら試行錯誤の中でその補修方法を模索し、その施工後の経過によっては新たな補修工法の検討が必要な場合もある。補修工事を単純に孔井の障害の解消としてだけでなく、温泉利用施設の中の泉源における維持管理の一部として、長期的な泉源の確保を目的とした、最適な補修方法の確立のための調査工事としてとらえる必要がある。

小清水2号井 ケーシングプログラム



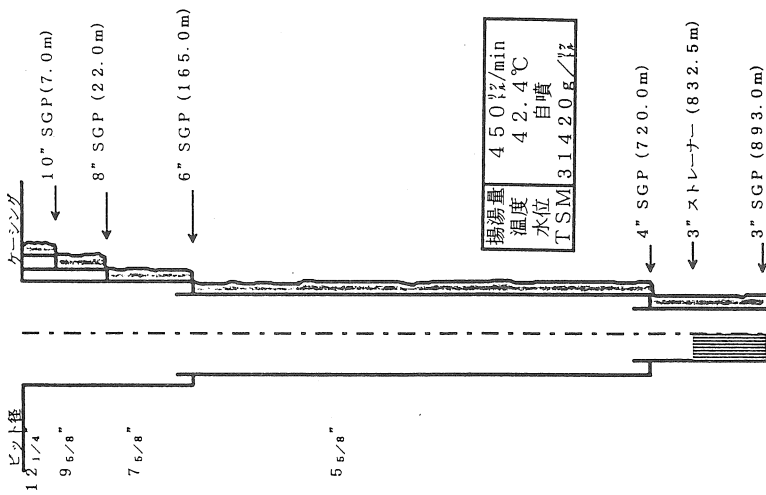
1 図

小清水2号井孔径検層



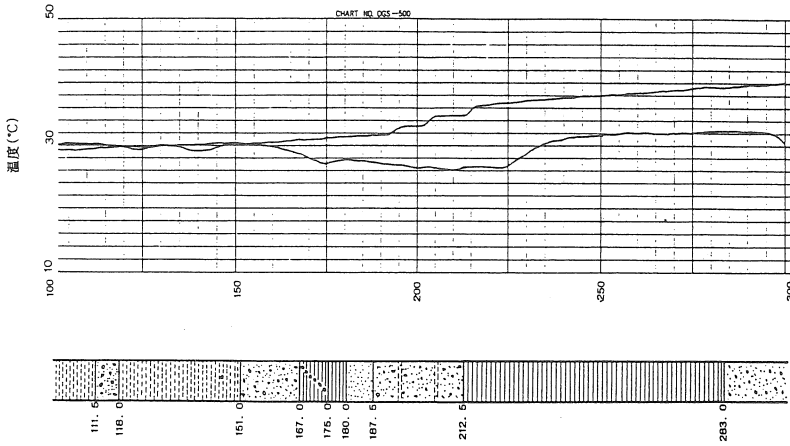
2 図

北村1号井 ケーシングプログラム



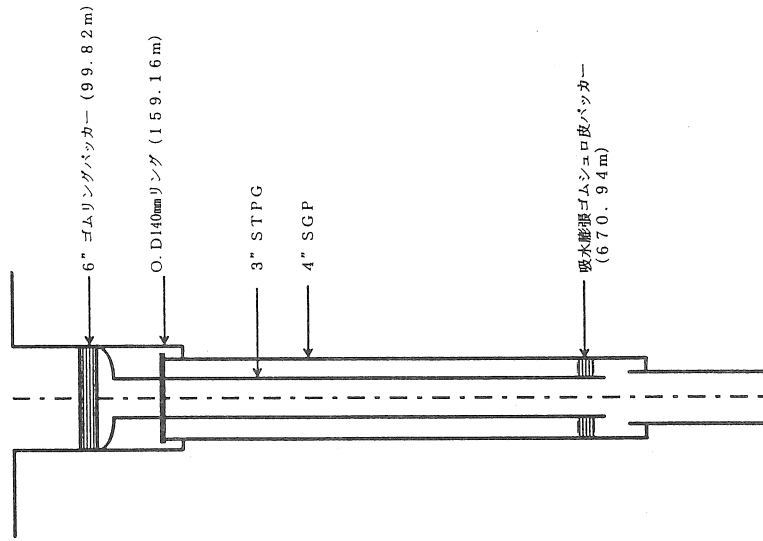
3 区

北村1号井 温度検層

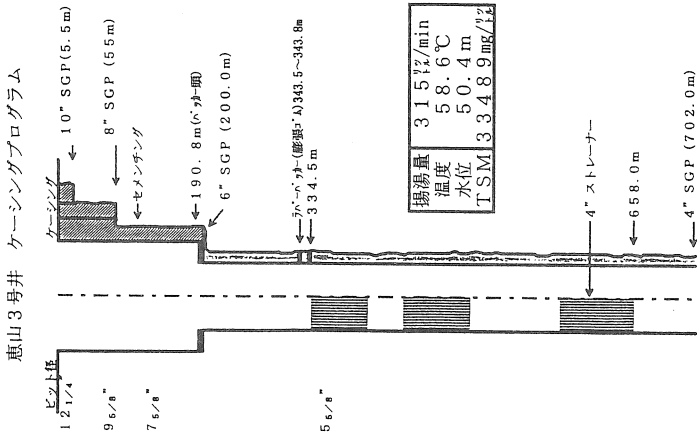


4 区

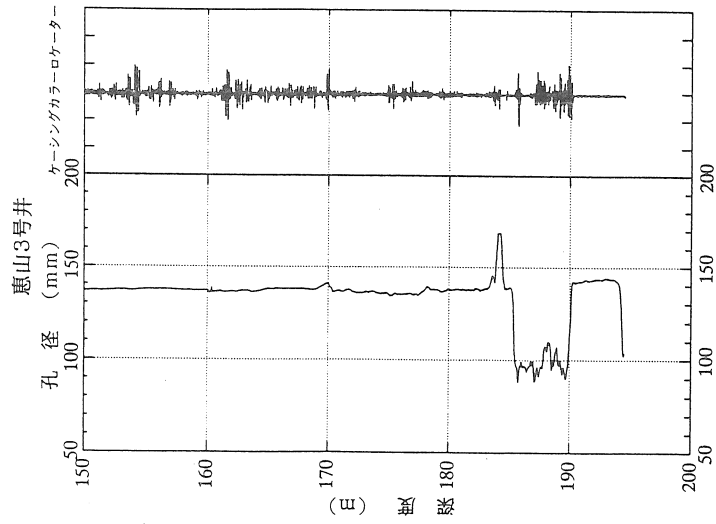
北村1号井内挿管設置状況



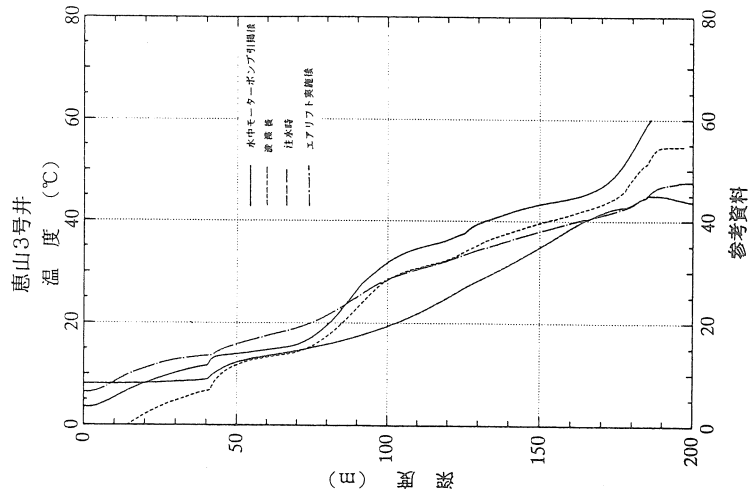
5 区

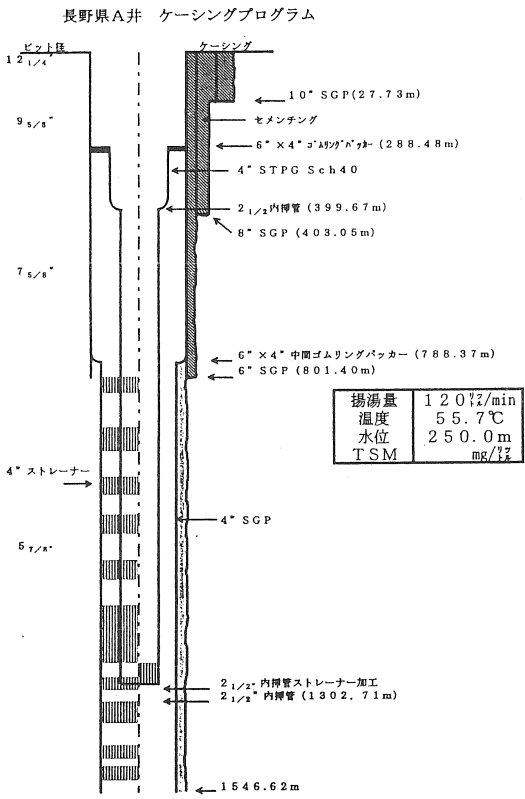


6 図

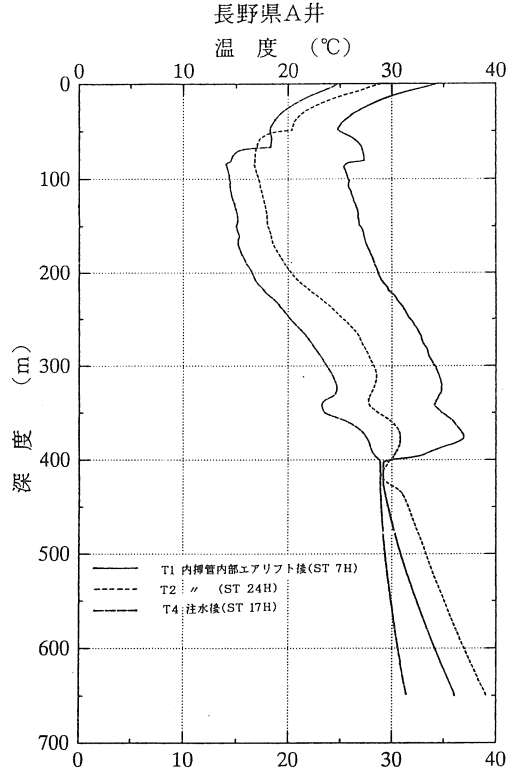


7 図

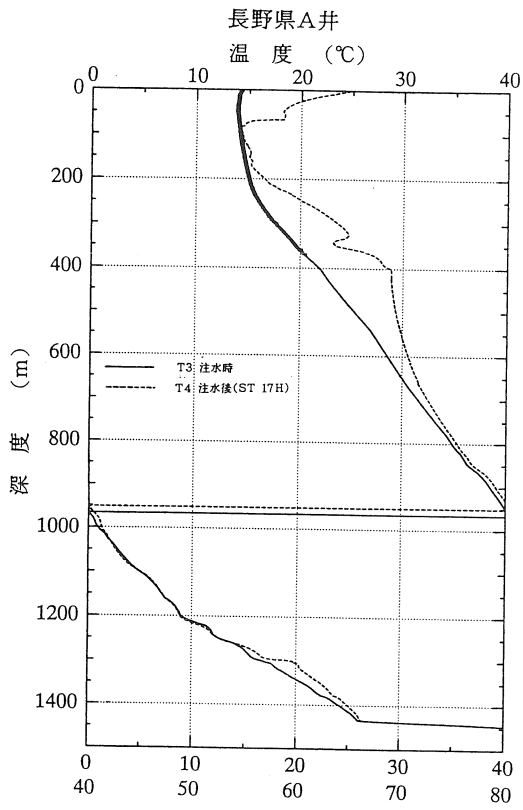




8 図

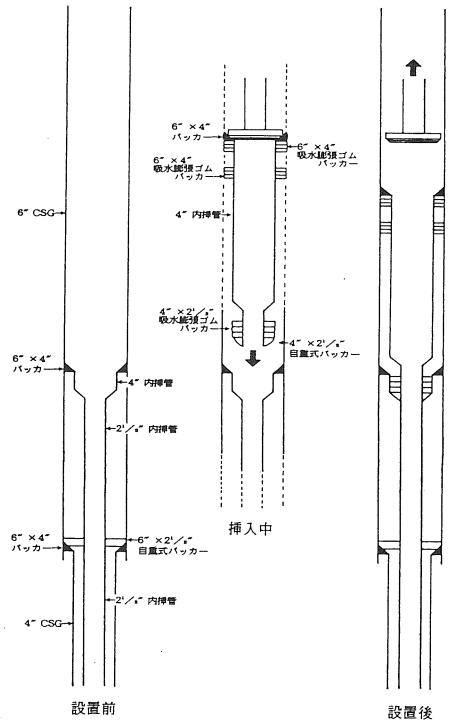


9-1 図



9-2 図

長野県A井内装管設置状況



10 図

温泉ボーリングにおける諸計測

北海道立地下資源調査所 大津 直

はじめに

温泉ボーリング調査における計測・記録 (driller's log) の意義は、地上設備の保守・点検や作業の安全の為だけではなく、温泉開発の成否を分ける重要な資料となることである (例えば、宮田, 1984 ; 若浜, 1985 ; 高橋, 1990)。

自動計測の構築の為には、アナログデータをデジタルデータに変えなければならぬ。当所における従来の計測システムは、様々なアナログデータ (温度・圧力など) を計測センサにより電圧 (アナログ信号) に換えアナログ/デジタル変換器 (通称A/Dコンバーター) 内臓のハイブリッドレコーダによりデジタル化していた。しかし従来のシステムでは、計測データの最終的な形はチャート記録紙であり、記録後のデータ解析をおこなうには記録紙から読み取らねばならず、非常に不便であった。そこで、従

来の計測システムを拡充する方法として、ハイブリッドレコーダとパーソナルコンピュータ (以降パソコンと略称する) をGP-IB (General Purpose Interface Bus) で接続し、数値データを記憶装置に保存する方法を試みた。以下に拡充された計測システムとそのことによって可能となった、ビット荷重、逸泥現象および掘削深度の計測を述べる、また、システムの応用として揚湯試験を例に挙げて説明する。

I 従来の計測システムの概要

当調査所では昭和57年度以降、深度1000mクラスのボーリングに対応した簡易マッドロギングの開発・改良を進めてきた。特に平成元年度以降は、ドリリングモニターシステム (GSH-DS) としてマッドロギングを実施してきた (第1図)。これまで当所が実施してきた計測項目を第1表に示す。

平成6年度地熱ボーリング調査で実施した計測項目は第1表のうち①～⑥の6項目にフック荷重と総荷重から計算によって求めたビット荷重を計測項目に含めた。さらに、平成7年度には、泥水比重と残尺そして残尺から計算される掘削深度を計測項目に含めた。これら被計測物の物理量は、計測センサによってアナログ信号に変えられ、A/Dコンバーター内蔵の計測機器を通してデジタルデータにかえられる(第1図)。計測機器にはハイブリッドレコーダ(横河北辰電機製3087形)を使用した。このハイブリッドレコーダは積算型A/Dコンバーターを内蔵しており、記録はレコーダの設定により、アナログ記録、アナログ記録/デジタル記録、デジタル記録を選択できる(横河北辰電機,1984)。レコーダの諸設定は機器前面のパネルスイッチによって行う。入力は、測点数12点+1チャンネル(DMM機能)入力、直流電圧・熱電対・測温抵抗体でさらにDMM機能として直流電圧、交流電圧、抵抗の画面表示および記録を行うことができる。従来のシステムでは、入力チャンネルにそれぞれ直流電圧、熱電対と

DMM機能に抵抗を設定し、5秒毎にスキップする様に設定し、チャート記録紙へデータを記録させていた。

以上述べたように、当所が保有する計測機器は数値処理やフロッピーディスク等へのデジタルデータの保存機能がない等今日では低スペックなマシンである。しかし、本機器にはオプションでGP-IBを装備する事が可能である。次章では、GP-IBによるパソコンとの通信方法について述べる。

II 計測システムの拡充について

1. GP-IB (IEEE-488) の概要

GP-IBとは、IEEE(米国電気学会)のIEEE-488標準バスの俗称である。GP-IBの最大の特徴は、高速なデータ転送能力と1台のコンピュータで最大15台の計測・制御機器をコントロールできることである。

計測機器側にGP-IBなどの標準インターフェースが装備されていれば、パソコンで計測機器をコントロールする事が可能である。

2. ノート型パソコンの

内部および外部の拡張

使用したパソコンは日本電気製のノ

ート型パソコンである。本計測にノート型パソコンを使用した理由は、小型・軽量のため場所をとらず持ち運びが容易なことや、バッテリー内臓のため停電に強いなどの長所をあげることができる(河村ほか, 1992; 河村ほか, 1993)。

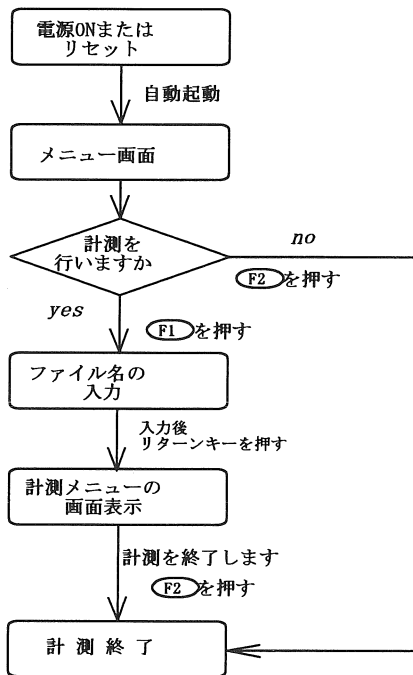
ノート型パソコンには、専用のスロットに「増設ラムカード」を差し込むことによってRAMを増設することが可能であり8Mbyteの増設ラムカードで対処した。なお、この増設ラムカードは、ソフトウェアの設定でハードディスク互換の記憶媒体として設定している。

ノート型パソコンに限らず、GP-IBを標準装備するパソコンは少なく、本パソコンもGP-IBを標準装備していない。そこで I/O拡張ユニットを接続することによって、市販されているPC9801シリーズのGP-IBボードを使用できる様にした。

3. 計測プログラムについて

プログラムはMS-DOS上で開発できるN88日本語BASIC(86) (MS-DOS版)を使用した。プログラムリストを第2表に示す。なお、プログラムの作成についてはGP-IBボード付属の解説書(コンテック,1993)に従った。また、GP-IBにつ

いての一般的な解説やプログラムについては岡村(1988), 亜樹(1990), 河村ほか(1992), 河村ほか(1993)を参考にした。



第2図 計測作業の流れ図

計測プログラムは起動後にメニュー画面が表示されるので、メニュー表示に従いファンクション・キーF1を押すとファイル名の入力促される(第2図)。ファイル名を入力しリターン・キーを押すと計測作業が始まり、画面への表示とファイルへのデータの保存を行う。終了は、ファンクション・キーF2を押すだけでよい。

計測されたデータはASCII形式のシー

ケンシャル・ファイルとして保存され、ファイル形式はカンマ区切り（CSV形式）である。このデータファイルから作成したグラフ例を第3図に示す。グラフは、先に述べた計測項目の中からフック荷重、泥水位、残尺のデータを抜き出している。

4. 計測システムの今後の課題

本システムで得られたデータは、コンピュータに取り込まれた形なので、計測プログラム内や計測後に各種アプリケーションソフトを用いて、グラフ化や数値処理が容易になった。このことは、次章にて述べる、これまで実現できなかった計測項目「泥水比重を考慮した泥水位」、「掘削深度」そして「ビット荷重」などを実現した。

今後は、このシステムから得られる膨大なデータをすばやく処理するため、データのデータベース化とグラフ作成・数値処理を装備したアプリケーションの開発が必要である。

III 逸泥現象の計測

温泉ボーリング調査において、温泉貯留層を検知するための主要な要素の1つに溢逸泥現象がある。この現象は、送

泥量と排泥量の均衡が坑井内の要因で崩れることによって現れるもので、亀裂の有無を判断する材料の1つとなっている。この現象を検知するには、直接フローラインの送・排泥の流量のバランスを流量計で計測する方法や泥水タンク中の泥水位を測り溢逸泥量を算出する方法などがある。

当所ではこれまで泥水位を測定する方法を採用してきた。泥水位を測る方法には、これまで様々な方法を試みたが、平成2年度～平成5年度までの地熱ボーリング調査では、マノメータによる泥水柱圧の測定方式（マノメータ式）を採用してきた（第4図）。しかしマノメータ式は、測定管の形状が細いために泥水による目詰まりがしばしば生じていた。

そのために掃除をおこなうので計測が中断してしまうのが問題となっていた（第4図）。また、マノメータは一般に、野外で使用する機器ではなく、管理の点でわずらわしかった。そこで、平成6年度以降の調査では、測定管の形状を変更するとともに、計測センサを差圧変換器に変えたところ、結果として様々な面でマノメータ式に勝る利点を見いだすこ

とができたので次節で述べることにする。

1. 差圧変換器による計測

差圧変換器による泥水バック面の計測環境を第4図に示す。計測センサは差圧変換器である。差圧変換器は野外に放置しても丈夫な造りになっており、マンメータに比べて保守が容易になった。また、従来に比べ太い径の測定管を採用したため、泥水による目詰まりは発生しなくなり、連続計測が可能になった。また、差圧変換器本体にも0～1mのレンジで水柱圧をデジタル表示する構造にしたので、その場で補正を行える様になった。次節において、これまで実現できなかった泥水比重を考慮した泥水位の計測方法をしめす。

2. 泥水比重を考慮した泥水位の計測

最初に、計測センサによって泥水比重を得る方法をしめす。第5図に示すように、長さの異なる測定管を同一の差圧変換器に取り付けると、2つの測定管長の差（第5図中の*d*）がわかっているならば泥水柱圧の差と*d*の関係から泥水比重を求めることができる。

次に補正計算の方法についてしめす。

まず、一台の差圧変換器を泥水比重測定用の2本の測定管に設置する。もう一台の差圧変換器で泥水位のデータ（泥水柱圧）を同時に取り込み、後はプログラムで処理を行えば補正された数値（ h_1 ）が得られるはずである。これらの計測値や既知の数字を使ってプログラム上で計算して、タンク中の液面の高さを求める（第5図）。液面の変動が求めれば溢逸泥量を求めることは容易である。例として、平成7年度の試すい探査で計測された補正なし泥水位、泥水比重そして泥水比重による補正をかけた泥水位（第5図中の h_1 ）をグラフで示す（第6図）。

IV 掘削深度と掘進率の計測

掘進率は岩質、地層圧力と泥水柱圧力との差圧、ビット荷重、ビット回転数やノズル圧力損失の変化によって影響を受けることが知られている。従って、ビット回転数等の地上装置による制御を一定に保つことができれば、掘進率の変化を知ることによって岩質や地層圧力の変化を推定することができる。

掘進率を測るには、掘削深度を測定しなければならない。掘削深度の測定方法としては、フックあるいはスイベルの位

置を細いワイヤを使って検知する方法や油（水）圧ホース（以後油圧式とする）を使って検知する方法等がある。当所では、地熱・温泉ボーリング調査においては油圧式の測定方法を採用している。

1. 掘削深度を得る方法

フックまたはスイベルの高さを計測する環境を第7図に示す。図の様に、スイベル等に設置された油圧タンクからテーブル面までの油（水）圧を圧力センサで計測すれば計測可能であることがわかる。ところで、油圧式による残尺の自動計測は、すでに昭和58年から実現されてきた。しかし、そこから掘削深度を得ることはこれまでできなかった。

拡充されたシステムは、数値処理を可能としたため、以下に述べる簡単なプログラムで可能となった。プログラムのサブルーチンは*DINPUTである（第3表）。キー割り込みによって割り当てられたファンクション・キーを押すと、サブルーチン*DINPUTにジャンプし、「全長」をキーボードから入力するように表示される。そこで数値を打ち込みリターン・キーをおすと、計測した残尺から以下の簡単な式で計算し画面に掘削深度

を表示する。

$$\text{掘削深度} = \text{全長} - \text{テーブル高} - \text{残尺}$$

ここで、

全長：ビット、ドリルカッター、ドリルパイプ、ケーブルの総計長

テーブル高：グラントレベルからテーブルまでの高さ

しかし、この油圧式にも欠点も多い。スイベルにホースをぶら下げた状態なので繰り出し機構が必要であり、わずらわしいものとなっている。さらに、使用流体に含まれた気泡を完全に抜くことは実際には困難であり、測定精度にかかわる問題となっている。

2. 掘進率を得る方法

掘削深度が求めれば、掘進率が求まるはずである。掘進率は各掘削深度における時刻がわかれば、

$$R = \frac{(D_2 - D_1)}{(T_2 - T_1)}$$

R : 掘進率(m/h), D1,D2 : 各掘削深度(m)
T1,T2 : 各深度における到達時刻(hour)

と計算される。

しかし、単一のデータでは、誤差が大きく影響するので、あるまとまりのデータをメモリに記憶しておき、「単回帰

直線 (simple regression line) 」等へのあてはめをおこなう方法が考えられる。ここで単回帰直線 $y=ax+b$ は、測定データ (掘削深度) における個々の「差」の値が、どのデータに対してもできるだけ小さくなるように求められる。掘進率はこの a に相当し、 a, b は、

$$a = \frac{\sum x_1 y_1 - \sum x_1 \sum y_1 / n}{\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2 / n}$$

$$b = \frac{\sum y_1 - a \sum x_1}{n}$$

n はサンプル数

の「最小2乗法」によって求められる。

しかし、現時点では掘進率を計算するには、掘削深度のデータにばらつきが大きすぎて使いものにならないのが実状である。これは、掘進率の場合には、測定誤差を含む掘削深度の値に対して時間の単位換算を行う時に (秒→分→時)、真の測定値に対する誤差の割合が相対的に膨らむためと考えている。まだ、推定の段階だが恐らく計測精度が数mm内に収まらなければ有意な測定値を得ることは困難であろうと判断している。

結論として、現時点では掘進率の計測のためには掘削深度の計測精度の向上を行わなければならない。そのために計

測センサや計測方法を再検討する必要があると考えている。

V 揚湯試験における計測

自動計測システムの応用として揚湯試験をあげる。エアリフトによる予備揚湯試験では、コンプレッサーの圧力容器に圧力センサを接続する事によって、動水位の経時変化と湧出パターンを記録することが可能である。この例を第8図に示す。また、段階揚湯試験では、動水位 (圧力センサ)、揚湯量 (電磁流量計) および揚湯温度 (熱電対や白金抵抗体など) を連続測定し、経時変化を記録する事が可能である。これまで説明したように、これらの生データに数値処理を加えて、表示させたり、保存させたりすることは可能である。また、保存したデータから解析することも可能である。

まとめ

パソコンに接続された本計測システムは、従来の計測システムでは困難～不可能と思われた種類のデータの取得や数値処理を可能にした。その例は、泥水比重補正を考慮した泥水位や掘削深度の計測である。また、コンピュータへのデータを保存するシステムは、計測後の

数値解析等の処理を可能～容易にした。
さらに、ボーリング調査だけではなく、
揚湯試験にも応用できることを明らか
にした。

本システムは現在,当所で安定して計
測可能な項目を対象として構築した。今
後は掘進率などの計測項目を増やすた
め改良・改善を図る必要がある。

謝辞

北海道立地下資源調査所の秋田藤夫
研究職員, 藤本和徳開発技術科長, 川森
博史企画情報課長, 高橋徹哉研究職員に
は, 計測システム開発当初から多くのご
教示を頂いている。また, (株)ドリリ
ング計測の内田 豊氏には, このシステ
ムを作る気になった重要なコメントを
これまで何度も頂いています。以上の方
に明記して感謝いたします。

参考文献

亜樹智耶(1990): GP-IBプログラミング
入門。工学図書。
雨宮好文(1983): 図解メカトロニクス入
門シリーズセンサ入門。オーム社。
大津 直(1995): 温泉ボーリング調査に
おける計測(その1)計測システム
と計測プログラム。地下資源調査所

報告。

河村純一・下川繁三・河村雄行(1992):
ノートブックパソコンによる科学
計測入門。HFS出版。

河村純一・下川繁三(1993): ノートブッ
クパソコンによる科学計測入門Ⅱ。
HFS出版。

コンテック (1993) : PC-MODULE
GP-IB(98)Dシリーズ サポートソ
フト解説書。

宮田 厚(1984): 温泉ボーリングにおけ
る計測。第22回試錐研究会講演資料
集, 北海道立地下資源調査所。

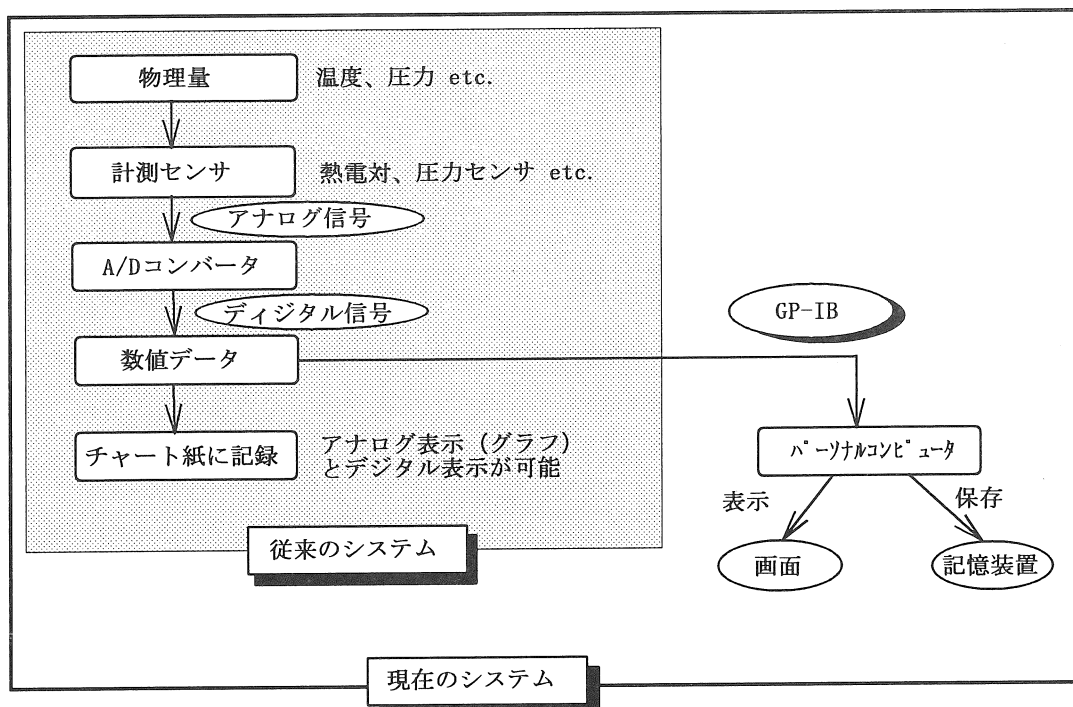
岡村迪夫(1988): IEEE-488(GPIB)とそ
の応用。CQ出版社。

高橋徹哉(1990): 温泉ボーリングにおけ
る計測の事例, 第28回試錐研究会講
演資料集, 北海道立地下資源調査所。

富沢 裕(1972): 計測工学(Ⅱ)。森北出版。

若浜 洋(1985): 掘削中の計測データに
関する考察。第23回試錐研究会講演
資料集, 北海道立地下資源調査所。

横河北辰電機 (1984) : 3087形ポータブ
ルハイブリッドレコーダ
Instruction Manual.



第1図 拡充された計測システムの概念図

計測項目	計測センサ
① 外気温 (°C)	熱電対 (C-Cタイプ)
② 排泥温 (°C)	熱電対 (C-Cタイプ)
③ 送泥温 (°C)	熱電対 (C-Cタイプ)
④ ピットレベル	
マノメータ式	マノメータ
フロート式	ポテンショメータ
⑤ フック荷重 (ton)	
ウォークラインの張力変化	圧力センサ
⑥ 掘進率	
スイベル高さ測定方式	
掘削ストロークマーカー式	
⑦ ロータリートルク	トルクセンサ
⑧ 原動機 (モーター) 負荷	トランスデューサ
⑨ 送泥量	パルス検出センサ
⑩ 排泥量	ポテンショメータ

第1表 これまでの試錐探査の計測項目

```

100 CLS:DIM Z(24),H(24)
110 LOCATE 15,5:PRINT TAB(10) "***** GPIB通信メニュー*****"
120 LOCATE 15,6:PRINT TAB(10) "***** GSH-DS/3 *****"
130 LOCATE 15,7:PRINT TAB(5) ""
140 LOCATE 15,8:PRINT TAB(5) " (1) 通信開始→f.1 or R=====
150 LOCATE 15,9:PRINT TAB(5) " (2) 深度入力→f.3      =====
160 LOCATE 15,10:PRINT TAB(5)" (3) ヘルプ              =====
170 LOCATE 15,11:PRINT TAB(5)" (4) 終了    →f.2 or Q=====
180 ON KEY GOSUB *GPINIT,*TEND,*DINPUT 'ファンクションキーでの割り込み
190 KEY ON
200 'キー入力による方法
210 B$=INKEY$
220 IF B$ = "" THEN 210
230 IF B$ = "R" OR B$ = "r" THEN GOSUB *GPINIT
240 IF B$ = "Q" OR B$ = "q" THEN *TEND
250 GOTO 210
270 'GPIB 初期化サブルーチン
280 *GPINIT
290  CMD PORT 0,1,1,&H2D0,1,3           'GPIB のボードの初期化
300  ISET IFC                           'IFC の送信
310  ISET REN                            'REMOTE
320  CMD TIMEOUT = 15                   'タイムアウトの設定(5 秒)
330  CMD DELIM = 0                       '文字列終了の設定(CR+LF)
350  GOSUB *RECEIVE
360  RETURN
380 *RECEIVE 'GPIB 受信サブルーチン
390  CLS
410  CONSOLE 0,5,0,1
430  INPUT "ファイル名を入れてください(EX: C:\906_1.DAT)", FL$:BEEP
440  OPEN FL$ FOR OUTPUT AS #1 :CLS
450  LOCATE 15,2
460  PRINT "温泉ボーリング計測システムGSH-DS/3"

```

第2表 プログラム・リスト (No-1)


```

470 PRINT "                地下資源調査所・開発技術科"
471 LOCATE 0,23 :PRINT"ファンクションキーで割り込み F2:終了 F3:深度入力"
480 LOCATE 0,4
490 PRINT "時刻      外気温 排泥温 送泥温 ハック面 比重 CH13 総荷重 WOB 残尺
深度"
500 PRINT #1, "時刻, 外気温 (ch1), 排泥温 (ch2), 送泥温 (ch3), ハック面 (ch11), 比重 (CH12), チェック (ch13), 総荷重 (ch10), WOB (calc), 残尺 (ch9), 掘削深度 (calc)"
510 N=0
520 LINE INPUT@ 3,1:A$ :ハイブリットレコーダからの文字列の受信
522 IF MID$(A$,6,2)="01" THEN T1 =VAL (MID$(A$,10,5))/10!
523 IF MID$(A$,6,2)="02" THEN T2 =VAL (MID$(A$,10,5))/10!
524 IF MID$(A$,6,2)="03" THEN T3 =VAL (MID$(A$,10,5))/10!
540 IF MID$(A$,6,2)="09" THEN T9 =VAL (MID$(A$,10,5))/1000!
550 IF MID$(A$,6,2)="10" THEN T10 =VAL (MID$(A$,10,5))/1000!
560 IF MID$(A$,6,2)="11" THEN T11 =VAL (MID$(A$,10,5))/1000!
570 IF MID$(A$,6,2)="12" THEN T12 =VAL (MID$(A$,10,5))/1000!
580 IF MID$(A$,6,2)="13" THEN T13% =VAL (MID$(A$,10,5))/1000:GOSUB *PRT
590 GOTO 520
600 *PRT '画面表示サブルーチン
610 FW=(T10-1)*14.98 : 'FW=フック荷重
620 IF T13%=11 THEN TW=FW: N=0 : 'TW=総荷重
630 BW=TW-FW : 'BW=ビット荷重
650 PL=25*(T11-1) : 'PL =ハック面
651 SG=0.3125*(T12-1) : 'SG=比重
652 Z(N)=4.926*(T9-1.785) : 'Z =残尺
653 D=TL-Z(N) : 'TL=TOTAL 深度:D =掘削深度
655 CONSOLE 4,18,0,1
660 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT TIME$:
670 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT USING "#####.#":T1,T2,T3,PL:
680 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT USING "###.##":SG:
720 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT USING "#####":T13%:
730 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT USING "#####.#":TW:

```

第2表 プログラム・リスト (N o - 2)

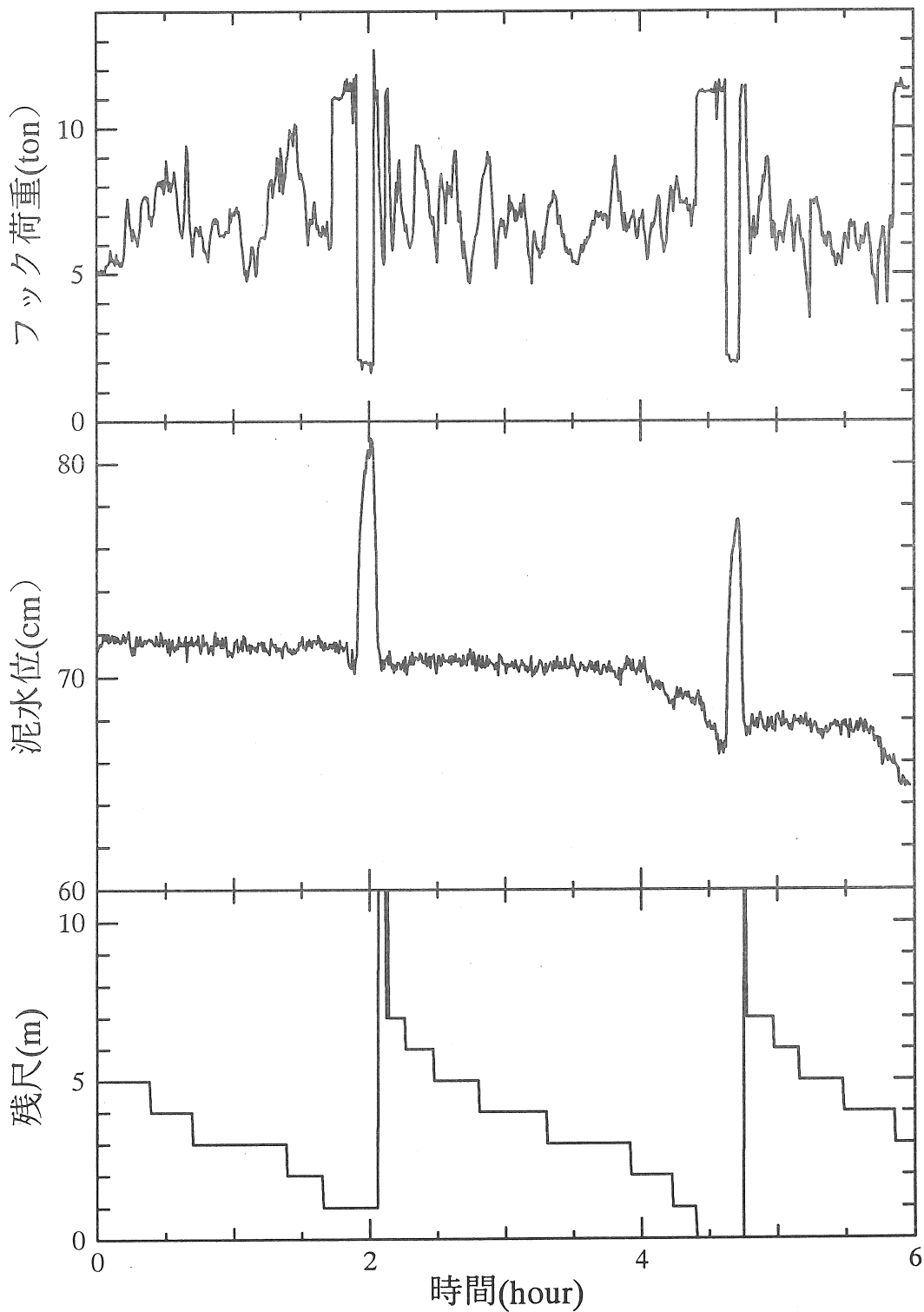
```

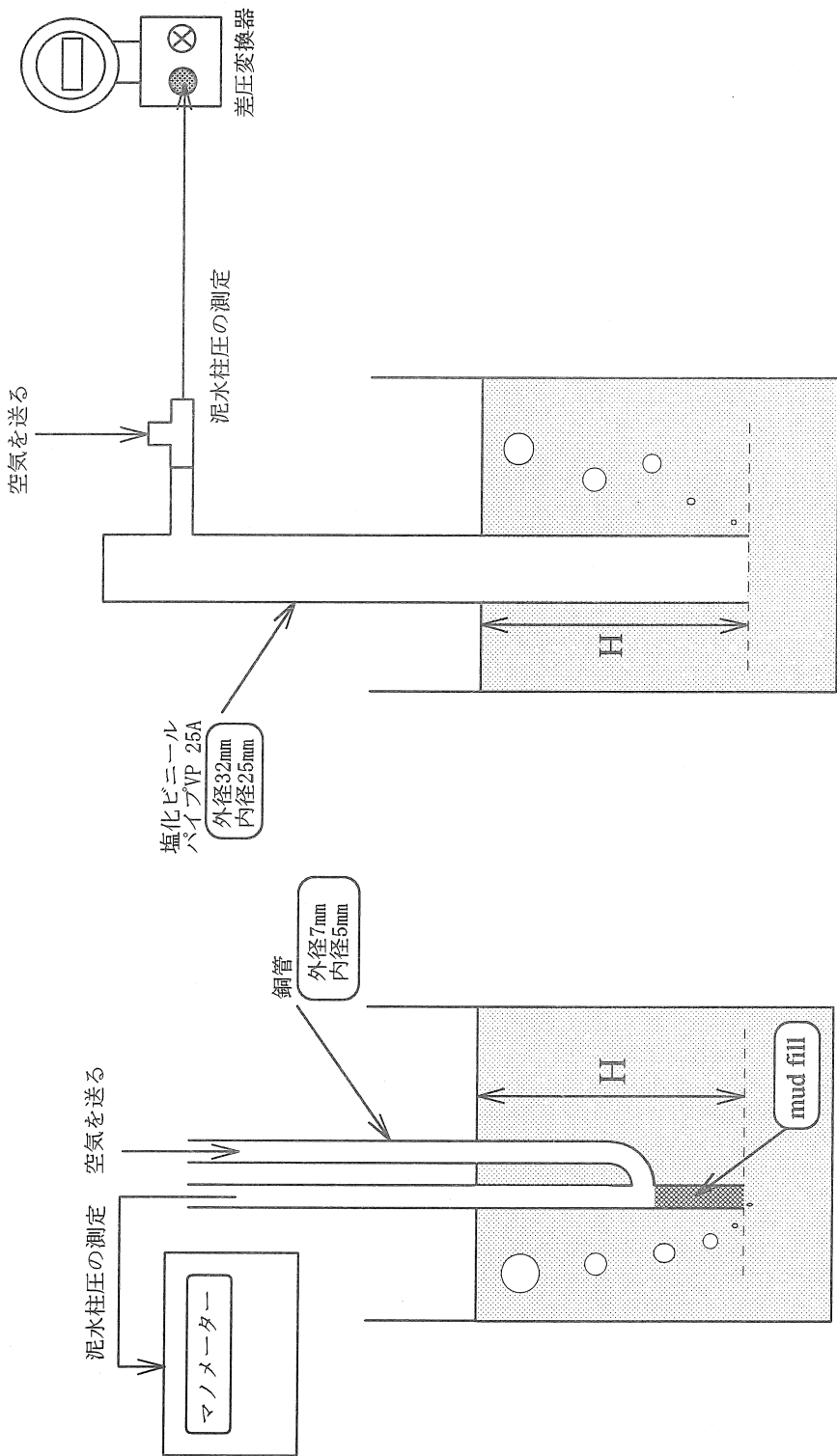
740 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT USING "#####. #":BW;
742 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT USING "####. ##":Z(N);
743 IF N=0 OR N=12 THEN PRINT USING "#####. ##":D:BEEP
750 IF N=0 OR N=12 THEN WRITE #1, TIME$, T1, T2, T3, PL, SG, T13%, TW, BW, Z(N), D
760 N=N+1
770 IF N=24 THEN GOSUB *ROP: N=0
790 RETURN
820 *TEND ' 終了サブルーチン
830 CONSOLE 0, 25
840 CLS :LOCATE 16, 9
850 PRINT "終了します"
870 CLOSE #1
890 KEY OFF
900 SYSTEM
1010 *DINPUT '掘削全長の入力サブルーチン
1020 Y=CSRLIN:X=POS(0)
1030 LOCATE 55, 2: INPUT "INPUT DEPTH->", TL
1040 LOCATE X, Y
1050 RETURN
1120 *ROP '掘進率の計測 (試作段階)
1140 Y=CSRLIN:X=POS(0)
1150 LOCATE 55, 1
1160 PRINT USING "ROP=##. ###":R 'R=掘進率 PENETRATION RATE (M/H)
1165 LOCATE 72, 1:PRINT USING "γ=#. ###":G
1170 LOCATE X, Y
1180 RETURN
1300 *LEAST '最小自乗法のサブルーチン
1400 FOR I=0 TO 23
1450 H(I)=I*5
1500 SX=SX+H(I)
1600 SY=SY+Z(I)
1700 SXX=SXX+H(I)*H(I)

```

第2表 プログラム・リスト (N o - 3)

第3図 計測データのグラフ例

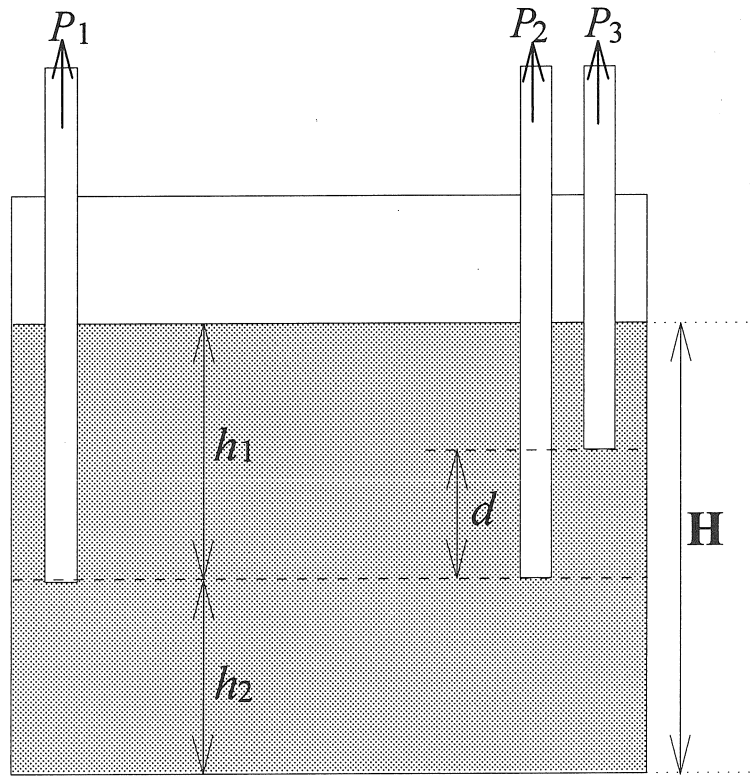




第4図 マノメータ式 VS 差圧変換器式

差圧変換器 (1)
泥水バック面の測定用

差圧変換器 (2)
泥水比重測定用

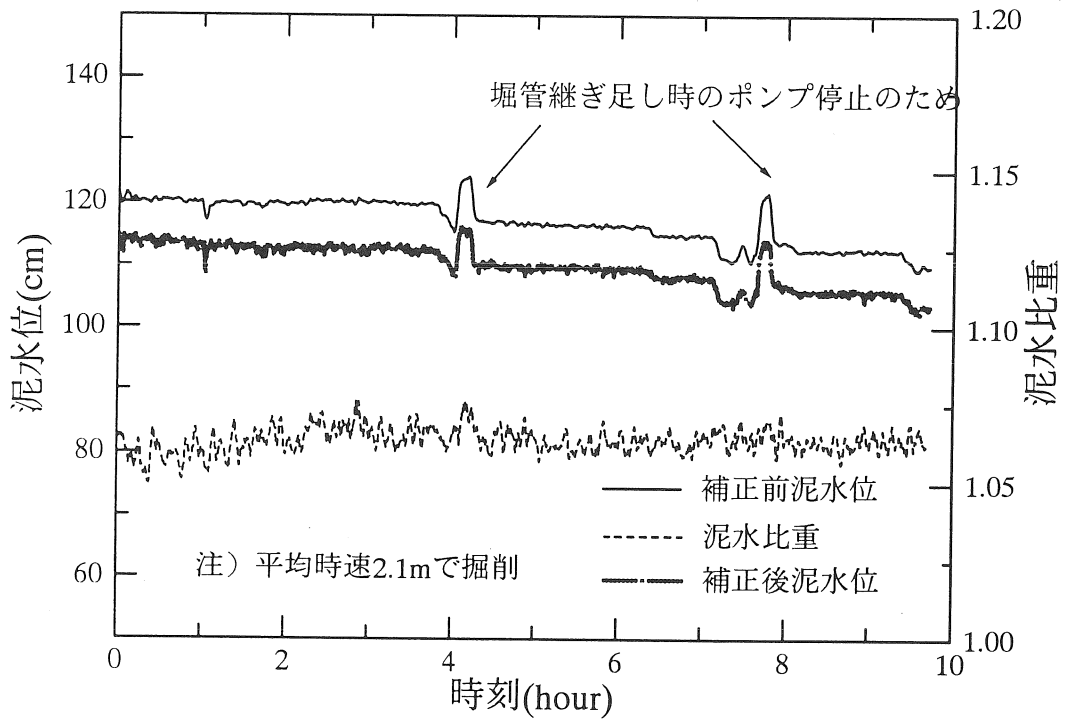


H : 求める高さ
 h_1 : 測定管先端から水面までの距離
 h_2 : " " タンク底 "
 d : 測定管長の差 (既知)
 P_1, P_2, P_3 : 測定管の泥水柱圧
 ここで, $h_1 = P_1 / (\text{泥水比重})$
 $\text{泥水比重} = (P_2 - P_3) / d$

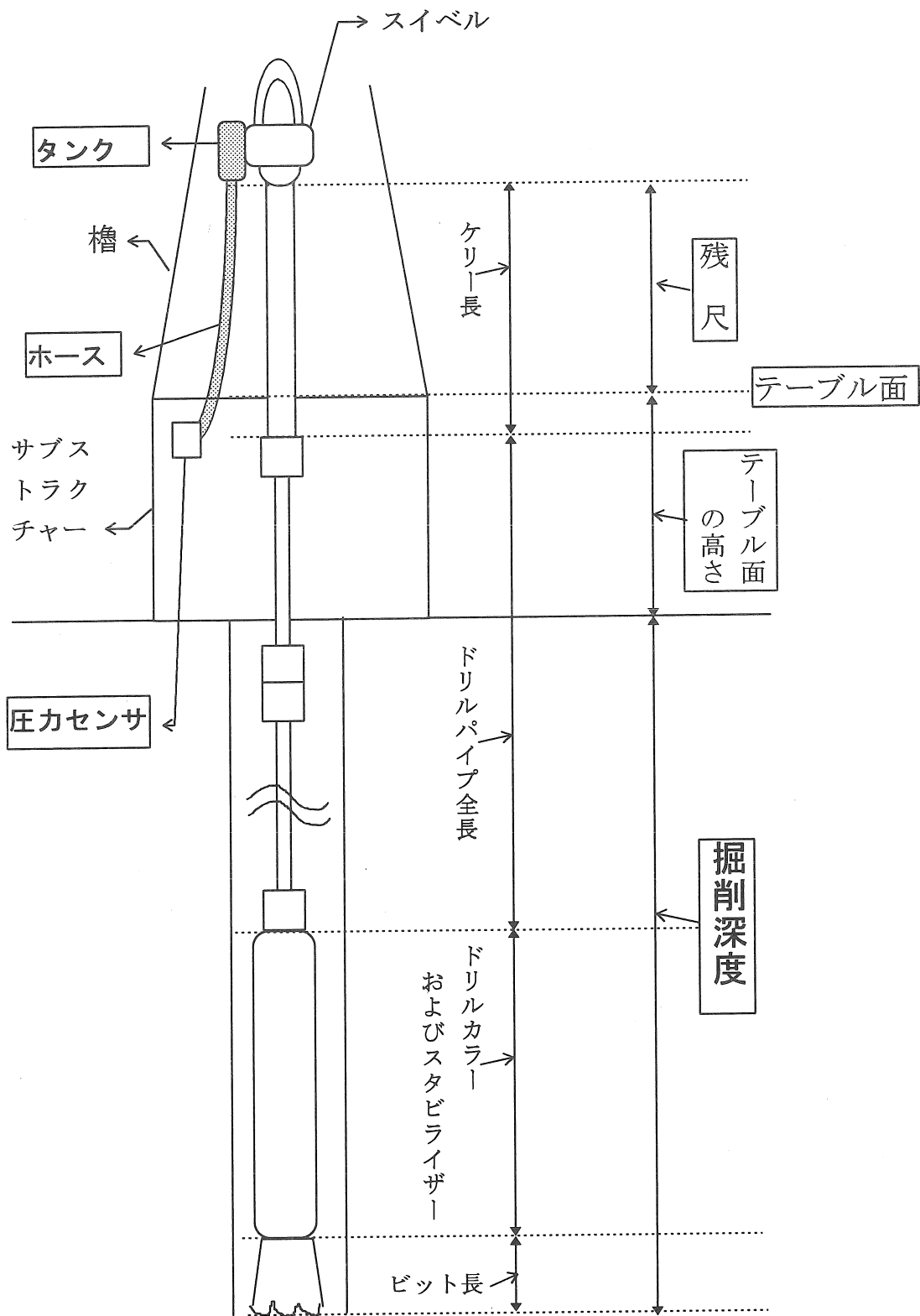
と求まるので
 求める高さ (H) = $h_1 + h_2$

$$= \frac{P_1}{P_2 - P_3} \times d + h_2$$

第5図 泥水比重を考慮した泥水位測定概念図

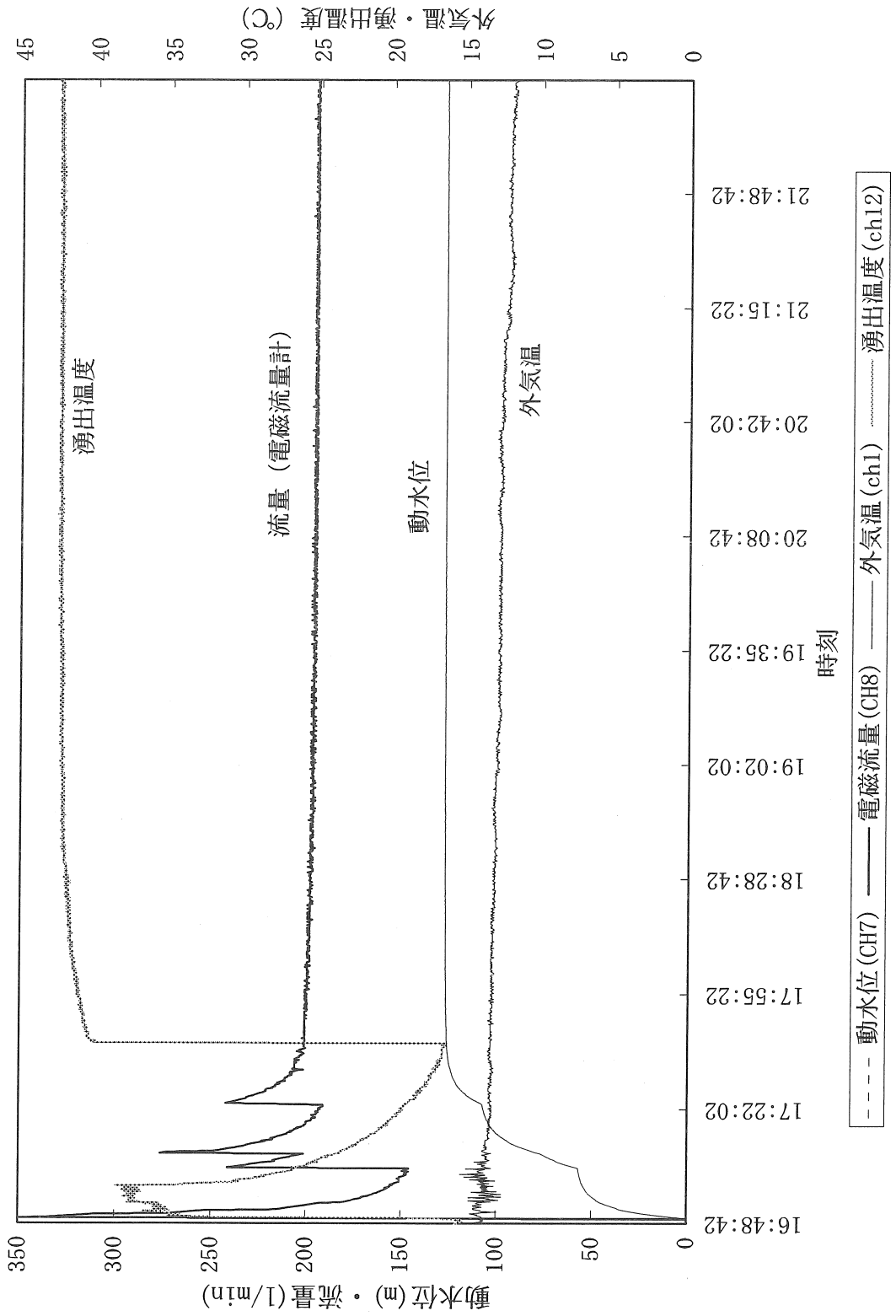


第6図 泥水比重と泥水位の関係



第7図 掘削深度の測定概念図

第8図 揚湯試験



油圧式パワートルクレンチ&スピニングレンチについて

株式会社セキサク 渡辺 信秀

1 はじめに

近年 地熱、温泉開発等のボーリングは 試錐機器の大型化、ツール類の発達及び泥水技術などの進歩に伴い掘削深度が深くなっております。掘削作業の中で一番危険で労力を必要とする揚降管作業において人力によりトングを扱い ドリルパイプやドリルカラーのネジ締め戻し作業を行っております。

このネジ締め戻しを自動化したものが ここで紹介する

油圧式パワートルクレンチ&スピニングレンチ

『スーパーアームロボS48型』であります。

2 開発目的

作業の自動化と省力化そして作業員による安全性を第一に考え開発する。開発にあたり方針として次ぎの事を目標とした。

- (1)トルクレンチとスピニングレンチを一体化としながらも全体重量の軽減化を図り吊り下げ可能とすること。
- (2)ネジの締め戻しについてクランプ点を2点から3点としてクランプ力によるネジ部の変形を低減しかつパイプ径の違いによるトングダイ、その他の部品の交換を不要とすること。
- (3)メンテナンスに関して摩耗により交換すべき部品を最小限とし部品は国産品を利用すること。減圧弁等の外国製部品のや無なき使用についても国内に常時在庫のあるものを使用すること。

3 概要

本機は 上部クランプ、下部クランプ、吊り架構、スピニングレンチ及び支持装置、油圧装置より構成されます。下部クランプと吊り架構は ボルトで締結され一体となっております。

上部クランプは下部クランプと嵌合され2本のツイストシリンダーで回転されます。上下部の各クランプは一方に手動のゲートを有する開口部がありクランプシリンダーが3個配置されています。ゲートの開閉は手動オートロック式です。スピニングレンチ及び支持装置は吊り架構中段に取り付けられスプリングによるフロート支持となっています。高さの調整は吊り架構の背後設けられたリフトシリンダーで行います。

4 特長

(1) 3方向クランプによる接続ネジ部の保護

クランプを3方向から行うためツールジョイントの変形は2方向のものに比較して大幅に低減できますのでネジ部は均等な応力となり摩耗が少なくパイプの寿命を延ばします。

(2) パイプ径の違いによるトングダイ（スリップ）の交換が不要

ツールジョイントの外径に応じてトングダイを交換なしでも作業続行が可能です。

(3) 700K油圧採用による軽量化・コンパクト化

大きな力を要するトルクレンチのクランプシリンダーとツイストシリンダーには700K油圧を採用してシリンダーのサイズダウンを図り本体を軽量化、コンパクト化しております。

(4) 作業性が容易

吊り位置がパイプ中心位置から離れているためツールジョイントへのアクセス作業が容易です。ゲートの開閉もワンタッチででき作業性に優れています。またスピニングレンチを搭載しております。

5 性能

トルクレンチ

適用ツールジョイント外径	104.7~203.2mm
ツイストトルク	max 10,500kg-m
ツイスト角度	±28°
最大油圧力	700kgf/cm ²
垂直移動ストローク	450mm

スピニングレンチ

適用パイプ径	73~203.2mm
スピニングトルク	150kgf-m (@5"パイプ)
最大油圧力	140kgf/cm ²
垂直移動距離	±25mm

油圧ユニット

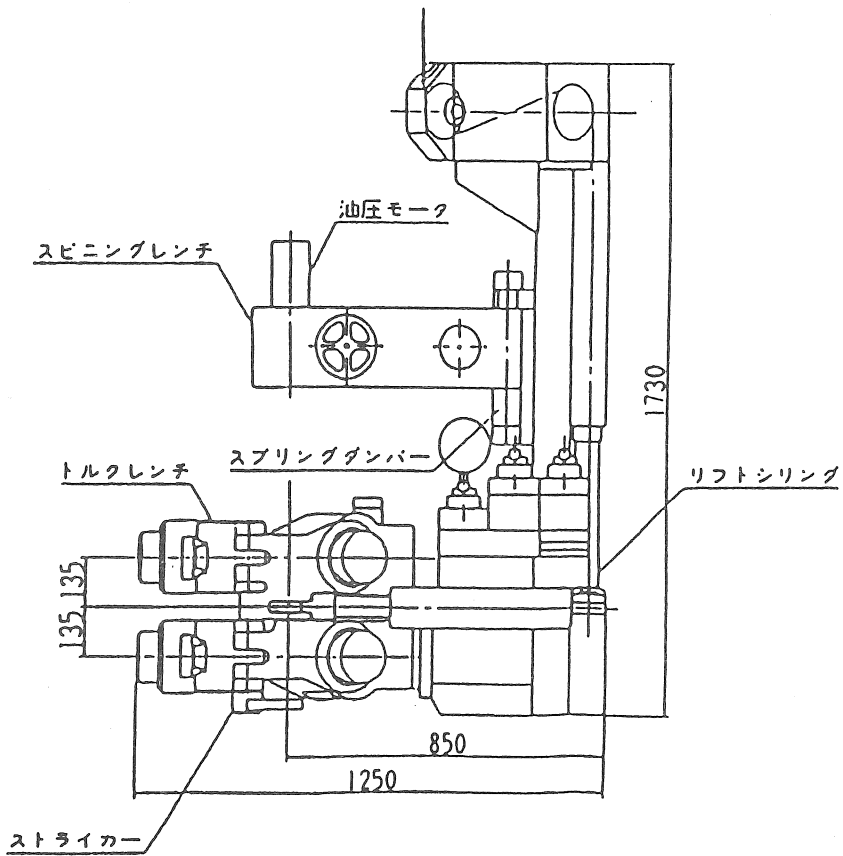
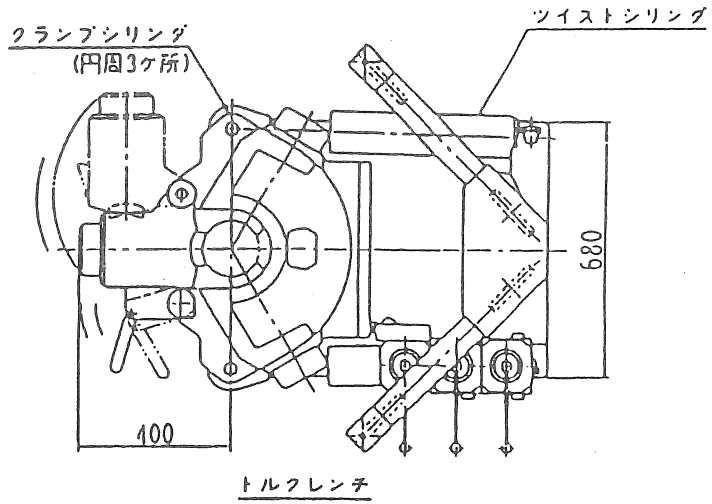
高圧ポンプ	700kgf/cm ²	3.7kw
中圧ポンプ	140kgf/cm ²	1.5kw
低圧ポンプ	50kgf/cm ²	5.5kw
付属品	油温上昇防止用ファンクーラ付き	
電源	200V	

6 操作

トルクレンチの上下クランプ、ツイスト、スピナーのスピ、ピンチ、リフトシリンダーの昇降と計6台の手動操作弁によって行う。クランプとツイストは同一の圧力が供給され力は比例している。ツイストの設定は油圧ユニット内の減圧弁を調節して行う。

7 おわりに

本機を開発するに当たり当初の目標をクリアできたと考えておりますがまだまだ改良すべき問題点が有ります。今後更にユーザのニーズに答えるべく改善（取り扱い、スピードアップ、軽量化等）に向けて努力する所存であります。



玉石・転石層における急速穿孔システムについて

1. はじめに

これまで札幌南部・函館・帯広・旭川等では、ボーリング作業中、中深度（100～150m程度）において玉石・転石層に遭遇することが多く、ロータリー式ボーリングマシンを用いた泥水工法では掘削に大変時間のかかる現場が多数あると伺っております。

北海道以外の地域においても、玉石・転石層におけるボーリング作業の効率化は、従来から大きな課題として認識されており、工法革新による工期の短縮が求められてきました。

そのような中で、（株）利根と（株）アイチコーポレーションは、共同で約3年程前に、悪層向けトラック架装式急速穿孔システム（次頁図1-1参照）を開発し、工期短縮と作業環境改善のご提案を続けてまいりました。

この新工法は、エアハンマーに拡底ビットを装着し、掘削しながら同時にケーシングを埋設する「同時ケーシング工法」と呼ばれるもので、このシステムを油圧式3段自動伸縮ブームと回転可能な組立式リーダーを備えたトラック（4トラス）に架装することにより、機動力を大幅に高めることが可能となりました。

現在本工法は全国のさく井工事会社を中心に十数社で採用され、約20台が稼働しており、悪層における掘削作業効率を飛躍的に高める工法として、さく井・温泉口元掘削・地盤改良・基礎杭工事等で活用されていますので、その概要についてご紹介させていただきます。

2. 急速穿孔システム構成（泥水工法との比較）

本システムは、トラック架装式ボーリングマシンと高圧エアコンプレッサー（車）で構成されています（図1-2参照）。

ボーリングマシンは、3段自動伸縮ブームと回転可能な組立式リーダーを備えていますので、やぐらの設置が不要なのはもちろんのこと、段上・段下・堀越し等悪条件の現場でも簡単に設置することが可能です。

掘削にはエアハンマーを使用しますので、泥水工法では必須設備である泥水循環装置も不要です。従って作業終了後の泥水処理（産廃処理）も必要ありません。

その他、泥水工法との詳細な使用効果比較については、次頁表2-1をご参照下さい。

システム設置後の掘削作業は基本的に2名で行うことができます（オペレーター1名、手元作業員1名）。

また、掘削ポイントの変更も大変スピーディーに行うことができますので、基礎杭工事等頻繁に掘削ポイントの変更が必要な現場にも適しています。

本システムの制御は、すべて有線リモコンにより行うことができます。従って、オペレーターは汚れることなく、常に作業全体を見渡せる最適の位置から安全に掘削作業を行うことができます。

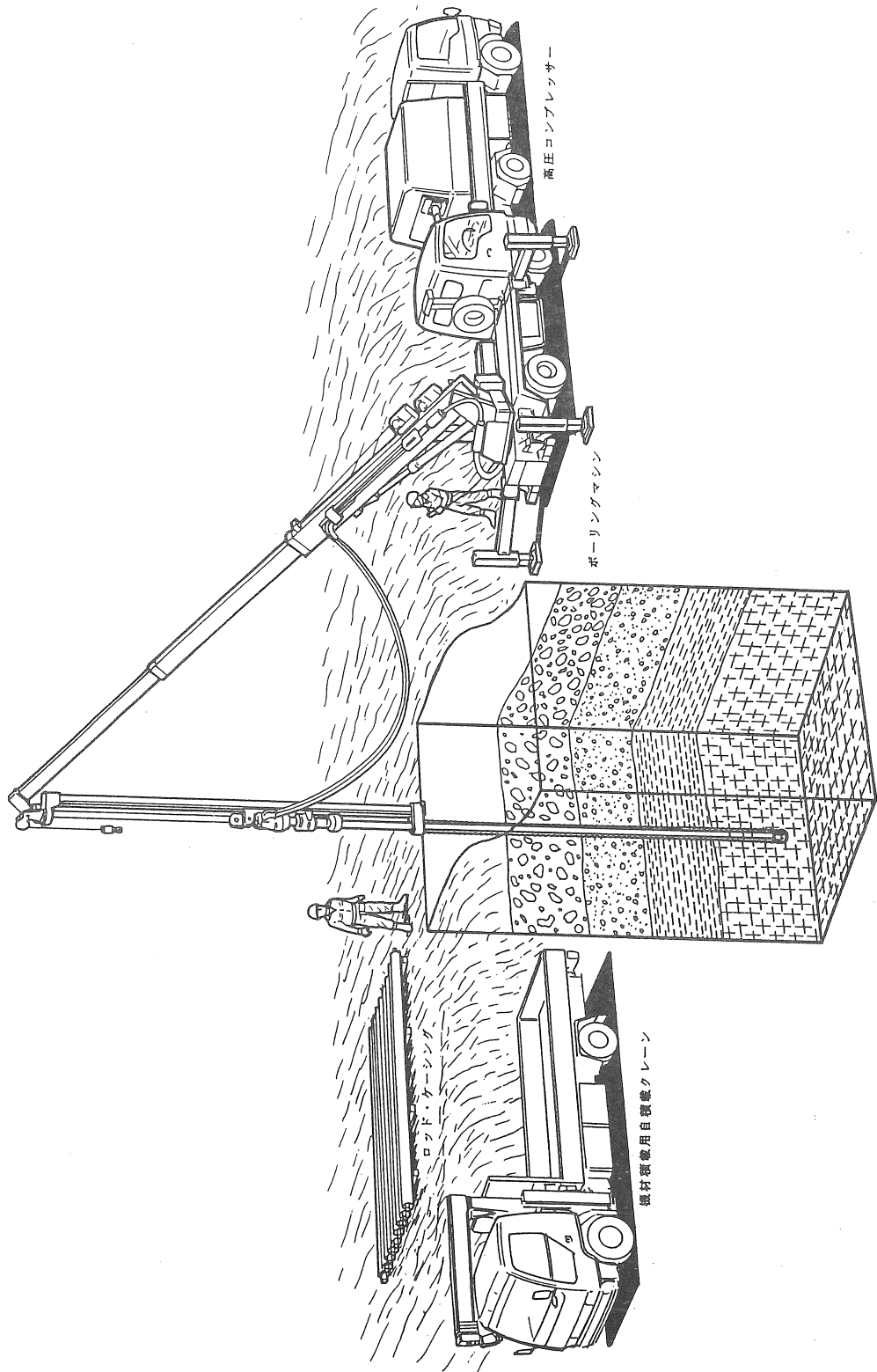


図 1-1 トラック架装式急造掘孔システム

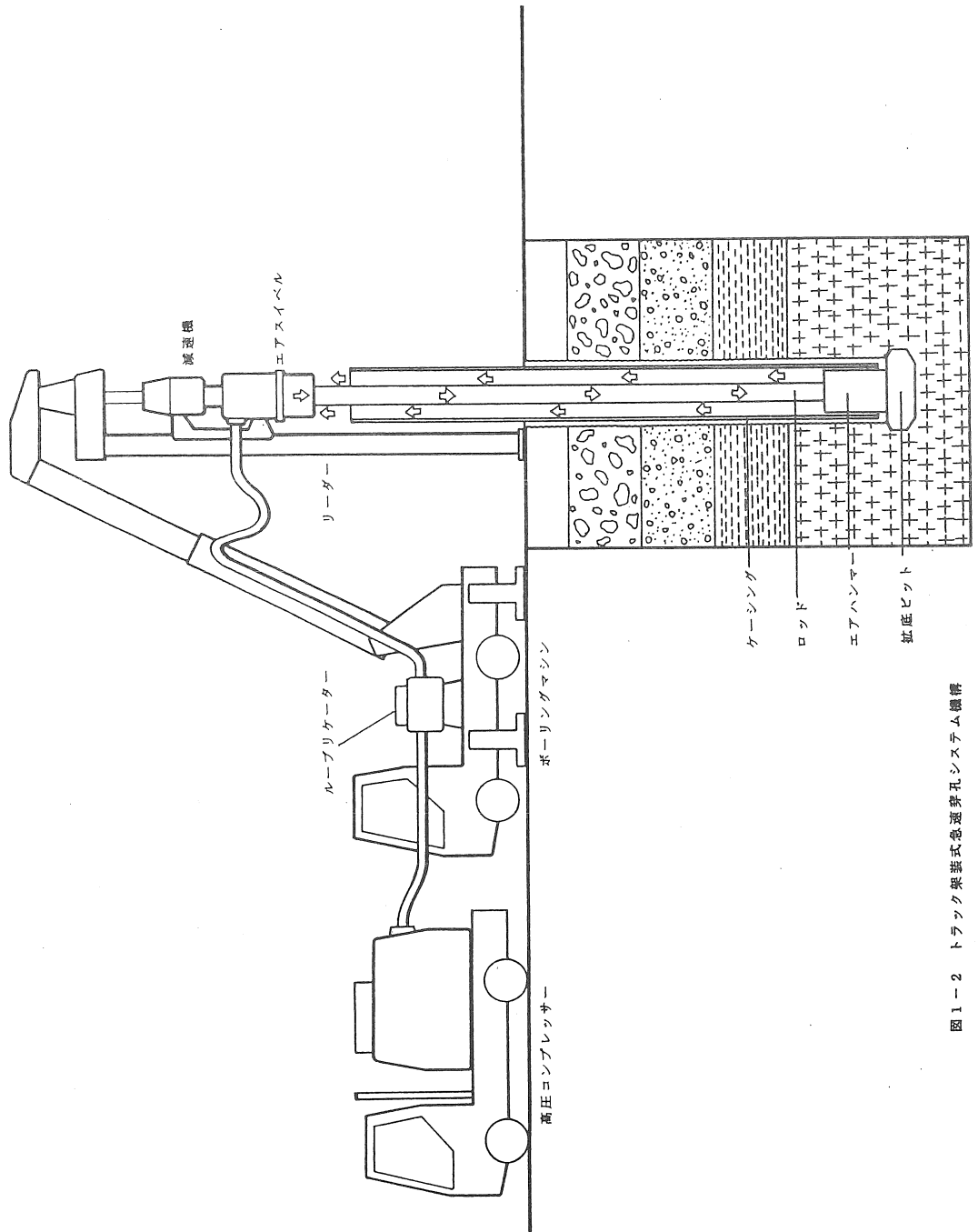


図 1-2 トラック架設式急速穿孔システム機構

ボーリングシステム工法比較表

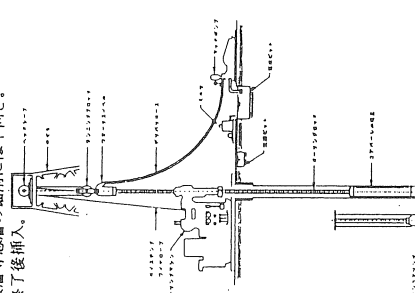
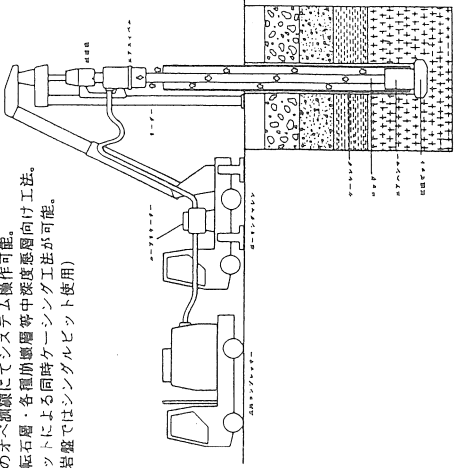
NO	比較項目	ロータリー式泥水工法	エアハンマー式中深部向け急速穿孔システム
1	システム構成と主な特徴	<p>1-1. 機材現場搬入後掘削開始までに、やぐらや泥水循環装置のセットが必要。 1-2. システム運転にはかなりの熟練期間と高度な技術力が必要。 1-3. 玉石・転石層や崩壊層等硬層の掘削には不向き。 1-4. ケーシングは掘削終了後挿入。</p> 	<p>1-1. 現場到着後約1時間以内に掘削作業開始可能。掘削終了後の撤去も簡単。 1-2. 短期間のオペレーションにてシステム操作可能。 1-3. 玉石・転石層、各種崩壊層等中深部硬層向け工法。 1-4. 底底ビットによる同時ケーシング工法が可能。 (安定岩盤ではシングルビット使用)</p> 
2	工程	<p>2-1. やぐら・泥水循環装置のセットに約1週間必要。 特に掘削条件の悪い現場（段上・段下・傾斜地・明越し）でのセットは大変。 撤去時も手間大。</p>	<p>2-1. 現場到着後約1時間以内に掘削開始可能（地盤養生等が不要の場合）。 掘削条件の悪い現場でも、3段伸縮ブームと回転式リーダーにより簡単にシステム設置可能。</p>
3	安全性	<p>3-1. オペレーターは常に操作盤のあるボーリングマシンの脇に居る必要があるため、システム全体を見渡しながらの作業は困難。 また、風雨の影響を受けやすい。</p>	<p>3-1. システムの操作はすべて有線リモコンにて行えるので、オペレーターは汚れることなく、最も作業しやすい位置（雨天時はトラックキャビンや仮設事務所等の中）からシステム全体を常に確認しながらの作業が可能。</p>
4	作業性	<p>4-1. 玉石・転石層の掘削や、泥水管理にはかなりの熟練が必要で、掘削スピードも遅い。 また、堅い岩盤層においては、掘削にかなりの時間が必要。 4-2. 機械のフィードバックが短いため、掘削オペレーター作業が頻繁になり、ポイントの升降に時間がかかる。 4-3. ケーシング挿入は掘削後に実施。</p>	<p>4-1. 初心者でも短期間の練習でシステム運転が可能。泥水管理は不要。 4-2. 玉石・転石層、崩壊層等の硬層でも、底底ビットを使用した同時ケーシング工法でスムーズかつパワフルな掘削が可能。 4-3. 底底（6m）のロッドが使用可能（ロングフィード対応）なので、掘削時の揺動・回収時の手間を大幅に削減可能。また、同時ケーシング工法時の溶接回数も削減。</p>
5	工期・経費	<p>5-1. 上記1～4の理由により、工期が長期化する場合が多く、100m掘削に約1.5ヶ月程度程度かかることもめずらしくない。従って、人件費等費用も高額となる。</p>	<p>5-1. 上記1～4の使用効果を含め総合的に深掘することにより、工期・経費を従来工法と比較し大幅に削減することが可能。 これまでの実績では、玉石・転石層を含む地盤を約100m掘削するのに必要な工期は、約1週間弱（システム搬入・撤去を含む）。</p>

表2-1 泥水工法と急速穿孔工法の比較

3. 掘削基本理論

本急速穿孔システムの心臓部ともいえる、掘削ツールの構成は次頁図3-1の通りとなっています。

エアハンマーは、高圧コンプレッサーから供給される圧縮空気により作動し、ビット先端の穴から排出されるエアによってスライムの排除を行います。また、スライムは次頁図3-2のように、ビットの溝とアニユラス部（ロッドとケーシングの間）を經由して孔外へ排出されます。

一般的に1気圧で掘削できる深さは10mといわれておりますが、これは掘削径・深度・湧水量によって異なりますので注意が必要です。これまでの経験値では1台の高圧コンプレッサー（最大圧力14kgf/m²、空気量20m³/分）で約100m掘削が可能です。これ以上の条件で掘削が必要な現場では、同等の高圧コンプレッサーを並列に複数台接続したり、超高圧コンプレッサー（最大圧力25kgf/m²程度）を使用することにより、より深く掘削できます。

スライムを孔内からスムーズに排出するためのアニユラス部の空気流速は、1,200～1,500m/分が必要とされ、アニユラス部空気流速は次式から求められます。

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

V = アニユラス部流速 (m/分) D = 孔 径 (mm)

Q = 送気量 (m³/分) d = ロッド径 (mm)

A = 断面積 (m²)

*最適な流速が得られるよう、ハンマ自体の空気消費量を考慮し、適切なロッド径を選定する必要があります。

エアハンマーによる掘削は、打撃力と回転力の両方により効率的に行われます。掘削時の回転数は次式により概略を求めることが可能です。

$$\text{回転数 (rpm)} = \frac{220 \sim 350}{\text{ビット径 (cm)}}$$

一般に回転数は軟岩では早くし、硬岩ほど遅くします。実掘削に当たっては、最も掘進率の良い回転数を経験値により見いだす必要があります。

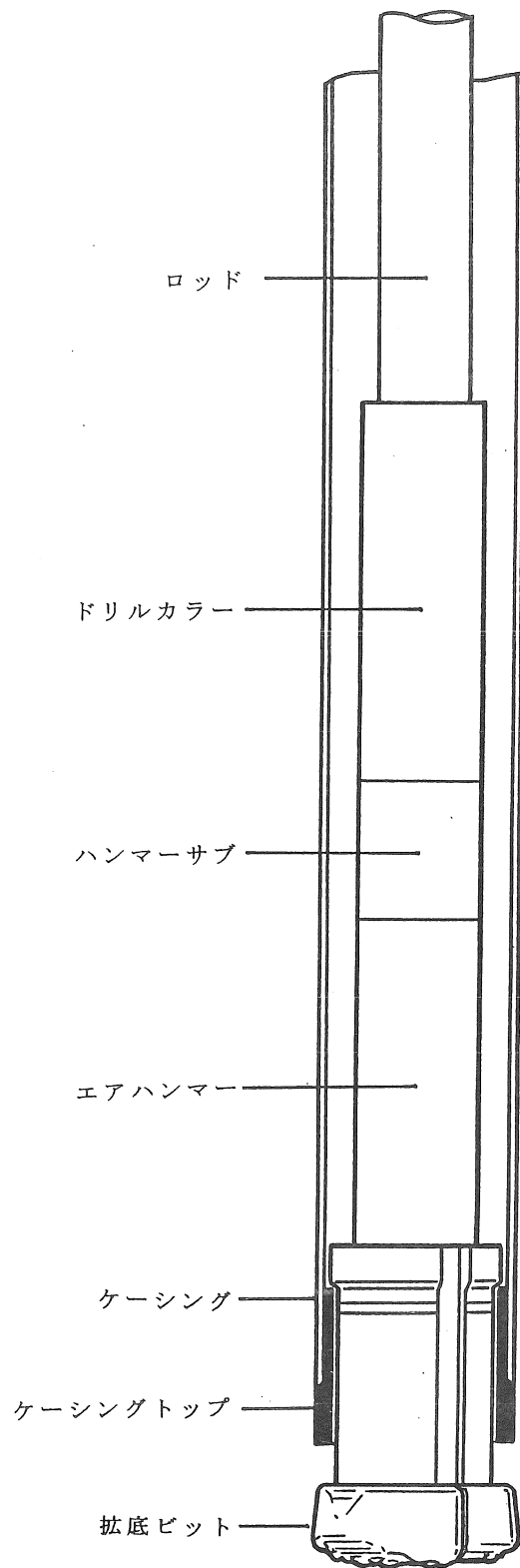


図 3 - 1 掘削ツール構成

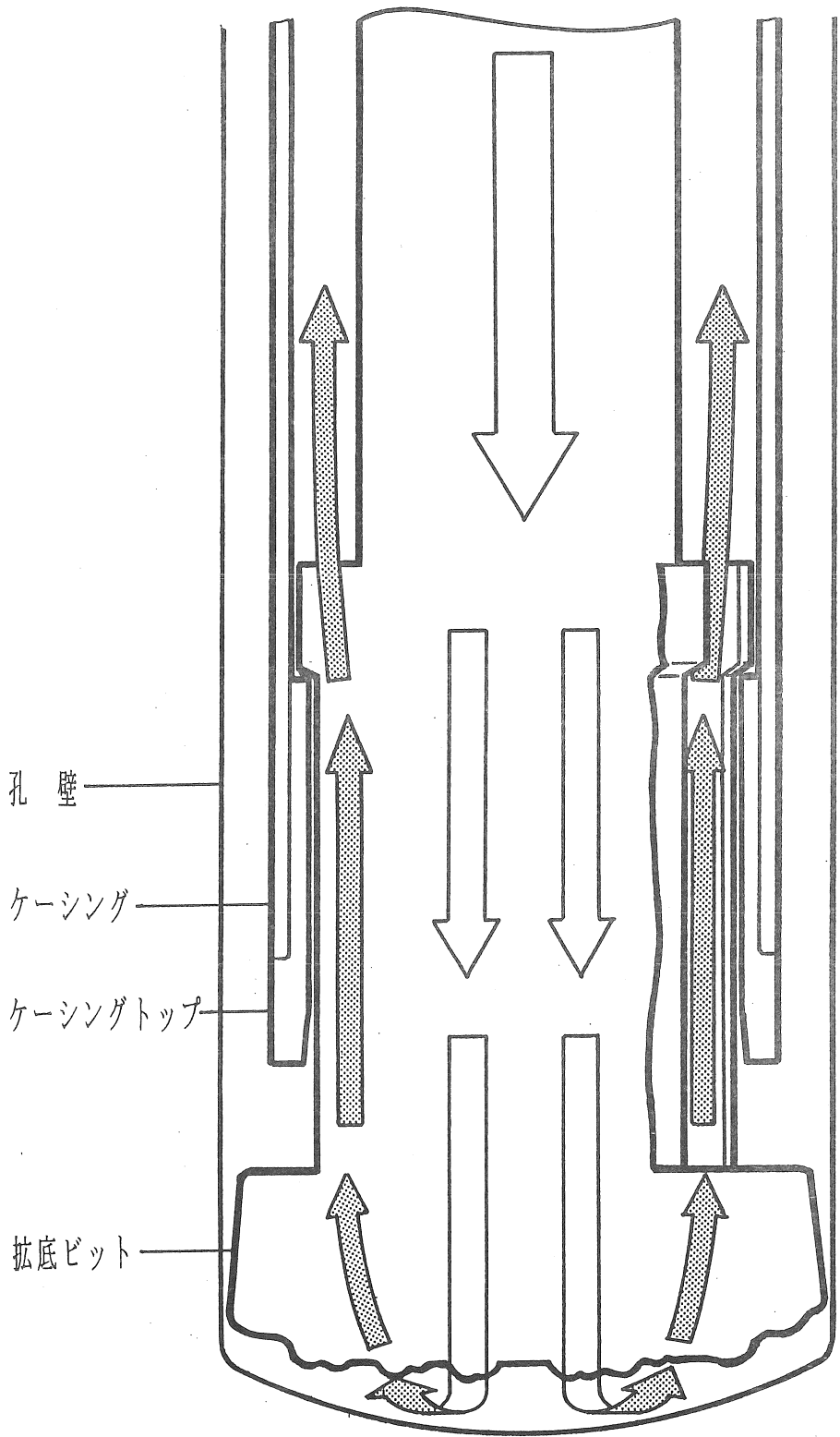


図 3 - 2 圧縮空気の流れ

先端のビットは拡底式で、掘削開始時に地上で回転操作を行うことにより、ケーシングとほぼ同じ径にすることができます。

エアハンマーにより与えられた打撃力は、ケーシング先端に溶接されたケーシングトップに伝達され、ケーシングは同時に埋設されていきます（下記図 3-3 参照）。

これにより「同時ケーシング工法」が実現するのです。

本工法でスピーディーかつスムーズに掘削を行うためには、打撃に伴う鋼管同時埋設という、振動に耐えうる特殊な溶接技術が必要となります。

本工法の最大の特徴は下記の通りです。

- ① 拡底ビットはケーシングとほぼ同径で掘削できるため、孔壁崩壊の心配がなく、周りの地層を乱すことはありません。
- ② ケーシングの内側を圧縮空気が流れるためシングルビットを使用したときに比較して掘削効率が高い。
- ③ シングルビット工法と比べ外壁層を乱さないため、玉石・転石層における悪層を掘削するには、現状では最適の工法です。

また、圧縮空気の圧力損失が比較的少ない安定岩盤層においては、シングルビットを使用することにより、パワフルかつスピーディーに岩盤層を掘削することが可能です。

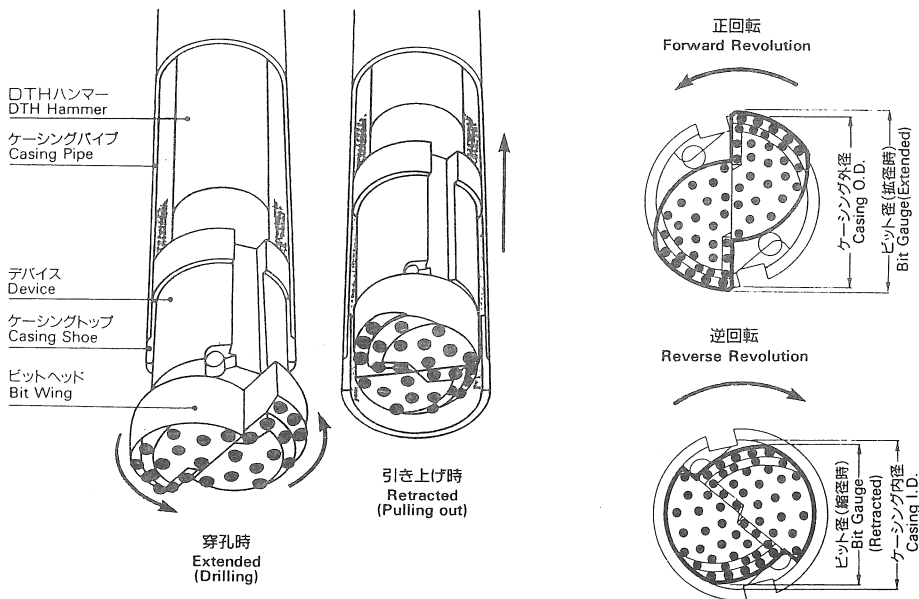


図 3-3 拡底ビットの機構（2枚刃タイプ）

4. 急速穿孔工法用途

この急速穿孔工法が行えるボーリングシステムは、現在、全国で約20台稼働しており、主に悪層・岩盤向け工法として、さく井業者様を中心に徐々に普及しつつあります。

また、その用途もさく井のみならず、

- ① 悪層地域における、温泉口元掘削（深度100m程度）
- ② 軟弱地帯の道路工事等における連続的な基礎杭打設
- ③ 岩盤地帯における建柱用孔掘削
- ④ 悪層におけるアース用孔掘削

等広がりつつあります。さらに、下記図4-1のようにハンマーをはずし、オーガーやミルクスイベルを取り付けることにより、都市部住宅地での地盤改良工事にも利用することができます。

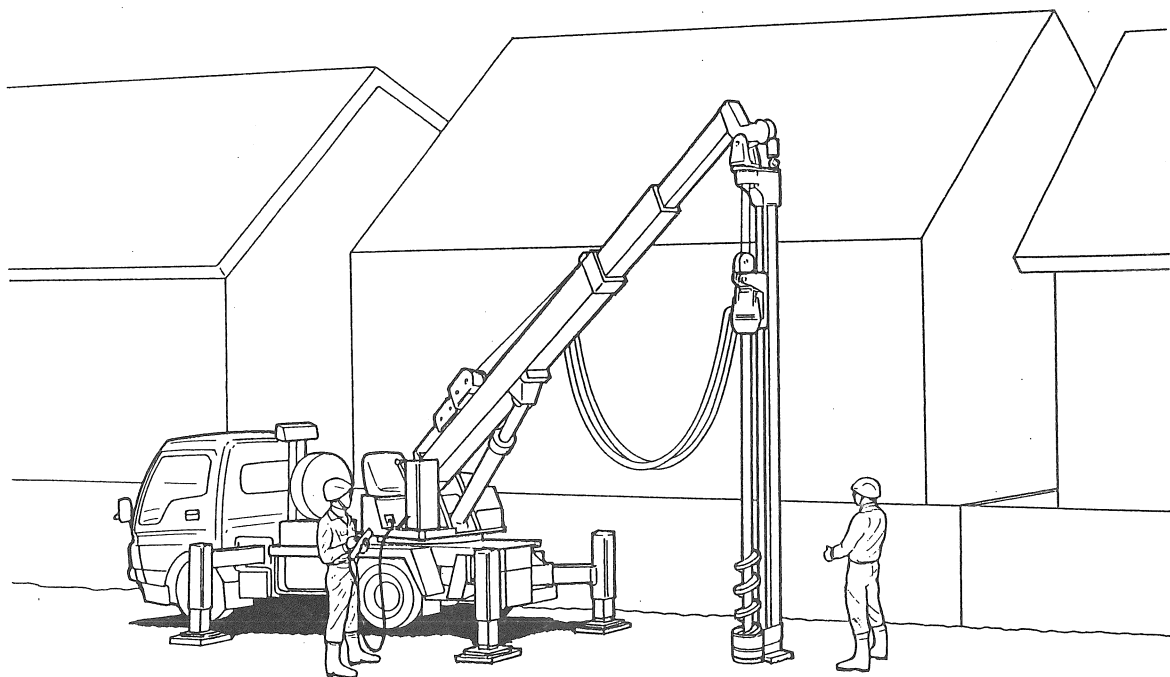
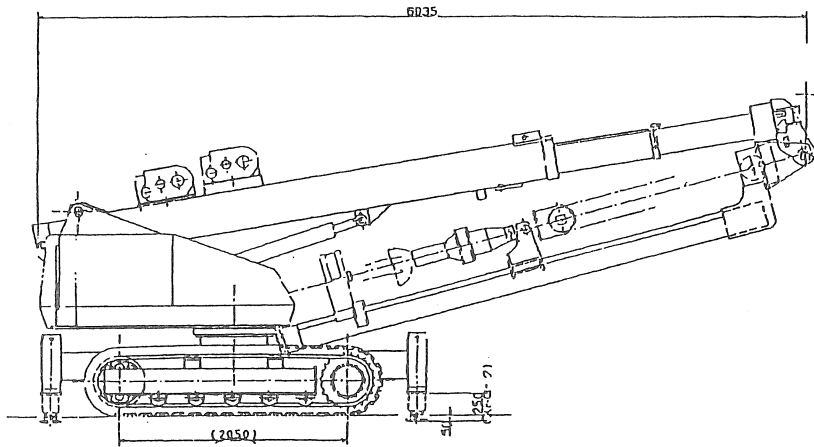
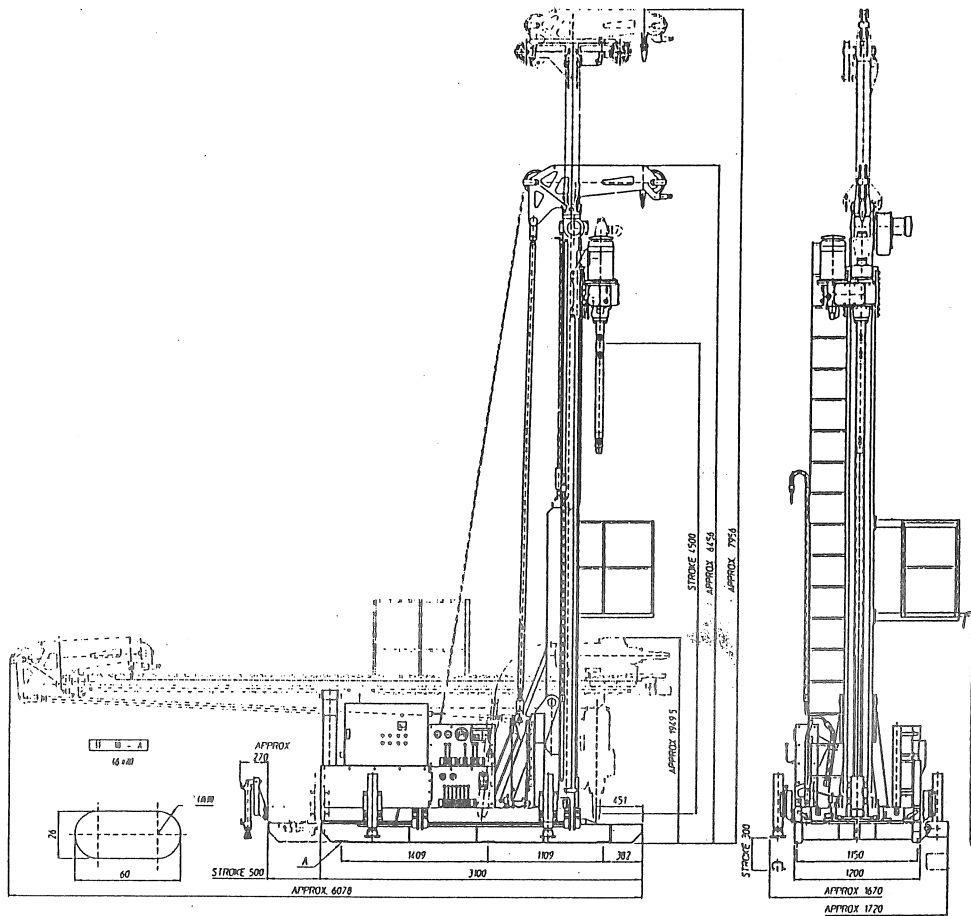


図4-1 住宅地地盤改良工事イメージ図

この急速穿孔システムを搭載できる下回りはトラック架装式の他下記2タイプがあり、現場状況に応じ、最適なタイプを選択していただけます。



クローラ架装タイプ



スキッド架装タイプ

ボアホールテレビを中心とする最近の孔内可視化技術

応用地質(株) 大橋 武一郎
田子 公一
佐野 康

1. まえがき

「百聞は一見に如かず」というように、「見る」ということは物事を把握する上で大変有効な手段である。地質調査も、最初は見るところから始まる。地質踏査では露頭が情報の宝庫であるようにボーリングコアが貴重な情報源であることは言うまでもない。しかし、ボーリングコアから多くの情報が得られるが、掘削による乱れやコアの流出、方位情報の欠落など、なかなか避けられないことも多いと言わざるを得ない。露頭を見ないでそこから採取してきた岩片だけを見ても、言えることには限界があるように、そこにあるがままの姿を見ることが重要と思われる。また、透水試験あるいは孔内載荷試験を行うときに、試験を行うところがどんな状況になっているのか知るためには、ボーリング孔の中を観察することが不可欠となる。ケーシングの腐食状況を見たい、など各種のメンテナンスでも孔内を見ることが役立っている。

「ボーリング孔内のあるがままの姿を見たい」— そんな要望に応えるために従来から様々な孔内可視化技術が考案され、実用化されてきた。科学技術の発展に伴い、装置も小型化され、洗練されたものになり、併せて、目的に応じて多様化してきている。ここで、孔内の可視化技術についてももう一度振り返ってみることは、今後の活用を考える上で意義と思われる。

2. 代表的な孔内可視化技術

孔内可視化技術には様々なものがあるが、代表的なものとしては、図-1に示すような3種類の方法が挙げられる。それぞれ光学的映像、超音波映像、電気的映像を得る方法である。

光学的映像を得るボアホールテレビあるいはボアホールカメラと呼ばれている方法は最も人間が目視した場合に近い映像が得られ、カラー映像では孔壁の色相なども判定できる優れた方法である。しかし、孔内水の透明度が悪いと明瞭な映像が得られないのが欠点である。ミラーを用いるものや円錐プリズムを用いるものなどいくつかのタイプがある(文献2-(2), (3))。

超音波映像を得るボアホールテレビュアは、孔壁に超音波を照射して反射波をとらえ、その振幅と反射時間(超音波の孔壁までの往復時間)を画像化する。振幅画像は孔壁の音響インピーダンスを反映し、反射時間画像は、孔径を反映した画像となる。閉じた亀裂など光学的映像では判別しにくい場合にも亀裂周辺の物性値変化などをとらえ、比較的明瞭な画像が得られることが多いようである。この技術は、かなり古くから利用され続けてきた(文献3-(1)~(7))。これまでは最小適用孔径は80mm程度であったが、最近、土木分野で最も一般的な $\phi 66\text{mm}$ 孔で利用できるものも開発されている(文献3-(8))。

孔壁の電気的特性を映像化する方法は、孔壁に点状の電極を接触させて電流を流し、比抵抗や電流強度を測定する方法である。石油探査などでは、Schlumberger社のFormation Micro Scanner(FMS)などが利用されている。φ66mm孔で利用できるものとしては最近開発されたエアースプローブがある。エアースプローブは、最初はフランスのBRGMで開発され(文献4-(1))、その後、構造を新たにした小型のものが開発された(文献4-(2), (3))。

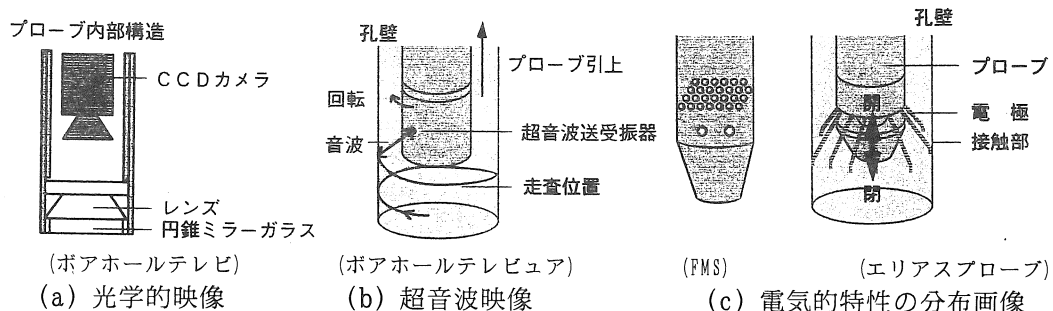


図-1 代表的な孔内可視化技術

3. ボアホールテレビ

3.1. 撮影方式による区分

ボアホールテレビは、様々な形態のものがあるが、大きく分けると、図-2に示すように円錐型のミラーを用いて側方の全周を一度にみるタイプと、そのまま下方を見るタイプ、ミラーやカメラを側方に向けてスポット的に見るタイプがある。側方を見るスポット画像タイプでは、ミラーまたはプローブ自体を回転させることにより全周を見るようにしている。このようにしながらプローブを移動させると孔壁を螺旋状に見ていくことになり、孔壁全体の画像が得られる。

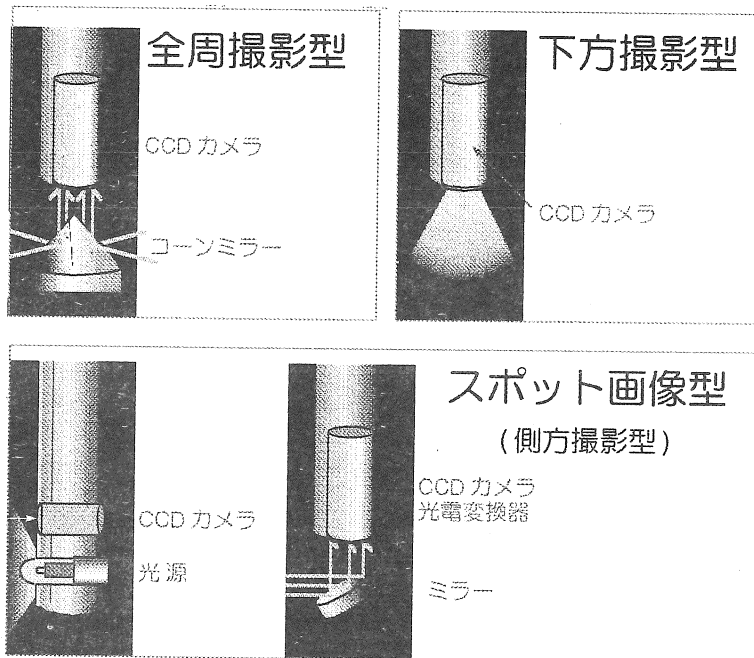
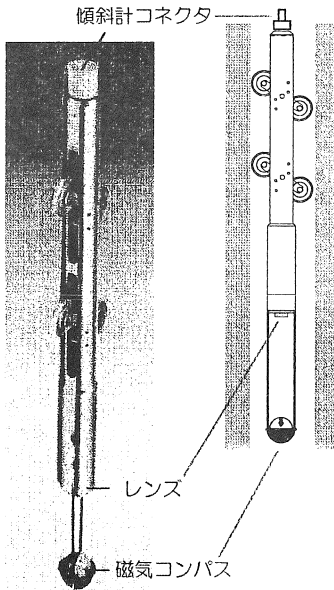


図-2 ボアホールテレビの撮影方式による区分

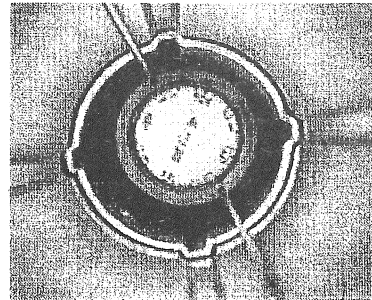
3.2. ボアホールテレビの種類

ボアホールテレビのプロープには様々なものがあり、目的に応じて光源やカメラの種類、利用するケーブルやどのようなウインチを用いるかなどが異なっている。従来は、伝送特性の関係で、同軸ケーブルを内蔵したアーマードケーブルなど特殊なケーブルが必要であったが、最近では、ケーブル長が300m程度までならば、多芯ケーブルや標準の検層用アーマードケーブルが利用できる装置も開発されている。

ボアホールテレビは、主として孔内の地質観察に用いられるが、図-3に示すように孔内傾斜計のケーシングパイプの点検に利用できる小型のシステムも開発されている。



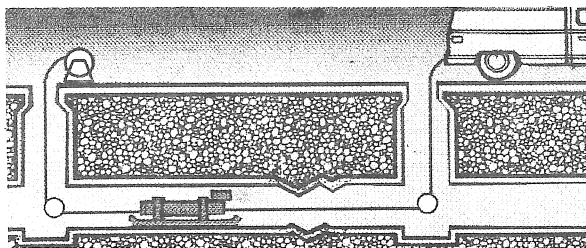
(a) 外観および構造



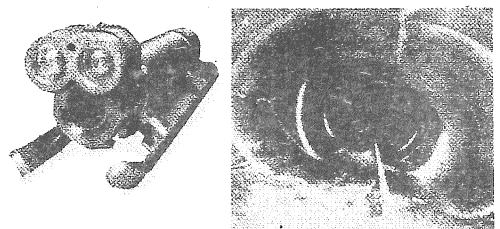
(b) ケーシングの継ぎ目で上下にすきまができていてる画像。すきまがあるために下段のケーシング端が見えている。

図-3 傾斜計ケーシングの内部点検用孔内テレビ(Qスコープ)

また、厳密にはボアホールテレビとは言えないかもしれないが、図-4に示すように下水道や水路などのメンテナンスなどに使われている特殊な用途向きのものもある。水平の孔で利用する場合、プローブをどの様に移動させるかということも課題になる。



(a) 測定状況の模式図



(b) カメラの一例と実施状況の例

図-4 下水道等のメンテナンス用孔内テレビ

3.3. 測定記録例

ボアホールテレビの記録例を図-5および図-7に示す。これらの図は孔壁を展開図の形にして示したものである。図-5の記録は、アーマードケーブルでデータ収録装置に伝送したデータを内蔵のプリンタで現場で出力したものである。コンピュータでカラー画像を出力すればさらに鮮明な画像となるが、この記録でも微細な亀裂が良く捉えられている。図-6は、この記録をコア写真と比較して示したものである。水平に近い亀裂部分ではコアと画像とで似たような印象が得られているが、鉛直に近い亀裂部分ではコアは分離しており、画像から得られるよりも悪いイメージとなっている。

図-7の記録は、コーンミラーを用いた全周撮影型のボアホールテレビを用いて収録した画像データを孔壁展開図としてコンピュータから出力した記録である。亀裂の形状などが詳細に把握できる鮮明な画像が得られている。

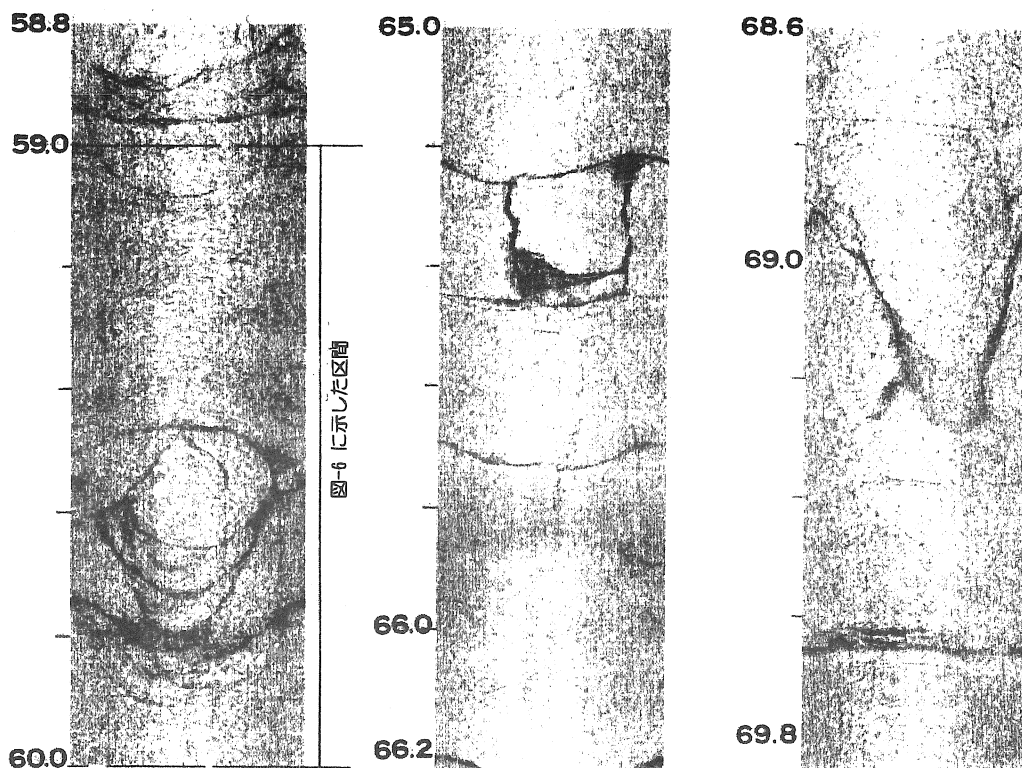
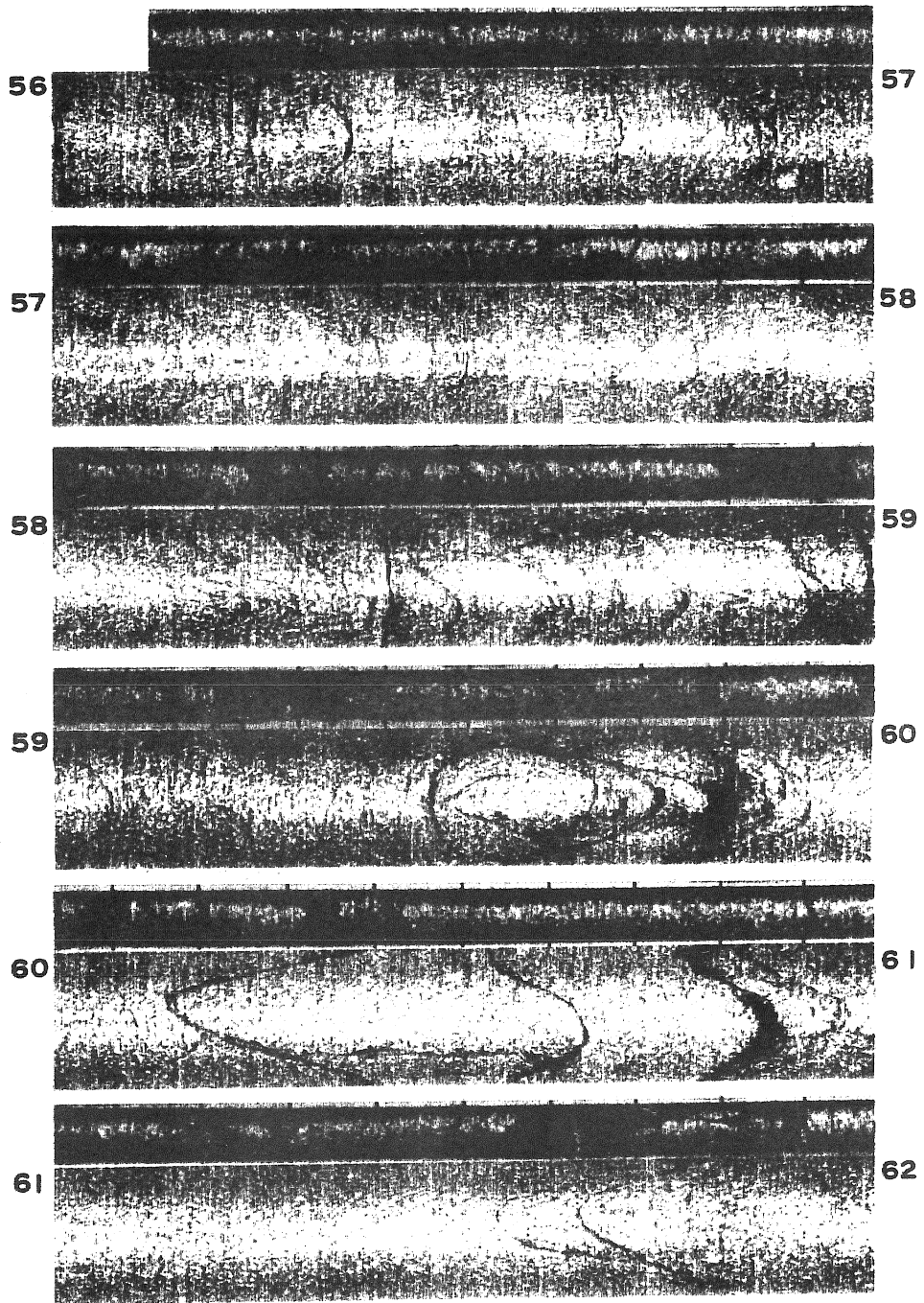


図-5 ボアホールテレビによる孔壁展開画像
データ収録装置の内蔵プリンタからの出力画像
地質：花崗岩



上段：コア写真
下段：孔壁展開図

図-6 ボアホールテレビによる孔壁展開画像とコア写真の比較

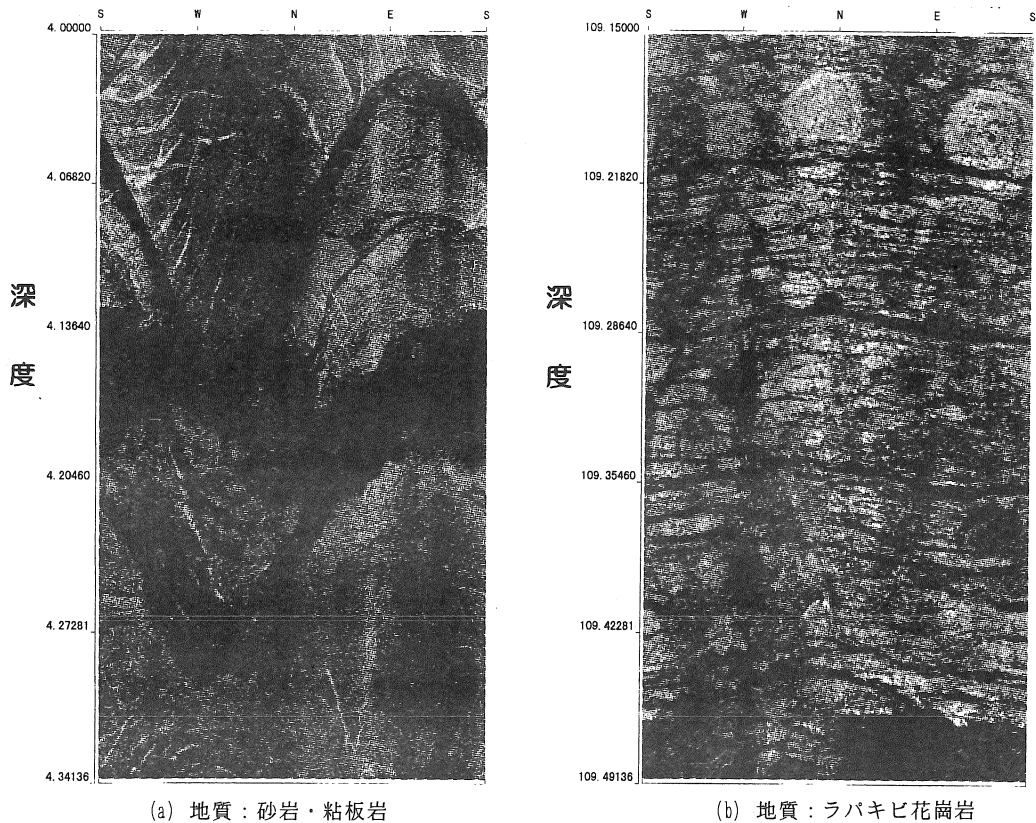


図-7 ボアホールテレビによる孔壁展開図
(BIPS研究会サンプル画像より引用)

4. その他の孔内可視化技術

4.1. ボアホールテレビア

ボアホールテレビアの測定原理を図-8に示す。図中には、小孔径用のテレビアについての主な仕様も示した。

超音波は、1回転のうちに128回、500kHzで送受信を繰り返す。したがって、約 2.8° だけ回転するごとに1回、送受信することになる。超音波ビームは、強度が -3dB となる等強度線で定義すると、理論的には約 11° の角度で広がり、孔径 $\phi 66\text{mm}$ の孔壁表面ではビームの直径は約 10mm となる。このビーム円は、7回の送受信の間は互いに部分的に重なっている。深度方向については、1回転に要する時間は 0.1 秒なので、この間にゾンデがどれだけ移動するかで決まる。例えば $3\text{m}/\text{min}$ でゾンデを移動させると、約 5mm 移動すると1回転して同じ方向に向けて送受信することになる。

ボアホールテレビアで得られた画像の例を図-9に示す。図-9(a)は、花崗岩について得られた記録例で、いくつもの不連続面が見られる。例えば、深度 60m から 60.7m 付近と深度 61.5m から 62.2m 付近には走行と傾斜が異なるいくつかの亀裂が集中しており、深度

60.3m 付近には鉛直に近い亀裂が見られる。また、深度 60m および 62.2m 付近では一方の亀裂が他方の亀裂できられ、そこでとまっている様子が観察できる。深度 63m 以深では水平に近い亀裂が多いことが判る。

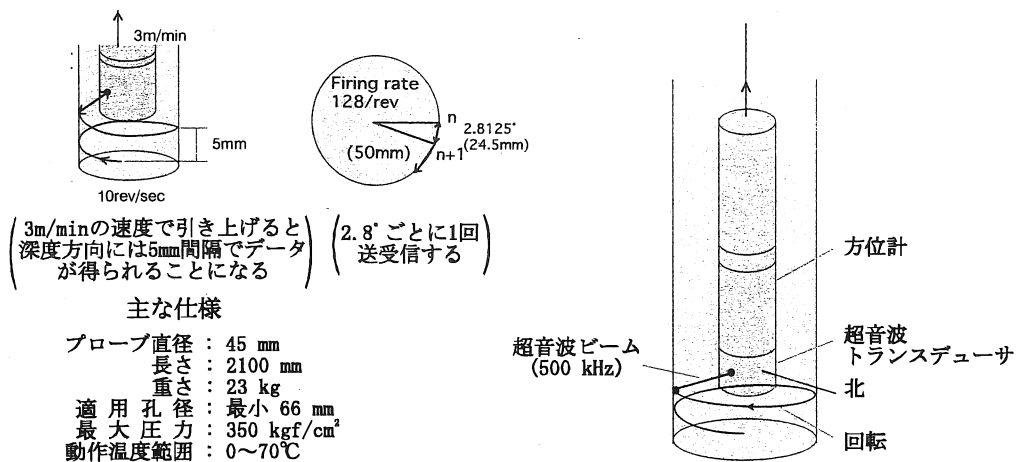
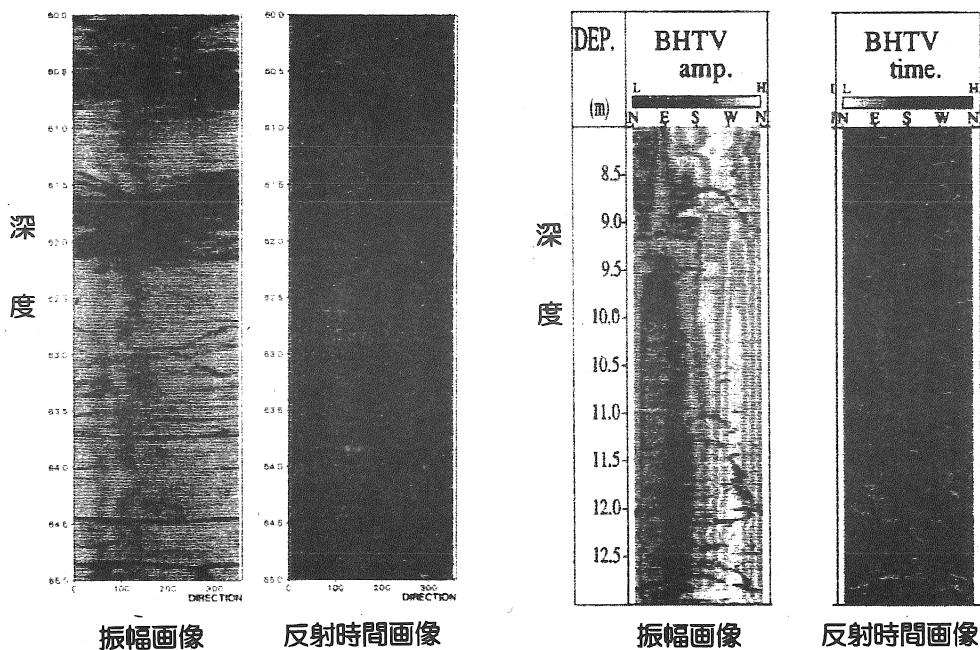


図-8 ポアホールテレビュアの動作原理と主な仕様

また、図-9(b) は、泥岩層で得られた記録である。このボーリング孔から得られたコアの観察では亀裂が閉じており、あまりはっきりしていなかったため、孔内での測定で検出できるか懸念されたが明瞭にとらえることができた。目視ではわからないものの、亀裂周辺で音響インピーダンスが変化しているため、検出されたのではないかと考えられる。



(a) 花崗岩で得られた展開画像

(b) 泥岩で得られた展開画像

図-9 ポアホールテレビュアによる孔壁展開画像の例

4.2. 孔壁の電気的特性を画像化するシステム

地盤の電気的特性を利用して画像化する技術には、石油井など比較的大孔径のボーリング孔で利用されているFormation Micro Scanner(FMS)と呼ばれる方法がある。これは、電流収束型の電極パッドを孔壁にあてて比抵抗分布を測る方法で精度良く測定できる。土木調査など小孔径のボーリング孔を対象とした電気的特性を画像化する技術にはエアラスプローブと称する方法がある。エアラスプローブの構成図を図-10 に、電極部分の外観を図-11 に示す。

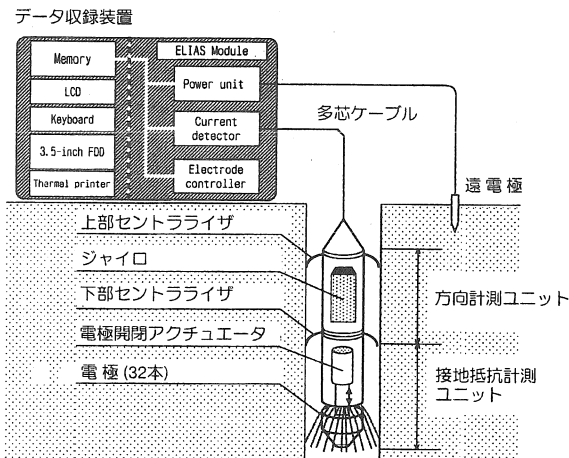


図-10 エアラスプローブの構成図

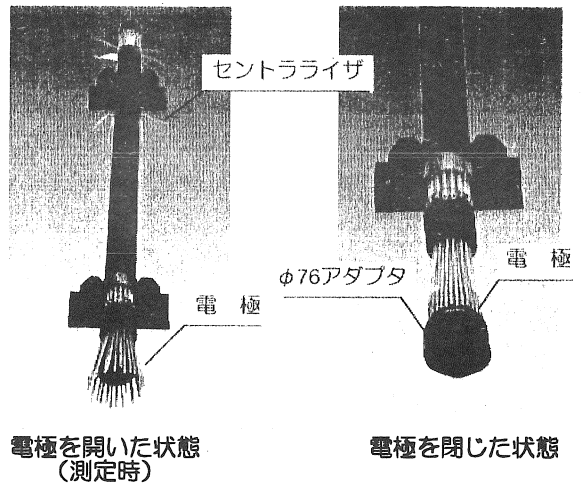


図-11 電極部分の外観

エアラスプローブのプローブには図-11 のようにフレキシブルな棒状体の先端に点状の電極が取り付けられている。この電極を孔壁に接触させながらプローブを移動させてデータを収録する。電極から孔壁に流れ出す電流の強度を測定して画像化する方法である。電極は32本あり、円周上に等間隔に並んでいる。方位は孔壁近傍に多くの電流を流すため磁気センサではなくジャイロを用いて計測する。

エアラスプローブにより、花崗岩で測定した記録例を図-12 に示す。図-12 に示した孔壁展開画像は、先にボアホールテレビュアで示した画像を得たのと同じボーリング孔で得られたものである。中央の図が同じ深度に対応している。分解能は、ボアホールテレビュアの方が良いが、同様な画像が得られている。電気的特性を画像化する方法の特長は、ボアホールテレビュアやボアホールテレビュアが孔内水が透明でないとき鮮明な画像が得られないのに対し、泥水中でも測定できることと、検層速度が他の2種類の手法に比べて通常の検層速度の5~6m/min程度まで早くできることである。

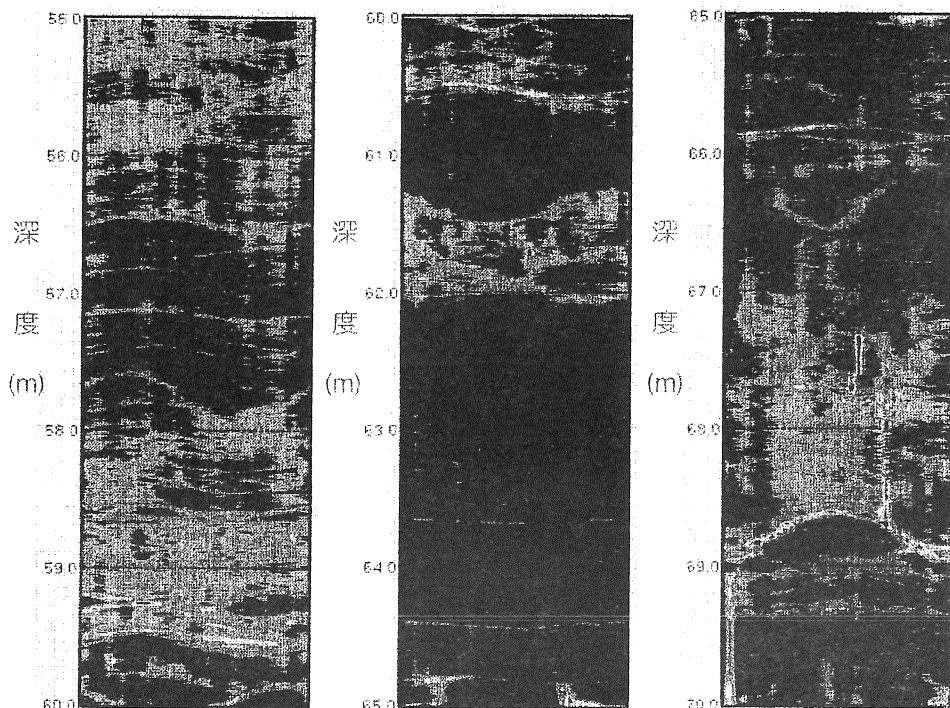


図-12 エリアスプローブによる展開画像例

5. 各種法の特徴

図-13 は、これまでに述べた 3手法を用いて同一の孔壁を観察した結果を比較したものである。図-13(a)は、比較的大きく開口した亀裂があり、その周辺に方解石脈が分布している孔壁の画像である。亀裂はどの方法でもはっきりと検出されているが、特に、ボアホールテレビでは色相が区別できるので亀裂と脈がはっきりと識別できている。

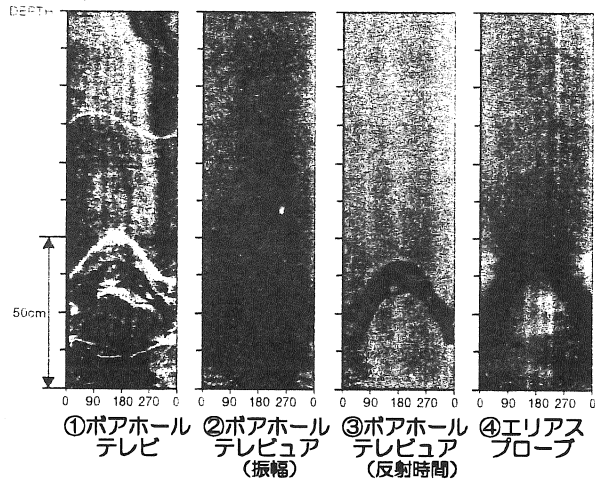
図-13(b)は、亀裂を伴わない方解石脈が分布する部分の記録である。テレビでは色相が判るので、岩脈であることが明瞭である。岩脈部分の堅さが周囲とあまり違うのか、テレビではあまり良く検出されなかった。しかし、電気的特性はわずかに異なるとみえ、エリアスプローブでは比較的是っきりと検出されている。しかし、この映像だけから亀裂なのか岩脈なのか判断するのは難しい。

図-13(c)に示すように、閉じた亀裂の場合、よくみるとどの方法でも検出されていることが判る。テレビでは、よほど良く見ないと識別が難しいようである。

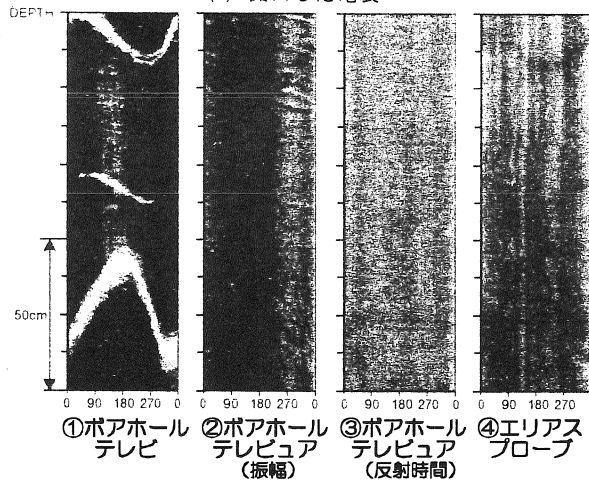
以上の比較結果やこれまでに測定を実施した結果から、それぞれの手法の特徴をまとめると以下ようになる。

1) ボアホールテレビ

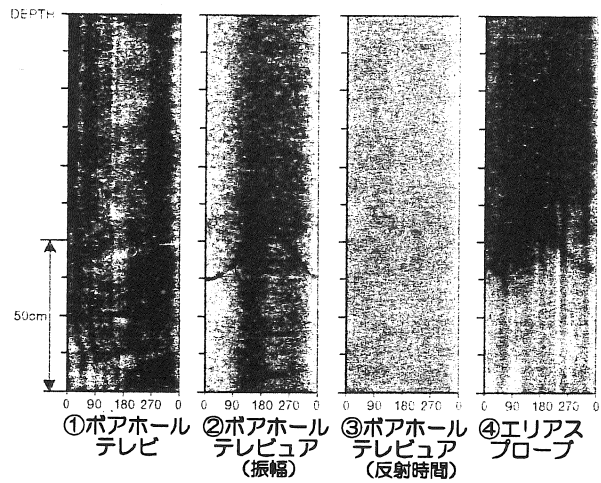
最も分解能が高く、色相も判断できるので、一般的な条件下では最も多くの情報が得られる手法といえる。しかし、孔内水は清水であることが条件で、多くの場合検層速度も1m/min以下に制限される。密着した亀裂は検出しにくい。



(a) 開口した亀裂



(b) 方解石脈



(c) 閉じた亀裂

図-13 各手法で得られた展開画像の比較

2) ボアホールテレビュア

音響インピーダンスの差が小さいものは認識しにくい、分解能も高く、バランスのとれた技術である。

3) エリアスプローブ

分解能は他よりも若干低いが、検出能力は他に劣らない。泥水中で利用できることと簡便に使えることが特徴である。

6. あとがき

代表的な孔内可視化技術について、現存するシステムなどについて調べた。その結果、現在は目的に応じて開発された多様なシステムがあるが、大きくは3種類の方法に分類され、それぞれ異なった特徴を有することが判った。今後も孔内可視化技術は益々重要になると考えられるが、より優れた技術として発展させていくためには、より良いシステムの開発とともに利用技術も向上させていくことが重要であろう。そのためにも、これらの技術が積極的に活用され、情報価値の高いデータが蓄積されることを望んでやまない。

参考文献

1. 孔内可視化技術一般

- 1) 桜井孝, 1994, 孔内探査法による地中の可視化:土と基礎, v.42, No.5, p.13-18
- 2) 佐野康, 大橋武一郎, 開発した孔内可視化装置の実測データに基づく評価:物理探査学会第91回学術講演会論文集, p.10-14

2. ボアホールテレビ関係

- 1) 秦野輝儀, 吉田裕, 松井利積, 1986, ボアホールテレビカメラシステムの開発とその適用例:電力土木, No.201, p.48-58
- 2) 田中和広, 宮川公雄, 1992, 地下深部調査におけるボアホールテレビジョン装置の活用:応用地質, v.32, No.6, p.289-303
- 3) 田中和弘, 1993, ボアホールテレビジョン(BTV)装置:地質と調査, 1993年第1号, p.37-45
- 4) 沢田隆, 井筒庸雄, 杉山了一, 坂田文男, 1993, 全周撮影型ボアホールテレビカメラによる地山観察:土と基礎, 41-9, p.37-40
- 5) 亀和田俊一, 岡野吾一, 1993, 坑壁展開画像記録装置(BIPシステム)とその応用:土木学会誌, 第78巻 2号, p.10-12
- 6) 亀和田俊一, 遠藤努, 西垣好彦, 杉江剛史, 1994, ボーリング孔壁画像処理手法とその解析について:応用地質, v.34, No.6, p.49-57
- 7) 西山孝, 楠田啓, 陳友晴, 寺田道直, 蛭子清二, 萩森健治, 1996, 蛍光法とボアホールテレビジョンシステムを用いた孔壁の割れ目の抽出:応用地質, v.36, No.6, p.46-51

3. ボアホールテレビュア関係

- 1) Zemanek, J., Cadwell, R.L., Glenn, Jr., E.E., Holcomb, S.V., Norton, L.J., and Straus, A.J.D., 1969, The borehole televiewer—A new logging concept for fracture location and other types of borehole inspection:J.Pet.Tech., v.21, p.762-774.
- 2) Zemanek, J., Glenn, E.E., Norton, L.J., and Cadwell, R.L., 1970, Formation evaluation by inspection with the borehole televiewer:GEOPHYSICS, v.35, No.2, p.254-269
- 3) Wiley, R., 1980, Borehole televiewer - Revisited:Transactions, SPWLA 21st Annual Logging Symposium
- 4) Broding, R.A., 1981, Volumetric Scan Well Logging:Transactions, SPWLA 22nd Annual Logging Symposium
- 5) Pasternack, E.S. and Goodwill, W. P., 1983, Application of digital borehole televiewer logging:Transactions, SPWLA 24th Annual Logging Symposium
- 6) Lau, J.S.O., Auger, L.F., and Bisson, J.G., 1987, Subsurface fracture surveys using a borehole television camera and acoustic televiewer: CAN.GEOTECH.J. v.24, p.499-508
- 7) 伊藤久夫, 菊池恒夫, 1988, デジタルボアホールテレビュアシステムの開発(1)—データ取得システム:物理探査学会第79回学術講演会論文集, p.163-165
- 8) Siddans, A.W.B., 三浦秀敏, 大橋武一郎, 1993, ボアホールテレビュアによる孔内可視化技術:物理探査学会第89回学術講演会論文集, p.188-192

4. エリアスプローブ関係

- 1) Straub, A., Kruckel, U., and Gros, Y., 1991, Borehole electrical imaging and structural analysis in a granitic environment:Geophys. J. Int., v.106, p.635-646
- 2) 佐野康, 大橋武一郎, 荘司泰敬, and Straub, A., 1993, 孔内イメージングツールの開発:物理探査学会第88回学術講演会論文集, p.109-113
- 3) Straub, A., Sano, K., Imamura, S., and Ohhashi, T., 1995, Development of Borehole Imaging System, the Elias Probe:Proc. of The First Annual Well Logging Symp. of Japan

第34回 試錐研究会講演資料集

平成8年2月26日印刷

平成8年3月1日発行

編 集 北海道立地下資源調査所

発行所 試錐研究会

〒060

札幌市北区北19条西12丁目

北海道立地下資源調査所内
