

第39回試錐研究会

講演資料集

期 間：平成13年 3月13日(火)

会 場：ホテルライフオーブ札幌 (2F ライフオーブ)
(札幌市中央区南10条西1丁目)

第39回 試錐研究会

プログラム

- 主催 北海道立地質研究所
- 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13年3月13日 (火)
10時 ~ 17時
- 場所 ホテルライフオート札幌 2F「ライフオート」
(札幌市中央区南10条西1丁目 Tel.011-521-5211)

あいさつ

北海道立地質研究所長 和 氣 徹

特別講演

“メタンハイドレート開発に向けての取り組み”

石油資源開発(株)

開発本部 開発三部 部長 大原 敏廣

昼 食 (12 : 00 ~ 13 : 00)

講演

(新技術の紹介)

1. 土壌汚染調査におけるパーカッション・ワイヤライン工法の経済的効果
鋳研工業(株) 遠藤 哲哉
2. スクリューデカンター ー理想の泥水管理を目指してー
石油鑿井機製作(株) 荒井 政修
3. 最近の掘削用泥水について
(株)テルナイト 小玉 和弘

(有珠山噴火による洞爺湖温泉への影響)

4. 洞爺湖温泉の泉源管理と噴火による影響
洞爺湖温泉利用協同組合 四宮 博
5. 噴火による洞爺湖温泉の坑井への影響
北海道立地質研究所 藤本 和徳

(地学講座)

6. 北海道における鉱山鉱害とその調査事例
北海道立地質研究所 遠藤 祐司

あいさつ

北海道地質調査業協会 理事長 麻場 邦彦

懇親会 (17:30~19:30)

会場 ホテルライフオーツ札幌

(2F ライフオーツ)

特 別 講 演

メタンハイドレート開発に向けての取り組み

石油資源開発（株）開発三部
大原 敏廣

1. はじめに

天然ガスは地球環境にやさしいクリーンエネルギーであり、その賦存が世界の広域にわたるとともに、石油と比較しても埋蔵量が極めて豊富であるため、近年ではエネルギー資源として主要な位置を占めるようになってきた。この数年、天然ガスの一種である固体の“天然メタンハイドレート”が将来のエネルギー源として、エネルギー業界のみならず、学会・マスコミ界でも注目されるようになってきている。エネルギー資源に乏しい我が国にとって、日本列島周辺海域にも多量に賦存する可能性を秘めているメタンハイドレートは、将来の天然ガス資源として魅力的であることは言うまでもない。しかし、今すぐにもメタンハイドレートを資源として利用できるような状況ではなく、資源としてのポテンシャルを確認するためには、多くの調査作業が必要であるとともに、開発に向けての問題点や技術的課題を解決する必要がある。

ハイドレート全般に関する文献や報告が近年数多く公表されているとともに、メタンハイドレートに関する国際的な会議やシンポジウムも相次いで開催されており、メタンハイドレートに対する世界の関心が高まりつつある。

このような背景の中で、石油審議会は、第 8 次の石油・可燃性天然ガス資源基礎調査に関する 5 カ年計画（1995 年から 1999 年）の答申に、日本近海域におけるメタンハイドレートの基礎調査を含むことによって、メタンハイドレートに対する取り組み姿勢を示した。1996 年度に基礎物探を、東海沖南海トラフとオホーツク海北見大和堆地域において実施し、その結果を検討して試錐地点を選定した上で、最終年度の 1999 年度に基礎試錐作業を実施する計画が策定された。これらの本格的な調査は、海洋のメタンハイドレートを開発するために、世界に先駆けて実施する調査の第一歩となるものである。

石油公団では、第 8 次基礎調査の計画に応じるように、国内の石油開発関連会社、ガス会社、電力会社など 10 社とともに、メタンハイドレート開発に必要とされる各技術分野の要素技術の開発を主目的として、共同研究「メタンハイドレート開発技術」を立ち上げた。共同研究 5 カ年計画の中間にあたる 1997 年度には、既にメタンハイドレートの賦存が確認されている北米永久凍土帯地域において、実証井を掘削する計画が盛り込まれていた。実証井掘削作業では、それまでの調査・研究の成果を活用・実証し、基礎試錐掘削に向けてさらに研究を発展させることを目的とした。共同研究の開始と同時に、石油公団内に、国内外関連情報の収集と各機関の動向の調査および基礎試錐の調査計画の検討を目的とする、外部専門家により構成されるメタンハイド

レート開発推進委員会が設置され、活動を開始した。

現在までに、共同研究、カナダ極北部マッケンジーデルタでの実証井掘削作業、基礎試錐「南海トラフ」掘削作業などの一連の調査・研究活動を通して、天然メタンハイドレートに関する多くの新しい知見が得られるとともに、世界に誇れる研究成果を挙げることができた。

2. メタンハイドレートとは？

天然のメタンハイドレートは、1967年にシベリアの永久凍土地帯にあるメソヤハガス田において初めて発見されたが、その後1970年代に入って相次いで、カナダ、アラスカなどの陸域のみならず、大陸周辺海域の海底下からもその存在が報告されるようになった。

ハイドレートは水分子の作る籠状の格子の中にガス分子が閉じ込められている氷に近い固体物質であり、このような立体網状結晶構造（包接格子）をクラスレート（clathrate compound；包接化合物）と総称する。包接格子を作る水分子と包接されるガス分子との間には著しい分子間力は作用せず、単に格子空間の大きさとその中に入るガス分子の大きさが適合するかどうか、クラスレート生成の必要条件となる。最小はアルゴン（Ar）から最大はブタン（ C_4H_{10} ）までのガスがハイドレート結晶を作り、包接されるガス種に応じてメタンハイドレート、炭酸ガスハイドレートなど、さらには総称してガスハイドレートと呼ばれている。ガスハイドレートは高压低温で安定であることが特徴である。（図1，図2）

ガスハイドレートの構造は、一般的には構造Ⅰ型と構造Ⅱ型の2種類であり、最近ではさらに、構造Ⅲ型（HSⅢ）の存在が報告されている。構造Ⅰ型メタンハイドレートでは、格子空間が完全に充填された場合のガス分子と水分子の比は8：46、水のモル分率である水和数は5.75であり、メタンハイドレート中に包接されるガスの体積は標準状態に換算すると164倍（標準容積倍率）となる。一方、構造Ⅱ型では、ガス・水比は8：136、水和数は17、包接ガスの標準容積倍率は60となり、構造Ⅰ型に比してメタンの含有割合がかなり小さくなる。（図3，図4）

自然の地下状態において、天然のメタンハイドレートが生成するためには、生成するための空間、生成に十分なメタンハイドレートと水、および温度／圧力が安定領域にあることが必要条件である。さらに、ガスハイドレートの生成には、①ゲストガス相の種類、②ガス組成、③水組成（塩分などの含有成分があるか）、などの要素に大きな影響を受ける。また、埋没作用とともに地層圧と地温も上昇するため、10℃を超える地下深部ではメタンハイドレートは生成しにくい。

世界各地から報告されている天然メタンハイドレートの産状には、①孔隙充填タイプ（pore-space）、②板状タイプ（platy）、③層状、塊状タイプ（layered/massive）、④分散状タイプ（disseminated）、⑤ノジュール状タイプ（nodule）、⑥脈状タイプ

(vein/dyke) の 6 タイプがある。これらのメタンハイドレートの産状は、生成される環境や地層中の地層水成分とガスの流動挙動（濃集）に規制されると考えられる。資源として最も有望な産状は①と③であり、今後はこれらを開発の対象として検討していくものと思われる。産状タイプ毎の分解挙動に関する実験的な考察はほとんどないが、①と③の産状はメタンハイドレートの連続性が良く、温度の上昇や圧力の低下などによってメタンハイドレート安定領域外にシフトすれば、ハイドレート分解はかなり継続的に進行する。一方、②、④、⑤、⑥の産状を呈するメタンハイドレートは連続性が悪いため、継続的には分解しにくいであろう。(図 5)

また、メタンハイドレートに包接される炭化水素ガスの起源には、地層の比較的浅部において還元バクテリアなどの微生物によって生成される生物分解起源と地層深部において埋没続成作用によって生成される熱分解起源とがある。

世界の海域においてメタンハイドレートの存在が確認されている地域は 50 数カ所あるが、それらの多くは震探記録の BSR (Bottom Simulating Reflector) によって推定されているものである。天然メタンハイドレート試料は、海域と陸域を含めても 10 数カ所から得られているに過ぎず、その産状や分布を解明するには不十分である。天然のメタンハイドレート試料の回収が困難な背景には、海底下の安定領域においてハイドレートの形成が少なかったか、コア回収率が極めて悪かったか、船上までコア試料を引き上げるまでの間に分解してしまったかなどの可能性がある。(図 6)

3. 共同研究「メタンハイドレート開発技術」

1995 年度から開始された 5 カ年計画の共同研究は、石油公団と民間 10 社から構成されており、1999 年度の基礎試錐「南海トラフ」に向けて、その実施時期までにメタンハイドレートを対象とした探鉱、掘削、生産技術などの要素技術に係る研究開発を実施することを目的としていた。また、2000 年度以後のメタンハイドレート資源の開発推進のために、同資源のポテンシャルおよび開発の可能性を検討することも目的としていた。その当時では、世界的にメタンハイドレート開発のための総合的な技術開発というものは積極的に行われていない状況にあった。

研究は、基礎物性の検討、地質地化学探鉱技術の開発、物理探査技術の開発、掘削技術の開発、生産技術の開発、開発可能性調査の 6 分野から成っており、各分野で課題となるテーマを設定して実施した。研究テーマの総数は 20 件になるが、以下に掘削技術の開発の中の 7 テーマについて、その概要を紹介する。(表 1)

- 坑内温度・圧力シミュレーション技術—本研究は、メタンハイドレート層の掘削・仕上げ作業の計画に必要な不可欠となる坑内温度・圧力シミュレーションプログラム（開発コードネーム：WhiteCoal_T）の開発を目的としたものであり、1997 年度までに坑内温度・圧力シミュレーションプログラムをほぼ完成させ、基礎試錐

「南海トラフ」掘削計画の事前検討および実作業中に活用することにより、作業の安全遂行に貢献した。

- キックコントロール技術－石油公団所有のキックコントロールシミュレーションプログラム“KJ2”開発で培った技術を基に、メタンハイドレートの分解生成および大水深環境という特殊性からくる要求を満たすシミュレーションプログラムを開発することが目的であり、1997年度までにプログラム（WhiteCoal_K）をほぼ完成させ、掘削計画の事前検討に活用するとともに、実作業中においてもキルシートの作成およびコントロール中の危険を確認するなど、安全にキックコントロール作業を進めるための指針確立のために役立った。
- ケーシングデザイン技術－メタンハイドレートの分解を促進せず、かつメタンハイドレートが再生成した場合でも十分な強度を有するようなケーシングをデザインする手法を研究することが目的であった。高圧条件下でのメタンハイドレートの生成平衡条件を実験で検証して実験式を確立した。この実験式に基づいてケーシングを選定して、通常のケーシングデザインを行い、十分な安全率を有するケーシングを選定する手法を確立した。
- セメンチング技術－一般的な油ガス井の場合に必要な要件に加えて、セメントの断熱性、セメントスラリーの低温環境下での良好な流動特性や物理的性状、低比重性等の特殊要件を満足するセメンチングシステムについて調査・検討し、メタンハイドレート坑井に最適なセメンチング技術を確立することが目的であった。調査および実験の結果、メタンハイドレート坑井のセメンチングには、在来型の石油・天然ガス坑井で既に実用化されている技術で対応可能であると見極めをつけることができた。
- 泥水技術：泥水システム－大水深下におけるメタンハイドレート層を安全かつ効率的に掘削する最適泥水の開発を行うとともに、泥水中でのメタンハイドレートの生成分解平衡特性、泥水の熱物性、および低温化での流動性などを明らかにすることを目的とした。メタンハイドレート坑井の掘削用の最適泥水として「メタンハイドレート生成分解抑制泥水システム」（KCl／ポリマー／PV Cap 泥水）を開発した。ほかに、永久凍土地域などでのメタンハイドレート掘削において、メタンハイドレート層を安定化する「分解抑制泥水システム」（KCl／ポリマー／レシチン泥水）を、また、大水深掘削においてメタンハイドレート生成を防止する「生成抑制泥水システム」（高塩分ポリマー泥水）を構築した。それぞれの泥水システムについて各種評価試験および現場実証試験を実施して、いずれも概ね良好な結果を得た。
- 泥水技術：泥水冷却技術－本研究は、日本近海海域の掘削という条件に適合し、海洋掘削リグ上で効率的に使用でき、メタンハイドレート掘削を安全に遂行することのできる泥水冷却装置を開発することが目的であった。調査、技術検討、実証実験に基づく実機を製作して基礎試験「南海トラフ」で使用するまでには至らなかったものの、本研究によって、将来本格的なメタンハイドレート開発の掘削

が行われる場合に、既存、新造を問わず、海洋掘削リグに泥水温度調節装置を設置するための資料を作成することができた。泥水冷却システムについては、先行調査を含めて5カ年の研究により、完成度の高いものとなった。

- コアサンプル採取技術—本研究の目的は、原位置状態のメタンハイドレートコアサンプルを確実に採取することができるコアサンプラーを開発することであった。メタンハイドレートが存在する地層の圧力と温度をそのまま保持できる新しいコアサンプラー PTCS (Pressure Temperature Core Sampler: 圧力・温度保持コアサンプラー) を開発したが、PTCS には既存のコアサンプラーにはない幾つかの特徴があり、中でも温度保持機能は革新的である。PTCS は5カ年の研究期間中に、4回のフィールドオペレーション (Mallik 2L-38、柏崎フィールドテスト、南海トラフの本坑井および No.2 追加調査井) に供され、その度毎に改善が施され、ほぼ満足のいく信頼性の高いものとなった。しかしながら、さらに完璧なものを目指すとするならば、PTCS の圧力保持機能、温度保持機能、コア回収率、作動の確実性の確保、コア抜き出しを含む作業方法などについてはまだ改善の余地がある。(図7)

4. 実証井 Mallik 2L-38 掘削作業

カナダ北西準州のマッケンジーデルタ地域において、メタンハイドレート実証井 JAPEX/JNOC/GSC Mallik 2L-38 が、1998年2月から3月にかけての厳冬期に掘削された。このプロジェクトは、石油公団/石油資源開発(株)とカナダ地質調査所/米国地質調査所とが共同で1997年から準備を進めてきたものである。永久凍土層下にメタンハイドレートが賦存することが既に知られているマッケンジーデルタ地域で掘削することによって、基礎試錐「南海トラフ」を安全かつ成功裏に掘削するための掘削技術の試行と実証を行うことを主目的としたものであり、PTCS コアバーレルや泥水冷却装置、メタンハイドレート掘削泥水などの機能や効果を確認して問題点を摘出したほか、回収された天然メタンハイドレート試料の保管と運搬方法などについても検証した。また、回収されたメタンハイドレートを含む堆積物試料によって地下状態での産状を把握するとともに、日・加・米の研究所や大学において諸分析を実施して天然メタンハイドレートの特性を調査した。(図8)

掘削作業に用いる重掘削リグなどの重機材は、1997年夏季にマッケンジー川を経て掘削位置付近までバージによって輸送した。1998年1月下旬に河川が凍結し、カナダ政府のアイスロードが開通した後、その他の資機材とともに掘削地点まで陸送した。

2月16日に掘削を開始し、深度103mで20"ケーシングをセットした後、永久凍土層を掘抜く687mまで掘進し、第1次物理検層を実施した。この間、深度105m~176mにおいて永久凍土のコアリングを試みたものの、地質が軟弱な未固結堆積物で

あったことからコア試料の回収率は悪かった。掘削後、深度 677 m に 13-3/8"ケーシングをセットした。

坑内をメタンハイドレート掘削泥水に入れ替えた後、メタンハイドレート含有層を掘削し、3月22日に深度 1,150 m で掘り止めた。この間、深度 886 m~952.6 m まで、PTCS とコンベンショナルコアバレルを用いてほぼ連続して計 13 回のコアリングを実施し、合計で約 36 m 長に及ぶ天然メタンハイドレートを含有する堆積物試料を採取することができた。また、坑内状況が極めて良かったため、第 2 次物理検層および VSP (Vertical Seismic Profile) では良質なデータを取得することができた。永久凍土層の掘削とコアリングに予想以上の日数を費やし、アイスロードの融水が迫っていたため、計画をしていた DST (Drill Stem Test) の実施は断念した。所要日数 39 日で、3月28日に廃坑作業を終了した。メタンハイドレート掘削泥水は、基礎試錐「南海トラフ」の掘削の際に、メタンハイドレート層の分解抑制と泥水中のガスハイドレート化を防止することを目的として、共同研究において研究開発されてきたものであり、KCL ポリマー泥水をベースとし、増粘剤としてのザンビス (Xanvis)、pH 調整のための苛性カリ (KOH)、およびメタンハイドレート分解抑制剤としてのレシチン (Lecithin) などを含有する。この掘削泥水を泥水冷却装置とともに用いた結果、永久凍土層掘削中の坑内状況は良好であり、また良質な天然メタンハイドレート試料と物理検層データを採取することができた。(表 2)

深度 886 m~952 m から採取された堆積物コア試料の中、主として細~粗粒砂に孔隙を埋める形でメタンハイドレートの含有が観察された。この産状は DSDP (Deep Sea Drilling Project) / ODP (Ocean Drilling Program) を含めてこれまでに報告されていないもので、1 mm 以下程度のメタンハイドレートが砂の粒子間孔隙をセメントし、細粒ながら連続性が非常に良いのが特徴であり、孔隙充填型ハイドレートと呼ばれた。

孔隙中のメタンハイドレート飽和率は極めて高く、肉眼による観察をはじめ、水中での発泡の程度、間隙水の塩分濃度異常、物理検層解析結果、X 線 CT スキャナーによる観察などから最大で 80%以上であると推定される。(図 9)

各研究機関に送付された試料について諸分析が実施され、メタンハイドレート、堆積物、流体(ガス、水)の特性に関して詳細に検討された。その結果、メタンハイドレートの地下における分布や産状がかなりの程度わかっただけではなく、得られたメタンハイドレートの特性が解明された。これらの成果は、カナダ地質調査所報告 (GSC Bulletin #544; Dallimore et al., 1999a) およびデータ集 CD-ROM (Dallimore et al., 1999b) として特集されている。

5. 基礎試錐「南海トラフ」掘削作業

基礎試錐「南海トラフ」の掘削作業が、静岡県天竜川河口沖約 50 km の海域において、1999 年 11 月から 2000 年 2 月にかけて実施された。「南海トラフ」は、それま

での基礎試錐では手掛けていなかった、水深 945 m の大水深域での掘削であること、および、在来型の炭化水素資源ポテンシャルの評価とともに、BSR の分布域におけるメタンハイドレートの資源ポテンシャルの評価を試錐目的としている点に特徴がある。(図 10)

第 8 次 5 年計画の中では、1998 年度の「三陸沖」と 1999 年度の「南海トラフ」が、日本では初めての水深 500 m を大きく超える大水深掘削となることから、大水深掘削技術に関する調査・検討が、石油公団地質調査部と試錐作業の受託実施者である石油資源開発(株)開発一部との間で、計画策定の段階から精力的に行われた。一方、メタンハイドレートに関しては、世界的にもメタンハイドレート開発のための技術開発が積極的に行われていない状況であったので、石油公団と民間 10 社との共同研究となる「メタンハイドレート開発技術」を、1995 年度より 5 年計画で立ち上げた。「南海トラフ」の試錐計画立案および試錐作業にその結果が反映されるとともに、各分野とも現在までに世界をリードするほどの大きな研究成果を挙げている。

基礎試錐「南海トラフ」は、作業の後半になって、当初計画の掘止め深度 2800 m を 3300 m に延長、変更して掘削され、2000 年 1 月 10 日に掘止め深度に到達している。本坑井の掘削開始前には、パイロットホールが 2 坑(それぞれ、深度 1600 m、1486 m)掘削された。No.2 パイロットホールでは、LWD(Logging While Drilling)データが取得されて、本坑井でのコアリング作業に向けて、メタンハイドレート層の特定および岩相判断の観点から多に役立った。本坑井においては、1110 m より 1272 m までの間で連続的に 34 回のコアリング作業が実施されて、多くのメタンハイドレートサンプルが採取された。しかしながら、軟弱層の崩壊による坑内状況悪化のため、深度 1600 m までの当該区間では、十分な物理検層データが得られなかった。(表 3)

本坑井の掘削作業後、メタンハイドレート調査に関連する各種データの補完を目的とした、追加調査井が 3 坑(それぞれ、深度 1300 m、1223 m、1300 m)掘削された。No.1 と No.3 追加調査井では、質の高い物理検層データが取得された。No.2 追加調査井では、1149 m より 1223 m 間の 4 カ所でメタンハイドレートサンプル採取のコアリングが実施された。(図 11)

(1) No.1 パイロットホール

No.1 パイロットホールは本坑井より西南西に 30 m 離れた位置に、本坑井での 13-3/8"サーフェスケーシングの予定セット深度である 1600 m まで掘削された。このパイロットホールの目的は、予定ロケーションで本坑井を安全に掘削することが可能かどうかを見極めることである。パイロットホールの掘削中と掘削後に海底面に相当量のガス噴出を見た場合には、このロケーションでの掘削を断念して、別のロケーションに移動することが予め計画されていた。8-1/2"坑掘削中、ROV(Remotely Operated Vehicle)により、パイロットホールからのガス泡の有無、および海底坑口面状態をモニタリングしたが、ガス泡はカメラによる目視でも確認できず、また、海底坑口面では何らの異常も認められなかった。同ロケーションにおいて本坑井浅部を安全に掘

削できることが確認された。

(2) No.2 パイロットホール

No.2 パイロットホールは、本坑井より東北東に 30 m 離れた位置に、深度 1486 m まで掘削された。LWD データを取得することにより、本坑井においてコアリングを行うメタンハイドレート層の深度を予め把握することが主目的である。LWD 編成での掘進は、良質のデータが得られるように、掘進率を 30 m/Hr に安定的にコントロールされて行われた。LWD 編成での掘進中に 1486 m で抑留状態となり、その後まもなく離脱できたものの、再度抑留される危険があることと、深度 1300 m 以浅の調査に必要とされる区間のデータが取得できていることから、1486 m 以深の LWD データ取得の掘削を断念した。取得されたデータは、RAB、CDR、MWD、CDN で、Resistivity の異常値よりメタンハイドレートの存在が推定できた。Caliper Log のデータからは、掘進時に既に崩壊が起きていることが読み取れ、崩壊箇所が主として砂層に対応しているものと判断された。一方、Resistivity の異常値の箇所では坑径がほぼゲージ径で安定していると判断された。LWD データに基づき、本坑井での連続コアリング区間は、当初計画と同じ深度の 1110 m～1270 m（海底面下 165 m～325 m）間で問題ないことを確認し、共同研究で新規開発した、圧力・温度保持型コアリングシステム“PTCS”への切り替え深度を、1175 m（海底面下 230 m）と決定した。

(3) 本坑井（基礎試錐「南海トラフ」本坑井）

本坑井においては、36"坑を 998 m まで掘削して、30"ケーシングを 996 m にセットした後、10-5/8"坑をコアリングの開始深度 1110 m まで掘削した。コアリングは、予定区間の一部を除いて連続的に 1110 m から 1272 m までの間で実施された。

1110 m～1146 m 間と 1151 m～1175 m 間のコアリングでは、Security DBS 社コンベンショナルタイプ（ポジクローズキャッチャーを使用）のコアシステムを使用した。1119 m 以深のコアを地上で回収する時に、ガスの発泡現象が観察された。この区間でのコアリング回数は 5 回で、コア採取率は 59%であった。非常に軟弱な浅部においても、ロータリー式コアリングでのコア採取が、高い採取率で可能であることが証明された。

1175 m～1254 m 間のコアリングは、メタンハイドレートのコア採取を目的として、圧力・温度保持型の PTCS を使用して実施された。採取されたコアからは、メタンハイドレートの存在を示すと判断できる、ガスの発泡現象、砂層コアの形状変化、コアサンプルの低温度異常、コアサンプルの地層水塩分濃度異常などが観察、測定された。メタンハイドレートを含む砂のコアサンプルは、PTCS の圧力開放後、地上でのハンドリング中にハイドレートの分解が進むと、水分の多いグジュグジュの砂となった。何点かのコアサンプルが圧力容器に保管されて、後日の各分析に供された。しかしながら、目視にて確認できるような大きなメタンハイドレートの結晶は見られなかった。この区間でのコアリング回数は 27 回であり、区間全体の平均コア採取率は 37%であ

るが、1216 m 以深では、ほとんど砂が採取されておらず、1216 m～1254 m 間のコア採取率は 22%で極端に低い。これは砂層にメタンハイドレートがほとんど含まれていないために、砂層がコアとして採取しにくい状態にあると判断された。一方、1175 m～1216 m 間で採取されたコアには、メタンハイドレートを含む砂が多く含まれており、この区間のコア採取率は 51%と高い。PTCS の圧力・温度保持機能の実績については、メタンハイドレート用として新規開発された、世界初のものであるという点、および、まだフィールドテストの段階にあるという点から考えれば、充分満足のいくものであると言える。

1254 m～1272 m 間は、再度 Security DBS 社のコアシステムを使用して実施したが、結果は 1216 m 以深の PTCS の結果とほぼ同じで、砂層と判断される箇所のコアは採取できなかった。この区間でのコアリング回数は 2 回で、コア採取率は 31%であった。(図 12)

10-5/8"坑を 1623 m まで掘削した後、第 1 次物理検層を実施したが、坑内状況が悪化しており、検層ツールスが降下できずに、有効なデータ取得がほとんどできなかった。17-1/2"坑に拡張後に再度物理検層を実施したが、坑内状況は依然として悪く、取得できたデータは、HALS-DSI-GR-EMS の 1007 m～1264 m 間だけであった。坑径の拡大している部分が多くて、決して質の高いデータとはいえない。裸坑で予定していた他の検層種目の実施を断念せざるを得なかった。13-3/8"ケーシングを 1613 m にセットした後に、CSI (VSP) を実施して 1000 m～1555 m 間のデータが得られたが、セメントに関するトラブルと坑径拡大とで、これも質の高いデータとは言えない。

(4) No.1 追加調査井

本坑井での廃坑作業を終了後、No.1 追加調査井が、本坑井より東北東に 10 m 離れた位置に、調査対象深度である 1300 m まで掘削された。6-5/8"DP をガイドストリングとして使用して、物理検層と速度検層を優先順位の高い順に実施した。実施した種目は、DSI-GR-EMS、HALS-GR、CSI (VSP)、FMI-GR、CMR-GR である。得られたデータから次のことが言える。(図 13)

- 全体的に質の高い、メタンハイドレート解釈に有効なデータが得られた。
- 掘削直後であっても、軟弱層の崩壊による坑径拡大部分が多く見られる。
- 坑径拡大箇所が多く見られる中で、Resistivity の異常値の箇所（メタンハイドレート層）は小さなピークを含め、坑径拡大が見られない。
- 本坑井で採取されたコアサンプルとの対比が可能である。コア深度と検層深度とは約 2 m ほどの相違がある。
- No.2 パイロットホールでの LWD データと比較して、メタンハイドレート層の横方向の変化が確認できる。
- Caliper Log データより、岩相、崩壊などの坑内現象、コア採取率の相違などが判断できる。

作業前に心配されていたリエントリーに関しては、ROV の使用により問題なく実

施された。

(5) No.2 追加調査井

No.2 追加調査井は、本坑井より東北東に 20 m 離れた位置に、メタンハイドレート安定領域下限付近と思われる 1223 m まで掘削された。1149 m から 1223 m までの間で PTCS を使用して、1149 m～1158 m、1178 m～1187 m、1199 m～1214 m、1220 m～1223 m の 4 カ所で 12 回のコアリングを実施した。平均コア採取率は 47%であった。

- 目視で確認できるメタンハイドレートコアサンプルが採取できた。
- 1152 m 付近と 1213 m 付近の薄い砂層（それぞれ 65 cm、15 cm）に、メタンハイドレートを確認できた。
- 採取したコアの泥質岩部分に基づいて、検層データとの対比が可能である。コア深度と検層深度とは約 2m ほどの相違がある。
- メタンハイドレートを多く含んでいると考えられる 1199 m～1214 m 間でのコア採取率は 64%と高い。これは、砂層の間隙を埋めてメタンハイドレートが存在するので固結度が強くなっているためと考えられる。

PTCS の圧力・温度保持機能の実績については本坑井での使用時と似たような結果であるが、コア採取率の高い時に圧力保持ができていない顕著な傾向が見られる。

(6) No.3 追加調査井

No.3 追加調査井の位置を選定するに際して、BSR の解明、フリーガスの有無の判定、およびメタンハイドレートの変化の把握の観点から、事前の会議で充分議論され、最終的に本坑井より北北東に 100 m 離れた位置が選ばれた。1300 m まで掘削され、物理検層と速度検層が、No.1 追加調査井での種目に MDT-GR を加えて実施された。

本調査井では掘削トラブルが発生した。1300 m まで掘削した後、検層作業前の坑内クリーニングの目的で、ガイドストリングとなる 6-5/8"DP を降下してリエントリーしたところ、海底面下 20 m ほどのところにつかえてしまったが、それを気付かずに降管作業を続けたために 24 本の 6-5/8"DP を曲げてしまった。これはドリルストリングが坑井に対して真直ぐに入って行かずに、坑壁に突き刺さるようになったためと推察される。ガイドのない裸坑へのリエントリーに際しては、ROV による注意深い作業監視が必要であるとともに、吊り荷重の変化の早期把握と判断が重要である。得られた検層データから次のことが言える。

- No.1 追加調査井同様、全体的に質の高い有効なデータが得られた。
- No.1 追加調査井と比較して、メタンハイドレート層の変化が確認できる。メタンハイドレート層の下端の深度は、両調査井で同深度である。上部のメタンハイドレート層は非常に薄い層となっており、下部の層は 10 m ほど厚くなっている。
- 坑径拡大箇所が多く見られる中で、メタンハイドレート層の坑径はほぼゲージ径で、非常に安定していると判断される。

世界で初めてと言っても過言ではない、大水深海域に賦存するメタンハイドレートに関する本格的な調査が、基礎試錐「南海トラフ」の試錐作業の中で実施された。本坑井と No.2 追加調査井において、数多くのメタンハイドレートコアサンプルが採取され、貴重な試料として各測定・分析に供された。No.2 パイロットホールでは LWD データが取得され、No.1 および No.3 追加調査井においては、掘削直後の物理検層と速度検層データが取得された。採取されたコアサンプルとの対比により、検層データを用いてのメタンハイドレート層の特定が可能であるとの確信を得るとともに、狭い範囲ではあるものの、本ロケーション周辺のメタンハイドレート層の変化状態が把握できた。地質モデルの構築、メタンハイドレート層生成過程および賦存状態の考察、BSR の解明を含む震探データの解釈などに、大きく寄与するデータが得られたことは大きな成果である。

6. これからの計画

これまで 5 年間余にわたって進められてきた調査研究は画期的なものであり、世界的にも高く評価されているが、実際のエネルギー資源化に関しては、調査の進め方や資源化の実現性に関していろいろと意見の別れるところである。しかしながら、エネルギー資源の乏しい我が国としては、有望な天然ガス資源としてのメタンハイドレートの資源化を目指し、賦存地域の認定、開発シミュレーション策定、生産技術の開発、経済評価などを含めた開発努力を今後も続けるべきである。エネルギー消費量の多い我が国が、新しい炭化水素エネルギー資源化のための研究開発に積極的に寄与することは、国際貢献という視点からも、また我が国の資源安全保障の立場からも、極めて重要なことと言える。最近の世界の動向としては、米国エネルギー省では、2015 年をめどとしたメタンハイドレートに関する長期研究計画を策定したのをはじめ、カナダ地質調査所や Shell 社、Elf 社でも長期的研究を継続実施している。さらに中国やインド、韓国などもメタンハイドレート研究に対して高い関心を持っている。

現在、経済省内部に有識者からなるメタンハイドレート開発検討委員会が設置されており、中長期的視点に立った調査研究の進め方についての議論がなされているところであるが、近々中長期調査研究計画が策定される予定である。中長期計画全体は複数のステップに分けることができると考えられるが、それぞれのステップの終了時に成果の検討、評価を行い、全体計画を見直すことにより、効率よく最終ゴールを目指すべきである。また、どのステップでも環境に与える影響の評価を常に実施していく必要がある。一方、既に具体的な計画として進められているものは、再度マッケンジーデルタにおいて調査坑井を掘削しようとするものである。この計画は、カナダ地質調査所をはじめ、米国地質調査所、ドイツ地球科学研究所などと国際共同研究として実施しようとするもので、メタンハイドレート層の生産テストの実施を目的としてい

る。この陸上での生産テストの結果の評価により、生産のための必要条件を明らかにするとともに、生産シミュレーターを開発することができるものと期待が持たれている。

引用文献・参考文献

- ・ 石油公団（編）（2000）メタンハイドレート開発技術 総括報告書
- ・ 石油公団（編）（2000）平成 11 年度メタンハイドレート開発促進調査 報告書
- ・ 内田 隆（1999）未来の天然ガス資源メタンハイドレート ペトロテック Vol.22 No.6
- ・ 内田 隆, 大原 敏廣（2000）カナダ・マッケンジーデルタにおけるメタンハイドレート実証井の概要 ペトロテック Vol.23 No.8

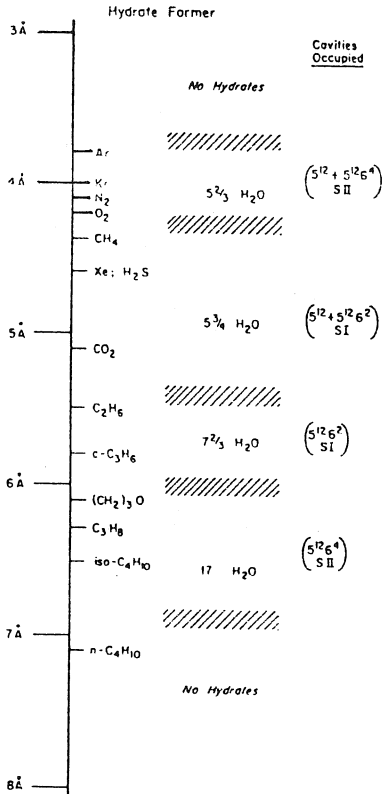


図1 ハイドレート結晶中の包接ガスの種類と分子の大きさ (Sloan, 1990)

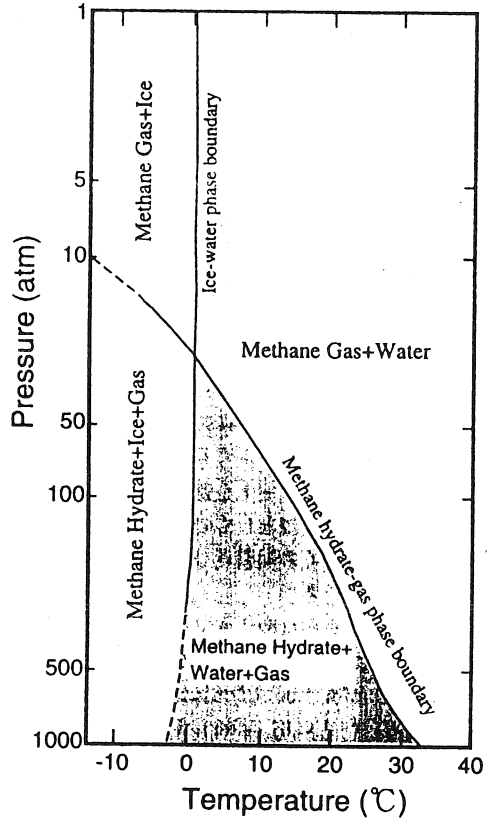


図2 メタンハイドレートの安定領域 (Kvenvolden, 1998)

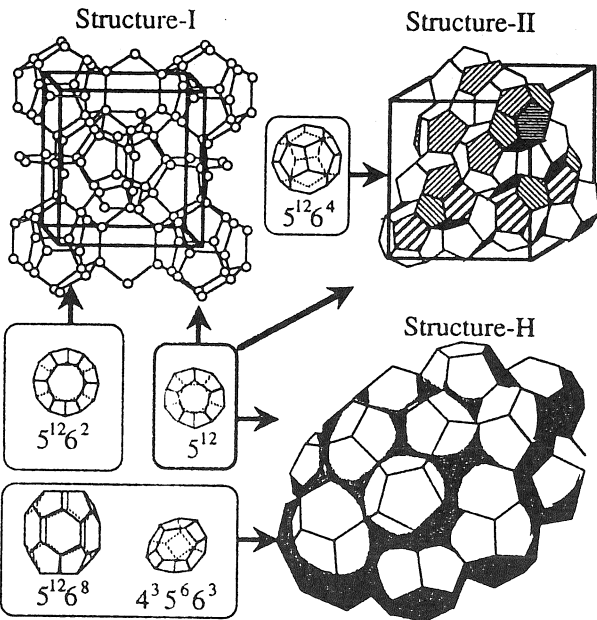


図3 メタンハイドレートの結晶構造 (Sloan, 1998)

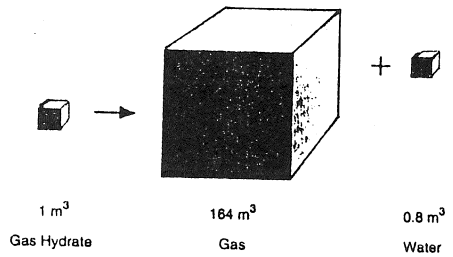


図4 1 cm^3 のメタンハイドレートに包接されるメタンの体積 (Kvenvolden, 1998)

Occurrences of Natural Gas Hydrates

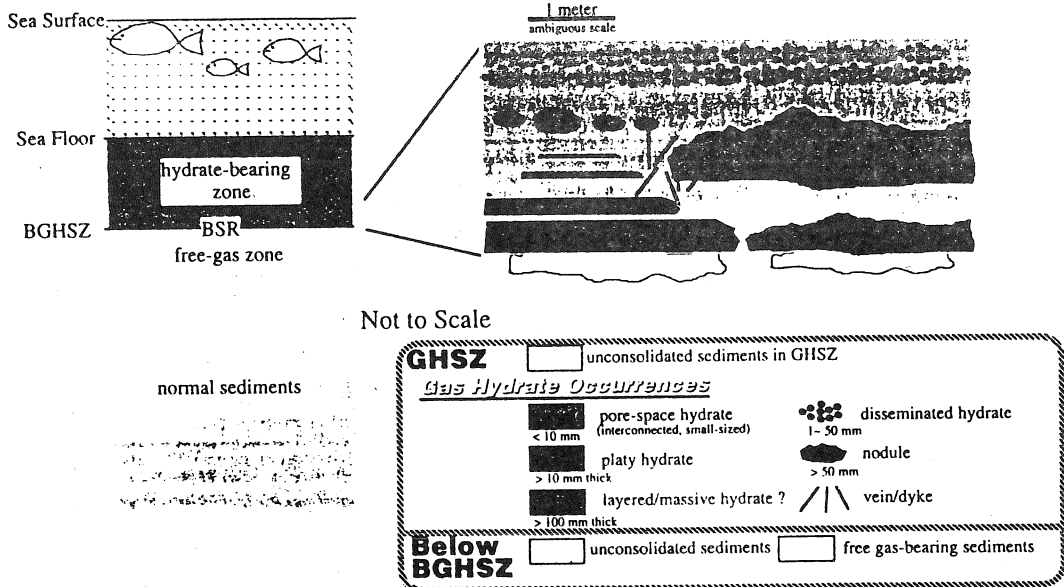


図 5 海洋底下におけるメタンハイドレートの産状 (Uchida et al., 1998)

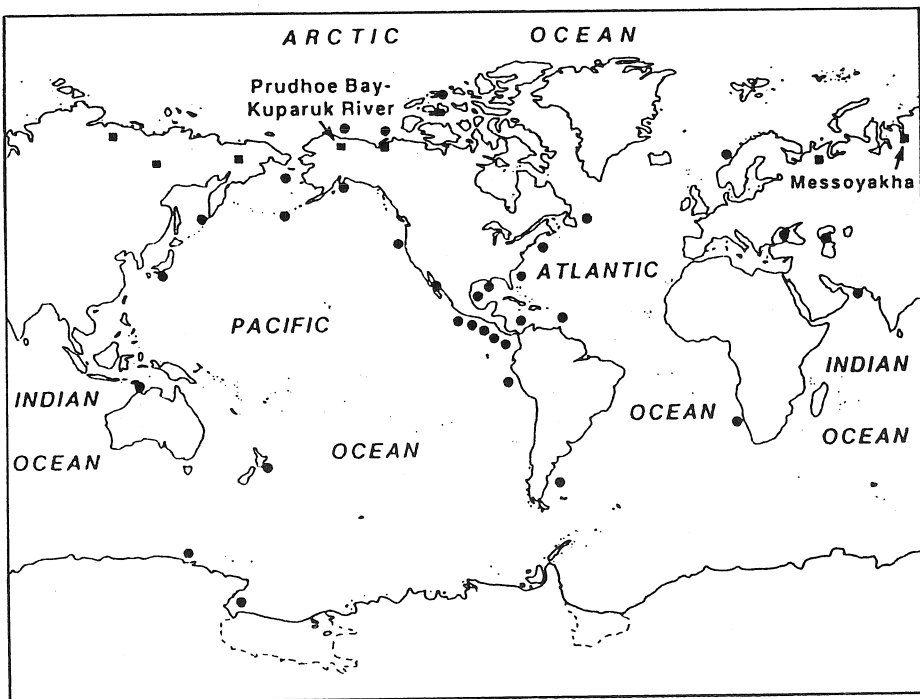


図 6 世界のメタンハイドレート分布 (Kvenvolden, 1998)

表1 共同研究 研究テーマとスケジュール

◆ 研究のスケジュール

(1) 基礎物性の検討					
生成実験	←	→			
生成分解速度論	←	→			
諸物性の測定	←	→			
(2) 地質・地化学探査技術の開発					
賦存地質モデルの作成	←	→			
物理検層技術	←	→			
泥水検層技術		←	→		
(3) 物理探査技術の開発					
データ解釈技術	←	→			
データ取得技術	←	→			
データ処理・解析技術	←	→			
(4) 掘削技術の開発					
坑内温度・圧力シミュレーション技術	←	→			
キックコントロール技術	←	→			
ケーシングデザイン技術	←	→			
セメンティング技術	←	→			
泥水技術－泥水システム	←	→			
泥水技術－泥水冷却技術		←	→		
コアサンプル採取技術	←	→			
(5) 生産技術の開発					
分解モデル	←	→			
坑井テスト評価技術		←	→		
コア分析技術	←	→			
(6) 開発可能性調査			←	→	
【備考】					
* 平成11年度は研究期間を平成12年11月30日まで延長した。					

Pressure Temperature Core Sampler (PTCS)

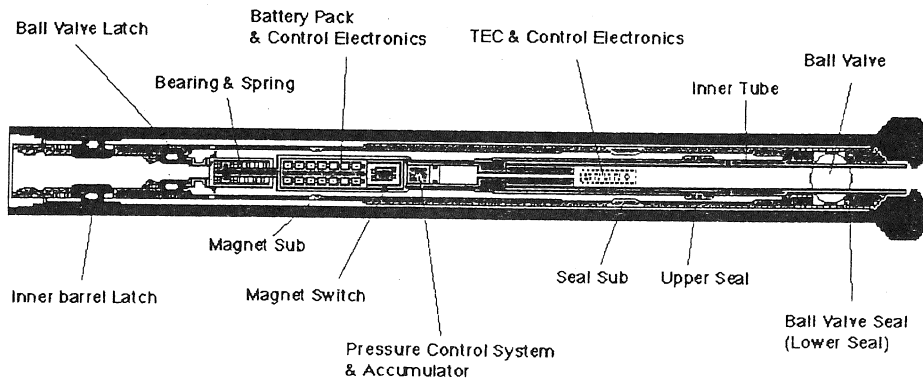


図7 PTCS 概念図

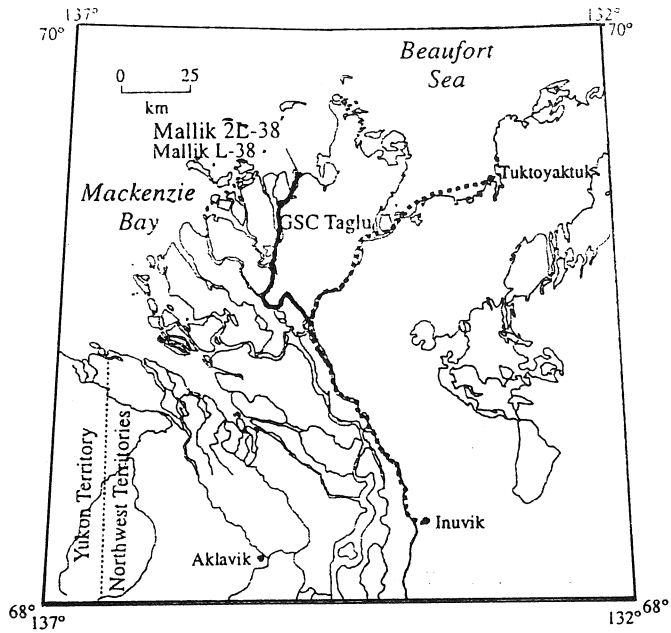
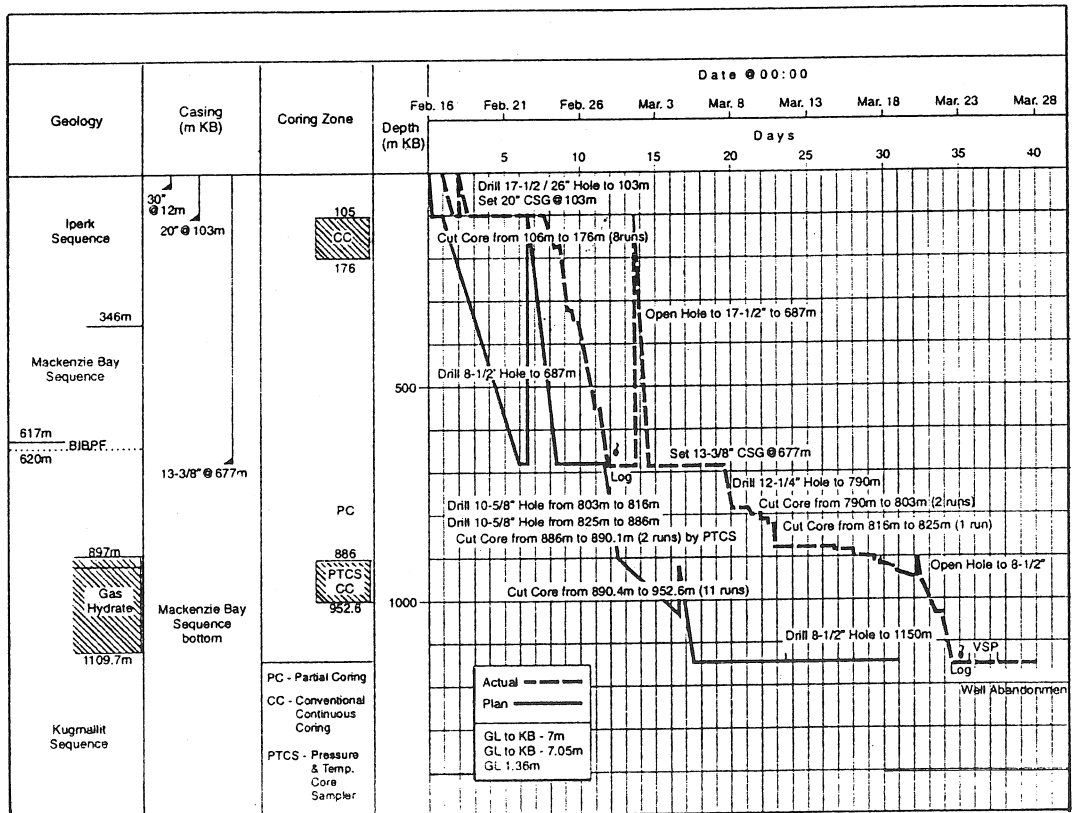


図 8 Mallik 2L-38 坑井位置図

表 2 Mallik 2L-38 掘削工程予実績



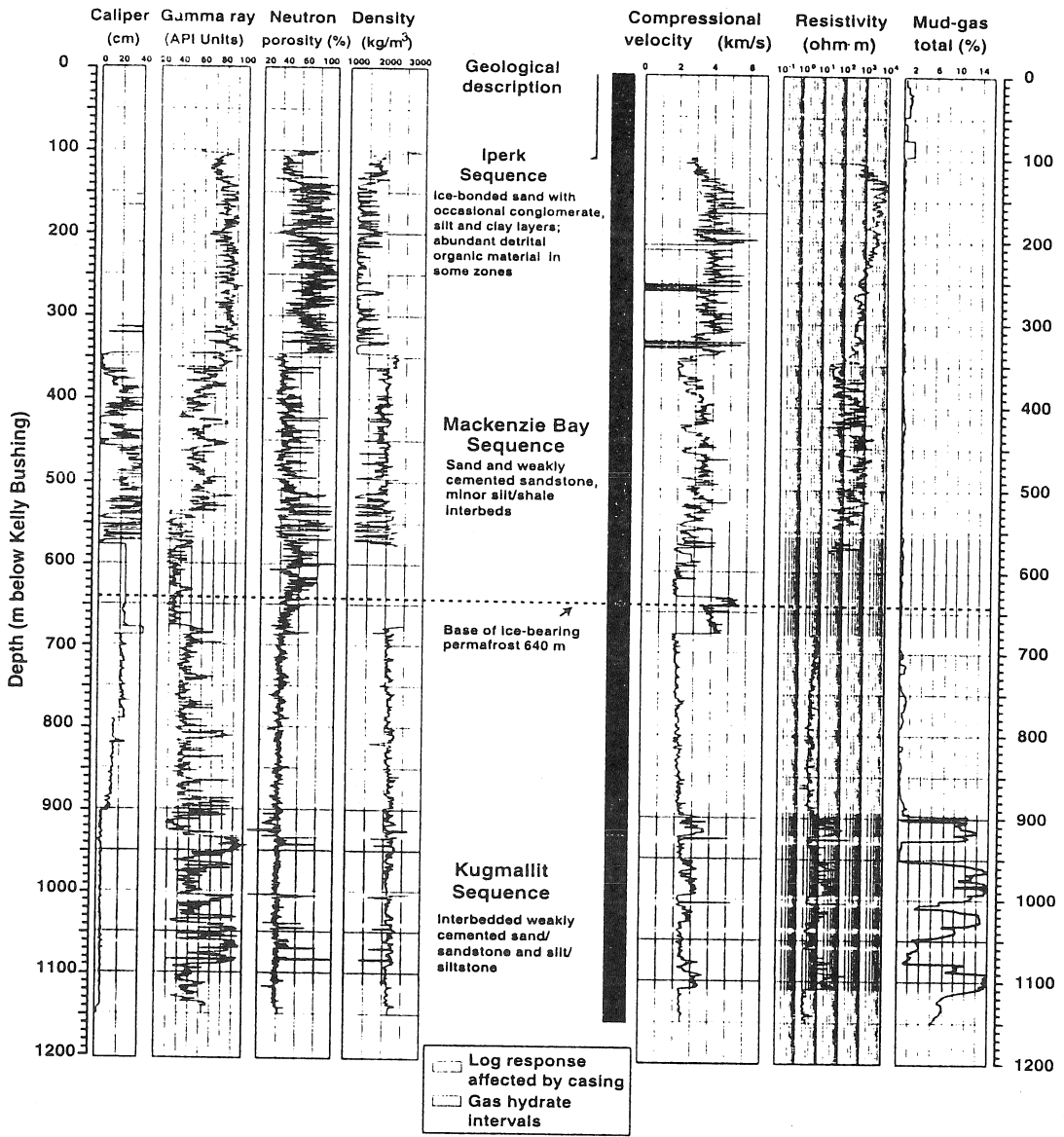


図9 Mallik 2L-38 物理検層データ

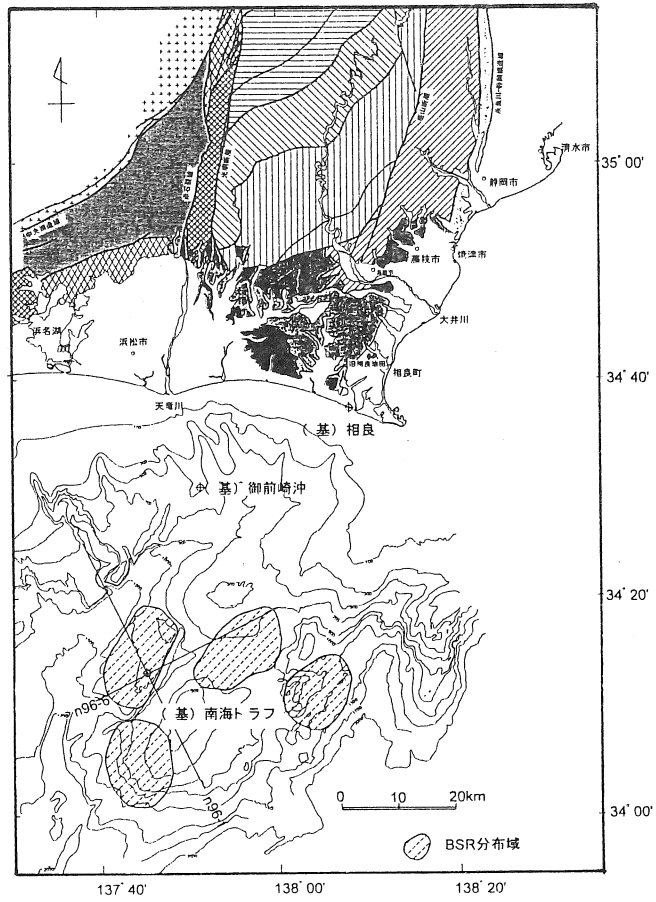


図 10 基礎試錐「南海トラフ」坑井位置図

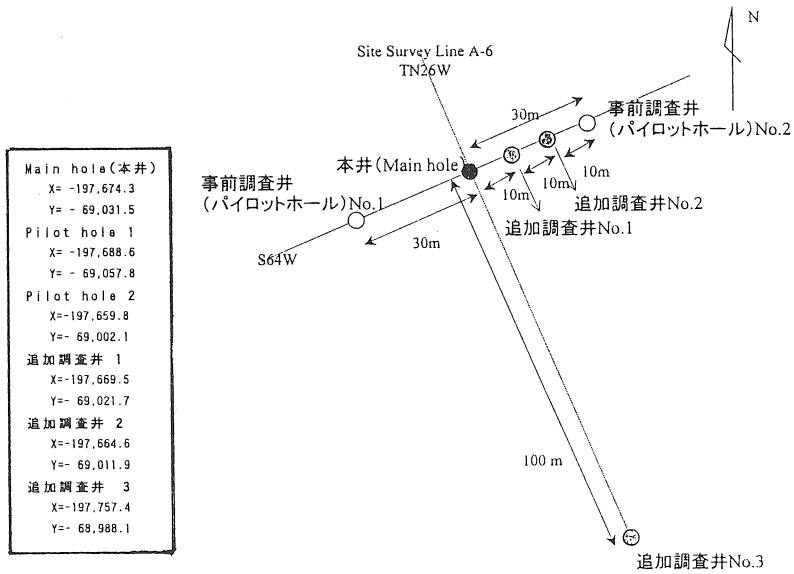
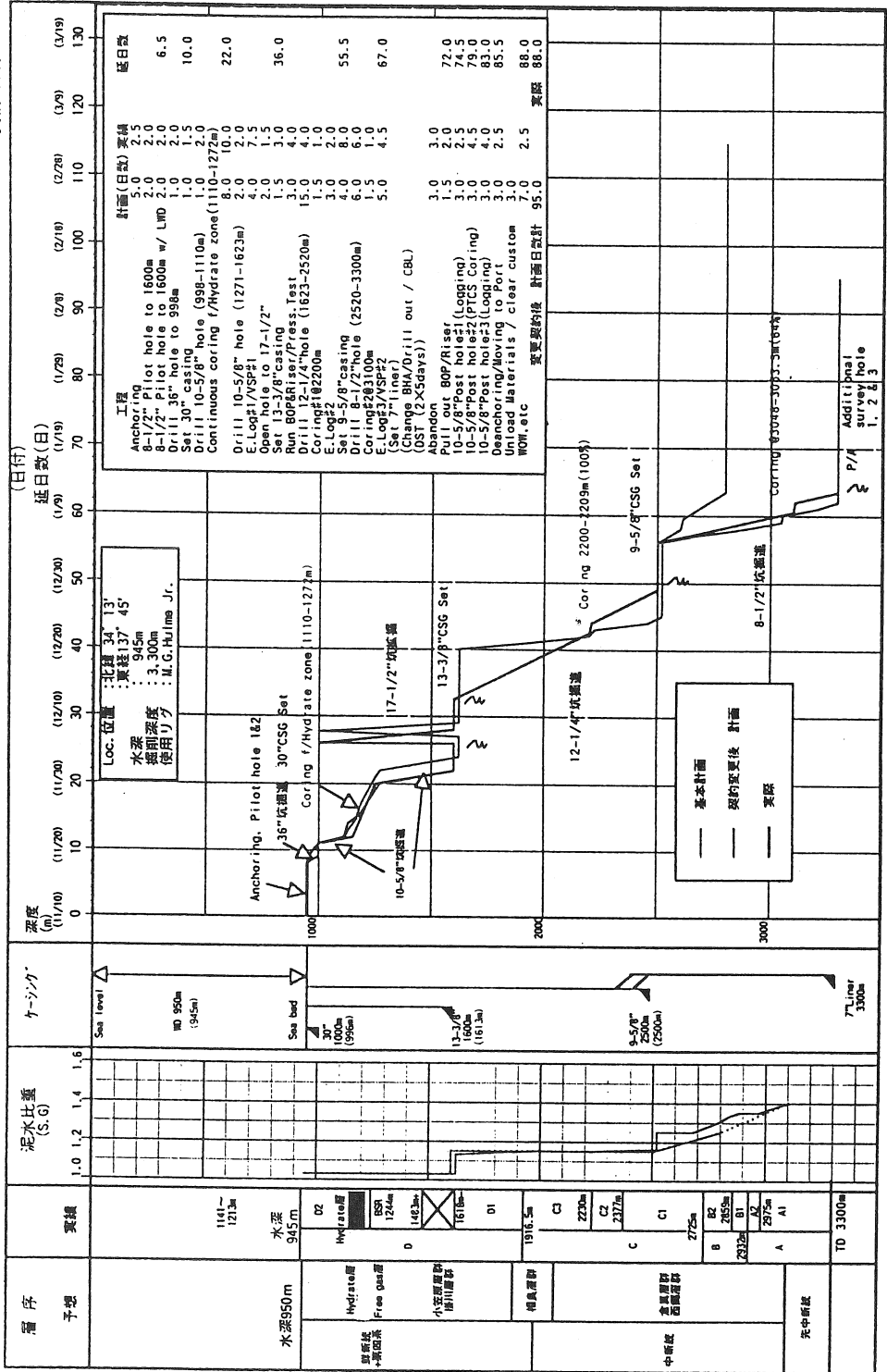


図 11 坑井位置関係

表 3

基礎試錐「南海トラフ」ドリリングチャート(予実績)

変更前全工程 115日
 変更後全工程 95日
 実績 88日



コアリングパラメータ メインホール 1,110~1,272m

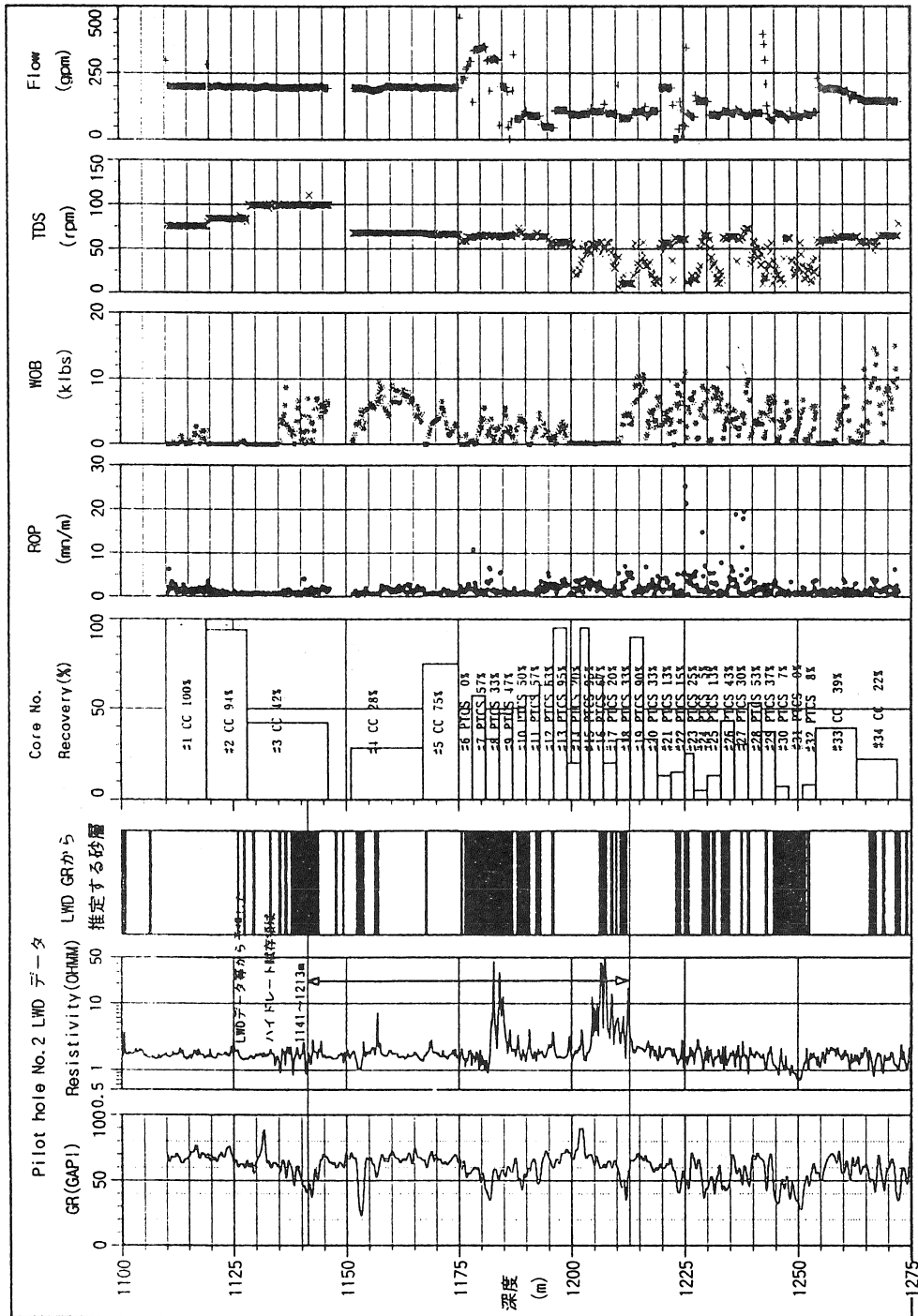


図 12 コアリングパラメータ

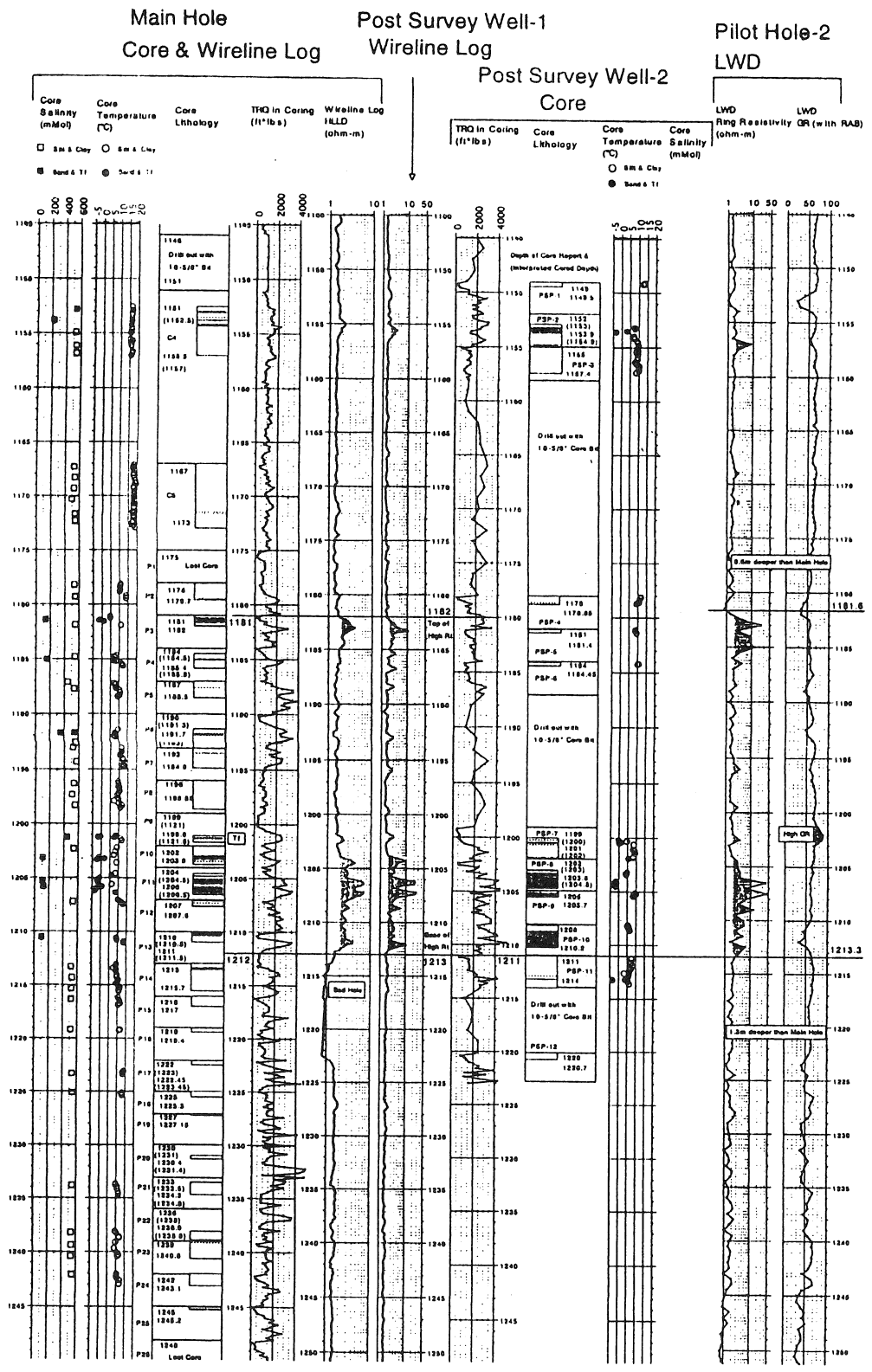


図 13 基礎試錐「南海トラフ」コアと物理検層データ

講

演

土壤汚染調査におけるパーカッション・ワイヤライン工法の経済的効果

鉦研工業株式会社 遠藤哲哉

1.はじめに

我が国における環境問題への取り組みは、環境対策の先進国といわれるドイツ、アメリカなどの欧米諸国に比べると、満足できる状態になく、規模的にも技術的にも遅れをとっている。しかし、長引く不況にあえぐ我が国にあって、環境問題についての国民意識の高まりとともに、環境保全をテーマにしたビジネスは活況を呈している。

このような社会情勢の中、我々、試錐・地質調査に携わる技術者は、土壤汚染問題における汚染調査と観測井などの作井で技術を発揮でき、我々の地下を想像する能力を多くの場面で社会に役立てることができる。

本文は、拡大しつつある土壤汚染問題における地質調査業界の市場性を検討するとともに、砂れき層を含む汚染調査で広く利用されているパーカッション・ワイヤライン工法の経済的効果について考察するものである。

2.土壤汚染とは

土壤とは、岩石が砕け細粒となったものに、地球表面の生物遺体またはその分解物などが混じったものであり、陸地の最上層を構成する部分である。また、地球上の全陸地を平均した土壤の厚さは0.18mといわれているが、厚い部分では10m以上であり、基盤岩が露出した部分では数センチに満たない。¹⁾

このように、地球表面に存在する地殻の厚さに比べると非常に薄い、「皮膜」的存在といえるが、すべての地上生物の生存基盤であり、人類が必要とする資源において、最も重要なもの

の一つである。この、地球表面を形成する土壤に有害物質が浸透し汚染することが土壤汚染である。大気や表流水の汚染と異なり、流れや拡散の速度が遅く汚染物質が蓄積しやすい。また、土の中のことであり、発見しづらく対策が困難という特徴がある。

2-1 土壤汚染の分類

土壤汚染は、地質汚染とも呼ばれ、ここで、地質とは、「地層（土壤など）」、「地下水」、「地下空気」の総称である。このことから、いわゆる土壤汚染とは次のように分類される。

- ①地層汚染：汚染物質が地層の粒子間に蓄積したり、粒子に被覆・吸着する
- ②地下水汚染：汚染物質が地下水に溶融あるいは溶融せずに混在する
- ③地下空気汚染：揮発性の汚染物質が地下空気内に蓄積する

2-2 汚染物質の分類²⁾

主な汚染物質は次の5種に分類される。

- ①ダイオキシン類：塩素系の化合物を焼却する過程で発生し、代表的な環境ホルモン（外因性内分泌かく乱化学物質）である。223種類に分類され、発ガン性、催奇形性が指摘されるとともに、青酸カリの1000倍の毒性があるといわれる。難水溶性で微生物による生物分解もほとんどない難分解性の環境汚染化学物質である。
- ②ポリ塩化ビフェニール（PCB）：熱交換器や感圧複写紙に使用された毒性の高い化合物。74年に使用が禁止されたが、現在でも無害化处理が進まず保管されている。ゴミ処分場や工場跡地が主な発生場所である。

- ③重金属類：鉛、水銀、六価クロムなどの汚染が多く、工場跡地で発覚することが多い。水に融けにくく土壌に吸着しやすいため、表層土壌に集積し深部まで拡散しないことが多い。
- ④揮発性有機化合物（VOC）：有機塩素系溶材のトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなどの総称。水に対し難溶性で、かつ水よりも重く、汚染速度が極めて遅いため原液を汚染地層から除去しなければ長期的に汚染が継続する。工業製品の洗浄などに大量に使用され、工場やクリーニング店が汚染源となっている。

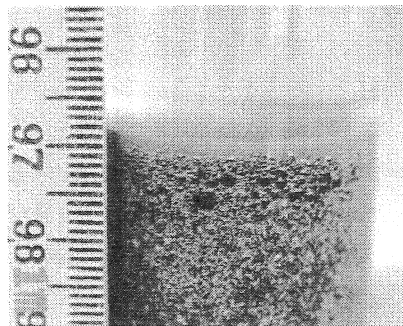


図1 地層中のトリクロロエチレン原液
(黒色の丸い粒が原液)³⁾

- ⑤油類・農薬など：油類はガソリンスタンドなどが汚染源で水よりも軽いいため地下水層では水に浮いた状態で存在する。また、我が国は世界最大の農薬消費国であり、継続的に散布する農地やゴルフ場が汚染源となっている。

3. 土壌汚染対策事業におけるボーリング

3-1 土壌汚染対策事業の拡大

我が国は、戦後の経済成長とともに、環境汚染が進行し、今日まで多くの大気汚染や水質汚染問題を経験し、問題解決のための優れた技術が開発された。だが、人間が直接目にするので可能な土壌汚染問題については、対策が遅れた状態で21世紀を迎えた。

しかし、半導体工場における土壌汚染問題の報道や、環境マネジメント（ISO-14000）についての関心の深まりとともに、土壌汚染に対する企業・地方自治体の対策が急速に進みつつある。特に、東京都は公害防止条例の改正によって、本年4月1日より一定規模を超える土地開発には汚染調査を義務化した。すなわち、土地取引に汚染調査が付属し、今後は不動産業者と

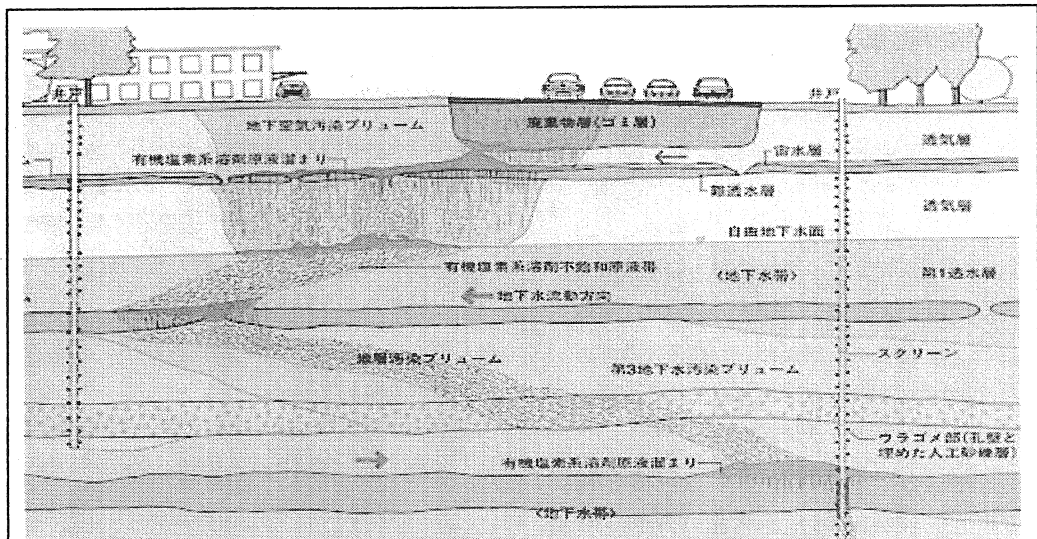


図2 有機塩素系溶材による地質汚染機構図³⁾

調査業者の提携が一般化すると予想される。

(社)日本土壌環境センターの算出によれば⁴⁾、我が国における土壌汚染調査費用は 2 兆 3000 億円、土壌浄化費用は 11 兆円と予測されている³⁾。この 13 兆 3000 億円に上る巨額な土壌汚染に関する市場に、地質コンサルタント、大手ゼネコン、浄水器メーカ、プラントメーカなど既に多くの企業が参入し、調査・浄化の技術を開発し成果を上げている。

しかし、大規模な工場や廃棄処分場での土壌汚染対策は着実に進んでいるが、個人経営のクリーニング店、ガソリンスタンドなどの比較的小規模の汚染源については、実態調査も進んでいないのが現状である。我が国の土壌汚染診断が望まれる事業所などの数は、下表に示すように約 44 万ヶ所¹⁾と推定され、市場の大きさが想像できる。人工わずか 500 万人の北欧のフィンランドでは、汚染箇所は 25000 ヶ所と推定され、国を挙げた取り組みを始めている。

表 1 土壌診断が望まれる事業所などの推定²⁾

事業所の種類	事業所数	備考
全製造業(稼動中)	297,138	汚染が考えられない産業を除く
大規模製造工場	1,850	従業員 500名以上
ガソリンスタンド	60,421	
クリーニング 作業所	24,700	
代表的な 理化学系研究所	392	
廃棄物中間処理施設・最終処分場	13,705	
最近閉鎖された 製造工場	48,352	最近5年以内
最近閉鎖された 大規模製造工場	100	従業員 500名以上
合計	442,758	補正あり

*学校、病院、基地、空港、港湾、鉄道施設を除く

3-2 ポーリングの種類と用途

土壌汚染調査および対策におけるポーリングは次のように分類されるものと考えられる。

①初期の調査ポーリング

汚染の有無や規模を概略判断するための調査ポーリング。ハンドオーガや給進装置のない手持ちの振動ドリルを使用し、深度 5m 以下であることが多い。

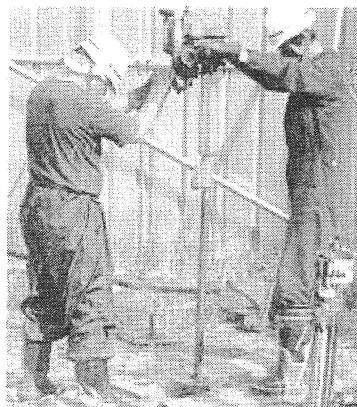


図 3 ドイツから技術導入した簡易ポーリング機⁵⁾

②浅尺の調査ポーリング

重金属や PCB は、汚染が深度 10 数 m までの表層であることが多く、自走装置付きの振動式ポーリングマシンの使用が増えている。振動式の場合は掘り屑を地層に圧密し、地上への掘り屑の排出はない。また、オーガフライトで掘り屑を排出する方式もある。振動式およびオーガ式は、掘削水を送水しない無水状態で調査することが特長といえる。

③帯水層を含む VOC の調査ポーリング

浸透性の高い VOC や油類はコンクリートや粘土層を透過し、第 1 帯水層あるいは第 2、第 3 帯水層にまで及ぶことが多く、砂れき層を含む深度 50m 程度までの調査が必要なことが多い。この際、従来式のスピンドル型ポーリングマシンやロータリパーカッションドリルを使用する。

④中和剤、不溶化剤などの薬液注入

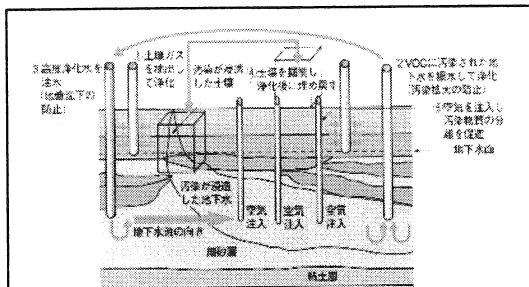
重金属の汚染物質の処理に、中和剤や不溶化剤を注入し無害化する方法がある。注入薬剤の種類や処理方法の技術開発が盛んだが、従来機による掘削径φ66、深度10m以下の施工が多い。

⑤封じ込め処理のための薬液注入

重金属やPCBの汚染を封じ込めるための薬液注入も行われる。地層を不透化させ汚染物質の拡散を防止する処理であり、従来機による掘削径φ66、深度10m以下の施工や汚染箇所を垂直断面で円弧状に施工することもある。

⑥VOC浄化井のボーリング

VOCや油類の汚染は、汚染物質の揮発性を利用した吸引や、地下水を汲み上げ無害化処理後に地下に還元する浄化方法が一般的である。この際、地下水の下流に当たる汚染境界面に多数のバリヤ井を構築し汚染の拡大を防止するとともにバリヤ井から汲み上げ、上流の還元井へと循環する。井戸の規模と施工方法は調査ボーリングと同様であり、浄化の状況観測も行なう。



- ①バリヤ井から地下水を汲み上げ、浄化して還元井から地下に戻す
- ②汚染土壌は掘削して無害化し、埋め戻す
- ③圧縮空気を吹き込み真空ポンプで吸引する

図4 VOCの浄化対策例の概念図⁵⁾

3-3 ボーリング施工に関する市場の評価

前述のように土壤汚染調査あるいは浄化対策において、実に多くの場面でボーリング施工が必要とされている。これら各種のボーリング施

工にあって、最も低コストな施工がハンドオーガによる初期調査であり、高コストな施工がVOC調査・浄化ボーリングである。VOCによる土壤汚染は他の汚染に比べ汚染が広範囲に及んでいることが多く、地下水の流動形態と対策方法にもよるが、一般に多数のバリヤ井の構築が必要となる。このため、VOC汚染の調査・浄化におけるボーリング費用は、調査を含む汚染対策の施工費用に占めるボーリング費用の割合が最も大きく高額である。

ボーリング費用は、汚染の規模や対象地層あるいは浄化方法に左右されることから、定量的な表現が難しい。しかし、市場の需要に応えるには大幅な原価低減が必要である。

4. ロータリパーカッションドリルによる土壤汚染調査ボーリング

4-1 概要

土壤汚染調査ボーリングは、施工目的が汚染状態の解析であるため、重金属や化学物質などの汚染物質の状態保存が重要である。従来から行われている通常の地質調査とはこの点が大きく異なり、VOCなどの揮発性物質を含む地下空気までが試料であると考えなければならない。このため、確実な試料採取はもちろん、汚染物質と掘削流体の接触防止に努めるとともに、採取した試料をできるだけ短時間で地上に回収しなければならない。

この目的達成のため、ロータリパーカッションドリル(以下 RPD)をベースマシンとしたワイヤラインサンプリング工法(以下 PS 工法)の採用が増加している。PS 工法は、スピンドル型ボーリングマシン(以下従来機)によるφ40.5 ロッドとコアチューブを使用する調査ボーリング工法(以下 従来工法)に比べ、試料採取率が格段に高く、施工時間が約30%にまで短縮できる。トンネル前方調査ボーリングで

多くの実績を上げているが、地質調査業界では RPD そのものの知名度が低い。

本項では、RPD と PS 工法の概要を述べる。

4-2 ロータリパーカッションドリル (RPD) ⁶⁾

RPD が土木・建設現場で高速ボーリングマシンとして活躍するようになって約 20 年になる。マシンは全油圧式であり打撃機構を搭載した高トルクドリルヘッドが最大の特徴といえる。

図5および表2に、調査ボーリング用に設計された RPD-50TT 型の外観と主な仕様を示す。

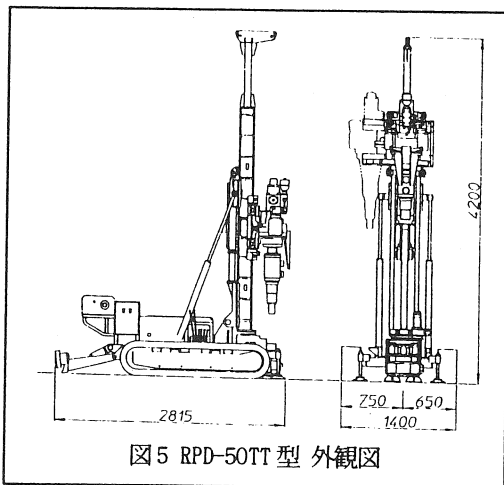


図5 RPD-50TT 型 外観図

表2 RPD-50TT 型の主な仕様

全長	2815 mm	打撃数	2200 bpm
全幅	1400 mm	打撃力	500 N·m
全高	4200 mm	トルク	5500 N·m
回転数	0~38 rpm	原動機	50 HP
巻上荷重	10 kN	巻上速度	30 m/min

RPD-50TT の打撃能力は $500\text{N}\cdot\text{m}\times 2200\text{bpm}$ である。これは 0.75m の高さから 63.5kg のハンマを 1 分間に 2300 回自由落下させたエネルギーに相当する。この打撃力によって、従来機に比べ 3~10 倍の掘削速度が得られ、スライム障害による異常圧力の正常化やロッドのジャミング状態の回復にも有効である。

RPD はケーシングとロッドの同軸二重管掘削

が標準工法であるため、崩壊性の高い砂れき層や破碎帯でもスムーズな削孔が可能である。また、油圧シリンダでレンチを作動させ、ロッドのネジを緩めるロッドブレーカや、チャックピースがロッドをクランプするロッドクランプといった省力化のための機構が標準装備されているため、作業員の労力軽減効果も大きい。

図6に RPD の掘削径と掘削速度の関係を示す。マシンの馬力や掘削条件、地層条件で掘削速

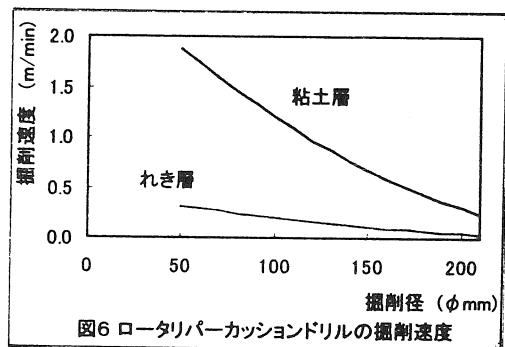


図6 ロータリパーカッションドリルの掘削速度

度のばらつきは生じるが、圧縮強度 200MPa を超える花こう岩においても、4~7cm/min の掘削速度を得ることができる。従来機の原動機馬力が通常 10HP 程度であり、原動機 50HP の RPD-50TT には、概ね 5 倍の掘削能力があると考えるのが適当であろう。

4-3 PS 工法の概略⁷⁾

PS 工法とは、RPD をベース機として平成 6 年に実用化したワイヤラインサンプリング工法であり、Percussion wire line Sampling method の略称である。基本的な作業手順は、HQ、NQ に代表される従来のワイヤライン工法と同じだが、試料採取時に打撃機構を作動させ、ビットに衝撃力を与える点が大きく異なる。

図7に PS 工法の概略を示す。

行程 1：インナチューブを挿入する。この時、ロッド内が掘削水で満たされていれば自由落下させる。落下速度は 20~30m/min である。エア

掘削の場合、あるいは逸水が激しい場合はラッチアウトリングを装着したオーバショットに把持し、ワイヤラインで吊り降ろす。

行程 2,3: ロッドを接続し、送水もしくは送気して、インナチューブのセットを確認する。正常な圧力変動を認め、掘削を開始する。二重管工法を採用する場合は、ロッドとケーシングを同時に接続する。

行程 4,5: 掘削完了後、ロッドを切り離しオーバショットを投入する。インナチューブをキャッチしたら、ワイヤラインを巻き上げインナチューブを地上に回収する。回収後は十分に孔内洗浄し行程 1 に移行する。

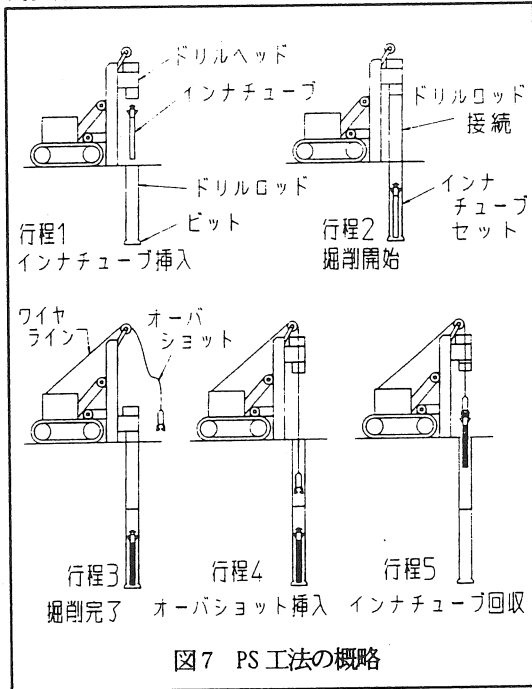


図7 PS工法の概略

4-4 パーカッションワイヤラインサンブラ

PS工法に使用するサンブラ（以下PSサンブラ）は、コアビットを先端に装着し地中にさや管として置かれるアウトチューブと試料を確保しワイヤライン搬送されるインナチューブで構成される。また、表3に示すように地層の硬軟に応じたサンブラを使用することができる。

表3 PSサンブラと対象地層

アウトチューブ	インナチューブ	対象地層	試料
軟岩用	ピストンサンブラ	N値0~10	不攪乱
	軟岩用サンブラ	N値0~30	不攪乱
硬岩用	硬岩用サンブラ	N値10以上	攪乱
	ノンコアビット	制限無し	スライム

軟岩用アウトチューブには、水圧ピストン式シンウォールサンブラとスプリングバック式軟岩用サンブラがあり、未固結な堆積層での不攪乱試料の採取を目的に使用する。従来の土質調査に使用されているピストンサンブラとトリプルコアチューブをPS工法用にアレンジしたものである。シンウォールサンブラと軟岩用サンブラを交互に使用することも可能である。

硬岩用アウトチューブには、標準的な硬岩用サンブラとノンコアビットがあり、N値10程度の粘土層から圧縮強度200MPa以上の岩盤まで効率の良い試料採取が可能である。ノンコアビットは試料採取が不要かスライム試料でよい場合に使用するものであり、ワイヤライン搬送することで硬岩用サンブラと交互に使用することができる。表4にPSサンブラの主な仕様を示す。⁶⁾⁷⁾

表4 PSサンブラの仕様

型式	PS89	PS114	PS120
ビット径 (mm)	101	123	130
試料径: 硬岩 (mm)	45	68	68
試料径: 軟岩 (mm)	***	68	68
試料径: ピストン (mm)	***	68	68
アウトチューブ 外径 (mm)	89.1	114.3	120
インナチューブ 外径 (mm)	60.5	84.7	84.7
全長: 硬岩 (mm)	1870	2067	2067
全長: 軟岩 (mm)	***	2217	2217
全長: ピストン (mm)	***	2187	2187
ドリルロッド 外径 (mm)	89.1	114.3	120
ドリルロッド 重量 (kg)	17.0	23.3	31.0

*全長は呼び長さ1.0mの寸法

*呼び長さ1.5mの長さ寸法は表中値の+500mm

*PS89型は硬岩タイプのみ

4-5 土壤汚染調査ボーリングにおける問題点

土壤汚染調査では、試料の化学的性質の保存が重要であるとともに、調査ボーリングそのものによって汚染を拡大することのないように配慮する必要がある。

汚染拡大のメカニズムには次の3点がある。

- ①掘削水の循環によって、汚染層から非汚染層へと汚染物質を拡散させる。
- ②ボーリング孔を経路にして汚染物質が非汚染層へと拡散する。
- ③汚染物質を含む掘り屑による現場周辺や産廃処理場などでの2次的な汚染。

このうち②および③の問題は、施工後の確実な汚染経路遮断と、掘り屑処理に十分な配慮があれば対応が可能である。しかし、①の送水に関わる問題は、掘り屑の排出と切り刃の冷却を必要とするボーリング施工の性質上、問題解決は困難である。従来工法による砂れき帯水層での汚染調査では、掘削水を循環しない無水状態でのサンプリングで対応することが多いが、次の問題がある。

- a. 摩擦熱の発生によって試料の温度が上昇し、揮発性の高いトリクロロエチレンなどの汚染物質の状態保存が困難となり、分析結果がばらつき調査の信頼性が損なわれる。
- b. 掘り屑の排出不良によるジャミングなどの掘削障害が発生しやすい。

この問題を解決するために、PS工法では、図8に示すシステムを考案し成果を上げている。

4-6 土壤汚染調査用PSサンプリングシステム⁶⁾

図8に示すサンプリングシステムは、地層への掘削水浸透を避けるため、掘削流体に圧縮空気を採用し、粘性土の掘り屑排出性向上と粉塵防止のため、空気流量の0.5~1%の清水を混合している点が最大の特長である。サンブラをPS120型としたとき、孔壁とロッドの環状部面

積は 2375mm^2 であり、 $0.7\text{MPa} \times 3\text{m}^3/\text{min}$ コンプレッサを使用すると、 $21\text{m}/\text{sec}$ の環状部流速が得られ掘削に十分な環状部流速となる。

空気流量の0.5~1%の清水、約 $20\text{L}/\text{min}$ の清水はエア駆動ポンプを使用して加圧され、コンプレッサからロッドにつながる配管途中で混合する。コンプレッサとポンプとの配管連結箇所の手前には、機械の損傷を防止のため、互いに逆止弁を設けている。

また、ベースマシンにRPD-50TT型を採用した場合、油圧駆動ワイヤラインホイストが標準装備されているため、設備が簡素化でき現場設営時間を短縮することができる。

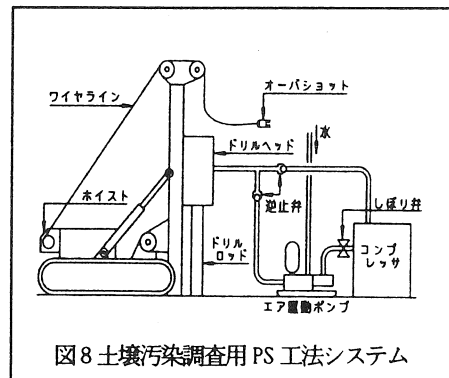


図8 土壤汚染調査用PS工法システム

このサンプリングシステムの運用によって、前項の摩擦熱と掘り屑排出の問題を解決できる。また、RPDの標準工法であるケーシング連行の二重管工法を行なうことで、ケーシングとロッドがなす環状部が掘り屑の排出路となる。このため、汚染物質を含んだ掘り屑が非汚染地層に接触することはない。

システムの利点は次のようにまとめられる。

- ①摩擦熱の発生が防止されるため、試料の摩擦熱による化学的変化がない。
- ②孔内はドライであり、掘削水の対流による汚染拡大がない。
- ③試料および地層への掘削水の浸透がなく、試料の状態保存性がよい。

- ④掘り屑の排出が良好で、ケーシング連行によって掘削障害の発生率が低下する。
- ⑤掘削水が家庭用上水道で十分まかなうことができ、大型の水タンク等の設備が不用。
- ⑥コンプレッサは運用コストが安価であり、掘削水に関わる諸経費が発生しない。

5. 土壌汚染調査ボーリングにおけるロータリパーカッションドリルの経済的効果

5-1 従来工法と PS 工法の効率⁷⁾

PS 工法は、RPD の有効施工深度である深度 100m 以下での調査ボーリングで真価を発揮できるといえ、破碎帯など従来工法では掘削困難な地層ほど効率の差が大きい。

従来工法と PS 工法の作業効率を比較する場合、従来工法でのロッド昇降時間と PS 工法のインナチューブ昇降時間の差、および両工法の掘削時間の差が重要な比較要素となる。

従来工法でのロッド昇降時間は、昇降するロッドの本数とロッド 1 本当たりの昇降作業時間の積である。長さ 3m のφ40.5 ロッドの場合、ロッド 1 本当たりの抜管時間は 1.5 分、挿入に要する時間を同じく 1.5 分とすると、単位ロッド昇降作業時間は 3min/本となる。これは、経験的にロッドの昇降作業時間がロッドの昇降深度と近似することから仮定した数値である。

すなわち、

ロッド昇降時間(min)

$$= \text{ロッド本数} \times \text{単位昇降作業時間}(\text{min}/\text{本})$$

$$\approx \text{ロッドの昇降深度}(\text{m}) \quad \text{となる。}$$

一方、PS 工法のインナチューブ昇降時間は、前述のエア掘削システムを採用した場合、インナチューブを挿入するときもワイヤラインで吊り降ろすが、水中を自由沈降する速度と大差なく、通常 20~30m/min の速度で降下する。インナチューブの回収も 20~30m/min 程度の速度で作業し、深度が 20m 増加するとインナチューブ

搬送時間が約 1 分増加する。これに、ロッド接続などの付帯作業時間が加え、インナチューブ搬送時間は次の経験式から求めることができる。

インナチューブ昇降時間(min)

$$= \text{昇降深度}(\text{m}) / 20 + 7$$

このロッドとインナチューブの昇降時間と深度の関係を、図 9 に表す。

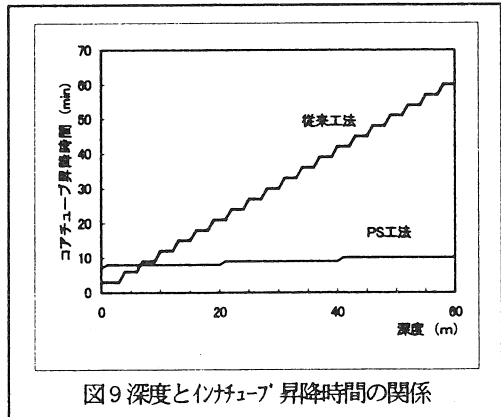


図9 深度とインナチューブ 昇降時間の関係

図9でわかるように、深度の増加とともに試料回収に要する作業時間の差が大きくなり、深度 60m では 50 分の差が生じることになる。

さらに、表 5 の条件で 60m のサンプリングを行なった場合の作業時間を比較すると図 10 が得られる。この際、従来工法では、砂れき層でのコア詰まりという解決困難な問題があるが、発生回数を確定するのが困難であるため、不安定な要素として無視する。つまり、60m までのサンプリングは、トラブル無しを原則とする。

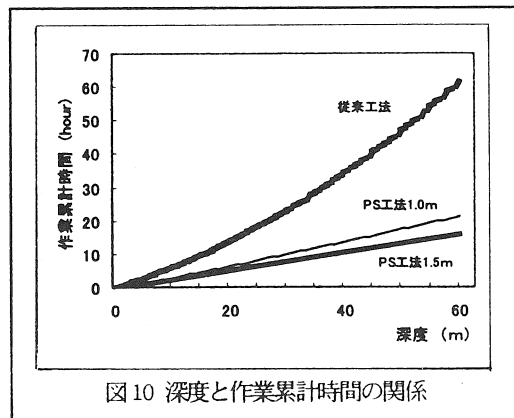


図10 深度と作業累計時間の関係

表5 従来工法とPS工法の作業時間

深度 (m)	従来工法 (3.0 m ロッド)					PS工法 (1.0 m ロッド)					PS工法 (1.5 m ロッド)				
	削孔 (min)	ロッド 昇降 (min)	孔内 洗浄 (min)	所要 時間 (min)	累計 時間 (hour)	削孔 (min)	C・T 搬送 (min)	孔内 洗浄 (min)	所要 時間 (min)	累計 時間 (hour)	削孔 (min)	C・T 搬送 (min)	孔内 洗浄 (min)	所要 時間 (min)	累計 時間 (hour)
3	30	3	***	33	1.7	5	8	8	21	1.1	8	8	8	24	0.8
15	30	15	***	45	9.8	5	8	8	21	5.3	8	8	8	24	4.0
30	30	30	***	60	23.3	5	9	8	22	10.7	8	9	8	25	8.1
45	30	45	***	75	40.5	5	10	8	23	16.3	8	10	8	26	12.4
60	30	60	***	90	61.5	5	10	8	23	22.0	8	10	8	26	16.7

この比較方式によると、従来工法で 61.5 時間を要する施工が、PS 工法では 1.0m ロッド使用時に 22 時間、1.5m ロッド使用時に 16.7 時間で施工完了する。過去の実績からも、PS 工法の施工時間は従来工法の約 1/3 であり、この比較方式から大きく逸脱していない。また、PS 工法では、ロッド長さがインナチューブの昇降回数を決定するため、1.5m ロッドの使用によってインナチューブ昇降回数が削減でき、1.0m ロッド使用時に比べ、施工時間を 5.3 時間短縮することができる。しかし、関東ローム層のように従来機での掘削速度が 5cm/min を超える地層では、深度 10m 程度までは PS 工法の施工時間は従来工法と同等である。対象地層と施工目的による工法選定が必要である。

5-2 PS 工法の経済的効果

RPD 本体を含めた PS システムの設備費用は従来工法における設備費用の約 5 倍である。また、打撃機構が発生させる強力な衝撃力は、本体の定期的なメンテナンスが必要となる。しかし、ビットに衝撃力を伝達するロッド、スイベルなどツール類の損傷はそれ以上に激しく、通常ロッドは延べ 2000m の掘削でネジ部分が疲労破壊する。ロッドなどの消耗費と原動機の燃料費などを合わせた 1 日の必要経費は、従来工法の約 10 倍である。また、現場の運営に必要な作業者は、従来工法では

2 名、PS 工法は 3 名である。このように、PS 工法は高性能であるが運営コストが高く、施工の効率化による発生利益の検証が重要である。ここで、PS 工法の経済的効果は次のように集約できる。

- ① 施工効率の改善によって工期短縮を図り、結果効果として施工コストを低減できる。
- ② 高い試料採取率によって、確実な調査結果が本施工での適切な判断をすることができる。
- ③ 対象地層範囲が広く地質変化への順応性が高く、複数の工法を併用する必要がない。

トンネル施工での前方調査ボーリングでは PS 工法を採用されるケースが増え、多くの実績を上げている。この際、確実な地質調査が本施工に与えるメリットとして、予想外地層に遭遇することがなくなることから、トラブル発生の未然防止がある。また、複数工法を併用する場合は設備の配置換えなどに時間を消化し TBM はじめ大型重機の停止損料などが発生する。しかし、土壌汚染調査ボーリングでは②、③の要素について、前述のトンネル前方調査のような損失未然防止の必要性が希薄である。このため、この 2 要素の経済的効果の算出を省き、①の施工効率の改善によるコスト低減効果についてのみ以下に評価する。

表 6 では、前項で算出した従来工法と PS 工法の掘削時間に設営撤収時間を加えて施工時間とし、年間稼働日数から施工現場数を算出した。

表6 従来工法とPS工法の出来高比

	設営撤収 (hour)	掘削時間 (hour)	施工時間 (hour)	施工日数 (day)	稼働日数 (day)	現場数	延掘削長 (m)	出来高比
従来工法	8.0	47.1	55.1	6.9	120	17	850	1
PS-1.0m	8.0	18.2	26.2	3.3	120	37	1850	2.2
PS-1.5m	8.0	14.0	22.0	2.8	120	44	2200	2.6

深度60mのボーリングを何ヵ所施工できるかという試算である。PS工法の年間出来高の比は1.0mロッドで従来工法の2.2倍、1.5mロッドで2.6倍となる。発生利益は企業規模や施工条件で変動するので算出の必然性は乏しい。しかし、各工法の施工単価が標準価格以上で等しく、設備投資を5年で償却するというように、ある仮定で算定するとPS工法は従来工法の2～3倍の利益を上げることが可能である。

6. おわりに

土壤汚染に限らず、環境問題は21世紀の大きなテーマであり人類は英知を傾けてこの問題を克服しなければならない。本文では、社会的需要の高まりが予想される、砂れき帯水層の汚染対策ボーリングでのRPDの経済的効果について述べた。PS工法は平成6年に実用化後、今日まで数100ヵ所の施工現場で優秀な成果を上げている。独特のコアビットによって、砂れき層での高試料採取率には定評がある。しかし、社会の需要は、高性能で低コストな工法である。このニーズに対応するためには、RPD本体を含むシステム全体のコストダウンが必要であり、今後の課題と考えている。関係各位の期待に応えるべく、研究改善に努める所存である。

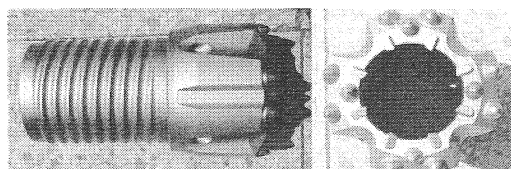


写真1 PS120型硬岩用コアビット



れき混じり粘土層の試料の粗石部分

写真2 PSサンプリングで採取した試料

《引用・参考文献》

- 1) 那須 淑子, 佐久間 敏雄: 土と環境 三共出版, 1997
- 2) 日本地盤環境浄化推進協議会: 土壌・地下水汚染の実態とその対策, オーム社, 2000
- 3) 鈴木 楡井など: 君津市内箕輪の地質汚染, 『アソボ』 No.34 P10～P42, 株式会社『ア』, 1995
- 4) 社団法人 日本環境センター: 我が国における土壌汚染対策費用の推定, 2000
- 5) 森 清, 高津 尚悟: 土壌・地下水汚染を攻略せよ, 『日経エストラクション』 2000.7.14 P60～P91, 2000
- 6) 遠藤 哲哉: ロータリフ・カッションドリルによる土壌汚染調査ドリル, 『技術フォーラム'99』 松山 P19～P20, 全国地質調査業協会, 1999
- 7) 遠藤 哲哉: 調査ドリルとロータリフ・カッションドリル, 『技術ニュース』 59 P26～P31, 関東地質調査業協会, 1998

2. スクリューデカンター

～理想の泥水管理を目指して～

石油鑿井機製作株式会社

荒井 政修

目次

1. 遠心分離の基礎
 - 1-1. はじめに
 - 1-2. 遠心分離に関する物性
 - 1-3. 遠心分離機の基本型式
2. 遠心分離機の選定と問題点
3. 遠心脱水のメリット・デメリット
4. スクリューデカンターの構造と分離原理
 - 4-1. 概要
 - 4-2. 構造
 - 4-3. 分離原理
5. スクリューデカンターの使用例
6. 廃泥水処理への応用
7. 写真

1. 遠心分離の基礎

1-1. はじめに

重力の代りに遠心力を利用する沈降、ろ過、水切りをそれぞれ遠心沈降、遠心ろ過、遠心脱水と呼び、これを総称して遠心分離という。遠心力は重力と異なり、装置材料や構造上の制約はあるが、人為的にいかほどでも大きくでき、非常に短い時間で分離を完了することができる。普通遠心分離は固-液系、液-液系の分散混合物の分離に適用されるが、泡抜きなどのような気-液系の分離にも利用されることがある。

遠心分離を行う装置を遠心分離機と総称し、またそれぞれの操作目的によって遠心沈降機、遠心ろ過機、遠心脱水機などと呼んでいる。他に遠心傾瀉機とか遠心清澄機とか呼ばれている装置もあるが、機能的には遠心沈降機とみなすことができる。なお、遠心力を利用する分離あるいは分級装置に液体サイクロンなどがあるが、これらの装置では、流体自身の旋回流を誘起し、浮遊粒子に遠心力を働かせ、分離、分級する。このように特別な回転容器をもたない装置は、遠心分離機とは呼ばない。あくまでも遠心分離機の特長は、この回転容器内で分離を行うところにある。

遠心分離機のうち、遠心沈降機は比較的微細な固体、液体粒子を分離し、遠心ろ過及び脱水機は数 mm までの個体粒子をそれぞれの分散媒（液体）から分離する目的で利用される。前者は孔なしの回転容器をもち、後者は孔のある回転容器をもち、各型式の遠心分離機内での、粒子の分離機構や性能について理論的に完全な説明を与えることは困難である。それは分離機内での流体の流れ、固液の給排機構などが分離の構造に与える影響の程度を予測することが不可能な為である。

なお、遠心分離機の発揮する遠心力の大小を表わすのに、しばしば“遠心効果”なる概念が用いられる。これは、重力の倍数が表わした遠心力の大きさ、すなわち無次元比である。

回転半径 R [m]、角速度 ω [rad/s] で等速円運動している物体に働く遠心力は $R\omega^2$ [m/s²] である。

この時の遠心効果 Z [-] は、

$$Z = \frac{\text{遠心力場の加速度}}{\text{重力による加速度}} = \frac{R\omega^2}{g} \quad (1)$$

で示される。ただし、 g は重力による加速度 [m/s²] である。

工学的には、1 分間の回転回数 N [r.p.m] で表わした回転速度を用いることが多

い。これを用いると、

$$Z = \frac{R(2\pi N/60)^2}{g} \cong \frac{RN^2}{900} \quad (2)$$

となる。

工業的に用いられる遠心分離機の遠心効果は、100～50,000 程度の範囲にある。

1-2. 遠心分離に関する物性

通常の遠心分離すなわち遠心沈降、遠心ろ過及び遠心脱水の処理対象は固-液系、液-液系混合物で、特殊な例として固-液-液 3 相混合物を扱う装置もある。

これらの操作設計に関する主な物性を表 1 にまとめた。

もちろん、これらの物性はずっとも基本的なものであって、この他にも単純に数字で表現できにくい性質もある。

表1 遠心分離の操作設計に必要な物性

物性ほか	操作		遠心ろ過	遠心脱水
	固液系	液液系		
固体の密度	○		○	○
液体の密度	○	○	※	○
液体の粘度	○	○	○	○
濃度または混合比	○	○	○	※
分散固体の粒径分布	○			※
分散液体の粒径分布		○		
固体堆積層の比抵抗 または透過率			○	○
固体堆積層の空隙率			※	○
固体の含液率			○	○
液体の表面張力				○

○：必要 ※：補助的な意味で必要

1-3. 遠心分離機の基本型式

前述のように固-液、液-液系処理の遠心分離機は、孔なし回転容器をもつ遠心沈降機と孔のある回転容器をもつ遠心脱水機（遠心ろ過機をこれに含めると）とに大別できる。

それぞれに属する基本型式を構造、目的、特長などによって分類すると、表2のようになる。

この他、回転軸の垂直、水平によって縦型、横型、回転速度の大小によって低速型 (2,000rpm 以下)、高速型 (10,000rpm 以上)、この中間型などに分離されることもある。

図1に各形式の概念(断面)図を示す。

表2 遠心分離機の分類

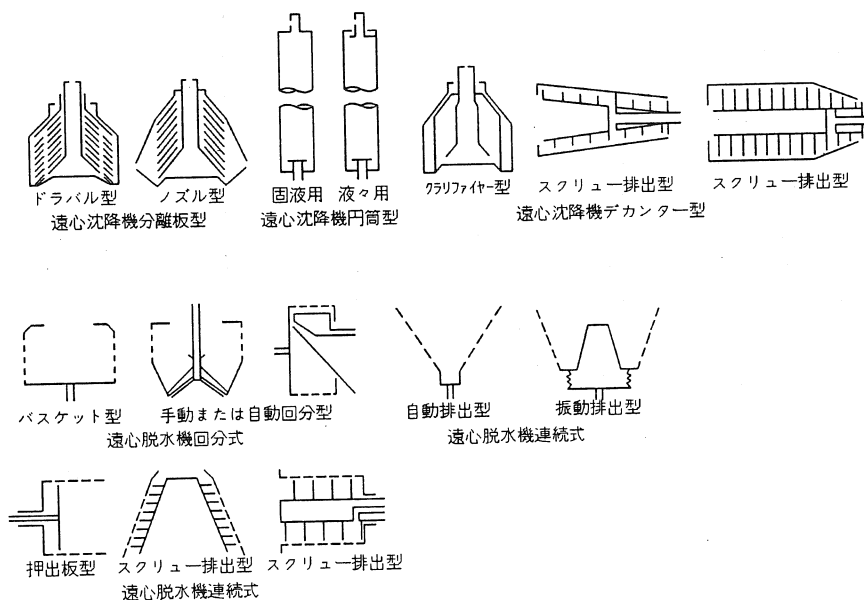
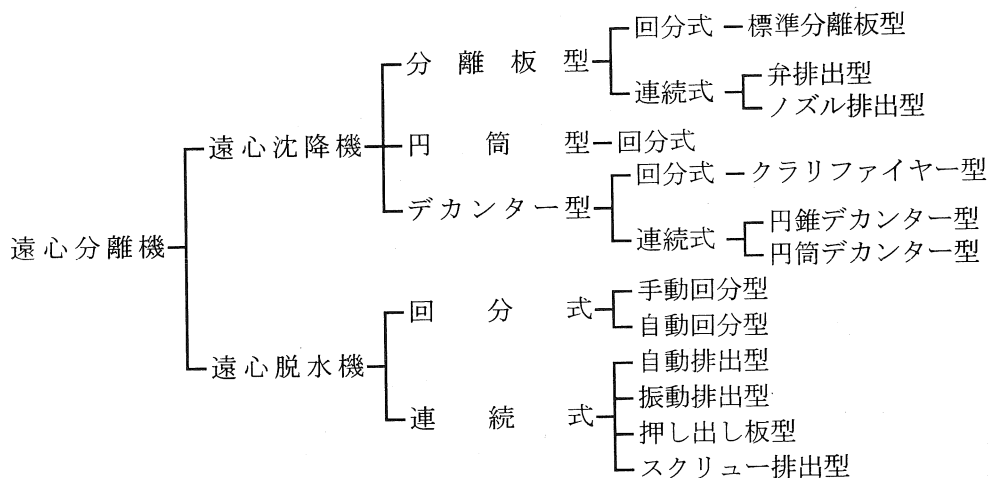


図1 遠心分離機の代表例

また、代表的な型式の概要を表3に示す。構造の基本的型式が同じでも、縦型と横型とでは若干特色も異なる。

表3 遠心分離機適応性

型式		分離板型	円筒型	デカンター型	回分型	連続型
操作						
分	級	○	○	○	×	×
清	澄	○	○	○	×	×
沈	殿濃縮	○	○	○	×	×
ろ	過脱	×	×	○	○	○
液	—液分離	○	○	×	×	×
乳	濁液分離	○	○	×	×	×
遠	心効果	700～ 10,000	10,000～ 60,000	500～2,000	500～ 2,000	500～ 2,000
所	要動力(HP)	～125	～3	～150	～40	～40
処	理能力給液(ℓ/hr)	120～7,000	4～6,000	1,500～9,000	—	～24,000
製	品固形物(t/hr)	～9	—	～60	1～10	1～30

2. 遠心分離機の選定と問題点

2-1. 型式の選定

分離性能の要求度の主要項目である分離液の清澄度と固体の乾燥度合のいずれを重視するかおよびその許容範囲がどのようになるかをまず考えてみる。

一般には分離液の清澄度合も優れかつ分離固体の乾燥度も優れた方がよいが、遠心分離機の設計目的および構造機能より分離液の清澄度または分離固体の乾燥度のいずれかに重点がおかれているので、これら二つの条件を高度に要求される場合には一つの型式の遠心分離機で処理することが困難になる。液体-固体の分離の場合には分離液の清澄度の要求度合は希望条件であり絶対条件ではない場合が多いので十分検討の必要がある。

(1) “ Σ ” による選定

沈降遠心分離機では高遠心力によって固体を分離し清澄液を得ることが主目的であって分離固体の乾燥度（以下脱水度とする）は遠心力によって回転ボウルに沈降圧縮された状態で決まる場合が多い。分離性能を数量的に表わす値として一般に使用される値として“ Σ ”があるので“ Σ ”を選定の条件として検討する。

“ Σ ”は分離液の清澄度を測定する値で重力場における沈殿槽で得られる清澄度と同じ値を得ることのできることを示す値であり遠心分離機では重力の代りに遠心力に置き換えて各々遠心分離機ごとに修正を加える。

沈降遠心分離機の各型式の“ Σ ”の値は幾何学的寸法と遠心力によって決まり Ambler によって次の数式が与えられている。

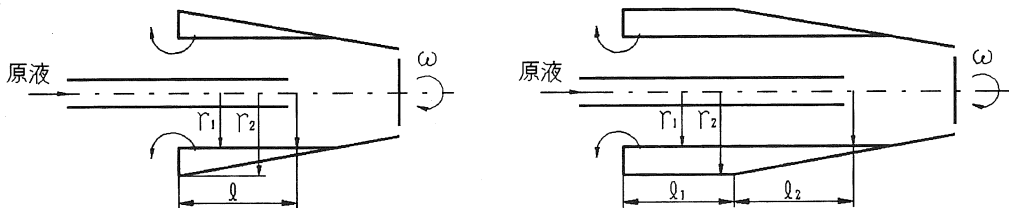


図 2

(イ) 円錐形ボウル

$$\Sigma = \frac{2\pi \omega^2 l}{g} \left\{ \frac{r_2^2 + 3r_2 r_1 + 4r_1^2}{8} \right\}$$

(ロ) 円筒型ボウル

$$\Sigma = \frac{2\pi \omega^2 l}{g} \left\{ \frac{3r_2^2 + r_1^2}{4} \right\} + \frac{2\pi \omega^2 l_2}{g} \left\{ \frac{r_2^2 + 3r_2 r_1 + 4r_1^2}{8} \right\}$$

ここに

ω : 角速度	[rad/sec]
r_1 : 回転液層の回転中心軸よりの内半径	[cm]
r_2 : 回転液層の回転中心軸よりの外半径	[cm]
l : 回転液層の軸方向の長さ	[cm]
l_1 : 円筒ボウルの回転液層の軸方向の長さ	[cm]
l_2 : 円筒ボウルの回転液層の軸方向の長さ	[cm]

(ロ) の円筒型ボウルの“ Σ ”の第二項は円錐形ボウルの“ Σ ”と同式である。ただし、“ Σ ”値はスクリーンの容積分約6%差引く。

(2) Σ と Q_0 との関係

遠心分離機の処理量を“ Q ”であらわすと“ Q ”と“ Σ ”には次の関係がある。ここで示される“ Q ”は分離液量である。

Q_0/Σ は沈降速度をあらわす値であるので重力場における沈降速度 V_g を重力の場に置き換えることによって遠心分離機の Q/Σ の関係を知ることができる。

重力場における沈降速度はStokesの法則によって計算することが出来る。

$$V_g = \frac{\Delta \rho d^2 g}{\mu} \quad \text{cm/sec}$$

でありここに

$\Delta \rho$: 固体と液体の比重差	[g/cc]
d : 固体の最小粒径 (球と仮定)	[cm]
g : 重力加速度	[980cm/sec ²]
μ : 液の粘度	[c. p.]

$Q_0/\Sigma = 2V_g$ であるので

$$\frac{Q_0}{\Sigma} = \frac{\Delta \rho d^2 g}{36\mu}$$

となる。

遠心沈降の処理量と Q/Σ の値より適用機種を選定する手引きとして表4が示されている。

ここで適用される“ Σ ”はもともと重力場における沈降速度 V_g を求めてこれを遠心力の場に適用するが各型式の構造が異なるための係数を乗ずる必要がある。この係数を表5に示す。

表4 沈降遠心分離機の処理量と適用機種

遠心沈降分離機の形式	適用範囲	
	Q[l/min]	Q/ Σ [cm/sec]
円筒型	7~63	$5 \times 10^{-6} \sim 3.5 \times 10^{-2}$
分離板型	16~180	$7 \times 10^{-6} \sim 4.5 \times 10^{-4}$
スクレーパー・カンター型	13~227	$1.5 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-4}$

表5 沈降遠心分離機における“ Σ ”の係数

遠心沈降分離機の型式	“ Σ ”の係数
円筒型	90
分離板型	45
スクレーパー・カンター型	60

(3) 原液の濃度による選定

(2) で述べた Q_0 の値は分離液量で表示されているため原液の固体濃度は無視されている。固体の濃度があまり濃いと重力場における沈降速度は見掛けの比重差が小さくなるとか、粒子間の干渉などによって沈降速度に影響を受ける。また、原液濃度があまり大きいと沈殿分離した固体を機外に取り出すため運転を停止する必要のある円筒型、分離板型では分離運転の時間が短くなるとか、遠心分離機の構成部分の応力が固体処理量で規定されるものは、原液の濃度も判定の基準として検討の必要がある。以下各型式について記載すると

①円筒型

原液中の固体量が1%を越えると一般には適用できない。実用的には分離固体を機外に取り出すため運転を停止するピッチは30分間隔が限度である。

②分離板型

分離板型にはディスク型、セルフクリーニング型、ノズル型があり、ディスク型は一般に低濃度のものに適用され順次セルフクリーニング型、ノズル型となる。ディスク型の実用濃度は分離固体排出のため運転停止のピッチは30分を限度としてセルフクリーニング型では5分が限度である。ノズル型は分離固体を液状で排出するので分離固体に粘着力がなく塊上にならない限り使用できる。

(4) 分離固体の脱水度

分離固体の脱水度はスクリュウデカンター型を除いては十分ではない。しかし、遠心沈降で要求される脱水度は含有固体量が少なく圧縮性固体が多いので一般には要求度合が低い。

①円筒型

高遠心力で分離されるがボウル内壁に強く圧縮されるため微粒子の場合でも他の型式より含水率の低い固体を得ることができる。

②分離板型

(イ) ディスク型

固体の脱水度は低く一般に泥状である。

(ロ) セルフクリーニング型

分離固体が内部に蓄積すると自動的に輩出されるが内部に残留している液も同時に排出されるため泥状となるのが通常である。しかし選択型といって分離固体を一部残して排出できるセレクトィブ型では液体の混入がないので或程度の脱水度を得ることができる。

(ハ) ノズル型

原液の濃縮に用いられるもので液状で排出されるが原液と濃縮液との比は通常1:5~10である。

③スクリュウデカンター型

沈降遠心分離機の中では最もすぐれた脱水度を得、広範囲に使用できるので公害防止装置のスラッジの脱水に非常に広く使用されてきた。ただし本型式ではボウル内で沈殿分離した固体が遠心力の方向に打ち勝ってスクリュウで搬送できる状態であることが本質的な問題である。合成樹脂の脱水に本機を用いると遠心ろ過機で得られると同時の脱水度を得ることができ、円錐ボウルの方が円筒ボウルよりややすぐれている。

3. 遠心脱水のメリット・デメリット

各項目（処理性能、運転管理、経済性）における各脱水法のメリット・デメリットを表3に示した。表を見ると各項目で遠心脱水が他脱水法と比較して、非常に性能が良いことが分かる。

表6 各脱水法の性能

	遠心脱水	ベルトプレス	真空脱水	加圧脱水
処理性能				
脱水性	汚泥濃度が低くても脱水は可能。汚泥性状や濃度の変動に容易に対応でき安定した処理性能が得られる。	汚泥濃度が低いと脱水が難しい。コロイド状の汚泥はろ布に目詰まりを起こし脱水困難な場合がある。汚泥性状により処理能力が変動する。	汚泥濃度が低いと脱水が難しい。コロイド状の汚泥はろ布に目詰まりを起こし脱水困難な場合がある。汚泥性状により処理能力が変動する。	汚泥濃度が低い場合、脱水時間を長くとらないと脱水が悪い。コロイド状の汚泥はろ布に目詰まりを起こし脱水困難な場合がある。汚泥性状により処理能力が変動する。
SS回収率	良い。通常は99%程度回収できる。	悪い。ろ布を通過したろ液とろ布を洗浄した洗浄水を含めると回収率は通常90%以下。	悪い。ろ布を通過したろ液とろ布を洗浄した洗浄水を含めると回収率は通常90%以下。	悪い。ろ布を通過したろ液とろ布を洗浄した洗浄水を含めると回収率は通常90%以下。
凝集剤	少量の高分子凝集剤を添加するだけで良い。	少量の高分子凝集剤を添加するだけで良い。	石灰、塩化第二鉄を多量に使用する。	石灰、塩化第二鉄を多量に使用する。
ケーキ含水率	やや悪い。	悪い。	やや悪い。	良い。
ケーキの量	少ない。	少ない。	石灰などを多量に添加するためケーキ量は多い。	石灰などを多量に添加するためケーキ量は多い。
ケーキの量後処理	少量の高分子凝集剤を添加するだけであり、肥料などとして使用できる。焼却の場合は腐食性が少ない。	少量の高分子凝集剤を添加するだけであり、肥料などとして使用できる。焼却の場合は腐食性が少ない。	石灰が多量に入っており、アルカリ性で肥料にする場合は酸性土壌であることが必要。塩化第二鉄が入っているため焼却の場合排ガスに腐食性がある。	石灰が多量に入っており、アルカリ性で肥料にする場合は酸性土壌であることが必要。塩化第二鉄が入っているため焼却の場合排ガスに腐食性がある。

	遠心脱水	ベルトプレス	真空脱水	加圧脱水
運転管理				
装置の複雑さ	補機類が少なく、プロセスが単純。	薬品供給装置は遠心脱水と同様であるがろ布洗浄、換気、脱臭などの設備が必要になる。	補機類が多く、複雑となる。	補機類が多く、複雑となる。
遠隔操作	全運転を遠隔操作することが可能。自動化も容易。	運転後の洗浄が必要で、運転中もケーキの剥離が悪い場合は常時人がついて清掃しなければならず自動化は困難。	始動時、石灰、塩化第二鉄の適性添加率を決定するのに時間を要し、運転中もケーキ剥離が悪い場合は常時人がついて清掃しなければならず自動化は困難。	始動時、石灰、塩化第二鉄の適性添加率を決定するのに時間を要し、運転中もケーキ剥離が悪い場合は常時人がついて清掃しなければならず自動化は困難。
管理者	管理者に頼る要素が少ないので誰でもすぐに運転できる。	熟練した管理者が必要。	熟練した管理者が必要。	熟練した管理者が必要。
有効稼働時間	準備、清掃に時間を要しないので作業時間中フル稼働できる。24時間連続運転も可能。	運転準備、終了後の清掃に時間を要するため、実稼働時間が短い。	運転準備、終了後の清掃に時間を要するため、実稼働時間が短い。	運転準備、終了後の清掃に時間を要するため、実稼働時間が短い。
作業環境	密閉式で臭気の発生は少なく、埃も皆無である。防音カバーに入れることにより騒音は低下できる。	汚泥の臭気が発生する。室内は湿度が高くなる。	汚泥の臭気、石灰の埃が発生する。室内は湿度が高くなる。真空ポンプの騒音が大きい。	汚泥の臭気、石灰の埃が発生する。室内は湿度が高くなる。
洗浄水	停止前に数分間洗浄するだけで良い。	ろ布の洗浄に多量の洗浄水を使用する。	ろ布の洗浄に多量の洗浄水を使用する。	ろ布の洗浄に多量の洗浄水を使用する。
経済性				
設置面積	小さい。	大きい。	大きい。	大きい。
建設費	安い。	高い。	高い。	高い。
機械工事費	安い。	安い。	やや高い。	高い。
管理費	安い。	やや高い。	高い。	やや高い。

4. スクリューデカンターの構造と分離原理

4-1. 概要

現在の温泉・水井戸掘削などの泥水工法では、十分な掘屑の除去が作業能率に影響する。従来のスクリーンとサイクロンによる処理では砂(1~2mm以上)と微砂(0.1~1mm)は除去できるが、シルト粒子(0.02~0.1mm)の除去は困難である。

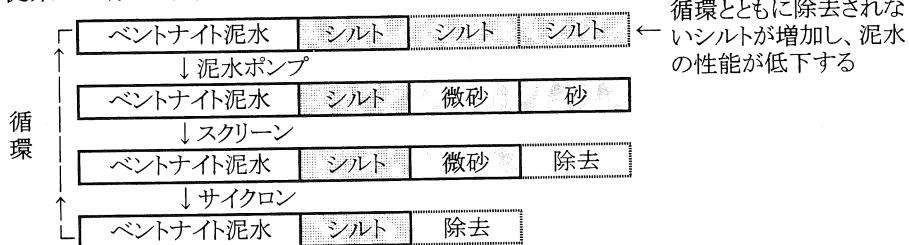
従来では除去が困難だったシルト粒子をスクリーデカンターで除去する。こうして十分なシルト分の除去を行うことにより良質な泥水状態が保たれ、作業能率を向上させる。

○シルト粒子を取り除くことによる効果

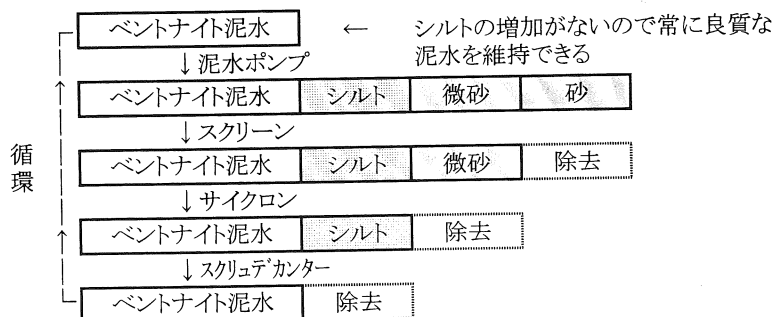
- ・ 泥水の比重と粘性が安定し、泥水ポンプの効率が向上し、部品磨耗が減少します。
- ・ 張付きが減り、坑内トラブルが減少します。
- ・ 廃泥が少なくなり、泥材が節約できます。
- ・ 坑壁に薄くて強い泥膜を形成し、坑壁の崩壊などの事故が減少します。

表 7 掘屑除去比較表

・従来の一般的掘屑除去



・スクリーデカンターを加えた掘屑除去



4-2. 構造

スクリーデカンターの主要部は以下の部分から構成されている。第2図

①ボウル

円筒型と円錐型の各ボウルを一体化した回転体で、高速回転により高い遠心力を発生し清澄液と固形物に分離します。

②スクリー

ボウル内壁との間に僅かな隙間を設け、ボウルに対して僅かな回転差を付け、ボウル内壁に沈降堆積した固形物を連続的に円錐部へ掻き寄せ、傾斜部分で脱水しながら固形物排出口まで搬送します。

③ギヤーボックス

スクリー駆動用遊星歯車式差動装置で、本体とボウルが同一回転し中心軸は安全レバーによって固定され、出力軸は内部機構によりボウルと僅かな回転差を生じスクリーを駆動させます。

④ベアリングケース

ボウルの両端に位置するケースで、内部に高速回転用のベアリングが組込まれています。

⑤カバー

回転体による事故防止と、同時に連続的に分離された清澄液と固形物の飛散を防止し下部の各専用排出口に集めます。

⑥Vプーリ

モーターからVベルトによって回転体に動力を伝達します。

⑦フィードパイプ

機械中心部を通り、機械内部の的確な位置に原液を供給するパイプです。

⑧安全装置

搬送固形物の増加などで、スクリーの搬送トルクが設定限界以上に達した場合、安全装置が作動し、付属のリミットスイッチによって給液ポンプ及びモーターなどの電気回路が制御できます。

⑨防振装置

⑩共通台板

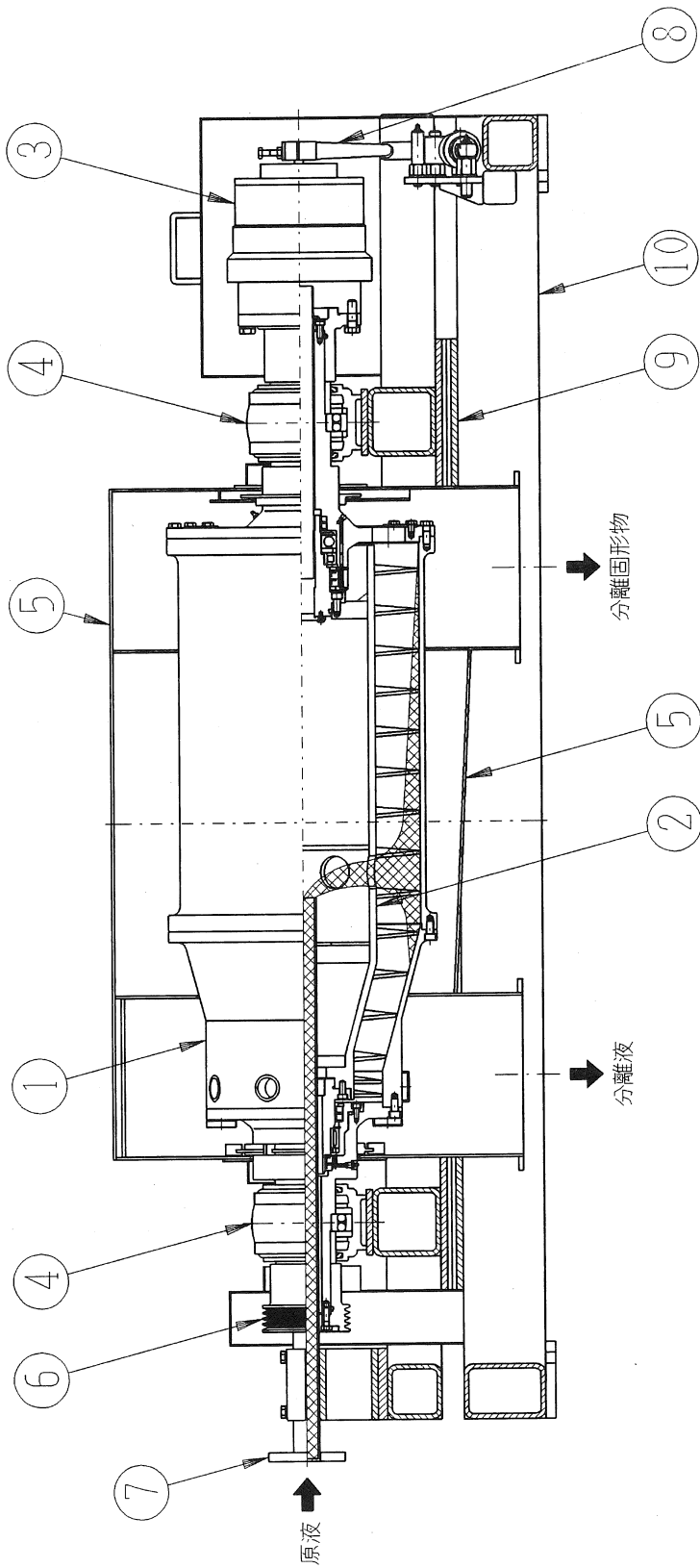


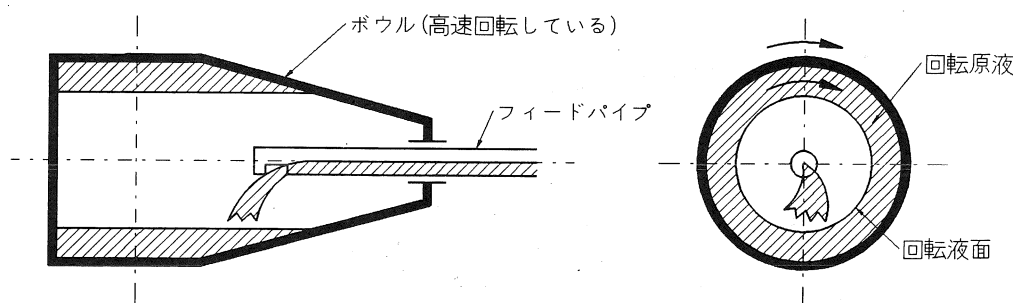
図3 スクリューデカンターの構造

4-3. 分離原理

スクリーデカンターは、供給された原液を連続的に固形物と清澄液に分離・脱水する機械である。この分離・脱水の原理と固形物と清澄液がどのように取出されるかについて以下に示す。

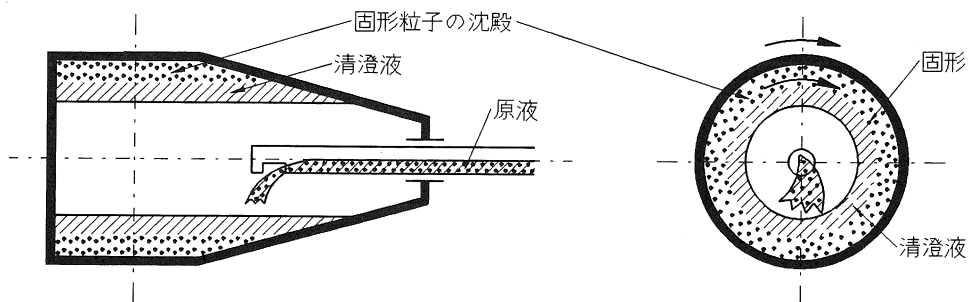
1

高速回転中のボウル内に、フィードパイプから原液(懸濁液)を供給する。



2

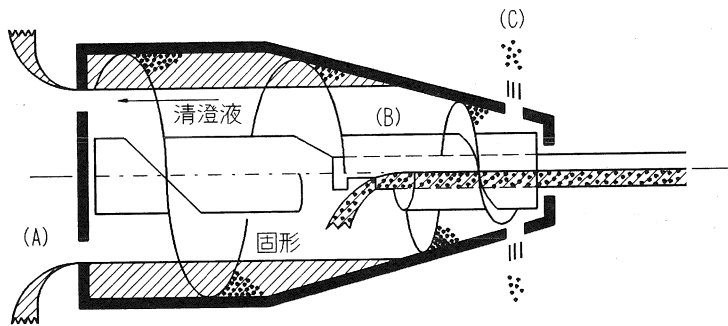
回転液面を形成した原液が受ける遠心効果は、重力加速度の3,500倍にも達する強大なものである。この強大な遠心力により、供給された原液中の比重の大きな固形粒子は速やかに沈降し、ボウル内壁に図のように清澄液と固形物の二層に分離する。



3

図の状態に分離された清澄液と固形物を連続して機外に取出すためには、図からも分かるように、

- (1) 分離した清澄液を取出すためには、ボウルの大径側に排出口Aを設け遠心力によってオーバーフローさせます。
- (2) 分離した固形物を取出すためには、スクリュー・コンベアーBを設けボウルに対して僅かな回転差を持つスクリューによってボウルの円錐部へ掻き寄せ、ボウルの小径側に設けた固形物排出口Cから遠心力によって振り飛ばします。



5. スクリューデカンターの使用例

当社製スクリーデカンター型遠心分離機は、泥水処理量によって現在150、300、800（ℓ/min）の3機種がある。

その選定方法は、使用する泥水総量に対してどの位の時間で処理させるかによる。処理量の小さい機種を連続的に使用するか、処理量の大きい機種を断続的に使用するかで機種を選定する。

〈使用実績として〉

容量12m³の貯水タンクが2台、吐出量が1000ℓ/minの泥水ポンプを使用していた現場では、処理量300ℓ/minのスクリーデカンター型遠心分離機を使用していた。スクリーデカンター型遠心分離機を導入した当初は、泥水比重が1.25あり、低速回転で連続運転していた。約2日間使用して大幅にシルト分が除去され、泥水比重が目標値の1.1前後になってからは、泥水の状態を確認しながら断続運転した。

下の写真1のように貯水タンク上部に設置し、水中ポンプで泥水をスクリーデカンターに供給していた。

同現場での評価として、泥水性状が安定したので掘削井戸の孔壁や使用機器にも好影響を与え、順調な掘削作業に貢献したとの高い評価を得られた。

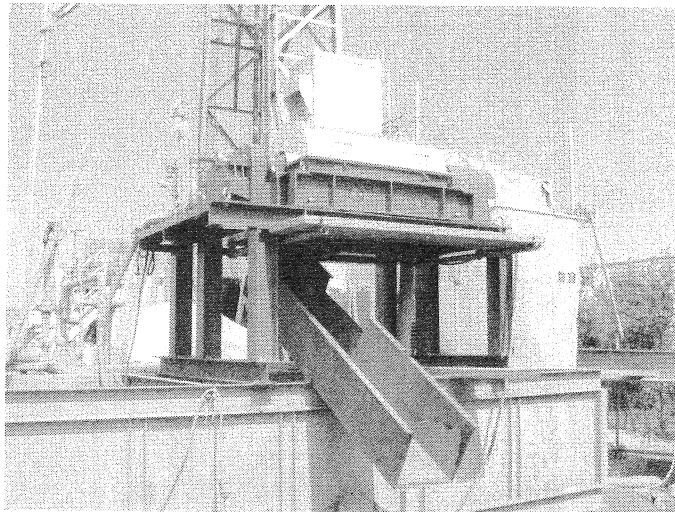


写真1 スクリューデカンター（SD-14M-1型）

6. 廃泥水処理への応用

近年、建設工事やボーリング工事などにより発生する廃水を河川などに放流することは自然破壊につながり、発生した廃水に対して適切な処理を行う必要性が高まってきた。

現在、工事現場で発生した廃水の処理は、産業廃棄物処理業者に委託するか工事現場で処理を行っている。問題点として前者では、コストがかかる、処理業者・処分場の不足があり、後者では、不完全な処理などがあげられる。

温泉などのボーリング工事では、使用する泥水を常に良好な状態に保つ事は非常に重要である。工事中は自動化されたスクリーデカンターが泥水成分を検知して泥水を良好な状態に保つよう管理する。そして工事終了後にはスクリーデカンターを組込んだ廃水処理装置で、工事により発生した廃水を水と泥に分離し、処理し易い状態にする。

以下の図のような自動化された廃泥水処理装置が考えられる。

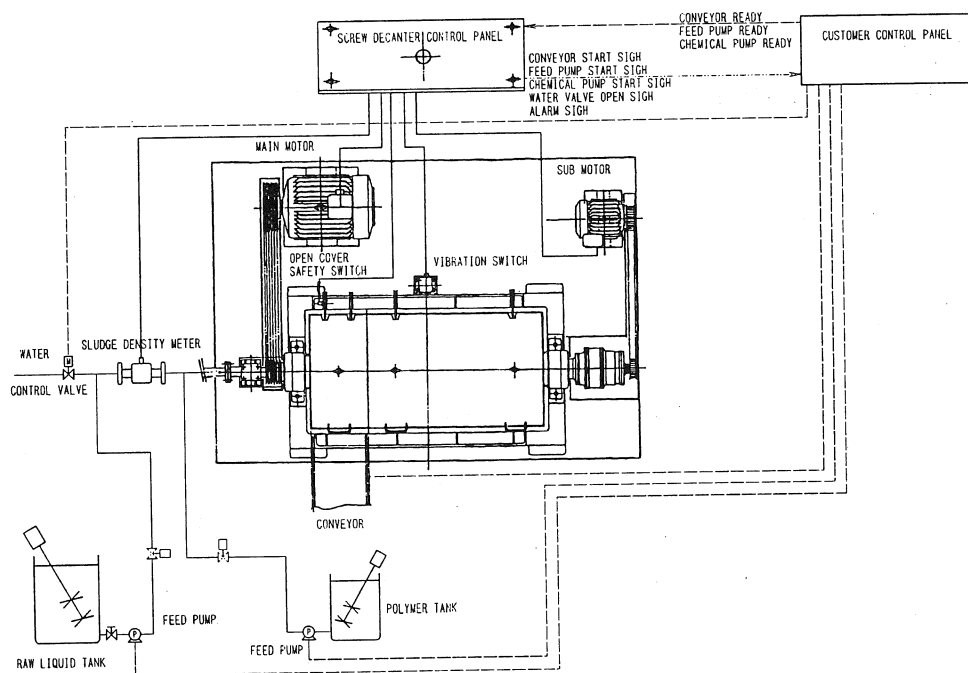


図4 廃泥水処理装置

7. 写真

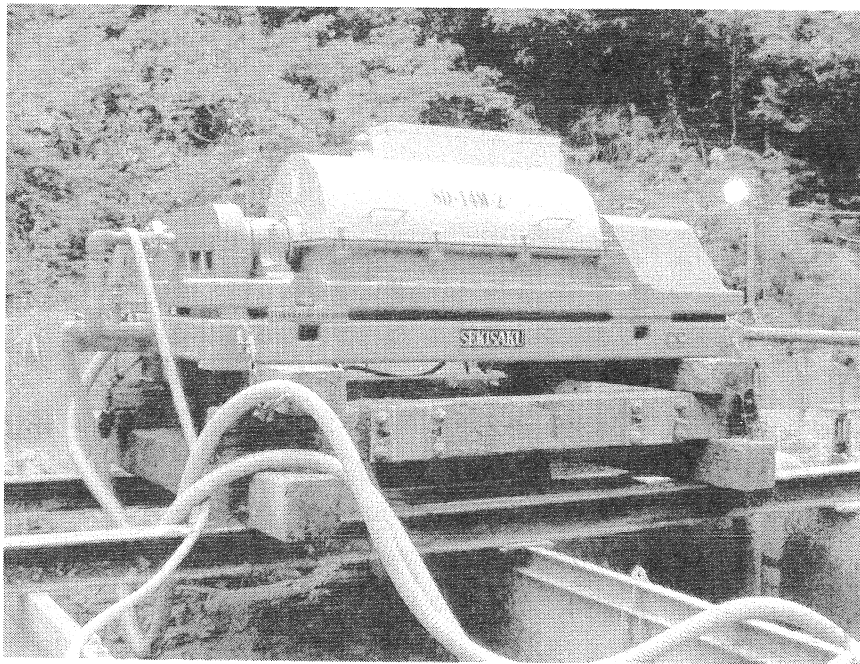


写真2. スクリューデカンター (SD-14M-2)

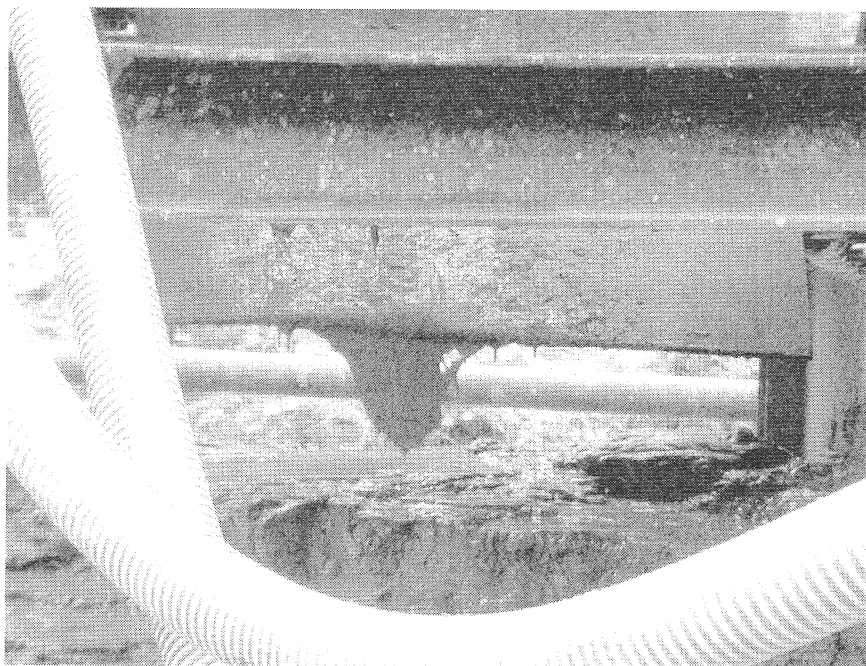


写真3. 除去シルト

最近の掘削用泥水について

株式会社テルナイト
小玉和弘

1. はじめに

泥水は、ロータリー工法の出現以来、ボーリング工事と常に深く関わっており、地下資源開発、地質調査等のあらゆるボーリング工事に重要な役割を担ってきている。

これまでのボーリング工事においては、ベントナイトを主体とした泥水が使用され、これに少量の脱水減少剤（テルセローズ等）、分散剤（リボナイト等）が添加されていた。しかし、近年、地下資源開発や地質調査ボーリングにおいて、掘削深度がより深くなり、掘削中、抑留、崩壊、張付き等の掘削障害に遭遇する機会が多くなった。これらは殆どが堆積岩、とりわけ泥岩層中の粘土鉱物の水和膨潤、分散に起因するものである。そして更には、この様な泥岩層に遭遇した場合、地質の泥化により泥水性状が悪化し、調泥回数が多くなることで、結果的に廃棄泥水量が増加し、処理コストの増大という大きな問題に繋がっている。

この為、泥岩層の掘進においては、これら掘削障害を未然に防ぎ、より安定した坑壁の維持が可能となる泥水が求められた。また、環境問題上、工事現場から生じる廃棄泥水に厳しい規制が課せられるようになり、安全で処理のしやすい泥水が要求された。

最近、㈱テルナイトでは、坑内安定、廃棄泥水量の減容化を目的として、以下三つの新規掘削用泥水を開発し、実際の掘削工事で導入され多くの良好な実績をあげている。

- ① フレックス泥水：グリコール系ポリマー泥水
- ② イージードリル：ポリアクリルアミド系ポリマー泥水
- ③ パワー泥水：特殊混合金属水酸化物高粘性泥水

本発表では、この三つの掘削用泥水について紹介すると共に、これまでの使用実績について報告と、これら新規泥水を用いた泥水プログラムの最適化について述べる。

2. フレックス泥水

グリコール系ポリマーであるテルフレックスをベースにしたフレックス泥水は、主に深掘りの温泉ボーリング用高機能泥水として平成8年度に開発され、これまで多くの温泉ボーリングに導入され、現在迄に多くの良好な実績を上げている。

最近の温泉ボーリングは掘削深度が深くなり、堆積岩中の粘土鉱物に起因する崩壊、張付き等の問題が多く生じるようになった。更に、この様な地層に遭遇した場合、地質の泥化による泥水性状の悪化が生じ調泥回数が頻発することで、廃棄泥水量が増加している。

フレックス泥水はこのような泥岩障害を防止し、堆積岩層掘削における工事リスクを回避すると共に、廃棄泥水を低減し、さらに揚湯試験期間を短縮する事によって、結果的にトータル工事コスト削減を目的に開発された泥水である。以下にフレックス泥水の特徴及び、標準配合と泥水管理について述べる。

2-1. フレックス泥水の特徴

表1にフレックス泥水の効果と機能についてまとめた。

表1 フレックス泥水の効果と特徴

特徴	効果
良好な潤滑性	ロッド昇降時の負荷低減 回転時の過剰トルク低減 → 抑留防止
粘土鉱物の水和膨潤分散抑制	粘土層押し出し防止 崩壊防止 ビット、スタビ部の粘土張付き防止 → 泥岩層の安定
泥水安定性の向上	ソリッド許容量が大きい 優れた耐電解質汚染 → 安定した泥水性質、廃棄泥水の減容化
環境に優しい	廃棄泥水量の減容化 濾水が無色 無毒、無公害

また、図1にテルフレックスの水和抑制機構を示す。

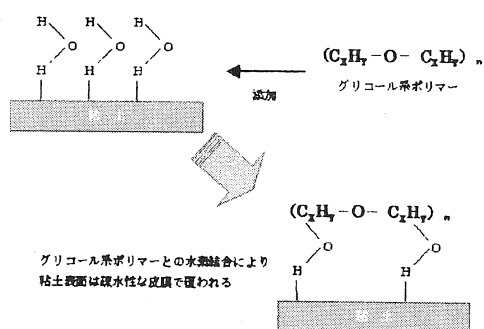


図1 テルフレックスの水和抑制機構

清水中で粘土表面は水分子を取りこみ水和膨潤するが、グリコール系ポリマーは粘土表面に直接、または、水和した粘土表面に水素結合により吸着し、疎水性の被膜を形成して、粘土鉱物内部への連続的な水分子の浸入を防止する。

これにより粘土鉱物の水和膨潤、分散を効果的に抑制する。また、この疎水性の被膜は潤滑性を帯びており、粘土層のみならず、ビットやツールズ表面にも形成されることで潤滑性が向上し、抑留事故を防止すると共に軟質泥岩のビットやツールズの張付きを防止する。

2-2. 標準配合と泥水管理

表2にフレックス泥水の標準配合をまた、表3には一般的泥水性状を示した。

表2 フレックス泥水の配合

推奨調泥剤	使用目的	添加濃度
ベントナイト	泥壁形成 増粘	2～5%
テルフレックス	潤滑 粘土抑制	2%以上
テルポリマー (HG)	増粘 脱水減少	0.3%±
ソーダ灰	アルカリ補給 Ca ²⁺ 除去	0.2%±
デフォーマーNo. 50 or No. 15	消泡	少量

表3 フレックス泥水の一般性状

比重：	1.02±
ファンネル粘性 (秒)	45
PV (cp)	15
YV (100lb/ft ²)	10
Gel (100lb/ft ²)	2～3
脱水 (cc)	12
pH	9.5～10

フレックス泥水は従来のベントナイト分の多い泥水とは根本的に組成が異なる。フレックス泥水においてはベントナイトは泥壁形成剤として用い、増性や脱水特性の調整はテルポリマー (HG) を用いる。使用するベントナイト濃度を最小限に抑えることによって、イオン等の汚染で生じる流動性質の悪化を防ぐと共に、揚湯試験期間の短縮、生産層 (温泉源) のダメージをも防止する。

フレックス泥水の管理に関するポイントを以下に記す。

- ① 使用ベントナイトはエクステンダーを含まない国産ベントナイトの使用を推奨する。
(クニゲルV1、浅間ベントナイト)
- ② フレックス泥水の粘性コントロールはテルポリマーHGにて行う。
- ③ 脱水コントロールが必要な場合はテルポリマーLGを併用する。
- ④ フレックス泥水のアルカリコントロール及びCa²⁺除去はソーダ灰にて行う。
- ⑤ テルフレックスの適正濃度は、脱水試験で得られた濾水を用いて行う。フレックス泥水の濾水を温め、白濁する温度 (曇点) が50℃以下になるようであればテルフレックスの補給を行う。

2-3. フレックス泥水が適用される工事

- ① 粘土鉱物を多く含む堆積岩層（泥岩層、凝灰岩層等）
- ② 温泉、地質調査ボーリング

3. イージードリル泥水

工事施設の立地条件に多くの制約がある地すべり、ダム、海洋といった地質調査を目的としたボーリング工事では、大量の調泥剤のストックが現場で出来ないので、少量で簡単かつ効率的に作泥が出来る調泥剤が求められた。また、この調泥剤には、軟弱地盤中のマトリックス中の粘土部流出によるコア回収率低下を防止するため、粘土部分の安定化で、コア回収率を向上させる機能も同様に求められた。これらの二つの要求に応えるべく開発したのがイージードリルである。

イージードリルはアクリルアミド／アクリル酸の共重合物を主成分とした極めて高分子タイプのポリマーであり、優れた増粘性と粘土鉱物水和膨潤、分散抑制機能を有している。イージードリルは、少ない添加量で簡単に泥水が出来、かつ軟弱地盤におけるコア回収率も向上させる、高機能でかつ、経済的、環境的に優しい調泥剤である。

3-1. イージードリル泥水の特徴

表4にイージードリル泥水の特徴を記した。

表4 イージードリル泥水の特徴

特 徴	効 果
優れた増粘性	少量で高い粘性を発現 運賃節減
簡単な操作性	液体品なので簡単な攪拌で作泥可能
粘土鉱物水和膨潤、分散抑制効果	粘土層押出し防止 崩壊防止 ビット、スタビ部の粘土張付き防止 コアの安定化
良好な潤滑性	ロッド昇降時の負荷低減 回転時の過剰トルク低減
環境に優しい	廃泥処理がし易い 無毒、無公害

イージードリル泥水の粘土鉱物に対する水和膨潤、分散抑制効果に関するメカニズムは先のテルフレックスの場合と似ている。

下に記した図 2 より、水溶液中のイーゼードリルは分子構造中のアクリル酸ソーダ側のナトリウムイオンを放出し、陰電荷を帯びる。これが粘土粒子の陽電荷側と結びついて粘土全体にゼリー状の被膜を形成する。

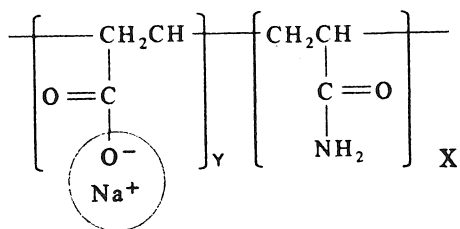


図 2 イーゼードリルの構造

イーゼードリルの長いポリマー鎖も潤滑性を帯びており、泥壁とストリングスの摩擦抵抗を減少させ、ロッド回転時の過トルク、ロッド昇降時の過負荷防止に役立つ。

また、二重管工法における外管推進の際も循環泥水とは別に、外管にイーゼードリルを単独で塗布すると“滑剤”として働き、スムーズな管の推進が可能となる。

イーゼードリルは非常に長いポリマー鎖を有しており、電氣的に結合する粘土粒子は複数におよぶ。

故に、イーゼードリルは粘土鉱物の水和分散抑制効果に優れており、この効果が地層の分散を防止し、裸坑壁の安定化と共にコアの回収率向上にも寄与する。

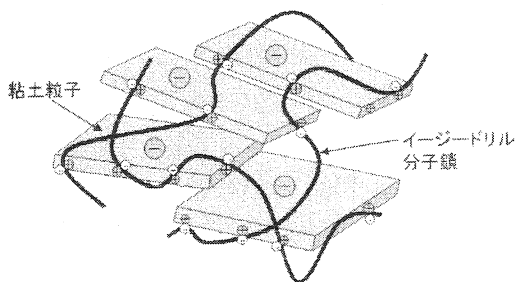


図 3 イーゼードリルの分散抑制効果

3-2. 標準配合と泥水管理

表 5 にイーゼードリル泥水の泥水標準配合、表 6 に一般性状を記す。

表 5 イーゼードリル泥水の泥水標準配合

推奨調泥剤	使用目的	添加濃度
ベントナイト	泥壁形成	0～3%
イーゼードリル	潤滑 粘土鉱物抑制	0.1～0.3%±

調査ボーリングにおいて、通常はイーゼードリル溶液（ベントナイトフリー）で使用するが、砂礫層が発達している地層では、丈夫な泥壁が必要となるので、軟弱な砂礫層掘進時には、ベントナイトを3%±程度併用する。

表6 イージードリル泥水一般性状 (0.2%イージードリル溶液)

泥水比重	1.005
ファンネル粘性 (秒)	45±
pH	7~7.5

イージードリルの添加量と泥水のファンネル粘性の関係を図4に記す。

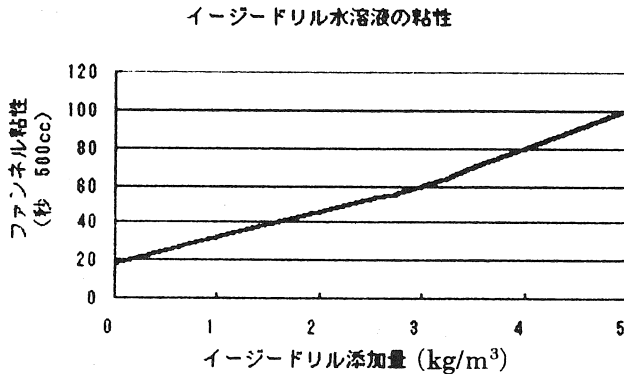


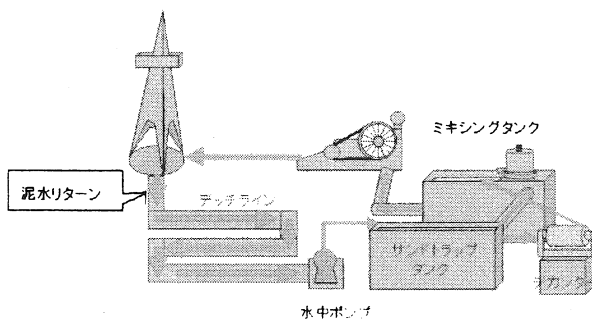
図4 イージードリルの添加量と粘性の関係

イージードリル泥水を使用した場合の泥水管理のポイントを以下に記す。

- ① 粘性コントロールはイージードリルの添加量で決定する。
- ② 軟弱砂礫層を対象とする場合は、ベントナイトを3%程度使用する。

イージードリルは長いポリマー鎖で粒子表面にポリマーの被膜を作る特徴がある。この作用はマッドスクリーンでも生じ、通常使用しているマッドスクリーンで、イージードリルを使用した場合、大量の泥水がスクリーンをオーバーフローするので注意を要する。

イージードリル泥水は、分散抑制効果によりスライムは微細化されずに、地表へ上がってくる。この分散抑制効果を利用してスライムの沈殿を促進させるべく、図5の様にフローラインの工夫を施せば、マッドスクリーンを使用しなくとも、ソリッドコントロールが可能となる。



- ① デッチラインは長くする。
- ② 沈殿槽を設ける。
- ③ 微細ソリッドの除去にはデカンターの設置を薦める。

図5 マッドスクリーンを使用しないフローラインシステムの例

3-3. イージードリル泥水が適用される工事

- ・ 地質調査ボーリング：特に粘土層を対象としたボーリング工事に向いている。

4. パワー泥水

パワー泥水は特殊混合金属の水酸化物を主成分とするパワービスと少量のベントナイトより配合されたユニークな流動性質を持つ泥水システムである。その特性とは、流動の遅い状態では、非常に高い粘性を発現するが、流動の早い状態では、サラサラとした低粘性で流動する、いわゆる“チキソトロピック性”である。

この特性は、崩壊性を伴う軟弱砂礫層に適しており、大口径水井戸、軟弱地盤を水平に掘削する弧状推進で既に良好な実績をあげている。

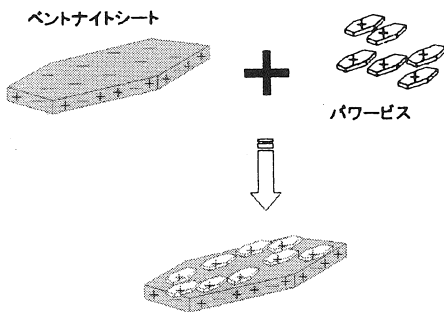
4-1. パワー泥水の特徴

表 6 にパワー泥水の特徴

表 7 パワー泥水の特徴

特 徴	効 果
優れたチキソトロピック性	流動中は低粘性、低ポンプ圧 流速の遅いところでは高粘性 →坑内洗浄力に優れる
安定したゲルストレングス (径時変化しない)	ポンプ停止中の崩壊防止 再ポンプ時の過剰排圧防止 逸泥防止効果
優れた耐電解質汚染	塩水、海水の浸入でも泥水性質は安定 耐セメント汚染も同様に安定
シンプルかつ少量の泥水配合	少量の調泥剤で高粘性流体 → 作泥労力の低減

パワービスの泥水機能に関するメカニズムは、先のフレックス泥水、イーゼードリルの場合と異なる。



水溶液中のベントナイト粒子は表面に陰電荷を帯びている。それに対し、水溶液中のパワービスは陽イオンな状態になっており、電気的な結合によりパワービスはベントナイト表面に多量に吸着し、図 6 のベントナイト/パワービスコンプレックスを生成する。

図 6 ベントナイト/パワービスコンプレックスの生成

このベントナイト/パワービスコンプレックスの表面で結合しているパワービスの陽電荷とベントナイト粒子端面の陰電荷との電氣的引力によって、それぞれのベントナイト/パワービスコンプレックスは引き寄せられ、凝集体ユニットを作る。

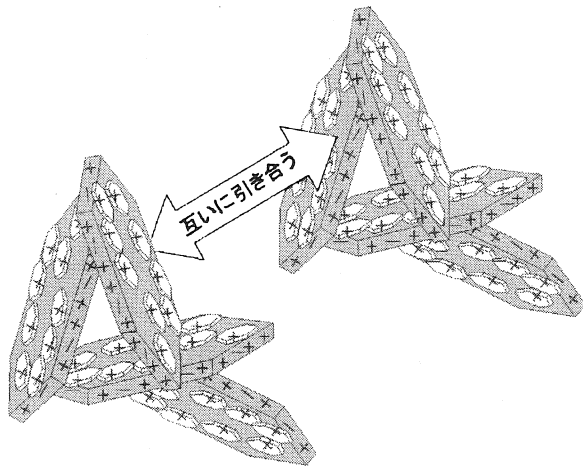


図7 凝集メカニズム

先のフレックス泥水、イーゼードリル泥水の増粘効果は、溶解している高分子ポリマー鎖の水和膨潤により泥水の粘性が増加するのに対して、このパワー泥水の場合は、ベントナイト/パワービスコンプレックス及び、その凝集体ユニットがそれぞれ引き合う事によって泥水の粘性が高くなる。従って、この凝集引力より流動が大きいと泥水の粘性は低粘性となり、凝集引力が流動より大きいと泥水の粘性は高くなる。

これがパワー泥水の高いチキソトロピック性を生み出すメカニズムである。なお、ゲルストレングスの成長は非常に小さい為に、高粘性な状態においても、長時間の静置で泥水が固化するような事は無い。

4-2. 標準配合と泥水管理

表8にパワー泥水の標準配合を示す。

表8 パワー泥水の標準配合

推奨調泥剤	使用目的	添加濃度
ベントナイト	増粘基本剤	3%±
パワービス	増粘剤	0.3%±
苛性ソーダ	アルカリ剤	0.05%±

パワー泥水で用いるベントナイトは高品位ベントナイト（スーパークレイ、クニゲル GT、テルゲル推奨）を使用する。なお、アルカリ剤として苛性ソーダの使用が制限される場合は、代わりにソーダ灰を使用しても良い。（添加量は0.2%±と多くなる。）

上記標準組成で作泥したパワー泥水の一般性状を表9に記す。

表-9 パワー泥水の一般泥水性状

泥水比重	1.02
ファンネル粘性 (秒)	150 以上
PV (cp)	15
YV (100lb/ft ²)	80
Gel (100lb/ft ²)	30~30
pH	10.5 ±

パワー泥水の作泥においては予め高粘性な泥水を準備し、必要に応じて割水で粘性を調整する。パワー泥水は、相当な高粘性であってもマッドスクリーンをオーバーフローしたり、またポンプ圧の増加とはならないので、粘性は極力高く維持する事がパワー泥水を使うポイントとなる。

また、パワー泥水はベントナイト/パワービスコンプレックスの凝集力により粘性を発現しているため、通常の泥水で使用される分散剤、ポリマー類の添加を行うとパワービスの凝集力が失われ、分散タイプの泥水に変化し、パワー泥水の機能は全て失われる。一度分散タイプに変わった後は二度とパワー泥水には戻らないので注意を要する。

しかし、泥水タイプを切替える（例えばパワー泥水→フレックス泥水への変換）場合は、この特性を利用し、テルポリマー類や、テルフレックスをパワー泥水へ直接添加することで泥水廃棄を最小限に抑えながら、簡単にフレックス泥水へ切り替えることができる。

4-3. パワー泥水が適用される工事

- ・ 軟弱砂礫層の掘進
- ・ 大坑径掘進
- ・ 弧状推進工事

パワー泥水は仕上げが容易な泥水で、揚水試験も短時間で終了するので水井戸にもむいている。

5. 最適泥水の選択

地層の安定化、泥水廃棄量の減容化を目指すには、対象となる工法、地層に最も適した泥水タイプを選択する必要がある。フレックス泥水、イーゼードリル泥水、パワー泥水を使用する場合の最適泥水の選択基準を表 10 に記す。

表 10 最適泥水の選択基準

泥水の名称	フレックス泥水	パワー泥水	イーゼードリル泥水
粘土鉱物の抑制力	◎	△	◎
地質との適合性			
礫岩	△	◎	○
砂岩	○	◎	◎
凝灰岩/泥岩	◎	△	◎
火山岩	◎	○	◎
耐汚染性			
耐塩分汚染	◎	◎	△
耐セメント汚染	○	◎	△
耐熱性 (100℃以上)	○	△	△
耐ソリッド汚染	◎	○	△
濾水の色調	無色	無色	無色

◎：特に優れる

○：優れる

△：普通

一般的に実際のボーリング工事では、地下の地質構造には次のような共通した傾向がある。

- ・ 浅層部では固結状態が悪く、砂礫層が存在するケースが多く、崩壊、埋没を生じやすい。
- ・ 深層部では、粘土鉱物を含む堆積岩に遭遇する事が多く、粘土層に遭遇した場合、地層の押出し、張付き、抑留を生じやすい。

これらの事から望ましい泥水として以下の二つがある。

- ① 浅層部では、軟弱層保護に高粘性維持が容易な泥水。
- ② 深層部では、泥岩層の障害を防ぐ為に、粘土鉱物の水和膨潤、分散抑制力、良好な脱水特性、潤滑性を有する泥水。

上記①、②より表 11 に工法別最適泥水プログラムを記す。

表 11 工法別最適泥水プログラム

対象地質	ロータリー工法 (温泉、水井戸)	スピンドル-WL 工法
浅層砂礫岩部	パワー泥水	ベントナイト /イーゼードリル泥水
深層堆積岩部	フレックス泥水	イーゼードリル泥水

これまで、多くの掘削工事では、浅層砂礫岩部で高濃度ベントナイト泥水を使用したが、セメンチングの際、セメント汚染を受けた多量の泥水を廃棄しなくてはならない。また、高濃度ベントナイト泥水から、フレックス、テルコート、イーゼードリルへ泥水タイプを切替える場合は、清水による大量の希釈、あるいは全量入替えとなり、この場合も廃棄泥水が多量に生じる。

口元の軟弱地層掘削では、パワー泥水、またはイーゼードリル泥水を使用すれば、ベントナイト濃度を低く抑える事が出来るので、上記のセメント汚染、及び泥水タイプ切り替えに伴う泥水廃棄を最小限に抑える事が出来る。

従って、現在、各工法による最適泥水プログラムとして、表 8 に示す泥水プログラムを提案している。

6. おわりに

本発表では、最近の新規掘削用泥水として、フレックス泥水、イーゼードリル泥水、パワー泥水について紹介した。これら新規掘削用泥水は先に紹介した通り、それぞれ固有の特徴を持つが、単独の泥水ですべての掘削条件を満たすわけではない。

従って、(株)テルナイトとしては、ボーリング工事を開始する前段階、つまり掘削計画の段階からボーリング会社と十分協議を行い、その上で、地質、工法等の掘削条件を考慮し、最適な泥水プログラムを計画し、今後のボーリング業界にさらなる貢献を行っていきたい。

(添付資料)

表 12 フレックス泥水使用実績

場所	種類	深度	地質
北海道地区 (7坑井)			
北海道天塩郡	温泉	1,300m	泥岩、凝灰岩
北海道苫前郡	温泉	1,500m	泥岩、凝灰岩
北海道苫前郡	温泉	1,400m	泥岩、凝灰岩
北海道空知郡	温泉	1,100m	シルト質泥岩、凝灰岩
北海道斜里郡	温泉	1,000m	泥岩、凝灰岩
北海道爾志郡	温泉	1,300m	泥岩、シルト質泥岩、凝灰岩
北海道茅部郡	温泉	1,500m	泥岩、凝灰岩
東北地区 (1坑井)			
岩手県花巻市	温泉	1,700m	シルト質泥岩、凝灰岩
関東地区 (11坑井)			
東京都世田谷区	温泉	1,700m	シルト質泥岩、凝灰岩
東京都板橋区	温泉	1,500m	シルト質泥岩
東京都調布市	温泉	1,500m	シルト質泥岩
東京都武蔵野市	温泉	1,500m	シルト質泥岩
千葉県千葉市	温泉	1,000m	シルト質泥岩、凝灰岩
埼玉県大里郡	温泉	1,300m	
神奈川県横浜市	温泉	1,500m	シルト質泥岩、凝灰岩
神奈川県伊勢原市	温泉	1,500m	シルト質泥岩
神奈川県横浜市	温泉	1,500m	シルト質泥岩
茨城県稲敷郡	温泉	1,300m	シルト質泥岩、凝灰岩
茨城県水戸市	温泉	1,500m	シルト質泥岩、凝灰岩
信越・北陸地区 (4坑井)			
新潟県北蒲原郡	温泉	1,300m	凝灰岩、泥岩
長野県北安曇郡	温泉	300m	凝灰岩
富山県射水郡	温泉	1,100m	シルト質泥岩、凝灰岩
富山県中新川郡	温泉	1,500m	シルト質泥岩、凝灰岩
東海・近畿地区 (7坑井)			
愛知県大府市	温泉	1,400m	凝灰岩、シルト質泥岩
大阪府吹田市	温泉	1,500m	シルト質泥岩
兵庫県神戸市	調査 (水平掘)	300m、185m	凝灰岩
兵庫県神戸市	地震観測井	800m	シルト質泥岩、凝灰岩
兵庫県神戸市	温泉	1,000m	シルト質泥岩
兵庫県三原郡	温泉	1,000m	シルト質泥岩、凝灰岩
九州地区 (5坑井)			
福岡県福岡市	温泉	1,000m	シルト質泥岩、凝灰岩
福岡県浮羽郡	温泉	1,500m	シルト質泥岩、凝灰岩
福岡県山門群	温泉	1,000m	シルト質泥岩、凝灰岩
宮崎県都城市	温泉	1,800m	シルト質泥岩、凝灰岩
鹿児島県鹿児島市	温泉	1,400m	シルト質泥岩、凝灰岩

表 13 イーゼードリル泥水使用実績

場所	種類	深度	地質
関東地区 (4坑井)			
東京都八王子市	調査井	75m、130m	砂岩、凝灰岩
東京都八王子市	調査井	100m	砂岩、凝灰岩
群馬県	調査井	130m	凝灰角礫岩、泥岩
山梨県	調査井	150m	火山岩
信越・北陸地区 (4坑井)			
新潟県	杭工事	120m	泥岩、凝灰岩
長野県飯山市	調査井	300m	凝灰岩
富山県	調査井	40m、80m	凝灰角礫岩、砂岩
富山県	調査井	120m	砂礫、砂質シルト
東海・近畿地区 (4坑井)			
静岡県伊東市	温泉	1,000m	シルト質泥岩、凝灰岩
愛知県	地震観測井	750m	凝灰岩
愛知県大府市	温泉	1,500m	シルト泥岩
兵庫県三原郡	調査井	100m、150m	砂岩、シルト質泥岩
九州地区 (5坑井)			
福岡県筑後市	水井戸	150m	粘土混じり砂礫岩
福岡県福岡市	調査井	100m	砂礫、凝灰岩
長崎県長崎市	調査井	100m	砂礫、凝灰岩
福岡県山門群	温泉	1,000m	シルト質泥岩、凝灰岩
宮崎県都城市	温泉	1,800m	シルト質泥岩、泥岩

表 14 パワー泥水使用実績

場所	種類	深度	地質
関東地区 (13坑井)			
東京都調布市	温泉	口元	砂礫岩
神奈川県横浜市	温泉	口元	砂礫岩
千葉県山武郡	水溶性ガス井	口元	砂岩、砂質シルト
千葉県安房郡	弧状推進	600m×6坑	砂質シルト、シルト質泥岩
茨城県北茨城市	弧状推進	350m×2坑	砂岩、砂質シルト
茨城県北茨城市	弧状推進	400m×2坑	砂岩、砂質シルト
信越地区 (1坑井)			
長野県南安曇郡	水井戸	190m	玉砂利、砂礫岩
東海、近畿地区 (3坑井)			
岐阜県	温泉	口元	砂礫岩
兵庫県三原郡	水井戸	500m	玉砂利、砂礫岩
兵庫県三原郡	弧状推進	250m	砂岩、礫混じり砂質シルト
沖縄地区 (1坑井)			
沖縄県糸満市	弧状推進	400m×2坑	石灰岩

洞爺湖温泉の泉源管理と噴火による影響

洞爺湖温泉利用協同組合 四宮 博

まえがき

北海道西南部の洞爺湖を中心とした地域は、洞爺湖、有珠山、昭和新山などの自然美を有する「火山と湖と温泉」のある所として広く知られている。四季折々の風光明媚さと温泉によって発展し、年間300万人もの観光客が訪れる北海道有数の観光リゾート地である。洞爺湖温泉は、第四紀更新世の火山活動により形成されたカルデラ湖である洞爺湖の南岸に位置する。洞爺湖温泉は明治43年に有珠山の寄生火山である四十三山の噴火活動により誕生した温泉とされている。火山国・温泉国と言われる日本でもその誕生の時期や生成の原因と過程が明らかな温泉は希である。

有珠山は平成12年3月31日に噴火を開始した。昭和52年の噴火以来、23年振りの噴火である。今回の噴火により西山及び金比羅山の近くには新たに噴火口が出現し、噴火活動は現在も引き続いている。これらの噴火口周辺では様々な施設に被害が及び、周辺住民は未だに避難生活を余儀なくされています。

洞爺湖温泉利用協同組合の温泉供給施設も例外ではなく、今回の噴火で多くの被害を受けた。しかし、噴火活動の沈静化とともに温泉供給施設の復旧作業が続けられ、今まさに復興の途上にある。本講演では洞爺湖温泉の温泉集中管理施設と噴火災害による被害状況、更には復興に向けた取り組み等について、その概要を報告する。

1. 洞爺湖温泉の温泉利用の変遷

洞爺湖温泉は明治43年の有珠山の活動によって誕生した温泉とされている。それ以前は有珠山という活動的な火山、洞爺湖という巨大な水瓶が存在しても温泉は無かったといわれている(図1)。

虻田町史によると、四十三山噴火の7年後の大正6年6月10日には温泉宿が開業され、それが洞爺湖温泉の始まりとされている。初期の頃は、湖岸に設けた浴槽に天然湧出の温泉を集めて利用していた。

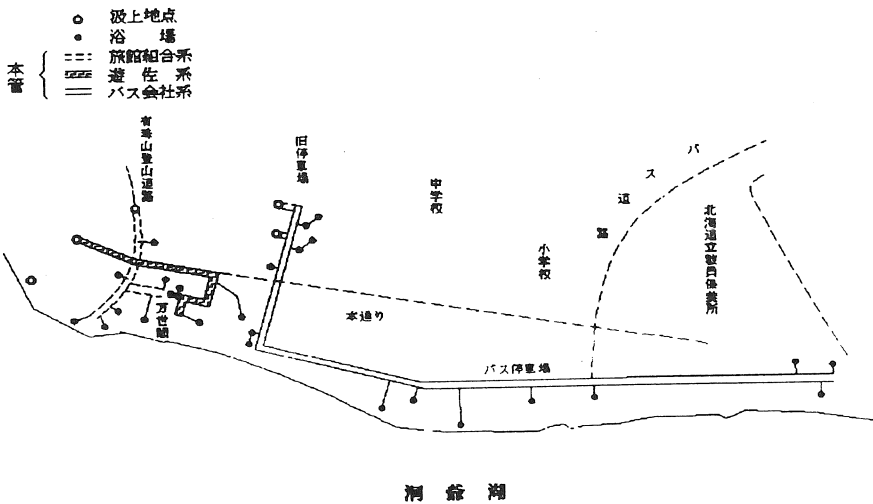
昭和11～昭和12年頃は湖岸を中心に11ヶ所の湧出口があり、22.0～54.3℃の温泉が湧出していたが、洞爺湖温泉の発展にともない利用量が増加し多くの源泉が掘削されるようになると、下流部の湖岸側にある源泉では湧出温度が低下し、廃棄されるものが生じるようになった。例えば、昭和31年には19源泉から3,140 l/min 揚湯され、昭和37年には15源泉から5,386 l/min 揚湯されていたが、この間に湧出温度は最大で8℃低下し、下流部の4源泉が廃棄されている。その後も高温の源泉を求めて山側(有珠山側)に移動するというたちごっこを繰り返していった。図2は昭和24年の資料であるが、当時源泉を所有していたのは一部の旅館であり、中小の旅館は余剰分の温泉の分湯を受け

図1 明治23年(1910)の5万分の1地形図



5万分の1地形図の変遷、その2。明治43年(1910年)発行の陸地測量部の地形図。これは明治42年修正測量されたもので、明治43年の噴火で生じた四十三山(明治新山)および、爆裂火口は未だ画かれていない。しかし、金毘羅山、西丸山などは明瞭に描かれている。

図2 昭和24年の洞爺湖温泉配管分布図



ていた。

温泉の過剰揚湯による度重なる温泉資源の枯渇化と新源泉の開発という繰り返しに愁いを抱き洞爺湖温泉が観光地として発展させていくためには温泉の集中管理がどうしても必要だと力説した故森谷治助氏（初代組合理事長）を筆頭とする温泉街の有志により、昭和35年に温泉利用協同組合が設立された。これは北海道の温泉地に最初に結成された温泉利用協同組合であった。組合設立により洞爺湖温泉の源泉開発競争にはひとまず終止符が打たれた。昭和35年以降、温泉組合による源泉開発は毎年1本のペースでおこなわれ、昭和45年の10号源泉の完成により、源泉の整備事業は一段落した。昭和47年には、それまでの魚骨配湯方式から循環管網配湯方式にかわり、ほぼ現在の配湯方式が構築された。これにより、温泉街全域の全利用者への同一泉温、同一泉質の

表1 源泉温度及揚湯量

64年6月30日現在

源泉名	揚湯年月日	掘削温度	現在温度	揚湯量	許可量
第1号源泉	35年10月	50.0℃	42年3月31日より休湯53年8月7日より揚湯開始		
	53年8月	43.6℃	43.6℃	200L	200L
2	35年12月	52.0℃	47.5℃	300L	320L
3	37年1月	52.5℃	50.3℃	330L	450L
4	38年2月	48.0℃	46.1℃	340L	600L
5	40年5月	46.0℃	昭和53年10月16日泥流により流失 480L		
6	41年5月	61.0℃	53年4月30日廃棄(地殻変動により) 647.5L		
7	42年1月	50.5℃	51.2℃	370L	600L
8	43年1月	52.0℃	49.1℃	200L	600L
9	43年4月	61.0℃	53.0℃	670L	600L
10	45年9月	51.0℃	51.5℃	280L	600L
計				2,590L	4,997.5L

温泉の安定供給が可能となった。表1には、各源泉の掘削当時における泉温、湧出量状況と昭和54年時点の状況を示す。昭和47年以降は、昭和52～53年の噴火により損傷を受け使用不能となった源泉の代替掘削や泉温低下による熱量不足を補うための代替掘削を随時行っている。図3に現在の源泉位置及び配管系統を示す。また、表2に現在の利用施設の概要を示す。

表2 平成12年 利用施設の概要

利用者	配湯数	契約量L/min
ホテル、旅館	18軒	2,347
保養所、寮	14軒	720
病院	1軒	110
浴場	1軒	180
一般	44軒	898
計	78軒	4,255

2. 集中管理の導入

2.1 集中管理とは

集中管理とは、温泉資源の保護と利用施設への安定供給を目的とした温泉給湯システムで、源泉より採取（揚湯）した温泉を供給基地となる配湯所に集め、

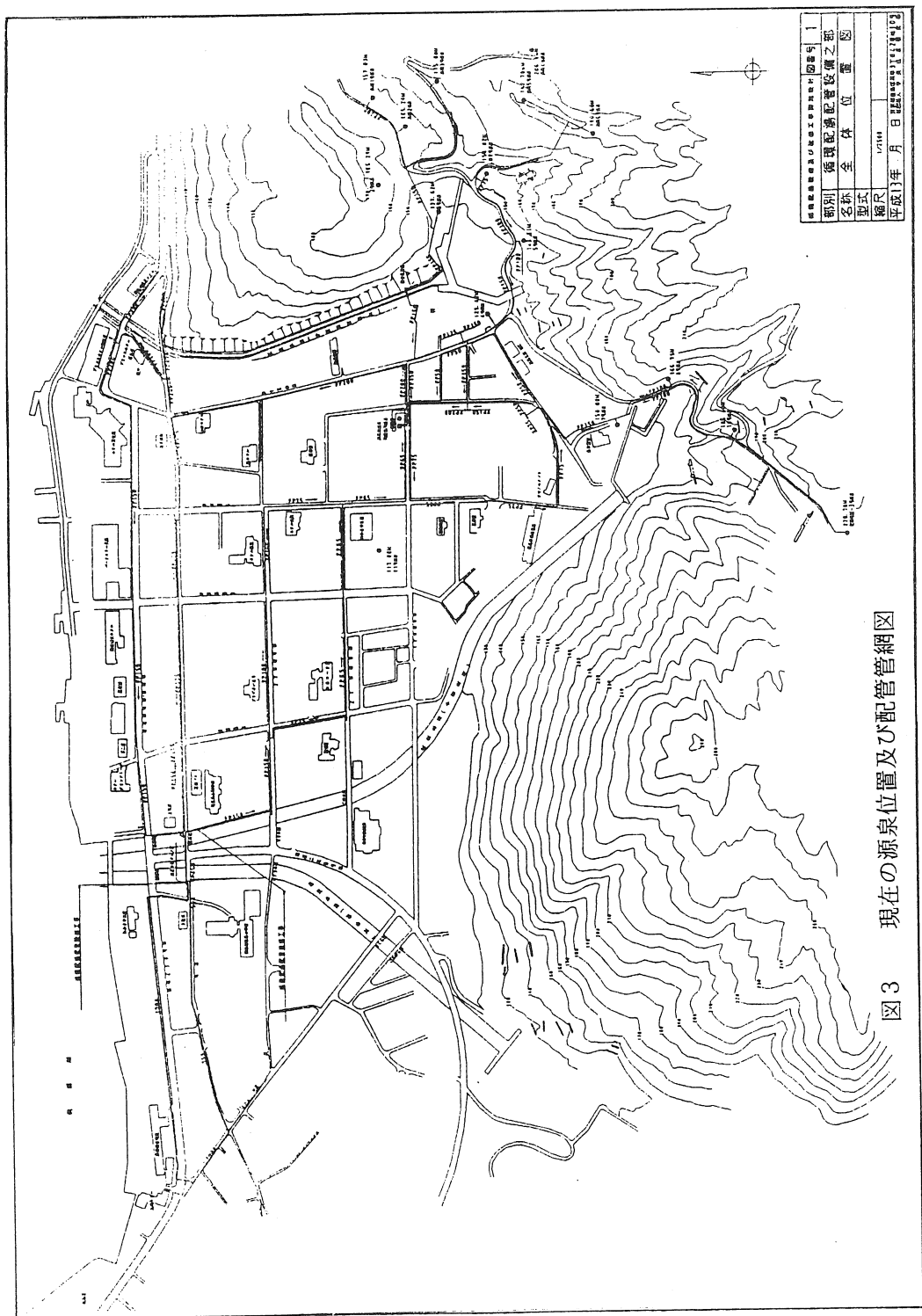
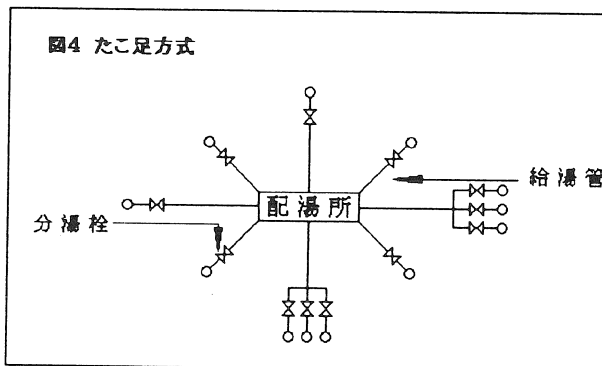


図3 現在の源泉位置及び配管網図

これを利用施設に合理的に供給する為の施設である。集中管理施設を管理運営する場合や、これから計画・実施する場合において中心となるのは、源泉より採取する温泉であり、これを利用施設に給湯するための温泉供給施設である。従って、源泉状況と施設の運転状態を計測・監視し、これらの内容を把握し、解析しておくことは、管理運営上最も重要なことであり、これは、温泉資源の保護と有効利用を図る指針ともなる。また、給湯施設の省力化と省電力化についても運転維持費に係わることであり、経費削減の面からも重要な検討事項である。集中管理の分湯方式は①たこ足②魚骨③循環の各方式に大別できる。以下にその特徴を要約する。

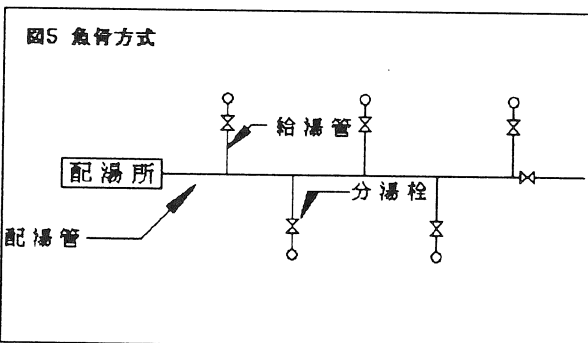
2・1・1 たこ足方式

源泉あるいは貯湯槽から個々の利用施設まで別々に配湯路線を設ける方式でタコの足に似ている事から、「たこ足方式」と呼ばれる。温泉の熱量損失が最も激しい原始的な方式で、現在では用いられなくなった。



2・1・2 魚骨方式

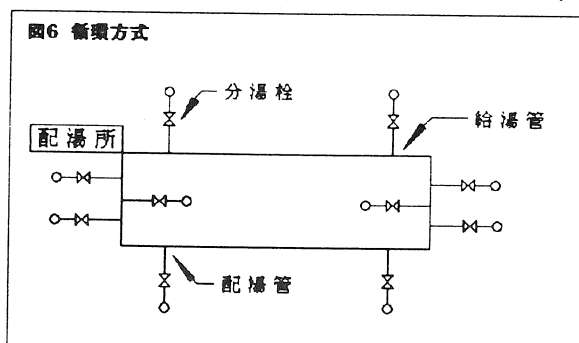
温泉を利用するのが旅館・ホテル等の常時分湯施設のみで、しかも末端部の必要湯量が多ければ、直行方式をとることもできる。この場合、輸送中の放熱による泉温の低下を抑えるため、配湯管の口径は流量に従って小さくなり、途中で給湯管が出る。その姿が魚の骨の如き様相となる事から、一般に「魚骨方式」とも呼ばれている。



旅館・ホテル等の常時分湯施設と、一般の住宅・保養所・寮・必要時に応じて随時分湯を受ける施設が混在すると、温泉の利用時間帯が特に一定でないこと、また、この魚骨方式は、配湯所からの出発湯量が全施設の必要湯量となるため、末端部の施設で湯量不足を来したり、到着温度が低下する恐れがある。それを解消するために温泉水を過度に送ったり未利用のまま放流するので大変無駄が生じることがある。

2・1・3 循環方式

魚骨方式の是正策として随時計量制分湯が前提となる「循環方式」が考えられた。この場合、未利用の温泉は全て配湯所に戻



昭和47年設備等一覧

表4

設備内容

集湯管設備	75mm~100mmスチールエタニット管1,986M
配湯管設備	100mm~200mm特殊積層管及びエタニット管、5,785M
貯湯槽設備	容積90m ³ 1基
配湯設備	7.5KWタービンポンプ1台(480M/L×44M×7.5K) 11KWタービンポンプ1台(600M/L×63K×11K) 19KWタービンポンプ4台(1,450M/L×45K×19K) 循環方式のため、貯湯槽より圧送用
電気設備	屋外キュービクル自立型1基 (1φ10KVA、3φ100KVA)
	配湯ポンプ所自動制御 湯面制御 源泉揚湯ポンプ自動制御
土地	集配湯所並に貯湯槽設備用地300坪
運営管理	代表理事外5名

表5

加熱設備内容

蒸気ボイラ	加熱燃焼S7~9~S オイルバーナF~4	2基
熱交換器	交換熱量1,050,000Kcal/時	1基
真空ポンプ		1台
加熱用ポンプ	3,500L/min11M×11KW	1台
貯湯槽	容積110M ³	1基
貯油槽	容積24,000L	1基
電気設備	屋外キュービクル自立型50KVA	1基
加熱室	平屋建、鉄骨組立A、L、C板	
事務室並に住宅	木造2階 事務室並に会議室 職員住宅	

当時の建設費

循環設備工事費

昭46年5月着工、昭47年5月完工

(1) 集湯配管設備工事1,986M	¥ 12,094,610
(2) 配湯配管設備工事5,785M	¥ 61,430,000
(3) 貯湯槽設備工事	¥ 5,904,800
(4) 配湯ポンプ所設備工事	¥ 6,320,410
(5) 電気設備工事	¥ 7,288,215
1源泉制御 2地下ケーブル	
(6) 2配湯所整地工事	¥ 12,170,000
1土地造成並にヨウ壁築造工事、 2配湯ポンプ室、新築工事 3電灯及び水銀灯、設備工事 4排水設備工事 5フェンス、看板	
(7) 分湯泉並に既設管切替道路舗装工事	¥ 2,564,000
(8) 流量制限器流量計ボックス設備工事	¥ 7,000,000
(9) 土地300坪	¥ 13,800,000
(10) その他	¥ 6,075,335
	合計 134,647,893

加熱設備工事費

昭和48年10月着工

昭和49年5月完工

1. 主要機器 蒸気ボイラ、熱交換器、加熱用ポンプ、貯湯槽、貯油槽、 真空ポンプ	37,658,000
2. 煙突工事	1,700,000
3. 加熱室建築工事	6,739,759
4. 管理棟事務室及2階職員住宅	12,764,107
5. 駐車場	737,600
6. 温研設計	1,970,000
7. 事務室及会議室備品	1,432,166
8. その他	314,270
計	63,315,902
第一期工事及第二期工事	計 197,963,795

表7

表6

り、温泉資源を有効利用できる。また、各利用施設の到着温度が殆ど一樣になる利点がある。難点としては、朝夕のピーク使用時間に支障ない程度の出発湯量を送るため、他の方式より管口径が太くなること及び貯湯槽の容積を適当な規模に建設する必要がある。

2. 2 洞爺湖温泉の集中管理施設

2・2・1 平成10年までの集中管理施設

先に述べたように、温泉組合が設立され集中管理が開始された昭和35年から昭和47年までの12年間は魚骨方式による温泉配湯が行われていた。昭和40年頃までは、個人保有源泉も数カ所あったが、それらの源泉は低温化が著しく徐々に廃棄されていった。このころには旅館等の施設が次々に組合に加入し、利用者105軒の大所帯となっていた。(表3)しかし魚骨方式による配湯は末端部の施設での湯量不足や温度低下が生じることが避けられない。このようことから洞爺湖温泉では昭和45年に温泉の保護と利用の高度化を目指した大規模な循環方式による集中管理に移行することが決定され、設計は財団法人中央温泉研究所に委託した。集中管理施設整備事業は昭和47年に始まり昭和49年に完成した。この集中管理施設整備事業の概要、施設設備等を表4から表7に示す。

平成2年には、昭和40年代に布設し老朽化した石綿製集・配湯管を合成樹脂積層管へと全面布設替えを行った。

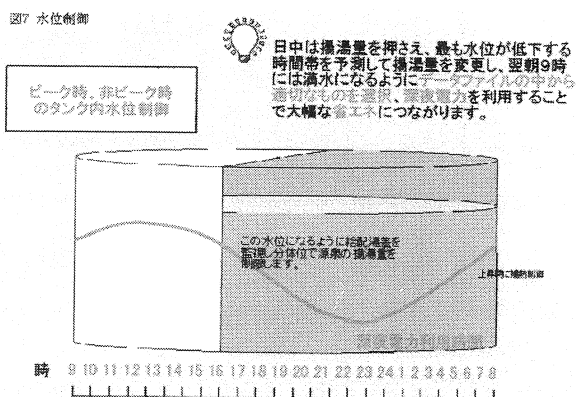


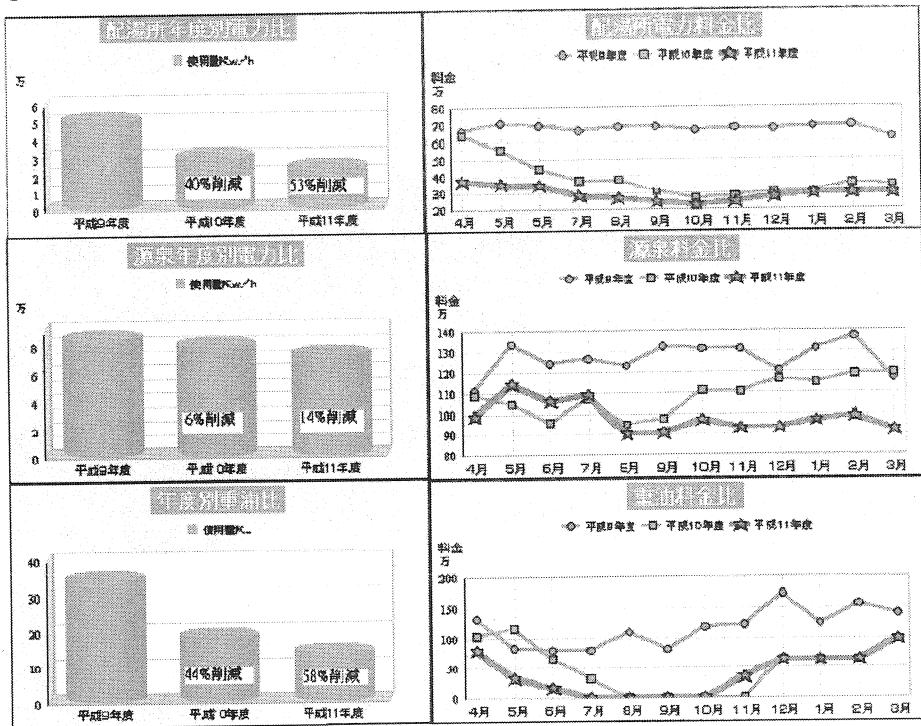
表3 昭和45年契約量・利用者数

利用者	配湯数	契約量L/min
ホテル、旅館	26軒	3,020
保養所、寮	25軒	1,160
病院	2軒	205
浴場	2軒	200
一般	50軒	866
計	105軒	6,451

2. 2. 2 平成10年以後の集中管理施設

平成10年以降は、供給システムばかりでなく各源泉の揚湯ポンプもコンピューターで制御するなど、非常に効率的な管理システムによる温泉管理がなされるようになった。工事は循環路線の増設及び中継加圧場、貯湯槽の増設等も含め平成11年度までに完了した。コンピューターによる集中管理制御監視システムでは、各源泉と配湯所を多重伝送装置で接続し、配湯所の貯湯槽温度と各源泉の揚湯量を最適化する自動制御を行っている。コンピューター制御による泉源管理や配湯制御が開始されたことにより総揚湯量の減少や燃料用重油の節減等による経費の大幅節減が可能となった。図7、図8には、コンピューター制御導入後の電気料金、重油経費の節減状況をしめす。

図8 コンピューター制御導入後の電力・重油使用量



3. 有珠山噴火の集中管理施設への影響

3.1 昭和52～53年の噴火

施設の被害及びそれに対する温泉組合の対応

昭和52～53年の有珠火山活動の際には、地殻変動によるケーシングパイプの屈曲や泥流による地上設備の流出などによって多くの源泉が破損した。組合施設の集湯管並に配湯管も例にもれず36ヶ所にも及ぶ折損には、職員をはじめ理事者は一時は混迷したものの組合員への配湯に支障をきたすことのない努力が日夜続けられた。

写真1～写真3、表9には源泉の被害状況をしめす。

表9 昭和52～52年有珠山噴火被害状況

洞爺1号泉	浚渫工事を行った
洞爺2号泉	
洞爺3号泉	
洞爺4号泉	水中ポンプの故障
洞爺5号泉	泥流の被害により復旧不能となる
洞爺6号泉	泥流の被害により復旧不能となる
洞爺7号泉	ポンプ小屋の基礎及び土間コンクリートの隆起
洞爺8号泉	泥流の被害により復旧不能となる
洞爺9号泉	ポンプ小屋の基礎及び土間コンクリートの隆起
洞爺10号泉	
配湯本管	地殻変動等による配管折損は36ヶ所であった

《ポンプ故障の原因》地殻変動と地震の為ストレーナーからの土砂がポンプに流入してモーター回転に異常をきたし過負荷現象である事が原因

資源状況の変化

昭和52～53年の噴火活動は、有珠山の中央部で起こり洞爺湖温泉に近かったこともあって、洞爺湖温泉の湧出温度や化学成分に大きな変化をもたらした。特に、昭和52年夏のマグマ水蒸気爆発の際に爆発の前後で湧出温度が急激に変化し、地域西部に湧出する温泉の重碳酸イオン濃度が急激に増加するなど、泉質にも大きな変化が生じた。活動が終息した直後、多くの源泉で湧出温度が活動以前よりやや上昇したが、その後、湧出温度はしだいに低下するようになった。

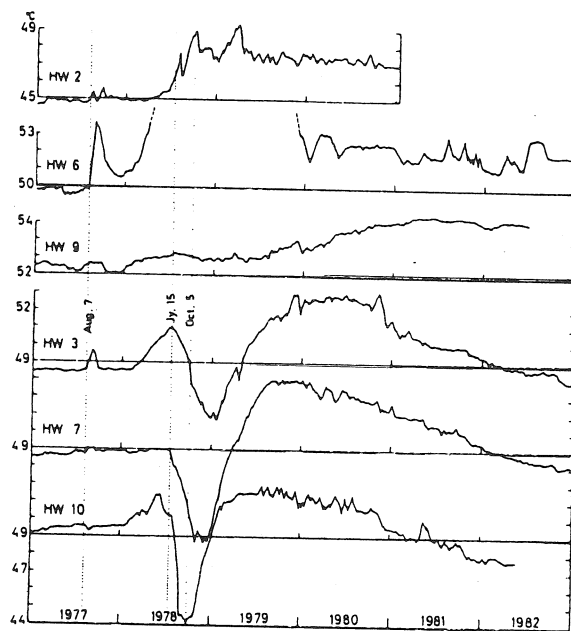


図9 昭和52～53年の噴火に伴う泉温変化

3.2 平成12年の噴火

施設の被害及びそれに対する温泉組合の対応

洞爺湖温泉地区における温泉揚湯は、今回の噴火前の火山性地震が急増した3月29日に停止された。温泉組合では避難解除後の円滑な温泉配湯を目指して避難解除される前からライフラインの復旧工事と並行して各種配湯施設の修復を行い、7月上旬の温泉営業の再開時には不十分ながらも何とか温泉配湯を再開することが出来た。総揚湯量は、再開後徐々に増加して9月中旬頃にはほぼ噴火前の状態に戻った。

今回の噴火活動により洞爺湖温泉の温泉供給施設や源泉は様々な被害を受けた。北海道業務課を中心とした温泉調査チームの調査結果によると組合所有13源泉のうち全日空の沢沿いに位置するH-3号及び新8号の2源泉は、地殻変動によるケーシングパイプの切断や横ずれ等の坑内損傷のため、揚湯不能となっていることが確認された。他の源泉についても全ての源泉で井戸曲がり確認されたものの、温泉の揚湯は可能であった。

写真4～写真14は、源泉、温泉供給施設等の損傷状況である。

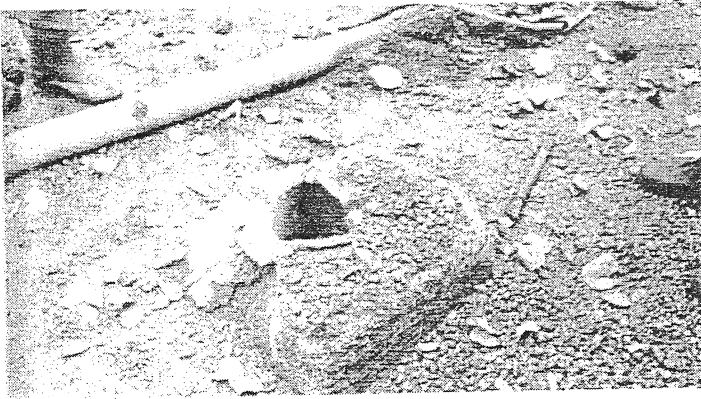
図10・11は施設被害状況図である。

写真1



53.10.24 泥流災害の8号泉風景

写真2



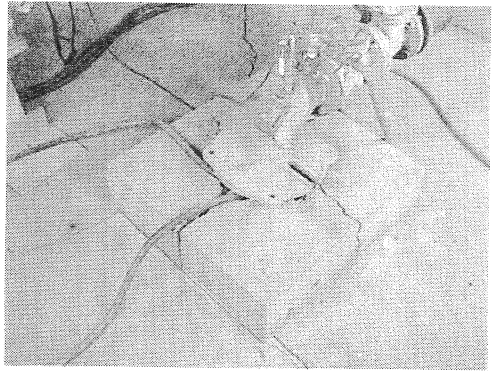
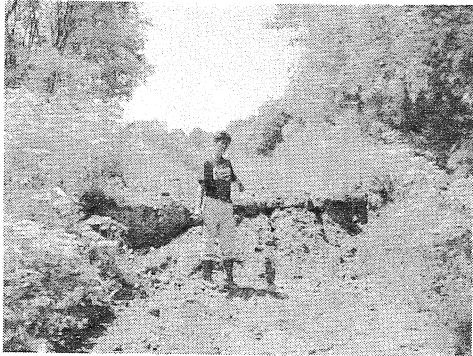
さらに昭和53年10月24日の泥流発生では5号源泉のわずかに残されていたパイプも全て流された。

写真3

昭和53年10月24日泥流災害の7号源泉風景

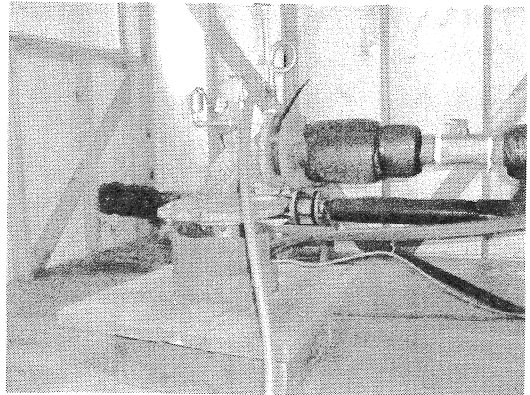
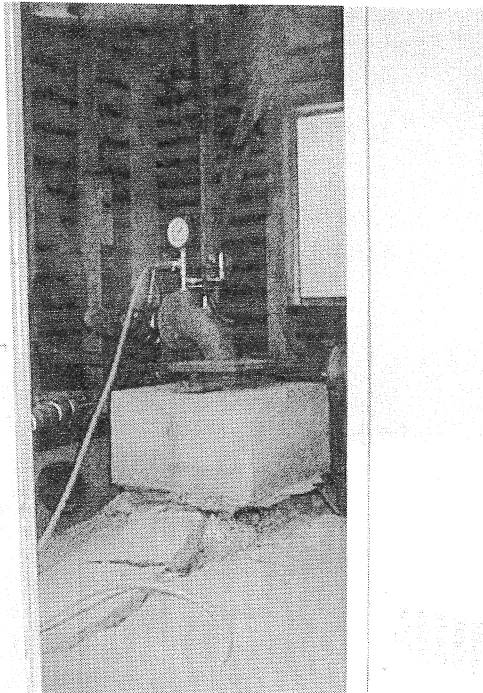


《写真4》 源泉管理道路が地殻変動により1 m程度段差ができた。



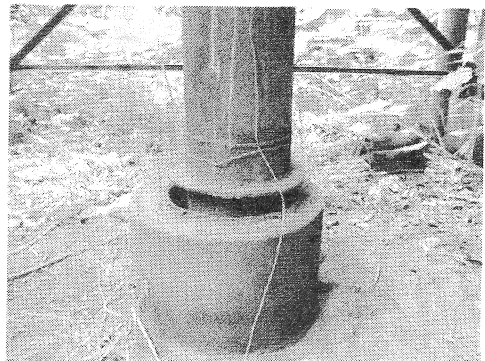
《写真5》 洞爺8号源泉基礎コンクリートに亀裂が生じケーシングにも地殻変動によりずれが生じ使用不能に成った

《写真6》 H-3号源泉地殻変動の為、基礎コンクリート約600 mm隆起し管理小屋内機器を破壊した。

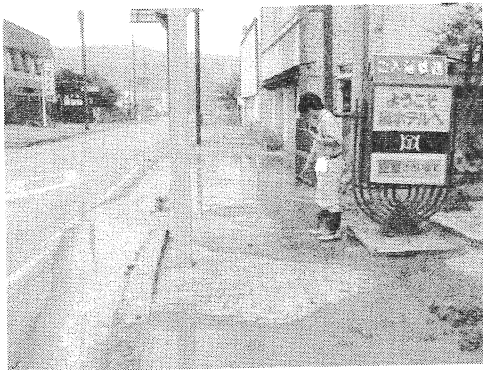


《写真7》 共同4号源泉の揚湯管と井戸ふたバンドが地殻変動等の衝撃で突け上がりずれていた。

《写真8》 共同4号源泉のケーシングが地殻変動等の為100 mm程度隆起していた。

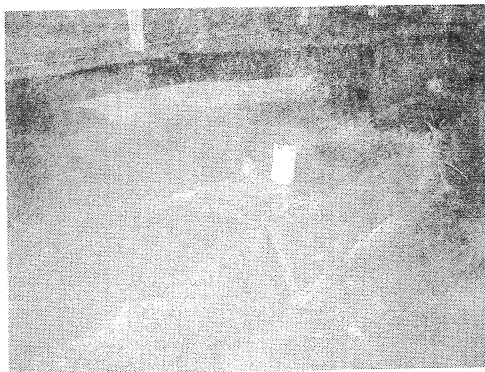


《写真9》



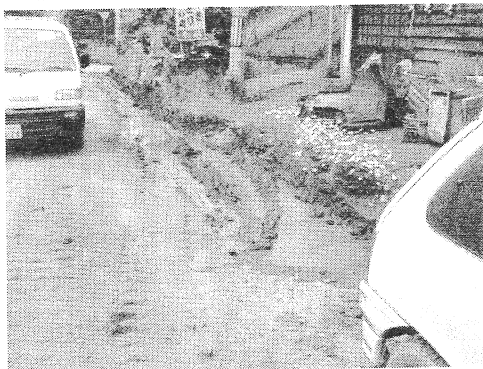
道々洞爺湖登別線本管より漏湯

《写真10》



道々中央通り本管より漏湯

《写真11》



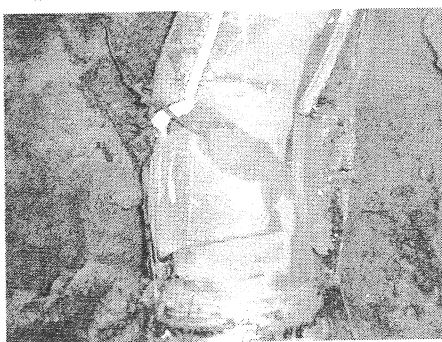
町道2丁目通り本管より漏湯

《写真12》



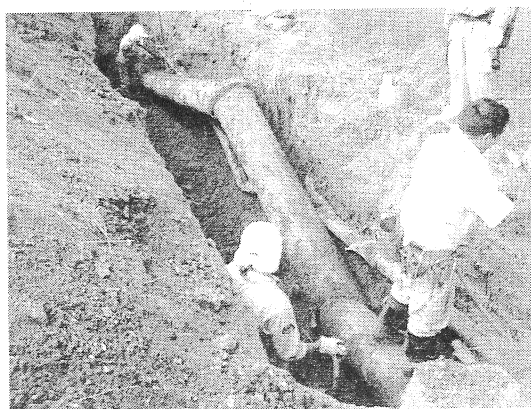
道々洞爺湖登別線本管漏湯修理状況

《写真13》



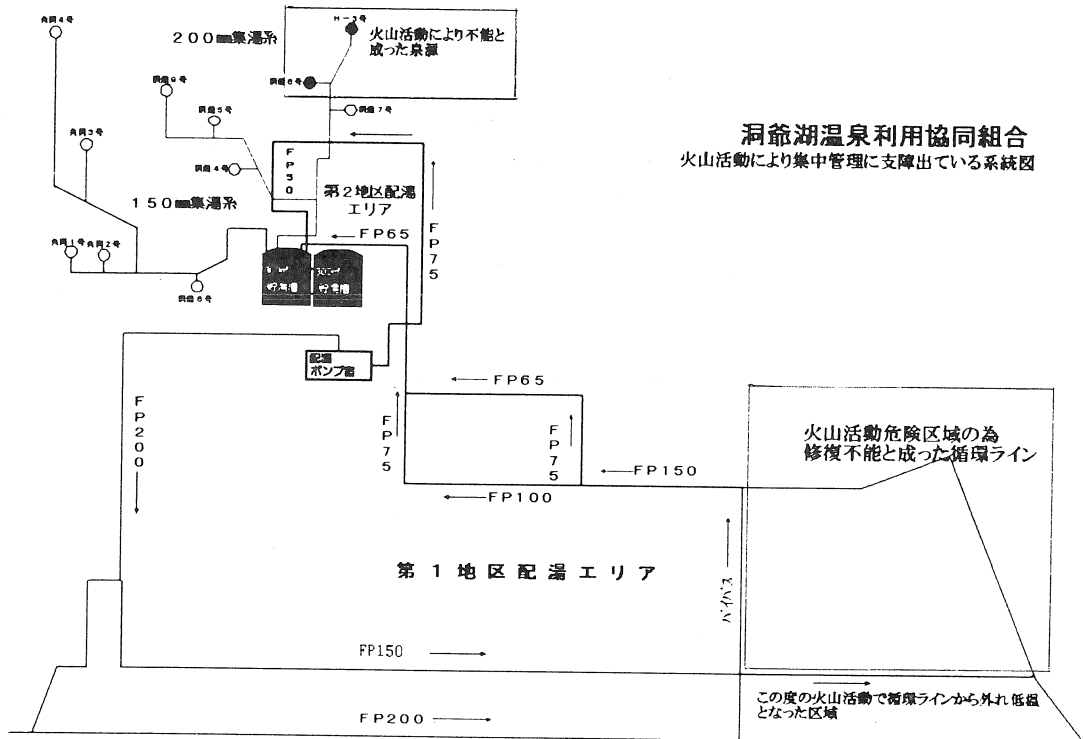
集湯管ソケット部破損状況

《写真14》



道々洞爺湖登別線本管折損状況(折れ曲がり)
(上 水道本管) (下 温泉管)

図10 火山活動により使用不能な施設



- ①H-3号・新8号源泉は揚湯不能となった。
- ②第1地区西側地区金比羅山麓付近の供給管網は修復不能となり、西側地区の配湯は仮復旧にて補っている。
- ③第1地区東側地区の供給はバイパスラインにて循環供給を行っている。

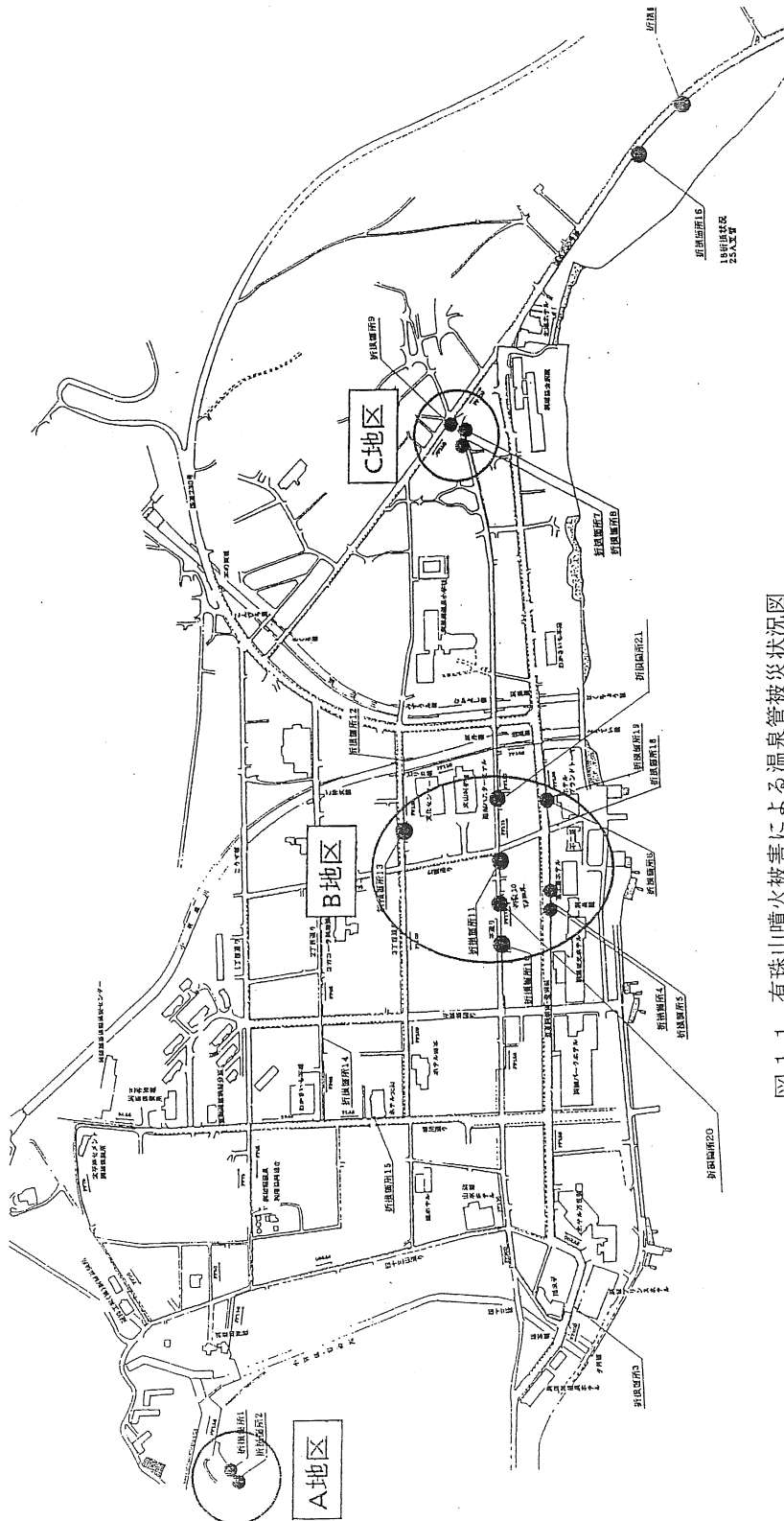


図 1-1 有珠山噴火被害による温泉管被災状況図

資源状況の変化

避難解除された7月上旬頃から本格的な温泉の揚湯が再開されたが、噴火前後の観測結果から、各源泉では噴火活動によって泉温変化や泉質変化が起こり、噴火から約1年経過した現在でもその変化が引き続いていることが明らかとなっている。資源現況としては、当初大部分の源泉で噴火活動に伴う泉温上昇や成分濃度増加等のプラス面の変化が表れていたが、その後は一部の源泉を除き徐々に泉温低下や成分濃度の減少が進展してきている。

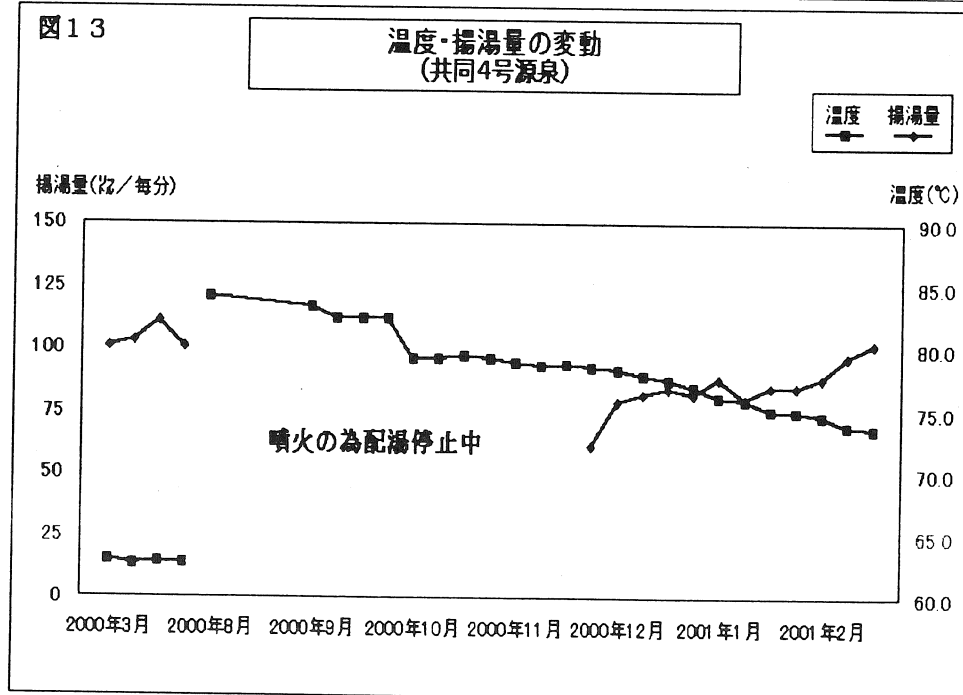
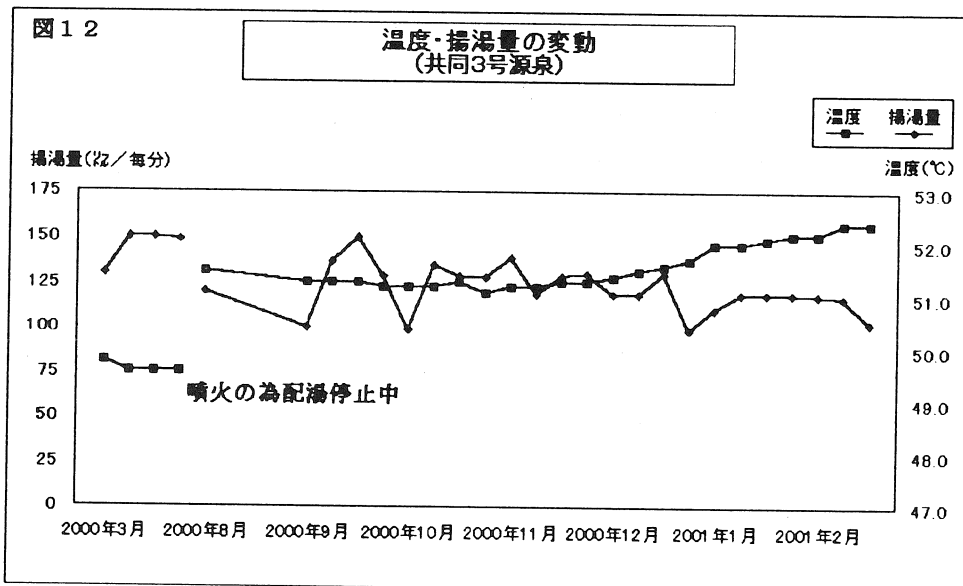


表 10 源泉概要

43 [°C] 基準

源泉名称	泉温 [°C]	揚湯量 [ℓ/m]	有効熱量 [k cal/h]	備 考
H-3号源泉	41.1	200	-22,800	平成12年3月24日(噴火前)
	揚湯不能			平成12年8月21日
洞爺4号源泉	34.2	低温のため休止中		0.2°CUP
	34.6	300	-151,200	
洞爺5号源泉	37.5	300	-99,200	2.3°CUP
	39.8	300	-57,600	
洞爺6号源泉	37.0	300	-108,000	3.6°CUP
	40.6	300	-43,200	
洞爺7号源泉	33.8	300	-165,600	0.5°CUP
	34.3	300	-156,600	
洞爺8号源泉	34.4	300	-154,800	揚湯不能
洞爺9号源泉	44.9	200	22,800	4.2°CUP
	49.1	200	73,200	
共同1号源泉	63.8	90	112,320	4.6°CUP
	68.4	90	112,320	
共同2号源泉	43.4	95	2,280	0.9°CUP
	44.3	95	7,410	
共同3号源泉	49.6	200	79,200	1.9°CUP
	51.5	200	102,000	
共同4号源泉	62.9	150	179,100	21.3°CUP
	84.2	150	370,800	
共同5号源泉	53.5	200	126,000	19.5°CUP
	73.0	200	360,000	
共同6号源泉	50.7	200	92,400	12.9°CUP
	63.6	200	247,200	
合 計	43.4	2,535	63,900	1源泉当たり211 [ℓ/m]
	49.3	2,335	889,170	1源泉当たり212 [ℓ/m]

各源泉では、噴火以前は安定した揚湯量の確保が可能であったが、噴火活動に伴う地盤隆起等により水位が低下するとともに、洞爺湖の湖水位低下と連動して温泉水位も低下したことから許可揚湯量を汲み上げることが困難な源泉も出てきている。

各源泉における噴火前後の温泉資源状況（泉温，最大揚湯量，有効熱量等）の変化を表10に示す。上段は，今回の噴火直前の平成12年3月24日のデータで，下段は噴火後の8月21日のデータである。噴火後における揚湯可能な11源泉の混合泉温は49.3℃，総揚湯量は2,335 l/min，総有効熱量は889,170 Kcal/hで，噴火以前の休止源泉を除く12源泉の合計と比較すると，揚湯量は200 l/min，減少しているが，泉温は5.9℃上昇し，総有効熱量はプラス825,270 Kcal/hとおよそ1.4倍弱の増加となっている。

4. 災害に強い集中管理施設整備へ向けて

有珠山の噴火活動が沈静化したことを受けて，7月上旬には洞爺湖温泉地区では一部の地域を除いて避難解除がなされた。その後の北海道業務課を中心とする源泉被害調査および中央温泉研究所による集・配湯管の漏洩検査等の調査が実施された。それらの調査結果に基づき早急な仮復旧を行い，平成12年7月10日には不十分ながらどうにか温泉供給を再開することが出来た。現在，今回の被害状況や各種調査結果を踏まえたうえで以下のような集中管理施設整備における復興計画を推進している。（図14・図15）

「配湯本管に耐震対応の設備を備える」

次の噴火災害に備え，被害を最小限に押さえるために，40箇所にあぶ耐震装置を集・配湯本管に設置する。

「西側地区の循環路線の変更（西側地区への安定供給）」

金比羅山噴火口近傍の泥流で水管橋が流されたため西側地区で営業を営んでいる旅館等に安定供給できていない。このため，西側地区に新たな循環路線を構築し，安定供給が行える状況にする。

「水位計による源泉の監視」

洞爺湖温泉は全国に先駆けて，コンピューター制御により温泉資源の保護と省エネに取り組んできた。今回の噴火以前は，洞爺湖温泉は湧出能力が極めて良く水位低下が小さいということから水位変化の監視は行っていなかった。しかし，今回の噴火では，噴火2ヶ月前から共同3号，共同4号，共同5号源泉で水位低下が原因と思われる揚湯障害が頻繁に発生した。また，噴火後は，噴火に伴う地殻変動による水位低下により安定した揚湯量の確保が困難な源泉も出てきた。このようなことから今後は各源泉の水位変化も監視項目に加えることにより，安定した源泉管理を目指すこととした。加えて洞爺湖温泉の水位変動は有珠山の噴火活動と関係して変化することが指摘されていることから水位変動の監視は，噴火予知対策に寄与することも期待される。

「湯量不足対策としての源泉確保」

噴火後泉温は上昇したが，温泉地の復興に伴い温泉使用量は噴火前より増加している。今回の噴火では，地殻変動により2源泉が揚湯不能となった。さらに，水位低下に伴い湯量の確保が困難な源泉もある。このことから揚湯不能と

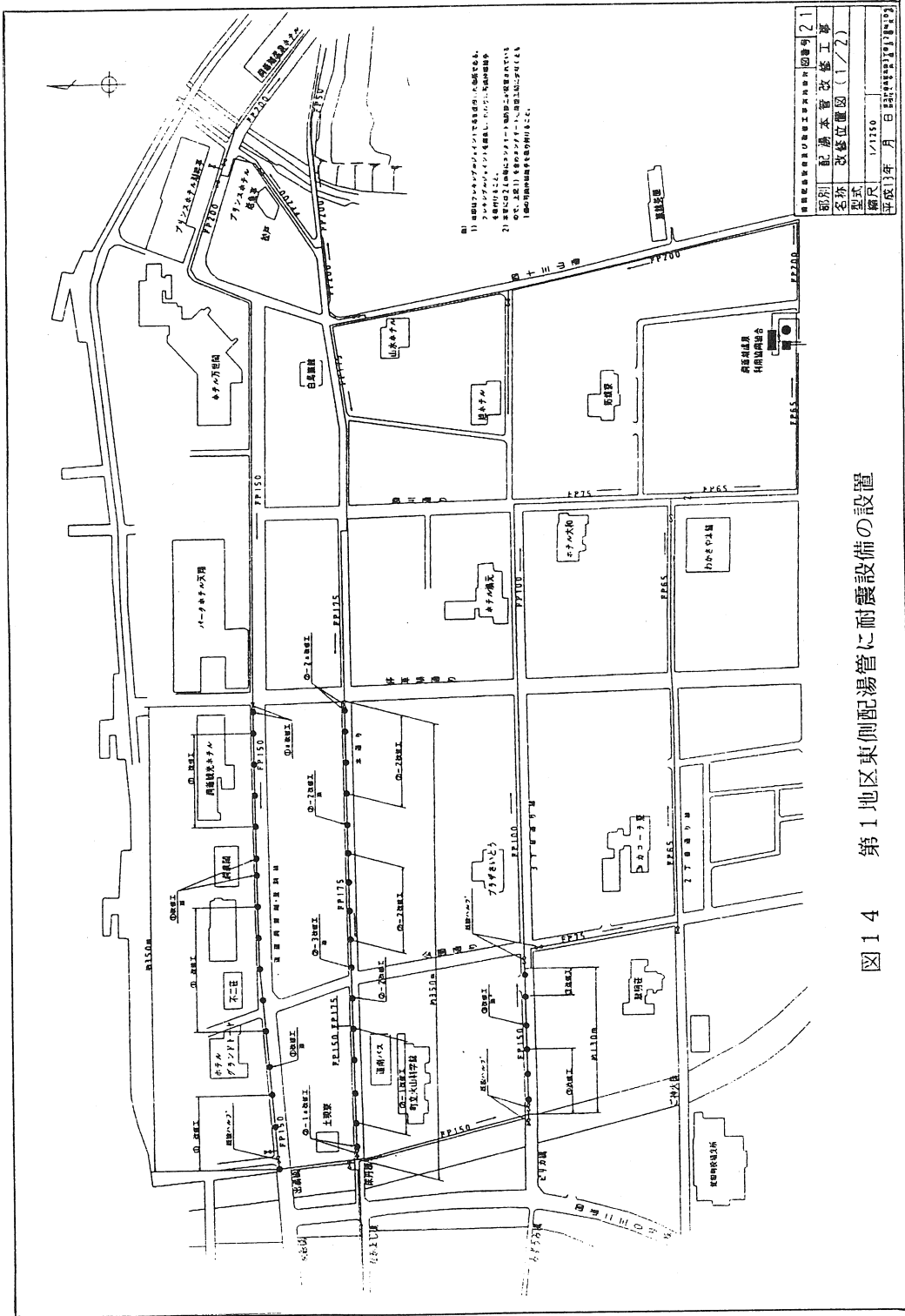
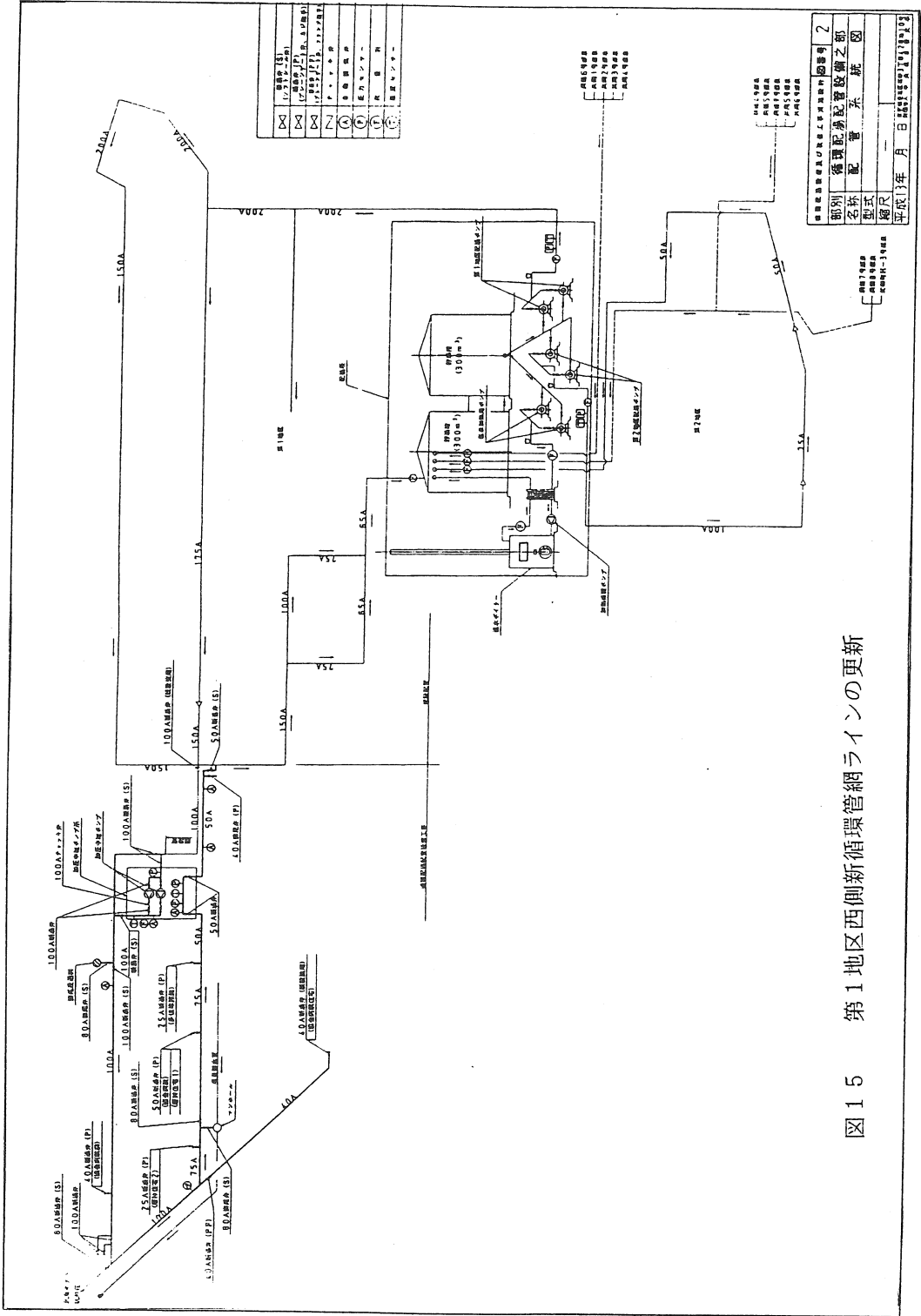


図 14 第 1 地区東側配湯管に耐震設備の設置



△	電線 (S)	1.117-2001
△	電線 (P)	1.117-2001
△	電線 (S)	1.117-2001
△	電線 (P)	1.117-2001
△	電線 (S)	1.117-2001
△	電線 (P)	1.117-2001
△	電線 (S)	1.117-2001
△	電線 (P)	1.117-2001
△	電線 (S)	1.117-2001
△	電線 (P)	1.117-2001
△	電線 (S)	1.117-2001
△	電線 (P)	1.117-2001

建設部 配管課 配管係	
図名	循環配管図
図号	2
年月日	平成3年 月 日

図 1 5 第 1 地区西側新循環管ラインの更新

なった2源泉の代替掘削を行い、揚湯量の安定確保につなげる。

あとがき

今回の噴火で地殻変動により源泉、配湯施設等が受けた被害は、多くの方々の御協力により不十分ではあるが、一応復旧の目途は付いた。しかし、観光客の入り込みの減少、周辺住民の避難生活の長期化、危険地区からの移転問題等々、洞爺湖温泉は多くの課題を抱えている。

今回の噴火により、泉温上昇、溶存成分濃度の増加等、温泉資源面では噴火前に比べて一時的に良くなっている。しかし、現状の利用形態を続けるならば、徐々に泉温低下や成分濃度の低下を示しながら2～3年後には噴火前の状態に戻ると考えられる。これまで洞爺湖温泉利用協同組合では、温泉利用施設での利用量の変動を把握しながら、それに合わせた合理的で無駄の少ない源泉管理を行うよう心掛けてきた。今後とも温泉資源の保護と安定確保のための資源監視システムを維持していくことが重要と考えます。

天恵の資源である温泉の公共性とその使命の重大さを再認識し、この貴重な資源の保護と有効利用を図ることにより、地域の掛け替えのない財産として次の世代へ引き継ぐことが我々に課せられた大きな使命と考えております。そのためにも温泉資源を地域で総合的に管理、利用する集中管理事業が今後益々重要になってくると思われまます。有珠山火山活動の周期性からみて、今から30年先には、再び山体のどこかで必ずや噴火を起こすことが予想されます。したがって、洞爺湖温泉の将来構想については、源泉の確保・維持も含めて長期的視野に立ち計画することも重要と考えています。

最後に、今回の噴火を通じて、多くの方々及び関係各機関から物心両面の多大なご支援を賜ったことにこの場を借りてお礼を申し上げます。

5. 噴火による洞爺湖温泉の坑井への影響

北海道立地質研究所 藤本 和徳

平成12年7月17日～同年8月3日にかけて、洞爺湖温泉利用協同組合で管理・運営している洞爺4号、同新5号、同新6号、同7号、同新8号、同新々9号、共同1号、共同2号、共同3号、共同4号、共同5号、共同6号、虻田町H-3号、虻田町コタン源泉について、有珠山噴火に伴う坑井内の損傷及び現況、地上設備の被害状況を明らかにするための調査を実施した。

I. 温度検層の解釈

各源泉の温度と電気伝導度検層の結果を、標高をそろえ西から東にならべて第1図「検層結果一覧図」に示した。以下に述べる結果を整理して第1表「検層結果のまとめ」として示した。

水位面に達してからの温度検層結果を見ると、深度に対して温度が、①はほぼ一定あるいはやや上昇するものと、②ピークがあり深で低下するものに分けられる。①に関しては坑井内全体にほぼ一様な温度の温泉水の胚胎が考えられる。②に関しては、水位面の上部層に高温泉がある厚さを持って胚胎していることが考えられる。

共同5号源泉、共同6号源泉、新々9号源泉、共同2号源泉、新6号源泉は②パターンであり、温度のピークが水位面からある厚さを持っている。各源泉の温度の分布は、述べた源泉順に、ピークの温度が「高温」から「低温」へ、ピークの厚さが「狭い」から「厚い」へ、移行している。また、上述した源泉は標高が「高」から「低」へ、配置が「南東」から「北西」の順に並んでいる。このことから、共同5号源泉、共同6号源泉付近で地下深部から上昇してきた源温泉が、高温のため水位面付近の上層部に集まり、徐々に地下水と混合しながら北西方向に広がっていることが予想される。

共同1号源泉も②パターンである。しかし、温度のピークが水位面から約18m深部にあり、前述した源泉の②パターンと異なる。また、共同2号源泉に隣接しているが15～20℃も高温である。これらを考慮すると、別ルートの源温泉の上昇を想定する必要があるかもしれない。

H-3号源泉、新8号源泉、7号源泉、コタン源泉、4号源泉は①パターンであり、かつ低温である。温泉街から全日空の沢にかけては、共同源泉付近に比べて源温泉の割合が少ないことが推定できる。新5号源泉、共同4号源泉は①パターンにみえるが、静水位からの掘進長が短く判断できない。

次に、温度検層の最高温度と揚湯温度を比較すると、7号源泉、4号源泉、新5号源泉、共同1号源泉で検層温度より揚湯温度が高い。これは、揚湯することで高温の温泉水を引き込む割合が増すことを意味している。このうち、共同1号源泉は高温のものが更に高温になっており、別の源温泉の存在を示唆している。これは前述したことで整合がとれている。

つづいて、噴火前の温度検層結果と今回の温度検層結果を比較する。噴火直前の結果がないため、なるべく最近のものと比較する。噴火前に比べて、共同4号源泉、共同5号源泉、共同6号源泉は3～6年前の値との比較で11～16℃上昇、共同1号源泉は5年前の値との比較で4℃上昇、共同2号源泉、共同3号源泉、新5号源泉は5年前の値との比較で0～7℃低下、新8号源泉、H-3号源泉は5～7年前の値との比較で8～11℃低下している。

検層結果、パターンおよび源泉位置から、各源泉をグループ分けする。共同4号源泉、共同5号源泉、共同6号源泉はAグループ、共同1号源泉はA'、共同2号源泉、共同3号源泉、新6号源泉、新々9号源泉はBグループ、H-3号源泉、新8号源泉、7号源泉、コタン源泉、4号源泉、新5号源泉はCグループとする。

噴火直前の揚湯温度と噴火が始まってからの揚湯温度を比較すると、Aグループは10～20℃の上昇、A'は5℃の

上昇、Bグループは0.5～3.5℃の上昇である。Cグループは比較するデータがないため不明である。

以上をまとめると、噴火が始まってからの地下の温度は、Aグループ付近で大幅に上昇、Bグループ付近はやや上昇、Cグループ付近ではほぼ同じか低下していると考えられる。揚湯温度は、Aグループ付近で大幅に上昇、B、Cグループ付近はやや上昇であった。

II. 孔曲り

電球を用いた孔曲り調査では最大-83mまで投光装置を降下させたが、十分に可視光の観察は可能であった。方位については直接測定可能であったが、傾斜については次の様な仮定の基に推定した。

簡易投光装置の一部が見えなくなり始めた深度を、ケーシングの直径分だけずれた深度と考え、仮にその深度の1/2の深度から曲がり始めたとする。つづいて、完全に見えなくなるまでに、さらにケーシングの直径分だけずれたと考える。

見えなくなり始めた深度まででは、共同6号源泉の傾斜角度が4.6度となるが、これ以外の坑井は0.4度～1.2度の範囲である。完全に見えなくなるまででは、新8号源泉の傾斜角度が2.9度で、これ以外の坑井は0.2度～1.4度の範囲である。

一般に、傾斜掘を行う場合の増角率は10mあたり1度以内といわれており、共同6号源泉の-5m付近および新8号源泉の-70m付近以外は、ほぼこの値の範囲である。この2源泉を含めた全ての源泉で、水中モーターポンプの昇降を問題なく実施していることから、孔曲りの規模は特に大きなものとは言えない。

第2図に「孔曲りの方位」を示した。共同源泉の全てと4号源泉、新5号源泉、新6号源泉が、北東から北西の範囲内で変位している。14源泉中9源泉と半数以上を占めていることから、浅部に比べて深部の山体が大きく湖畔側に移動したことが推定できる。このことは、源泉の南側の深部でマグマが上昇したために、山体が北側に膨張したことと、矛盾しない現象と考えられる。

III. 水位と標高の変動

2000年7月18日～28日に行った検層時における各源泉の静水位と噴火前の静水位を比較して、その変化量を第3図「静水位の変化」に示した。噴火前の値はなるべく直近のものを用いたが、1984年から1999年とばらつきがある。この図をみると、噴火が始まってから、静水位は共同1号源泉で1.5m上昇しているが、これ以外の源泉は0.1m～3.2m低下している。

水位の低下は、6月22日に行った揚湯可否の確認(水中モーターポンプの一時起動)において、噴火前に揚湯可能であった共同4号源泉と共同5号源泉の揚湯不能状態として現れた。これは、水中モーターポンプ設置深度から静水位までの距離がそれぞれ3mおよび3.8mと短いことが原因と考えられる。なお、7月11日の揚湯可否の再確認では、共同5号源泉は可能となり、共同4号源泉は依然不能であった。

各源泉の基準高の標高は、2000年8月1～3日に行ったGPSを用いた測量により求めた。噴火前と比較できるものとして1984年の6源泉の値があり、これらを用いて第4図に「標高の変化」を示した。源泉の分布範囲でみると、南もしくは西側で隆起し、北もしくは東側で沈降しており、その量は+2.3m～-0.4mで、ほぼ漸次変化している。

各源泉の2000年7月における静水位を、GPS測量で得られた基準高の値を基に、標高で表わすと、測量した全ての源泉(7号源泉と共同3号源泉は測量未実施)が+82.95m～+84.40の間におさまっている。洞爺湖の湖水面の標高は82.20mであり、静水面は湖水面より0.75m～2.2m高所に位置している。ちなみに、各源泉の基準高の標高は湖水面より39.9m(コタン源泉)～131.4m(H-3号源泉)高所に位置する。

静水位の低下量は、地盤の隆起を考慮した場合、相殺され、標高としては噴火前と噴火が始まってからで、ほぼ同一とみることができる。このように、各源泉の静水位が湖水面の高さに支配されていることを考慮し、水位低下量を地盤

の隆起量と等しいと仮定して、第3図をみると、泉源の分布範囲では南側の隆起が大きく、北側が小さいもしくは沈降していることが考えられる。

今回の水位変動は、地盤の隆起(一部沈降)による見掛け上の水位の低下(一部上昇)、地殻変動(圧縮ひずみ)による短期的な水位上昇、源泉泉の圧力上昇による水位上昇が重なり合って生じたと推定される。

IV. ケーシングパイプの抜上がり

6源泉でケーシングパイプの抜上がりがみられた。これは、(a)ケーシングパイプそのものが抜上がった場合と、(b)周辺の地盤が沈降して相対的にケーシングパイプが抜上がった場合が考えられる。

仮に(b)と考える場合、ほとんどの源泉付近の地盤が隆起していることから、隆起後に沈降したことになる。そして、隆起時には地盤とケーシングパイプが一体で動き、沈降の時は地盤だけが動いたことになる。これには、沈降時にケーシングパイプをとどめておく力が必要であり、説明がつかない。

従って本現象は(a)と考へ、次の様な状況にあったと推測する。まず、地下深部から何らかの突き上げる力が働いた。この力の大きさが深度の方向で一定であれば、地盤とケーシングパイプは同じ変位を示すため全体に隆起し、抜上がりは生じないと考へる。しかし、この力は浅部ほど小さくなると考へる。これは、ケーシングパイプが挿入されている深度までの地質の多くが、固結度の小さい火山角礫岩であるため、深部の力が浅部に向かって徐々に緩衝されたと考へる。この結果、深部において働く力に対する変位が、ケーシングパイプをとおして直接地上に現れたと推測する。

地下深部から何らかの突き上げる力の要因は、地盤の隆起を起こさせた静的な力の他に、共同4号源泉にみられた揚湯管の飛び上がり現象から、地震の発生による動的な力が働いたことが考へられる。また、H-3号源泉の隆起量を3.4項の「静水位の変化図」から推定すると、他の源泉に比較して特に大きいとは思えない。しかし、ケーシングパイプの抜上がり量は、ほとんどの源泉が1~5cmであるのに対して43cmと極端に大きい。これは隆起量だけからでは説明ができない。有珠山体ならびに火口に最も近いため、地震や断層による変位量がもっとも大きかったためと推定する。

抜上がり源泉の分布に偏りはみられない。最も南西に位置するH-3号源泉、最も北東に位置する共同1号源泉にもこの現象はみられた。このため、深部からの力は、強弱があるにせよ源泉を含めた広い範囲で働いたと考へられる。抜上がり現象が現れるか否かは、地上施設の強弱にも影響されると考へる。共同1号源泉は、ケーシングパイプの地上部が源泉建家に堅固に固定されていたため、ケーシングパイプの上部に圧縮応力を受けたような亀裂が生じ、さらに源泉建家そのものを持ち上げる現象として現れた。また、新8号源泉においても、同様に源泉建家の壁に変形が現れた。一方、H-3号源泉は前述したように大きな抜上がりで源泉建家の床は激しく破損したが、外観に破損はみられなかった。

V. 坑井内の損傷

ボアホールテレビによる坑井内調査を14源泉のうち運転状態にあった5源泉を除く9源泉で実施した。その他、利用されていない、W-1源泉、新9号源泉、8号源泉についても実施した。調査した12源泉のうち、坑井内の損傷は、H-3号源泉、新8号源泉、新9号源泉でみられた。

H-3号源泉では坑井の最深部に設置された全長16.5m(SGP3本分)のストレーナーのうち、浅部から11m(SGP2本分)を確認し、その深部は約1.5m(スリット3本)で管尻となっている。以深は0.5mの裸孔の後、坑底となっている。すなわち、ケーシングの最深部4mが切断され、埋没している。

新8号源泉は深度170mの坑井である。深度113mに長径約10cmのヒョウタンを横にしたような形状の穴がみられる。深度114mではケーシングパイプが切断され、横に数cmずれ、この間に礫が挟まっている。以深もボアホールテレビの挿入は可能であり、深度120mまで孔の存在を確認している。

新9号源泉は新々9号源泉の北側数10mに位置する。掘削深度は120mで、250ASGPを挿入して仕上げられている。

る。ストレーナーは-87m以深に設置されている。損傷は-100m 付近のストレーナー箇所、スリットとスリットに挟まれた部分が内側につぶれている状態であった。

損傷の原因を整理すると、H-3号源泉はケーシングパイプの最深部から約4mの位置で切断され分離されていることから、垂直方向に引張り応力が働いたことが推定される。新8号源泉はケーシングパイプがずれていることから、水平方向の応力が働いたことが推定される。新9号源泉はケーシングパイプが内側につぶれていることから、垂直方向に圧縮応力が働いたことが推定される。このように様々な方向に力が働いたことが推定できるが、引張り応力の要因は深部からの押し上げだけでは説明できず、地震や断層など動的な力によるものと考えられる。

VI. まとめ

噴火による地殻変動で、H-3号源泉と新8号源泉においてケーシングパイプの抜上がり、源泉建家の損傷、坑井内の損傷がでみられたが、全体をとおしてみるとダメージは予想以上に小さかった。ただなかには、地盤の隆起により相対的に水位が低下して揚湯できない源泉がみられた。共同4号源泉については、ポンプの再設置で揚湯可能になったが、静水位から坑底までの距離が噴火前で6.1mであったものが、噴火が始まってからは3.6mになっている。水中モーターポンプを坑底に設置して揚湯する必要があるため、水位変動への対応が困難となる問題が生じている。

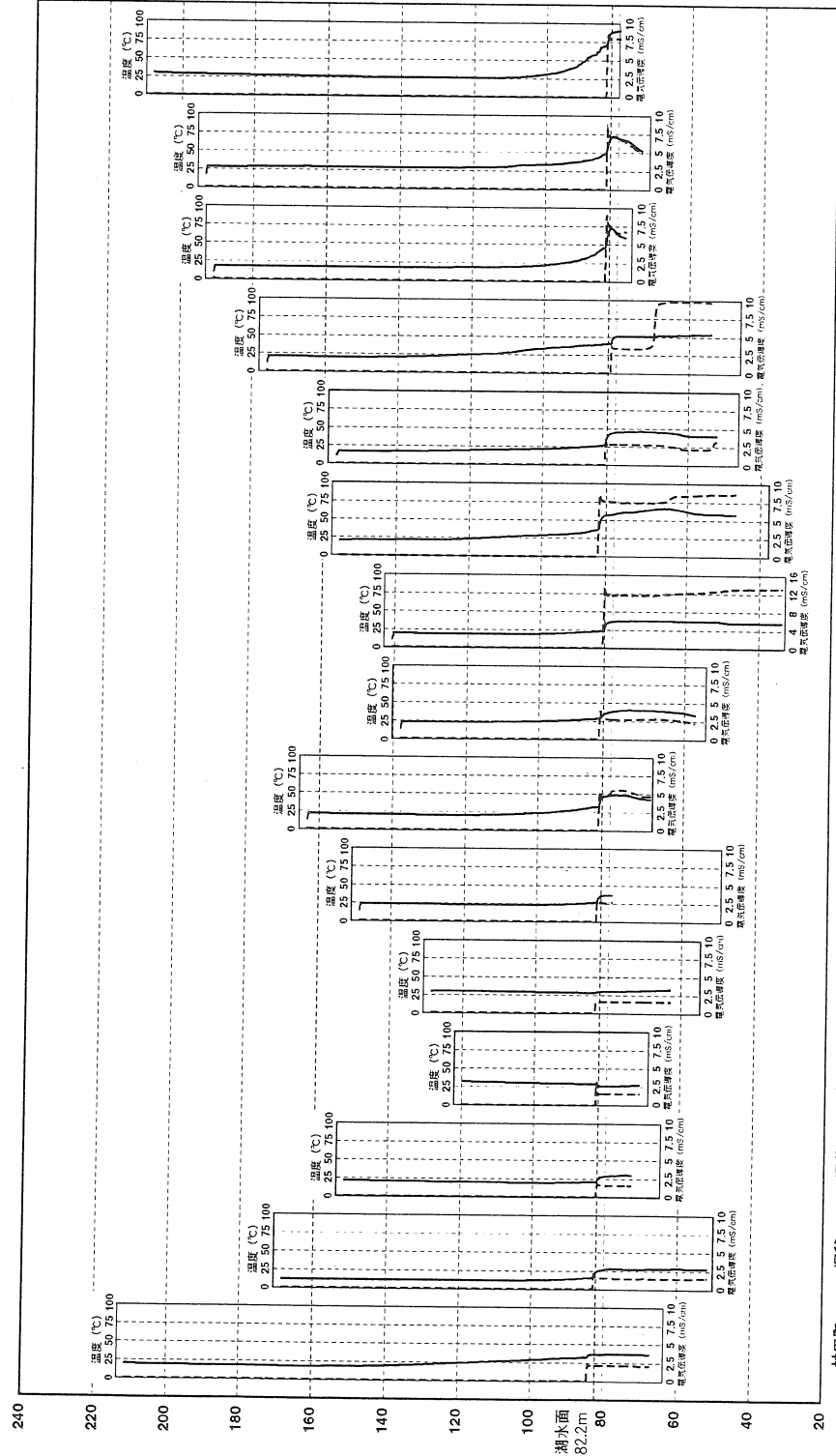
地下温度および揚湯温度は多くの源泉で上昇がみられ、その変化幅は噴火口から離れるほど大きくなる結果が得られた。それぞれの源泉の揚湯量に関しては、噴火前と同量もしくは多い量を確認しているため問題ない。利用する立場でみると、温度の上昇は好条件といえる。しかし、必要量の確保と予備源泉の設置ということでは、H-3号源泉、新8号源泉、共同4号源泉で揚湯に問題を抱えており、新たな源泉の確保が必要と考える。

これまで、洞爺湖温泉利用協同組合では温泉利用施設での利用量の変動を把握し、これにあわせた揚湯量・揚湯温度を設定、監視するシステムを導入し、温泉を無駄無く利用してきた。このことは高く評価できることである。しかし、源泉を管理する観点からすると、量・温度だけでは片手落ちである。過剰揚湯を判断するために水位の把握が重要な課題となってくる。

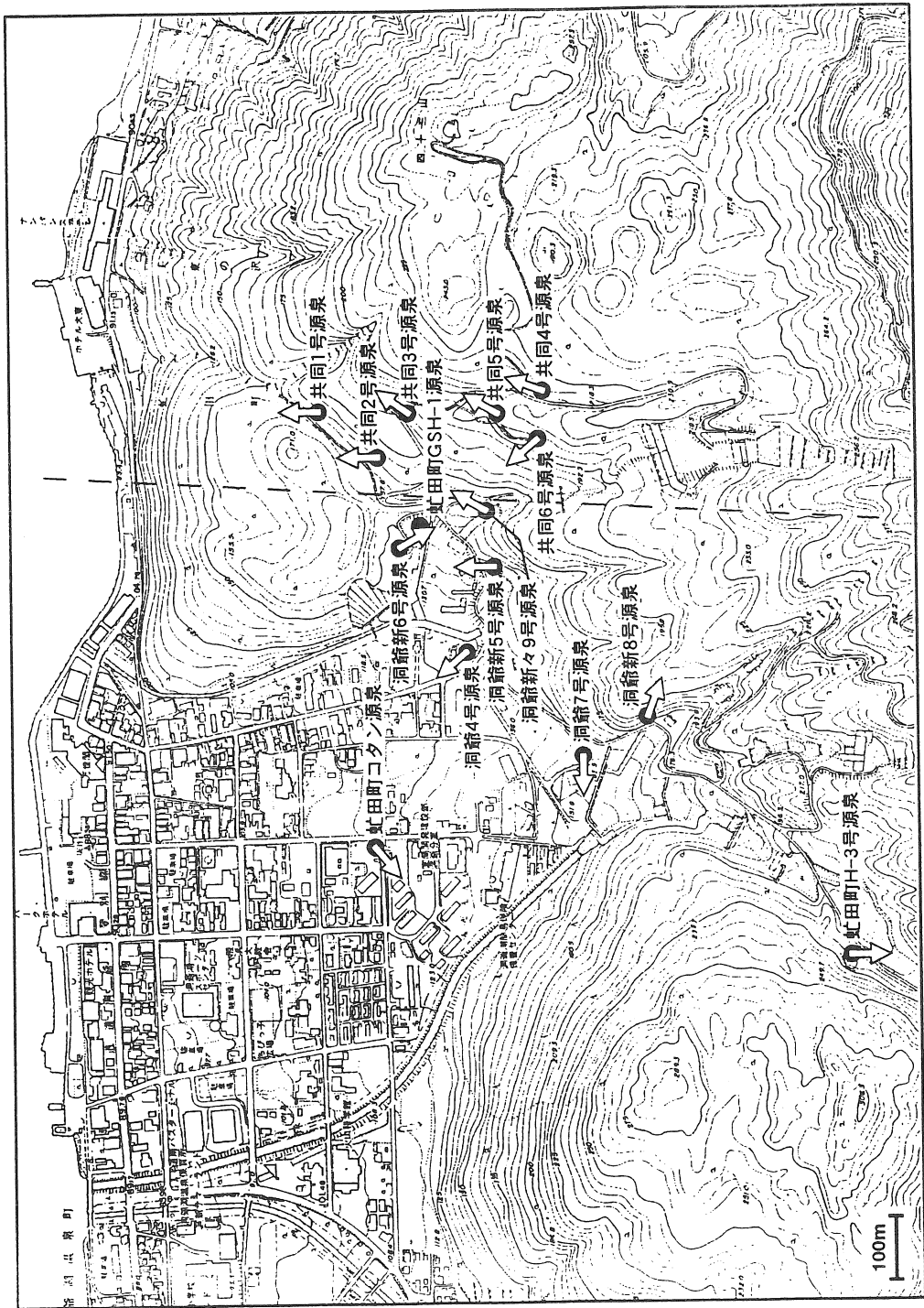
第1表 検層結果のまとめ

源泉名	グループ	温度検層		揚湯温度	
		パターン	過去との比較	噴火直前との比較	温度検層最高温度との比較
H-3号源泉	C	①	-11°C/7年	?	?
新8号源泉		①	-8°C/5年	?	?
7号源泉		①	?	?	+3.7°C
コタン源泉		①	?	?	?
4号源泉		①	?	?	+2.1°C
新5号源泉		?	-7°C/5年	+2.8°C	+2.7°C
新々9号源泉	B	②	?	+3.1°C	-1.3°C
新6号源泉		②	?	+3.5°C	-0.3°C
共同1号源泉	A'	②	+4°C/5年	+5.2°C	+2.3°C
共同2号源泉	B	②	-5°C/5年	+0.5°C	-2.8°C
共同3号源泉		①	0°C/5年	+2.0°C	-2.2°C
共同5号源泉	A	②	+12°C/3年	+19.6°C	0°C
共同6号源泉		②	+16°C/3年	+10.6°C	-11.3°C
共同4号源泉		?	+11°C/6年	+21.6°C	-5.8°C

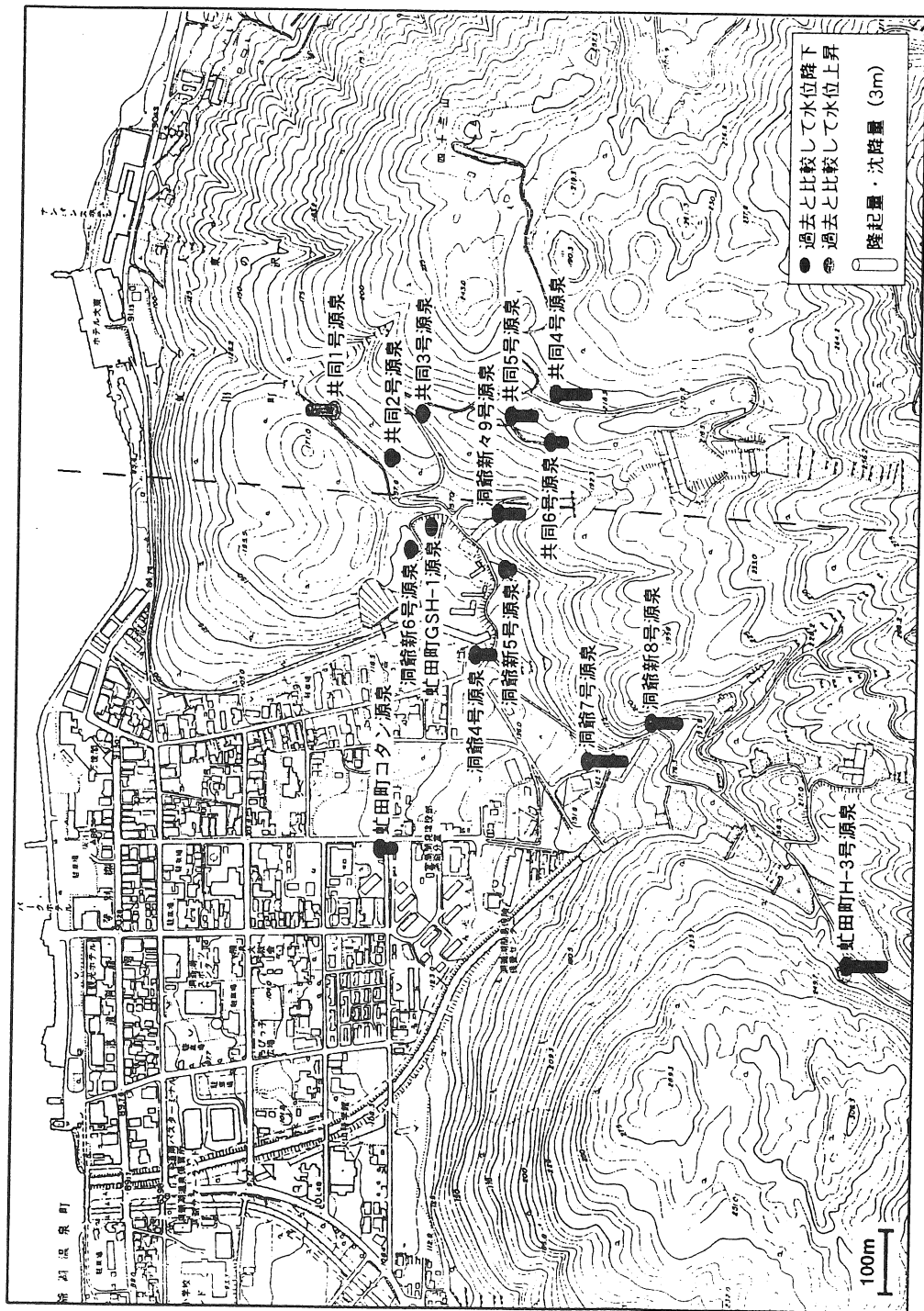
標高 (m)



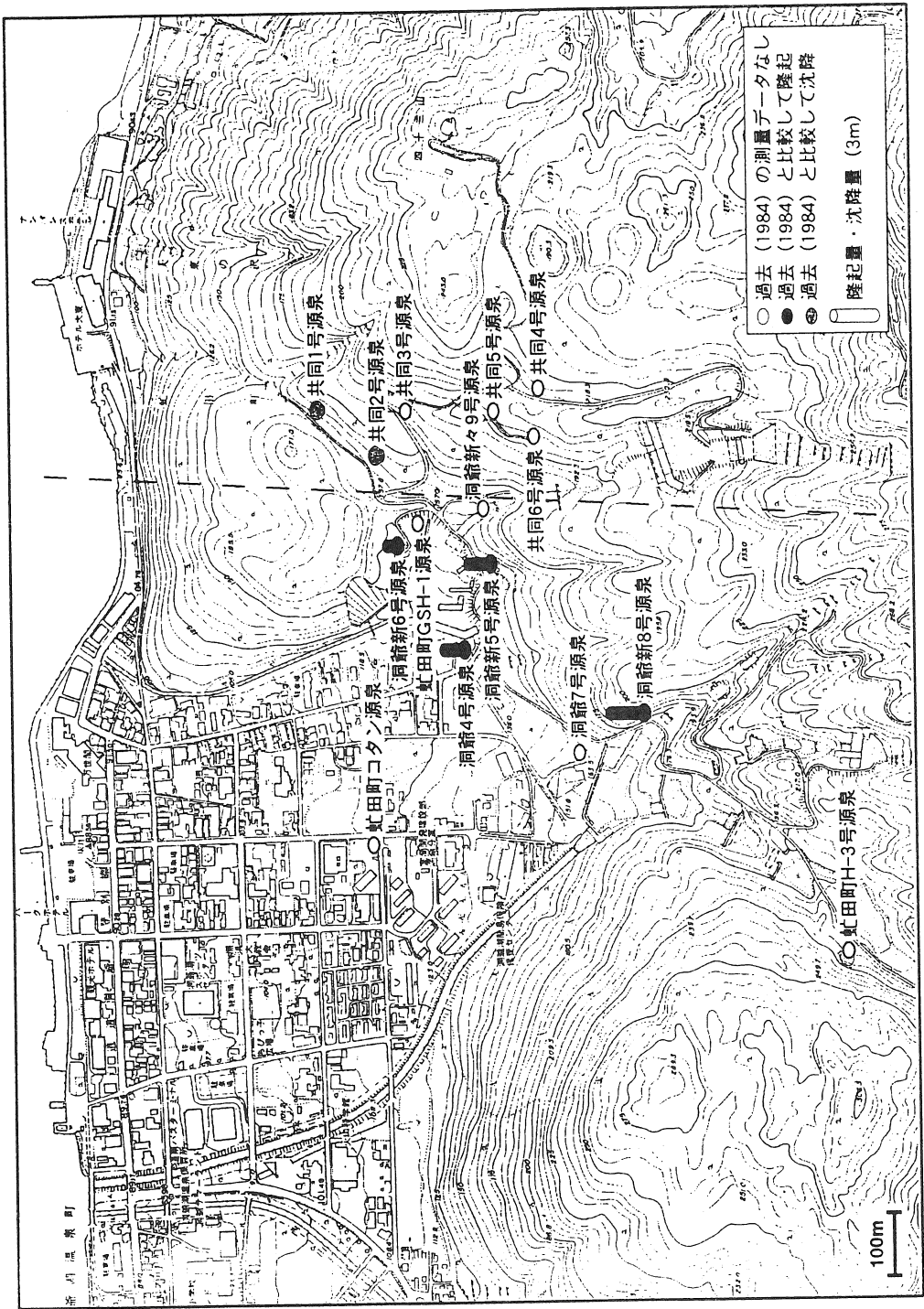
第1図 検層結果一覧



第2図 孔曲りの方位



第3図 静水位の変化



第4図 標高の変化

地 学 講 座

北海道における鉱山鉱害とその調査事例

北海道立地質研究所 遠藤祐司

1. はじめに

鉱山鉱害とは鉱業活動に起因して生ずる様々な被害の総称であり、坑道内での有毒ガス発生のように被害が坑内に限られるもののほか、坑道からの流出水やズリ堆積場からの浸出水（坑廃水・坑内水・鉱毒水）による水質及び土壌の汚染、地下の採掘によって発生する地盤沈下、あるいは精錬所から発生する煙による煙害のように周辺環境へ害を及ぼすものがある。

これらの内、坑廃水に起因する鉱害は、坑廃水が河川に流入することにより被害を受ける地域が広がること、閉山後も坑廃水の流出が続き汚染が継続するという、その他のものとは異なる特徴を持っている。特に、操業を停止した後も坑廃水が半永久的に流出し続け、汚染の原因となり続けるという特性により、国内での鉱山活動が衰退した現在、休廃止鉱山からの坑廃水による問題が鉱山鉱害の中心課題となっている。

以下では、坑廃水の性状、北海道内の休廃止鉱山における坑廃水対策の概況ならびに最近の調査事例について述べる。

2. 坑廃水の生成とその対策

休廃止鉱山における坑廃水の水質は、その地質・鉱床の相違により様々であるが、大きくは次の3つのタイプに分けられる(第1図, 金属鉱業事業団:2000)。

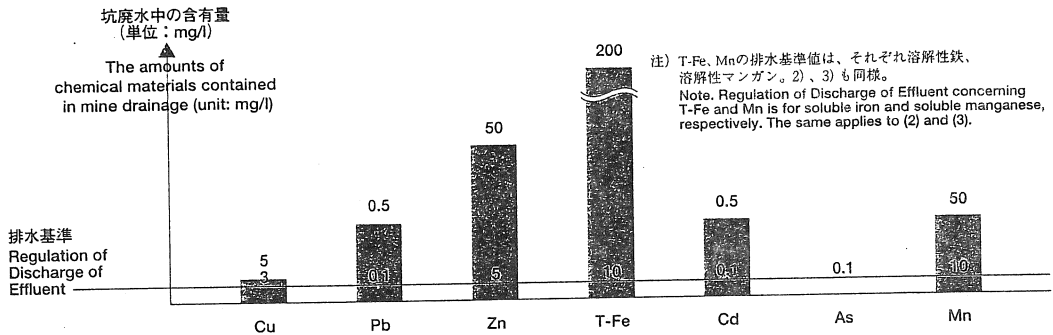
銅・鉛・亜鉛鉱山タイプ : 酸性を示し、多種類の重金属を含む。

硫黄鉱山タイプ : 上述のタイプ同様に酸性を示す。しかし鉄と砒素の濃度は高いが、その他の重金属の濃度は低い。

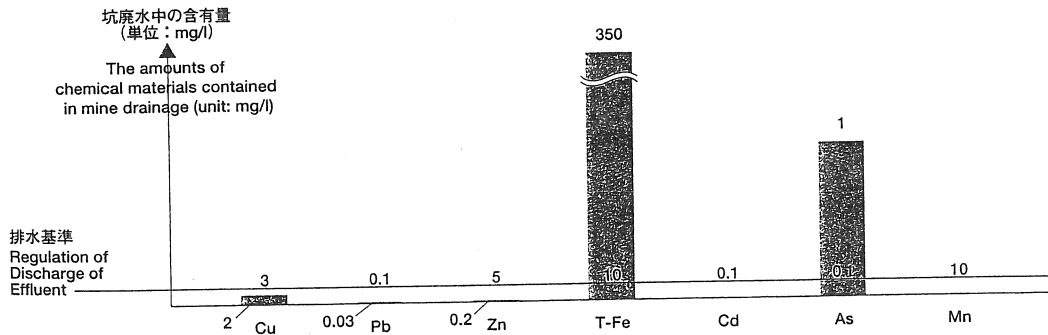
マンガン鉱山タイプ : pHはほぼ中性を示し、マンガンの濃度が高い。

これらのうち、酸性を示す坑廃水は特に酸性坑廃水と呼ばれ、硫化鉱の化学的

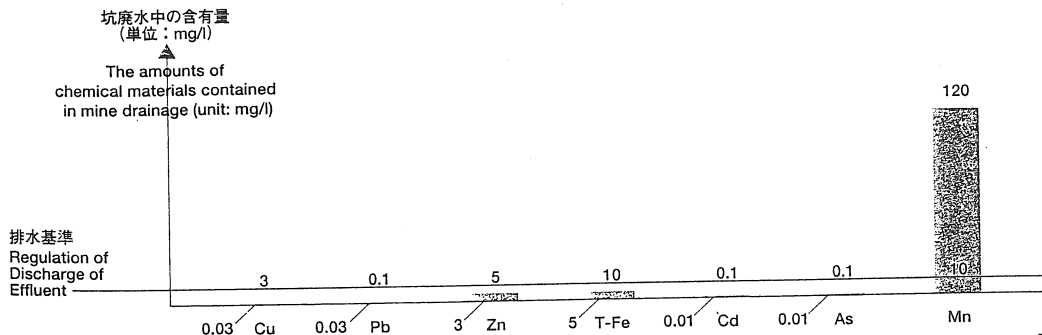
1) 銅・鉛・亜鉛鉱山タイプの実例 (pH 3.5) A sample of the type of drainage at copper, lead and zinc mines (pH 3.5)



2) 硫黄鉱山タイプの実例 (pH 1.8) A sample of the type of drainage at sulfur mines (pH 1.8)



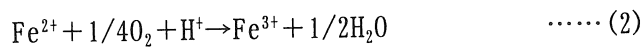
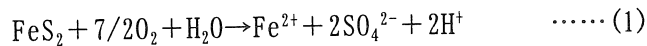
3) マンガン鉱山タイプの実例 (pH 6.2) A sample of the type of drainage at manganese mines (pH 6.2)

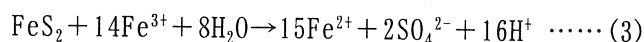


第1図 坑内水の水質の実例 金属鉱業事業団(2000)より抜粋

な酸化反応と生物的な作用により生成される (Kleinmann, Crearar and Pacelli, 1981) .

一例として硫化鉄鉱 (FeS₂) を起源とする酸性水の生成は次式で示される.





以上のうち(2)式は鉄酸化細菌による生物的作用によるもので、これで生成された Fe^{3+} が酸化剤となって硫化鉄の酸化を促進し、酸性水の生成を早めている。

このように、硫化鉄と酸素と水が共存する環境で坑内水の酸性化が進むと、砒素、カドミウム、銅、鉛、亜鉛等の有害物質の溶出が促進され、この結果、高濃度の有害物質を含む酸性坑内水となり、周辺環境を汚染することとなる。

坑廃水の対策としては、採掘跡へ流れ込む地下水の抑止、坑道内への酸素供給の抑止という観点に立ち、排水路の整備や覆土・植栽といった地表部での対策、坑道の密閉に代表される地下での対策が採られ、坑廃水の流量低下・水質改善を図られている。この他、鉄酸化細菌による作用を抑止する方法も研究が行われている(Kleinmann, Crearar and Pacelli, 1981, Sasaki and Tsunekawa, 1996)。

以上の方法を講じても、排水基準を満たすことができない場合、最終的な手段として、水処理による有害物質の除去が行われる。水処理の方法は、アルカリ剤(消石灰や炭酸カルシウム等)を添加する中和処理が一般的である。このほか、鉄細菌による処理を中和処理工程に組み込み、処理の効率化を図る方法が一部の鉱山で実用化されている。さらに、マンガン鉱山タイプの坑廃水処理に対しても、マンガン酸化能を有する菌を利用しようという研究が進められている(黒沢ほか, 2000)。また、欧米では、湿地に坑内水を導き、自然の浄化能力を利用して水質改善を図る方法が取り入れられている。

現在、日本国内では74ヶ所の休廃止鉱山において、坑廃水の処理が続けられている。これらの休廃止鉱山における鉱害防止事業は、金属鉱業等鉱害対策特別措置法に基づき実施され、鉱山の最終鉱業権者が残っている場合は自らの責任で処理を継続し、最終鉱業権者が経済的に破綻した場合などは、国と地方公共団体が費用の全額を負担して処理を続けることとなっている。その負担割合は国が3/4、残りの1/4を地方公共団体が負担することとなっている。さらに、義務者存在鉱山

に対しても、処理費の一部を同じ負担割合で国と地方公共団体が補助している。
 なお、平成4年に資源環境センターが設立され、義務者存在鉱山における坑廃水
 処理事業が同センターへ、順次、移管されつつある。

3. 北海道における坑廃水対策の状況

北海道においては第1表に示すとおり、幌別硫黄鉱山、伊達鉱山及び本庫鉱山
 の3ヶ所の義務者不存在鉱山において水処理が継続され、精進川鉱山で鉱害防止
 の調査及び工事が継続されているほか、道南にある4鉱山が工事未着手のまま残
 されている。

第1表 道内の義務者不存在鉱山

	鉱山名	所在地	主な鉱種
坑内水処理	幌別硫黄	壮瞥町	硫黄, 硫化鉄
	伊達	伊達市	金, 銀, 銅, 硫化鉄
	本庫	歌登町	銅, 鉛, 亜鉛
調査中	精進川	鹿部町, 七飯町	硫黄, 硫化鉄
未着手	滝の沢	南茅部町	硫黄
	鶴野	函館市	銅, 鉛, 亜鉛
	常盤松	榎法華村	硫黄
	古武井	恵山町	硫黄

この他、第2表に示す10ヶ所の義務者存在鉱山で坑廃水処理が行われている。
 これらの休廃止鉱山における鉱害防止事業には、北海道予算から平成12年度
 には約6億3千万円（内、国庫補助約4億4千万円）の費用が投入されている。

この中で、年間予算の半額にあたる3億円余りが、幌別硫黄鉱山における坑廃水処理に使われている。

幌別硫黄鉱山は、胆振支庁管内壮瞥町に位置し、道内で最大規模の処理が行われている。同鉱山は昭和48年に閉山し、元の所有者であった北海道硫黄株式会社が解散したあと、義務者不存鉱山として北海道が地元の壮瞥町に委託して坑廃水の中和処理が続けられている(北海道・壮瞥町、2000)。

同鉱山の坑廃水の流量は平均4m³/minであり、その水質はpHが1.8と強酸性を示し、鉄を400mg/L、砒素を10mg/L含んでいる。

中和処理は炭酸カルシウムと消石灰を用いる2段中和法が採用されている。これは、炭酸カルシウムの添加により坑内水のpHを6まで上昇させた後、消石灰を添加してpHを7まで上げるという方法である(第2図)。本法を採用することにより、

(1)安価な炭酸カルシウムを使用することにより、薬剤費を低く抑えることができる。

(2)中和沈殿物の脱水性が向上する。
 のような利点が得られる。

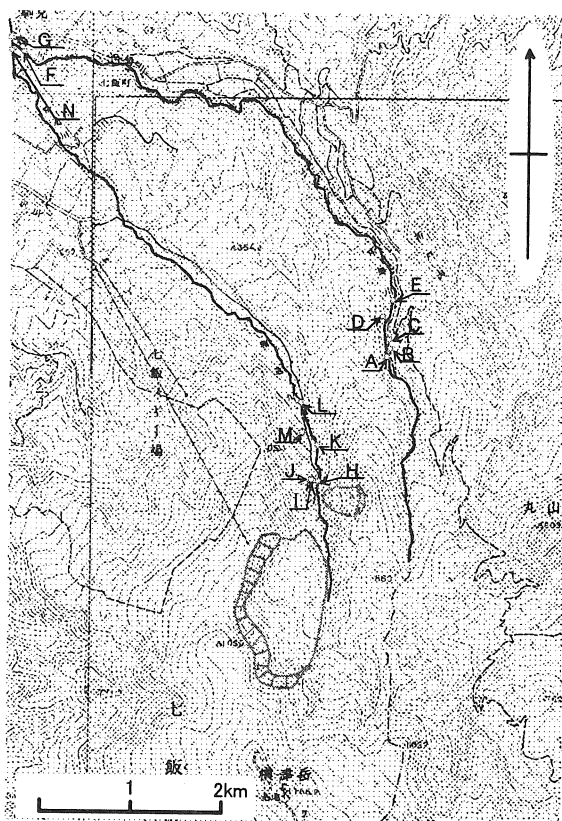
第2表 道内の義務者存在鉱山

鉱山名	所在地	主な鉱種
鴻之舞	紋別市	金, 銀
余市	余市町	銅, 鉛, 亜鉛
国富	共和町	銅, 鉛, 亜鉛
手稲	札幌市	金, 銀, 銅
イトムカ	留辺蘂町	水銀
竜昇殿	紋別市	水銀
千歳	千歳市	金, 銀
下川	下川町	銅
上国	上ノ国町	マンガン
大江	仁木町	マンガン

4. 最近の調査例（精進川鉦山）

北海道南部に位置する精進川鉦山では、閉山から40年近くを経た現在でも強酸性の坑内水の流出が続いている。これが未処理のまま河川に流入しているため、下流に設定されている公共用水域水質測定点(以下では基準点)において砒素などが環境基準を超過するという状態が続いている。

これに対し、北海道及び金属鉦業事業団が鉦害防止を目的とした各種の調査・工事を継続している。これら一連の調査の中で、河床堆積物により砒素が河川水から自然に除去される可能性を示す結果が得られた。



第3図 水質調査地点

4-1. 酸性坑内水の流

出状況

旧精進川鉦山は精進川坑と雨鱒川坑の2地区に別れている。精進川坑では一坑及び三坑と呼ばれる坑道から坑内水が流出するほか、ズリ堆積場からも酸性水の流出が確認され、これらは精進川に流入している。一

第3表 坑内水及び水質観測点の流量及び水質

地点名	記号	流量	pH	SO ₄	T-Fe	T-As
		m ³ /min		mg/L	mg/L	mg/L
一坑	J	2.36	2.2	491	61.6	0.165
三坑	I	0.27	3.1	102	9.03	0.026
堆積場	M	0.27	2.1	2021	128	0.088
大盛坑	C	0.47	2.5	342	43.0	0.800
露天掘1	B	0.17	2.6	312	26.9	0.149
露天掘2	B	0.23	2.8	297	19.6	0.033
中切坑	D	3.71	2.3	434	43.5	0.363
基準点	G	93.7	3.6	75.0	3.14	0.014

(測定日は1998/10/5。記号は第3図中の調査地点を示す。)

方、雨鱒川坑では中切坑、大盛坑、露天掘り跡から坑内水の流出が確認されており、これらは全て雨鱒川に流入している。精進川と雨鱒川はそれぞれ鉾山跡から6 km程度下流で合流しており、合流点直後に基準点が設定されている。これらの水質及び流量は第3表に示すとおりである。

4-2. 負荷量の変化

鉾山跡付近から基準点までの区間において、第3図に示すA~Nの14点で坑内水及び河川水の流量と水質測定を行いFeとAsの負荷量の変化を調べた。なお、E, F, G, K, L, Nの6点では採水時にフィルター(保留粒子径:0.6 μm)によりろ過した試料も採取しこれを溶存成分濃度とした。以下では、T-:ろ過しない試料による溶存成分と非溶存成分を合計した濃度、D-:ろ過した試料による溶存成分濃度と区別して表現する。

第4図にT-Fe(実線)とD-Fe(破線)、第5図にT-As(実線)とD-As(破線)の負荷量の変化状況を示す。この結果、以下に示す3点が明らかとなった。

1. 精進川においては下流に向けてT-Fe負荷量は漸減するが、雨鱒川ではD-Fe負荷量は減るもののT-Fe負荷量の低下は少ない。
2. 精進川ではT-As負荷量、D-As負荷量とも下流に向けて著しく減少する。しかし、雨鱒川ではD-As負荷量は減少するものの、T-As負荷量の変化は少ない。
3. 雨鱒川末端では、非溶存性のFe及びAsの負荷量が多く、これが環境基準超過の主因となっている。

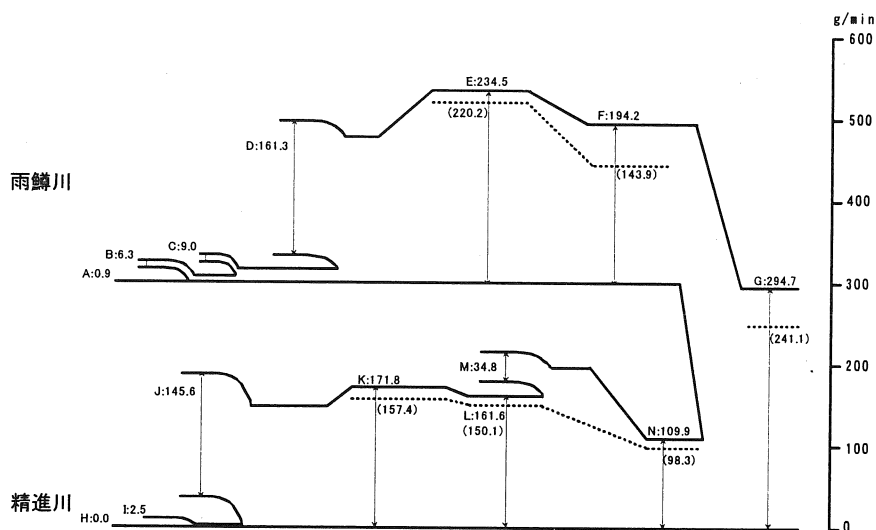
4-3. 河川の概況

両河川における負荷量の変化状況に大きな相違が生じた原因を探るため、河川沿いに踏査を実施した。

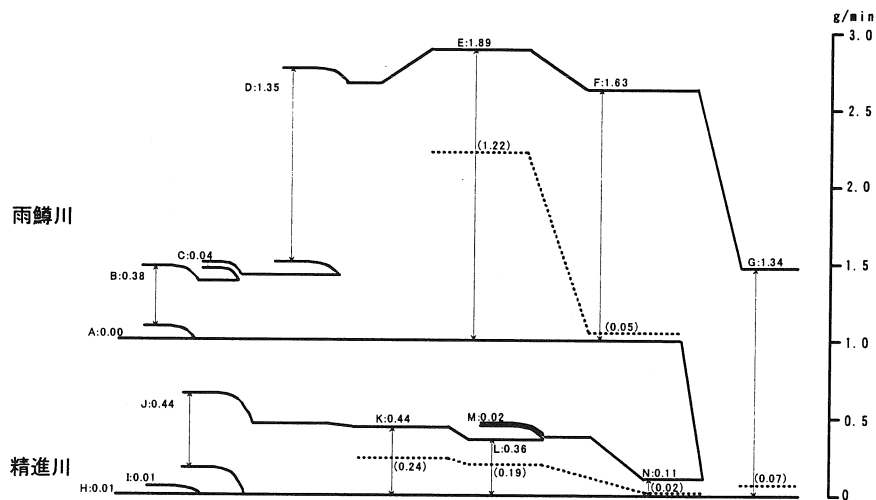
この結果、雨鱒川では河岸に小規模な砂州状の砂の堆積が多く認められた。これらの砂の堆積物は赤褐色の沈殿物に覆われており、さらに沈殿物は僅かの動揺

でも砂堆積物の表面から離れ懸濁物質として河川水に混じりやすい状況におかれていた。この沈殿物には鉄や砒素が含まれると考えられ、非溶存性の鉄や砒素が流下しやすい状態が下流から中流域にまで続くことが確認された。

一方、精進川においては、河床は径数10cm~1m程度の礫で覆われ、砂などの細粒分の露出は少ない。確認はしていないが、砒素を含む鉄の沈殿物がこの



第4図 T-Fe,D-Feの負荷量変化



第5図 T-As,D-Asの負荷量変化

礫の下に潜り込んで堆積し、下流に流されにくい状態に置かれているものと推定される。このため、精進川ではT-As、T-Feの負荷量が下流に向けて大きく減少したものと考えられる。

精進川の河床に多く分布する礫は、上流部の山地斜面に存在する地すべり地形との関連が想定できる。「北海道の地すべり地形」によれば精進川の上流部の左岸側斜面に大規模な地すべり地形が存在している(第3図)。この地すべりによって発生した土砂や礫が精進川に流入し、現在も河床に多量の大礫が残存しているものと考えられる。

5. おわりに

坑廃止鉱山における坑廃水の流出を止めることは非常に困難であり、坑廃水による環境汚染を防ぐには、水処理に頼らざるを得ない状況にある。しかし、全く生産活動が無い中で、水処理だけを半永久的に続けなければならないのは、たとえ環境を守るためであると言っても、大きな負担であることは間違いない。

このため、人工湿地による浄化法、マンガン酸化菌の働きを導入する方法、さらには前節で述べた河川堆積物による砒素の除去作用の応用する方法など、水処理の合理化・経費削減を図る方法を不断に探っていくことが必要とされている。

さらに、酸性水の問題として、近年、硫化鉱を含む建設残土の処理が注目されるようになってきている。

これらの問題には化学、生物、地質、鉱山及び土木など様々な分野が関連しており、その解決には各専門分野からのアプローチはもちろん、これらを統合した総合的な取り組みが必要である。

文 献

金属鉱業事業団(2000)：鉱害防止技術開発事業の概要，金属鉱業事業団パンフレット

Kleinmann, Crearar, and Pacelli(1981)：Biogeochemistry of Acid Mine Drainage and a Method

to Control Acid Formation, Mining Engineering, March, p. 300-305

Sasaki and Tsunekawa(1996) : Evaluation of Tannic and Fulvic Acids as Inhibitors of Cell Growth and Iron and Sulfur Oxidation in *Thiobacillus ferrooxidans* and *Thiobacillus thiooxidans*, 資源と素材, Vol. 112, p. 929-933

黒沢ほか8名(2000) : 平成11年度共同研究報告書 鉾山廃水及び生活用水源からのマンガン除去技術の開発研究, 北海道立地質研究所・北海道立衛生研究所・小樽商科大学

北海道・壮瞥町(2000) : 幌別硫黄鉾山坑廃水処理事業の概要, 北海道・壮瞥町パンフレット

第 39 回 試験研究会講演資料集

発 行 平成 13 年 3 月 13 日

編 集 試験研究会

出 版 北海道立地質研究所

〒 060-0819 札幌市北区北 19 条 西 12 丁目

☎ 011(747)2211(代)

Fax 011(737)9071

URL <http://www.gsh.pref.hokkaido.jp>
