

# 第35回試錐研究会

## 講 演 資 料 集

期 日：平成9年3月18日(火)

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35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9年3月18日(火)  
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 和 氣 徹

**特別講演**

“カムチャッカの地熱”

工業技術院 地質調査所北海道支所

支所長 川 村 政 和

昼

食 (12:00～13:00)

# 講演

## 1. 地震・地殻変動の観測井

北海道大学理学部 笠原 稔

## 2. 温泉井の評価

上山試錐工業(株) 出口 高 広

## 3. 地下水の影響調査について

(株)アクア 佐藤 公之

## 4. 深層地下資源開発用ボーリングマシン

鉱研工業(株) 金子 豊

## 5. 無着色泥水の開発

(株)テルナイト 小玉 和弘

## (地学講座)

## 6. 北海道内におけるセラミックス資源

道立地下資源調査所 八幡 正弘

## 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



## カムチャッカの地熱

地質調査所 北海道支所 川村政和

### 1.カムチャッカ半島

わが国からは、新潟--ハバロフスク経由で訪れることのできるカムチャッカ半島には美しい自然が豊富に残されている。同州の産業としても、漁業に加えて、観光にも大きな期待が寄せられている。特に半島の北半分はほとんど国立公園に指定されているので、開発には大きな制約が加えられている。有数の火山地帯であるカムチャッカ半島内には30あまりの活火山があるが、カムチャッカ州の州都であるPetropavrovsk-Kamchatsky市の近くに位置するAvachinsky火山は市内のいたるところからその美しい姿をながめることができ、同市のシンボリック的存在になっている。

人口約30万人のPetropavrovsk-Kamchatsky市はAvacha湾に面した港湾都市であり、かつては重要な軍事拠点であったため、いたるところで軍人の姿がみかけられたが、現在はそれほどでもない。港には、しばしば日本の船舶が停泊しているのがながめられ、市内の商活動も比較的活発である。

市内にあるロシア科学アカデミー火山研究所は国際的にも有名であるが、1991年に地化学部門が分離・独立して別研究所になったため規模がかなり小さくなったが、現在はS.A.Fedotov所長のもとに地球物理・火山・地熱・物理化学の4つの研究部門があり、約100人程度の研究者が所属している。地熱部門はカムチャッカ半島における地熱資源量評価や、その開発指導に取り組んでいる。部長はV.M.Sugrobov博士であったが、最近、貯留層工学を専門とするA.V.Kiryukhin博士に交代している。

## 2. 地熱資源の分布

カムチャッカ半島内の火山は中央火山列と東部火山列の2つの系列に大きく分けられる。これらの火山列に沿って約150ヶ所の温泉地が分布しているが、その中で地表における地熱兆候が、沸騰泉等のように、泉温 $100^{\circ}\text{C}$ 以上の温泉がある高温地熱地域は、南から Koshelevsky, Pauzhetsky, Khodutkinsky, Mutnovsky, Bolshe-Banny, Karymsky, Semiachinsky, Geyzernaya, Uzon, Apapelsky, Kireunsky 等の11ヶ所がある。

これらの地域の中で、既に発電所が稼働している Pauzhetskyに加えて Koshelevsky, Mutnovsky, Bolshe-Bannyの4地域は地熱発電の有望地域として旧くから調査が行なわれていて、数多くの試錐がなされている。

また、 $100^{\circ}\text{C}$ 以下の中低温地熱地域の内、 $60^{\circ}\text{C}$ 以上の地域は約90ヶ所あるが、その中でも13ヶ所については比較的調査・開発が進んでいる。特に

Paratunsky地域は Petropavrovsk-Kamchatsky市にも近く、かつて共産党や軍の幹部の保養所があったところとして、マスコミ等で話題になることが多かったため良く知られているが、地熱活動も活発であり、約 $80^{\circ}\text{C}$ の熱水の湧出量は全体にわたって総計630 kg / secにもおよんでいる。

Paratunsky地域の他にも Ketkinsky, Malkinsky, Esoovsky等、各地の温泉地は、一般の保養地としても良く利用されている。

これらの地熱地域について、上述した火山列を南北に2分する形で、全体を北部・中部・東部・南部の4ブロックに区分して、カムチャッカ半島全域にわたる自然放熱量が見積もられている。最も活発なのは東部地熱区であり、カムチャッカ半島全体から放出されている総放熱量約2314 MWeの内、54%の1247MWeの放熱量を示すとされているが、高温地熱地域についてみると60%ほどにもなり、同ブロックの地熱活動の活発さが知られる。これに対して、北部地熱区には高温地熱地域はないものの、放熱量としては中部地熱区よりも大きく、同ブロックでは中低温地熱資源が豊富であることがうかがわれる。

### 3. 地熱開発

カムチャッカ半島全体の電力需要は300~400MWであり、その内、大都市のPetropavrovsk-Kamchatsky市では230MWが必要であるとされている。また更に、北国ならではの暖房用熱源の確保が重要であるため、前述した、各地の地熱資源の開発に対して大きな期待がなされている。

上述した高温地域11ヶ所の内、特に Koshelevskaya, Pauzhetskaya, Mutnovskaya, Bolshe-Bannoe の4地域では地熱発電が有望視されていて、坑井掘削による調査・開発が進行中である。

a) Pauzhetsky地域 --- Pauzhetskayaでは既に1966年以来、11 MWeのPauzhetsky地熱発電所が稼働しており、深度1200mまでの坑井が70数本掘削されていて、それより330kg/secの地熱流体と211°Cの貯留層温度が確認されている。しかし最近では、北部地域で冷水の進入に伴う温度低下が生じていて、その地区の坑井が閉鎖されている。このため周辺地域では開発地区の拡大や別途の発電所建設を考慮した調査が実施されている。

b) Koshelevsky地域 --- Koshelevsky火山の西側斜面の標高700mに位置しているこの地域では、深度1530mまでの坑井が14本掘削されていて、それらより24kg/secの地熱流体と244°Cの貯留層温度が確認されている。

c) Bolshe-Banny地域 --- この地域は標高400mほどのところに位置しており、1961~1969年にわたって調査がなされた。深度約1000mまでの坑井が50本ほど掘削されていて、最高温度190°Cや156kg/secの地熱流体が確認されたが、現在は坑井掘削等は行なわれていない。

d) Mutnovsky地域 --- この地域はMutnovsky火山の北側斜面の標高約800~900mに位置している。本地域内の中心部はDachny-siteであり、ここでは現場作業員宿舎用電源として、現在200kWの地熱発電機が運転中である。深度2000mまでの坑井が70本ほど掘削されていて、総計で443kg/secの地熱流体と305°Cの貯留層温度が確認されている。発電所の建設については、当初は200MWeの発電が計画されていたが、最近では4MWeを3基設置する方向に変更されている。

また、本地域はPetropavrovsk-Kamchatsky市にも近いため、電力輸送の他に、同市まで60kmの距離を地熱熱水を輸送する計画などもあって、4地域の中では開発に最も力が入れている。



#### 4. 地質調査所と火山研究所の研究協力

地質調査所は上記火山研究所との間で、日ロ科学技術協力協定にもとずいて、1991年から「地熱貯留層評価に関する共同研究」に取組み、お互いに交流を深めている。1991年の日本側からの訪問に対して、翌年には火山研究所のVladimir Belousov博士(前地熱部長V.M.Sugrobov博士の前任者)をわが国へ招聘し、これまでに計7回に及ぶ相互交流を実現している。

それに伴って共同研究も進展しており、Mutnovsky地域内の噴気地において赤外線利用の放熱量調査や一斉噴気テストに合わせて圧力変動観測等も実施している。特に、後者の研究については、Mutnovsky地域の開発に具体的に貢献するものとして、大きな評価を得ている。最近、同地域における発電所建設の動きが具体的な展開をみせており、今後も共同研究の一層の発展が期待されている。

#### 参考文献

1. Sugrobov, V.M. (1993) : Geothermal Resources of Kamchatka
2. Kiryukihin, A.V. (1994) : Natural State Conditions and Exploitation of the Dachny Geothermal Reservoir, Mutnovsky Hydrothermal System, Kamchatka
3. 川村政和(1995) : カムチャッカ半島ムトノフスキー地域の地熱開発

#### 図表一覧

- 表1. カムチャッカ半島における地熱放熱量
- 表2. カムチャッカ半島における高温地熱地域
- 表3. カムチャッカ半島における中低温地熱地域
- 表4. カムチャッカ半島における地熱発電所の概要
- 図1. カムチャッカ半島の地熱分布図
- 図2. ムトノフスキー地域の地形と坑井位置
- 図3. ムトノフスキー地域の地熱系モデル

表1. カムチャッカ半島における地熱放熱量 (単位: MWt)

地熱地域	温泉数	中低温熱水	高温熱水	総計
北部	16	81.3	--	81.3
中部	26	21.8	41	62.3
東部	52	198.3	1049	1247.3
南部	55	230.8	692	923.0
全域	149	532.2	1782	2313.9

表2. カムチャッカ半島における高温地熱地域

地熱地域	面積 km <sup>2</sup>	貯留層温度 °C	放熱量 MWt
1. Koshelevsky	15	220	314
2. Pauzhetsky	18	220	104
3. Khodutkinsky	12	200	42
4. Mutnovsky	32	300	546 (153)
5. Bolshe-Banny	6	200	79
6. Karymsky	15	200	146
7. Semiachinskya			314
8. Geyzernaya			321
9. Uzon			268
10. Apapelsky		200	16
11. Kireunsky	7	200	25

表3. カムチャッカ半島における中低温地熱地域

地熱地域	面積 km <sup>2</sup>	最高泉温 °C	貯留層温度 °C	放熱量 MWt
12. Tumlatsky	2.5	47.5	115	5.0
13. Palansky	6.5	95.0	105	7.5
14. Rusakovsky	10.0	76.5	90	57.8
15. Anavgaisky	1.5	52.0	115	7.4
16. Essovsky	3.0	65.0	104	4.4
17. Pushchinsky	2.5	46.0	110	1.5
18. Nalychevsky	11.0	75.0	143	9.4
19. Malkinsky	2.5	83.0	128	9.4
20. Pinachevsky	1.5	12.5	95	0.8
21. Nachikinsky	1.5	81.0	106	4.2
22. Yuzhno-Berezhnoe	2.0	28.0	90	0.2
23. Paratunsky	10.0	81.5	110	8.2
24. Verkhne-Paratunsky	9.0	70.5	110	20.6

表4.カムチャッカ半島における地熱発電所の概要

地熱地域	単位	Pauzhetsky	Mutnovsky
運転開始	年	1966	計画中
発電機	MWe	2.5 x 2+6.0 x 1	4.0 x 3
坑井数	坑	79	71
深度	m	1200	2100
最高温度	°C	211	305
地熱水量	kg / s	240 (330)	156 (443)

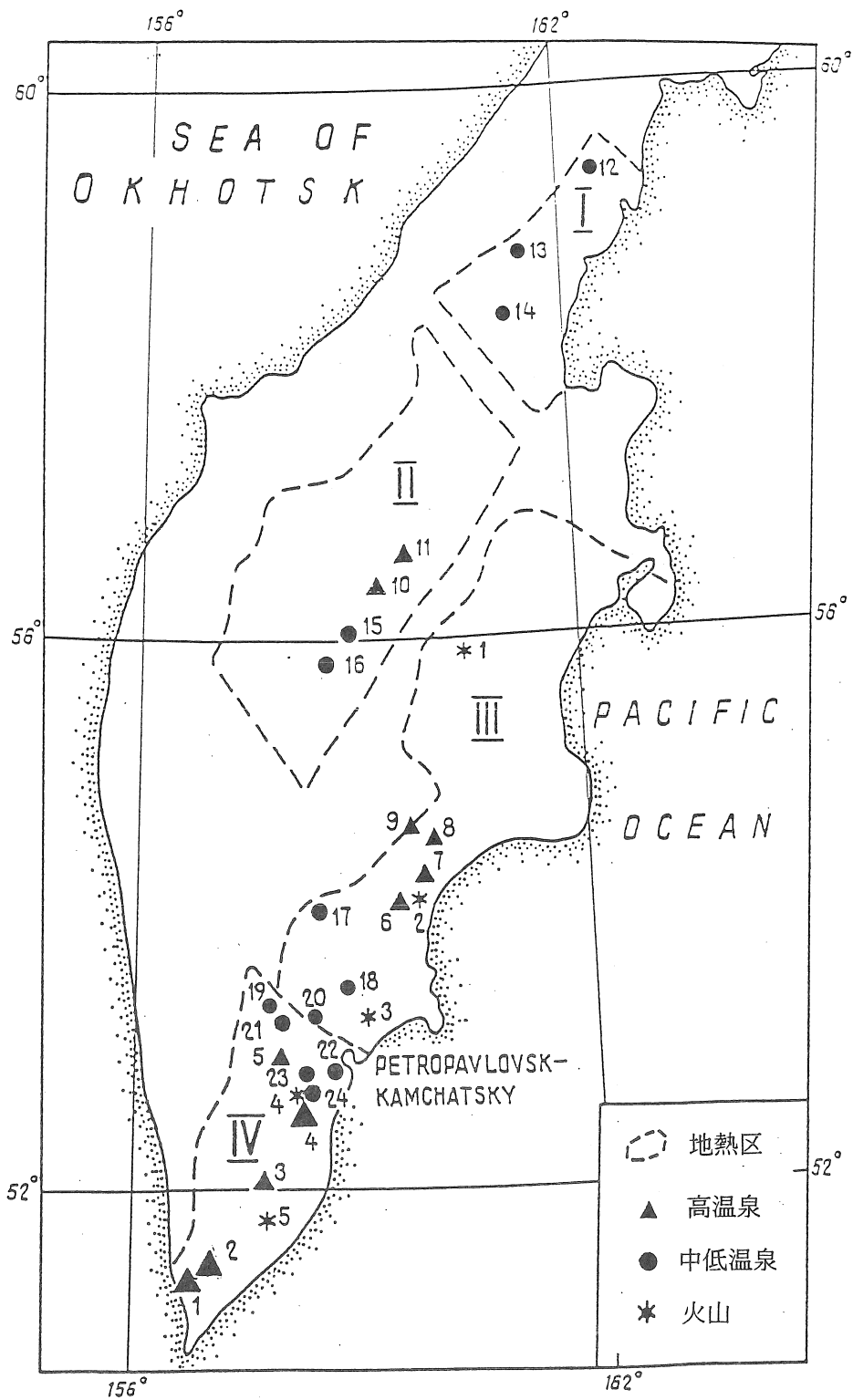


図1. カムチャッカ半島の地熱分布図

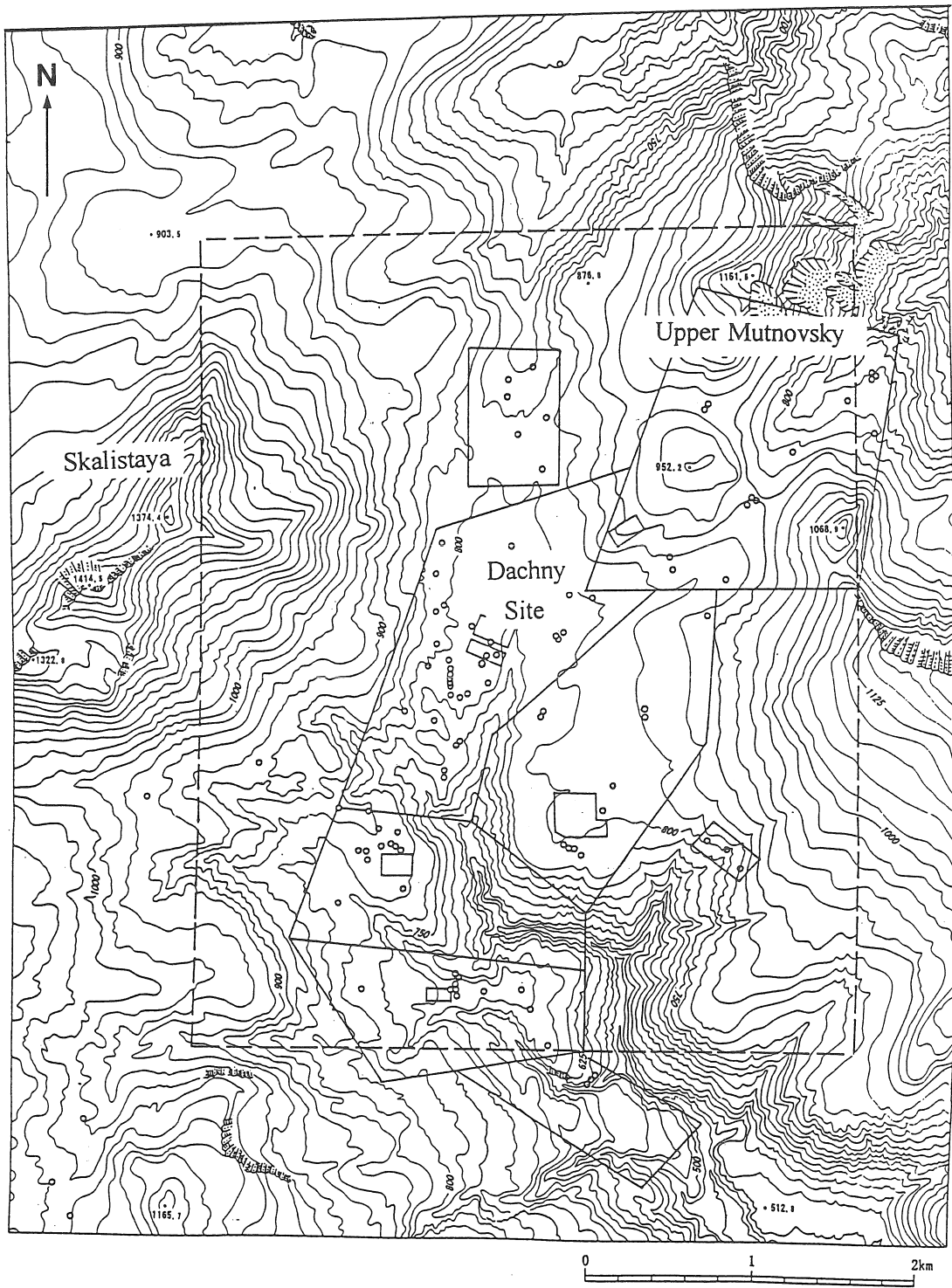
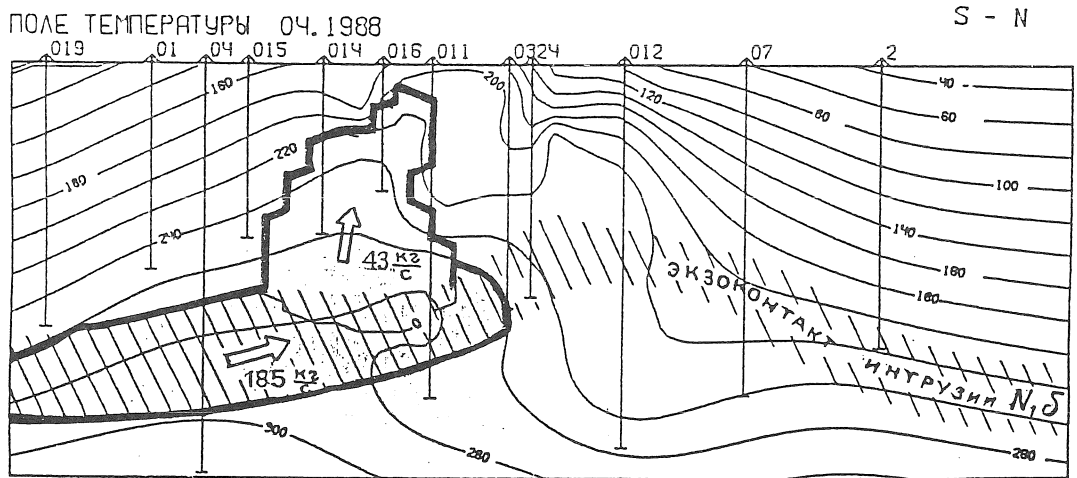
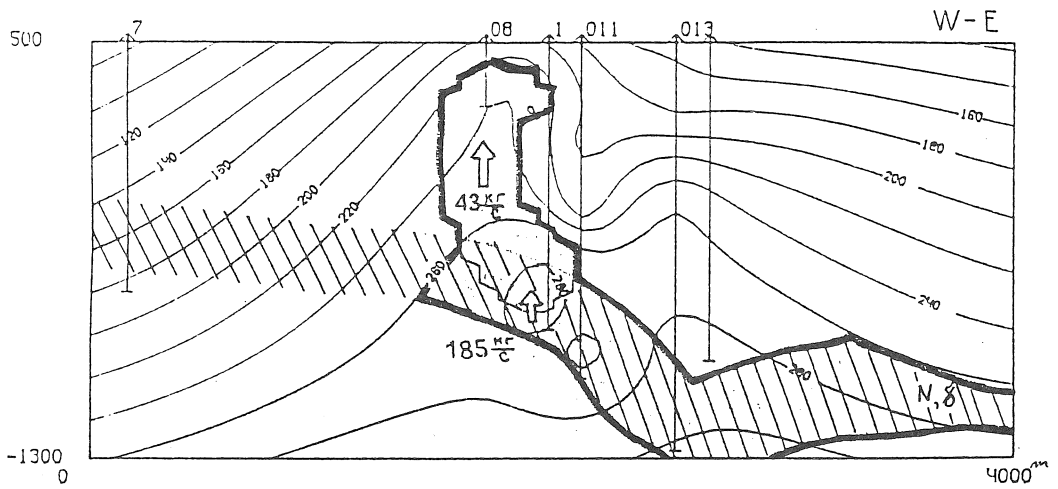


図2. ムトノフスキー地域の地形と坑井位置



MUTNOVSKY GEOTHERMAL FIELD

図3. ムトノフスキー地域の地熱系モデル



講

演





# 地震・地殻変動の観測井

北海道大学理学部  
地震予知観測地域センター  
笠原 稔

## 1. はじめに

地震現象は、地殻内部の破壊であり、その原因は地殻内部応力の不均衡にある。地震を知るためには、“測る”ことが必要である。地殻が弾性体としての性質を持つために、地震時（破壊＝断層の生成）に、2種類の弾性波動（縦波＝P波、横波＝S波）を発生する。それを観測する器械が「地震計」である。これを、多くの地点に設置し、伝搬してくる2種類の弾性波動を、基準になる「時計」のもとで、それぞれの地点への到着時刻を精度良く決めることから、その震源の位置を求める。こうして、世界中の震源分布が求められるし、大地震の余震活動、あるいは群発地震の活動などを観測してきた。これらにより、どのような場所で地震が発生するかは、かなり良く分かるようになってきた。また、地震波形は、“地中からの手紙”でもあり、これらの解析によりどのような応力状態で発生したか、あるいはどんな特徴を持っているかなどを知れるわけである。

地震は、地殻内部応力の不均衡によって生じると述べたが、この力は「弾性エネルギー」として、時間的に徐々に地殻内に蓄えられるものと考えられる。その蓄積過程を観測していけば、地震の前の「異常変動＝前兆現象」を捉えることが出来るだろうとの考えは自然である。実際に、過去の大地震の前の変動（人目に分かる程）が古文書から何例も見つかっている。そこで、地殻応力の変化を、地殻歪や傾斜変化として連続観測する方法を用いている。この場合、できるだけ地殻（岩盤）の新鮮な場所に計器を設置することが必要で、また、しかるべき感度を得るために、30m程の観測長が必要なために、横坑を利用してきた。

1965年より始まった、地震予知計画で、北海道にも、微小地震・地殻変動観測点が作られてきた。図1は、1996年現在の北海道の地震観測点分布である。このうちの、2重丸が、地殻変動観測も並行している、横坑の観測点である。また、ここには気象庁札幌管区気象台の29点の地震観測点も示されている。

## 2. 観測井の必要性

地震の大きさ（実際の破壊領域の広がり）の規模は、過去最大のものが、約長さ1000kmのチリ地震から、小さいものは、極端に言って鉱物の分子サイズの破壊まで、16桁におよぶ。1994年10月の北海道東方沖地震（M8.2）は、断層長さ150km、1995年4月の札幌市白石区付近有感の（M2.7）の地震は、断層長さ150mというものである。小さい地震程、沢山起きる性質があつて、「地震計」の感度を上げれば、短時間のうちにその地域の地震活動、震源分布の詳細が得られることになる。そこで、地震予知研究計画の1つの柱として、微小地震観測網の展開が大学を中心に、1970年代に始まった。ちいさな地震は、もちろん、信号も微弱であり、高感度観測を可能にするのは、バックグラウンドの震動の小さいところが必要である。そのために、都市をさけて、観測点を展開してきた。これまでは、コストが先行して、安上がりであることで観測点密度を上げてきた。

しかしながら、神戸の地震でもはっきりしたことではあるが、「災害」という観点から見ると、内陸の地震は足元で起きるわけで、その状況を観測するには、その「場所」での高密度な観測がどうしても必要である。都市の場合は、地表から逃げつつ、地震に近づくために、深井戸観測井が必要となる。

地殻変動の観測の場合も、同様で、坑井式の高感度歪計、傾斜計の開発が進み、深井戸観測井による観測が始められた。図2に、その概要を示した。

### 3. 観測井の実例

これまでに、北海道大学では、北海道内で観測井を掘削したのは、次の点である。地震観測条件の向上のために、100mの地震観測井が、次の点に掘削された。

1. 浜益
2. 日高
3. 岩内仙峡

ついで、日本海東縁部の地殻活動の監視、駒ヶ岳火山の活動監視、という目的で、500mの地震・地殻変動観測井が次の点に掘削された。これは、1993年北海道南西沖地震の後である。

4. 奥尻
5. 積丹
6. 駒ヶ岳

続いて、根室・十勝沖の次の地震の監視、という目的で、300mの地震・地殻変動観測井が次の点に掘削された。順次設置された。

7. 根室
8. 厚岸

内陸地震の震源近傍での観測のために、弟子屈地震の断層の南北端に、体積歪計の設置用に、180mの観測井が掘削された。

9. 屈斜路
10. 仁多(弟子屈)

今後は、北大としては、日本海東縁部北部の地殻活動の監視のために、「礼文」「天売」観測点、根室・十勝沖の次の地震の監視のために、「浦幌」「広尾」「えりも」に、500m級の観測井を検討している。また、基本的観測網の整備を科学技術庁は進めており、20～30km間隔での地震観測網が全国に展開される。これは、少なくとも200m深度の観測井を条件としており、北海道の場合、100点程必要となる計算であるが、また、計画の全容は示されていない。

1996年度、札幌市は科学技術庁の補助金をあわせて、両者50/50の出資で、500m観測井3本を掘削している。この目的は、札幌市に想定されるM6.5クラスの直下地震の可能性はあっても、その位置(活断層の空間的位置)の同定ができない状況では、その被害想定が出来にくく、まづ、直下で発生している地震の震源やメカニズムの解析が基礎データとして必要であることにある。札幌の場合、厚い堆積層があり、地震並びに地殻変動も観測しようとする、1000m級の観測井が必要である。今回は、主目的を地震観測に置き、「手稲前田」「里塚」には、地殻変動計器も設置するが、「中沼」は、地震計のみとすることになっている。これらは、地震・地殻変動観測の他にも、地表における強震動の予測に重要な、P波S波の弾性波探査を行うとともに、コアの採取を行っている。観測および調査井として機能してもらった。図3に、観測井の仕様を示す。

これらのデータは、もちろん、多くの研究機関に公開されるとともに、市民への広報を定期的に行われるものと期待したい。北海道のいくつかの地域では、直下型地震の想定されるところがあり、それぞれの所で、このような取り組みも必要となるであろうが、別目的で掘削される井戸の利用も検討されるべきかも知れない。

### 4. おわりに

観測井による地震・地殻変動観測の感度・精度の向上は、本質的に地震研究には必要で、今後、より深い観測井が期待されるが、埋設する計器の温度特性の改善、データ伝送の耐雷化などとともに、井戸の費用の低減が出来るかどうか問題となるかもしれない。

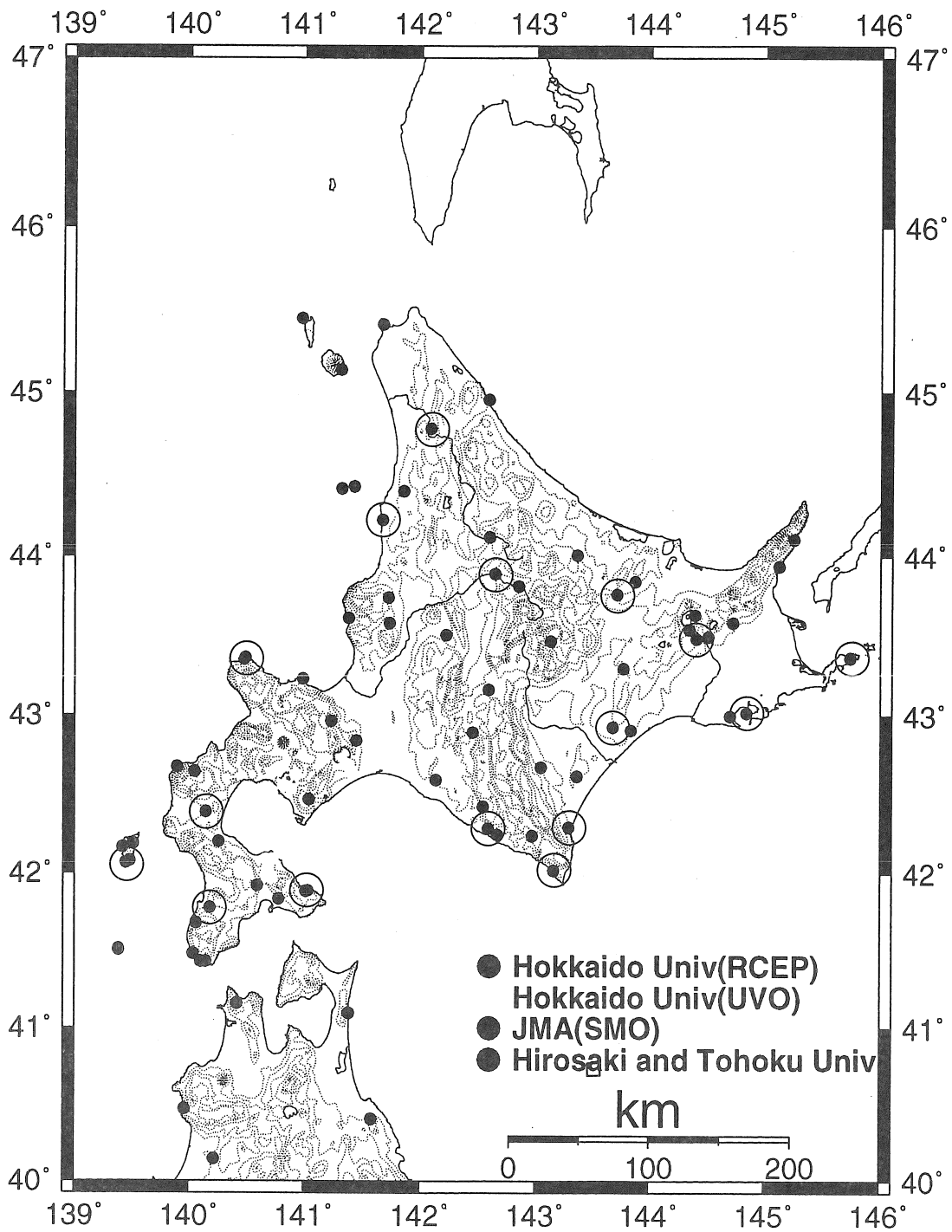


図1 北海道内地震観測点分布  
 ◎は、地殻変動観測点と並行

Borehole-type Integrated Instrument  
for Crustal Movement Observation

500 m井での複合型地殻変動観測装置

○笠原稔, 岡山宗夫, 前田亟 (北海道大学理学部)  
石井紘 (東京大学地震研究所), 山内常生 (名古屋大学理学部)  
佐藤孝雄 (明豊エンジニアリング), 菅谷忠雄 (テクノ菅谷)

Integrated Instrument for Crustal Movement  
Observation at 500m Depth Borehole

M.Kasahara, M.Okayama, I.Maeda (Fac. of Sci., Hokkaido Univ.),  
H.Ishii (ERI, Univ. of Tokyo), T.Yamauchi (Fac. of Sci., Nagoya Univ.),  
T.Satoh (Meiho Engineering Inc.), and T.Sugaya (Techno Sugaya Inc.)

地殻変動連続記録に見られる降雨による擾乱は、最も大きな問題である。これを避けること、すなわちS/Nの改善、が地震前兆地殻変動あるいはスローアースクエイクなどの検出に不可欠である。そのためには、これまで以上に地中深く入ることが唯一の方法であろう。長大トンネルが掘れるならば、従来の観測装置をいくつも使うことができるが、掘削の費用が膨大になる。深い縦坑は、掘削の費用は割安であるが、その中に設置する装置が限定される。

そこで、500 m深さまでのボアホールに適した、多成分・多種類のセンサーを組み込める装置を制作し、本観測に入ったので報告する。

深さ500 mは、有線方式でのデータ伝送、センサーの耐温度特性などから、安全限界であろう。ここでは、北海道 積丹岬、奥尻島、駒ヶ岳の3ヶ所に掘削した500 m深さの井戸に設置した計器について報告する。

基本的には、石井式の3成分歪み計、2成分傾斜計を地殻変動観測計器とし、そのほかに、サーボ型加速度計3成分、AEセンサー1成分、温度計を内蔵している。埋設時の方位の決定は、この深さではメカニカルには行えないので、ジャイロを内蔵し、した。右の図に組み込んだセンサーの配置を示す。全体の大きさは、2682 mm X 110 mm φ である。AEセンサーは圧電素子で、100 Hz ~ 1 K c を観測する。このデータ伝送には同軸ケーブルが必要となるために、全体のケーブルの太さが37 mm φ になった。電源は、バッテリーから供給するが、充電切り替を光信号による方法を採用し、テレメーター系とは絶縁アンプで結び、ボアホール内のシステムは完全に外部と切り放されている。

本体は、143 mm φ の10 mの裸坑部下部にセメントモルタルで固定した。本体のセントライズのために、136 mm φ のガイドを取り付けたが、3ヶ所共に、スムーズに着底できた。

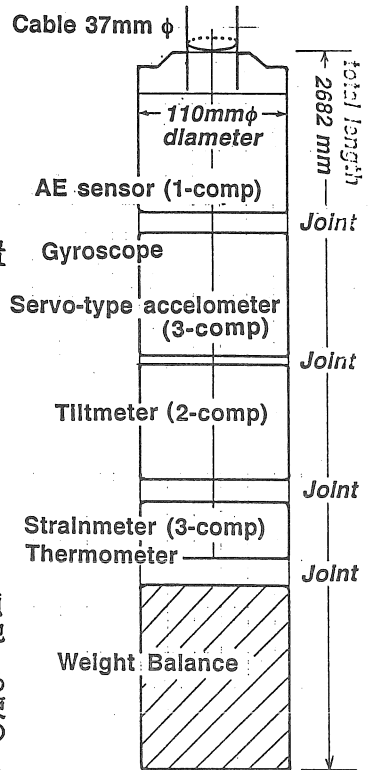
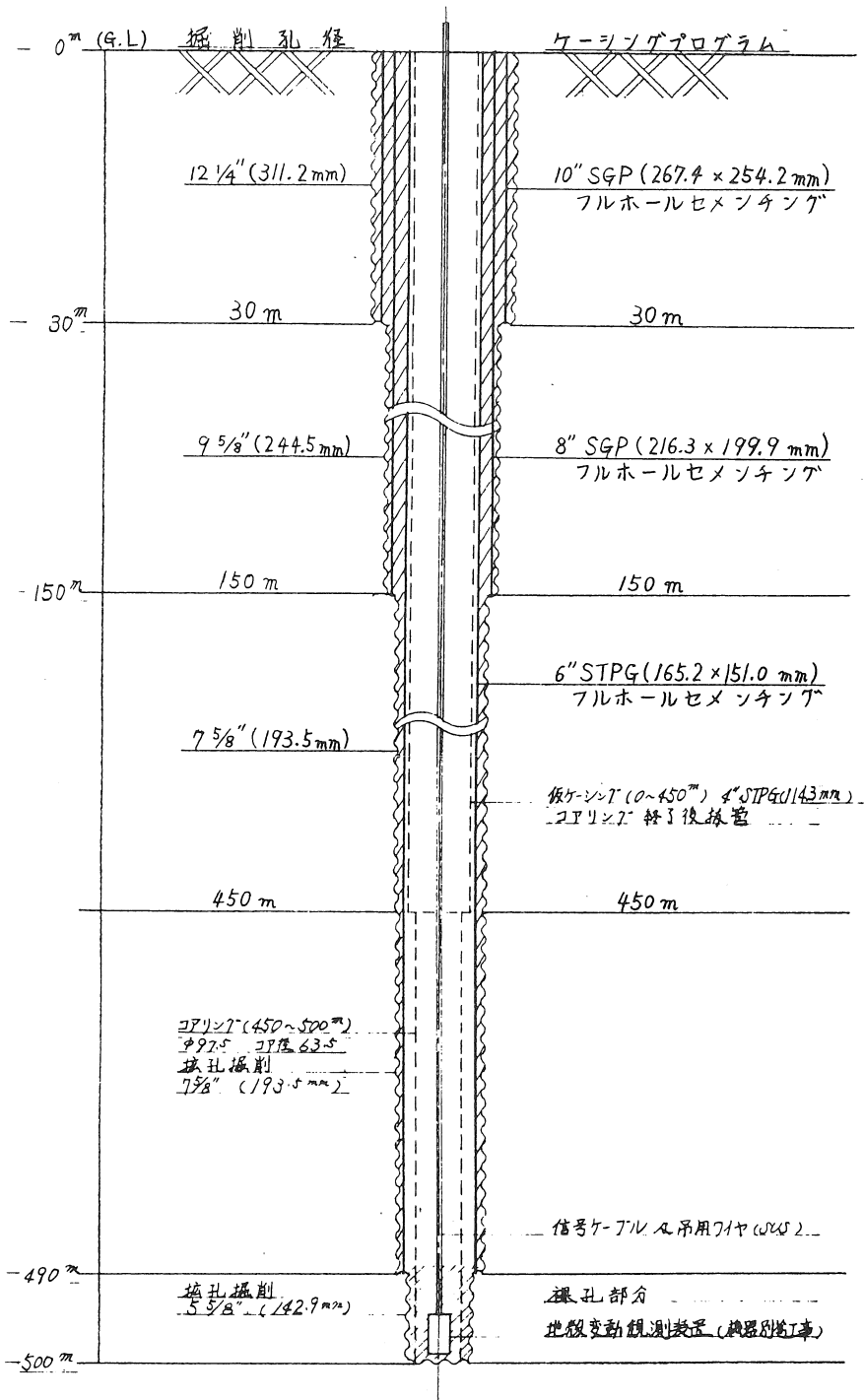


図2 装置概要



掘削孔仕上り断面図 (参考)

図3 観測井仕様

# 温 泉 井 の 評 価

(温泉の開発に関する一考察)

上山試錐工業株式会社

出 口 高 広

## 1. はじめに

温泉は気軽に行ける保養、休息、リフレッシュの場として、各市町村にはなくてはならない施設となりつつあります。

いわゆる 「おらがまちの温泉」 が望まれています。

このようなことから、これまで温泉が出ないと言われてきた地域においても、温泉ボーリングが盛んに行われて、多くの市町村で、温泉の開発に成功したと新聞・テレビ等で大きく報道されています。

また、「あのまちでできるのならうちのまちもできるのではないか」と考えて、温泉を掘る市町村も少なくないものと思われれます。

しかし現状は、報道内容とは大きく異なり、利用するとなると報道された温泉の湧出する湯量は一時的なものであって、長期的に安定した湧出湯量は報告された湯量の半分にも満たない温泉井や、苦辛したにも関わらず、やっと「水道の蛇口1つ分以下」(約20ℓ/分≒30m<sup>3</sup>/日)の温泉、つまり“<sup>おんせん</sup>温泉の素<sup>もと</sup>”程度の温泉しか汲み上げることができない温泉井なども、開発に成功した温泉井の数の中に含まれています。

このことは、最近のボーリング技術の進歩もありますが、温泉ポンプの高性能化によって量的に少ない温泉であっても、より深い深度にポンプを設置し、温泉水を汲み上げることが可能になったことなどによるものと考えられます。

言い換えれば、強力なポンプの開発により、従来失敗とされていた温泉井も、地層の絞り水程度の温泉水を短時間で揚湯し、あたかも成功という結果が与えられます。

温泉井の評価は、長期的な視野に立って見た温泉資源の賦存量および温泉井の適正な揚湯量を判定することが重要であり、その正しい評価が温泉の寿命を長くし、枯渇を防ぐ最も大切なことと考えられます。

そこで、温泉開発の発注に携わる方々に、温泉開発の基本などについてお話したいと思います。

## 2. 温泉とは

温泉は有限であり、どんな優秀な温泉であっても長期的には少しずつは減少していく場合があります。過剰な汲み上げは温泉資源の枯渇を招くことから、適正な範囲内での温泉利用を心がけることが必要です（利用の効率化）。

温泉とは普通の水と異なった特殊の水が湧き出る現象であり、我が国では次のように規定されています。

① 水温 25℃以上

② 水に溶存している物質（ガス性のものを除く）の総量が表-1に示した19項目の物質成分の内いずれか1つ以上

すなわち、温度が25℃以上でなくても、溶存成分がいずれか1つ満たされていれば、“温泉”と言うことができます。

また、温泉の分析書に記載されている湧出量とは、一時的なものではなく、源泉から連続して得られる量でなければなりません。

表-1 温泉の溶存成分

物質名	含有量（1キログラム中）
溶存物質（ガス性のものを除く）	総量 1,000ミリグラム以上
遊離炭酸（CO <sub>2</sub> ）	250ミリグラム以上
リチウムイオン（Li <sup>+</sup> ）	1ミリグラム以上
ストロンチウムイオン（Sr <sup>++</sup> ）	10ミリグラム以上
バリウムイオン（Ba <sup>++</sup> ）	5ミリグラム以上
フェロ又はフェリイオン（Fe <sup>++</sup> 、Fe <sup>+++</sup> ）	10ミリグラム以上
第1マンガンイオン（Mn <sup>++</sup> ）	10ミリグラム以上
水素イオン（H <sup>+</sup> ）	1ミリグラム以上
臭素イオン（Br <sup>-</sup> ）	5ミリグラム以上
沃素イオン（I <sup>-</sup> ）	1ミリグラム以上
ふっ素イオン（F <sup>-</sup> ）	2ミリグラム以上
ヒドロヒ酸イオン（HAsO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ）	1.33ミリグラム以上
メタ亜ひ酸（HAsO <sub>2</sub> ）	1ミリグラム以上
総硫黄（S） [HS <sup>-</sup> +S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>-</sup> +H <sub>2</sub> Sに対応するもの]	1ミリグラム以上
メタほう酸（HBO <sub>2</sub> ）	5ミリグラム以上
メタけい酸（H <sub>2</sub> SiCO <sub>3</sub> ）	50ミリグラム以上
重炭酸そうだ（NaHCO <sub>3</sub> ）	340ミリグラム以上
ラドン（Rn）	20（百億分の1キュリー単位）以上
ラジウム塩（Raとして）	1億分の1ミリグラム以上

Q.1 海の水は水より重たいのだから、海のそばで井戸を掘って1kg中に1g以上の溶存成分があれば、温泉として認められるのではないだろうか？

A.1 海水の溶存成分は1kg中に約34g含まれています。したがって、表-1を見る限り論理的には温泉ということができるかも知れません。しかし、温泉法第二条に「温泉とは地中からゆう出する…」とあり、明らかに海水を採取することを目的として掘削した場合、温泉として認められない可能性があります（現在検討中）。



### 3. 温泉のタイプ（自分のまちに賦存する温泉はどのようなタイプであるか）

温泉のタイプは、大きく火山性と非火山性の2つに分けることができます。前者は活発な火山活動が行われた地域あるいは、その周辺地域に多く分布しており、主として裂か型（地層の断層等に起因する亀裂から温泉が湧出するタイプ）の温泉を特徴としています。

一方、後者は火山活動と関係のない、堆積岩が厚く発達している地域に多く分布しており、地温上昇（一般に地層の温度は100mに対して3~4℃上昇する）にもとづく深層熱水型の温泉であり、層状型（地層の連続した空隙中に胚胎しているもの）、裂か型および2つの複合型の温泉があります。

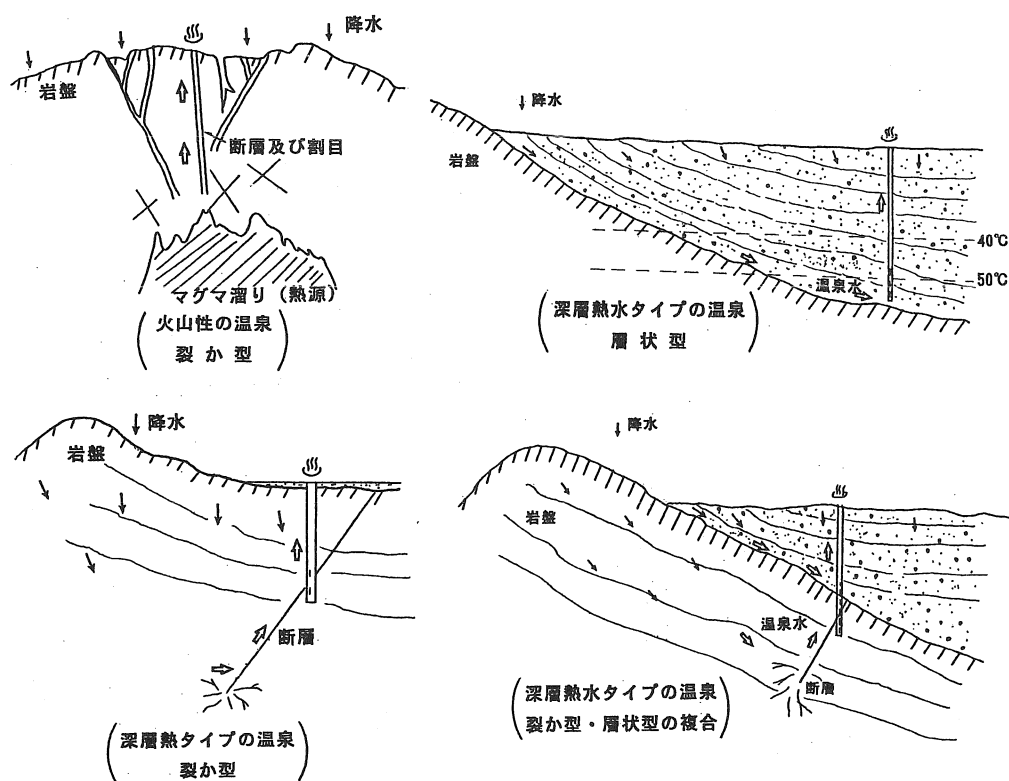


図-1 温泉の湧出機構概念図

### 4. 温泉湧出の可能性（自分のまちで温泉ができるかどうか）

火山地域では地下に”性能の良い湯沸かし釜”を持っているようなものであることから、水透しの良い地層さえ存在すれば高温泉が湧出する可能性はあります。

しかし、非火山性地域では、ある程度の深度まで掘らなければ地温も上がらず、温泉法で言うところの泉温25℃以上を満たすことはできません。

また、地下の温度は掘れば掘るほど上昇しますが、そこに水がなければ“ただの穴” (=深く掘っても意味がない) となり、温泉開発は成功しません。

すなわち、温泉がでるかでないかは、深いところに水があるかどうかにかかっています。

Q.2 専門家に依頼し温泉調査を行えば、必ず温泉はでますか？

A.2 温泉調査の手法には色々な方法がありますが、地域に応じて有効な調査方法を選定しなければなりません。しかし、全ての手法とも地表から地下に潜在している温泉を探るのであり、温泉がでる可能性をより高くするために行うものです。

いわば、地表からシエツクイズ'を行っているようなものです。

したがって、この地域ではズバリ何m掘れば、何°Cで何リットルの温泉が絶対にでるなどとは、どんなに偉い先生でも判りません。

ここで、非火山性の堆積岩地域で深層熱水型の温泉開発を行う場合のポイントについてのべます。

温泉の開発には地質の分布や構造が重要な要素となります。地質調査所や道立地下資源調査所により地表および地下の地質状況が調査されており、1/5万地質図幅としてそれぞれの地域の地質図と説明書が刊行されています。

① どの時代の地層が自分のまちに分布しているか？

ごく概略的に云うと、温泉がでやすいとされる地質の時代は、新第三紀中新世(2500万年以降に堆積した地層)までの比較的新しい時代の地層です。それに比べると、これより古い地層が地質図幅で地表面に露出している地域は層状型の温泉の可能性は少なくなります。

② 新しい地層と古い地層の違い

地層の層序(堆積の順序)は新しい地層ほど上部に堆積しています。一般に新しい地層ほど圧密作用を受けていないため、空隙のある透水性の良い地層が潜在する可能性があり、逆に基盤岩中では固結が進み透水性も悪くなる傾向にあります。

したがって、新第三紀以降の透水性の良さそうな地層が厚く発達しているところが温泉の賦存している可能性が高くなります。

③ どんな地層が堆積していれば温泉がでるのか？

堆積岩地域で最も多く温泉開発に成功している温泉のタイプは、深層熱水型の層状の温泉です。このタイプの温泉は、地層中の間隙に温泉が胚胎しており、

礫岩・砂岩等では連続した間隙が多く透水性が高く、一方、泥岩・頁岩等では透水性が低いのが一般的です。

したがって、礫岩・砂岩が深部に厚く発達していれば温泉の賦存している可能性が高くなります。

※礫岩→礫が固結した地層, 砂岩→砂が固結した地層, 泥岩→粘土が固結した地層, 頁岩→剥離の発達した泥質岩

#### ④ 断層があるかどうか？

断層が多く発達している地域では、断層活動によって亀裂が発達し、断層が温泉水の通路および貯留層となる場合がありますが、断層活動に伴う粘土化で閉塞されている場合もあります。

また、断層も古いものは圧密等により、固結が進行し充填され閉塞している場合が多く、その場合には温泉湧出の可能性は低くなります。

逆に、新しい断層が発達していれば裂か型の温泉が賦存している可能性が高くなります。

#### ⑤ 背斜・向斜軸の位置がどこにあるのか（舟底型の地質構造をねらう）

地層の褶曲活動（地殻変動）によって向斜軸が形成された（舟底構造）付近は、地層が沈み込んでいるため、対象となる地層も厚く、水が集まりやすくなり、深くなるので、地下温泉の得られる可能性が高く、温度的にも有利となります。

逆に、背斜軸（馬の背）付近は地層が押し上げられて、対象となる地層も薄く、水が集まりづらくなり、浅くなるので、温泉の賦存している可能性は低くなり、温度的にも不利となります（石油・ガス井のポイントとなることが多い）。

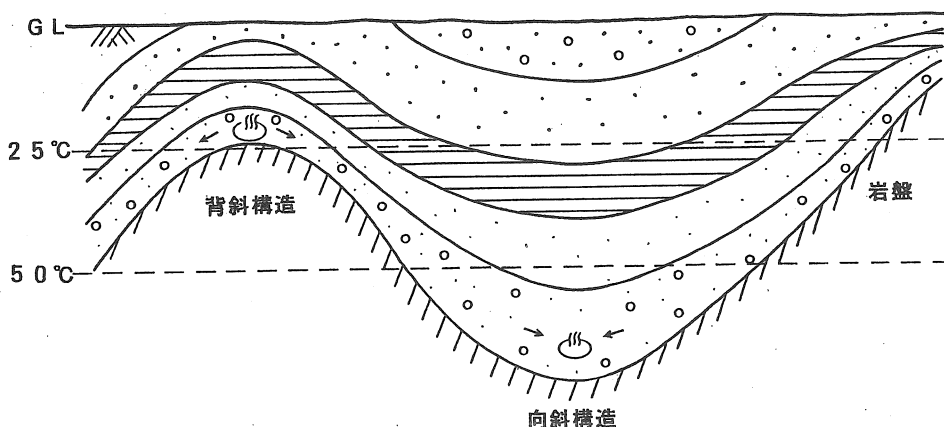


図-2 温泉の背斜・向斜概念図

Q.3 温泉を掘削しているとき、よく発注者やまちの人達から「温泉はもう出ましたか」と聞かれることがあります。

温泉が掘削の途中で出ることはあるのでしょうか？

A.3 堆積岩地域での温泉掘削時は地層の崩壊防止、孔壁の維持および万一の暴噴に備え、泥水の比重により温泉井に圧力をかけて掘削を行っていくため、掘削途中でいきなり温泉が出るということはほとんどありません（仕上げ前に温泉を湧出させてしまうと、地層が崩れ温泉井を仕上げるのが困難となる場合があるため）。

ただし、掘削途中でも徴候が良く温泉が出そうなときは、温泉井を仕上げることがあります。

### 5. 温泉の特性（優秀な温泉とは）

温泉の湧出量には、自然湧出（自噴）の量と動力による揚湯量があります。自然水頭が地表面より低い場合は、自然に温泉水が湧き出てこないため、ポンプにより地表まで湧出させるための手助けを必要とします。

したがって、量的に優秀な温泉とは「いくら汲んでも水位の変化が少なく、揚湯時の水位（動水位）が高い（地表面に近い）」ものをいいます。

すなわち、ポンプで汲まなくても多量で高温の温泉が自噴するものが最も望ましいわけであります。自然水頭が高くても温泉水を汲み上げると動水位が極端に低下するため、ポンプを深くまで入れなければならない温泉井は湧出能率の低い温泉といえます。

Q.4 各市町村に行くと「温泉は1000m掘れば、ポンプもその付近まで入れるものだと思っていた」と良く耳にすることがあります。

これは本当でしょうか？

A.4 これは大きな誤りです。温泉井のポンプの挿入深度は汲み上げ時の安定水位によって決定されます。したがって、ポンプの設置深度が浅ければ浅いほど湧出能力の高い温泉であって、インシャルコスト及びランニングコストの全ての面で経済的に安くなります。

一方、湧出量の少ない温泉井ほどポンプは深くまで入れなければならず、無理矢理温泉水を汲み上げようとするため、時として温泉層に過大な圧力変化を与えてしまい、温泉資源および温泉井の枯渇、能力低下を引き起こし易く、経済的にも多くの費用を要します。

① 温泉の湧出量（たくさんでる温泉と少ししかでない温泉の違い）

地層中を流れる温泉水の運動を考えるため、図-3のような簡単な装置で説明します。

別々のガラス管の中に、小石・砂・粘土をそれぞれ充填し、ある温度に暖めた温水を、同一の流量で a の部分からそそぎ込み、b に流出させます。

このとき b からでる流量(Q)とガラス管の断面積(A)とガラス管内を流れる温水の流速(v)およびガラス管の勾配(≡)には次のような関係があります。

$$Q = A \cdot v = A \cdot K \cdot \frac{H}{L}$$

- 1) b から流れ出る流量は、小石・砂・粘土の順で少なくなります。このときの、それぞれのガラス管内を流れる温水の流れの度合いを地層の透水係数(K)と言います。
- 2) ガラス管を太くすると、b から流れ出る流量も比例して多くなります。
- 3) H の高さを大きくすると、b の流量も比例し多くなります。このときの、L と H の比を動水勾配(≡)と言います。

式で、A に対応するのは透水性地層の厚さと坑径に相当し、その透水係数 K はその地層個有のもので、これらを人為的に大きくすることは、なかなか難しいことです。

以上のべたことが温泉が胚胎している地下の地層でもいえます。すなわち、温泉の湧出量は透水性の高い地層(K)で、大きい断面積(A)のほかに、さらに動水勾配(≡)が大きくなるほど多くなることが判ります。

逆の言い方をすると、出の悪い温泉とは透水係数が低いために、ポンプを深くまで入れて動水勾配(=水位を下げる)を大きくとらなければ、湯量が確保できないということになります。

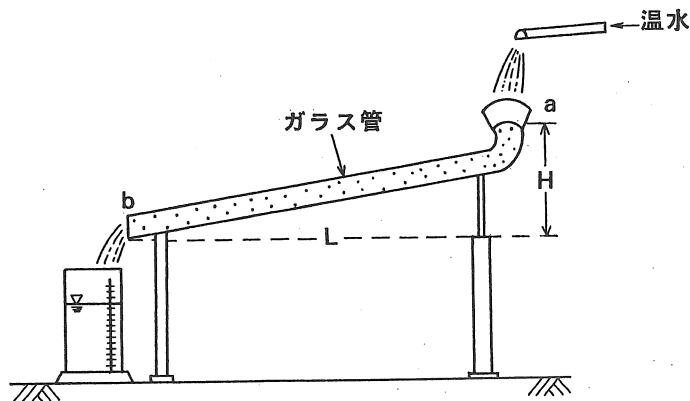


図-3 地層の透水性の考え方

② 温泉の温度（温泉の温度とは地下の温度でなく地上に湧出した時の温度である）

深層熱水タイプの温泉では、地層の温度は深度に比例しほぼ直線的に上昇します。その上昇の割合を地温勾配といい、その値は地域によって違いますが、おおよそ3～4（℃/100m）と言われています（自分のまちの地温勾配を知りたいときは、北海道立地下資源調査所から「北海道地温勾配図」が刊行されていますので、それを参照して下さい）。

また、一般に温泉開発を行おうとする地域の地温を予想する場合、次の式により地温を計算しています。

$$T = t + A \cdot H / 100$$

T ; 掘削予定深度の地温 (°C)  
 t ; 各地域の平均気温 (°C)  
 A ; 各地域の地温勾配 (°C/100m)  
 H ; 掘削予定深度 (m)

ここで注意しなければならないことは、求めた値はあくまでも地下の地層の予想温度であって、地上に湧出する温泉の温度とは違うということです。

深層熱水タイプの温泉の場合、温泉水は地下深部にあることから、温泉胚胎層の位置が深くなればなるほど地温は上昇しますが、汲み上げ量が少ない場合、温泉水が地表まで到達するのに時間がかかることになり、浅部の低温区間の冷却効果も大きくなります。

したがって、温度だけに着目すると、より地温に近い温度の温泉を湧出させるためには、温泉の汲み上げ量は多いほうが良いと言えます。

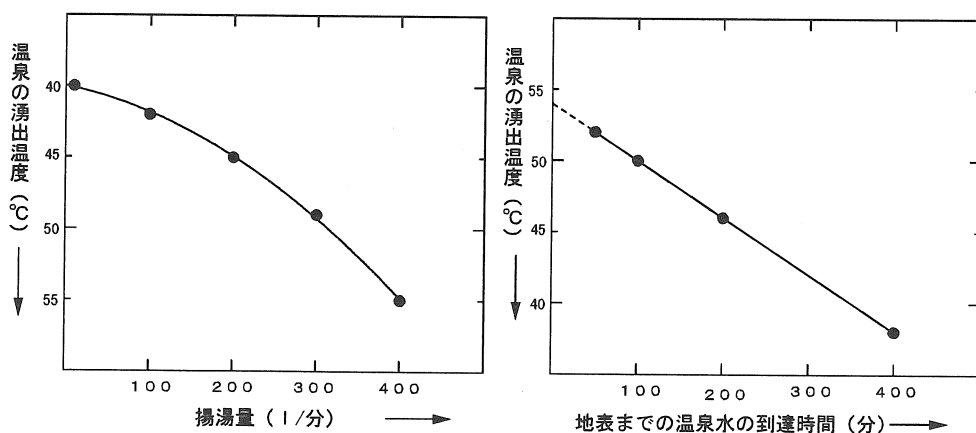


図-4 揚湯量と温泉の湧出温度および到達時間の関係

③ 温泉の水位(温泉井で最も重要なのは、湧出する温度・湯量ではなく水位である)

温泉開発を行った場合、ほとんどの人が「泉温は何℃で湯量は何リットルの温泉が湧出するのか?、また、その温泉の泉質がどのような効能があるのか?」と言ったことだけに注目しているのが現実です。

しかし、温泉は自噴する場合を除き、ポンプ等によって水位を下げてやらなければ湧出しないのです。そして、理論的には、ある量で汲み上げを継続すれば、水位は少しずつ低下していきます。

また、地層のもつ能力以上の温泉水の汲み上げを行うと、温泉井の水位は急激に低下し、さらに、その状態を続けると温泉井の寿命を縮めるとともに、温泉資源の枯渇を招来することになります。

したがって、温泉井の揚湯で重要なことは、ある一定の量で汲み上げを継続したときに、水位を知り、その低下の度合いが適正な範囲内にあるかどうかを判定することなのです。

地層中の温泉水の水位の変化を考えるために、図-5のようなモデルにより説明します。

- 1) ある限度量以内で揚湯を行っているときは、温泉水の流れは緩やか(層流状態)に温泉井内に流入してきます。

したがって、水位と揚湯量は比例関係にあります。

- 2) ある限度量を越えると、温泉井(スクリーン)の流入周辺部で温泉水の流れは急激(乱流状態)になります。

このため、温泉井への温泉水の流入抵抗が増大し、水位を低下させても揚湯量は少ししか増加しません。

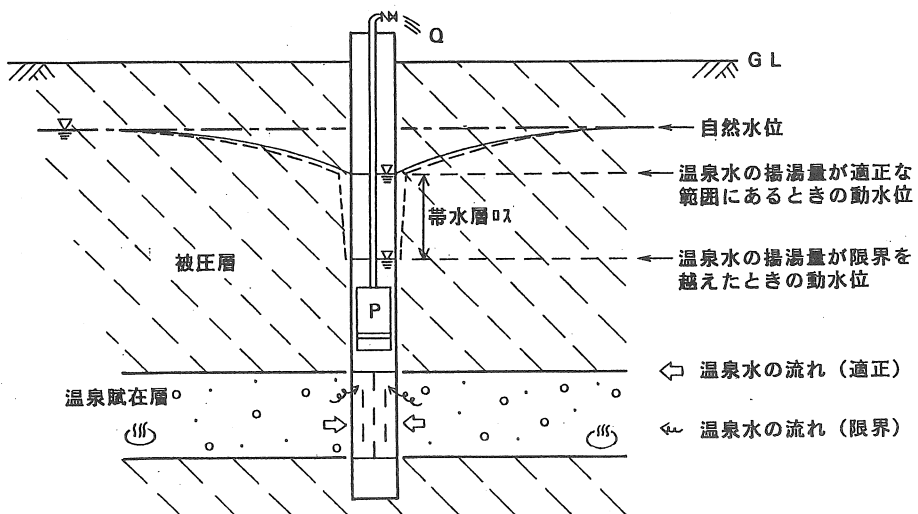


図-5 温泉井の水位モデル

Q.5 「温泉井を掘削したところ、地層の温度は予想以上に高かったものの、湯量は極く少量であった。そこで、温泉井に水を入れて量を増やすとともに、温泉の底のほうから循環させると温度も上がるのではないか」と言う話を良く耳にします。効果はあるのでしょうか？

A.5 温泉の掘削に携わる我々も同じ様なことを考え、何度か実証試験を行ったことがあります。結果は、最初の数時間はある程度の温度が上昇します。しかし、長時間試験を行った場合、温度上昇は極く僅かとなり、熱交換の効果はほとんどなくなります。

これは、地層の熱伝導率が鉄の約1/100と極めて小さいためであり、ポットでお湯を沸かすようなわけにはいかないのです。

## 6. 温泉井の評価

温泉が湧出するとそのまちに住む人達は、報道された温泉の温度と湯量はその温泉井から、半永久的に湧出してくるものと思い、掘った温泉井から温泉が湧出しなくなったら、また新しい温泉を掘れば前と同じように温泉が湧出するものと考えている人が多いのではないのでしょうか。

しかし、実際にはそうではない場合もあります。温泉が湧出しなくなる理由が、温泉井のパイプの腐食とか、スケールなどによる目詰まりであれば、新しく掘れば温度、湯量とも当初と同じような温泉が湧出しますが、温泉井の能力を無視した過剰な温泉の汲み上げを続けた場合、温泉資源そのものを枯渇させてしまい、いくら新しく温泉井を掘っても当初の温度と湯量の温泉を確保することは困難となる場合が多いのです。

したがって、温泉が開発されたなら湧出する温泉水の最高の温度および最大の湯量にとらわれることなく、揚湯試験（温泉井の能力を評価する試験）の結果から、温泉井の長期的な汲み上げ可能な量（適正揚湯量）を正しく評価し判定することが重要です。

また、利用においては温泉井における温泉水の汲み上げ量・温度・水位を定期的に観測し、温泉資源および温泉井の能力の維持に努めていくことが大切と考えられます。

車に例えると、いつもエンジンに無理をかけた走り方をしていると車の故障も多くなりますが、日頃から点検・整備を行って車の性能をよく理解して走行していると、故障も少なくなり、万一の故障時の費用も安くなります。

しかし、ガソリンがなくなれば、いくら性能の良い車でも走ることにすら出来なくなるのと同じ様なものと言えます。

次に、温泉井の揚湯試験結果から温泉井の能力を評価する一般的な方法について述べます。



### ① 揚湯試験の方法

温泉井の揚湯試験は2つの方法で行われています。

その1つは段階揚湯試験と呼ばれているものであり、揚湯量をいくつかの段階に分けて、ある一定の時間揚湯を行い、各段階における揚湯量と水位の関係を求める試験であります。通常、揚湯量を3～4つの段階に区分し、揚湯量を階段的に増加させるステップ式で行われています。

しかし、まえに述べたように、温泉井では水位は温泉の揚湯とともに少しずつ低下していくことが多いため、次の段階に移行したときに前の段階の水位の影響（残留水位降下と言う）を受けることが多いのです。このため、各段階毎にポンプを停止し温泉井の水位を回復させてから、次の段階の試験を行うことが適切と考えられます。

※段階試験例・・・最大400(l/分)の温泉水を揚湯できることが解明された時

各段階の揚湯量 100, 200, 300, 400(l/分)

各段階の揚湯時間12時間, 回復12時間(1日1段階のサイクル)

他の1つは一定量揚湯試験と呼ばれるもので、段階揚湯試験の結果から適正揚湯量を判定し、その揚湯量以内で5～7日間連続して温泉水の揚湯を行って、揚湯時間に対する水位の降下度合を調査する試験です。

### ② 揚湯量(Q)と水位(S)の関係

温泉井の水位は揚湯量を増加させると必ず低下し、水位の低下率は揚湯量が多くなるほど大きくなります。

段階試験で求めた揚湯量と水位の関係を示すと図-6のようになります。(横軸に各段階の揚湯量を、縦軸に各段階揚湯時の最終の水位をプロット)

一般に温泉の揚湯が適正な範囲内で行われているときは、揚湯量と水位の関係はほぼ直線関係にあります。しかし、それを上回った場合には、水位の低下率が大きくなり、この直線に変曲点が生じ勾配が急になります。このポイントを温泉井の限界揚湯量と称する場合があります。

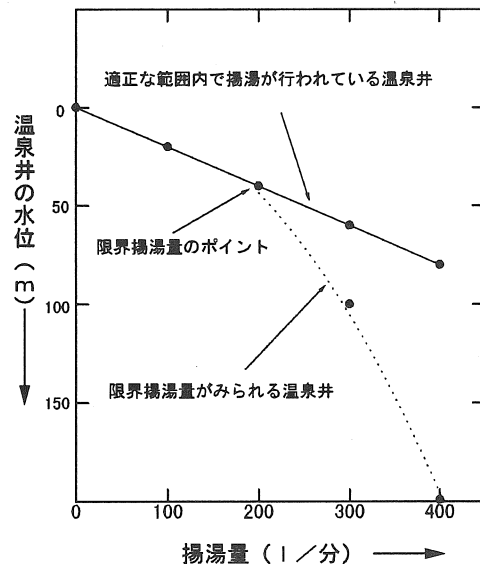


図-6 温泉井の揚湯量と水位の関係(S-Q図)

Q. 6 私のまちの温泉は深度1500mまで掘って開発に成功しました。温泉は深度1500mから湧出していると思っていましたが、本当でしょうか？

A. 6 深層熱水タイプの温泉では、一般に温泉を採取するためのスクリーン(穴の空いたパイプ)を100~300m程度準備します。スクリーンは掘削状況および各種調査結果等をもとに、深度1500mまでの間で温度的にも量的にも、温泉が湧出する可能性の高い区間を判定し、比較的広い範囲にスクリーンを設置します。

したがって、深度1500mの地点のみから温泉が湧出しているのではなく、スクリーンを設置した区間の中から湧出しているのです。

### ③ 温泉井の水位 (S) と揚湯時間 (t) との関係

段階揚湯試験および一定量揚湯試験のそれぞれの結果を、縦軸に水位 (S)、横軸に経過時間 (t) をとって示したものを、揚湯試験経過図 (S-t 図) といいます。

揚湯試験経過図はそれぞれの温泉井の湧出能力が異なるため、多様な曲線を示しますが、大きく図-7に示したような3つのパターンに区分されます。

#### (A) の場合の特徴

各段階試験時の水位は、揚湯開始後1~2時間程度で単位時間当たりの水位の低下量が極めて小さくなり、ポンプ停止後の水位回復も早いのが特徴です。また、一定量試験時も同様の傾向を示します。

↓

限界揚湯量をこの曲線から判断することは出来ません。さらに、大量の揚湯を試みる必要がありますが、ポンプ能力などから制限されます。また、揚湯量と水位の関係もほぼ直線関係にあることから、最大利用湯量はこの範囲内であれば十分揚湯可能です。

#### (B) の場合の特徴

どの段階試験時も水位の低下が続き、水位の安定傾向は見られません。また、揚湯量が増加するほど、単位時間当たりの水位の低下量は大きくなる傾向があります。

↓

S-Q図に変曲点がみられ、限界揚湯量を予測することができます。

しかし、適正揚湯量の範囲内でも動水位が少しずつ低下していることから、長期的には安全をみて揚湯可能量を検討しなければなりません。

### (C) の場合の特徴

一時的に短時間の揚湯を行うことは可能ですが、連続的な揚湯は困難です。



いくらポンプ位置を下げてても揚湯量の増加は望めません。断続的な揚湯を長時間行って、温泉の減衰傾向を判断しなければなりません。また、利用時の揚湯方法は連続揚湯は不可能であり、1日に数回程度ポンプを稼働し、それ以外は温泉井を休め水位の回復をまって揚湯を行う方法をとることが最も良いと考えられます。

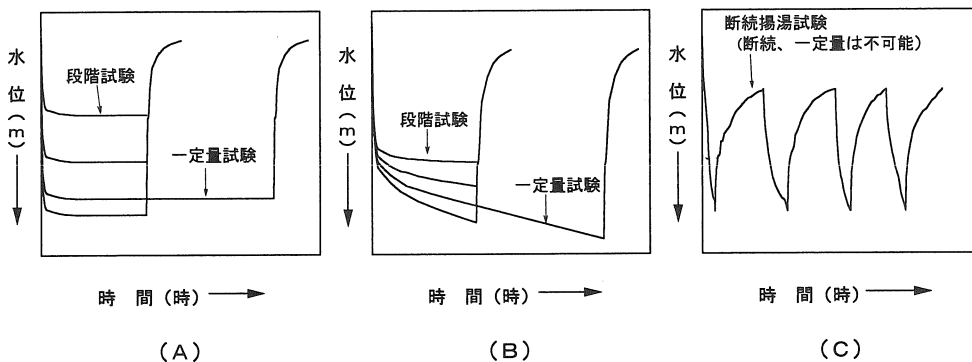


図-7 温泉井の揚湯経過のパターン

#### ④ 長期的な揚湯による水位予測

経済的観点からみた温泉井の耐久年数は、一般に10～15年と言われています。

したがって、1本の温泉井を掘ると少なくとも10年以上は、揚湯試験時の適正揚湯量が連続して揚湯可能な温泉井であってほしいものと考えられます。

そこで、揚湯試験の結果から長期的な揚湯可能量を推定を試みたのが、図-8に示した長期水位予想降下図です。

理論式によると、一定量揚湯において動水位と時間との関係は、片対数グラフで時間を対数目盛とすると、ほぼ直線で近似されるとされています。

そこで、揚湯試験の結果を片対数のグラフ用紙にプロットし、段階および一定量試験時の水位降下量から、10年後の水位を予想します。

また、実際にも、経年的な量・水位・温度の観測監視が望ましいことでもあります。

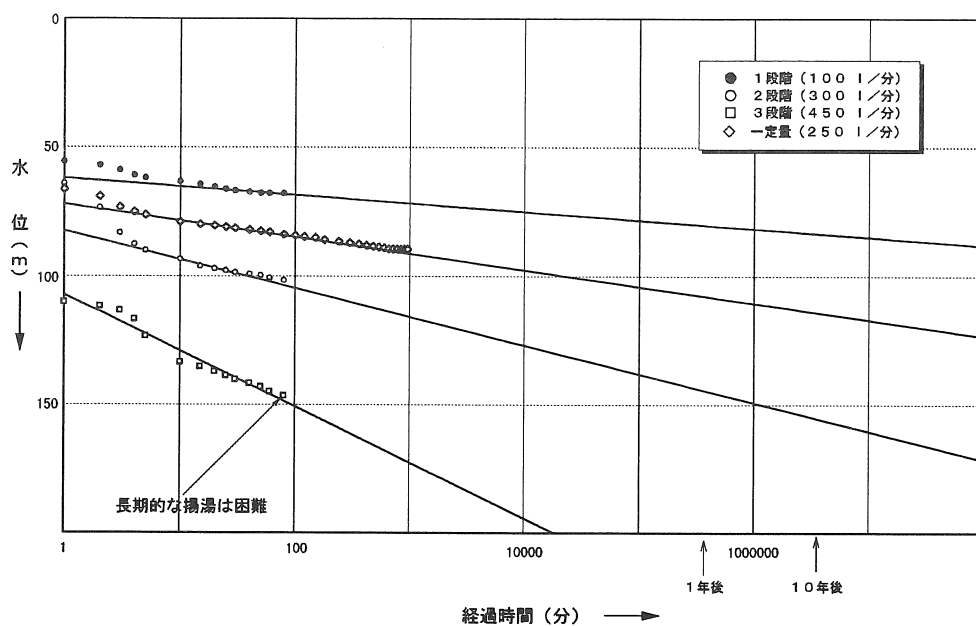


図-8 長期水位降下予想図

## 7. おわりに

温泉のない市町村では、温泉を望む住民の声が非常に強く、温泉が湧出する可能性が少ないと言われる地域であっても、一大決心をして温泉開発に着手することも少なくないものと思われまます。

また、このような地域で温泉が湧出すると、地域全体が活気に満ち、成功時の温泉の温度と湧出量が半永久的に湧出するものと考え勝ちになるものです。

しかし、温泉は湧出してからが重要であり、温泉資源を有効にしかも長期的に大切に利用していかなければなりません。

そこで、発注者サイドの担当技術者は、ボーリング業者ばかりに頼ることなく、温泉の知識を十分に持ち、特に温泉の揚湯試験時には現場と緊密に連絡をとり、自分も一緒になって温泉井の湧出能力を判定し、長期的視野にたった揚湯利用可能量を究明すること、すなわち”正しい温泉井の評価”を行うことが重要であると考えられます。

一方、受注者サイドも発注・管理担当者と密接な連絡をとりながら、予定の揚湯試験が終了した場合であっても、温泉井の適正な揚湯特性を判定できないときには、発注者と協議し温泉などの調査研究機関（道立地下資源調査所等）の指導を受けながら、再度揚湯試験などを実施し、自社の手がけた温泉井は一生責任をもって管理するぐらいの気持ちが必要と思われまます。

また、温泉井相互の干渉の問題、温泉地の地下の構造に関係した全体としての温泉水収支の問題など、数多くの課題も検討される必要があります。

温泉井は地下の施設の事であるので、通常の商品取引要素以外のものがあり、短期間の揚湯結果のみに寄った評価は正当性を欠く恐れがあります。

最後に、地域にとっての温泉開発の成功とは、温泉が湧出することだけではなく、温泉資源をその量・温度・質に合わせて有効に活用し、まちの人達に長く利用していただくことが成功の第1条件と考えられます。

#### 参考文献

- 室井渡・小幡利勝(1989)：温泉の開発と設計，地人書館  
湯原浩三(1992)：大地のエネルギー 地熱，古今書院  
落合敏郎(1993)：温泉開発 地域づくりを目指して，リーベル出版  
北海道(1992)：温泉関係事務の手引 PP13～PP18  
湯原浩三(1982)：地熱開発総合ハンドブック，フジ・テクノシステム  
湯原浩三・瀬野錦蔵(1977)：温泉学，地人書館  
環境庁自然保護局(1984)：温泉必携，(社)日本温泉協会  
神崎宣武・山本鉦太郎(1990)：温泉大百課（Ⅰ～Ⅲ），(株)ぎょうせい  
山本莊毅(1962)：揚水試験と井戸管理，昭晃堂  
山本莊毅(1989)：新版 地下水調査法，古今書院  
酒井軍治郎(1980)：地下水の水理解析法，地下水技術センター  
南条正男(1993)：地下水資源・環境論—その理論と実践，共立出版  
国土調査研究会(1992)：土地・水情報の基礎と応用，古今書院

# 地下水の影響調査について

株式会社 アクア 佐藤公之

## 1. はじめに

地下水の影響調査といっても、その適用範囲は非常に広く、調査の目的や工事の内容・規模、調査範囲や調査地の地形・地質などによって、さまざまな手法が組み合わされる事になり、統一された一つの調査手順を示す事は非常に困難である。

したがって、ここでは当社が経験してきた中から土木・建設工事に伴う地下水影響調査の内、主に水源(井戸、湧水)の能力低下を対象とした調査について、その手順や方法と問題点を、事例を交えて紹介する。

表1.1 土木・建設工事に伴う主な地下水障害

現象	障害	備考
工事中の湧水や排水工法による水位低下	① 井戸濁れ・井戸水位低下	現場周辺に井戸がある場合
	② 湧泉枯渇・湧水量減少	現場周辺に湧泉がある場合
	③ 圧密沈下	軟弱粘性土層の間げき水圧低下による粘性土層が正規圧密の場合に発生しやすい
	④ 塩水化	現場が海岸近くで帯水層が海と水文地質学的に連続する場合
	⑤ 水田所要水量増	水田水位と地下水位の差が大きくなり減水深が増大する
山留め、トンネル工事による変位	⑥ 地盤沈下	山留め外側やトンネル直上の地盤変位により地盤沈下が生じることがある
地表の改変による涵養量の減少	⑦ 湧水枯渇・湧水量減少	現場の下流側に湧泉のある場合、同時に井戸にも影響が現れる
薬液注入・濁水発生	⑧ 井戸・湧水の水質変化	透水性に優れている帯水層の場合に多い

## 2. 調査手順

調査の手順は、図2.1フロー図に示す。調査の実施期間については現地状況、工事の規模等により異なるが、目安としては表2.1に示すとおりである。

表2.1 地下水の影響調査期間

実施期間	調査項目	日数
工事着手前 (約1年半前)	1 予備調査	約2ヶ月
	2 調査計画立案	約1ヶ月
	3 本調査	最低1年間
	4 影響予測の検討	約2ヶ月
工事着手後	5 地下水観測	工事中, 工事後(1年間程度)

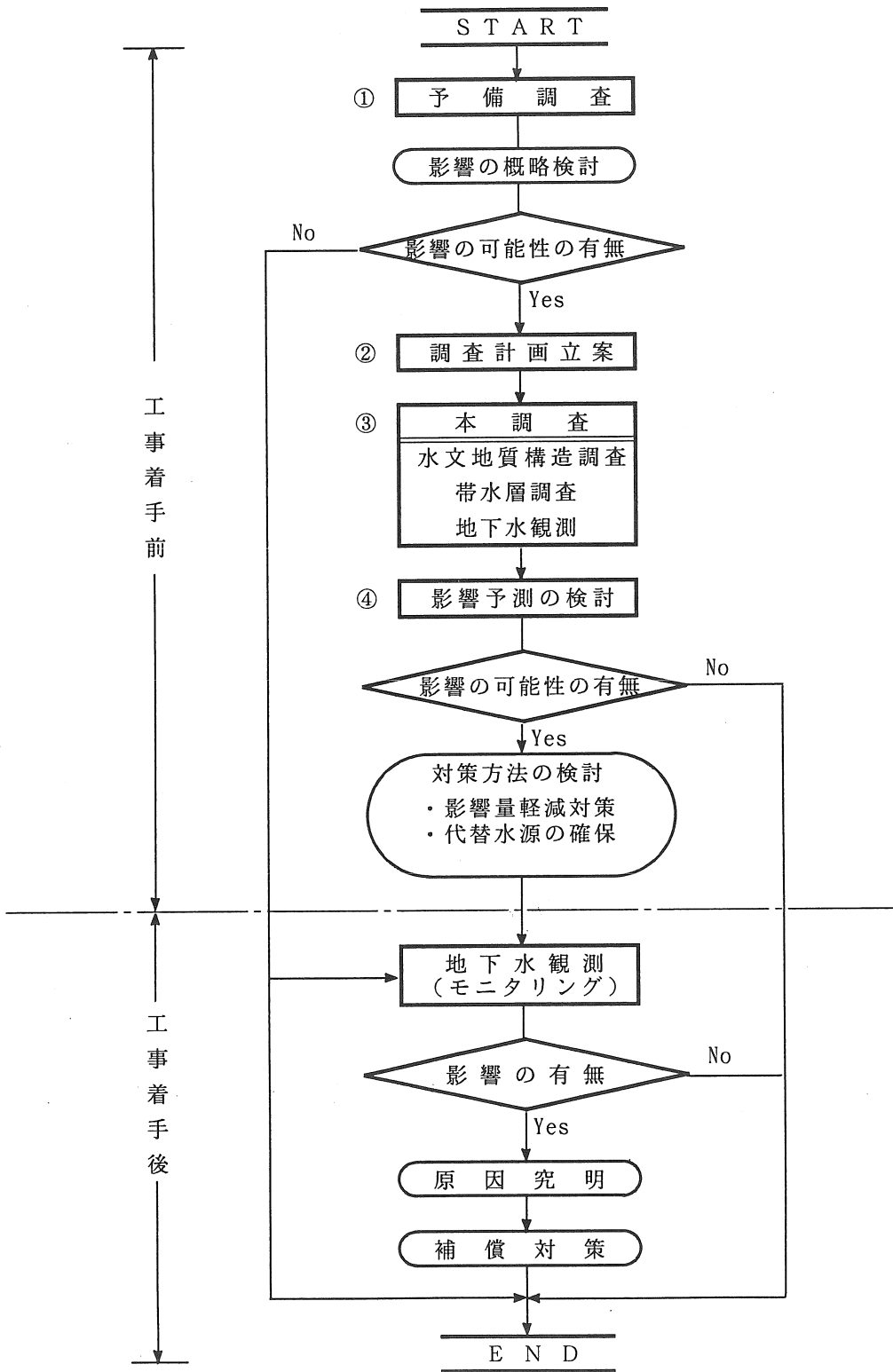


図2.1 地下水影響調査フロー

### 3. 調査方法

ここでは、前述の調査フローに従い、工事着手前における①～④の項目について、その手法と内容を記載する。

#### 3. 1 予備調査

予備調査は、影響調査を進めて行く上で最も基本となるもので、この調査を実施しなければ、現場状況に即した適切な影響調査を行えなくなるとともに、調査の結果から影響を評価しても、不明瞭な結論で終わってしまう事にもなりかねない。したがって、当社では影響調査の依頼が来た時点で、まず主に表3.1に示す4項目の調査を実施する。

なお、予備調査の手法は、ごく一般的な事項であるため、具体的な内容の説明は省略するが、この結果に基づき適切な影響調査計画を立案する。

表3.1. 予備調査内容一覧

調査手法	調査内容
(1) 既存資料調査	既存資料の収集, 整理
(2) 地下水利用現況調査	聞き取り調査, 水量測定, 水質試験など
(3) 現地踏査	収集資料の現地確認, 水理地質踏査
(4) 工事計画内容整理	工事計画内容の聞き取り, 整理

#### 3. 2 調査計画立案

調査の適否を左右する最も重要なポイントは、問題の的確な把握と、それに基づく調査計画の立案である。土木・建設工事に伴う地下水影響調査の場合、調査計画立案にあたっては、通常、次のような手順が踏まれる。

##### (1) 問題の把握と調査項目の抽出

予備調査のデータをもとに、調査地域周辺の推定される水循環の概要を図化(図3.2)し、調査目的となる事項が水循環上のどんな要素・要因と係わりを持つかを検討する。

その結果により、問題の把握とその解決に必要な調査項目を過不足なく抽出する。

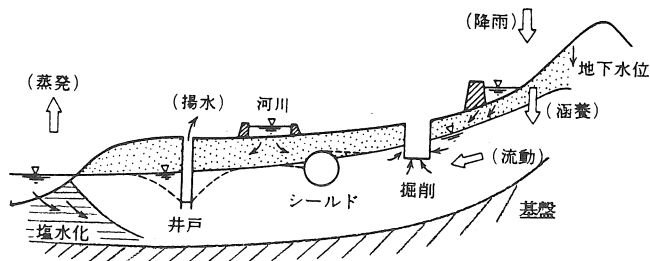


図3.2 水循環と関連要素の図化



## (2) 調査範囲の設定

調査範囲は、工事地点を含む地下水の水循環、工事の規模・期間等を検討し決定されるが、一般には下記に示す範囲程度を対象域の目安として考えられている。ただし、小規模で短期的な工事であれば、これより小領域となり、被圧地下水ではこれより広域で考える必要がある。

砂礫地盤	1000～1500m
砂地盤	500～1000m
粘性土地盤	100～500m

## (3) 調査手法の決定

調査手法の選定にあたっては、各手法の特性や現場の諸条件を多面的に検討し、最も適した手法を選択する事が必要である。

一般的には、一つの調査項目に対して複数の調査手法を重ねて用いるのが望ましい。そうする事で、異なった角度から真実の影を眺める事ができ、より実体の把握に近づく事ができる。

## 3. 3 本調査

### 3.3.1 水文地質構造調査

調査地において地質などに関する既存資料が十分でない場合や、既設井戸と工事箇所との地層的関連性が不明瞭な場合、水文地質構造調査が必要となる。

調査の内容は表3.3.1に示す。なお、ここでの調査手法については、特に様々な手法が用いられている事から、当社で実施している具体的な調査内容を、幾つかの事例をまじえて各項目ごとに説明する。

表3.3.1 水文地質構造調査内容一覧

調査手法	調査内容
(1) 水理地質踏査	地形・地質・表流水（水量・温度・電導度・pHなど）
(2) 物理探査	電気探査……比抵抗法（比抵抗映像法，ウェンナー法，シュランベルジャー法）
(3) ボーリング調査	
① ボーリング	φ66mm（オールコアリング）
② 観測孔設置	φ50mm 塩ビ管仕上げ
③ 物理検層	井戸検層（電気・温度），地下水検層，微流速検層
④ 単孔式揚水試験	簡易的揚水試験
⑤ 水質試験	飲料水一般検査，イオン分析など

#### (1) 水理地質踏査

水理地質踏査は、予備調査の結果に基づき選定したチェックポイントにおいて、地形、地質、湧水、表流水などの現況をより正確に把握するため実施する。

踏査の際には、同時に簡易水質指標と呼ばれる湧水・表流水の水温、電導度、pHなどを測定し、概略の水質も把握している。

## (2) 物理探査

物理探査には多くの手法があるが、地下水調査では電気探査が適しており、よく利用されている。当社では、電気探査の内、比抵抗法に属する垂直探査法および比抵抗二次元探査法を採用している。

一般に垂直探査法は、地層が水平成層構造であることを前提とした探査であるが、実際は複雑な構造を成している事が多く、解析が垂直方向の一次元では不十分な結果となる事が多い。

この欠点を補うため、水平方向の異常を検出する水平探査も行われてきたが、その解釈は定性的な段階に留まっている。

そこで近年当社では、二次元解析を可能にした比抵抗二次元探査法を採用している。この方法は、測定データからコンピュータによる逆解析手法を用いて、比抵抗分布を二次元断面像として求めるものである。さらに、地下構造の特徴に応じて種々の処理法や複数の解析法を組み合わせ、最適な結果を得ようとする総合的な解析法であり、水理地質構造を解釈するうえで非常に有効な手法である。

その詳しい内容は、市販の文献(文献3)にて解説されているのでここでは省略するが、その事例を垂直探査法(一次元解析)との比較で示す。

### 比抵抗二次元探査実施例

#### (1) 地質概要

調査地の地質は図3.3.1に示すように、下位より泥岩、砂岩・礫岩(泥岩挟む)および沖積層が分布している。泥岩と砂岩・礫岩(泥岩挟む)の関係は整合で、北西へ45°の傾きで傾斜している。



図3.3.1 地質図

#### (2) 解析結果

解析結果を図3.3.2に示したが、図中の低比抵抗帯(黒色部)に着目すれば、図の左方向に約45°傾いた構造を示し、地質と対応している。ボーリング位置は深部で比較的比抵抗の高いゾーンが存在するA地点を選定し、深度100mの試験井戸で揚水試験を実施した。その結果、限界揚水量が約300 l/分となり、比較的透水性の高い地層である事が確認された。

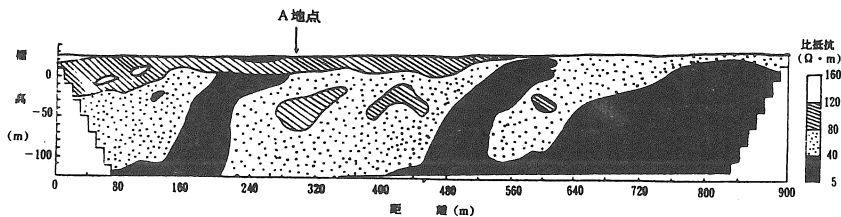


図3.3.2 比抵抗二次元探査 解析結果

同地点では、解析結果の比較を目的として、シュランベルジャー法による垂直探査も行なった。結果は図3.3.3に示すように、沖積層に対応すると思われる部分を除けば、全体的に $50\Omega\cdot\text{m}$ 以下の低比抵抗値を示す単純な2層構造である。この結果から判断すると、透水性は不良であるという結論になる。この理由としては、垂直探査法が一次元解析であるため、横方向の比抵抗値は平均化して扱われる事になり、調査地のように測点に隣接して低比抵抗帯が急傾斜で挟在している場合、これに影響され、実際の比抵抗値より低い値を示す事になるためと考えられる。

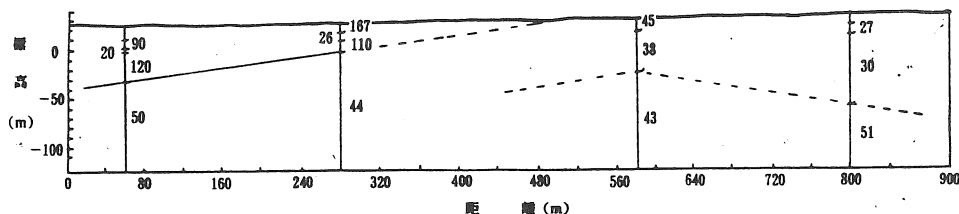


図3.3.3 垂直探査法 解析結果

### (3) ボーリング調査

#### ① ボーリング

ボーリングは、通常の地質調査ボーリングと同様な方法で実施しているが、目的が帯水層の状況把握にある事から無水掘りが望ましいが、泥水使用時には帯水層ダメージの少ないレスターなどの泥水を多く使用し、掘削時には逸水、湧水の有無など注意深く観察、記録するよう心掛けています。

#### ② 観測孔設置

観測孔設置は、主にボーリング孔を地下水観測孔として利用するため実施するが、ボーリング孔にて各種検層や試験を実施する事は、地質、帯水層の状況を把握する上で貴重なデータとなる。

観測孔のスクリーンパイプ(有孔管)は、今まで開口率が1%以下のものが多く、このような観測孔での各種試験結果にはかなり疑問の残る結果が多い。

当社では、観測孔を試験孔として用いる場合にはスクリーンの開口率を2%以上とし、できるだけ井戸損失をなくし、試験精度の向上に努めている。

また、仕上げに際しては、調査・観測を対象とする帯水層に正確にスクリーンを設置するとともに、ほかの帯水層や地表との水の出入りを完全に遮水する様に心掛けています。

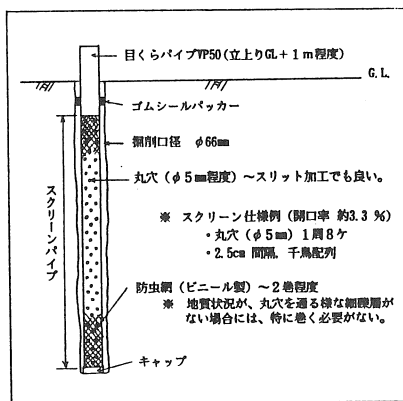


図3.3.4 観測孔の仕様例

### ③ 物理検層

#### (a) 井戸検層

物理検層の中で最も基本となる井戸検層は、ボーリング孔を利用して、見掛け比抵抗，自然電位，温度を測定する事で、地層の連続的变化（垂直方向）と概略の透水性を把握する事を目的として実施する。

#### 有孔塩ビ管内における井戸検層例

測定は、裸孔で実施しなければならず、ケーシング掘削を余儀なくされてる崩壊性の地層は検層不能という事態が時折見られた。しかし、塩ビ管挿入後でも、開孔率が2%以上あれば測定可能との報告（文献5）があり、当社も実施したところ図3.3.5に示すようにそれほど大きな影響はなく、データとして十分利用可能と判断された。

ただし、定量的な比抵抗値の扱いとしては、多少疑問が残る事から、今後は種々のスクリーン仕様とその補正について提案できるよう努めていきたいと思う。

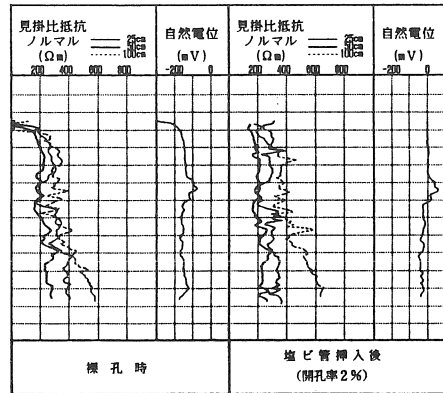


図3.3.5 電気検層結果比較図

#### (b) 地下水検層

地下水検層は、地下水流動層の位置を正確に把握するため実施する。

試験方法は、孔内の水の比抵抗値を測定した後、孔内に電解物質として食塩水を投入し、地下水の流動に伴う希釈による濃度変化(比抵抗値)を測定し、地下水流動層の検出を行なう。

食塩濃度と比抵抗の関係を図3.3.6に示すが、図のように食塩濃度が比抵抗に敏感に反応するのは、食塩濃度が100~500ppmの間である。よって当社でも、初期の食塩濃度は500ppm前後(比抵抗1 KΩ・cm)を目安としている。

測定装置は、多電極方式と単一電極方式があるが、前者は測定値に互換性がない事から、測定には多少手間(上げ下げ, 読み取り)がかかるが、当社では単一電極方式を採用している。

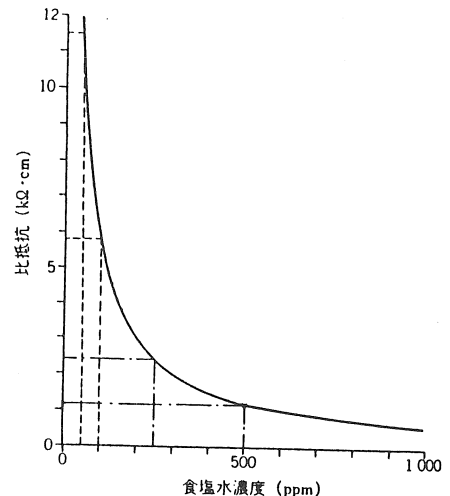


図3.3.6 食塩水濃度と比抵抗

(c) 微流速検層

微流速検層も、帯水層の位置を正確に把握する目的で実施するもので、複数の帯水層がある場合には各層の能力評価も可能である。

試験方法は、観測孔内にプローブ(羽根車式検出部)を挿入し、深度0.5~1.0mごとに、その深度での流速を測定する事で、帯水層の位置を検出するとともに、水量の負担区分を算出する。

微流速検層は、自噴する様な観測孔では特に有効な方法で、当社では現場状況に合わせて、地下水検層と微流速検層を使い分けて実施している。

微流速検層測定例

(1) 揚水量を3段階に変化させて実施した微流速検層の結果を、図3.3.7に示す。

(2) この結果を、図3.3.8の①式にて、各帯水層ごとに負担水量を算出すると、表3.3.2のようになる。

(3) 表3.3.2より、s-Q特性を各層のs-Q特性に分解すると、図3.3.9のようになる。

(4) s-Q特性から推定される各層の静水位は、実測値と比べると第1層>実測値=第2層>第3層という結果が得られた。

(5) また、地下水検層の結果でも、自然状態で孔内の下降流が確認されている事から、各層の推定される静水位は妥当であると判断される。

(6) なお、各層の透水係数に

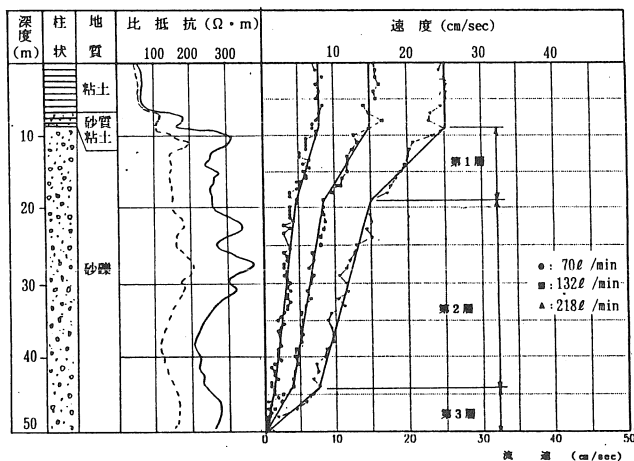


図3.3.7 孔内流速測定結果図

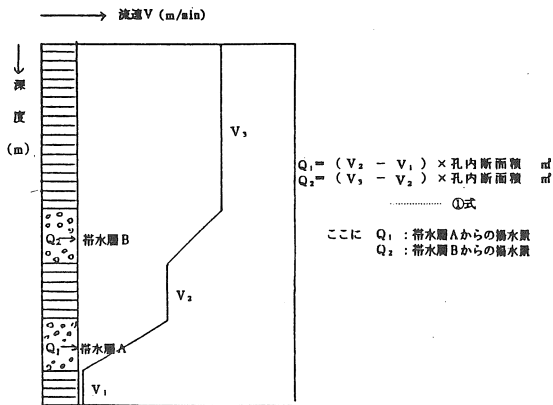


図3.3.8 湧水量算出概念図

については、透水係数算出過程において揚水量を各層の揚水量に置き換える事により算出可能である。

表3.3.2 水量負担区分

試験名	全 体		区 間 別	
	揚水量 ℓ/分	動水位 CL-m	区間名	湧出量
段階1	70	7.330	第1層	37 54
			第2層	21 30
			第3層	12 17
段階2	132	7.510	第1層	58 44
			第2層	38 29
			第3層	36 28
段階3	218	7.839	第1層	86 40
			第2層	64 29
			第3層	68 32

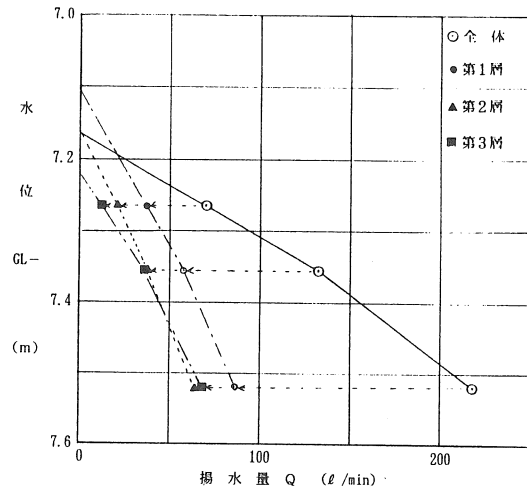


図3.3.9 s - Q 特性 分解図

#### ④ 単孔式揚水試験(簡易的揚水試験)

単孔式揚水試験は、帯水層の概略的な水量的能力や透水性を把握する目的で実施する。

帯水層の水量的能力の評価は、観測孔の口径が小さいために、井戸損失が大きい、挿入ポンプが制限される事により多量の揚水が不可能なため、概略的な評価に留まるが、透水性の評価としては、限界揚水量以内の試験であれば大口径の試験井戸での単孔式揚水試験で得られる評価とほぼ同じ結果が得る事ができる。

試験の方法は、通常の揚水試験と同様に観測孔にポンプを設置し、揚水量と孔内水位をある時間間隔で測定する。ただし、試験時間は対象となる帯水層の状況によって多少異なるが、当社では一応、段階試験4～5段階(各1～2時間程度)、一定量試験(6時間揚水, 2時間回復)を目安としている。

解析方法は通常の揚水試験に準じているため、ここでは省略する。

#### ⑤ 水質試験

地下水の水質分析は、水理地質的調査の結果を補強する情報を与えてくれる有効な地下水調査手法である。

水質試験は、地下水影響調査の場合、対象となる既設井戸は飲用されている事が多いため、通常は既設井戸と合わせて、比較的安価な「飲料水一般検査(省略試験)」11項目を実施している。

試験項目は次のとおりである。

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素, 塩素イオン, 有機物等(過マンガン酸カリウム消費量), 一般細菌, 大腸菌群, 臭気, 味, pH値, 色度, 濁度, 鉄。

また、工事計画箇所と観測孔, 既設井戸との帯水層のつながりなどを検討

する場合には、イオン分析を行ない、水質の型による地下水区分を行っている。

イオン分析は、地下水中の主要イオン7成分(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>)の組成をもとに、図3.3.10, 図3.3.11に示す様に図化する事で地下水の分類を行なうものである。

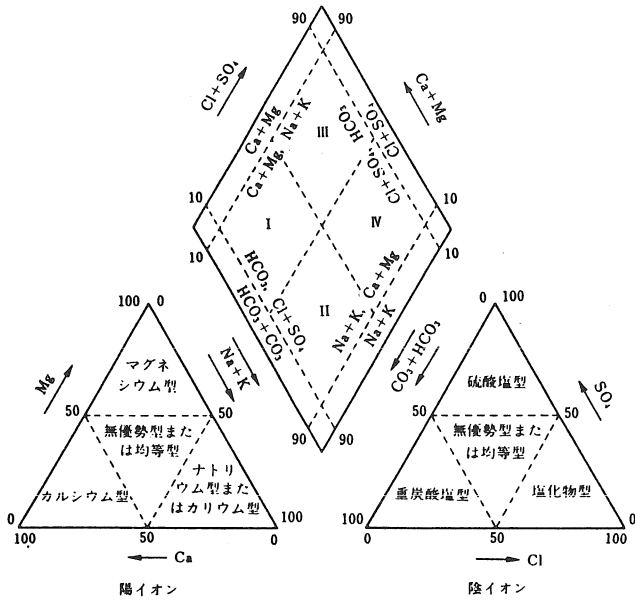


図3.3.10 キーダイヤグラム

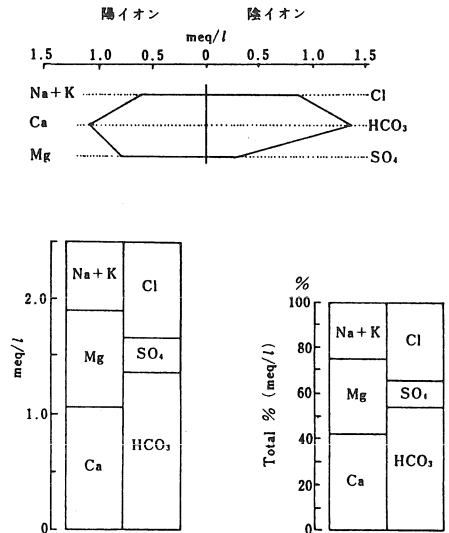


図3.3.11 ヘキサダイヤグラム

表3.3.3 日本の地下水の特性

水質組成の型	(I) Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 炭酸カルシウム型	(II) NaHCO <sub>3</sub> 炭酸ナトリウム型	(III) CaSO <sub>4</sub> ・CaCl <sub>2</sub> 非炭酸カルシウム型	(IV) NaSO <sub>4</sub> ・NaCl 非炭酸ナトリウム型
水の分類	地表水・地下水	地下水	地表水・地下水	海水・地下水
反応	酸性	アルカリ性	酸性	アルカリ性
地下水の分布	最も一般的な地下水で、汚濁を受けない自由面地下水や補給地帯またはそれに近接する地帯の被圧地下水。	地下水の補給地帯から遠い、例えば盆地の中央部や海岸地帯に分布する一般的な被圧地下水。	鉱山廃水や火山起源の温泉水、鉱泉水またはそれに汚濁されている地下水や地すべり地の地下水または海岸地帯の塩水化地下水など。	火山起源の温泉水、鉱泉水またはそれに汚濁されている地下水や海岸地帯の塩水化地下水など。
帯水層	透水性は比較的良く水量が多い。	透水性が悪いので水量が少ない。		
水利用	上水、かんがい、工業など広く利用されている。	かんがい用として適さないことがある。	すべての用途に適さない。	すべての用途に適さない。

### 3.3.2 帯水層調査

帯水層調査は、帯水層の水理特性(透水係数、貯留係数等)を知るため実施するもので、主な調査手法は表3.3.4に示すとおりである。

なお、ここでの調査内容については、前述の水文地質構造調査と大半は共通であり、その他の手法もごく一般的な内容であるため、具体的な説明は省略する。

表3.3.4 帯水層調査内容一覧

調査手法	調査内容
(1) ボーリング調査	3.3.1(3)と同じ
(2) 試験井戸設置 ① ボーリング ② 物理検層 ③ 井戸仕上げ	掘削口径250mm以上 井戸検層，地下水検層，微流速検層 仕上げ口径100mm以上，砂利充填仕上げ
(3) 揚水試験 ① 揚水試験 ② 水質試験	段階試験，一定量試験，回復試験 飲料水一般検査，全項目試験，イオン分析

### 3.3.3 地下水観測

地下水は、降雨等の自然的要因と揚水等の人工的要因で変化するもので、地下水位が低下したからといって即、工事の影響とは限らない。この自然要因と工事以外の人工的要因が加わったものが、その地区の固有の地下水位変動の特性として考えることができ、その特性から外れるものが工事による影響として解釈される。

したがって、水位観測により工事着手前における地域の水位変動特性を把握する事が、工事の影響を評価する上で最も基本となる。

また、水位観測時に観測孔や既設井戸の水温や電導度などを観測する事は、水質面での影響を評価する場合には有効となる可能性もある。

主な地下水観測の内容は、表3.3.5に示すとおりである。

表3.3.5 地下水観測内容一覧

調査手法	調査内容
(1) 地下水位観測	自記水位計による連続記録，定期観測
(2) 水質観測	定期的な水質(水温，電導度など)観測
(3) 気象データとりまとめ	アメダスデータなどの収集，とりまとめ

地下水観測は、一斉観測と長期観測の2つに分ける事ができる。

一斉観測は、短期間に調査地の地下水位などを一斉に観測するもので、これによってその時期の地下水の賦存状況，流動形態を知る事ができる。この結果は、地下水等高線図として整理され、水理地質状況，地下水の利用実態などの情報と照合して、総合的に解釈・評価される。一斉観測は渇水期と豊水期の最低2回は必要である。



## 一斉観測結果例

ここでは、一斉観測の結果をもとに地下水位等高線図を描き、後に工事によって地下水流動がどの様に変化したかを検討した事例を示す。

調査地は、日本海より約500m南西側にあり、東西両方向が山に囲まれた沖積の平坦面上に位置している。

地質は深度約10mまで一様に砂礫層が続き、調査対象の地下水は砂礫層内の不圧地下水となっている。

工事前の観測結果では、地下水は概ね山側から調査地中央付近に集まり、その後、海へ向かって北側に流動している。

工事中(下水道工事による約1.5mの地下水位低下)の結果では、明らかに工事箇所に向かって地下水が流動している事が判明したが、同時に、工事箇所より南東側では地下水の分水嶺も見られ、観測孔2の北東側でも別の影響も受けている事が示唆されている。

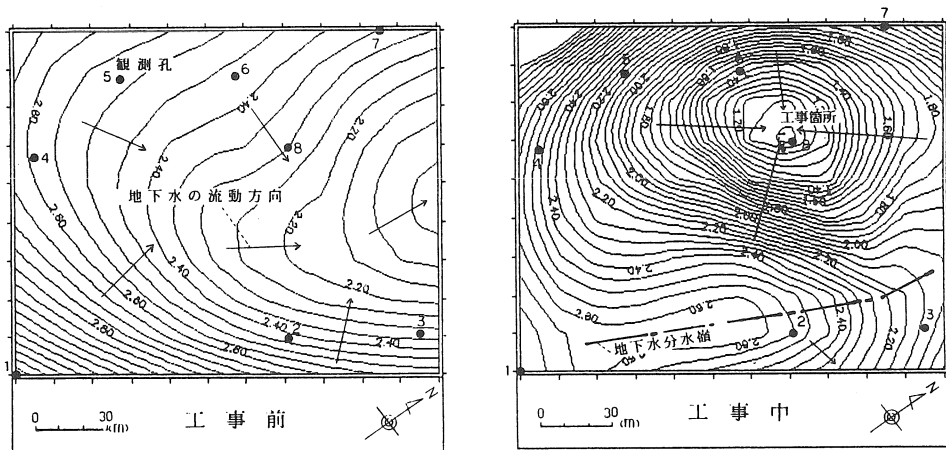


図3.3.12 地下水位等高線図

長期観測は、任意の観測孔において長期・継続的(工事前最低1年間程度、工事中・後は必要に応じて)に地下水位など測定を行なうもので、これをもとに地下水の動態あるいは気象データとの相関性を検討する事により、地域固有の水位、水質変動特性を把握する。

観測は、通常、既設井戸(水位測定が可能な場合)または観測孔に自記水位計を設置して、1～3時間間隔程度を目安に連続記録している。ただし、対象となる井戸が多数の場合には、経費の関係上、代表的に数ヶ所を選定して自記観測を行ない、それ以外については定期観測(月1～2回程度)を実施している。

なお、自記観測のみの場合でも、月1回程度は保守・点検をかねてデータ回収を行ない、とりまとめるべきと考えられる。

## 長期観測結果例

この長期観測を実施した目的は、調査地内に新たな井戸を設置する計画があり、2ヶ所の候補地点(P-1, P-2)における既設井戸の揚水の影響を把握する事にある。

既設井戸と候補地点の帯水層は、各種試験結果から同一なものである事は判明しており、すべて深度約15m以浅の砂礫層内の不圧地下水が対象となっている。

既設井戸と候補地点との距離は、P-1が約200m、P-2が約250mで、ともに既設井戸の上流側に位置している。

観測の結果、既設井戸の揚水の影響は、P-1で最大約70cm、P-2で約60cmの低下量が観測された。

なお、既設井戸の水温と電導度については、水温は約9~15℃、電導度は150~350 $\mu$ S/cmと大きく変化しているが、これは季節的な変動に加えて、既設井戸の揚水量の影響(地下水流動方向などの変化)が反映されているものと考えられる。

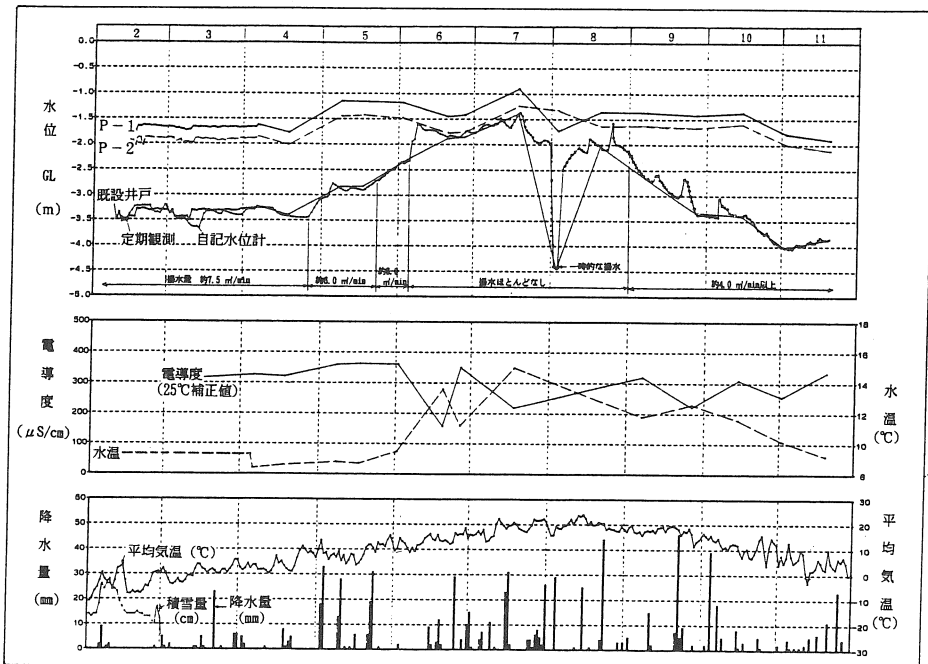


図3.3.13 長期観測結果

### 3. 4 影響予測の検討

影響予測の方法は、井戸公式のような単純解析と、数値モデルを用いたシュミレーション解析があるが、単純解析は複雑な地質条件では取り扱えない。一方、シュミレーション解析では、掘削や揚水による影響を予測するだけでなく、何通りかの対策工の効果を検討して、最適な施工法や対策工法を選ぶことが可能である。

ただし、数値モデルの適用は、施工現場の水文地質構造(帯水層・加圧層の分布と地下水位分布)と施工条件をよく考えて選ぶ必要がある。なお、注意すべき点は、複雑なモデルになればなるほど必要なデータが増加し、揚水試験なども数多く必要となる事である。

#### シュミレーション解析例

この例は、幅30~50mの帯状の帯水層(層厚10m程度)に、帯水層底面まで及ぶ構造物(10m×10m)が施工された場合の解析例である。

##### (1) 解析方法

解析は、地下水が不圧・定常状態の条件下で、差分法を用いて行った。また、モデルの適否の検討は一斉地下水位観測結果より得られた水位コンター図をもとに行った。

##### (2) 結果

現状の地下水流動形態は、図の右側から徐々に地下水位勾配を増加させながら流動しているが、構造物が施工された場合、構造物周辺でせき止められた形となり、流動断面積の減少を水位差で補うため、上流側で水位が上昇し、下流側では低下する。その低下量は約15cmと解析された。

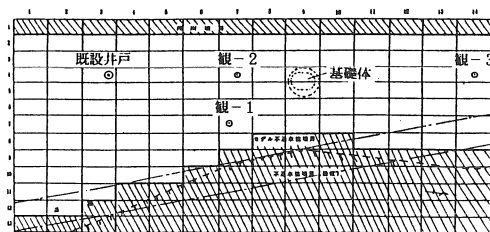
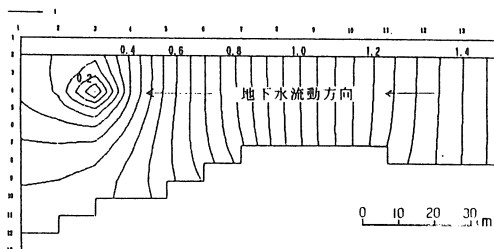
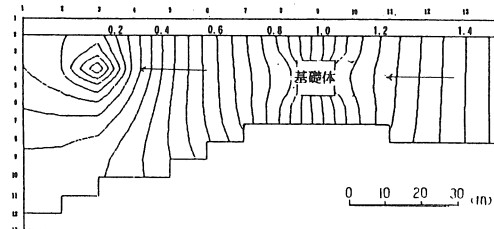


図3.4.1 数値モデルの設定

(A) 現状 (既設井戸: 約1 m<sup>3</sup>/min揚水中)



(B) 現状に橋脚基礎体が施工された場合



等高線…標高(m), 増加量0.05m

図3.4.2 解析結果

なお、影響予測の検討の結果、影響の可能性があるとは判断された場合には、工事着手前に影響量を軽減するための施工方法の再検討や、代替水源の確保といった対策方法を検討する必要がある。

#### 4. おわりに

以上、当社が実施している地下水影響調査の手順と手法について幾つか事例をまじえ説明してきたが、現段階での調査、解析技術には改善すべき問題点がまだ多く残っている。

したがって、今後とも多くの事例と対比することにより、調査・解析精度の向上に努力していく所存である。

#### 参考文献

1. 北海道土木協会：測量調査・設計業務等共通仕様書、1994
2. 関東地質調査業協会：ボーリング孔を利用する原位置試験についての技術マニュアル、1995
3. 島 裕雅，梶間和彦，神谷英樹：建設・防災・環境のための新しい電気探査法 比抵抗映像法、1995
4. 全国地質調査業協会連合会：ボーリングポケットブック、1993
5. 東 宏幸，樋渡純也，今村杉夫：有効塩ビ管が電気検層に与える影響、物理探査学会第85回学術講演会論文集、P 388－P 391、1991
6. 建設産業調査会：地下水ハンドブック、1979
7. 建設産業調査会：最新 地盤調査ハンドブック、1995
8. 土質工学会：根切り工事と地下水－調査・設計から施工まで－、1995
9. (財)国土開発技術研究センター：地下水調査および観測指針(案)、1993
10. 水収支研究グループ：地下水資源・環境論－その理論と実践、1993
11. 中島重旗，加納正道，小島義博，金子好雄：水環境工学の基礎、1994
12. W. キンツェルバッハ：パソコンによる地下水解析、1990

# 深層掘削用ボーリングマシン

鉦研工業株式会社 金子 豊

## はじめに

地下資源の調査や開発には坑井掘削が必須であり、深層に対するそれらの事業展開においては常に掘削コストが大きな問題として挙げられる。

従来の深層掘削用ボーリングマシンは、地熱開発においては、1500m程度の調査井の多くがスピンドル型ロータリ・コアドリルで掘削され、生産井や還元井の多くは石油・ガス開発で使用されるロータリ・テーブルリグが利用されている。

地熱に比べると規模の小さい地下水や温泉の開発には、わが国ではスピンドル型やロータリ・テーブル型、あるいはトップドライブ型のドリルが使用され、海外ではポータブルリグと呼ばれるトラック、トラクタ、トレーラ、クローラなどのキャリアに搭載されたドリルが使用されている。

特に最近の坑井掘削に対する市場の声は、諸外国に比べて高い掘削コストを問題にすることも多く、能率の良い掘削システムを導入してコストを下げる動きが活発になって来ている。

当社はそのようなニーズに応えるために、従来のボーリングマシンとは違った新しい形のスピードSPAドリルを開発してきたが、このたび3000m級のドリルを加えて一連のモデル「SSDシリーズ」を完成し、作業能率改善に一層の効果を挙げることができた。

以下、スピードSPAドリルの開発経緯、仕様、特長、ならびに現場における実績の概要を紹介する。

## 1. スピードSPAドリルの開発経緯

ボーリング作業におけるコストの大きな部分は人件費であり、コスト低減を効果的に進めるためには、次の2点が重要な課題として挙げられる。

- ①設備の据え付け・撤収作業の能率改善
- ②ボーリングロッドの接続・回収作業の省力化

これらの課題に対し、従来の設備とは全く異なるコンセプトによって掘削システムを考え、スピードSPAドリルを開発したが、その代表的な部分は次の3点である。

- ①据え付けや解体に手間の掛かるボーリング檣を使わないこと
- ②分解組立を簡素化するために掘削装置をコンパクトに集約したこと
- ③パイプハンドリングやネジ締め戻しを完全に機械化し、人力作業を無くしたこと

先に開発された掘削能力2000m級のSSD-2000型ボーリングマシンは、実際の温泉掘削において従来のスピンドル型掘削機によるボーリング作業を飛躍的に改善し、表1に示すように上記課題が解決できることを実証した。

そして今回は、更に深い3000mに対応したスピードSPAドリルが完成し、成果を上げている。

表1 SSD-2000による作業能率改善実績

掘削機械	スピンドル型 CR-2C			SSD-2000		
工事名称	平成5年度 昭和村地下水開発			平成7年度 日田地区温泉開発		
坑井仕様	14-3/4" x 500m			3-7/8" x 1,252m		
作業項目	工数	所要日数	備考	工数	所要日数	備考
据付撤収	169	32	1方作業	41	16	(注1)
掘進	363	58	85m以降2方作業	144	45	
ツール編成替 セメント切下 機械修理等	78	10	スラットイン 17-1/2" 0~30m SGP400A フルホールセメンチング 1方作業	27	9	スラットイン 9-5/8" 0~88m SGP200A フルホールセメンチング
ロッド昇降	26	4	2方作業、ビット交換7回	21	7	ビット交換5回
ケーシング挿入	36	5	0~500m SGP250A 及びビジョンソンスクリーン 1方作業	18	5	0~500m STPG150A 0~1005m STPG100A 以降1252m STPG65A
合計	672	109	2方作業は上記作業項目の約30%	251	82	全行程1方作業

(注1)88mフルホールセメンチング後に掘削機械(FSW-20T)をSSD-2000と交換したが、その作業に要した工数(11)及び日数(4)を含む

(注2)本表では作業項目の内共通でないクランプ、スラットイン、揚水(湯)試験などの作業に要した工数及び日数は除外した

(注3)当社施工実績による

## 2. 装置の概要

### (1) 掘削装置の全体構成

掘削装置は、図1に示すようにマスト起倒型のトップドライブ式ロータリ掘削機であり、ブルダウン装置やロッドポジションナ、分離型パワーユニットなど、運搬、据え付けの利便性、ならびに運転の操作性を追求して、数々の工夫を凝らし、全体をコンパクトにまとめたものである。

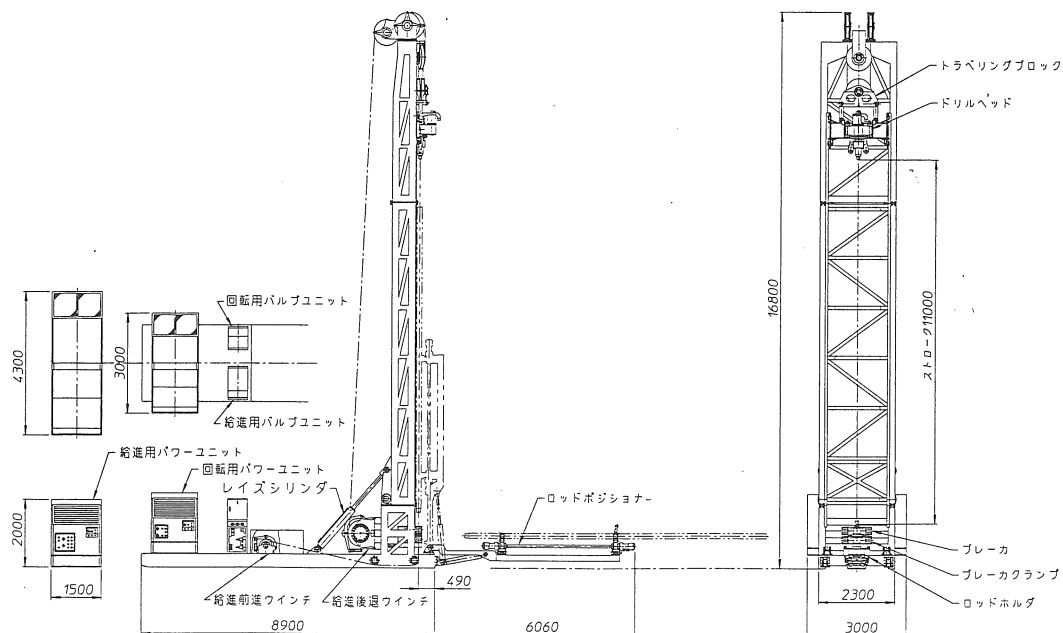


図1 スピードSPAドリル3000型

## (2) 標準仕様

スピードSPAドリル「SSDシリーズ」の標準仕様を表2に示す。

これらのモデルには、現場や客先の要望によって部分的な改造が施されることも多く、実際の寸法や重量が表記とは異なる場合がある。

表2 SSDシリーズ標準モデルと主要諸元

モデル	単位	SSD-3000	SSD-2000	SSD-1200	SSD-700	
掘削能力(API2-3/8IF)	m	3,000	2,000	1,200	700	
マスト耐荷重	kgf	75,000	60,000	40,000	20,000	
ドリルヘッド耐荷重	kgf	50,000	30,000	20,000	10,000	
スピンドル内径	mm	110	110	110	110	
回転数	(低速)	rpm	0-40	0-40	0-40	
	(高速)	rpm	0-80	0-80	0-80	
最大トルク(低速時)	kgf-m	1,200	1,200	1,000	800	
プルダウン装置		油圧ウィンチとワイヤーの組み合わせ	油圧シリンダとワイヤーの組み合わせ	油圧ウィンチとワイヤーの組み合わせ	油圧ウィンチとワイヤーの組み合わせ	
スラスト荷重	(押上)	kgf	50,000	30,000	20,000	10,000
	(押下)	kgf	10,000	10,000	10,000	10,000
ストローク	mm	11,000	8,000	8,000	8,000	
パワーユニット出力	ps/rpm	274/1,800 128/1,800	274/1,800	150/2,200	98/2,200	
パワーユニット重量	kg	約5,700 約3,300	約4,500	約3,500	約3,000	
運搬時寸法(LxWxH)	mm	(L) 9,000* (W) 2,400* (H) 17,000*	12,000 x 2,300 x 2,375			
重量(パワーユニット除く)	kg	約23,400	約13,800	約10,000	約8,000	

(\* SSD-3000の運搬時寸法は、ロッドポジションA部分を除く掘削作業時の寸法を示す)

## 3. スピードSPAドリルの特長

(1) スピードSPAドリルは次の特長を供えている。

- ① ボーリング槽を設置する必要がなく、作業者は危険な高所作業から解放されて安全が確保されている。
- ② ボーリング設備の据付や撤収の作業が迅速に行える。
- ③ 6 mまたは9 m長さのロッドを使用して一気に掘削するため、孔壁を痛めることが少なく能率的でスムーズなボーリングができる。
- ④ ワイヤラインコアリングにおいても連続して安定した掘進ができるため、コア詰まりが減少し、コア採取率と作業能率の双方共に改善される。
- ⑤ ロッドポジションAが標準装備され、長尺ロッドの着脱が安全かつ確実に行える。
- ⑥ 油圧作動のクランプとブレーカによりロッドのネジ戻しを行うために、作業時間の短縮と省力化を実現している。

- ⑦油圧シリンダで起倒されるマストは、シンプルで作業性に優れ、狭い場所での運搬や組立も容易に行える。
- ⑧機械操作は、電気制御油圧駆動方式となっているために操作盤が小型・軽量であり、しかも操作は極めて簡単で能率の良い作業が行える。

(2) 主な機能と構造、ならびにその効果

スピードSPAドリルの主な機能と構造、ならびにその効果は以下の通りである。

- ①油圧起倒式マストの採用により、据付・撤収作業に必要な労力や時間が大幅に削減されている。
- ②パワーユニットはドリルユニットから分離独立させ、運搬にも好都合となっている。
- ③ドローワークス(図2)とブルダウン(図3)は、掘削機本体のベース・フレームに取り付けられており、低重心構造であるためにドリルの安定性が向上している。
- ④制御にはシーケンサを組み込み、多重通信を取り入れた電気制御によって操作盤(図4)が軽量小型化され、オペレータが最も作業しやすい位置で操作できるようになっている。  
また、自動運転制御にも対応できる機構となっている。
- ⑤ピース交換により、2-3/8 I F ロッドから216.3mmまでのパイプを扱える油圧駆動のロッドポジショナ(図5)を標準装備し、ボーリングパイプのハンドリングを完全に機械化している。
- ⑥油圧シリンダ駆動によるロッドクランプとロッドブレーカ(図6)をコンパクトに配置し、掘削作業やボーリングロッド昇降作業を2名で労せずに行える。
- ⑦孔内にボーリングロッドを長時間保持しておく場合のために、分離型の油圧式ロッドホルダが用意されている。(図7)
- ⑧ドリルヘッドのスピンδροッドサブはフリーストローク型になっており、ネジ継ぎ戻し時のトラブルを解消している。(図8)

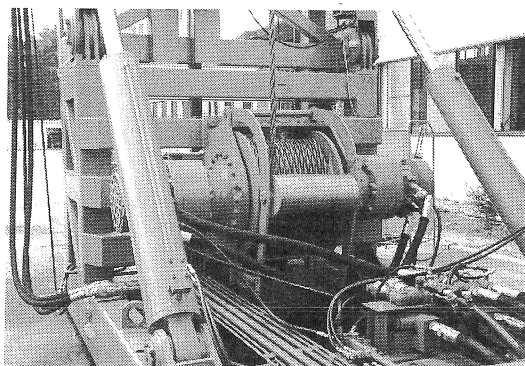


図2 ドローワークス

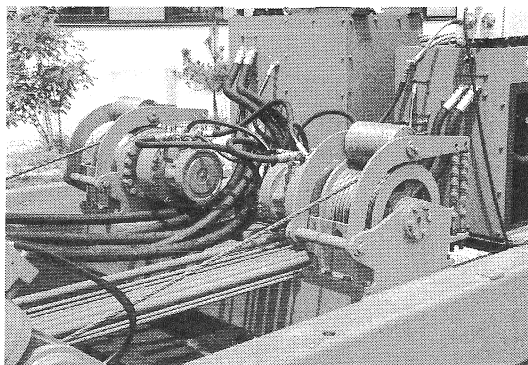


図3 ブルダウン

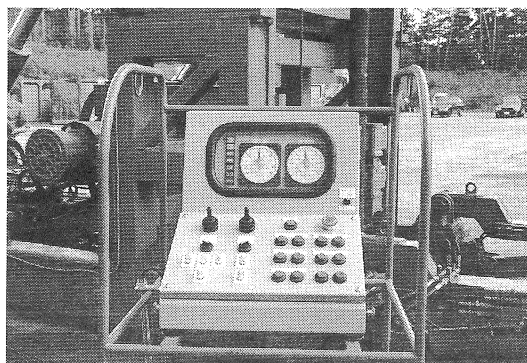


図4 操作盤



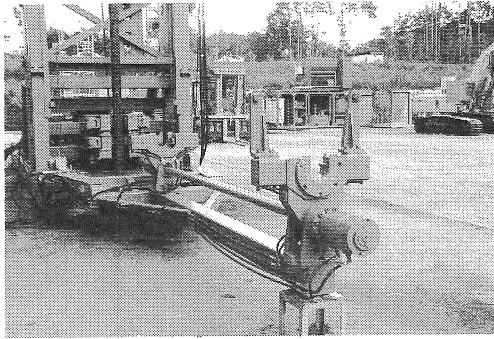


図5 ロッドポジションナ

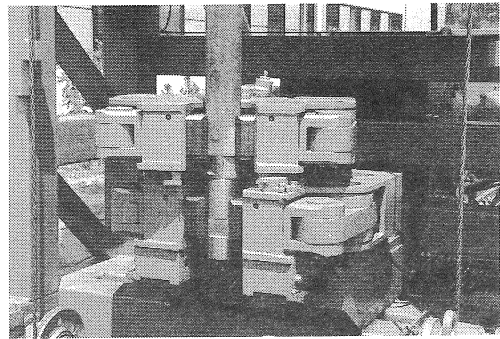


図6 ロッドブレイカ(上)、ロッドクランプ(下)

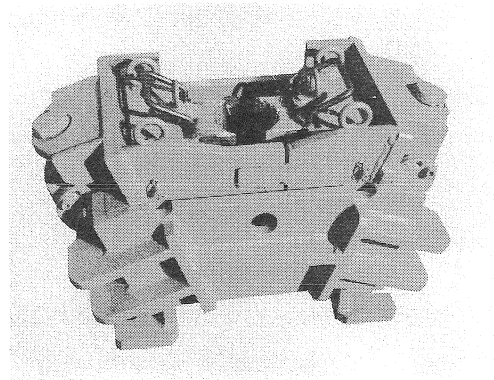


図7 油圧ホルダ

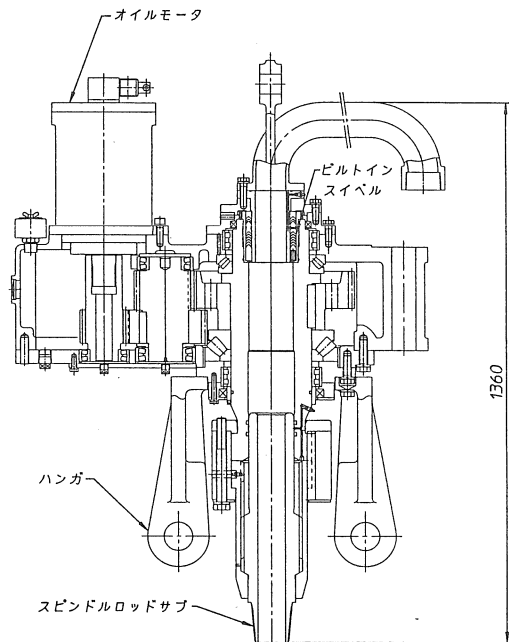


図8 ドリルヘッド

#### 4. 施工実績

##### (1) 工事概要

スピードSPAドリル3000型は、完成と同時に平成8年6月に九州の福岡地区における温泉掘削の現場に搬入され、同年9月までの間に1000mの掘削を行った。

この現場は、スピードSPAドリル3000型を開発して施工することが計画されたが、着工が急がれたために既存のトラックマウント型FSW-20Tを使ってコンダクターリング挿入までの掘削を行い、353.3mのフルホールセメンチングを完了した後にSSD-3000が導入された。

掘削機械の入れ替えは、檣を使用する従来の掘削装置とは違って、FSW-20Tの搬出に1日、基礎構築に1日、SSD-3000の搬入、組立、試運転調整に2日の合計4日間で完了するなど、極めて速やかであった。

なお、組立にはトラッククレーン35トン1台を使用し、坑井掘削のための敷地面積は25m×51mである。

その後、大きなトラブルもなく予定深度の1,000mを掘削し、計画通りの坑井仕上げをして揚湯試験を完了させたが、湯温は摂氏52.9度、毎分350リットル以上の温泉湧出を確認し、予想を越える温泉開発に成功している。

## (2) 使用機材

使用機材は次の通りである。

a)ボーリングマシン	FSW-20T (0~353.3m)	1台
	SSD-3000(353.3~1,002m)	1台
b)ドリルポンプ	MG-50EV (0~50.3m)	1台
	D-100 (50.3~1,002m)	1台
c)マッドスクリーン	2m <sup>3</sup> /min	1台
d)マッドタンク	10m <sup>3</sup>	4個
e)ドリルパイプ	F14(139.8mm),2-7/8"	
f)ドリルカラー	203.2mm,165.2mm,120.6mm,	
g)ビット	3コ-ビット 12-1/4",9-5/8",7-7/8",5-7/8"	
h)発電機	125kVA	

## (3) 地質

この現場の地質は、粘土、シルトを含む沖積砂礫層が地表から95mまで続き、その下に新第三紀層からなる砂礫、粘土混じりの泥岩層が620mまで厚く堆積し、基盤岩となる中生代ないしは古生代の黒色片岩、もしくは緑色片岩の上に載っている。

表3 SSD-3000による作業実績

主たる作業項目	工数	所要日数	備 考
設備の据付・撤収作業	55	13	(注1)
掘進作業	84	18	381.6~ 751.9m 820.6~ 875.85m 901.55~1001.65m } この間2方作業
ツール編成替 セメント切下 機械修理等	10	2	スロッドイン 12-1/4" 0~50m SGP250A フルホールセメンチング 0~350m STPG200A フルホールセメンチング
ボーリングロッド昇降作業	5	1	(注2)ビット交換5回
ケーシング挿入(逸泥対策含む) ライナー管(スリット型ストレーナ部200m)	11	3	0~750m 6-8/8"STO J-55 750~1002m 4-1/2" STO J-55
合 計	165	37	(注3、4)

(注1) 353.3mフルホールセメンチング後の掘削機械交換(工数15、日数4)を含む

(注2) ボーリングロッド昇降作業のために掘進ができなかった日数のみを計上

(注3) 孔内検層、揚湯試験は除外

(注4) 平成8年度当社温泉開発事例：孔径5-7/8" 深度1000mによる

## (4) 施工実績

スピードSPAドリル3000型による福岡地区温泉開発現場でのドリリングチャート

を図9に示す。

この現場で使用したビットの数は、全部で6個である。

全く同じ条件で対比できる資料はないが、従来機との比較のために表1と同じ項目で今回の実績を集計し表3に示した。

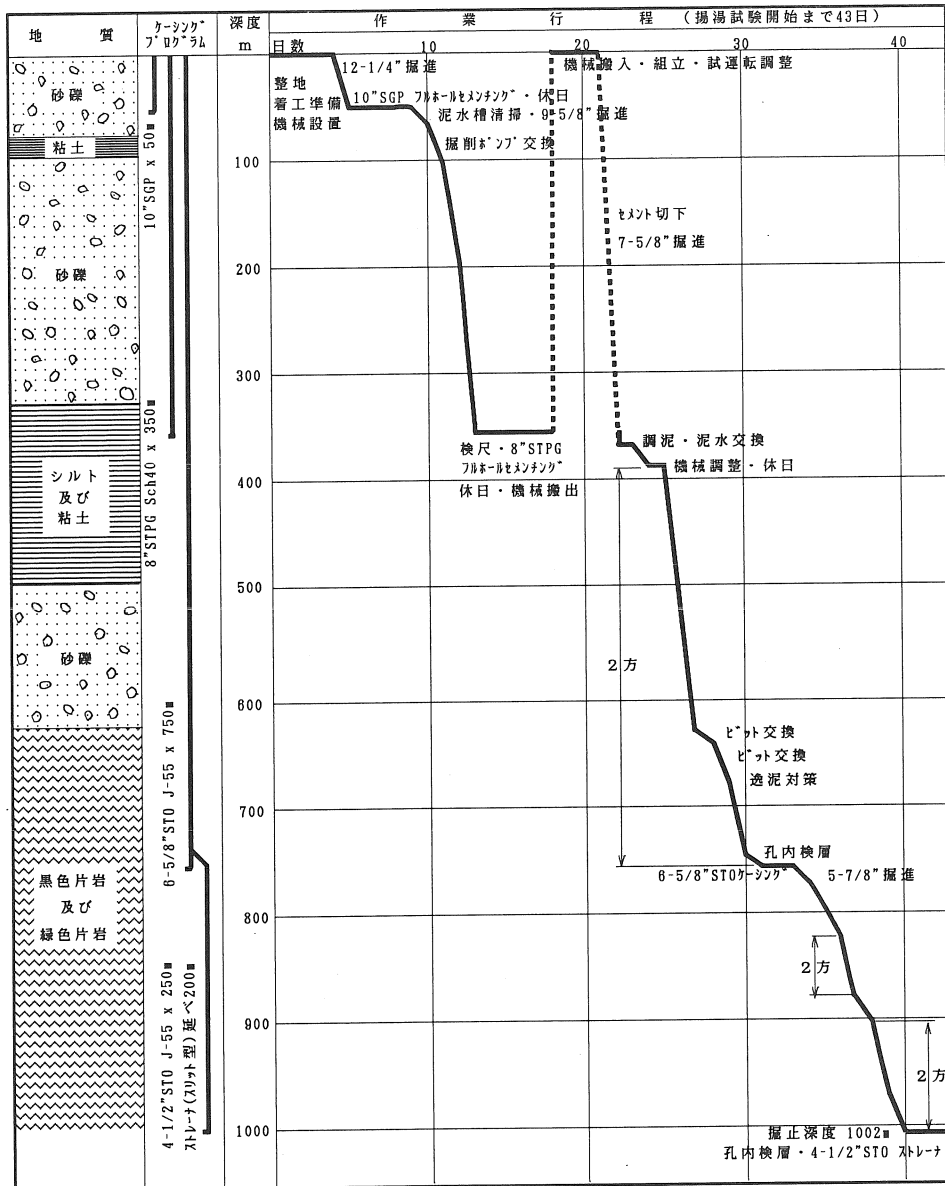


図9 ドリリングチャート

表3を表1と比較すると、掘削仕様や地質条件、あるいは坑井仕上げ条件など、それぞれに異なっているので、正確な改良効果は必ずしも明らかではないが、スピードSPAドリル3000型の実績として次のような結果が推察できる。

①スピンドル型機による昭和村地下水開発ボーリングに比べ、工数で約4分の1、所要日数で約3分の1の能率である

②SSD-2000による日田地区温泉開発と比べ、工数で約1.5分の1、所要日数で約2.2分の1の能率である

更に、ツール編成替えやセメント切り下げ、機械修理等の掘進付帯作業やロッド昇降作業が大幅に改善され、9mロッドの使用効果が明瞭に現れている。

しかしながら、機械が大型になったために現場での組立作業が増えたことから、設備の据付および撤収作業に要する工数はSSD-2000型の1.3倍程度に増加した。

一方、所用日数はその80%に短縮されており、据え付け環境の良さや作業の慣れの影響があると考えている。

#### (5) 今後の課題

福岡地区温泉開発現場において確認されたスピードSPAドリル3000型に対する改善点は次の通りである。

①マストは上部と下部が分割型となっており、現場で組み立てるが、運搬と据え付けの利便性を考慮して、折り畳み構造にした方が良い

②ビットロードゲージの表示を見やすく、操作スイッチ類を扱い易い形状に変更する

今後多種多様な掘削現場や掘削仕様にスピードSPAドリルを適用して行けば、更なる改良点が出てくるものと考えられ、都度適切に対処して行くことが求められよう。

また、制御系に組み入れられたシーケンサはドリルに各種センサを付加することで自動運転も可能となる。

掘削装置と運転操作の近代化による掘削作業の能率向上は、掘削コストの削減に有効であると考えられ、作業者の掘削技術をサポートするスピードSPAドリルの自動運転プログラムの開発が一つの重要課題として挙げられる。

## 5. おわりに

ボーリングの作業において、全ての作業能率を向上させ、省人化を進めて工期を短縮することが経済的な施工を考える上で最も重要な部分と言える。

ここに紹介したスピードSPAドリル3000型は、昨年末に東京都世田谷区瀬田において1700mの温泉を掘削し、温度、湧出量共に東京一の温泉であると財団法人中央温泉研究所から認められる結果を得た。

はじめにも述べたとおり、地下資源開発に不可欠の坑井掘削には、コストとリスクが大きな障壁となっており、それらに対応した施策を持ってこれからの事業に取り組んで行かなければならない状況にあると言える。

経済的にも技術的にも厳しい改革要求に応えるべく、高能率で省人化が図れるスピードSPAドリルは、施工単価の価格破壊にも対抗できる数少ない掘削装置であると考えられ、今後の施工実績が期待されるところである。

安全で確実なボーリング作業をより安価な装置で行えるよう、一層の開発努力をして行く所存であり、今後とも皆様のご指導を頂ければ幸いである。

## 新しい泥水について (フレックス泥水システム)

株式会社 テルナイト  
技術開発部  
小玉和弘

### ◎ はじめに

ボーリング用泥水の重要な機能として、①安定した粘性(スライム運搬能力)、②適正な泥水比重(地層流体噴出防止)、③良好な泥壁形成性(崩壊防止)、④優れた潤滑性(過剰トルク、負荷の防止)等が挙げられる。特に近年、温泉開発は深度も深くなり、坑径が大きく、裸坑の長いボーリング工事が増えており、循環泥水の機能が安全なボーリング工事を行う上で、特に重要になってきている。上記の機能を十分に満たす事が出来る泥水システムとして、リボナイト泥水が実際の工事現場で長年使用されている。リボナイト泥水は優れた粘土鉱物水和抑制力を有しており、張付きや崩壊といった障害を起し易い泥岩、凝灰岩の掘削に向いている。しかし、リボナイトを使用するとその性質上、泥壁を通過する濾水が強く着色(こげ茶)しており、ボーリング工事終了後の揚湯試験の際に、湯の色が消えるまで長時間費やす事が多くある。以前より、リボナイト泥水に変わる無色泥水として、テルコートが登場し使用現場も徐々に増えてきてはいるが、リボナイト泥水と比較して泥水管理が難しく、無色泥水の需要が高まっている割にはそれ程普及はしていない。

当社では以前より、石油・天然ガス開発ボーリング工事に優れた粘土鉱物抑制力と潤滑性を発揮する新規グリコール系ポリマー(開発製品コード:RD-601)を開発し、掘削深度 3,000m 以上、傾斜角 70° 以上の厳しい条件にもかかわらず、良好な使用結果を得ている。グリコール系ポリマー自体は無色であり、その取り扱いも容易である。従って、当社ではこの度、RD-601 を温泉ボーリング工事用に改良を行い、新規泥水:フレックス泥水として開発を行った。ここでは、フレックス泥水の優れた特徴と、実際の現場使用実績を紹介する。

### ◎ 石油・天然ガス開発ボーリング工事における RD-601 の使用実績 石油・天然ガス開発ボーリング工事における使用実績を以下に記す。

表-1

地域	掘削深度	最大傾斜	対象地質	RD-601 添加量	工事期間
北東北	3,000m	90°	泥岩、凝灰岩	5%±	91日
南東北	4,900m	70°	シルト、泥岩	6%±	57日

◎ 新規泥水システム ～フレックス泥水～ について

先に紹介した RD-601 を温泉ボーリング工事用に改良したテルフレックスを基本剤とし、ベントナイト、ポリマー類を併用した泥水システムを「フレックス泥水」と言う。以下、フレックス泥水の優れた特徴を紹介する。

① フレックス泥水の特徴

フレックス泥水の主な特徴を以下に記す。

- ・無着色であるために、仕上げ時の坑内洗浄が短時間で済む。
- ・粘土の水和、膨潤を抑制力に優れ、坑内安定に寄与する。
- ・潤滑性に優れ、抑留事故防止効果に優れる。
- ・ビットやスタビライザーへの張り付きを防止する。
- ・ソリッド汚染に強く、泥水性質の管理が容易である。

これらの優れたフレックス泥水の特徴は、以下の調泥剤とテルフレックスを組み合わせる事によって得る事が出来る。

表-2 各種添加剤の機能

添加剤	推奨調泥剤	使用目的	添加濃度
ベントナイト	クニゲル V1 スーパークレー	泥壁形成剤 増粘剤	2～5%
テルフレックス	テルフレックス	フレックス泥水基本剤 潤滑剤 粘土鉱物抑制剤	2%以上
ポリマー類	テルポリマー(HG)	増粘剤	0.3%±
	テルポリマー(LG)	脱水減少剤	0.3%±(必要に応じて)
	XCD-ポリマー	増粘剤(ザク揚げ)	0.1%±(必要に応じて)
分散剤	ハイフロー	粘性降下剤	0.3%±(必要に応じて)
消泡剤	デフォーマーNo.50	消泡	少々
セメント汚染処理剤	重曹、ソーダ灰	Ca <sup>2+</sup> 処理	0.1%±(必要に応じて)

通常用いるのはベントナイト、テルフレックス、テルポリマー(HG)である。その他添加剤は、ボーリング工事条件で必要に応じ添加する。フレックス泥水の作泥要領を以下に記す。

- ・清水を所定量張り込む。
  - ・ベントナイトを添加し十分膨潤させる。(2～5%)
  - ・テルフレックスを添加する。(2%以上)
  - ・テルポリマー(HG)を添加。(0.3%±…但しより低い粘性が必要とする場合はLGタイプを使用する。)
- もし発泡を生じるようであれば消泡剤を少量添加して十分攪拌する。

(基本組成)

先の基本組成より一層の、脱水、増粘効果が必要であれば、その他の添加剤を添加し攪拌する。

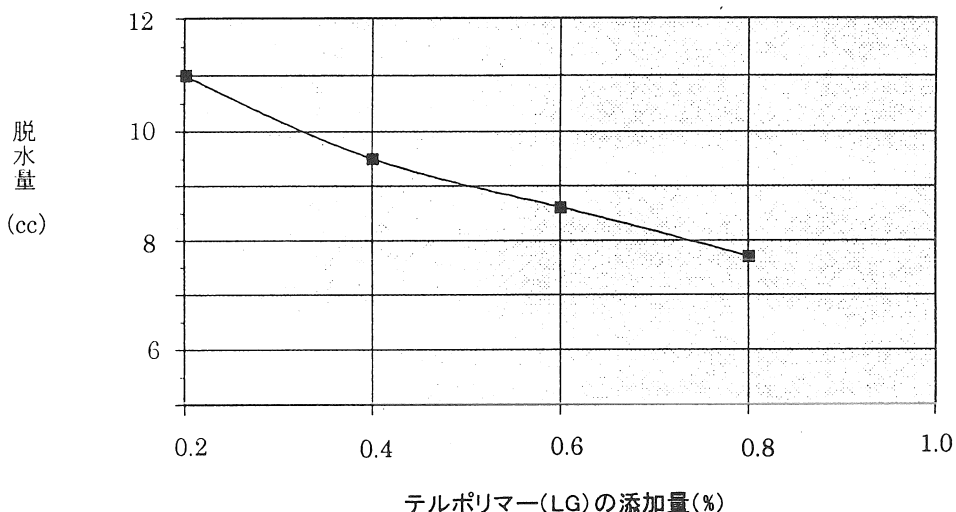
先のページの基本組成の出来上がった泥水の性質は、以下の通りである。

- ・ ファンネル粘性:45” PV:15 YV:10 Gel:2~3
- ・ 脱水:12cc
- ・ pH:9.5~10

フレックス泥水は高いシアニングス性と低くフラットなゲルストレングスを示し、流動性が非常に安定した泥水である。

### ② テルポリマー(LG)による脱水減少効果

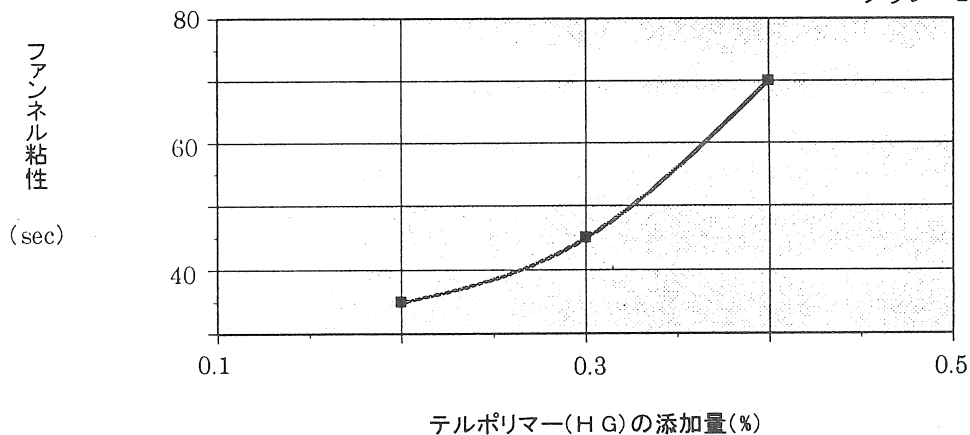
グラフ-1



フレックス泥水はテルポリマー(LG)との併用で、効果的に脱水量を低減させる事が出来る。

### ③ テルポリマー(HG)による増粘効果

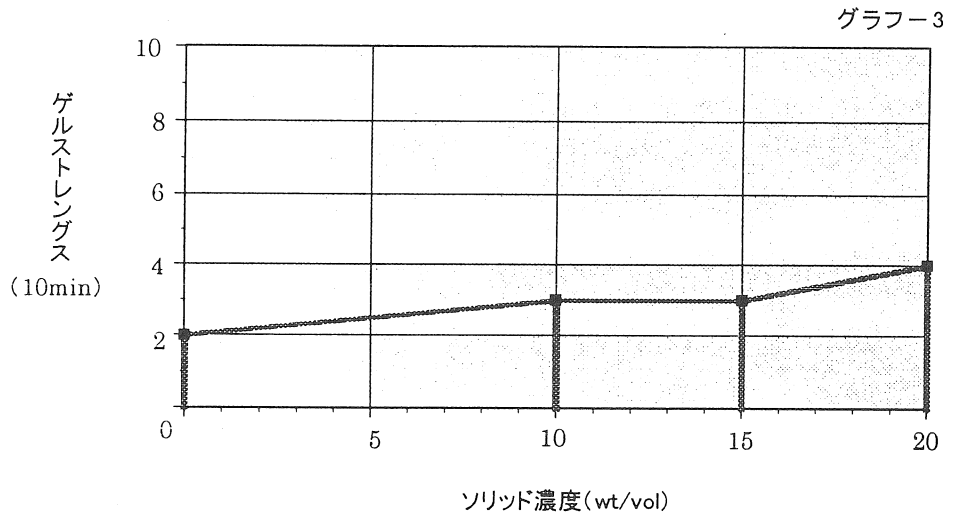
グラフ-2



フレックス泥水の粘性はテルポリマー(HG)(又はXCD-ポリマー)の添加によって、高い増粘効果が得られる。フレックス泥水における粘性アップは、高粘度ポリマーにて行う事が望ましい。

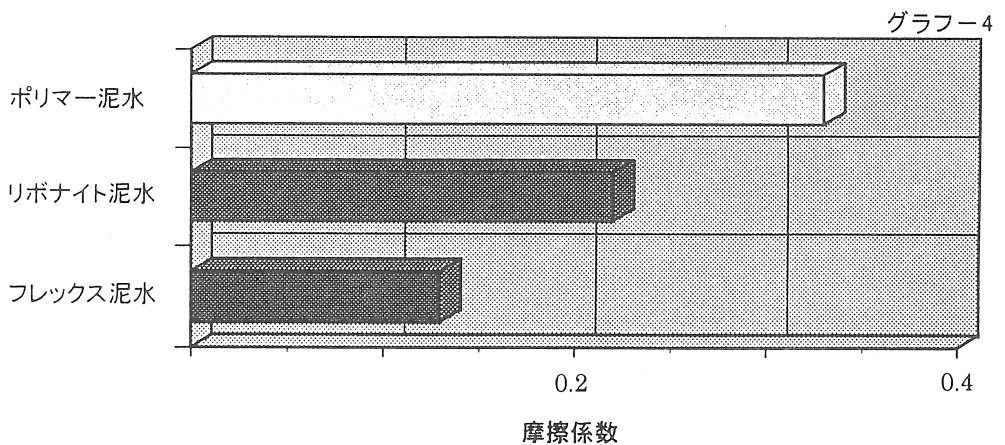
#### ④ フレックス泥水のソリッド許容量

フレックス泥水はソリッド汚染(スライム蓄積)に強く、ソリッド濃度の増加に伴う流動性質の悪化は僅かであり、安定した流動性質の維持が可能である。この事は泥水管理の容易さを示す大きなファクターとなり得るが、スライムの蓄積が進み比重のコントロールを怠れば、ややもすると、過剰な泥水比重により、逸泥、差圧抑留の原因になる危険性もある。従って、フレックス泥水を使用するボーリング工事でも、ソリッドコントロールは常に行い、適正な泥水比重を維持する事が大切である。



#### ⑤ フレックス泥水の潤滑性

フレックス泥水の大きな特徴として、良好な潤滑性が挙げられる。フレックス泥水における潤滑性はテルフレックスの濃度が増すと、更に良好な潤滑性が得られる。



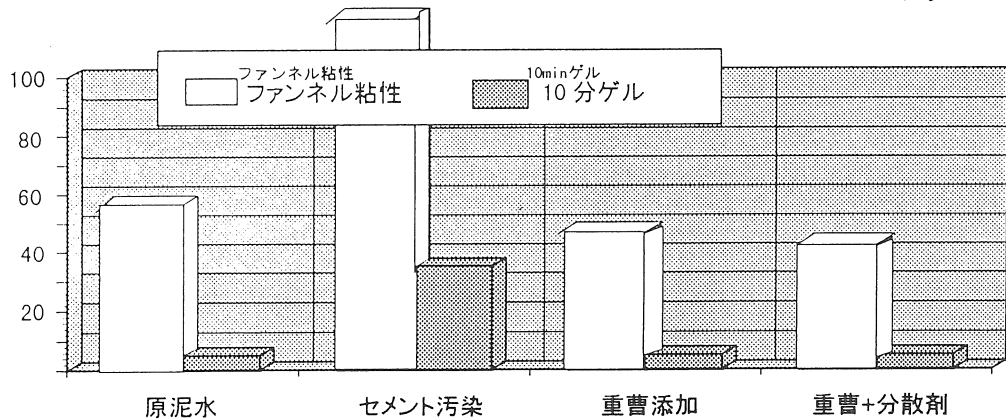
上記に各泥水システムとの摩擦係数の比較を記した。フレックス泥水は非常に低い摩擦係数であり、極めて優れた潤滑性を有する。この事は裸坑の長い坑井や、高傾斜井での抑留事故防止に役立つ。



⑥ セメント汚染対策

セメント汚染には重曹の添加が非常に効果的である。他の泥水システムでは、重曹の他に分散剤の併用が必要であるが、フレックス泥水の場合は重曹の単独使用で泥水性質は回復する。セメンチング実施前には、循環泥水に予め0.1%程度添加しておくが良い。

グラフー5



⑦ 他泥水システムとの比較

表ー3

	ベントナイト	テルコート	リボナイト	フレックス
地層との適合性				
礫岩	○	△	○	○
砂岩	○	○	○	○
泥岩・凝灰岩	×	◎	◎	◎
硬質な火山岩	○	◎	◎	◎
化学的・物理的变化に対する適応力				
塩分・セメント	×	×	○	◎
高温(60℃±)	×	△	○	○
高ソリッド	×	×	◎	◎
その他特徴				
管理のし易さ	△	△	◎	◎
濾水の色	無色	無色	こげ茶	無色

上記にフレックス泥水と当社の代表的な泥水システムの比較と、おおよその地質の適応性についてまとめた。上記の表でも明らかなようにフレックス泥水は、テルコート泥水と同様に着色の問題がなく、かつ、リボナイト泥水と同等以上の多様性を持ち合わせた、高機能泥水である事がわかる。

⑧ 揚湯試験に関して

テルフレックスは若干発泡する性質を有する。揚湯試験前の坑内洗浄には消泡剤 No.50 を 12 時間程度生産層へスポットし、その後、更にウエルクリーナーのスポットを 12 時間程度行えば、殆ど発泡する事無く揚湯を行える。

実施例:

- 1) ストレーナーパイプセット後坑内洗浄
- 2) 消泡剤 No.50、1%溶液生産層へスポット(約 12 時間放置)
- 3) 消泡剤溶液排出後、ウエルクリーナー10%溶液スポット(約 12 時間放置)
- 4) ウエルクリーナー排出後、揚湯試験

## ⑨ フレックス泥水の管理について

### 1) ダイリューションメソッド(泥水希釈方法)

フレックス泥水の主成分である、テルフレックスはすでに悪化してる泥水性質を回復する添加剤ではない。従って、すでに悪影響を起しているリボナイト泥水やベントナイト泥水にテルフレックスを直接投入しても泥水性質は回復しない。あくまでも、所定のテルフレックスとベントナイトとポリマー類を予め十分に溶解させた状態で掘削に入る事によって、その効果を発揮する事が出来る。

フレックス泥水の管理の基本は、所定量の新泥水を作液し、それを循環泥水に添加して常にテルフレックス、ポリマーの濃度を維持することである。軟質な粘土層では、テルフレックス、ポリマーの消費が多くなるので、新規希釈泥水の濃度は3割～5割位高くした方がよい。

### 2) 粘性コントロール

・粘性を上げる場合:テルポリマー(HG)又はXCD-ポリマーを循環泥水に直接添加する。  
～グラフー2 参照～

・粘性を下げる場合:テルフレックス溶液の添加又は分散剤の直接添加。

〔極端に泥水性質が悪化していなければ、分散剤の添加  
よりは、テルフレックス溶液による粘性調節の方がよい。〕

### 1) 脱水コントロール

テルポリマー(LG)の直接添加: グラフー1 参照

### 2) セメント汚染

セメンチング実施前に循環し、泥水の粘性を40"程度に下げ、重曹を0.1%～0.2%添加しておくこととセメンチング後のゲル化は大幅に緩和される。セメント切削中再度ゲル化を起すようであれば、重曹を更に0.2%程度添加すると共に、少量の分散剤を併用すると殆どの場合、ゲル化は解消される。

### 5) ソリッドコントロール

フレックス泥水はソリッド汚染(スライム蓄積)に強い泥水であり、相当の比重の増加でも流動性質は悪化せず、安定している。しかし、過剰の泥水比重は先の項でも述べた通り、逸泥、差圧抑留を起す危険性がある。従って、フレックス泥水を用いる場合でも、常にシェーカー、サイクロン、等の使用によってスライムの排除を行い、適正比重を維持する事が大切である。

…………… ソリッドコントロールに関する考察 ……………

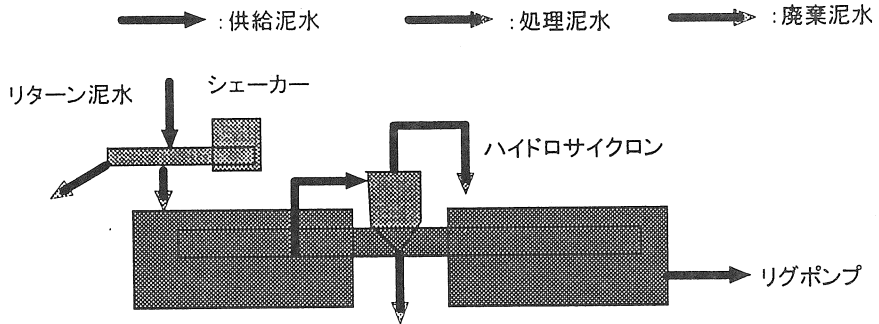
循環泥水のスライムの排除が不十分であり、泥水中のソリッド濃度が増加すると、上記に記した、逸泥、差圧抑留の危険性が増すばかりではなく、以下の障害が起こる。

- ・ 掘進率の低下
- ・ ポンプ、ストリングスへのダメージ
- ・ 張付き(ビットボーリング)
- ・ 生産層障害
- ・ 頻繁な調泥によるマッドコスト増加
- ・ 廃棄泥水量の増加

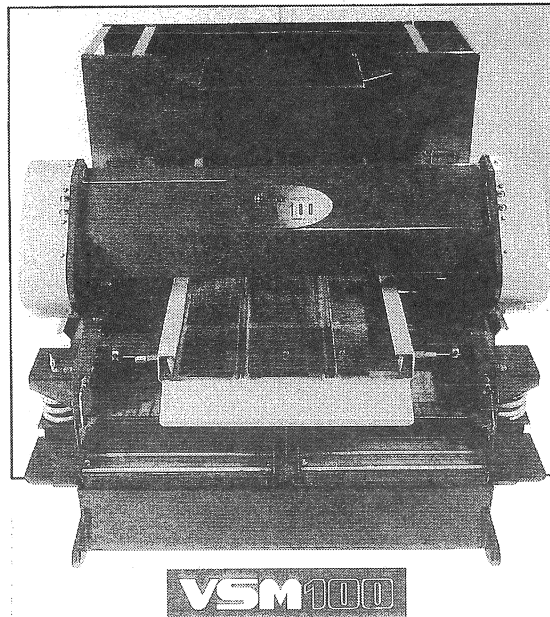
上記のように泥水中のソリッド濃度増加による悪影響は多くあり、掘削時に生じるスライムは早い段階で除去し、泥水中に蓄積させず、ソリッド濃度は極力低くする事が大切である。

装置名	スライム除去粒径	泥水処理量	メンテナンス性	泥水損失量
シェルシェーカー	200mesh(74 μ)以上	全泥水量	容易	少ない
ハイドロサイクロン	74~30 μ	部分的	比較的容易	多い

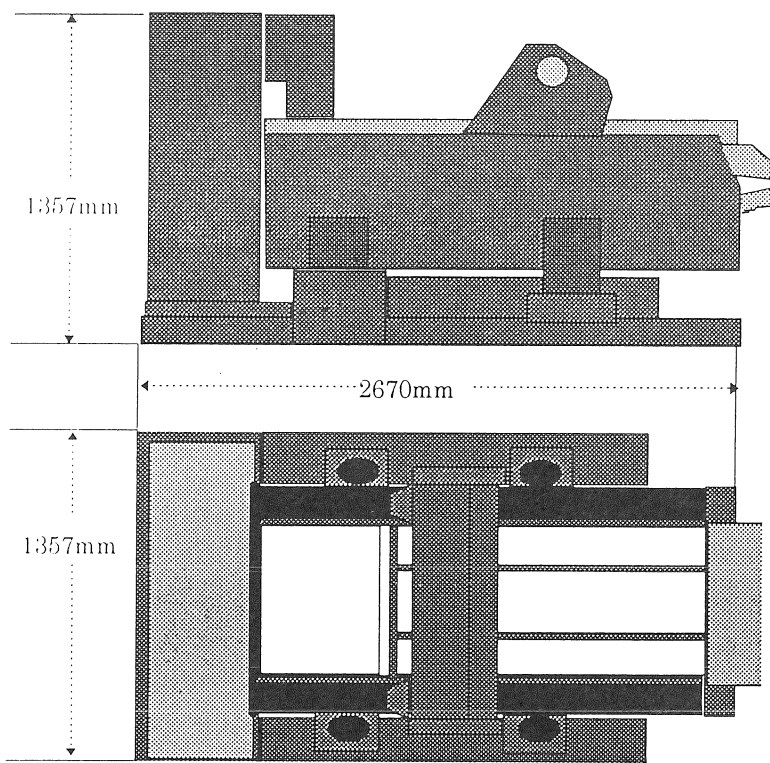
ソリッドコントロール配置例



ソリッドコントロール装置で最も重要な部分は、全泥水量が処理され、損失泥水量が少ないシェルシェーカーである。シェルシェーカーでより細かいソリッドを除去できれば、ハイドロサイクロンの使用頻度を減らす事が出来、損失泥水量の減少と新規希釈泥水が少なくて済むので、マッドコストの低減に非常に有利である。従来のシェーカーはスクリーンサイズが粗く、(30mesh程度)細かいソリッドは泥水中へ再循環する為、比重の上昇が止められなかった。また、ハイドロサイクロンを設置している現場では、サイクロンアンダーフローの調節が煩雑であったり、供給圧力が適正でなかったり、必ずしも適切な使用がなされていないケースが多い。シェルシェーカーのスクリーンサイズが200mesh程度のスクリーンであれば、ビットで削った大部分のスライムは除去でき、フレックス泥水、テルコート泥水のようなポリマー泥水であれば、シェルシェーカーのスライム除去率は更に向上し、ハイドロサイクロンの使用は殆ど行う必要が無い。また、バライトを添加した高比重泥水でも、シェルシェーカースクリーンによるバライト損失は生じない。当社では、200meshスクリーンの使用が可能で、メンテナンス性に優れた、高性能シェルシェーカーVSM100の取り扱いを行っている。



・ VSM100 仕様



VSM100 本体重量: 2,235kg

駆動モータ: 防爆型電気モータ 供給電圧: 200V (50/60Hz)

スクリーン取付け: エアークランプ方式 供給エア圧力: 80-90psi(6ksc±)

スクリーン仕様

表-5

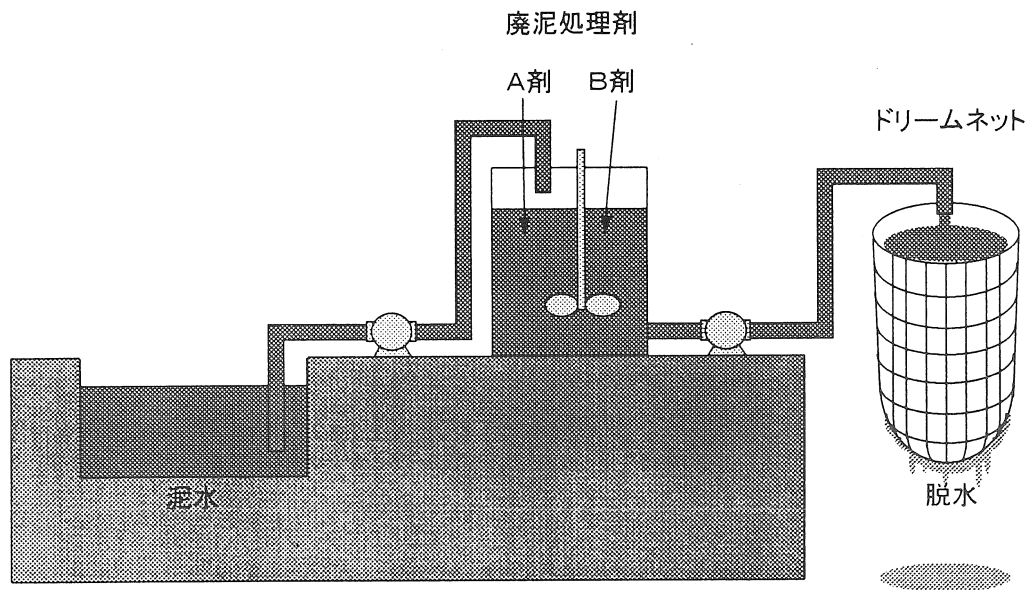
上部/下部 スクリーン	スクリーンサイズ
上部スクリーン	8、10、20、30 mesh
下部スクリーン	52、84、105、120、145、165、180、200、230 mesh

◎ フレックス泥水使用実績

地域	掘削深度	工事期間	対象地質	テルフレックス 添加量	揚湯試験
関東	1,700m	52日	泥岩、凝灰岩	2~3%	1週間

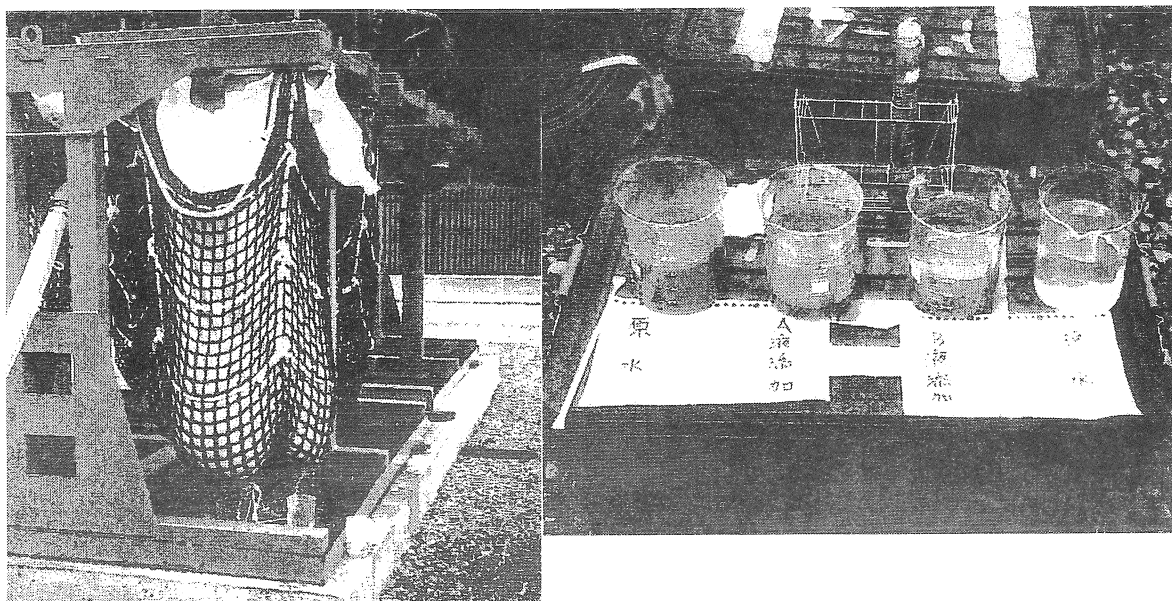
フレックス泥水の使用状況は良好であった。揚湯試験は約1週間であり、揚湯試験開始3日目で完全なお湯に変わり工事は無事終了した。

◎ ボーリング工事における廃泥処理システム



ボーリング工事に適した廃泥処理フローシートを上記に記す。移送ポンプでミキサーに送られた廃泥水は、ミキサー内で廃泥処理剤(ハイデー1号、ハイデー2号)との反応によって凝集沈殿物と無色の処理水に別れる。反応終了後、再び移送ポンプでドリームネットに送られ、脱水処理にて処理水と固形物に分離される。

脱水工程



# 地 学 讲 座



## 北海道におけるセラミックス資源

とくに、第四紀粘土（せっき器粘土）について

北海道立地下資源調査所  
資源地質部 八幡 正弘

### 1. はじめに

「セラミックス」というと、高度な技術を用いた高級なイメージがあり、医療分野や宇宙開発分野などで利用される製品を連想する。一般に、このような高度な加工を施し、窯で熱処理したものを「ファインセラミックス」とか、「ニューセラミックス」とよび、その原料の多くは海外からの輸入品に頼っている。一方で、昔ながらの地域地域の天然の粘土原料を主体として作られた焼き物や煉瓦、土管などは「オールドセラミックス」とか「クラシックセラミックス」と呼ばれている。

北海道には「（オールド）セラミックス（窯業）；以下ここでは単にセラミックスと呼ぶこととする」に用いる資源が多く賦存する。

セラミックス資源とは、一般に「粘土」資源がその代表のように扱われているが、実はかなり多くの種類がある。表-1に北海道産のセラミックス資源のリストと利用状況について示した。この表は「日本の窯業原料」（工業技術連絡会議窯業連合部会、1992年発行；北海道地方については道立地下資源調査所と道立工業試験場が分担）を参考に作成した。

北海道では、セラミックス資源の代表とされる粘土は「せっき器粘土」の他、タルク、カオリン、ろう石、耐火粘土、陶石、ベントナイト、酸性白土などがある。これらの粘土の中にはセラミックス以外に利用されたものもある。たとえば、カオリンやタルクは紙用のフィルターやコート用として、ベントナイトは吸着剤や混和剤として利用された。

一方、粘土以外の資源としては、セメントの原料の石灰石、苦土原料のドロマイトやかんらん岩、土壌改良剤としてのゼオライトや介殻石灰、土木用あるいは軽量建材用の火山灰・軽石およびパーライト、さらに吸放湿性タイルを売り物にした珪藻土や頁岩などである。また、珪石もかつては炉材やセメント混和剤として利用された。

このようないろいろなセラミックス資源の中で、今回はとくに私たちに身近かな、焼き物・煉瓦・タイルなどの原料である「せっき器粘土」について紹介する。

### 2. 第四紀の粘土（せっき器粘土）

北海道を代表する建物に「赤レンガ；北海道庁旧本庁舎」がある。煉瓦建築物は道内各地に見られ、そのどっしりとした風格、色合い、そして断熱性は北海道の風景、自然環境にマッチし、現在も観光客だけでなく、北海道に住む私



たちにとっても印象の強い建築物である。

道内には現在も煉瓦をはじめタイル、セラミックスブロック、土管などのセラミックス製品を生産している工場は多い。また、昭和40年代からの焼き物ブームが道内にも広まり、今では窯元は300を越えるという。最近、北海道通産局はこれらのセラミックス製品の生産量、生産に用いる粘土の使用量などについて調査を行った（北海道通産局、1996）。この資料によると、セラミックス製品の生産量は1994年度（平成4年度）で、土管が24,900t、煉瓦が18,689t、タイルが3,878t、その他のセラミックスブロック、セラミックスレンガ、漁礁、食器などが15,690tに達している。これらの製品に使用する粘土の量を図-1に、また、最近5年間の粘土の購入量を図-2に示した。粘土の多くは道内各地の粘土採掘地に求められており、自社による粘土採掘は3事業所で、7事業所は道内採掘地から購入している。また、量は少ないが道外から粘土を購入している事業所が2ヶ所ある。

一方、これらの工場とは別に窯元や公共施設での陶芸サークル、個人のサークルなどでは年間610tの粘土が使用されており、その多くは道外から購入されている。

では、道内のどこに粘土が分布するのだろうか？

一般に上記のような製品を製造するのに使用されるのは「せつ器（質）粘土」とか「雑粘土」と呼ばれている粘土である。地質時代の第四紀（約170万年前から現在まで）という非常に新しい時代に堆積した粘土である。従って、まだ、あまり固結してなく、畑や田んぼの下にある「青粘土」とか「白粘土」と呼ばれる粘土であり、時折、泥炭層を挟んでいる。「粘土地」という用語は一般に地盤が悪いことの代名詞でもある。また、畑地では水はけが悪く、やむなく暗渠排水管を埋設せざるを得ない。

これらの粘土はいろいろな種類の鉱物が混じりあっていて、鉄分が多いことなどから、かならずしも「高品質」の粘土とは呼べない。しかし、本州方面で地域地域の特産品を作り出している「工芸陶磁器用粘土」とか「瓦粘土」とほぼ類似の粘土である。たとえば、本州の益子焼、常滑焼、備前焼、萩焼、沖縄の壺屋焼などなど。．．．その例を上げれば切りがない。そして、その製作活動は長い歴史を背景に、その地域の文化として定着している。本州の工芸陶磁器や瓦はまさに「天然の恵み」を生かす試みを永い年月を経て、行われ続けたものである。

図-3に北海道の主な「せつ器粘土」の産地を示した。現在、この図中のすべての地域で粘土採掘が行われているわけではない。また、採掘が行われている地域でも年中行われているわけではなく、1年間のある一時期、春先とか秋とかに、畑を一時的に農地転用して採掘し、埋め戻すという作業が行われている。代表的な粘土として江別市野幌周辺の野幌粘土がある。この粘土で札幌近郊で使用する煉瓦を今も生産し、江別市のセラミックス文化、産業を守り続け

ている。旭川市の神楽粘土は旭川近郊の煉瓦、タイル生産だけでなく、多くの陶芸家に供給されてきた粘土である。

また、近年注目されている粘土として十勝の鹿追町周辺に分布する美蔓粘土がある。かつて、十勝地域の地質を長年研究してきた十勝団体研究グループの地質研究家たちが指摘した「白粘土」がこれである。この粘土は以前から鹿追町商工観光課陶芸係のプロの陶芸家を使いこなしてきた粘土で、今では工場でも多量に使用されている。その埋蔵量、品質とも十分で将来の発展が期待されている。その他、現在、使用されている粘土は、池田町、豊頃町、栗沢町、中湧別町、名寄市、剣淵町などに分布する粘土である。

これらの粘土層の層厚、鉱物組み合わせ、耐火度（焼いたときに、何度まで耐えうるかを示す指標）を表-2に、また、各地の粘土の化学組成の平均値を表-3に示した。

表-2を見ると、粘土層の厚さは1~8mである。これは採掘可能な粘土の厚さということの意味している。つまり、畑の表土を剥いでその下の粘土をパワーショベルで掘るには深さ5m位がちょうどよい。それより深く掘るにはステップを切らなければならないし、埋め戻しが大変である。また、粘土の厚さが1mより薄いとパワーショベルで掘れない。

一方、鉱物組み合わせをみると、いろいろな鉱物から構成されていることがわかる。シリカ鉱物として石英・クリストバライトが、また、長石として斜長石・カリ長石が、粘土鉱物としてカオリナイト・ハロイサイト・イライト・スメクタイト・混合層鉱物・アロフェンなどがある。一般に、「良い粘土」とされる粘土の場合、「主にカオリナイトからなる」「主にハロイサイトからなる」「主にイライトからなる」など、粘土鉱物の種類が一種類のことが多い。その中でもカオリナイトやハロイサイト、イライトなどがよい粘土とされている。なぜなら、カオリナイトやハロイサイトは鉄分が少なく（鉱物学的には本来鉄分はないはず）、耐火度が高い（より高温まで持ちこたえる）。また、イライトは陶石に含まれるセリサイトの仲間であるが、やや耐火度が高く、アルカリ分を多く含むことから、焼いた時に融剤の役割も果たすとされている。

しかし、表-2に示した粘土はいろいろな鉱物が混じっている。これが「瓦粘土」と呼ばれる理由でもある。必ずしも「高級な粘土」ではないが、耐火度もある程度高く、粒度は細かく、可塑性（粘土細工をしやすい性質）などの特徴があり、重要なセラミックス資源となっているのである。

表-3の化学組成をみると、ケイ酸分SiO<sub>2</sub>が53~68wt%、アルミAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が14~30wt%、鉄分ΣFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が3~6wt%である。道外の主要瓦粘土の化学組成の平均値はケイ酸分SiO<sub>2</sub>が49~76wt%、アルミAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が11.5~28.4wt%、鉄分ΣFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が1.2~9.4wt%である。また、主な工芸陶磁器用粘土の化学組成の平均値はケイ酸分SiO<sub>2</sub>が46~74wt%、アルミAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が15~34wt%、鉄分ΣFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が1.2~7.5wt%である。

アルミAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多いことは、粘土鉱物、とくにカオリナイトなどが多いことを示している。また、鉄分ΣFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が多いと、焼いた時、発色する。従って、白い物を焼き上げたい時は鉄分の少ない粘土を使用しなければならない。しかし、適度な焼き上がりの色を重視する焼き物もある。それが煉瓦や工芸陶磁器、また、瓦などであり、鉄分を必要とする。

私たちの周りにある「せつ器粘土」は道外の粘土と比べて遜色ない。その証拠に長い間、北海道の煉瓦をはじめとするセラミックス産業を支えてきた。これからは、さらにそれらの特色を生かした製品がさらに幅広く創作されること、さらに、市町村単位であるいは各々の地域で焼き物文化が育つことへのバックアップ体制が望まれる。そして、この創作活動に対応できる「粘土資源の詳しい評価」が必要となってきている。

### 3. 粘土はどこからきたのか？

さて、私たちの生活にいろいろな形で関わっている第四紀の粘土について、どのように形成したのかと言うことについてはあまり知られていない。図-4に示したように、これまで一般に川水に運ばれて河川や沼などに堆積したもの、すなわち、粘土粒子は山で崩れた泥状の粘土粒子がその源と考えられてきた。

確かにそれもある。しかし、近年、粘土粒子の一部は中国大陸から飛んできたとする研究が多く見られる。本州方面ではすでに10年前から研究が進められ、この考えはかなり一般的になってきた。北海道でもここ数年来の研究でこの考え方が裏付けられてきた (Mizota et al, 1992, 鴈沢ほか, 1994, 1995, 八幡ほか, 1996)。溝田や鴈沢らは鉱物組成と石英の酸素同位体比の測定、さらに石英が発する蛍光を比較することにより、八幡らは鉱物組成と石英の酸素同位体比の測定に加え、粘土鉱物の一種イライトのカリウム-アルゴン年代の測定により、明らかにした。

日本における焼き物の歴史は中国大陸・朝鮮半島からの技術的な影響を時折受けてきた。日本に分布する第四紀粘土中の粘土粒子の多くが中国大陸から飛来したとなると、中国大陸との「技術的な共通点」だけでなく「粘土資源そのものの共通点」があるといえる。

粘土から、その創作活動の過程で文化が生まれ、そして、産業が育つ。粘土資源はそれを支える基盤である。では、粘土文化はこれからどこへむかって飛んでいくのだろうか？

表-1 北海道におけるセラミックス資源

種 類	用 途	現 状
石灰石	セメント, 骨材, 炭カル, フィラー, 製糖, 建材	セメント, 骨材, 炭カル, フィラー, 製糖, 建材
ドロマイト	苦土炭カル, 苦土原料	苦土炭カル, 苦土原料
介殻石灰, 石灰華	土壌改良材, 入浴剤	土壌改良材, 入浴剤
ゼオライト	土壌改良材, 脱臭剤, 濾過材, フィラー	土壌改良材, 脱臭剤, フィラー
珪石	炉材, 製鉄用溶剤, セメント混和材	現在, 利用されていない
かんらん岩	耐火材, 鋳物砂, 骨材, 苦土原料	鋳物砂, 骨材, 苦土原料
火山灰, 軽石	土木用, 吸着材, シラスバルーン, 軽量骨材, フィラー, 農薬用キャリアー, 園芸用	土木用, 吸着材, シラスバルーン, 軽量骨材, フィラー, 農薬用増量材, 園芸用
パーライト, 黒曜石	焼成パーライト (軽量建材), 園芸用	焼成パーライト (軽量建材), 園芸用
せっ器質粘土	可塑性原料	可塑性原料
滑石 (タルク)	製紙用フィラー, 農薬キャリアー, 医薬品フィラー	現在, 利用されていない
カオリン	製紙用フィラー・コート, 耐火原料	現在, 利用されていない
ろう石	耐火原料	現在, 利用されていない
耐火粘土	耐火原料	現在, 利用されていない
陶石	耐火原料, 可塑性原料	可塑性原料
珪藻土, 珪質頁岩	濾過材, フィラー, 建材, 研磨材, 吸着材, 機能材	建材
膨張頁岩	建材, 骨材	現在, 利用されていない
ベントナイト	泥材, 吸着剤, 混和材	現在, 利用されていない
その他 (石綿, 酸性白土)		現在, 利用されていない

セラミックス製品への粘土使用量 (t/年)  
1994年度 (H6)

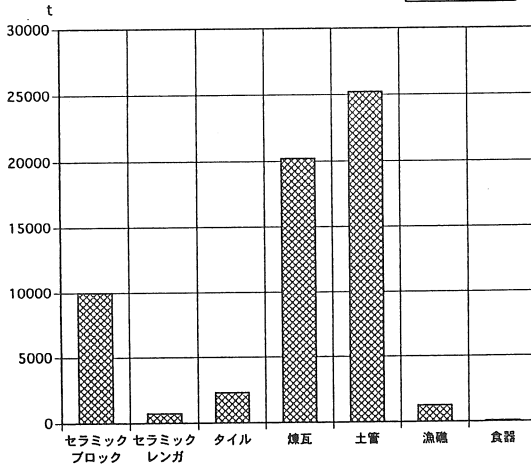


図-1 粘土の使用量

北海道で使用される粘土

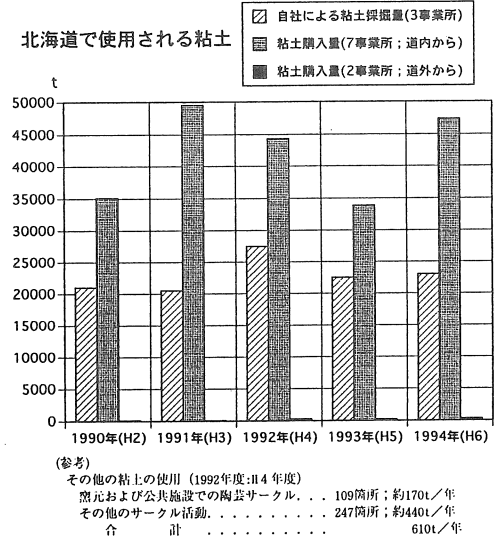


図-2 粘土の購入量

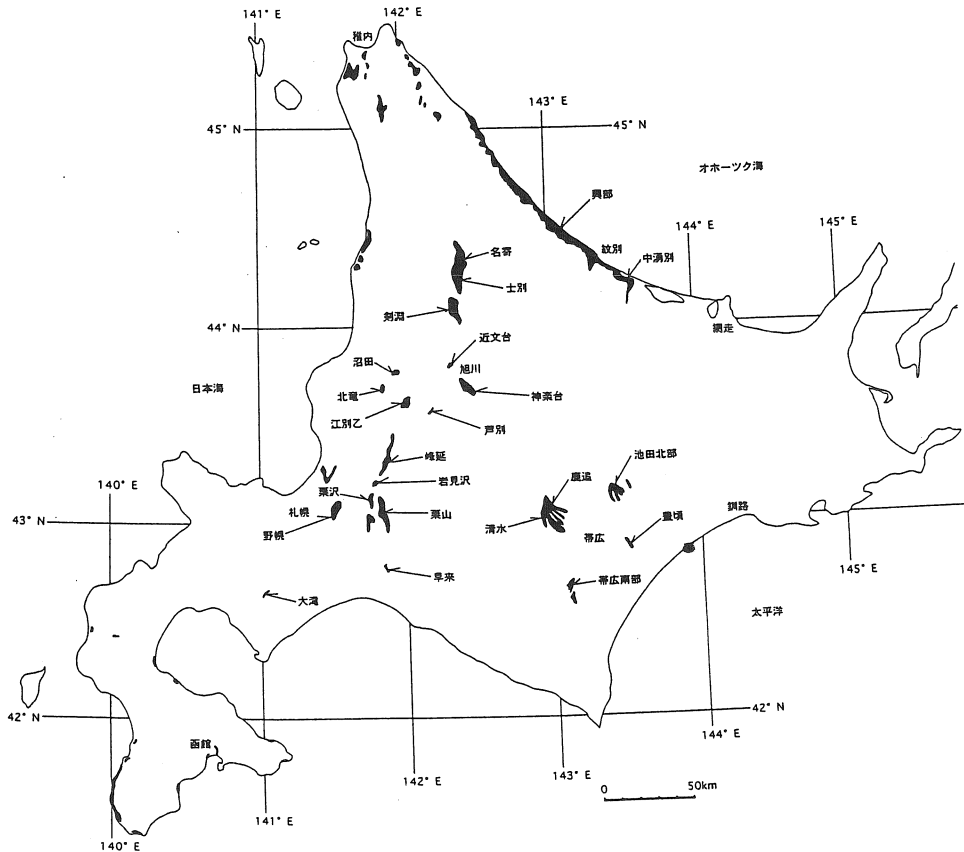


図-3 第四紀粘土 (せつ器粘土) の分布

表-2 北海道内の主な粘土資源（第四紀粘土層）の特徴

	層厚 (m)	鉱物組み合わせ	耐火度
上湧別		qz, kaol, hal, ill	10+
名寄	1~7	qz, kaol, hal, ill	13
剣淵 上部層	1~8	qz, fd, cr, ill, kaol, sm	9~27
剣淵 中部層	2~7	qz, fd, cr, kaol, sm, ill	16~18
神楽台	2~5	qz, fd, cr, sm, ill, kaol, mix	8~28+
近文台	~2.5	qz, fd, cr, clay	6a+
江部乙	2~3	qz, fd, cr, hal, sm, mix	13~28+
江丹別	~3	qz, fd, hal	8, 32~33
北竜		qz, kaol, hal, ill	10
沼田		qz, fd, sm, kaol	10~16
峰延	~4.5	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	11+~16
岩見沢	1+	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	10
栗沢	~7	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	4a+~15+
栗山	1±	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	6a~11+
早来		qz, kaol, hal, ill	10
野幌	1~5	qz, cr, fd, ill, kaol, hal, sm, alp	1a~19
清水	~5.5	qz, fd, hal, ill, kaol, sm	16~27
鹿追	~7	qz, fd, ill, hal, sm	20
帯広	~3+	qz, fd, ill, hal, sm	
池田	~3+	qz, fd, ill, hal, sm	12

qz;石英, cr;クリストバライト, fd;長石,  
kaol;カオリナイト, hal;ハロイサイト, ill;イライト, sm;スメクタイト,  
mix;混合層鉱物, alp;アロフェン, clay;粘土鉱物（種類未決定）

耐火度の目安（ゼーゲル錐にもとづく）

SK31 1690℃, SK27 1610℃, SK20 1530℃, SK16 1460℃, SK10 1300℃  
（SK31以上は鉱業法にもとづく耐火粘土）

表-3 北海道内の主な粘土の化学組成の平均値

( )内の数字は平均値を求めた時に使用したデータの数

wt %	上湧別	名 寄	剣 淵		神楽台	近文台	江部乙	江丹別	北 竜	沼 田
	(1)	(1)	上部層 (5)	中部層 (6)	(42)	(1)	(10)	(3)	(1)	(2)
SiO <sub>2</sub>	66.83	67.61	58.67	64.36	61.00	67.89	62.51	49.51	66.03	67.93
TiO <sub>2</sub>			0.85	0.96	1.13	1.23	1.06	0.68		1.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.52	13.92	22.30	18.92	20.18	15.58	20.87	29.70	18.96	16.32
ΣFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.60	4.03	4.33	3.12	4.73	4.47	3.44	5.04	4.16	2.86
MnO			0.02	0.02						
MgO	0.83	2.64	0.82	0.80	0.78	0.48	0.60	0.61	0.59	0.50
CaO	1.29	0.37	0.26	0.21	0.45	0.55	0.39	0.56	0.12	0.29
Na <sub>2</sub> O		0.79	0.41	0.27	0.70	1.50	0.96	0.65	0.67	1.35
K <sub>2</sub> O	1.41	1.38	0.99	0.89	1.17	1.88	1.42	1.08	1.30	1.77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0.04	0.03						
lg.Loss	5.76	9.34	13.53	10.68	11.01	6.00	8.39	11.88	8.47	7.73
耐火度	10+	13	9~27	16~18	8~28+	6a+	13~28+	32~33 8	10	10~16

wt %	峰 延	岩見沢	栗 沢	栗 山	早 来	野 幌	清 水	鹿 追	帯 広	池 田
	(5)	(1)	(9)	(6)	(1)	(40)	(25)	(23)	(19)	(19)
SiO <sub>2</sub>	66.29	65.11	66.00	66.37	66.80	60.72	59.62	57.20	53.13	57.42
TiO <sub>2</sub>	0.83	0.76	0.94	0.80		0.79	0.96	1.10	0.86	0.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.86	16.23	16.41	15.78	14.93	19.26	21.64	20.40	22.39	20.49
ΣFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.37	5.59	3.91	4.66	3.41	4.54	4.16	5.19	5.65	6.06
MnO						0.06	0.04	0.06	0.09	0.11
MgO	0.82	1.22	1.02	0.88	2.20	1.12	0.81	1.07	2.09	0.67
CaO	0.44	0.18	0.32	0.44	2.51	1.15	0.99	1.19	1.01	1.09
Na <sub>2</sub> O	1.11	1.03	0.91	0.98	0.54	1.38	1.22	1.16	0.77	1.51
K <sub>2</sub> O	1.86	2.38	2.01	1.75	1.27	1.40	1.38	1.30	1.29	1.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						0.51	0.06	0.07	0.07	0.06
lg.Loss	8.30	7.40	8.53	8.31	8.53	9.87	8.79	10.47	12.08	11.07
耐火度	11+~ 16	10	4a+~ 15+	6a~ 11+	10	1a~19	16~27	20		12

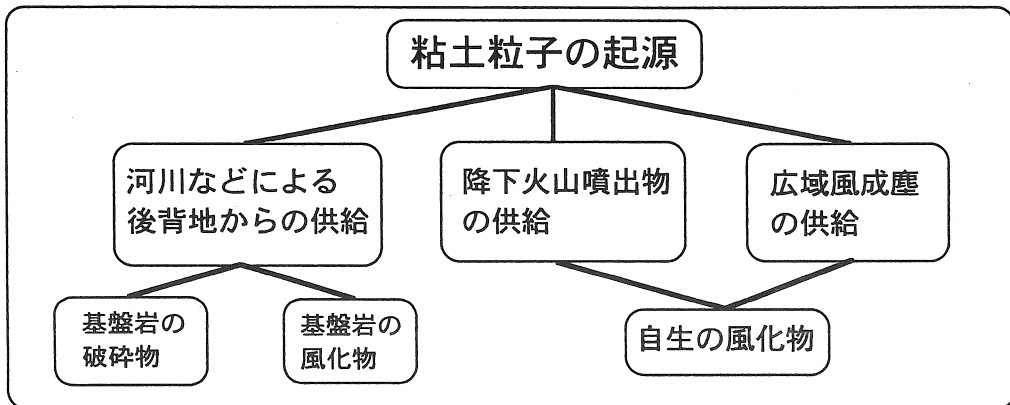


図-4 粘土粒子はどこからきたのか？

表-1 北海道におけるセラミックス資源

種 類	用 途	現 状
石灰石	セメント，骨材，炭カル， ファイラー，製糖，建材	セメント，骨材，炭カル， ファイラー，製糖，建材
ドロマイト	苦土炭カル，苦土原料	苦土炭カル，苦土原料
介殻石灰，石灰華	土壌改良材，入浴剤	土壌改良材，入浴剤
ゼオライト	土壌改良材，脱臭剤，濾 過材，ファイラー	土壌改良材，脱臭剤，ファイ ラー
珪石	炉材，製鉄用溶剤，セメ ント混和材	現在，利用されていない
かんらん岩	耐火材，鋳物砂，骨材， 苦土原料	鋳物砂，骨材，苦土原料
火山灰，軽石	土木用，吸着材，シラス バルーン，軽量骨材，フ イラー，農薬用キャリア ー，園芸用	土木用，吸着材，シラスバ ルーン，軽量骨材，ファイ ラー，農薬用増量材， 園芸用
パーライト，黒曜石	焼成パーライト（軽量建 材），園芸用	焼成パーライト（軽量建材）， 園芸用
せっ器質粘土	可塑性原料	可塑性原料
滑石（タルク）	製紙用ファイラー，農薬キ ャリヤー，医薬品ファイラー	現在，利用されていない
カオリン	製紙用ファイラー・コート， 耐火原料	現在，利用されていない
ろう石	耐火原料	現在，利用されていない
耐火粘土	耐火原料	現在，利用されていない
陶石	耐火原料，可塑性原料	可塑性原料
珪藻土，珪質頁岩	濾過材，ファイラー，建材， 研磨材，吸着材，機能材	建材
膨張頁岩	建材，骨材	現在，利用されていない
ベントナイト	泥材，吸着剤，混和材	現在，利用されていない
その他（石綿，酸性白土）		現在，利用されていない





表-2 北海道内の主な粘土資源（第四紀粘土層）の特徴

	層厚 (m)	鉱物組み合わせ	耐火度
上湧別		qz, kaol, hal, ill	10+
名寄	1~7	qz, kaol, hal, ill	13
剣淵 上部層	1~8	qz, fd, cr, ill, kaol, sm	9~27
剣淵 中部層	2~7	qz, fd, cr, kaol, sm, ill	16~18
神楽台	2~5	qz, fd, cr, sm, ill, kaol, mix	8~28+
近文台	~2.5	qz, fd, cr, clay	6a+
江部乙	2~3	qz, fd, cr, hal, sm, mix	13~28+
江丹別	~3	qz, fd, hal	8, 32~33
北竜		qz, kaol, hal, ill	10
沼田		qz, fd, sm, kaol	10~16
峰延	~4.5	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	11+~16
岩見沢	1+	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	10
栗沢	~7	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	4a+~15+
栗山	1±	qz, cr, fd, kaol, ill, sm	6a~11+
早来		qz, kaol, hal, ill	10
野幌	1~5	qz, cr, fd, ill, kaol, hal, sm, alp	1a~19
清水	~5.5	qz, fd, hal, ill, kaol, sm	16~27
鹿追	~7	qz, fd, ill, hal, sm	20
帯広	~3+	qz, fd, ill, hal, sm	
池田	~3+	qz, fd, ill, hal, sm	12

qz;石英, cr;クリストバライト, fd;長石,  
kaol;カオリナイト, hal;ハロイサイト, ill;イライト, sm;スメクタイト,  
mix;混合層鉱物, alp;アロフェン, clay;粘土鉱物 (種類未決定)

耐火度の目安 (ゼーゲル錐にもとづく)

SK31 1690℃, SK27 1610℃, SK20 1530℃, SK16 1460℃, SK10 1300℃

(SK31以上は鉱業法にもとづく耐火粘土)

表-3 北海道内の主な粘土の化学組成の平均値

( )内の数字は平均値を求めた時に使用したデータの数

wt %	上湧別	名 寄	剣 淵		神楽台	近文台	江部乙	江丹別	北 竜	沼 田
	(1)	(1)	上部層 (5)	中部層 (6)	(42)	(1)	(10)	(3)	(1)	(2)
SiO <sub>2</sub>	66.83	67.61	58.67	64.36	61.00	67.89	62.51	49.51	66.03	67.93
TiO <sub>2</sub>			0.85	0.96	1.13	1.23	1.06	0.68		1.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.52	13.92	22.30	18.92	20.18	15.58	20.87	29.70	18.96	16.32
ΣFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.60	4.03	4.33	3.12	4.73	4.47	3.44	5.04	4.16	2.86
MnO			0.02	0.02						
MgO	0.83	2.64	0.82	0.80	0.78	0.48	0.60	0.61	0.59	0.50
CaO	1.29	0.37	0.26	0.21	0.45	0.55	0.39	0.56	0.12	0.29
Na <sub>2</sub> O		0.79	0.41	0.27	0.70	1.50	0.96	0.65	0.67	1.35
K <sub>2</sub> O	1.41	1.38	0.99	0.89	1.17	1.88	1.42	1.08	1.30	1.77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0.04	0.03						
lg.Loss	5.76	9.34	13.53	10.68	11.01	6.00	8.39	11.88	8.47	7.73
耐火度	10+	13	9~27	16~18	8~28+	6a+	13~28+	32~33 8	10	10~16

wt %	峰 延	岩見沢	栗 沢	栗 山	早 来	野 幌	清 水	鹿 追	帯 広	池 田
	(5)	(1)	(9)	(6)	(1)	(40)	(25)	(23)	(19)	(19)
SiO <sub>2</sub>	66.29	65.11	66.00	66.37	66.80	60.72	59.62	57.20	53.13	57.42
TiO <sub>2</sub>	0.83	0.76	0.94	0.80		0.79	0.96	1.10	0.86	0.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.86	16.23	16.41	15.78	14.93	19.26	21.64	20.40	22.39	20.49
ΣFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.37	5.59	3.91	4.66	3.41	4.54	4.16	5.19	5.65	6.06
MnO						0.06	0.04	0.06	0.09	0.11
MgO	0.82	1.22	1.02	0.88	2.20	1.12	0.81	1.07	2.09	0.67
CaO	0.44	0.18	0.32	0.44	2.51	1.15	0.99	1.19	1.01	1.09
Na <sub>2</sub> O	1.11	1.03	0.91	0.98	0.54	1.38	1.22	1.16	0.77	1.51
K <sub>2</sub> O	1.86	2.38	2.01	1.75	1.27	1.40	1.38	1.30	1.29	1.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						0.51	0.06	0.07	0.07	0.06
lg.Loss	8.30	7.40	8.53	8.31	8.53	9.87	8.79	10.47	12.08	11.07
耐火度	11+~ 16	10	4a+~ 15+	6a~ 11+	10	1a~19	16~27	20		12

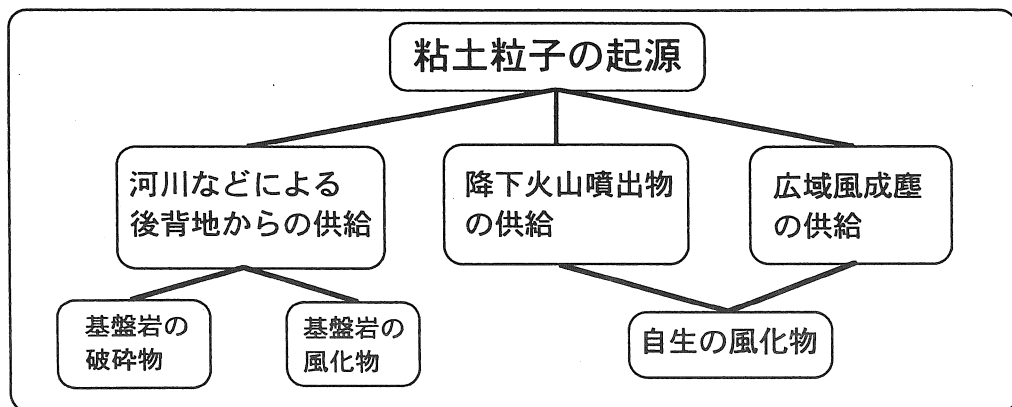


図-4 粘土粒子はどこからきたのか？

---

第35回 試錐研究会講演資料集

平成9年3月11日印刷

平成9年3月14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  
TEL.(011)747-2211(代)

---