

総 説

最近の温泉ボーリングについて

株式会社利根ボーリング 村 山 一 貫*

On Some Modern Drilling Techniques for Development of Thermal Spring

Kazutsura MURAYAMA

Chief Geologist, TONE Boring Co. Ltd.

Abstract

In our narrow volcanic archipelago, there are about 14,000 thermal spring wells, whereas over hundred wells are drilled every year.

The writer was requested to describe on modern drilling techniques for development of thermal spring, but it is difficult to find any epoch-making or amazing drilling technique in these ten years.

Of course, we know many novel drilling techniques which use quite different energy source and have different mechanism from convenient ones, but so far as drilling for thermal spring, it should not be beyond the province of economic working.

Therefore, the theme of this small essay can be expressible as modern technical tendency of drilling for thermal spring as follows:-

- ① Capacity of drilling equipment increases year after year.
- ② Consequently, drilling depth and hole diameter increases.
- ③ Rationalization of adaptation of drilling mud-water or cement for geothermal drilling.
- ④ Increasing of adaptation of wire-line system.
- ⑤ Increasing of adaptation of three-cone bit.
- ⑥ Increasing of adaptation of air hammer bit to very hard rock formation.

The writer also showed four actual drilling examples which were drilled in four different thermal reservoirs, Miocene shale, dacite, tuff-breccia and paleogene granite.

ま え が き

私達が棲息しているこの細長い火山列島に現存する温泉地数は2,000を超え、利用されている源泉は約14,000井に達している。そのうち約10,000井は42℃以上の高温泉を自噴または動力揚湯によって得ている。このように国土の単位面積当りの温泉密度が恐らく世界一であろうと思われる国であるにもかかわらず、現在でも年々温泉ボーリング本数は増加しており、この数年間の増加率を見ると、100～150井/年が確実にふえている。

筆者に与えられたテーマは、「最近の温泉ボーリングについて」である。しかし、最近の温泉ボ

* 目黒区目黒1-6-17. (Tel 03-493-0111)

ーリング技術と言っても、特に画期的な新技術や新工法が開発されたわけではない。従来工法と全く異なるエネルギーを用いた掘削法、新奇なメカニズムによる工法などは数多く知られている。しかし、温泉ボーリングというものは、あくまでも社会経済活動の領域内における行動であるから、掘削に関する総合コストが減少するという確約がない限り新奇な技術を取り入れるわけにはいかないのである。

従って、最近の温泉ボーリングの傾向とでもいう言葉に置き代えて表現すれば、掘削機械の能力の増進に伴ない、深度能力や孔径の増大、泥水やセメントの管理や適用の合理化、ワイヤライン工法適用の増大、トリコンビット使用の増加、極硬岩に対するハンマービットの併用、等によって、総合的な掘進能率が上昇したという点が、最近のボーリング技術の進歩と言えよう。

ただし技術的改善がいかになされても、掘削費の単価の数字上の絶体値は一向に下らない。これは労務費や物品費が合理化の程度を超してインフレートするからであって、この現象はボーリング作業に限らず、また日本のみに限らず、近代産業に関係のあるすべての生産手段に伴う現象であって、私達技術屋の努力の及ばないことである。

従って以下に述べることも、温泉ボーリングについての常識的な知見に過ぎないかも知れないが、工業の見地から概説して筆者の責を果す所存である。

1. 温泉ボーリング工事の常套的手法

温泉ボーリング工事の手順というものは、昔も今もあまり大きな変化はない。つまり、

- ① 既存の資料・情報をできる限り収集する。
- ② 地表の地質踏査を含めて種々の地球物理学的探査を行なう。特に地熱貯溜層の有無、その規模、深度等が推定できそうなデータを得る努力が必要である。のみならず、ボーリング孔で遭遇することが予測される岩石の種類、物性、硬さを推定することは、ボーリング工事で使用するドリルビットを選定するに不可欠の要事である。何となれば、ビットの種類は工事請負単価を決定する大きな要素の一つになるからである。
- ③ 次に、前述のデータを基にして、与えられた地域内で最も温泉湧出の可能性の高そうな地点を選定して、ボーリング工事の計画を建てる。可能性の程度を判断するという事は極めて困難なわざである。データの多い温泉地帯や地熱地域では解析し易いが、処女地域で行うことはまさに神業である。しかし、とも角も一応の推論を下さねば工事に結びつかない。世間の人は、偉い大学の先生にでも調べて貰えば温泉が出ると思いきこんでいる人が多い。そこで施主に対しては、地質やボーリング技術の説明より、予備調査の不確実性と、その不確実性と現実的判断との関係の不可分性についての説明のほうが優先することになり、結局はボーリングしてみないと分らない、という結論になるわけである。
- ④ ボーリングするポイントが定まったら、ケーシングプログラムの作成、使用する掘削機械、ツール、工法等を決定する。ケーシングプログラムというのは、ボーリングの体験のある人には周知の事であるが、その地点の地質、目的深度と孔径によって、ケーシングパイプを挿入する段数及びそれぞれのケーシングの径と掘削孔径をあらかじめ決めておく計画図で、このことが直接的に工事価格と工期に関係する。
- ⑤ ボーリングに使用する掘削機械、ビット、ポンプ、その他の関連品については後述する。
- ⑥ 現地へ諸機械を搬入し、整地し始めた時からボーリング工事がスタートする。一般に整地、諸機械の設置、点検、仮運転の段階を設営及準備工事と称する。その工事日数は、ボーリング地点の地理的条件、目的深度、孔径、使用機械等によって千差万別であるが、深度1,000 m程度の

温泉ボーリングの場合、我国では、少なくとも10日前後、長ければ20日程度の日数を要している。

⑦ 準備工事が終了したら本格的に掘進工事に入る。この工事日数も地質状況、立地条件、工法等によって異なるが、深度1,000 m程度で、1日当り掘進率は3~10m程度である。勿論これは、ビットを交換したり、ロッドを揚降したりする時間を含めての平均速度で、実掘進速度は、上述の数字の2~3倍になる。

⑧ 掘削が予定深度まで完了したら、或いは予定深度まで進まないうちに目的が達成されたら、孔内温度検層器を用いて孔内の温度分布を調べ、掘進中の諸記録と併せ勘案して、温泉を吸上げるための孔明管を、必要箇所を設置して、仕上げる。

⑨ 次にケーシングパイプ中に細い揚湯パイプを挿入して、エアリフト法とよばれる揚湯テストを行なう。坑井を仕上げたら、何もしなくても温泉が多量に自噴するならば、その泉量を測定するのみで事足りるが、最近はそのような例は暁天の星である。揚湯テストは、孔井内の水位、用いた泥水の濃度等によって異なるが、少なくとも1週間以上連続して行うことが望ましい。とも角一応安定した水位を保ち乍ら半永久的に定常的な揚湯を行なうには、どの程度の動力を用いればよいかを決定せねばならない。

次に所轄の保健所員の立会の下に泉温、泉量を測定し、泉水を採取して公的機関またはそれに準ずる機関で化学分析を行なう。

⑩ 最後に現地から機械を搬出して撤収を行なう。

2. ボーリングマシン

温泉ボーリングに使用される穿孔機は、テーブルタイプのロータリマシン、スピンドルタイプのロータリマシンの両者が用いられているが、ロープボーリング式のパーカッション機は深度が浅い場合以外はあまり用いられない。砂礫層などの場合は別として、硬い岩盤を掘削する場合は、ロープボーリングは無効である。スピンドルタイプ機でも小孔径なら深度3,000 m近くまで掘削された実績があるが、さらに近年ドライブヘッド方式とよばれる強トルクの機械が開発され、調査井なら3,000~5,000m、生産井でも1,500~3,000m掘削可能となった。この種の機械の最大のものに関する仕様を例示すれば次の通り。

スイベルヘッドの形式：2シリンダ、油圧フィード、ケリーバーフィード併用

ドライブヘッド内径：160mm、フィードストローク：750mm

ビットスピード：正転75~400 rpm、逆転40~60 rpm

最大給圧力：37 t、最大バランス力：55 t

最大トルク：2,000kg・m

ホイスト形式：プラネタリギヤ

最大巻上能力：16 t (シングルロープ)、107 t (8本ロープ)

原動機はモータで220KW-6P、エンジンで300~350 ps

総重量：16 t

寸法は2.8m×3.15m×6.7m

上述の機械は横綱級の機械であり、普通は従来のスピンドル型機で、能力1,000~1,500m級のものをえられる場合が多い。

3. ボーリングポンプ、原動機

ボーリングは一般に掘削用循環流体を必要とする。その流体は水、泥水、空気、泡状物質などさまざまあるが、温泉ボーリングの場合、清水及び泥水、殊に後者を使用するのが常道である。泥水については後述するが、要するに掘進中絶えず掘削泥水を孔内に圧入するためのポンプが必要になる。

必要とするポンプは容量および最大圧力は、ボアホール径、深度、使用するツールの種類、泥水の濃度、削られた地層のスライムの粒径や比重など、種々の要素が関係するが、標準的温泉ボーリング即ち深度500~1,500m、最終孔径3"~4"程度ならば、複動二連式の高圧ポンプで、圧力20~70 kg/cm²、吐出量73~850 l/min 程度のものが用いられる。

ボーリングポンプはまた、グラウトホールにセメントミルクを圧入したり、ボアホール内に特定の目的でセメントを注入したりする仕事にもそのまま使用できる。

回転式のボーリング法は、ドリルビットを回転させる動力が必要である。その動力を発生させる装置が地上にあって、ドリルロッドに回転運動を与え、それをビットに伝える方式と、ビットの直上に回転装置があって、ビットと一緒に回転する方法とがあるが、温泉ボーリングでは、前者即ち最も普通の方法が行なわれることが多い。

その動力発生源になる原動機にはモータ即ち電動機と、エンジン即ち内燃機関との2通りあって、普通のボーリングマシンは、その何れをも使用できるようになっている。その何れを用いるかは、工事現場における電力の入手の難易、騒音公害の問題などに左右されることが多い。

ボーリング装置に使われるモータの多くは三相交流誘導電動機で、深度500~1,500mの標準的温泉ボーリングでは、20~50 ps、1,000~1,200 rpm (50~60-4 p) 程度の出力のものが用いられる。

内燃機関はガソリンエンジンとディーゼルエンジンの2種類があるが、我国では後者が主として用いられる。標準的温泉ボーリングで用いられるエンジンの出力は、25~60 ps、1,400~2,000 rpm 程度である。

4. ワイヤライン工法

ボーリング中に遭遇する地層のサンプルを採取しながら掘進するコアボーリングに於て、コアバーレル中に取りこまれたコアを取り出すためにドリルロッドを揚降する手間と時間は、掘削深度が大きくなればなる程大きい。換言すれば、総工事時間中に揚降時間が占める割合が大きくなる。

この欠点を少しでもカバーするために、ロッドを揚降しないで、コアバーレルに細いワイヤをつけてロッドの中を揚降してコアを回収するワイヤライン工法は、既に開発実用化されて年久しい。特に金属鉱床探査や石炭ボーリング、深部地質調査ボーリングなどでは、もはや常識的工法になっている。

しかし、温泉ボーリングでは、温泉を出すのが目的であって、地質調査が主目的ではないという一般的観念のせいか、一昔前までは必ずしも普遍的とは言い難かった。ところが近年掘削深度は大になり、従来工法では時間がかかり過ぎる。それに、硬岩中を速く掘進するに必要なダイヤモンドビットを用いるとすれば、ノンコアリングビットを使うより、コアリングビットで岩盤をくり抜きながら進むほうが速い。たとえコア採取を必要としなくても、ワイヤライン工法でダイヤモンドコアビットを用いて掘進するほうが、結局能率がよく経済的である。ということで、最

近は温泉ボーリングにもワイヤライン工法を採用する例が多くなった。

5. ドリルビット

温泉ボーリングは、回転工法による深掘りが普通であるから、硬い岩盤を切削して掘進するために、メタルクラウンよりダイヤモンドビットを用いる場合が多く、また最近は、ノンコアリングでは3カットビット（トリコンビット）を用いることが多くなった。これはそれぞれ独立に回転できる3つのコーン状のカッタをもったビットで、元来は、石油や天然ガス開発用のロータリ掘削機の関連ツールとして利用されてきたものであるが、最近は、スピンドル型機による温泉ボーリングにも多用されるようになった。その理由は、各種の孔径、硬軟さまざまな地層に適するトリコンビットが開発され、コアリングを必要としない場合の切削性がすぐれているからである。カッタの歯面には超硬合金粒子が粉末硬装法によって溶着されてある。

ビットサイズは76mm（3"）から660mm（26"）まで各種類があり、回転式のボーリング機ならいかなる機種にも適用できる。

ビット荷重やビット回転数は次の通り。

ビット荷重(kg/in) 回転数(rpm)

軟 岩	1,300~2,700	60~250
中硬岩	1,800~4,000	40~180
硬 岩	2,200~4,000	35~ 70

この他タングステンカーバイドチップをカッタ円周上に植えこんだものは、

中硬岩	900~2,200kg/in	35~70 rpm
硬 岩	1,800~2,700kg/in	35~70 rpm
極硬岩	1,800~2,700kg/in	35~70 rpm (ボタンビット)

以上の他、例えば古生代の粘板岩、硬質砂岩、チャート、輝緑凝灰岩や花崗質岩のような非常に硬くて一般のビットでは掘進速度が思わしくないと判断される場合、ダウンホールハンマビットを用いることがある。これは鉱山や採石場などで用いられるさく岩機のように、圧縮空気によってハンマビットに連続的な打撃モーションを与えて、岩石を砕きながら掘進する方法である。

ビットはクロスビットまたはボタンビットで、サイズは種々あるが、ハンマ重量12~115kg、外径59~143mm、ビット径67~220mm、打撃数800~2,000 rpm である。

6. ボーリング用循環水

ポンプの項でものべたように、温泉ボーリングでは、掘削循環水として泥水を用いながら掘進するのが常道である。泥水の主な組成材料はベントナイトと水であることは、現在でも変わらないが、ボアホール内の種々な地質条件に対処できるようなデリケートな調泥材・調整材の研究及び開発は近年著しく進んだ。

ナトリウム・カルボキシ・メチルセルローズ、ニトロフミン酸ソーダ、リグニンスルホン酸ソーダなどを主成分とする添加材、或いはそれらを適宜に混成したものなど数多くの商品が市場に出ている。昔は泥水といえば、山粘土をそのまま水に混じて用いたり、その後もベントナイト水溶液の濃度だけを問題にしたものであったので、膨張し易い地層、破碎帯の多い地層、粘土化し易い岩石、やたらに逸水部に富む地層などに遭遇すると、難行し、場合によっては工事を中途

で放棄せざるを得ないこともしばしばあったのである。

また逸水部に遭遇してさらにその下部へ掘進する必要がある場合、昔は直ちにセメントミルクを注入するのみであったが、逸水部は後で温泉を取るために、その亀裂を生かす必要を生じた場合、セメントで完全に閉塞してしまうと回復不能になるので、一時的に逸水を止める材料が必要であり、それらの研究開発も近年見るべきものがある。

7. 最近の温泉ボーリングの実例

我国は古生代の二畳一石炭紀あたりより古い地層は、全くないか或いはあってもごく一部に過ぎないが、それ以後の地質時代の堆積岩や火成岩は一通り揃っているので、温泉ボーリングで遭遇する岩石も種類豊富で、温泉貯溜層もさまざまあるが、大きく次のように分けることができる。

- ① 第三紀の頁岩、砂岩、砂質凝灰岩、或いはそれらの互層を主な貯溜層とするもの。
- ② 第三紀或いは第四紀の安山岩、流紋岩、石英安山岩中の亀裂より湧出するもの。
- ③ 第三紀或いは第四紀の凝灰角礫岩、緑色凝灰岩を貯溜層とするもの。
- ④ 後期中生代または第三紀の花崗質岩中の亀裂より湧出するもの。

以上のような地質条件の下で行なわれた温泉ボーリングの実例を、最近の実施例から2～3あげてみると次のとおりである。

(施主の御諒解を得ていないので、地名や施主名は省略する)

①の例 (長野県)

深度：582m

使用機械：穿孔機 TBM-5, ボーリングポンプ NAS-250, 泥水ミキサ MCE-200

(1) 設営及準備工事：所要日数 6日

(2) 掘進工事：

0m～20m, 225mトリコンビット (8" c.p.)

20m～163m, 193mmトリコンビット

163m～245m, 143mmトリコンビット (4" c.p.)

245m～582m, 88mm W.L. ダイヤモンドビット

地質、

0m～15m, 表土及砂礫層

15m～孔底, 中新世の頁岩及凝灰質頁岩

(582m) 貯溜層は頁岩

所要日数 70日, 掘進率 8m/day

(3) 電気検層及温度検層

(4) 揚湯テスト及仕上げ

泉温 55°C, 泉量 240ℓ/min

所要日数 15日

総工事日数 91日, 総工事日数当り掘進率 6.4m/day

②の例 (福島県)

深度：800m

使用機械：穿孔機, HLL

ボーリングポンプ, N A S - 6

泥水ミキサ, M C E - 600

(1) 設営及準備工事: 所要日数11日

(2) 掘進工事

0 m ~ 43 m, 9"7/8 トリコンビット (8" c.p.)

43 m ~ 500 m, 7"5/8 トリコンビット (6" c.p.)

500 m ~ 800 m, 5"5/8 トリコンビット (4" c.p.)

地質,

0 m ~ 5 m, 表土及砂礫層

5 m ~ 750 m, 凝灰岩及凝灰角礫岩

750 m ~ 800 m (孔底), 石英安山岩

貯溜層は凝灰角礫岩及石英安山岩

所要日数, 63日, 掘進率 12.7 m/day

(3) 揚湯テスト 3日

泉温 64°C, 泉量 230 ℓ/min

(4) 撤去工事 10日

総工事日数 87日 総工事日数当り掘進率 9 m/day

③の例 (長野県)

深度: 600 m

使用機械: 穿孔機, T B M - 70

ボーリングポンプ, N A S - 4

泥水ミキサ, Y - 300

(1) 設営及準備工事, 所要日数 7日

(2) 掘進工事

0 m ~ 20 m, 9"7/8 トリコンビット (8" c.p.)

20 m ~ 120 m, 7"5/8 トリコンビット (6" c.p.)

120 m ~ 220 m, 5"5/8 トリコンビット (4" c.p.)

220 m ~ 600 m (孔底), 88 mm W.L. ダイヤモンドビット

地質,

0 m ~ 67 m, 表土及砂礫層

67 m ~ 220 m, 火山碎屑岩

220 m ~ 600 m (孔底), 凝灰角礫岩

貯溜層は凝灰角礫岩

所要日数 46日, 掘進率 13 m/day

(3) 揚湯テスト, 所要日数 3日

泉温 47.5°C, 泉量 600 ℓ/min

(4) 仕上げ及撤去

所要日数 12日, 総工事日数 68日

総工事日数当り 掘進率 9 m/day

④の例 (福島県)

深度: 1,350m

使用機械: 穿孔機械, T X L

ボーリングポンプ, N P H-100

泥水ミキサ, M C E-200

(1) 設営及準備工事, 所要日数 14日

(2) 掘進工事

全掘進長1,350mの前半670mが古生層, 後半が花崗岩という珍しい例で, 古生層の上部層をエアハンマビットで破碎した後, トリコンビットで拡孔しながら進むという戦術を用いた。

0 m ~ 7 m, 180mmハンマ→7"5/8トリコンビット (8"c.p.)

7 m ~ 116m, 190mmハンマ

116m ~ 180m, 194mmトリコンビット (6"c.p.)

180m ~ 187m, 125mm及120.6mmトリコンビット

187m ~ 388m, HQ, W.L. ダイヤモンドビット (97mm c.p.)

388m ~ 710m, 83mm c.p.

710m ~ 1350m, 73mm c.p.

所要日数 231日 掘進率 4.1m/day

(3) 揚湯テスト 所要日数 15日

泉温 46°C, 泉量 90ℓ/min

(4) 撤去工事 所要日数 10日

総工事日数 370日

総工事日数当り 掘進率 3.7m/day

0 m ~ 30m, 180mmハンマ (8"c.p.)

30m ~ 130m, 190mmハンマ (6"c.p.)

130m ~ 230m, 194mmトリコンビット (6"c.p.)

230m ~ 600m (孔底), 88mm W.L. ダイヤモンドビット

0 m ~ 67m, 190mmハンマ

67m ~ 230m, 194mmトリコンビット (6"c.p.)

230m ~ 600m (孔底), 88mm W.L. ダイヤモンドビット

所要日数 48日, 掘進率 13m/day

揚湯テスト, 所要日数 3日

泉温 47.2°C, 泉量 90ℓ/min

撤去工事, 所要日数 10日

総工事日数 370日, 掘進率 3.7m/day