

温泉掘削現場のメタンガス火災について

Terra-Fluid Systems 代表 中野啓二

〒300-1216 茨城県牛久市神谷 5-32-23

電話 029-873-9872 E-mail keizi.nakano@nifty.com

1. 東京都北区浮間の温泉掘削現場火災発生

報道(毎日・産経・日経・読売)などの記事によれば、『2月10日午後4:55頃、温泉井戸の洗浄中に、気泡を含んだ水が2m(読売新聞では10m以上)の高さまで吹き上がり、引火した』『掘削口(直径約20cm)に蓋をしようとしたが、勢いが強すぎて失敗した』とのことであつたらしい。この火災は一昼夜以上続いた(第1図,写真1)。この火災について、新聞・テレビなどマスメディアに『専門家』のコメントがなされた。私が見聞きした範囲では、もう一つこの温泉掘削現場の火災の本質を捕らえていないのではないかと考え、温泉地質でメシを食べさせていただいているものの責任として、その原因と背景などについて考えてみた。以下はそのコメントである。

2. このメタンガス火災の発生のメカニズムの推定

火災は、『井戸洗浄を行っていた』時に発生したということである。そこで、井戸の洗浄とは何か、さらに井戸洗浄とメタン湧出、それもなかなか消火できなく、一昼夜も続いたメタン湧出の理由について私見を、以下述べる。

1) 井戸洗浄は何のために行うのか：

温泉井戸掘削時には、ベントナイトという水を吸うと膨張する特殊な粘土(スメクタイトの一種)を溶かした比重が水よりも重い(通常1.1前後、高压ガスの突出などが想定される場合は比重1.8前後の泥水を用いることもある)泥水と呼ばれる泥の水、時にはこの泥水に逸水防止のための繊維や特殊な油など泥剤(ベントナイトも含めて)と呼ばれるものを混ぜる。この泥水を循環させながら掘削する。この泥水で掘削する理由は、以下の通りである。

例えば、掘削時に比重1.1程度の泥水を循環掘削していれば、掘削深度1,000mや1,500m付近では、清水の比重差による約10~15気圧程度の静水圧差が生まれる。また、掘削している地層・岩盤の壁にベントナイトが張り付き泥の膜状の壁(泥壁)が生成される。この膜状の壁を上記比重差による静水圧の差が井戸の内側から押し支えることとなり、掘削した地層・岩石の壁を崩れ難くする役割を泥水は果たす。ただし、その比重差により発生する静水圧差も、異常ガス圧や地熱地帯における高温熱水の沸騰圧などは泥水による静水圧を上回ることがあつたり、泥壁が様々な理由で機能しなくなり掘削時の泥水が溢水することにより孔内静水圧が減少し、ガスや熱水の沸騰圧などにより暴噴することもある。

掘削先端の回転するドリルの摩擦熱の発生を地上から循環させ、地上で大気により冷却した泥水により、ドリルの高温化を防ぎ、ドリルの劣化を防ぐ。

掘削の削りカス（カッティングス）を，比重の大きい泥水の循環により，排出し易くする．このように，通常の温泉井戸掘削では，泥水は井戸掘削において不可欠のものであるが，掘削された地層や岩盤の孔の表面には，泥水の粘土が張り付いていて，温泉水を湧出させることが妨げられている．これを洗い取るのが，井戸の孔内洗浄である．

2) 井戸の孔内洗浄は，どのように行うのか．

一般には，井戸洗浄は，掘削終了直後に，孔内温度・電気比抵抗・自然電位をスキャンする孔内物理検層を行い，温泉貯留層の井戸内分布などを解析する．次に，その深度に有孔管（孔タイプ，スリットタイプ，巻き線タイプの管など）をストレ－ナ－管というガス用高張鋼管の保護管に繋ぎ，掘削孔に投入する．このようにして，温泉水が井戸の中に流入し，かつ掘削した井戸が崩れてつぶれたりしないような処理をした後，井戸洗浄を行う．

一般的な井戸洗浄の手続きは，以下の通りである．

第1段階：泥水を使った井戸には，井戸内のゲル化して孔壁にへばり付いているベントナイトや孔内の泥水に溶けたゲル化しているベントナイトを，凝集しゾル化させて沈殿させるウェルクリ－ナ－と呼ばれる凝集剤を投入する．投入後，通常一日以上3日から1週間おいて，孔内のベントナイトが凝集沈殿した頃合いを見計らう．

第2段階：掘削孔の底にゾル化し凝集沈殿したベントナイトの排出と，一部まだ掘削した孔壁に張り付いているベントナイトを溶かして孔壁を綺麗にする，このために，地上から井戸孔内に下げた掘削管を通して，地上の清水を孔内に循環させ，洗浄する．

第3段階：地層の構成粒子や割れ目などに入り込んだベントナイトなどを吸い出し，地層から井戸内への温泉湧出をスム－ズにするために，水中ポンプやコンプレッサ－などで，井戸内の水を汲み出す．このことにより，井戸内の静水圧が地層や岩盤の中の温泉水の静水圧より低くなって，温泉水が地層・岩盤から井戸内に温泉水が流れ込む．この流れにより，割れ目や粒子間に挟まっていたベントナイトなどを井戸内に吸引・洗浄することにより，孔内洗浄が終了する．

このような手順が，井戸洗浄である．この時いずれの場合も，ガスの噴出が起こる可能性を持っていて，その理由については後述する．

3) 火災を引き起こし一昼夜継続させたメタンガスの供給源について

掘削現場付近は，隅田川と荒川に挟まれた荒川と隅田川（旧荒川）の中州状の沖積面に位置する（第1図参照）．また，東京の江東区・江戸川区では，1972年に地盤沈下対策として東京都がガス鉱業権の買い取りをして，ガス採取を中止させた経緯もあり，東京都東部には広く水溶性メタンガスの存在は知られていた（第2図，東京都土木研究所，東京大深度地下地盤図1996）．

火災現場の温泉井戸の地質は，東京都土木研（前掲）や東京・埼玉・千葉・茨城の温泉掘削結果未公開資料などから，以下のように推定される．

ただし，火災現場の温泉井戸では，孔内洗浄前に実施されたはずの物理検層図を見ることが出来れば，より正確な地質状況・メタンガス供給した地層の判定などが可能である．火災の原因を考察するために，近い将来検層結果およびケ－シングプログラム（一種の井戸構造完成計画図）を吟味する必

要がある．現在は検層図は閲覧が困難と思われるので，現時点での地質の推定を既存資料から行ったものである．その点での地層分布などのついて，精度の不十分さをご勘弁願いたい．

GL 0m ~ -約 50m：完新統：三角州堆積物を中心とし，泥・砂・泥炭など，この基底付近には7号地層の存在が推定される．(ここで，東京層群 = 下総層群：中・上部更新統 = 約 50 ~ 1.2 万年前，の地層を欠く?)

GL -約 50m ~ -約 550m：中部~下部更新統(約 50 ~ 約 100 万年前)の砂岩・砂礫岩を主体とした上部上総層群相当層の城北砂礫層(G L -50m ~ -230m)と東久留米層(-230m ~ -550m)．これらの地層中の地下水は，少しコ - ヒ - 色を呈し，塩分濃度の高い化石海水型の温泉水貯留層でもある．この貯留層では，水溶性メタンガスの溶存量は場所により不均質であるが，水溶性メタンガスの主要な貯留層の1つである．

GL -約 550m -約 1,150m：下部更新統 ~ 鮮新統下部上総層群相当層の泥岩主体で薄い砂岩層を挟む北多摩層群(約 100 ~ 約 300 万年前)からなり，基底部には厚さ 100m 前後の基底礫岩層など粗粒堆積物が分布する．特に，この基底礫岩層には，塩分濃度の高いコ - ヒ - 色の原因物質であるフミン鉄を多く含む．この基底礫岩は，化石海水型の温泉水貯留層であり，同時に水溶性天然ガスに富む温泉水貯留層である．

GL -約 1,150m ~ -約 1,500m：中部中新統の三浦層群相当層の上部(約 900 ~ 1000 万年前)と呼ばれる礫岩砂岩を主体とする地層からなる．塩分濃度がやや低い温泉水の貯留層でもあり，多少のメタンガスを含む．

GL -約 1,500m ~ -約 2,200m?：中部中新統の三浦層群相当層の下部(約 1,000 ~ 約 1,500? 万年前)の砂岩泥岩互層を主体とする地層からなる．やや塩分濃度の高い薄いコ - ヒ - 色 ~ やや透明の化石海水型の温泉水貯留層であり，水溶性メタンガスを随伴する地層である．

GL -約 2200m 以深：先新第三系の地層や岩石からなる．固結した地層・岩石で，流動可能な地下水や温泉水は開いた割れ目にしか存在しない．上記 ~ までの地層の地下水・温泉水は地層を構成する粒子(砂とか礫など)の隙間に貯留されている多孔質貯留層と呼ばれるものであるが，この地層は開いた割れ目に貯留される裂か型貯留層と呼ばれるものである．この貯留層では，頁岩などの堆積岩が多い場合は温泉水の汲み上げに伴い，僅かな水溶性メタンガスを伴うこともある．しかし，その溶存量・資源量は，本州では僅かなものしか見つかっていない．

今回の温泉掘削現場において，掘削深度が 1500m に到達していた点および 水溶性メタンガスを一昼夜供給し続けるメタンガス包蔵ポテンシャルを持つ，という2つの点から，上記 の北多摩層群基底礫岩層が火災で燃えていたメタンガスの主要な生産層で，それにプラスする形で の三浦層群上部相当層からの水溶性メタンガスが噴出した可能性が高いと推定する．

4)メタンガス噴出のメカニズムについて

井戸洗浄の各過程で，井戸内の静水圧が温泉水貯留層の静水圧より低くなれば，パスカルの原理により温泉水貯留層から井戸の中へ温泉水が流れ込む．この時，井戸内を温泉水が上昇すれば，温泉水の静

水圧が減少して水溶性メタンガスが少しずつ温泉水から分離・バブリングしてくる．すると、井戸内では温泉水とメタンガスの気液 2 相の混合状態となり、井戸内流体の平均比重は軽くなる．比重が軽くなると、井戸内の静水圧は減少し、貯留層から井戸内に温泉水はさらに流れ込む．この井戸内の 2 相状態で、さらに井戸の口元から地表へと温泉水も排出される（ガスリフト現象）と、温泉水が貯留層から井戸内へとさらに供給され、必然的に水溶性メタンガスの供給量も大きくなって、メタンガスのバブリングも激しくなり、温泉水の気液 2 相の噴出 = 2 相流という連鎖反応を起こす．

この 2 相流状態のメタンガスや温泉水の時間あたりの噴出量とその継続時間については、メタンガスの溶存量と温泉水の静水圧および井戸内の静水圧などから決定される．この噴出量と継続時間の確定は、ガス田や地熱井などでは、生産性テストと呼ばれ、孔口圧力などの測定を行いながら、孔井資料や周辺地質データなどからシミュレーションして、計算されている．

温泉井戸などでは、そのようなデータは取られていないが、温泉水やメタンガスの噴出の経緯は、一般的に言えば、以下のようなストーリーと推定される．

今回のような地層の水溶性ガスを含む塩濃度の高い温泉水は、数十万年以上天水の進入をほとんど受けなかった地層であり、水溶性メタンガスを包蔵する温泉貯留層は、かなり水理学的に閉鎖的環境にあるといえる．

2 相流のガス・リフトという急激な地下流体の地上への流出は、温泉貯留層の静水圧を時間と共に減少させていくものである．

温泉貯留層の静水圧を減少すると、温泉貯留層から井戸内への温泉水の流入が減少し、当然水溶性メタンガスの供給量も減ってくる．

水溶性メタンガスの供給量が減れば、井戸内のメタンガスの発泡量も減り、井戸内の静水圧も高まって、さらに温泉貯留層から井戸内への温泉水の供給量が減少してくる．

この温泉貯留層と井戸内静水圧との差が小さくなると、2 相流発生・暴噴と逆の連鎖が起これば、メタンガスの湧出が減少・停止という状態に移行する．

このように、水溶性メタンガスを含む温泉水の連続的噴出は、最初のメタンガスや温泉水の流出量は小さく、井戸口元の噴出圧力も小さい．しかし、メタンガスの発泡が加速し、ついには連鎖反応状態になると、温泉水とメタンガスの噴出圧力は高まり、暴噴装置や気液分離タンクと排気パイプなどがなければ、制御出来なくなる程大きなものとなる．この時、ボ・リング孔の口元の噴出圧力は、[温泉貯留層の静水圧 - メタンと温泉水の気液 2 相混合体の温泉貯留層への静水圧]という関係で表され、1 気圧から数十気圧以上（1kg ~ 数十 kg / cm²）という噴出圧力が発生してしまう可能性がある．今回の北区浮間の火災現場の報道の写真・映像などの 2 月 10 日の状況 = 掘削孔の孔口からの噴射状の火炎は認めらなかったことから、温泉水やメタンガスの孔口噴出圧は数気圧以下の可能性が高いと推定される．このことは、メタンガスの井戸孔内におけるガス量は多くないことを示し、水溶性メタンガスの溶存量がさほど高いものではないことを示唆している可能性が高い．しかしながら、このような 2 相流状態は、温泉水と共にメタンガスという危険物の連続噴出状態を創出してしまふ．一方、こ

のような気液 2 相流の噴流を利用・制御することにより、石油掘削現場では天然ガスと原油、地熱は開発現場では蒸気と熱水、特殊な温泉（例えば、長野市松代温泉）炭酸ガスと温泉水、などの 2 相流として資源採取のための外部エネルギーなしに 2 相流を利用した低コストの資源採取が行われている。今回の北区の現場では、残念ながら、この制御されていない温泉水と可燃性危険物であるメタンガスの 2 相流が掘削孔から噴出し、引火し、暴噴状態となったことが大きな火災を長引かせた原因である。この 2 相流状態は、坑内洗浄の上記 3 段階全ての段階で発生する可能性を持っている。以下、各坑内洗浄での 2 相流形成の可能性について述べる。

第 1 段階：ウェルクリーナによる洗浄と暴噴。 井戸内の泥水中のベントナイトがゾル化して、掘削孔の底へと沈殿して行く中で、泥水の比重が軽くなって来る。温泉井戸内の泥水比重が小さくなれば、孔内静水圧が減じ、この孔内静水圧より温泉貯留層内における温泉水の静水圧がより高ければ、水溶性メタンガスを含む温泉水が地層から井戸内に流れ出してくる。この温泉水の静水圧が温泉掘削口元の高さより高ければ、井戸口元から孔内水が溢れ出す。この溢れ出しと共に、井戸内へメタンガスを含む温泉水が流れ込み、静水圧の低い井戸内上部へと上昇していけば、溶存していたメタンガスがバブリングし出し、バブリングすることにより井戸内の気液混合体と温泉貯留層内の静水圧の差が大きくなり、より多量の水溶性メタンガスを含む温泉水が供給・上昇・バブリングという連鎖反応が起きて、上記 2 相流状態となって、膨噴状態が出現する。

第 2 段階：清水孔内洗浄と暴噴。 上記第 1 段階と同じで、孔内が泥水から清水に変わると、孔内の静水圧が低くなり、温泉貯留層内の静水圧が高く、メタンガスのバブリングと温泉水の混合体を地上に押し出すようになると、上記第 1 段階のメカニズムと同様の条件で、2 相流状態が発生させてしまう。

第 3 段階：汲み上げ洗浄と暴噴。 洗浄においてはポンプなどを使って、温泉水が汲み出されれば、水溶性メタンガスが汲み上げ途中ないしはケシングパイプ中で発泡し、気液混合状態になる。この気液混合状態を制御しなければ、メタンガスと温泉水との 2 相流がポンプ上方の揚湯管内ないしはケシングパイプ内で発生し、暴噴状態となる。

3. 暴噴・井戸火災防止策と鎮火後の留意点

1) 温泉開発調査ないし掘削計画時の調査・計画留意点（許認可行政と掘削計画立案者の問題）。周辺温泉井戸・地下水井戸資料から温泉貯留層の静水位やガスなどの情報を取る。日本の平野部丘陵部における温泉開発では、ほとんど全ての泉源において、メタンガスを伴う可能性がある。このような、掘削現場では、井戸口元周辺から火気の排除は不可欠である。また、水溶性ガスであるから、温泉水が地上に自噴するような、温泉貯留層の静水位が高い場所では、掘削作業中には温泉水が地上に湧出させないように配慮しなければならない。もしも、温泉貯留層の静水位が高い場合は、掘削孔内のメタンガスの発泡徴候の厳重監視の義務化、各種暴噴装置の検討と設置と現場作業員への主旨徹底など、1 昨年の宮崎県西都市温泉掘削現場火災なども想定した防火災マニュアルが必要と考える。

- 2) 水溶性メタンガスの存在が知られているような現場では、火気厳禁が原則である（許認可行政側の指導）。炭坑や金属鉱山でもメタンガス発生のあるところでは、ライター・マッチなどの持ち込み禁止、静電気防止対策まで行っていた。メタンガスという引火・爆発炎上の可能性のある危険物取り扱いの基本の確認。
- 3) 水溶性ガスの異常間隙水圧や温泉貯留層の静水圧状況を掘削中にモニタリングしておき、地下水位が高いときは、プラットフォームを高くし、プラットフォームの下にもバルブ式暴噴装置と気液分離層・排気管などのメタンガス噴出防止対策を行井戸口元のパッカ - の暴噴装置と共に設置する必要がある。特に、逸水時の予備泥水や孔内清掃時の暴噴対策の訓練なども必要ではないかと考える。
- 4) 掘削終了時の孔内洗浄は、既述のような条件により暴噴の可能性が高くなり、水溶性メタンガスを伴う掘削現場（温泉掘削現場だけでなく、深井戸による地下水掘削現場でも同じ）では、管の中に見られるバブリング状態を監視しておく必要がある。井戸内の表面が泡立ってきたら、直ぐに暴噴装置を動かし、井戸の締め切りによるメタンガス発泡の発生を押さえ込み。発泡発生初期ではより小さな噴出圧力しかないので、容易に暴噴装置で押さえ込むことが可能である。この時の肝要は、メタンガスの発泡について意味の理解とその対策を現場作業者などへの徹底教育、さらに対応マニュアルの策定と作業員への徹底。この上で、坑内洗浄時のバブリング厳重監視など。
- 5) 暴噴装置の再検討。井戸口元のパッカ - 式が現場においては用いられていたが、今後に向けて、リグ火災も念頭に置いた各種暴噴装置・気液分離装置と排気システムの検討も行うべきで有ろう。
- 6) 鎮火後の問題点。暴噴してしまったような井戸では、まれに掘削井戸周辺に地盤の変化が起こり、井戸周辺から各種の地中物質の漏れが発生することがある。念のために、鎮火後も井戸周辺で1m深の地中メタンガス濃度のモニタリングを行って、安全性の再吟味を行う必要があると考える。

4. 火災災害の構造的問題

- 1) 水溶性メタンガスを含む温泉開発では、現況ではメタンガスが大気と較べ約半分程度の比重を利用して大気放散で処理している。可燃性のメタンガスを住宅密集地などで大気中へ放散という処理はいかなものか。さらに、メタンガスの大気放散という方法は、メタンガスの室温効果やオゾン層に対する影響などの世界的環境保全の視点から、メタンガスの大気放散は再考する必要があると考える。現に、那覇市では、温泉水汲み上げにおける水溶性メタンをガス灯やブ - ルサイドの篝火として燃焼し、メタンガス1モルに対し、1モルの炭酸ガスと2モルの水として大気に放散している。
- 2) 温泉井戸の構造の問題がある。この北区の現場ではどうなっているか不明であるが、温泉井戸の構造の業界の基本が深度数百m以深では、部分セメンティングという仕方で温泉井戸が仕上げられている（建設物価参照のこと）。まず第1に、セメンティングが施されていない地下のほとんどの所で掘削された地層の壁とケ - シングパイプとの間に隙間があるということであり、この縦の隙間が通路となって上部の地層と下部の地層とが水理学的につながってしまう。当然、水溶性

ガスや汚染水の移動も容易に行われてしまう。第2に、部分セメンティングは、セメンティングがキチンとされているか否か確認できない方法であり、場合によってはセメンティングとは名ばかりで、セメンティングの上下の掘削孔の通路が出来てしまっている可能性がある。この部分セメンティングが効いていなくて地下の通路が出来れば、地下深所のガスや高塩濃度の地下水の通路ともなり、それらの物質の自然では起こりにくい垂直的移動が可能となってしまう。このような井戸構造は、上記3.の6)の問題の誘因ともなってしまう。

- 3) 温泉掘削申請時の添付書類(中には温泉調査データ、井戸仕上げ計画図も含まれる)、温泉動力設置・温泉利用などの申請時の各種資料は、温泉権という公共性が言われながら私的財産権に関わることとして、それら一切の資料が公開されない。温泉という資源の生成・過程を考えれば、これらの資源を採取する井戸やポンプなどは私的財産権に属するものであるが、採取されている温泉資源は長い地質学的時間と広大な3次元的地下空間の中で生成されたものであり、個人の私有を越えた存在である。この資源の自然的条件は、公共の元に管理する必然性があり、上記各種申請書類の添付資料は、5年ごとか10年後とかに公開することにより、私的財産権と公共財としての温泉資源を両立させることが可能ではないかと考える。このよう情報が公開されるならば、周辺温泉井戸における状況などが、より正確に理解され、北区の現場のような災害の危険性を未然に察知でき、『公共の福祉の増進に寄与する』(温泉法第1条)ものとして、温泉の開発が受け入れられるのではないかと考える。
- 4) 現在、東京の下町や横浜周辺などにおいて、地盤沈下対策としての地下水汲み上げ規制に伴い地下水水位が上昇してきていて、地下の温泉水などの静水位が上昇している可能性があり、東京・神奈川・千葉・埼玉の地下水汲み上げ規制地域では、今回の東京都北区浮間の温泉掘削火災の危険性を持っている。

以上。