

滝の上および岳の湯の地熱調査井

馬場 健三

地質調査所では1967年度に岩手県岩手郡雫石町の滝の上地熱地域の地熱調査のためボーリングを行なった。

また1968年度は 熊本県阿蘇郡小国町の岳の湯地熱地域において 同様にボーリングを行なった。このようなボーリングによる地熱調査については すでに1966年度に昭和新山においてもころみられており (GSR-1号井) その成果はさきに本誌No. 151 でも紹介されたので ご承知の方も多いと思う。

上記両地域においてはボーリングに先立って基礎的な地表調査が行なわれてきており 随時報告されている。ボーリング調査はそれらの基礎調査と一連のもので 地表調査の結果とあわせて それぞれの地域の地下における地熱の在り方の究明に役立たせようとするものである。

両地域で掘削された2本の地熱調査井は 現在多量の蒸気・熱水を噴出している状態にある。

これらの調査井に関する諸調査は現在のところまだ全部は終わっていないが ここでは両調査井をそれぞれ中心とし あわせて各々の地域における調査の概要を紹介しようと思う。

なお地質調査所における地熱に関する研究は いずれも工業技術院の特別研究のテーマとして取り上げられているものである。また滝の上地域の調査についてはとくに岩手県雫石町役場・営林署および日本重化学工業(株)の関係の方々に特別のご協力をいただいた。そして岳の湯地域についても 熊本県企業局および九州電力(株)の関係の方々に同様の力ぞえをいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

滝の上地熱地域

本邦最初の企業規模の地熱発電所がスタートした松川温泉から約7km離れた温泉地熱地域滝の上に掘削された地質調査所の地熱調査井 (GSR-2号井) は 口元圧力1kg/cm²・Gにて約1トン/時間の蒸気と4.5トン/時間の熱水を自噴している この流量は口元バルブの条件によりそしてまた季節的にもかなり変動がある。ここではまず滝の上地域で行なわれた調査について紹介し つづいてこの調査井の詳細にふれようと思う。

地域の簡単な説明

岩手山の西麓より雫石盆地にはいる葛根田川の

滝の上には多くの温泉・噴気の露頭が見られる。有名な松川地熱地域から山を一つこえた西南側直線にして約7kmの場所であり 岩手県岩手郡雫石町地内になる。温泉旅館が数軒あり 夏期には登山客のベース地としてにぎわう。しかし冬期は大雪にみまわれ 旅館も閉鎖になり 立ち入りの困難な地域である。

既述のようにこの地域を流れる葛根田川の川ぞいにあるいはそれに流れ込むいくつもの支流ぞいに活発な温泉や噴気がみられる また同時に広い範囲にわたって地質の変質露頭が観察される。地形は山岳地帯のため起伏がはげしく平坦地に乏しい。

これまでに行なわれた調査

地質調査所がここを地熱開発に関する基礎調査の対象地として着目し とり上げたのは10年以上も前のことであった。地質は松川地域と一連のものであると考えられている。すなわち松川では 松川安山岩類および鮮新世のいわゆる玉川熔結凝灰岩類におおわれ 深部に存在する中新世の山津田層 (頁岩・砂岩・礫岩層など) がここでは露頭としてみられる。この山津田層中に一群の噴気・温泉が存在している。

1956年に地質調査所の中村技官らがこの地域の地質調査を行ない とくに噴気・温泉と地質構造の関係をあきらかにした。その結果この地域が地質構造的には褶曲・断層が発達した いわゆる弱帯にあたることが確認せられた。坑井を掘削することによって発電に利用できるように優劣な蒸気がえられる可能性については 地表の温泉・噴気の湧出母岩である第三紀層が深いところで貯溜層をなす条件をそなえているか否かによるわけだが この予測は非常にむずかしいことであった。

林道が通じているだけのこの地域への調査器具の運搬は全く人力だけに頼らざるをえない。それでこれ以上の調査はしばらく手がつかなかった。1960年になって次のステップの調査が着手せられた。これは地表より約30m深度の試錐孔を掘削し コアの地質調査および孔内温度を測定し 地下の地熱の状態を推定することをねらいとしたものであった。この仕事は1960年から64年にわたって地質調査所の柳原技官らによって行なわれ 地形的悪条件下ではあったが 総計約50本の試錐孔を掘り調査を完了した。地表より30m深度の地温の平面的

分布を作ってみると 先の地質調査の結果あきらかにされた地質構造的に弱い所(背斜軸や断層)にほぼそって高温の中心が分布していることが明確になった。1964年筆者らはこれに相づく調査として電気探査を適用した。比抵抗法を用い垂直探査が行なわれたのであるが起伏の多い地形的悪条件下のため測点の分布が制限されその数は12点にとどまった。しかしその結果新しい熔岩類におおわれ 地表に地熱ちよう候の全く認められないところを含み かなり広い範囲にわたり地熱と関連づけて考えられる低比抵抗帯が分布することがわかった。なかんづくとくに低い値を示す部分も認められた。一方地下の比抵抗分布を垂直的にながめてみると ある程度以深では高比抵抗に転ずるのが全域的にみられた。これは一応基盤岩類の緑色凝灰岩類のしめす比抵抗とも考えられるがその比抵抗層の分布がある程度推定できた。

GSR-2号井の掘削

以上のような調査を経てきて実際に地下の地熱の賦存状態を掘削によって調べてみようということになったのが1967年度のことであった。掘削位置をどこにきめたら最も効果的だろうか 一体何m位まで最小限掘らなければならないだろうか それにどのような坑井を仕上げたら最も役立つ井戸になるのだろうか などが慎重に検討されなければならない。そしてまた実際上の問題としては掘削する立場からみて 用水・用地などの点から場所により難易がある。関係者のあいだでこれらの点につき熱心に議論され きめられたのが GSR-2 号井である。用地・用水の面から考えて 掘削可能地点をきめ さらにそのうち先の諸調査結果から見て地下に高温状態が期待できるところをえらんだ。しかし現に地表に噴気・温泉がみられるところは掘削をすすめて行く上に困難が伴うのでこれをさけた。次に深度や仕上げの点については 電気探査などの結果も勘案してきめた。電気探査の結果えられた低比抵抗部はもちろん高温によって地層が粘土化していたり あるいは熱水がたくさん含まれていること などにあたることが期待できるがわれわれの考えでは たしかに低比抵抗部そのものは地熱と関係づけて考えられるであろうが この地域ではこの低比抵抗部が地表あるいはかなり浅いところから下方向に分布しているので 全体的に冷い地表水の混入も十分予想できる。むしろその下部の高比抵抗部では 岩質が固く冷い地表水の流入も容易ではない。しかもそこではさらに深部よりの熱水・蒸気の地表への噴出の通路である地層中のわれ目が発達しているであろう。そこでそういうところからこそ安定した優勢な蒸気流がえられるであろう。このような考えで 低比抵抗部と考

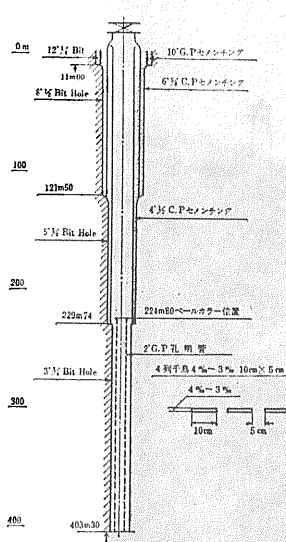
えられるところはむしろケーシングを入れてふさいでしまい その下の高比抵抗部のわれ目に期待し ここに孔明管を入れることとした。

掘削深度 400m の予定で 1967年10月末掘削作業がはじまった。掘削工事を受託したのは 帝石鑿井工業(株)であった。

同12月15日現場はすでに深い雪の中であつたが 403 m 30に達し掘止めとした。井戸のケーシング仕上げは第1図のようになされた。すなわち0~229m74までは水止めを行ない それより 403 m 30までを2インチの孔明管とした。地熱坑井の掘削に際しては 掘進中坑井中の泥水が地層中ににげて坑口まで循環してもどつてこない いわゆる逸泥水現象にしばしば逢う。これは地層中のわれ目の存在によるもので いざ噴気させる場合にはこの逸泥のおこった地層のわれ目が蒸気・熱水の供給路となることが多い。GSR-2 号井の掘進に際しては かなり浅部から逸泥が生じた。しかし浅部でおこるものについては これをふさいで掘進して行くのが普通である。GSR-2 号井の逸泥とその時の坑内水位などの記録は 次の表のとおりであった。

逸 泥 の 記 録

深 度	逸 泥 量	水 位	対 策
30m40	全 量	9m40	セメント注入
31m70	100 l/h		濃泥にて逸水掘
35m00	200 l/h		セメント注入
119m50	全 量	3m00	セメント注入
120m80	300 l/h		濃泥注入
139m00	2,000 l		回 復
144m70	600 l/h	2m~4.5m	セメント注入
176m00	50 l/h		泥水で抑圧



掘進中に逢着した自然噴気は3回であり 予期以上の熱水・蒸気 の存在を見た。169 m60に達した時 循環 泥水温度が96℃に上昇 し最初の自然噴気に出 会った。ついで213 mおよび228m にも 再度揚管中噴気に遭遇 し 冷却水を圧入して これを押さえた。逸 泥に関してはこれまた 予期に反し深いところ では地層中の割れ目に 乏しいことを示した

第1図 GSR-2号井のケーシング状況

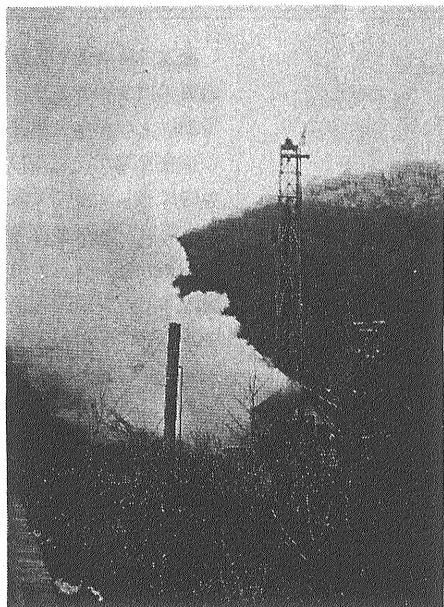
そして250m 付近より地質は緑色に変質した角閃石石英安山岩（山津田層）に変わり予定深度に到達した。予期した緑色凝灰岩類はさらに深部に考えられる。

坑井内温度は地質調査所の高木技官らにより 数回サーミスタおよび留点温度計を利用して計測された。坑底では循環水停止後24時間にて200℃という高温をえた。さて掘削が完了し坑口装置のすえつけを終った時には例年より幾分はやめの豪雪が井戸の周囲をうめつくしてしまったので 噴出テストの時間もなくなり急いで下山した。

翌春雪がとけ上山が可能になるのを待って早速に現地におもむき 締切坑口圧力 $4.4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G}$ を見た そしてバルブを開き噴気を確認した。

噴出量はこの程度の坑井としては筆者らの経験からいえばむしろ少量にすぎるもので やはり当初期待していた深部での地層中のわれ目が少なかったのであろう。むしろ水止めをした浅部の方がより多くの蒸気・熱水を供給すると考えられた。しかしわれわれの考えではあまり浅部でえられるものは安定した蒸気流となる可能性もすく また発電利用という効率から考えても 低エンタルピのものしかえられないので不利という見込みがつよい。したがって深いところ（約250m以深）の状態を知りたいというのが 今回のねらいでもあったのであえて現状に満足することとした。

なお今回掘進中 循環泥水の吐出口および吸入口に温度計を設置し 泥温の連続記録を行なった。このころみは柳原技官により行なわれ 掘進中優勢な蒸気・熱

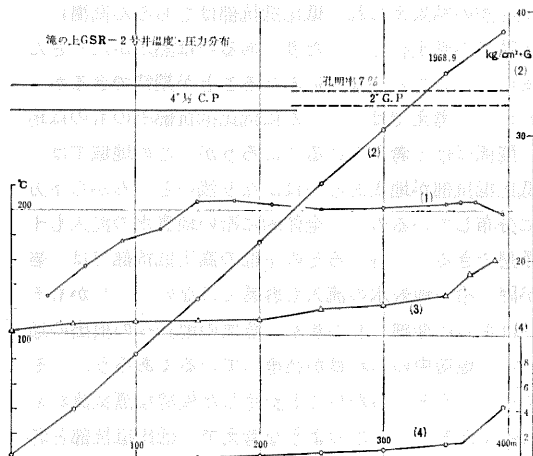


GSR-2号井 掘進中に自然噴気する

水の胚胎個所に達着したとき温度の急変が見られることを期待したものである。考慮に入れなくてはならぬファクターが非常に多いので 簡単には事の成否をきめられぬが 一応興味深い結果がえられた。これについてはいずれ別途報告されるので ここではこれ以上触れないこととする。また約50m毎に採取されたコアについては地質調査所の角技官らが調査を行なった。

掘削後の調査

1968年秋 筆者は日本重化工(株)の松尾氏らの協力をえてこの調査井についての測定を行なった。調査井(GSR-2号井)は6月に再びバルブを完全にしめて約3カ月を経過していた。これについてまず坑井内の温度および圧力の分布を測り ついでバルブを開放し蒸気・熱水を自噴させながらやはり温度・圧力の深度分布を測定した。その結果が第2図に示したものである。図中バルブをしめた状態での圧力分布は 坑口圧力 $4.2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G}$ ではじまり深度と共に直線的に増加する。これは坑井中が熱水状態でみたまされていることを示す。また温度は150m 位まではある一定の勾配で増加しているものが それ以深ではそのような増加がみられない。この温度分布はバルブをとじてから約3カ月の時間が経過しているの で 実際には初期の地層温度分布にほぼ近いものを示していると見てよい。このように坑井を利用して地熱地域において地下の温度分布が測定された例はあまり多くはないので ニューゼーランドのワイラケイの例やアメリカの NILAND および THE GEYSERS の例と比較してみよう。その結果が第3図である。形状としては ワイラケイの例に似ているが 深いところの温度(200~400mの温度)は THE GEYSERS の値にほぼ同じである。



第2図 GSR-2号井についての坑内温度および圧力の分布

GSR-2号井凝縮水・熱水の化学分析表

	温度	PH	H ₂ S	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NH ₄ ⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺
凝縮水	99.0	5.2	28.9	0.0	33.6	0.5	0.5	<0.1	10.0	0.26	0.12
熱水	94.0	9.0	1.7	63.0	0.0	637.4	121.0	4.3	1.2	0.50	0.02
		Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	T.S.M.			
		0.2	2.5	0.3	<0.1	1.6	0.1	12.5			
		0.1	22.7	477.0	24.5	109.0	542.1	1942.0			

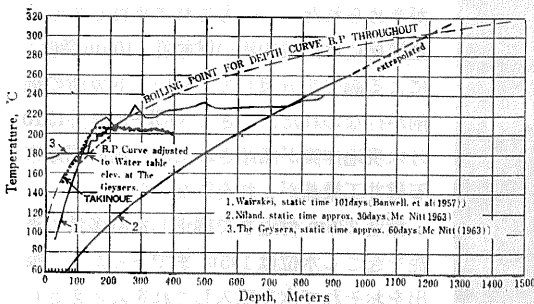
凝縮水の温度は蒸気の温度を示したものと

	蒸気とガスの割合		ガス組成					Vol. %
	蒸気	ガス	H ₂ S	CO ₂	SO ₂	O ₂	R.	
GSR-2号井	99.97	0.03	2.06	95.12	0.00	0.00	2.82	

温度分布がこのように約150m位まで直線的に増加していることは、この坑井の近傍ではこの深度までの地層がキャップロック的役わりをはたし、熱水・蒸気の上昇を妨げていることを意味するのである。

そこでは地下からの熱が伝導のみによって地表にはこぼれている。一方150m以深ではほぼ一様な温度を示している。しかも坑底近くではむしろ下降傾向である。これは坑底近くまでの区間では巨視的には熱水の自由対流が起こっていると解釈できるものである。このような点からみると150m以深からは一様に熱水・蒸気の噴出が期待できそうであるが、先にのべたように坑井の自噴量は常識以下のものである。このことは巨視的に地層を見れば熱水の自由対流があり、一様な温度分布に達しているとはいえない。やはり地層中の割れ目の存在がそれほど一様でなく、今回の掘削に際して孔明管を入れたところでは残念ながら優勢なわれ目に出会わなかったのであろう。

さて第2図にもどって今度は噴出中のデータについて見てみよう。ここでは360m付近で圧力が急上昇している。これから以深が熱水状態なのであり、以浅では熱



第3図 地熱地域の地下温度分布の測定例

水まじりの蒸気なのである。つまりここに沸とう面があると考えられる。

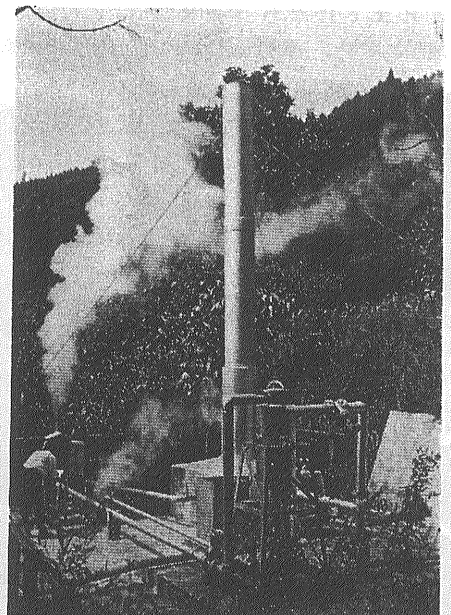
面白いことにこのように自噴した坑井がこの観測中に間欠的な噴出状態をしめたのである。すなわち自噴数日後いったん噴出が自然停止し、また一日位おいて自噴を再開したのである。時期がちょうど豊水期でもあったのでやはり冷い地表水の侵入が起こるのだと考えられる。この観測

が9月末であったが、その後10月末に再度観測した時はもはやこのような間欠的な噴出は見られず、定常的な噴出を続けた。その際の流量計測は現地に近い日本重化工(株)松川発電所にお願ひしデータをとっていただいた。その結果、次の数値がえられた。

口元圧力 kg/cm ² ・G	蒸気量 トン/時間	熱水量 トン/時間
0.25	1.47	3.1
1.0	0.91	4.5

一方噴出物の化学組成については地質調査所の前田技官らがこれを分析した。その結果を左上の表に示す。この結果、たとえば発電などの利用上から考えればえられる噴出物にとくに難点はないようである。

12月になってGSR-2号井は再び雪にうもれたが噴出は依然続いている。これから夏期にかけ長期的な自噴にまかせその流量の推移を調べて行く計画である。これについてはまたご報告する機会があるかと思う。



熊本県企業局の地熱調査井 深度250m 現在約0.8トン/時間の熱水まじりの蒸気(その割合はほぼ半々)を自噴している

岳の湯地熱地域

滝の上と松川地域と全く同じ様な関係を岳の湯と大岳地域にみることができる。大岳地域については本誌でもたびたび紹介されているので、今さら改めて書くまでもない。ここでは先の松川につづいて1967年夏より九州電力㈱による地熱発電所(1万kW)が運転されている。その大岳の西北方7~8kmに岳の湯地熱地域があり両者の中間に海拔1499.5mの涌蓋山がそびえている。

1968年末の岳の湯で掘削されたGSR-3号井は予期以上の蒸気・熱水の自噴を見た。正確な計測はまだなされていないが約20トン/時間の熱水とそれと同程度とも見られる蒸気を噴出しはじめた。以下に滝の上についてのべたと同じ順序で紹介することとしよう。

地域の簡単な説明

既述のように熊本県阿蘇郡小国町地内にあり、県の北端に位置している。岳の湯のほか近くに新湯および峠の湯とよばれる温泉があるが、この三湯を総称して岳の湯とよび、この一帯を岳の湯地熱地域と名づける。

地形的には海拔700~800mの丘陵性山地といえよう。そして温泉・噴気も地表にみられる。また地熱によって変質した地質の露頭も随所に認められる。滝の上温泉同様山間のひなびた温泉地といえよう。しかし町からのバスの便もあり、住民もかなりの数がある点からいえば滝の上よりは開けた温泉地ともいえよう。東北地方と違って冬期に雪もほとんどなく、めぐまれた地といえよう。

これまで行なわれた調査

地熱エネルギー開発を目的として当初この地域を調査

したのは熊本県と八幡製鉄㈱であった。小範囲の地下1mの地温分布調査、温泉水などの化学分析、小規模な電気探査などがとり上げられた。そしてその結果2カ所の掘削地点がえられ、1961年には深度約250mの地熱調査井2本が掘削された。

地質調査所ではこれらの調査に当初から協力してきたが、1965年度からは当地域についての調査の長期計画を立て、熊本県企業局の協力のもとにそれを行なった。

1965年には地質調査所の松野・太田技官らが地熱開発という観点からこの地域の地質調査を行なった。地下における熱水・蒸気が存在が断層構造などに支配されることを考え、とくにここでは空中写真による地質判読という方法に力点が置かれた。この地域は第三紀中新世末期より洪積世にいたる時代の火山の噴出物からなる地質であり、調査の結果、岳の湯付近を東南東から西北西に走る大きな断層(岳の湯断層とよぶ)の存在がこの地熱の存在と密接な関係があるものと予想された。この岳の湯断層は西は有名な杖立温泉に、東は大岳付近にのびていると考えられ、結局大きくみれば地下深部よりこの断層を通して浅部に地熱が運ばれていると推察できるのである。同じく1965年から66年にかけて地質調査所瀬谷技官らは岳の湯を含むかなり広い範囲にわたる地下構造調査として重力探査法を適用した。その結果、岳の湯を含めその他にも付近に点在する温泉・噴気と重力異常の間はかなり相関があることを見出した。そして1967年には筆者らが電気探査(比抵抗法垂直探査)を行なったが、さらにこの調査はその後熊本県企業局によってその範囲がひろげられた。電気探査の結果ここでも広い地域にわたって低比抵抗層が分布することがわかった。そして滝の上同様その下部には比抵抗の高い地層が分布している。

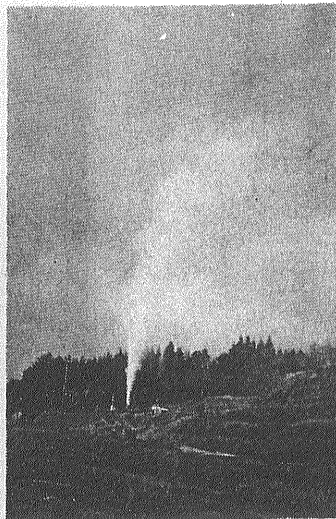
GSR-3号井の掘削

1968年度は最終的調査として調査井の掘削が計画された。GSR-2号井と同程度の規模のものを考え、やはり前回と全く同様な観点で掘削位置および坑井の仕上げ計画がきめられた。一方これに平行して県の企業局には比較的浅い試錐孔(100m深度)による調査を分担してもらい、5カ所の掘削が行なわれた。さてGSR-3号井は10月末現地作業が開始された。前回同様帝石鑿井工業㈱がこれを行なった。

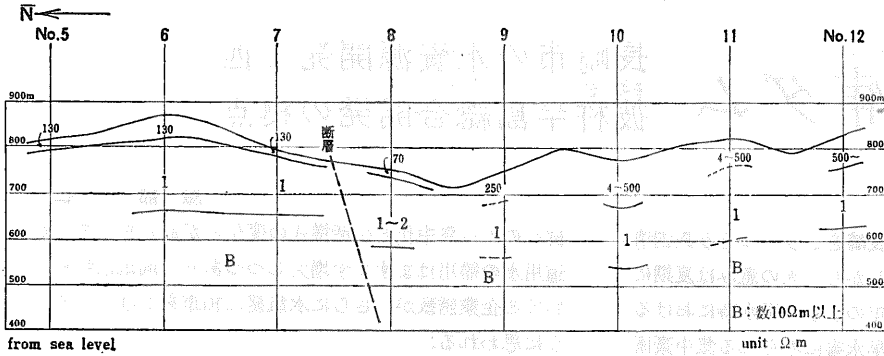
深度276m付近まで掘進した時多量の逸泥を起こし水位は195mまで下った。噴出をおそれて水を圧入しこれをおさえさら



GSR-3号井



噴出する GSR-3号井

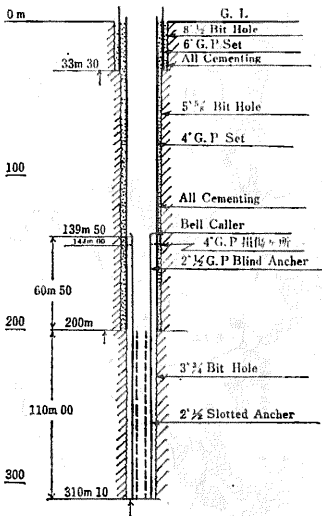


第4図 岳の湯における電気探査の結果えられた地下構造断面の一例

に逸水掘りを進めた。多量の逸泥がみられる所では適当な逸水防止剤で地層中のわれ目を閉塞して掘り進まねばむずかしいのであるが一方出会ったわれ目は蒸気・熱水の優勢な噴出部となる可能性が大きいので折角のものを閉塞するわけにもいかない。そこで逸水掘りという苦肉の策が取られるわけである。そして遂に深度310mに達した所でこれ以上進めば暴噴などの不測の事故も予測されるというので掘進を断念した。12月も末であった。冷水を注入し暴噴を防ぎながら坑口の設備を完成し26日バルブを開放し噴出をみた。なお坑井内への送水停止後1時間の坑底(310m)の温度は172℃と観測された。なおここに至るまでの間に地質調査所の高木技官らは電気検層(比抵抗)を行なった。その結果は先の電気探査の結果予想された比抵抗分布とみごとに一致したものであった。

地表近くを除いては深度約200mまでは数~10mの低比抵抗値を示しそれ以深では一躍100Ωm以上の高比抵抗層になる。コア(50m毎に採取)およびスライムなどから判断してこの境界は凝灰岩質から熔岩質(安山岩)に変わるところであった。

仕上げられた坑井内ケーシングは第5図の通りである。坑井内は200mまでケーシングでふさがれそれ以深に2½インチ孔明管を入れ200~310m間からえられる熱水蒸気について調べてみようというねらいである。



第5図 GSR-3号井 坑井内のケーシング状況

GSR-3号井の噴出

前述のような経過をたどって掘削されたGSR-3号井の噴気は予想をはるかに上まわったものであった。締切り時の口元圧力は10.2kg/cm²・Gを示しバルブ全開時2.0kg/cm²・Gをしめた。このように高い締切圧力はいささか予想を上回ったものであり設置した孔口設備はそれに必ずしも適合したものといえない状態であるので近い将来に改修を計画している。

さて噴出物は熱水まじりの蒸気でありその計測の準備が間にあわず完全にはまだ行なわれていないが一応セパレーターで分離された熱水分だけの計量は行なわれた。その結果は次のとおりであった。

GSR-3号井の熱水量

口元圧力 kg/cm ² ・G	トン/時間
5.0	14.2
4.8	18.0
4.2	19.2
3.8	20.4
3.4	21.6

蒸気量については現在計測装置を準備中の段階である。

おわりに

以上地質調査所が最近掘削した2本の地熱調査井を中心に両地域についてご紹介をしたが共にまだまだ未知の事ながらも多い。

ここでえられた知識はこれら両地域の今後の開発に有益なものとなろうそしてまた今後類似の地熱地域の開発上それらが有用なものになるならば筆者らのこれにまさるよこびはない。

松川・大岳発電所のスタートにはじまったわが国の地熱エネルギーの発電利用はその後いろいろの企業でとり上げられ現在各地で開発が行なわれているのが現状である。本邦第3番目第4番目の地熱発電所の発足もごく近い将来のことであろう。今後地質調査所でも地熱開発についてのそのようなすう勢にあい呼応した調査研究を計画実施して行きたいと考えている。

(筆者は物理探査部)