

松川第四号井の坑井内温度および圧力の測定結果について

馬場 健三*

On the Temperature and Pressure Measurements of the Geothermal Well, Matsukawa No. 4

By

Kenzō BABA

Abstract

The geothermal well, Matsukawa No. 4 well, is now discharging about 6 tons/hour super-heated steam. Because the quantity of the steam is too small comparing for other productive wells at this area, this well is not being used as productive one.

Temperature and pressure measurements in this well were carried out to know the state of the steam under the ground. The obtained data was as shown in Fig. 1. It was made clear when the well was discharging steam there was no water surface in it, and the saturated steam was flowing into the well from the surrounding formation while changing for super-heated state.

Temperature drop of the steam is supposed by adiabatic expansion when it flows into the well from the surrounding formation. Temperature curve obtained when discharging steam seems to show that there are two main steam feeding places at about 1,000 meters depth and 1,280 meters as the comparative low temperature parts are found there. The rapid change of the temperature at about 550 meters depth is probably due to also the effect of adiabatic expansion of the flowing steam by change of the size of well-radius as seen clearly in Fig. 1.

The apparent permeability of the formation which formed the well was estimated tentatively by using obtained data and some assumed values.

1. はじめに

岩手県の松川地熱発電所においては発電用の天然蒸気井がいくつも掘削されている。そのうち第四号井と称された坑井は後述のごとき経過をたどり現在のところ発電のための使用にはいたっていない。

この地域の地下の熱水蒸気の賦存状態を解明する資料の一助とするためこの坑井を利用して地下の蒸気の温度・圧力の分布を測定することを計画した。幸い1966年12月、坑井の持主である東化工株式会社の御好意によりこの坑井について測定する機会をえた。この測定結果について考察を行なうのが本報告の目的である。

現地調査にあたっては同社森芳太郎発電所長、片桐邦

雄作井課長に格別の御好意を頂いた。また実際測定にさいしては同社松尾岑一郎氏をはじめ現場の方々にご協力を頂いた。

測定計器用具などについて本所石和田靖章石油課長よりいろいろお教えをえた。

以上の皆様方に厚く御礼申し上げます。

なお本報告の内容の一部については筆者と松尾岑一郎氏との連名で昭和42年度秋季の物理探鉱技術協会講演会にて「蒸気井内の温度および圧力の測定例」との題目にて発表したものである。

2. 松川第四号井の経過

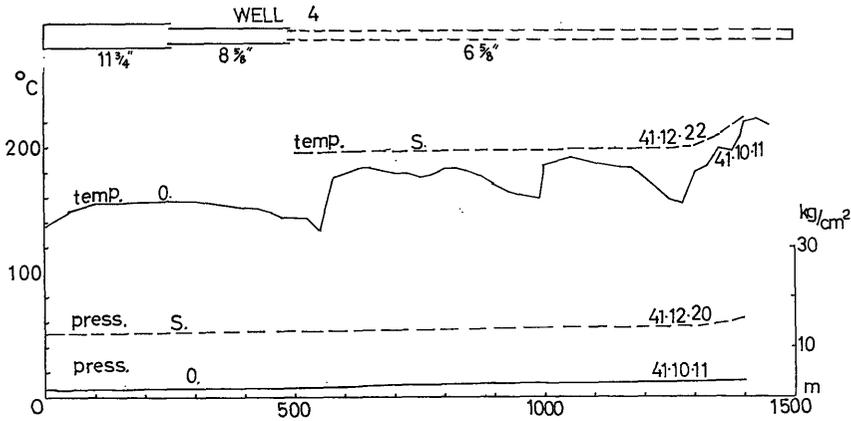
この坑井は発電使用のためのいわゆる生産井を目標として掘削されたもので最終仕上げ孔径 6 $\frac{5}{8}$ " にて 1,501

* 物理探査部

第1表 松川第四号井測定結果

深度 (m)	(1) (°C)	(2) (kg/cm ²)	(3) (°C)	(4) (kg/cm ²)	深度 (m)	(1) (°C)	(2) (kg/cm ²)	(3) (°C)	(4) (kg/cm ²)
0	137	1.8		12.8	825	184			
50	149	1.6			850	181			
100	155	1.6		12.8	875	177			
150	155	1.6			900	170	2.8	198	13.9
200	156	1.8		13.1	925	165			
250	157				950	162			
300	157	1.8		13.2	975				
325	155				1,000	186	2.8	198	13.9
350	154				1,025	189			
375	153				1,050	192		199	
400	152	1.8		13.3	1,075	190			
425	151				1,100	187	2.8	199	14.0
450	149				1,125	185			
475	144				1,150	184		199	
500	144	2.0	196	13.3	1,175	184			
525	144				1,200	176	2.8	199	14.2
550	133				1,225	167			
575	175				1,250	159		199	
600	179	2.2	197	13.4	1,275	155			
625	183				1,300	179	2.8	201	14.2
650	184				1,325	184			
675	181				1,350	199		210	
700	179	2.6	197	13.6	1,375	197			
725	179				1,400	207	3.0	224	(15.9)
750	176				1,425	220			
775	178				1,450	222			
800	183	2.6	198	13.7	1,475	217			

- (1) 開放状態における温度測定, 昭和41年10月11日
- (2) " 压力測定, 昭和41年10月11日
- (3) 閉塞状態における温度測定, 昭和41年12月22日
- (4) " 压力測定, 昭和41年12月20日



第1図 測定結果

mの深度に達するものである。1965年11月掘削が完了し第1図中にしめしたように約490m以深に孔明率約10%の径6 $\frac{1}{8}$ "の孔明管を入れて仕上げられた。スワビングが行なわれて期待通り約50トン/時間と推定された熱水まじりの蒸気の自噴をみたのであるが噴出直後約一時間にて坑井内の水止め管が破損し坑井が浅所に閉塞され噴出がほとんど止まってしまった。

これの修理のため坑口より冷水を注入し一たん坑井内を冷した。1966年6月末修理が完了し同7月初旬自噴を再開したのであったが、その量は期待を裏切り約6トン/時間にすぎなかった。その後当初のごとき量に増加することが期待されながらそれに至らず、この測定がなされた同12月末においても噴出状況に大きな変化は認められなかった。この原因については多くの議論があるがここでは触れない。

3. 測定計器

測定計器としては市販のアメリカのKuster社製のKPG圧力記録計およびKT温度記録計を使用した。いずれもブルドン管を原理としたもので石油坑井用に使われているものである。わが国では普通アメラダ型と称され、その詳細については他にゆずる。ただ今回使用の計器は高温下においても使用可能でこの点に製品の特徴があると云えよう。なお計器の精度は圧力計の場合全レンジ(0~178kg/cm²)の±2%、温度計の場合±2°F absoluteと称されている。

4. 測定の方法と結果

東化工K.K.による観測によればこの坑井は5.8トン/時間の乾いた蒸気を定常的に噴出しつづけている。しかし坑井内の事情についてはよくわかっていない。今回の測定の直接の目的は坑井内の温度・圧力分布を知り、蒸気の噴出箇所の推定坑井内のふっとう面の有無の調査などにあるので、そのため測定は坑口を開放した場合と閉塞した場合との両方について行なうことが必要である。

開放中の測定については東化工K.K.によって1966年10月になされた。ついで12月閉塞して測定を行なったわけである。

噴出中の坑井の坑口をとめた場合坑井内の圧力・温度の分布は変化するが、その際もちろん過渡的状态を経過する。それが安定の状態に達するまでの時間はかなり長いと考えられるので閉塞後充分の時間をおいての測定が望ましいが、今回は実際作業の諸制約から温度測定の場合24時間、圧力の場合48時間をおいての測定にせざるをえなかった。これはいささか不十分の感があった。

えられた結果を第1表にしめした。そしてそれらを図にしめしたのが第1図である。

図中Sは閉塞中の測定を意味しOは開放中の意味である。なお左側に温度の目盛、右側に圧力(絶対値)の目盛が付してある。

5. 測定結果の考察

坑口開放中における測定結果についてみるに、まずその対応する温度・圧力との関係より過熱状態と考えられる(第2表参照)。またその圧力分布からみて坑井内にふっとう面は存在しない。温度分布にはかなりの変化がある。

次に閉塞中の場合についてみるに、その対応する圧力温度からは飽和状態から若干ずれているが計器の精度を考えればそのずれは問題でない。坑口をふたたび開いた時の噴出蒸気は初期には熱水まじりのものが観測されるのが通常であるし、また測定された圧力傾度から若干の熱水まじりの蒸気を予想できる。したがってこの測定時の坑井内においては大体飽和状態と見ていいだろう。

そしてまた閉塞期間を充分長くすれば熱水の状態になることが予想できる。

第2表 蒸気の飽和温度・圧力

温 度 (°C)	圧 力 (kg/cm ²)
135	3.19
140	3.68
145	4.23
150	4.85
155	5.54
160	6.30
165	7.14
170	8.07
175	9.10
180	10.22
185	11.45
190	12.79
195	14.26
200	15.85
205	17.58
210	19.45
215	21.47
220	23.66
225	26.06

以上より坑井が蒸気を噴出している時その蒸気は坑井付近の地層中では飽和蒸気であるものが坑井内に流入する過程で過熱蒸気と化していることが考えられる。こ

に熱工学でいう絞り効果によって蒸気が乾いたものになるという過程に類似のことが起っているものと推測できる。

次に 2 つの温度曲線を比較してみるにすでに指摘したように開放状態のそれが特徴的で深度約 550m, 約 1,000m および約 1,280m 付近における相対的に低温をなしている部分が目立つ。図中の管径であきらかのように約 490m 以浅では径が大きくなるのでここで蒸気が断熱的に膨脹することが考えられる。そのための温度降下は当然予想される。その影響が約 550m 付近における急な温度降下として表われているものと推測できる。ただ約 250m 深度にて径がさらに大きくなっているのにその影響がここに何故表われないかという疑問が残るが径の大きさと流量のかね合いからここではそれが表われないと判断される。

約 1,000m および約 1,280m における変化はこれが蒸気が周囲の地層中より坑井内に流入できる孔明管内にあるもので、蒸気の流入に関係した変化と一応考えられる。地層中より坑井内への流入に際しても蒸気の断熱的膨脹が考えられる。

したがって今後さらに検討は要するが一応この 2 カ所が主たる蒸気の噴出部分ではないかと推定できる。しかしその規模大きさについてはこのデータからはわからない。閉塞中の温度曲線で特徴的なことは 1,300m 以深での急上昇である。圧力の上昇もこれに伴っている。この上昇の意味はもとの地層温度のじょう乱の少なさにもよるのであろう。

次に閉塞中と開放中の圧力の値を用いてこの坑井のいわば見掛の浸透率というべきものをみつめてみよう。

問題を単純に考え 2 次元の放射状流を仮定し、かつ多孔質媒質中の流体の流動に関するダルシーの法則が成立つと仮定する。また流体は理想気体の法則に従うとし、かつ等温変化を行なうものとする。

これらの仮定は実際と違うわけだが今の目的は浸透率の大体の目安をえようとするだけなのでこれで充分と考える。等方均質媒質中の定常状態の流体の圧力 P については円筒座標を用いて $r \frac{dP^2}{dr^2} = \text{一定}$ となる。坑井の中心を座標原点とし $r = r_e$ にて常に一定の圧力 P_e が保たれるとし境界条件を次とする。

$$r = r_e \text{ にて } P = P_e \quad r = r_w \text{ にて } P = P_w$$

ただし r_w は坑井の半径である。

坑井の長さ h にわたって事柄が同じように起っているとすれば浸透率 k は次のように表わせる。

$$k = \frac{Q \cdot \mu \cdot P_w}{\rho_w \cdot \pi \cdot h \cdot S (P_e^2 - P_w^2)} \ln \frac{r_e}{r_w}$$

ここで Q は総噴出量, μ は粘性係数, ρ_w は密度, h は坑井の長さ, S は孔明管の孔明率である。各値を次のように与えることとする。

$$Q = 5.8 \text{ トン/時間}, \quad \mu = 15 \times 10^{-5} \text{ Poise}, \quad P_e = 13.9 \text{ kg/cm}^2 \text{ (1,000m での値)}, \quad P_w = 2.8 \text{ kg/cm}^2, \quad h = 1,011 \text{ m}, \quad S = 10\%, \quad \rho_w = 1.4 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

このようにしてえられる k は大略次のようになる。

$$\begin{aligned} \gamma_e / \gamma_w = 10 & \text{ の場合 } 30 \text{ mDarcy} \\ \text{''} = 100 & \text{ '' } 60 \text{ mDarcy} \\ \text{''} = 1,000 & \text{ '' } 90 \text{ mDarcy} \text{ 但し } \gamma_w = 8.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

γ_e については今回の測定ではよくわからないが最後の値 $\gamma_e / \gamma_w = 1,000$ を大きくはずれることは考えられない。また多少の変動も k に大きくきいてこない。したがって数 10 から 100 mDarcy というのが k の大略の値と云えよう。しかし蒸気の噴出は実際には先の推測のように限られた部分から主たるものが起っていると考えられるので有効な k の値は上記の $1/10$ 以下であることが充分予想できるので、噴出部分の見掛の浸透率の目安といえれば結局数 100 から 1,000 mDarcy 以上の程度ということができであろう。

または S を考えにいれないみつもりでは、各 k はすべて $1/10$ の値になる。

6. む す び

以上を要約すれば、松川第四号井の測定の結果次のことがあきらかになった。

(1) 噴出中の坑井内にふつとう面はない。そして坑井周辺では飽和蒸気であるものが坑井内に過熱蒸気として流入し坑口より噴出する。

(2) 坑井内に主たる噴出箇所 2 カ所 (深度約 1,000m および 1,280m 付近) が一応推定される。

(3) 坑井を作る地層の見掛上の浸透率を前節にのべたようにみつめることができた。

(昭和 41 年 12 月 調査)