

箱根火山元箱根におけるボーリング調査と その温泉地質学的意義

大木靖衛, 荻野喜作, 大口健志, 広田茂, 平野富雄, 守矢正則

神奈川県温泉研究所*

(昭和43年1月25日受理)

Geological Investigation of a Drill Hole at Moto-Hakone and its
Relationship to the Hydrothermal System of Hakone
Volcano

By

Yasue ŌKI, Kisaku OGINO, Takeshi OHGUCHI, Shigeru HIROTA
Tomio HIRANO, and Masanori MORIYA

(Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture)
(Odawara, Kanagawa)

(Abstract)

A 197m drill hole was newly opened at Moto-Hakone, the southern side of the caldera. Lithologically, the following succession was recognised.

3rd stage	{	Komagatake lave	depth	42m
		Moto-Hakone volcanic breccia	depth	94m
		Tuffaceous silt	depth	101m
2nd stage	{	Pumice flow	depth	170m
		Young somma lava	depth	?
1st stage	{	Old somma lava	(n.d.)	

The temperature of the bottom of the hole was 15.65 °C. The thermal gradient was very small and found to be only 3.0 °C/100m below the depth of 170m. Four aquifers having average permeability of 3.2×10^{-2} cm/sec were found in the Moto-Hakone volcanic breccia and in the basal part of the Komagatake lava flow. A considerable amount of ground water may be flowing from the western and southern side of the caldera, and thus depresses the thermal gradient in the western side of the central cones. A significant volume of thermal water, supplied in this way on the western side of the caldera, appears as thermal springs in the eastern side of the caldera.

* 神奈川県小田原市南町2-4-45
神奈川県温泉研究所報告 第6号 (1968)

まえがき

箱根火山の地中温度構造を明らかにする目的で昭和40年から箱根火山に分布する多数のボーリング孔を利用して地中温度の測定を続けている。温泉は箱根火山東側の早川や須雲川に沿う部分に多く、この地域での資料は十分に得られているが、西側、特に芦の湖に接する地域にはボーリング孔がほとんどなく調査がおくれている。

箱根火山の地中温度分布図を完成するにはどうしても芦の湖周辺で地中温度測定を行なう必要があったので昭和42年度の箱根火山地熱調査の一つとして元箱根大芝に地質調査のボーリングを実施した。

地温分布ばかりでなく箱根温泉の水理地質学的な根本問題にふれるような興味ある結果が得られ、箱根温泉の成因を明らかにする貴重な資料とすることが出来た。

この報告はボーリング調査の経過をのべ、これから得られた情報をもとにして描くことが出来た箱根温泉の水理地質学的モデルを明らかにすることにある。

掘さく作業概要

掘さく工事は昭和42年8月から11月にかけて行なわれた。孔内崩かいのため掘さくは困難をきわめ事故回復に多くの日時が費やされた。はげしい崩かいのため初期の目標であった300mまでの掘さくが出来ず深度197mで工事を中止した。作業経過の概要を表1に示した。

ボーリング位置

図1にテストボーリングを実施した地点をしめす。ボーリング地点の選定は、浅いボーリング

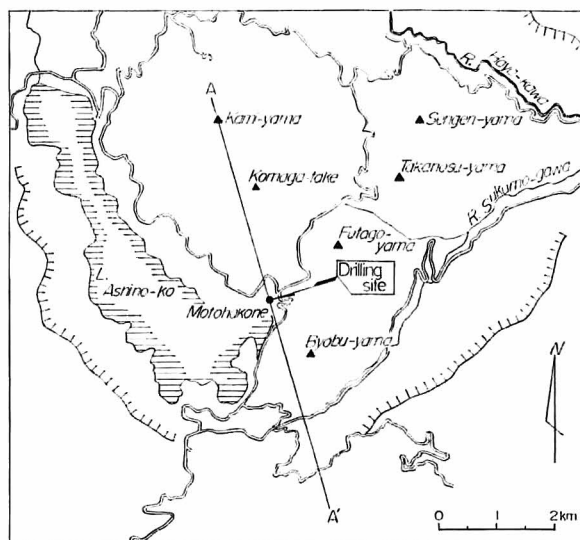


図1 元箱根のテスト・ボーリング地点

表 1 掘 さ く 作 業 経 過 概 要

深 度 m	掘さく口径 mm	水 位 m	测温孔底 m	孔底温 ℃	コア- の有無	コア-の状況	記 事
0 — 14.0	146	10	13.2	13.2	有	灰色多孔質	孔隙がかなりある駒ヶ岳熔岩。8～9mはコア-としてとれない。
14.0— 25.0	146	10	22.5	13.15	有	灰色・乳白色	24m部分のコア-の灰色と乳白色の流理構造をもつやや多孔質の熔岩。
25.0— 30.0	146	10	28.2	13.55	有	黒色多孔ガラス質	粗い隙間の多い熔岩流で褐色の熔岩ブロックがある。コア-となり難い。17.5m—27mに帯水層を確認する。 注水試験実施：注水量1分間45ℓで10分後に水位が0.1m上昇して一定となる。
30.0— 33.0	146				有	黒色ガラス質	白色および褐色の斑点を有するコア-。 崩れが多く循環水の逸水がはげしいので114mm 管を33mまで挿入し、下部にセメンテーションを行う。
33.0— 48.5	86	10 12.0	39.5 45.4	14.95 15.5	有	黒色・灰色	39mのものは黒味がかかった粗面のコア-であるが48mでは灰色やや緻密となる。43m付近から逸水が始まりスライムの揚りが悪く掘進困難になる。崩れのため事故を起し回復に10日を費す。回復後の水位は12mになる。
48.5— 56.0	86				有	灰色	コア-採取長 3.0m。
56.0— 62.8	86	12.4	62.45	14.15	有	灰色	短いコア-が時々揚る。岩質のやや硬いコア-で、採取長 2.4mである。60m—61mにクラック多し。57mで逸水が始まりベントを使用した泥水は完全に逸水した。 注水試験実施：注水量1分間100ℓで12分後に水位は0.25m上昇した。孔壁崩れする。
62.8— 64.0	86	12.4			有	灰色	崩れのため埋没した部分を掃孔後掘進するコア-採取長 1.8m
64.0— 75.0	66(76)	12.4	65.8	14.35	有	灰色	崩れ防止のため 83mm 鉄管を 63.8m まで挿入後掘進する。 65.7で逸水する。コア-は短かく、全採取長2.0m。 注水試験実施：注水量1分間150ℓで30分後に水位が1.5m上昇する。セメンテーションによる崩れ止め作業に約10日を費す。
75.0— 81.0	66(76)				有	灰色	68.0m—75.0mまでのセメントを抜いた後掘進する。66m付近に崩れ抑留部分が残る。コア-は短く全採取長1.3m。
81.0— 87.0	66(76)				少し有		66.0m—81.0mまでの崩れ埋没部分を掃孔後掘進する。79m

深 度 m	掘さく口径 mm	水 位 m	測温孔底 m	孔底温 ℃	コア- の有無	コア-の状況	記 事
87.0— 93.0	66(76)	12.44	89.0	12.4	無	黒褐色ラミナ有	付近に崩かい部分が残る。コア-採取長 0.8m。
93.0— 96.0	66(76)				無		孔底付近に崩かい部分が残る。
96.0—102.0	66(76)				少し有		孔底の崩かい部分を掃孔後掘進する。
102.0—105.0	66(76)				少し有		孔底の崩かい部分を掃孔後掘進する。96m部分に細粒のラミナを有するコア-あり。全長 0.35m。
105.0—108.0	66(76)	13.45	90.95	14.0	少し有	黒灰色	スライムが揚らないのでベントを使用する。コア-はやや硬いが所々に黄褐色には縁どられた孔を有す。 全長 0.3m
108.0—111.0	66(76)				少し有	黒灰色	スライムにより11m埋没。ベントを濃くして掃孔。コア-採取長 0.6m。
(63.8)—111.0	76				無		ベントを濃くして掘進する。
111.0—126.0	56				12.3	126.0	13.75
126.0—174.0	56	13.5	169.2	14.95	少し有	黒色ガラス質	67mm鉄管を114.5mまで挿入後掘進する。125mにコア-0.1mあり。
174.0—179.0	56	21.3	179.0	15.7	有	黒灰色	168m から崩かいが始まりスライムが揚らなくなった。ベントを濃くして掘進する。165m で細孔を有する黒色ガラス質の軽いコア-が0.15m揚り、168m—170mで黒色ガラス質のコア-0.1m揚る。
179.0—193.0	56				無		ベントを使用して掘進。174mで新期外輪山のコア-0.15m揚る。
193.0—195.0	56				有	黒色・白色斑点	スライムに軽石粒多く、ベントを使田して掘進する。
195.0—196.25	56				13.8	169.0	15.05
(160.)—196.25	56	12.65	171.0	15.9			ベントのため孔底まで測温出来ず。清水でベントを洗滌したところ、孔壁がはげしく崩かいするようになった。再度ベントを使用して掃孔掘進したが崩かいのため169mまで埋没する。
		11.3	174.0	15.65			崩かい防止のためセメンテーションを繰り返したが効果なし。特に 170m 付近は崩かいが激しく、しばしばロットが抑留された。セメンテーションに1ヶ月以上を費す。この間2回測温したが掘さく孔底までは測定出来なかった。孔内の検層を行い掘さくを中止した。

孔でしかなるべく下部の情報が得られるようにするために出来る限り標高の低い所でなければいけない。カルデラの南西部でボーリング資料の全くない地点は元箱根箱根神社付近である。よって、図1に示した地点をテストボーリングの位置として決めた。

ボーリング深度は、中央火口丘噴出物を貫く深さとして一応 300m を目標とした。後に詳細に述べるように予期しなかった崩れ性の火山砂礫層に当たって、どうしても 300m に達することが出来なかった。しかし、採取されたボーリングコアの岩石学的調査から、掘さくは確実に中央火口丘の堆積物を貫き新期外輪山熔岩に達していた事が判明したので、一応初期の目的を果たすことが出来た。

久野久(1951)の地質図によればボーリング地点は中央火口丘駒ヶ岳(CC₇)の南端にあり、新期外輪山を作った断層(元箱根—芦の湯—笛塚—小涌谷線)に接する位置にある。

地 質

図2—Aは本孔の地質柱状図である。地表より地下にむかって本孔の地質の記載を行なう。

表土 (0m—3m)

駒ヶ岳熔岩 (3m—42m) 本掘さく地点が駒ヶ岳の南端に位置しているため、その熔岩流の厚さが大きいものと考えていたが意外に薄かった。深さ31mまでは硬い溶岩で、岩石はコアとしてよく採取された。深度 17.5m—27m の間に透水性のよい部分がある。これを第1帯水層と呼ぶ。

本火山岩は顕微鏡下で観察すると、紫輝石、普通輝石の柱状斑晶に富み石基が著しくガラス質である。久野の火山岩の分類に従うと、紫輝石岩系 Vd 型の中性安山岩である。

元箱根火山砂礫層 (42m—94m) 崩れやすい黒色の火山砂礫層で、ときどき長さ数10cmのコアが採取されるため大きな岩塊も混入していると推定される。透水性が大きく、掘さく用泥水が完全に逸水する場合が多かった。深さ 42m—51m を第2帯水層、58m—68m を第3帯水層、79m—90m を第4帯水層と名づける。

ボーリングコアとして採取された岩中の顕微鏡下の性質は、紫輝石、普通輝石の斑晶に富み中央火口丘の火山岩の特徴を持つ。石基に火山ガラスが少く結晶度の良い点で上位の熔岩と異なる。久野久は中央火口丘噴出物を CC₁ から CC₉ までに区別しているが、本層がそのいずれに対応するのか明らかでない。ここでは、一応元箱根火山砂礫層として報告しておく。CC₂ 又は CC₅ の下部に対比される可能性が高い。

凝灰質シルト層 (94m—101m) 灰色の凝灰質シルトで、堆積時のラミナを示す縞状構造がはっきりしている。明らかに水中堆積物であることからカルデラ湖底で堆積したものと思われる。

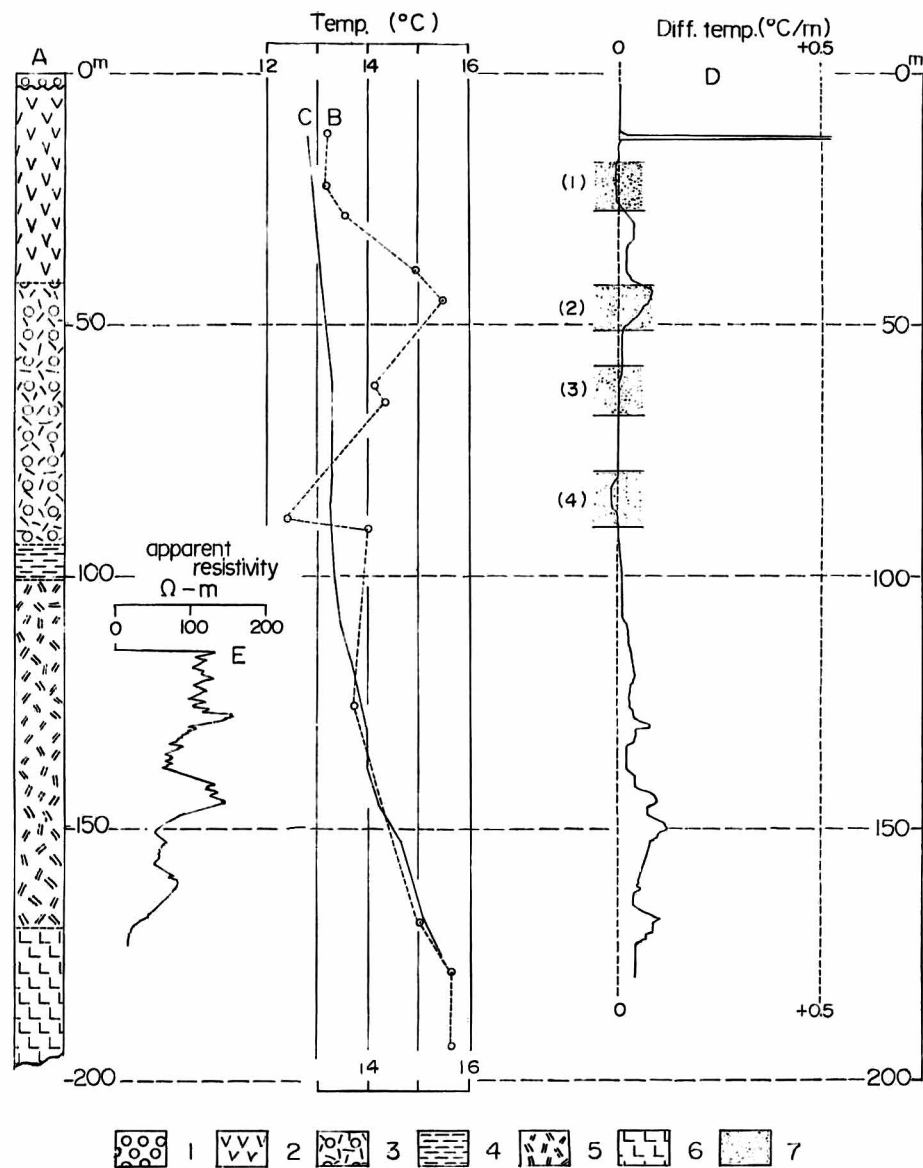


図2 テスト・ボーリング井の地下状況

A : 地質柱状図, B : 地中温度 (掘さく中の孔底温), C : 孔内温度検層図 (工事終了後), D : 示差温度検層図 (工事終了後), E : 見掛け抵抗検層図 (工事終了後)

1 : 表土, 2 : 駒ヶ岳熔岩, 3 : 元箱根火山砂礫層, 4 : 凝灰質シルト層, 5 : 軽石流堆積物, 6 : 新期外輪山熔岩, 7 : 帯水層, (1)・(2)・(3)・(4)は各々帯水層番号を示す。

る。新期外輪山熔岩（YS）、軽石流堆積物（P）の噴出後放出された酸性火山礫凝灰岩に対比出来るであろう。

本層の上下で火山砂礫層の透水性が著しく異なる点に注目すべきであろう。

軽石流堆積物（P）（101m—170m） 本層掘さく中に黒色緻密のガラス質岩片と灰色や黒多孔質の岩片の混合物とがスライムとして排出された。コアーとして採取される岩片は少なかった。崩かい性の強い地層であるが掘さく時の泥水の逸散は少なく、したがって、透水係数は小さく多分 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ と推定される。

顕微鏡下では紫輝石、普通輝石の斑晶に富み石基はガラス質である。新期外輪山熔岩噴出後の軽石流堆積物（P）に確実に対比出来る。

新期外輪山熔岩（170m—197m） 170mから190mは破砕された新期外輪山熔岩で190m以下は緻密である。

鏡下の観察で普通輝石をとりまくビジョン輝石の反応縁が認められるので明らかに中央火口丘熔岩類と区別される。石基はガラス質に富む。久野の記載とよく一致するので新期外輪山熔岩とした。鉱物組合せは Vc 型に相当する。

地 温

本地点における地中温度および地下増温率を求める目的で、掘さく時の孔底温度を測定した。掘さく時の孔底温度は作業中止後12時間以上放置して測定したものである。図2—Bは掘さく時の孔底温度を連らねたもので、図2—Cは掘さく終了20日後に測定した孔内温度分布である。175m以深は孔壁の崩かいがはげしく測定装置をそう入することが不可能であった。

地中温度の高いはずのカルデラ内に位置しながらも本地点の地温は予想出来なかった程低く、深さ170mまでは 14.0°C であった。170m以深でわずかに地温が上昇した。170m以深の地温上昇率は $3.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であった。箱根火山の地温上昇率は外輪山に属する部分で約 $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、中心部では $20 \sim 30^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ に達する。

後に述べるように、カルデラ内に厚く堆積した軽石流、火山砂礫層は透水係数が大きく、しかも、その中を地下水が流動しているため地温上昇が打ち消されているものと考えられる。

帯水層の水理学的性質

本孔が貫く地表から94mまでの部分に透水性の大きな4枚の帯水層があることはすでに述べた。上から下にむかって、それを第1から第4帯水層と呼ぶことにする。

掘さく時の注水試験、検層の結果から透水係数を測定した。次にその概要を述べる。

第1帯水層（17.5m—27m） 本帯水層は駒ヶ岳熔岩中に胚胎される。その静水位の深さは

表 2 テスト・ボーリング井の注水テスト観測値

観測時間	経過時間	水位	水位上昇量	備考
時 分 9 10	秒 0	10.00 m	0 m	注水開始
16	360	9.905	0.095	注水量 45 ℓ/min = 64.8 m ³ /day
22	720	9.90	0.10	井戸半径 0.073m
30	1200	9.895	0.105	帯水層厚 9.5 m

10mで第2帯層以深のものより水頭が高い。孔内水位が芦の湖の水位より高いので、この地下水は芦の湖を涵養している浅層地下水に含まれる。本地下水は季節的影響を受けやすい。

渦巻ポンプによる揚水試験が不可能なため注水法による帯水層の試験を実施した。毎分45ℓの注水を続け孔内水位が10cm上昇した(表2)。注水による水位上昇を揚水による水位降下におきかえてペ・ペ・クリメントフの方法により透水係数(K_1)を算出した。

$$\log K = \frac{2.73(2H-s)s}{Q} K - 2 \log \frac{2s\sqrt{H}}{r} \dots\dots\dots (1)$$

ここに K : 透水係数 (m/day)

H : 帯水層の厚さ (m)

Q : 揚水量 (注水量) (m³/day)

s : 水位降下 (m)

r : 井戸半径 (m)

注水試験の条件は、 $H=9.5\text{m}$ 、 $Q=45\text{ ℓ/min}=64.8\text{ m}^3/\text{day}$ 、 $s=0.1\text{m}$ 、 $r=0.073\text{m}$ であるので、透水係数(K_1)は次のようになる。

$$K_1 = 44.0 \text{ m/day} = 5.1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$$

K_1 を別にタイスの方法によって求めると $5.7 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ となり、両者の結果は良く一致する。

この帯水層を口径20cmの孔井で貫いた場合の水位降下と揚水量の関係は、(1)式から図3のようになる。水位を1m下げた時の揚水量は1日に410m³になり、揚水量を1日に1,000m³とすれば水位降下は3.3mになる。

水止め管を33mまでそう入して深い部分の帯水層テストに備えた。

第2帯水層(42m-51m) 本帯水層は元箱根火山砂礫層の上部を占める。孔内静水位は深さ12.0mのところにある。

この部分の注水試験では、1分間100ℓの注水で孔内水位が25cm上昇した。注水試験は掘さ

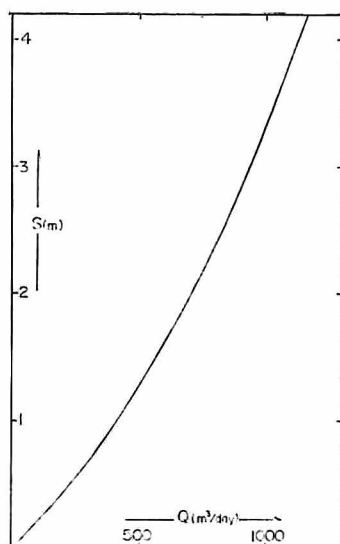


図3 揚水量と水位降下の関係

透水係数 $K_1 = 44.0 \text{ m/day}$, 帯水層厚 $H = 9.5 \text{ m}$,
井戸半径 $r = 0.1 \text{ m}$

く深度 62.8m の時に行ったので、注水の一部は次の第3帯水層に流入したことになるが、注入水は全部第2帯水層に呑込まれたと仮定して透水係数 (K_2) を求めた。注水試験の条件, $H = 9 \text{ m}$, $Q = 100 \ell / \text{min} = 144 \text{ m}^3 / \text{day}$, $s = 0.25 \text{ m}$, $r = 0.043 \text{ m}$ により, (1)式から K_2 は次のようになる。

$$K_2 = 57.6 \text{ m/day} = 6.7 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$$

ここで、63.8m までに鉄管をそう入して本帯水層を閉鎖した。

第3帯水層 (58m—68m) 静水位は地表から 12.4m のところにある。毎分 150 ℓ の注水による水位の上昇は 150cm であった。注水試験の条件, $H = 10 \text{ m}$, $Q = 150 \ell / \text{min} = 216 \text{ m}^3 / \text{day}$, $s = 1.5 \text{ m}$, $r = 0.033 \text{ m}$ により透水係数 (K_3) を求めた。

$$K_3 = 2 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$$

大量のセメントを投入して本帯水層からの流出を止めた。

第4帯水層 (79m—90m) 本帯水層も元箱根火山砂礫層に含まれる。孔内静水位は 12.44m であった。本層については注水試験を実施しなかった。

元箱根火山砂礫層の透水性は、掘さく中の泥水逸散の状況やスライムの様子などから深部程小さくなっている。第2および第3帯水層で透水係数を求めたときの仮定から K_2 はやや大き目に K_3 はやや小さ目に算出されているが、両者共 10^{-2} cm/sec のオーダーをもち“きれいな砂層”の場合に相当する (表3)。第4帯水層についても、掘さく中の状況から推定して透水係数はやはり 10^{-2} cm/sec のオーダーをもつ値になるであろう。

表 3 土 砂 礫 の K の 値 (cm/sec)

10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
きれいな礫			きれいな砂		極微粒砂, シルト, 砂				不透水性の土 風化帯以下の 一様な粘土	
			きれいな砂と 礫の混合物	植物および風化によって変質して不透水性になったもの						

(河上房義: 土質力学, p 155)

90m以深では大量の逸水がなかったので有効な地下水源となりうる帯水層はなく, したがって透水係数は小さいものと判断される。

ボーリング地点での全帯水層の厚さは 39.5m である。第4帯水層の透水係数を $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ とすれば, 帯水層の平均透水係数 K は $3.2 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ となる。ここで, 深さ 100m, 口径 20cm の孔井を掘ったときの揚水量と水位降下の関係を示すと図 4 のようになる。すなわち, 水位を 1m 降下させたときには 1 日に $1,000 \text{m}^3$ の揚水が可能である。

井戸の影響圏をイ・ペ・クサキンの式を用いて近似的に求めることにする。

$$R = 2s\sqrt{HK} \dots \dots \dots (2)$$

ここに R は影響半径である。

いま, $s = 1 \text{m}$, $H = 39.5 \text{m}$, $K = 3.2 \times 10^{-2} \text{cm/sec} = 27.6 \text{m/day}$ とすれば $R \approx 66 \text{m}$ となる。すなわち, 1 日 $1,000 \text{m}^3$ の揚水を行った場合の影響圏の半径は 66m である。したがって, 相互

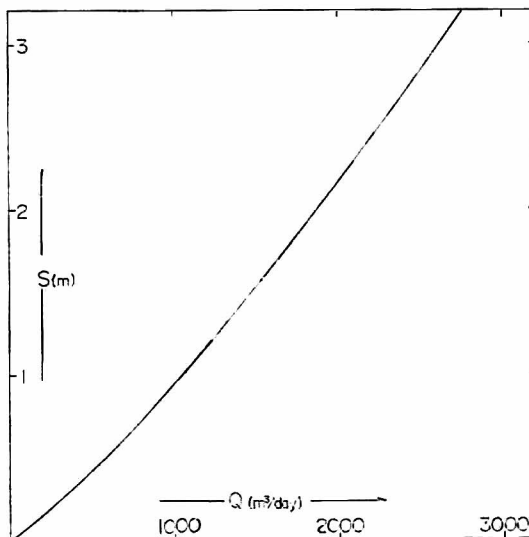


図 4 揚水量と水位降下の関係

透水係数 $K = 27.6 \text{m/day}$, 帯水層厚

$H = 39.5 \text{m}$, 井戸半径 $r = 0.1 \text{m}$

に 130m 程度離れておればほとんど干渉なしに $1,000\text{m}^3/\text{day}$ の揚水が出来ることになる。

考 察

図5は本ボーリングによって得られた資料を久野久(1951)の研究に加えて描いた元箱根付近の地質断面図である。

新期外輪山が形成されるために中央部が落ち込んだ深さは 300m~350m と推定される。地温測定の前で述べたように、本地点の地温が著しく低いことに注目しなくてはならない。カルデラの西側には大涌谷・姥子の近くを除いて、ほとんど温泉がなかったことと深い関係がある。

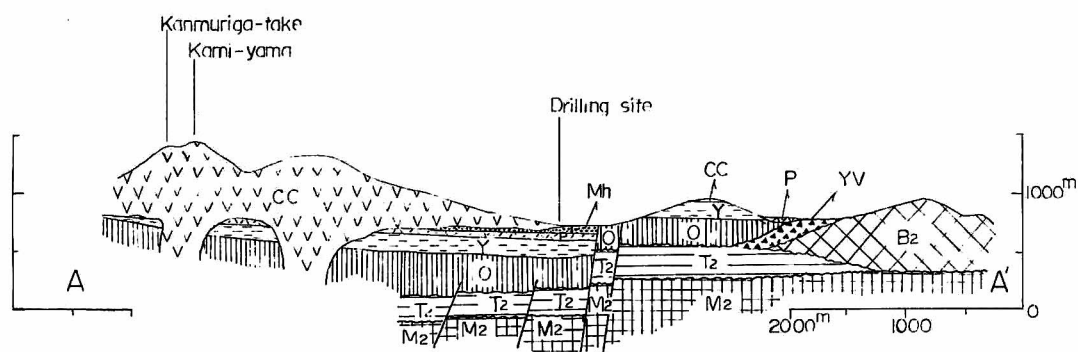


図5 元箱根付近の地質断面図(図1のA—A'断面)

M₂: 湯ヶ島層, T₂: 早川凝灰岩, B₂: 天昭山玄武岩類, YV: 湯河原火山熔岩, O: 箱根火山古期外輪山熔岩, Y: 新期外輪山熔岩, P: 軽石流堆積物, Mh: 元箱根火山砂礫層, CC: 中央火口丘熔岩。

最近、姥子—湖尻間で深さ 400m 以上の孔井が掘さくされている。その柱状図は図6のとおりである。この地点では、深さ 260m から、崩かいし易い黒色のガラス質岩片よりなる火山砂礫がスライムとして排出されはじめ、410m にいたって新期外輪山熔岩に達した。つまり、元箱根ボーリング地点と同様に火山砂礫層・軽石流の150mになる厚い透水性の地層があることをしめす。この孔内静水位は元箱根ボーリング孔と同様に、芦の湖にほとんど等しいかやや低い。このことは仙石原—芦の湖地域で前述の透水性の地層中に常に地下水が供給されていることをしめす。

元箱根火山砂礫層や軽石流の厚いものは台ヶ岳や小塚山以北ではあまり存在していない。これらの堆積物とその静水頭の分布を神山を通る断面について描くと図7が得られる。水位は強羅・小涌谷において最も低く、地下水は透水性の地層を通して西から東に向かって流動している。元箱

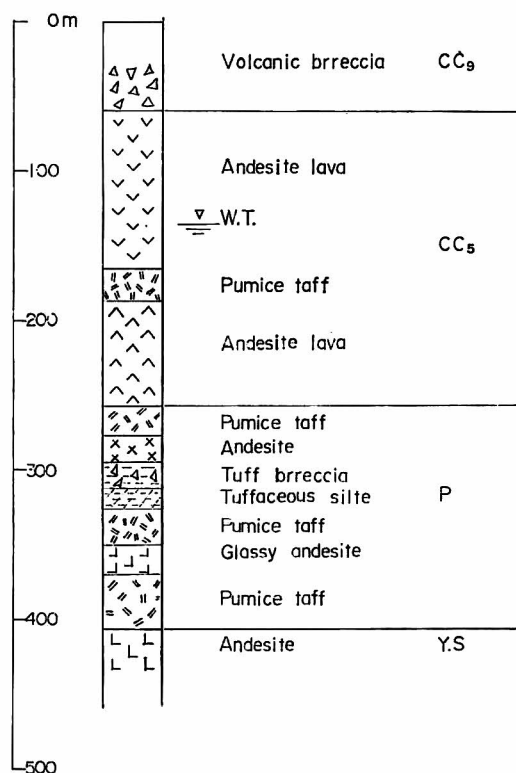


図6 姥子—湖尻間のボーリング柱状図（標高 835m）

Y.S：新期外輪山熔岩，P：軽石流堆積物，CC₅：駒ヶ岳熔岩，CC₉：山崩堆積物

根から芦の湯・笛塚を経て小涌谷に至る断層に沿っても、芦の湖方面から地下水が流動して行くことが推定される。

以前、芦の湯（標高 850m）で 170m の掘さくをした際、深さ 100m（標高 750m）から次第に地温が低下し温泉が存在しなかった。これは、駒ヶ岳熔岩基底部やその下位にある火山砂礫層または軽石流堆積物の中を芦の湖方面から小涌谷に向う地下水の流れがあることを意味している。

今回のテストボーリングの結果、芦の湖畔・仙石原の西側にはほとんど温泉が期待出来ないことが証明された。また、カルデラの東側にある強羅・小涌谷・底倉などの温泉の水は、カルデラ西側の芦の湖や仙石原方面で涵養され、地熱地帯を通過し、やがて温泉となって来たものであることが推定される。

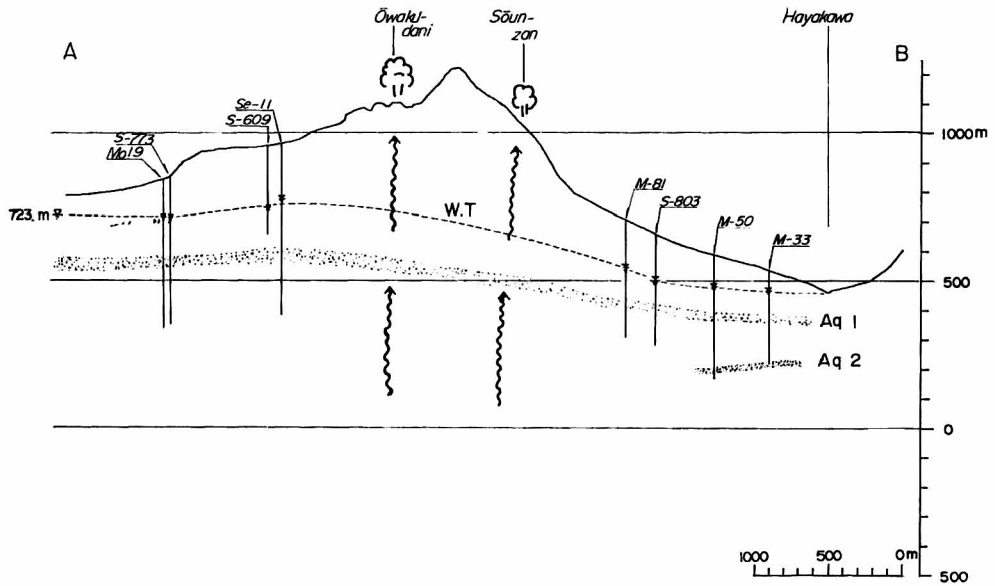


図7 箱根火山の水理地質学的断面図

(大木他5名 1968)

謝 辞

東京大学教授久野久先生には元箱根付近の地質について有益な御意見をいただいた。箱根町役場観光課・勝俣孝正課長，企画室・信濃一男室長，加藤泰夫係長，公営事業課・勝俣誠係長，水道課・日下部専造工務係長，大場敬一氏他職員の方々には工事進行について大変御便宜をいただいた。神奈川県環境衛生課の岩田義徳主任技師，関本一雄課長，中川清七係長にはひとかたならぬ御尽力をいただいた。当温泉研究所・轟秀雄所長，穂津正雄課長，前所長代理高橋惣一氏などには激励をいただいた。また，当所・小梶藤幸技師，伊藤則之主事他職員の方々にはいろいろ調査に御協力をいただいた。湘山開発株式会社・勝俣忍社長，梅木俊郎氏には困難なボーリングにかゝらず努力していただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

参考文献

河上房義 (1954) : 土質力学, 森北出版.

Kuno, Hisashi (1950-'51) : Geology of Hakone volcano and adjacent areas, Part I & II, Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, vol. 7, parts 3-5, 257-279, parts 6-10, 351-402.

久野 久 (1952) : 7万5千分の1地質図幅「熱海」ならびに説明書, 地質調査所.

永井莊七郎 (1963) : 水理学, コロナ社.

大木靖衛他2名 (1966) : 温泉孔井の示差温度検層法, 温泉工学会誌, vol. 4, No. 2, 73-82.

大木靖衛他5名 (1968) : 箱根強羅温泉の温度異常上昇とその水理地質学的考察, 神奈川温研報告, No. 6, 1-20.

ベ・ベ・クリメントフ, ゲ・ベ・ブイハチェフ (1961) : 地下水の力学, 国立鉱山図書出版所. 外尾善次郎, 永井正夫訳 (1967), ラティス刊.

山本莊毅 (1962) : 揚水試験と井戸管理, 昭晃堂.