

乗鞍温泉引湯工事の紹介

株式会社地熱社長

浜田 亀太郎

Introduction to the Pipeline Construction for Geothermal Water Distribution at Mt. Norikura

松本 信雄

Kametarō HAMADA

President of Geothermal Co. Ltd.

1 引湯工事の概要

乗鞍岳の周辺には、多くの温泉が湧出しているが、特に東北山腹の湯川源泉は強酸性泉として知られている。この温泉を、数キロメートル離れた乗鞍高原まで引湯する工事は、昭和47年安曇村の長期振興計画に組込まれた重要課題の一つであった。即ち梓川支流湯川の源流に程近い標高2000mの河川敷に分散湧出する温泉を集湯した後、乗鞍高原に引湯し、鈴蘭高原地区、榎ノ木地区及び番所地区において利用せんとするものである。以下引湯工事について紹介する。

1) 工 期

着 工	昭和50年 8月29日
完 成	昭和52年 8月31日

2) 事業費(概算)

引湯工事費	266,000千円
関連工事費	7,000千円
建物備品等	3,000千円
総 経 費	31,000千円

3) 源 泉

湧 出 地	長野県南安曇郡安曇村4196(湯川国有林136り林小班)
湧出量(集湯量)	毎分 1,700 l
泉 温	第 1 号, 第 2 号源泉 50℃
	第 3 号源泉 48℃
集湯槽において	49℃
泉 質	酸性硫化水素泉 (pH 3.0)

4) 工事内容

引湯ルートは全線自然流下するよう保ち、引湯管、集湯槽、減圧中継槽等の施設はすべ

て地下埋設とした。

土木機械の入らない山岳地帯のため、資材の搬入は索道を架設したが源泉地帯を除き、ほとんど人力によって全施設が完成された。源泉地帯にはD20型バックホー1台、コンプレッサー1台、諸資材は鈴蘭側よりヘリコプターによって搬入された。

引湯管保温材は富士化工フジパイプ(石綿紙強化プラスチック管)、保温はポリスチレン発泡体を使用した。

集湯槽、減圧中継槽、分湯槽は強化プラスチック円筒型とした。総延長(集湯槽より)は7,617.2mでその内訳は管径175mm 4,141.5m、管径150mm 1,545.0m、管径125mm 884.0m、管径100mm 1,046.7mとなっている。

標高差は約534mで集湯槽より第2中継槽まで128.53m、第2中継槽から第7中継槽(分湯槽)まで328.36m、第7中継槽から末端まで77mである。

2 設計の方針

1) 施設の目的

湯川源泉に自然湧出する温泉を集湯した後、導管を施設し自然流下で乗鞍高原鈴蘭地区へ温泉を輸送する施設である。

2) 施設設置場所の決定

輸送管の設置場所は次に示す通りである。

湯川源泉—ゴード沢—笹窪峠—鈴蘭地区

3) 設計条件

(1) 温泉輸送条件

- ① 温泉輸送量：1,700 l/min
- ② 泉 温：49.0℃
- ③ 泉 質：酸性硫化水素水 (泉質は表1に示す。)

(2) 自然条件・環境条件

- ① 気 温：-10℃～30℃
- ② 積 雪 量：6.0m×0.7=4.2m(低減率を30%とする)
- ③ 凍土範囲：地表面下 600mm
- ④ 地 盤 高：G L=東京湾平均海面
- ⑤ 降 水 量：2,000mm～2,400mm/年間

4) 設計の課題と施工

以上示した条件に従って各施設ごとに次に示す通りの検討を行った後、設計を行い施工した。

(1) 源 泉

① 温泉の集湯採取

源泉は図1に示す通り、池の沢右岸河川敷10数ヶ所に湧出している。調査検討の結果No.9～No.10付近が最も高温であり湧出孔であると想定されるが、掘削調査後施工については対処することにした。

掘削結果、No.8～No.11源泉はほぼ3ヶ所の岩盤からの湧出孔が発見され約1,500 l/min、約50℃で集湯することができ、図1に示す以外の少量の自然湧出孔からの自噴泉は消滅した。No.7, No.8自噴孔はそのままであった為2源泉をまとめ集湯槽に送った。なお、下流のNo.1～No.5自噴孔からの湧出は減量したが集湯し得なかった。泉温は23℃～40℃の低温のた

表1 湯川源泉の化学組成

	泉温50℃	
	A	B
pH	2.7	3.0
Na	75.6 mg/l	71.4 mg/l
K	22.8	21.8
Ca	61.8	64.0
Mg	20.9	20.6
Cl	85.4	81.8
SO ₄	442	363
H ₂ S	—	136
ケイ酸 (SiO ₂ として)	79.5	66.2
Al	5.6	4.1
Fe	0.3	0.3
Mn	3.6	3.0
Hg	0.001以下	0.001以下
Pb	0.1 "	0.1 "
As	0.05 "	0.05 "
Cd	0.05 "	0.05 "

Aは源泉の1つ、BはNo.6~No.11源泉を集めたもの。

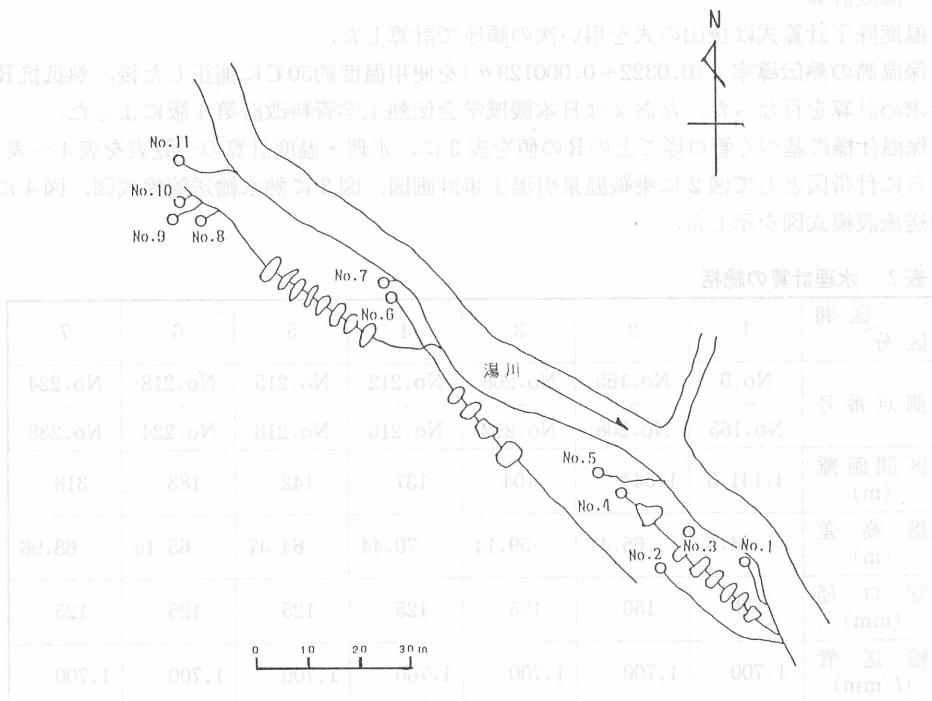


図1 湯川源泉湧出地点

表3 温泉輸送管理設配管における熱伝導抵抗Rの値

No.	保温層 管径	管肉厚	硬質発泡 ポリスチレン筒	外装	熱抵抗 R m ² h℃/kcal	
1	φ 176	r ₀ =0.0880	r ₁ =0.0970	r ₂ =0.1370	r ₃ =0.1401	2.338
2	φ 150	r ₀ =0.0750	r ₁ =0.0840	r ₂ =0.1240	r ₃ =0.1280	2.596
3	φ 125	r ₀ =0.0625	r ₁ =0.0695	r ₂ =0.1095	r ₃ =0.1135	2.927
4	φ 100	r ₀ =0.0500	r ₁ =0.0560	r ₂ =0.0960	r ₃ =0.1000	3.379

*施工方式 FRP管+硬質発泡ポリスチレン筒+アルミ箔プチルゴムシート+ビニール接着テープ

FRP管伝導率：0.18kcal/mh℃

保温筒伝導率：(0.032+0.000129θ)kcal/mh℃

外装筒伝導率：0.18kcal/mh℃

液体温度伝導率：50℃

表面熱伝導率：20kcal/m²h℃

配管状態：埋設

外気温度：-10℃

土壤の熱伝導率：1.0kcal/mh℃

熱伝導抵抗Rの値の計算方法

$$(\theta_2 - \theta_r) = (\theta_1 - \theta_r) e^{-\frac{L}{R \cdot C \cdot W}} \dots\dots\dots ①$$

$$R = \frac{1}{2\pi} \sum \frac{\xi_1 \sim \xi_n}{\lambda} \dots\dots\dots ②$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= \ln \left[\frac{d}{r_0} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{r_0}{d} \right)^2} \right\} \right] \\ \xi_2 &= \ln \left[\frac{d}{r_1} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{r_1}{d} \right)^2} \right\} \right] \\ \xi_3 &= \ln \left[\frac{d}{r_2} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{r_2}{d} \right)^2} \right\} \right] \\ \xi_n &= \ln \left[\frac{d}{r_{n-1}} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{r_{n-1}}{d} \right)^2} \right\} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ③$$

①式は熱流体輸送の温度計算式である。
 ②式は保温施工後の熱伝導抵抗Rの値を求める計算式である。
 ③式は②式のRを求めるための補助式である。なおdは1.2mとした。

- θ₁ : 輸送管熱水流入温度(℃)
- θ₂ : Lm先の熱水到着温度(℃)
- θ_r : 外気温度(℃)
- L : 輸送距離(m)
- R : 熱抵抗(m²h℃/kcal)
- C : 流体の比熱(kcal/kg)
- W : 流体の重量(kg/h)
- λ : 熱伝導率(kcal/mh℃)
- r₀~r_{n-1} : 管及び保温層内外半径(m)
- ξ₁~ξ_n : 各層の熱抵抗(m²h℃/kcal)
- d : 埋設深度(m)

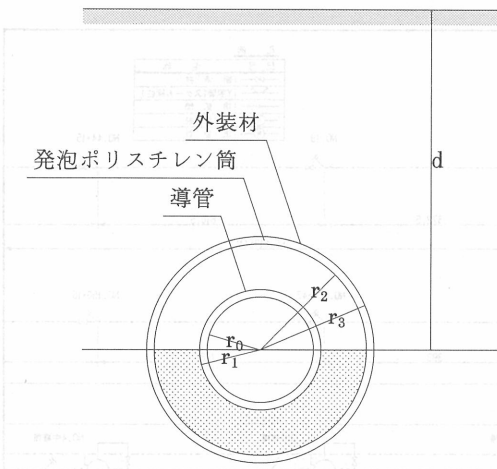


図4 熱伝導抵抗の計算式

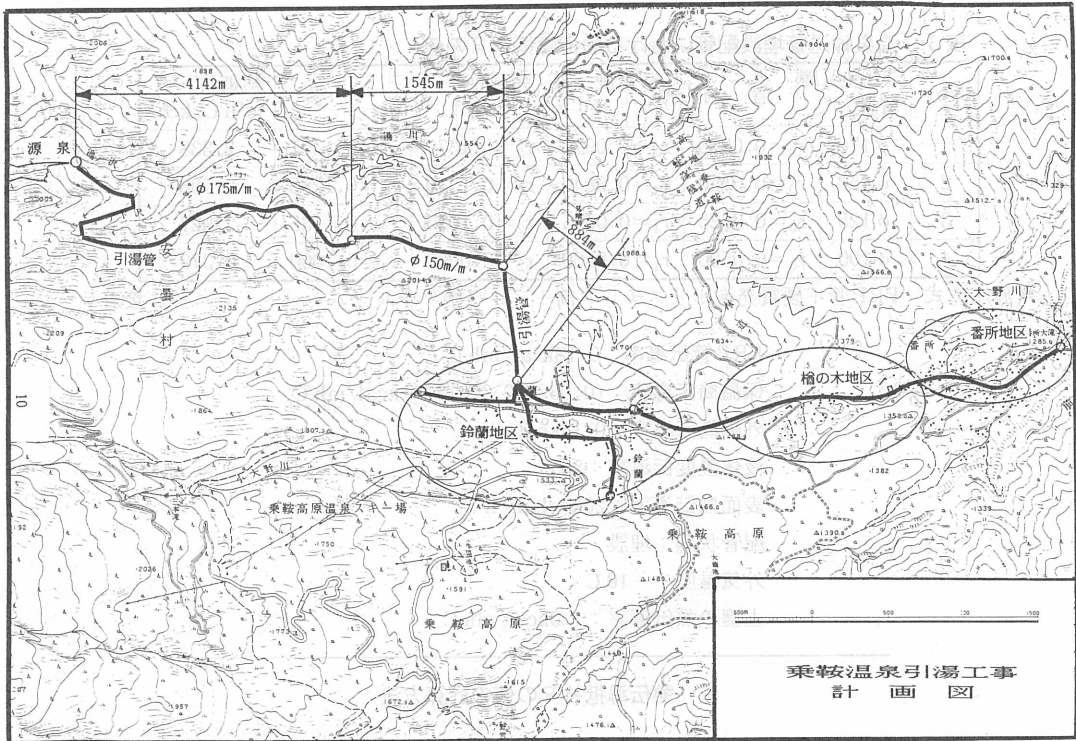


図2 乗鞍温泉引湯工事計画図

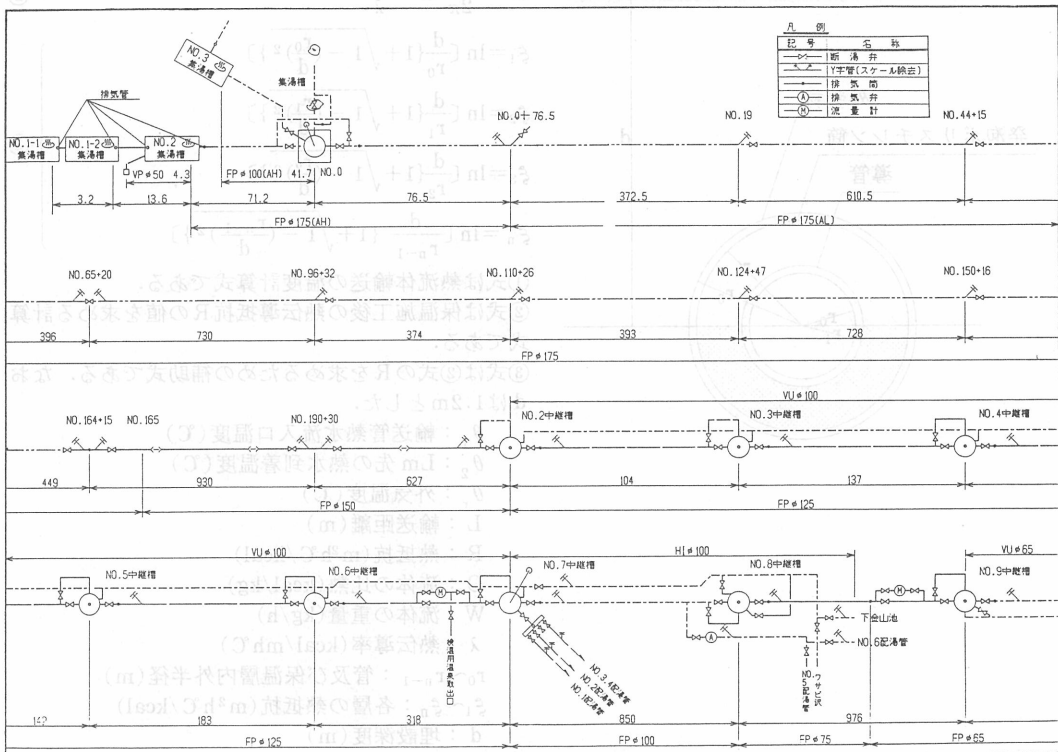


図3 熱水輸送管模式図

表4 熱水輸送管 水理・温度計算-1

管網 番号	管路区間	区間距離 m	管口径 mm	流量 l/m	区間損失水頭 m	地盤高 m	有効水頭 m	出発温度 ℃	到着温度 ℃	温度差 ℃	損失熱量 kcal/h
1	No.1-No.2	510	175	1,700	4.78	1974.36	12.08	49.00	48.89	0.11	11,220
	No.2-No.3	121	175	1,700	1.13	1972.94	12.37	48.89	48.86	0.03	3,060
	No.3-No.4	243	175	1,700	2.28	1969.71	13.32	48.86	48.81	0.05	5,100
	No.4-No.5	123	175	1,700	1.15	1961.19	20.69	48.81	48.78	0.03	3,060
	No.5-No.6	438	175	1,700	4.11	1958.59	19.18	48.78	48.68	0.10	10,200
	No.6-No.7	292	175	1,700	2.74	1955.69	19.34	48.68	48.62	0.06	6,120
	No.7-No.8	472	175	1,700	4.42	1951.03	19.58	48.62	48.51	0.11	11,220
	No.8-No.9	334	175	1,700	3.13	1947.59	19.89	48.51	48.44	0.07	7,140
	No.9-No.10	275	175	1,700	2.58	1944.66	20.24	48.44	48.38	0.06	6,120
	No.10-No.11	171	175	1,700	1.60	1942.18	21.12	48.38	48.34	0.04	4,080
	No.11-No.12	205	175	1,700	1.92	1939.86	21.52	48.34	48.30	0.04	4,080
	No.12-No.13	306	175	1,700	2.87	1936.09	22.42	48.30	48.23	0.07	7,140
	No.13-No.14	174	175	1,700	1.63	1933.88	23.00	48.23	48.19	0.04	4,080
	No.14-No.15	235	175	1,700	2.20	1931.86	22.82	48.19	48.14	0.05	5,100
	No.15-No.16	242	175	1,700	2.27	1928.30	24.11	48.14	48.09	0.05	5,100
	合計	4,141									92,820

外気温度	-10.0℃
保温材の熱伝導率	0.025
埋設深度	1.2
流速係数	125
管口径	175
区間距離	4,141
流量	1,700
区間損失水頭	4.11
地盤高	1958.59
有効水頭	19.18
出発温度	48.78
到着温度	48.68
温度差	0.10
損失熱量	10,200

表2 熱水輸送管 水理・温度計算-2

表5 熱水輸送管 水理・温度計算 - 2

管網 番号	管路区間	区間距離 m	管口径 mm	流量 l/m	区間損失水頭 m	地盤高 m	有効水頭 m	出発温度 ℃	到着温度 ℃	温度差 ℃	損失熱量 kcal/h
1	No. 1 - No. 2	250	150	1,700	4.96	1929.44	0.00	48.14	48.09	0.05	5,100
	No. 2 - No. 3	158	150	1,700	3.14	1912.95	7.25	48.09	48.06	0.03	3,060
	No. 3 - No. 4	382	150	1,700	7.59	1900.08	12.53	48.06	47.99	0.07	7,140
	No. 4 - No. 5	182	150	1,700	3.61	1889.64	19.36	47.99	47.95	0.04	4,080
	No. 5 - No. 6	324	150	1,700	6.43	1880.06	22.51	47.95	47.89	0.06	6,120
	No. 6 - No. 7	249	150	1,700	4.94	1862.69	34.93	47.89	47.84	0.05	5,100
	合計	1,545									30,600

外気温度 -10.0℃

保温材の熱伝導率 0.025

埋設深度 1.2

流速係数 125

表6 熱水輸送管 水理・温度計算 - 3

管網 番号	管路区間	区間距離 m	管口径 mm	流量 l/m	区間損失水頭 m	地盤高 m	有効水頭 m	出発温度 ℃	到着温度 ℃	温度差 ℃	損失熱量 kcal/h
1	No. 1 - No. 2	23	125	1,700	1.11	1849.78	11.80	47.89	47.89	0.00	0
	No. 2 - No. 3	40	125	1,700	1.93	1827.54	32.11	47.89	47.88	0.01	1,020
	No. 3 - No. 4	23	125	1,700	1.11	1813.85	44.69	47.88	47.88	0.00	0
	No. 4 - No. 5	18	125	1,700	0.87	1803.55	54.12	47.88	47.87	0.01	1,020
	No. 5 - No. 6	56	125	1,700	2.70	1774.01	80.96	47.87	47.86	0.01	1,020
	No. 6 - No. 7	39	125	1,700	1.88	1754.07	99.02	47.86	47.86	0.00	0
	No. 7 - No. 8	42	125	1,700	2.03	1733.11	117.95	47.86	47.85	0.01	1,020
	No. 8 - No. 9	42	125	1,700	2.03	1711.95	137.08	47.85	47.84	0.01	1,020

No. 9 - No.10	50	125	1,700	2.41	1691.80	154.82	47.84	47.83	0.01	1,020
No.10 - No.11	50	125	1,700	2.41	1668.64	175.57	47.83	47.82	0.01	1,020
No.11 - No.12	48	125	1,700	2.32	1649.64	192.25	47.82	47.82	0.00	0
No.12 - No.13	50	125	1,700	2.41	1628.60	210.88	47.82	47.81	0.01	1,020
No.13 - No.14	19	125	1,700	0.92	1620.78	217.78	47.81	47.80	0.01	1,020
No.14 - No.15	22	125	1,700	1.06	1614.50	223.00	47.80	47.80	0.00	0
No.15 - No.16	19	125	1,700	0.92	1609.72	226.86	47.80	47.80	0.00	0
No.16 - No.17	25	125	1,700	1.21	1603.49	231.89	47.80	47.79	0.01	1,020
No.17 - No.18	23	125	1,700	1.11	1597.61	236.66	47.79	47.79	0.00	0
No.18 - No.19	33	125	1,700	1.59	1590.05	242.62	47.79	47.78	0.01	1,020
No.19 - No.20	24	125	1,700	1.16	1583.92	247.60	47.78	47.78	0.00	0
No.20 - No.21	17	125	1,700	0.82	1580.31	250.39	47.78	47.78	0.00	0
No.21 - No.22	11	125	1,700	0.53	1577.81	252.36	47.78	47.78	0.00	0
No.22 - No.23	26	125	1,700	1.25	1571.32	257.59	47.78	47.77	0.01	1,020
No.23 - No.24	19	125	1,700	0.92	1566.19	261.80	47.77	47.77	0.00	0
No.24 - No.25	30	125	1,700	1.45	1558.99	267.56	47.77	47.76	0.01	1,020
No.25 - No.26	30	125	1,700	1.45	1552.72	272.38	47.76	47.76	0.00	0
No.26 - No.27	33	125	1,700	1.59	1546.07	277.44	47.76	47.75	0.01	1,020
No.27 - No.28	23	125	1,700	1.11	1542.56	279.84	47.75	47.75	0.00	0
No.28 - No.29	30	125	1,700	1.45	1538.65	282.30	47.75	47.74	0.01	1,020
No.29 - No.30	8	125	1,700	0.39	1537.57	282.99	47.74	47.74	0.00	0
No.30 - No.31	11	125	1,700	0.53	1534.53	285.50	47.74	47.74	0.00	0
合計	884									15,300

外気温度 -10.0℃

保温材の熱伝導率 0.025

埋設深度 1.2

流速係数 125

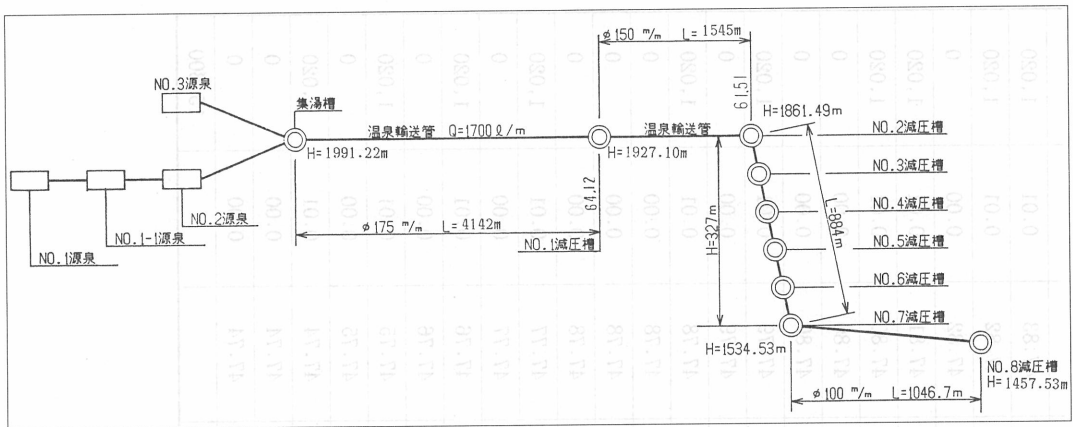


図4 温泉輸送管施設模式図

(3) 硫化水素の除去とスケール対策

① 輸送設備

分析表に示す通り136mg/lの多量の硫化水素を含んだ温泉が源泉集湯槽へ流入する。この温泉水が空気に接触した場合硫黄質沈殿物を生じ輸送管の障害となることは明かである。輸送管へ流入の前で温泉水から硫化水素をエアレーションにより揮散させてから送湯することが一般にとられる方法である。

しかしながら、この源泉地は標高2,000m、冬季の積雪は6m～8mに達し自然条件からも湯畑と称せられるような硫化水素の揮散設備を設けることは困難である。また、No.208(笹窪峠)以高の施設については積雪期の保守管理は不可能に近い。それ故源泉集湯槽(測点No.0)～No.208(笹窪峠)間は温泉水と空気の接触を遮断し輸送を行ない、No.208～No.238(No.7分湯槽)間に設けられた6ヶ所の中継槽において硫化水素の揮散除去を行なう方式を選定した。

その結果、所期の計画通りNo.0～No.208間(径176～径150mm距離約5,687m)は運開以来硫黄質沈殿物の沈積は皆無で12年を経過するも輸送管のスケール除去の必要はない。しかしながら、No.208～No.238(径125, L=884m)の輸送管及び中継槽では月に一度のスケール除去を行なう必要がある。

なお、この区間においても完全に硫化水素は除去し得ず、No.7中継槽以降でも硫黄質沈殿物を主体とする沈殿物の析出が見られ月一度の除去清掃を必要とする。

② 利用設備

温泉供給側では硫化水素の除去に対応しながら運営を行なっているが、浴槽への硫化水素の流入は皆無ではない。利用側では保健所、温泉供給公社の指導により換気扇、換気孔の設置に留意し利用を行なっている。

3 あとがき

本施設の設計施工に当って重点検討事項は次に示す4項目であった。

1) 河川敷に分散する源泉の集湯

本施設は着工に先だち湧出機構の解析を行ない予め湧出孔を予測し工事に着工した。河川敷右岸を掘削の結果予測通り右岸岩盤よりの湧出が認められ集湯に成功した。

2) 硫化水素の揮散除去とスケール対策

多量の硫化水素を含有する源泉では、源泉において揮散を行なった後輸送管に送ることが一般的であるが、本源泉は標高2,000mの高所に位置し積雪は6m~8mに達し揮散設備を設けることは困難である。それ故、冬期保守管理の不可能である、源泉~笹窪峠間約5,687m区間は温泉水をできるだけ空気との接触をさげ輸送することとし、硫化水素の除去は笹窪峠~No.7中継槽(分湯槽)間で行なうこととした。施工結果笹窪峠までは硫黄を主成分とするスケールの沈積は運開後12年を経る今日に至るも見られない。一方、笹窪峠以降の施設はスケールの沈積は激しく月に一度は除去を行なう必要がある。硫化水素対策も初期計画通り成功したと言えよう。

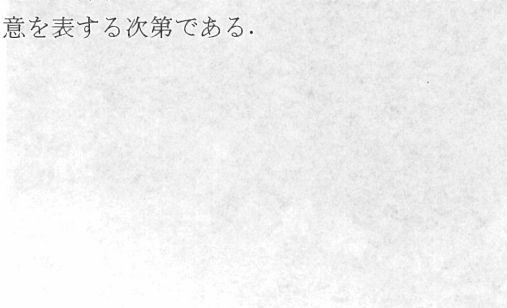
3) 泉温の低下の防止

源泉の集湯温度は当初47℃と予測したが施行結果では49℃であった。出来るだけ熱損失の防止に努め輸送すべく保温施工には入念な検討を行なった。保温材のλを利用温度に補正し熱損失計算を行なった。通湯結果では計算値と実際値が略一致し、温度低下は1℃であった。

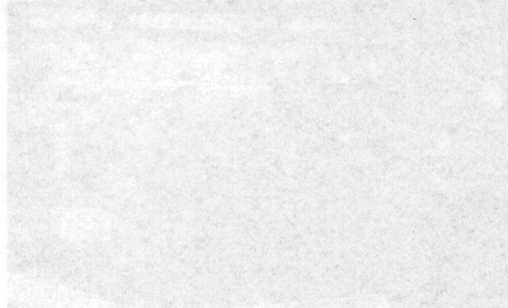
4) 使用材質の選定

着工に先だち、熱硬化性樹脂管2種、熱可塑性樹脂管2種類を源泉に搬入し配管を行ない材質試験を行なった。検討の結果、熱硬化性樹脂管である石綿紙ポリエステル積層管を選定した。運開後約12年を経過するも管材に関する問題点は皆無である。

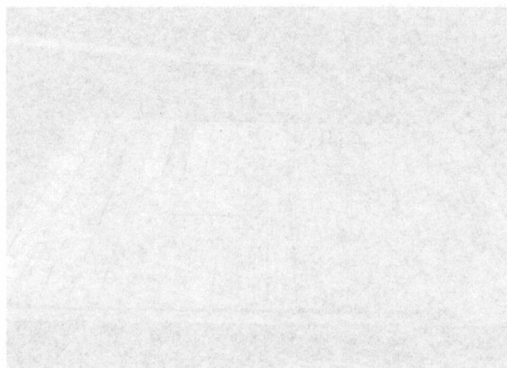
以上が主要課題と実施結果である。本工事の設計・施工に当り、岡山大学小坂丈予教授、埼玉大学小澤竹二郎教授、秋田大学高島勲助教授御三方に並々ならぬ御指導を賜った。ここに厚く謝意を表する次第である。



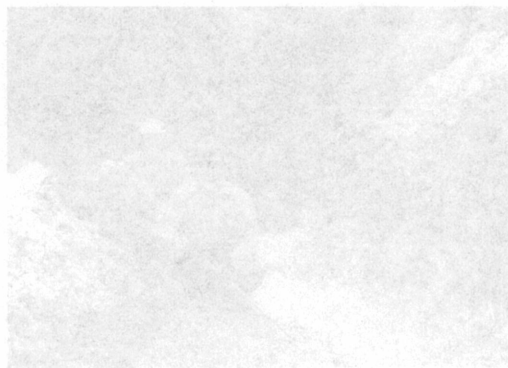
源泉の配管 写真



源泉の配管 写真



源泉の配管 写真



源泉の配管 写真

湯川源流の調査報告書(1) 湯川源流の調査報告書(1) 湯川源流の調査報告書(1) 湯川源流の調査報告書(1) 湯川源流の調査報告書(1)



写真1 湯川源泉地点

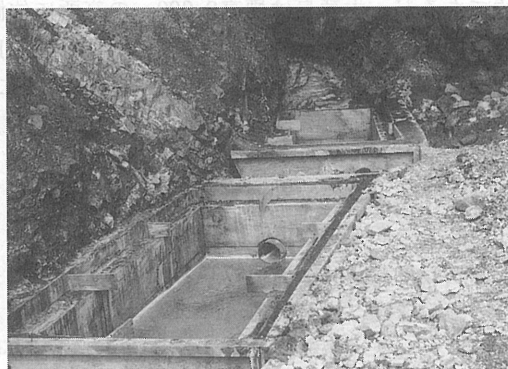


写真2 No. 1, No. 2 源泉

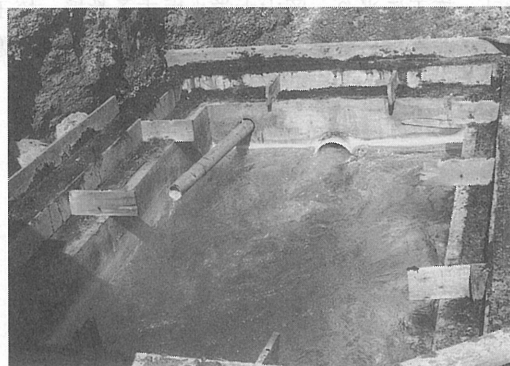


写真3 No. 3 源泉



写真4 No. 2 源泉



写真5 源泉掘削点



写真6 集湯槽

△マロヤ会大平岡02立陰会学採泉監本日



写真7 No. 1, No. 2 集湯槽

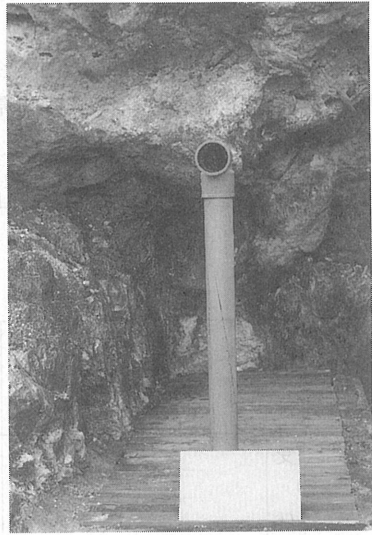


写真8 No. 1 源泉

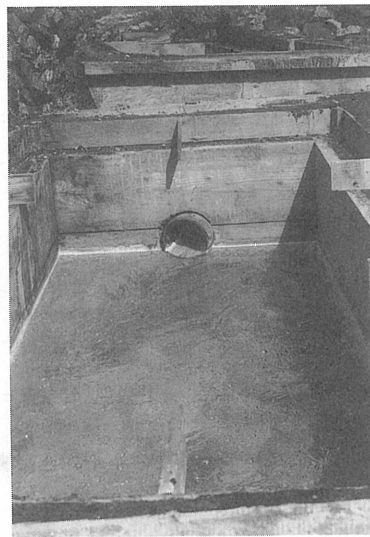


写真9 No. 2 源泉

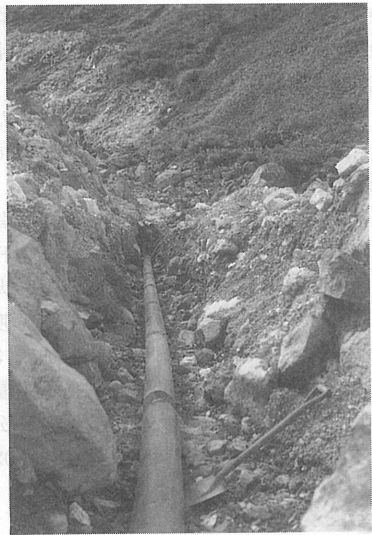


写真10 引湯管

賦
金
日

日
元
(日)

日
元
(日)

日
元
(日)

日
元
(日)

員
監
委
会
大

編
一

又
手
工

音
交