

H 27 源泉保護対策等検討業務
報告書

平成 29 年 3 月

公益財団法人中央温泉研究所

目 次

1. 業務の概要
2. 源泉保護対策等検討
 - 2-1. 既存資料のまとめ
 - 2-1-1. 地質及び地質構造関連資料
 - 2-1-2. 新湯開発までの既存資料（調査経過）
 - 2-1-3. 川原湯温泉の温泉と地質との関係について
 - 2-1-4. 川原湯温泉の新湯以外の源泉
 - 2-2. 機械ボーリング
 - 2-2-1. ボーリング調査の概要
 - 2-2-2. ボーリング調査の結果
 - 2-2-3. 考察
 - 2-3. 元の湯詳細調査
 - 2-3-1. 比抵抗二次元探査
 - 2-3-2. 地質調査および周辺源泉調査
 - 2-3-3. 元の湯源泉構造調査
 - 2-3-4. 源泉監理
 - 2-4. 解析等調査
 - 2-4-1. 機械ボーリング結果の考察
 - 2-4-2. 比抵抗探査結果の考察
 - 2-4-3. 元の湯源泉構造調査結果の考察
 - 2-4-4. 川原湯温泉の温泉流動・湧出状況に関する考察
 - 2-4-5. 元の湯詳細調査のまとめ
 - 2-5. 元の湯保護対策工法検討
 - 2-5-1. 保護施設の形状
 - 2-5-2. 保護構造物の形状
 - 2-5-3. 保護施設工の硫化物による劣化対策
 - 2-5-4. 源泉保護工の範囲と規模
 - 2-5-5. 施工部の形状寸法と構造条件
 - 2-5-6. 施工計画案
 - 2-5-7. 付属物
 - 2-5-8. 元の湯及び王湯湧出温泉泉以外の源泉の処置について
 - 2-5-9. ダム完成後に想定される温泉状況
 - 2-5-10. 幹線街路建設に際しての温泉影響

3. 打越暫定配管付替設計
 - 3-1. 暫定配管敷設の経緯
 - 3-2. 暫定配管付替の概略検討・比較
 - 3-3. 暫定配管付替設計
4. 協議資料作成

卷末資料

1. 業務の概要

1. 業務の概要

a) 業務の名称

H27源泉保護対策等検討業務

b) 業務の目的

本業務は、川原湯温泉における元の湯源泉の保護対策について検討するものである。また、協議等に必要な資料を作成するものである。

c) 業務の場所

群馬県吾妻郡長野原町地先

d) 履行期限

平成28年1月21日から平成29年3月31日まで

e) 発注者

国土交通省関東地方整備局 八ッ場ダム工事事務所調査設計課

群馬県吾妻郡長野原町大字与喜屋11

TEL: 0279-82-3477 (調査設計課直通) / FAX: 0279-82-4406

f) 受注者

公益財団法人中央温泉研究所

東京都北区滝野川三丁目56番9号

TEL: 03-6372-1126 (代表) / FAX: 03-4526-0755

g) 業務の内容

①計画準備

既存の資料の収集、現地状況の把握、各種条件の整理等、業務を履行する上で必要な計画準備を実施し、業務執行管理を実施することを前提に業務計画書を提出した。

②機械ボーリング

元の湯の保護構造物のための基礎地盤の性状を把握するために、元の湯源泉周辺において地質調査ボーリングを実施した。

③元の湯詳細調査

元の湯の源泉構造やその内部での温泉湧出構造、王湯源泉の所在や湧出状況、元の湯の温泉湧出の連続性などについて把握するため、下記の調査を行った。

i) 高密度比抵抗二次元探査

浅部における温泉の流動範囲を把握するため、源泉近傍における地層の比抵抗値測定（高密度比抵抗二次元探査）を行った。

ii) 地質調査および周辺源泉調査

温泉流動状況の解明に必要な温泉湧出と地質及び地質構造との関係を調査するとともに、地盤に緩みはないか、特に傾斜方向の亀裂等について調査を行った。

iii) 源泉枠構造詳細調査

源泉の湧出地点および旧川原湯温泉の旅館等への配湯管を含む源泉枠の内部構造を把握するため、源泉枠内について調査を行った。

iv) 源泉監理

調査中における温泉への配慮を行い、円滑に調査が進むよう管理を行った。

③解析等調査

元の湯詳細調査の結果を総合的に解析し、温泉の湧出機構を検討した。その結果に基づき、源泉保護対策のための範囲や方法について検討した。

④元の湯保護対策工法検討

「元の湯源泉を新湯配湯所へ揚湯する設備」及び「源泉を保護するための工法」について、過年度業務成果や地元への聞き取りを踏まえ、保護対策の優位性・経済性・施工性・維持管理・利便性・地域利活用等を考慮しつつ、技術的に実現可能な工法を決定した。

⑤打越地区暫定配管付替検討

新湯配湯所から打越配湯所までの暫定配管のうち、新湯配湯所から大沢中継所までの区間について、配管付替のためのルート検討および・数量計算を行った。設計にあたっては、周辺工事に支障が無いように設計した。

⑥関係機関協議資料作成

本業務において、関係機関との協議に必要な資料について作成した。

⑦報告書作成

本業務の成果品として、上記の結果をとりまとめ報告書を作成した。

2. 源泉保護対策等検討

2-1. 既存資料のまとめ

2-1-1. 地質及び地質構造関連資料

川原湯温泉周辺の地質、地質構造、温泉賦存状況について収集した既存資料は、以下に列記した通りである（年代順）。

- 1) 太田良平, 1957 : 5万分の1 地質図幅「草津」および同説明書、地質調査所.
- 2) 倉沢辰巳・佐藤 明・木崎善雄, 1985 : 草津白根火山およびその基盤岩類の地質年代、地熱、Vol. 22、No. 4 (Ser. 89).
- 3) 倉沢辰巳, 1992:群馬県川原湯新温泉源の開発について、地熱, Vol. 29, No. 4, p. 317-334
- 4) 中村庄八・藤本光一郎・中山俊雄・方違重治, 2016 : (巡検案内書) 群馬県吾妻地域における中期中新世以降の火山岩類と変質、地質学雑誌, Vol. 122, No. 8, p. 397-412
- 5) 八ッ場ダム工事事務所貸与資料

1) は地質調査所による地質図、2) は草津から川原湯地域にかけての地質構造を考察したものである。3) は川原湯温泉の新湯の開発に関連した調査（試錐調査を含む）、4) は平成28年度地質学会の巡検案内書であり、八ッ場ダム周辺の地質状況も概観している。

八ッ場ダム工事事務所から貸与された地質図及び層序表を図2-1-1及び表2-1-1に示す。



図 2-1-1 貯水池周辺地質平面図（ハッ場ダム工事事務所）

表 2-1-1 地質層序対比表（ハッ場ダム工事事務所）

地質時代	記号	地層名	層相・岩相	記号	貫入岩体	
第四紀 更新世 新世代	rd	現河床堆積層	円～亜円礫、砂等。			
	△dt△	崖錐堆積層	角礫、砂、粘土等。			
	Kb	鎌原火碎流堆積層	火山泥流による疊、火山灰。s			
	tr3-5	中～低位段丘堆積層	円～亜円礫、砂、粘土。一部に火山灰挟在。			
	df	土石流堆積層	角～亜円礫、砂、粘土等。			
	lm	ローム層	粘土質～砂質火山灰。			
	後期	Ok	庵桑岩屑流堆積層	火山山体の大規模崩壊により大岩塊～細粒物質基質は砂質の火山灰主体	Ok0 蘭含有率 70%以上 Ok1 蘭含有率 30～70% Ok2 蘭含有率 30%以下。	
		K.M.	菅峰安山岩類	溶岩。		
		S Utb	須賀尾峰安山岩類	凝灰角礫岩。		
		S Ula		溶岩。	S Yab	昇竜岩脈群
		T Ula		溶岩、貫入岩。		
		T Uvb	燕安山岩類	火山角礫岩。		
		T Utif		凝灰岩。		
		C Hla		溶岩主体。		
		C Hvb		火山角礫岩主体。		
N Ala			安山岩溶岩。			
N Atb	長野原層	安山岩質凝灰角礫岩。				
N Acg		礫岩。				
T Kla ₃		溶岩3。	T Kan	高間安山岩		
T Kla ₂		溶岩2。				
T Kla ₁	高間山安山岩類	溶岩1。				
T Kv _b		火山角礫岩類。				
T Kcg		礫岩。				
S tf		安山岩質凝灰岩、砂岩。				
S vb	白岩沢層	安山岩質火山角礫岩。				
S cg		火山円礫岩。				
S ms		泥岩。				
F Uan	不動岩安山岩	溶岩、貫入岩。角礫部含む。				
鮮新世	K Utb	久森石英安山岩類	溶岩。角礫部含む。	K Udc	久森石英安山岩	
	H Ala		安山岩溶岩。	H Aan	林安山岩岩脈	
	H Atb ₃		安山岩～玄武岩質火山碎屑岩類。	K po	川原湯斜長斑岩岩体	
	H Atb ₂		石英安山岩質凝灰角礫岩、軽石凝灰岩。	N po	温井石英斑岩岩体	
	H Atf		安山岩質凝灰岩。	N an	温井安山岩貫入岩体	
	H Afb ₁		安山岩質凝灰角礫岩。	O Gia	小倉安山岩貫入岩体	
	H Ams		泥岩。			
	H Ass		砂岩。			
中新世	H Acg		礫岩。			
	Y1t		優白質安山岩。	Y an	安山岩岩脈	
	Y vb ₂		Y vb ₁ , Y vb ₂ の上部層。			
	Y tf	八ツ場安山岩類	安山岩質凝灰岩。			
	Y vb ₁		異質礫を多く含む凝灰角礫岩。			
中新世	Y vb ₂		同質礫を多く含む凝灰角礫岩。			
	K Htf		安山岩質凝灰岩、砂岩。	K Han	安山岩岩脈	
	K Hsh		頁岩。			
	K Hla		安山岩質溶岩。			
	K Hvt		溶結凝灰岩。			
	K Htb		安山岩質凝灰角礫岩。			
	K Hcg	川原畠層	火山円礫岩、砂岩。			
K Hv _b		安山岩質火山角礫岩。				
(1 s)	地すべり	地質境界線				
(alt)	変質帶	断層				

倉沢（1992）による地質図を図 2-1-2 に、中村ほか（2016）による地質図を図 2-1-3 に示しておく。また、川原湯地区の地質層序については、中村ほか（2016）が研究者毎の対比表を作成しているが、本調査では中村ほか（2016）の対比表を参考に、倉沢（1992）及び表 1 の地質調査成果を含めて、表 2-1-2 に示す地質層序対比表を作成した。

以下、倉沢（1992）と中村ほか（2016）の地質図や地質記載に基づき、川原湯温泉周辺

に分布する地層（川原畠層、川原湯斜長斑岩、応桑岩屑流堆積物）の分布状況や特徴を記載する。なお、上記の地層名は八ツ場ダム工事事務所が採用している名称である。

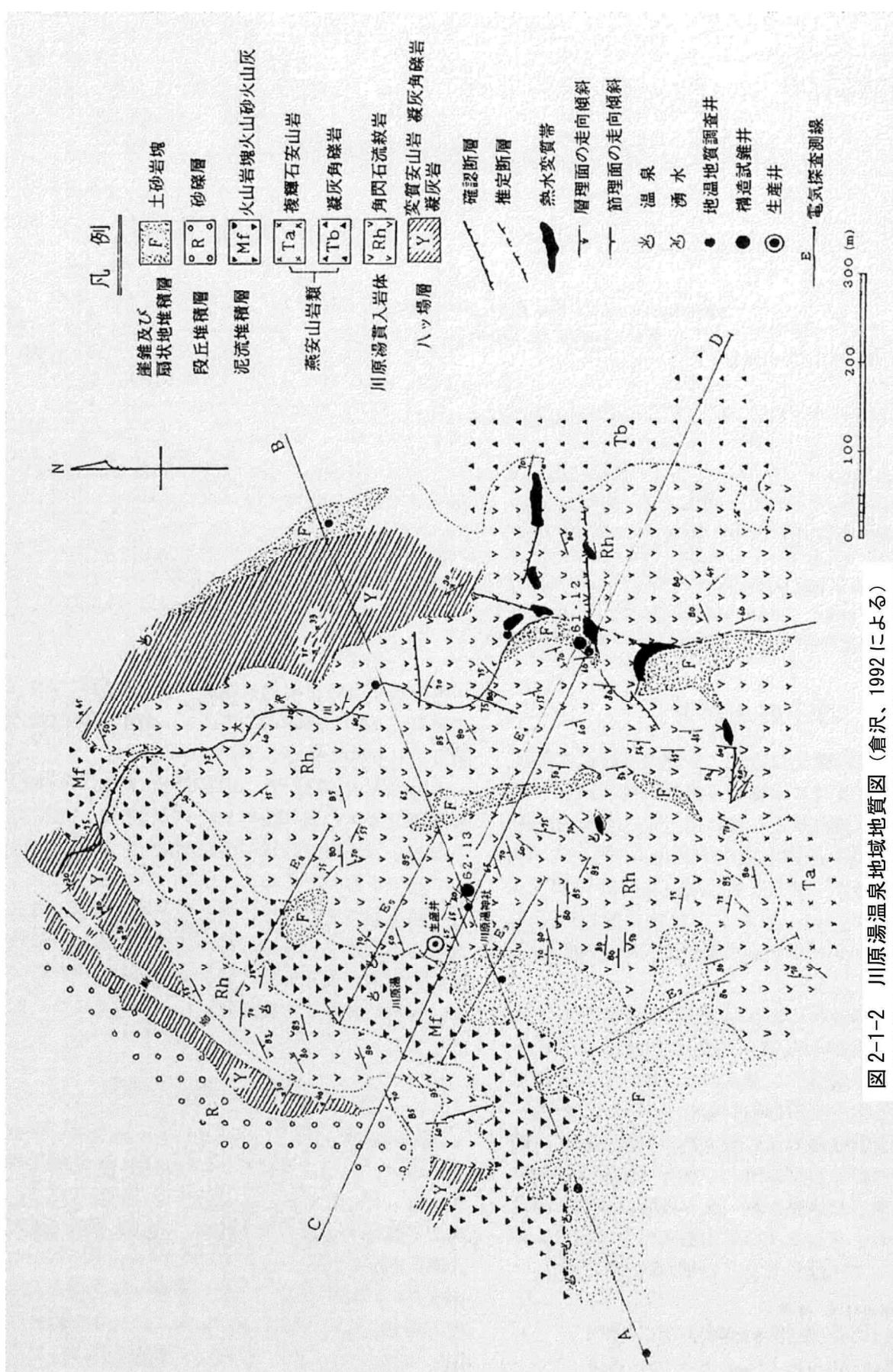
表 2-1-2 地質層序対比表

地質年代		八ツ場ダム工事事務所 (図 2-1-1)	倉沢(1992, 図 2-1-2)	中村(2016, 図 2-1-3)		
更新世	後期	応桑岩屑流堆積物	泥流堆積物	応桑岩屑なだれ堆積物(0k)		
	前期	菅峰安山岩類 須賀尾崎安山岩類 燕安山岩類 中継所安山岩類 長野原層 高間山安山岩類 白岩沢層 不動沢安山岩	燕安山岩類	菅峰層(Kp) 王城層(Oj)	白岩沢安山岩(Si) 不動沢安山岩(Fd)	
				須賀尾層(Sg)	須賀尾崎安山岩/石英安山岩(So)	
				川原湯峠層(Kr)		
鮮新世	後期	久森石英安山岩類 林層/川原湯斜長斑岩などの貫入岩体	川原湯貫入岩体	横壁層(Yk)	八ツ場 沢安山 岩(Ya)	久森石英安山岩(Km) 小坂石英安山岩(0s)
	前期	八ツ場安山岩類		八ツ場層(Yn)		川原湯石英斑岩/花崗閃綠斑岩(Ky)
	後期			根古屋溶結 凝灰岩(Ng)		
中新世	中期	川原畠層	八ツ場層	川原畠層(Kw)		

注：中村ほか（2016）を参考に再作成。網がけの地層は川原湯温泉周辺に分布する。

a) 川原畠層（図 2-1-1 の Kh、図 2-1-2 の Y (ハツ場層)、図 2-1-3 の Kw）

中村ほか（2016）によると、本層は主に川原畠から上湯原に至る吾妻川河床及び八ツ場沢上流地域と、川原湯斜長斑岩の周縁部に分布する。下部は玄武岩質凝灰角礫岩～火山角礫岩及びこれらと同質の溶岩の互層を主とし、上部は塊状のデイサイト質凝灰角礫岩からなる。全般に緑色を呈する変質（グリーンタフ変質）を受けている。倉沢（1992）の八ツ場層がこれに当たる。



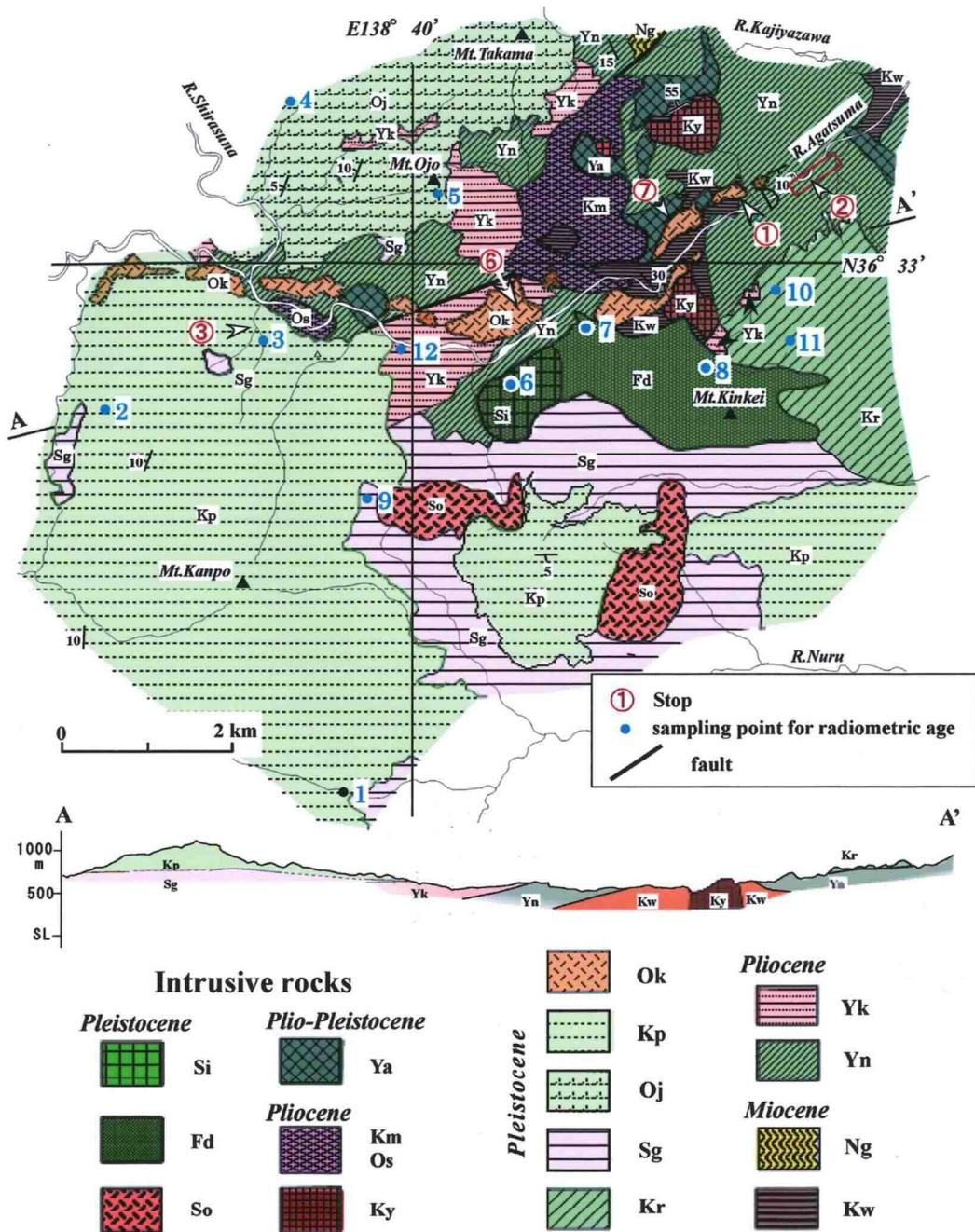


Fig. 2. Geological map of the Kawarayu area in northwestern Gunma Prefecture based on Nakamura et al. (1999). Explanations of the abbreviations of the rock units are provided in the text and Fig.5. Note that for simplification purposes, Okuwa Debris Avalanche deposit (Ok) is omitted in the cross section. Stop locations are marked by circled numbers.
第2図 群馬県北西部川原湯周辺域の地質(中村ほか(1999)に基づく)。地層名の略称は本文ならびにFig. 5に示す。応桑岩屑なだれ堆積物(Ok)は単純化のため断面図からは省いている。

図 2-1-3 川原湯温泉地域地質図 (中村ほか、2016による)

b) ハツ場層 (図 2-1-1 の Y**、図 2-1-2 には分布しない、図 2-1-3 の Yn)

中村ほか (2016) によると、本層は吾妻渓谷から JR 長野原草津口駅周辺の吾妻川流域に断続的に分布する。安山岩質凝灰角礫岩～火山角礫岩及びこれらと同質の溶岩の互層

を主とし、凝灰質砂岩層を挟む。緑色を呈する変質（グリーンタフ変質）を受けている。全般に水平～緩傾斜構造をとるが、吾妻渓谷沿いでは塊状をなす。倉沢（1992）のハッ場層は上記の川原畠層に当たる。

c) 川原湯斜長斑岩（図2-1-1のKpo、図2-1-2のRh、図2-1-3のKy）

中村ほか（2016）には詳しい記載はないが、倉沢（1992）によると本岩は南北方向に長軸を有するドーム状構造を呈し、ハッ場層（川原畠層）を貫いている。接触部の本岩体は自破碎化しているという。倉沢（1992）はハッ場ダム工事に関連して行われた神社裏構造試錐井や生産井（現在の新湯）から採取されたコアの中から新鮮な試料を選んで、K-Ar法による年代測定を行っており、 2.74 ± 0.21 ～ 3.15 ± 0.28 Ma（1 Ma は 100 万年前）という年代を得ている。

d) 横壁増、川原湯峠層（図2-1-1のTu、図2-1-2のTa, Tb、図2-1-3のYk, Kr）

中村ほか（2016）には詳しい記載はない。倉沢（1992）の燕安山岩類にほぼ相当し、川原湯温泉南方の標高 720m より高所に分布する。暗灰色細粒でクリストバライトを含む複輝石安山岩からなる。板状節理が発達し、K-Ar法による年代は 1.4 ± 0.4 Ma を示す。大沢川右岸の標高 650m より高所には、場所によっては 1m 角の安山岩塊やレンガ色の安山岩礫を含む泥流性の凝灰角礫岩（火山角礫岩）が分布する。

e) 応桑岩屑流堆積層（図2-1-1の0k、図2-1-2のMf、図2-1-3の0k）

倉沢（1992）によると、吾妻川沿いの標高 540m より高所に分布する径 200mm 以下の稜角が取れた安山岩礫と火山灰、火山砂の混合物で、その混合比は場所によって著しく異なる。含まれる木片の ^{14}C 年代は 2.4×10^4 年前（24,000 年前）を示している。これは上流域に分布する大桑泥流、前橋付近に分布する前橋泥流に対比され、中村ほか（2016）による大桑岩屑なだれ堆積物に相当する。中村ほか（2016）によれば、本層は、吾妻川流域の段丘面上及び河床面より比較的上位の緩斜面上に分布し、しばしば数～10 数 m の巨大ブロックを含む塊状無層理の火山碎屑物である。浅間火山黒斑期の山体崩壊物であり、応桑から前橋までの 60km にわたり土石流から泥流へと著しい層相変化を示す。下流ほど粒径が揃い、厚さも 10 数 m に安定する。この堆積物（前橋泥流）直上の泥炭層から $24,000 \pm 650$ yBP（ $24,000 \pm 650$ 年前）という ^{14}C 年代が得られている。

f) 地質構造（断層、熱水変質帯）

倉沢（1992）によると、断層や热水変質帯の発達は大沢川中流域に限られ、現在温泉が湧出している付近に大規模なものは見られない。断層は南北系と東西系のものがあり、この断層の周辺部にのみ変質帯を形成している。南北系の断層は幅 1.8m の破碎帯を伴い、周辺に 5～10cm 間隔のスライス状の割れ目が発達している。

2-1-2. 新湯開発までの既存資料（調査経過）

現在の川原湯温泉における主要源泉である新湯に関して、八ッ場ダム工事事務所から貸与された資料に基づいて、開発に至るまでの経過以下に概観しておく。

現在の新湯を開発するまでに、図 2-1-4 に示した地点で試掘が行われているが、試掘孔に関する記載は省略する。

新湯の掘削は、1989 年 2 月 20 日より開始し、同年 8 月末には深度 360m までの掘削工事が終了している。その後、影響試験や揚水試験（自噴のため湧出試験）を実施し、11 月 20 日には全工事が終了している。

新湯の掘削柱状図を図 2-1-5 に示す。

深度 150m までは 9 (5/8) インチ (244.5mm) のトリコンビットで掘削し、200A の配管用炭素鋼鋼管 (JISG-3452 SGP) を挿入した。200A 鋼管の外周と孔壁との空隙部には、フルホールセメンチングを施している。

深度 150m 以深は 5 (5/8) インチ (142.9mm) のトリコンビットを使用して掘削したが、深度 221.20m において水量約 900ℓ/min、温度 69.8℃ の湧水が確認されたことから、既存源泉（元湯）への影響を調査するため掘削を一時中断した。影響調査の結果、掘削井の湧出量を約 30ℓ/min に限定すれば、元湯に影響がないことが確認された。

この影響調査にもとづいて、当初のケーシングプログラムを変更して、深度 300m まで 150A 鋼管をケーシングすることになった。このため、深度 150m～221.20m 間を 7 (5/8) インチ (193.7mm) のトリコンビットでリーミング（拡孔）して、そのまま掘削を継続したところ、深度 296m 付近で再び 200ℓ/min、水温 71℃ の湧水が確認された。この湧水を止めるために、深度 310.40m まで掘削した上で、孔内に 150A 圧力配管用炭素鋼鋼管 (STPG) を地表部から孔底まで挿入し、300m～孔底にスポットセメンテーションを施した。

310.40m 以深は 5 (5/8) インチ (142.9mm) のトリコンビットで、深度 500m を目標に掘進したが、深度 356.6m で再度湧水が確認されたため、直ちに掘削を中断して湧出量と温度を測定したところ、湧出量 21650ℓ/min、温度 80.0℃ を確認した。この湧出量が予想外に多量であり、水温も 80.0℃ と高温であったことから、深度 360m で掘削を打ち切り、100A 圧力配管用炭素鋼鋼管 (STPG) を地表部から孔底 (360m) まで挿入することに決定した。

なお、深度 332.8m～360.0m には丸穴ストレーナを設置し、深度 316.5m～321.9m 間には遮水を施した。

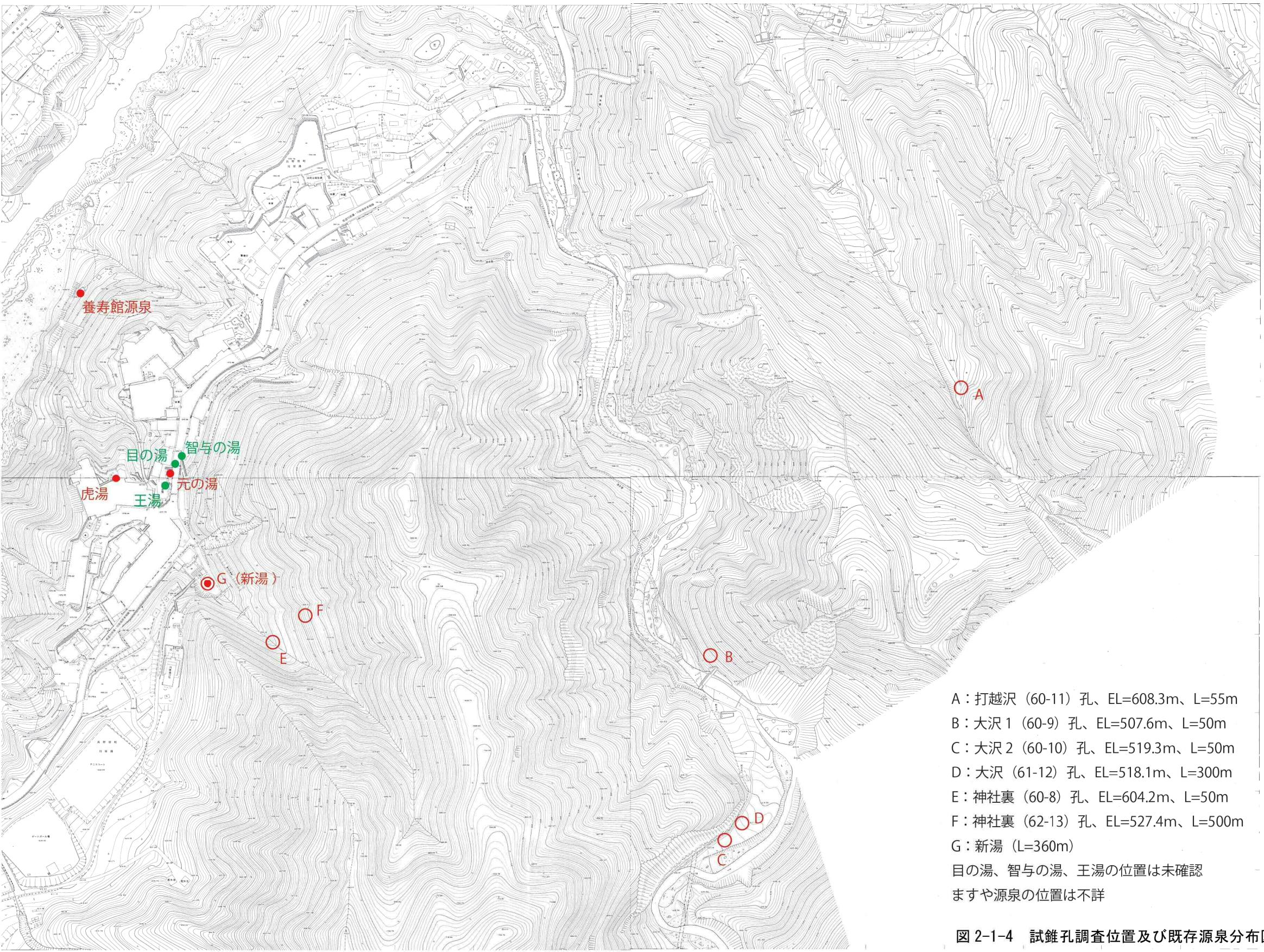


図 2-1-4 試錐孔調査位置及び既存源泉分布図

深 度 m	孔井断面		柱 状 図	地 層 名	コアスロット 観 察 事 項	湧水状況
	掘削口径	ケーシング 呼び径				
100	244.5mm	200ASGP			43.0～44.0m：灰色の塊状コア、1mm大の斑晶を多く含む。	43.0m 25.0 /min 18.5°C
150m	0～150.0m フルホールセメンティング				59.0～61.5m：灰色の短棒～棒状コアで、斑晶は1～1.5mm大。広角の方解石脈、晶洞が多く見られる。	67.0m 40.0 /min 35.0°C
200	193.7mm	150ASTPG	川原湯 流紋岩 ／ 角閃 石 流 紋 岩		101.5～104.0m：灰～帯緑暗灰色、棒状～短棒状コアで、1～1.5mm大の斑晶を多く含む	
300	310.4m 316.5～321.9m 遮水バッカ 142.9mm 360.0m	300.0～310.4m フルセメンティング 100ASTPG 332.8～360.0m スクリーン			152.0～153.3m：暗灰色、斑晶1mm以下で細粒。広角の方解石脈が多い。 201.2～204.3m：暗灰色、斑晶1mm以下で細粒。緑灰色の脈状変質が見られる。 221.2～224.4m：帯緑灰色1～2mm大の白色斑晶が自立つ。全体に方解石脈が多く、もまれている。	221.2m 90.0 /min 69.8°C
					310.4～311.6m：暗緑灰色斑晶1mm以下で細粒。全体に優黑色。同源捕獲岩がみられる。	296.1m 110.0 /min 71.0°C
					345.1～348.2m：暗緑灰色斑晶1mm以下で細粒。一部方解石脈が発達し、塊状コアとなる。	356.6～358.0m 2100.0 /min 81.0°C

(株) 日さく、1991による

図 2-1-5 新湯掘削柱状図

掘削工事終了後、新湯の湧出量・孔口圧力・湧出温度の観測と、元湯の湧出量に対する影響観測を行っている。この調査は約10ヶ月にわたって実施され、段階試験時の安定湧出量が81L/min(孔口圧力3.60kg/cm²)の時と、100L/min(孔口圧力3.55kg/cm²)の時のデータを用いて、被圧地下水に適用される平衡式(デュピーの式)によって水理定数を算定し、次のようなデータが得られている。

- ・静水頭 (H) = 38.10m
- ・透水係数 (k) = 3.44×10^{-3} cm/sec
- ・透水量係数 (T) = 9.37×10^{-4} m²/sec

また、今回の段階試験結果からは新湯における限界揚水量にあたる適正採取量は見いだせなかったが、元湯への影響を考慮した場合、新湯の初期湧出量 350L/min、安定湧出量

250L/min 程度が適正であると結論づけている。

2-1-3. 川原湯温泉の温泉と地質との関係について

倉沢（1992）は構造試錐井や生産井の結果を踏まえて、図 2-1-6 に示す模式的な地質断面図と地温構造図を作成している。新湯は川原湯流紋岩（斜長斑岩）の中を 360m 掘削していて、深度 316.5m～321.9m 間には遮水を施し、深度 332.8m～360.0m に丸穴ストレーナを設置していることから、川原湯流紋岩中に賦存する温泉を採取していることが明らかである。本図では、新湯を中心に高温域が形成されていることが表現され、温度分布状は新湯の直下から温泉が上昇していることが伺われる。

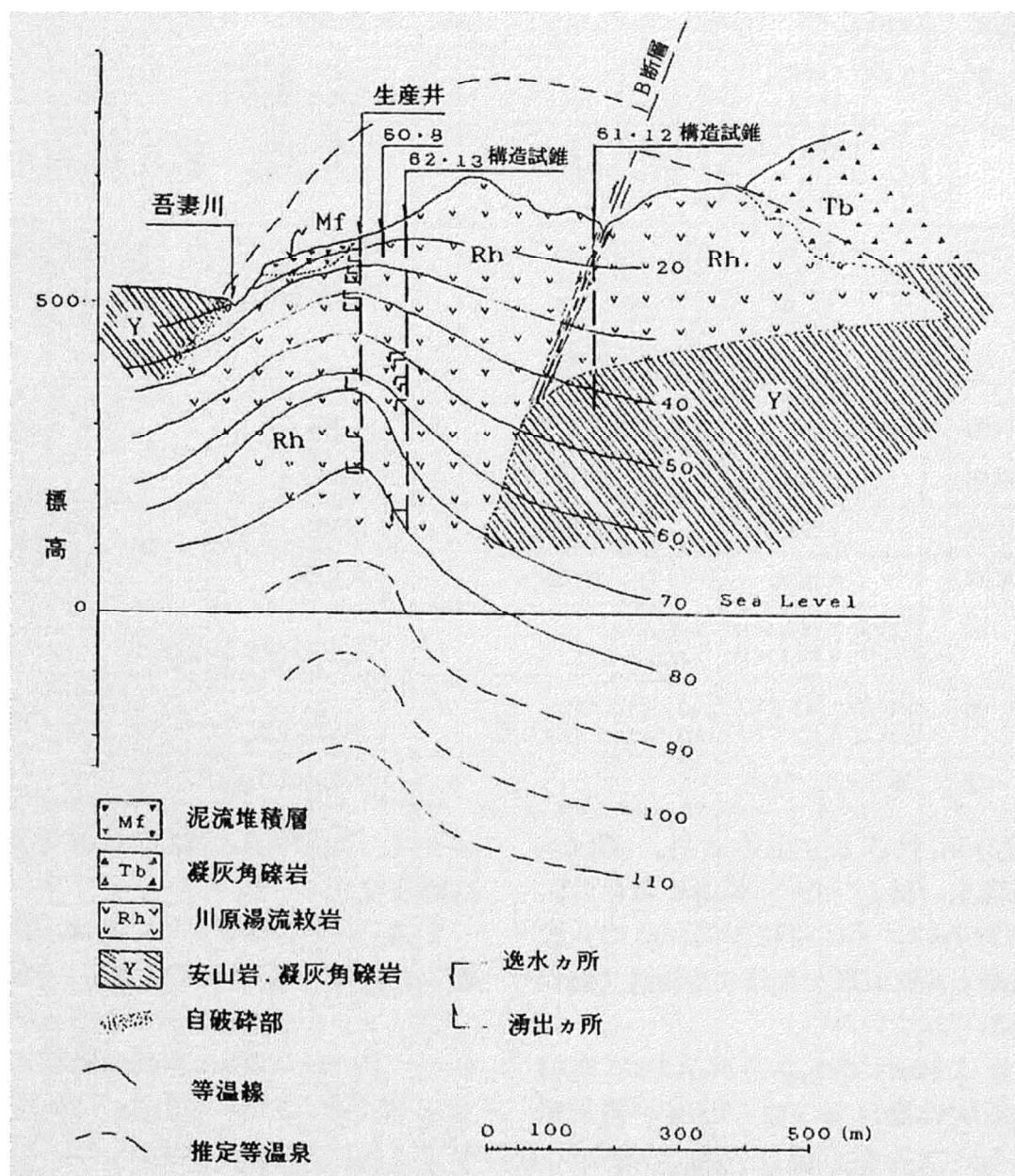


図 2-1-6 川原湯温泉模式地質断面図及び地温構造図

2-1-4. 川原湯温泉の新湯以外の源泉

川原湯温泉には上記した新源泉（新湯）以外に、県の源泉台帳に記載されている源泉として、元の湯、虎湯、智与の湯、目の湯、ますや源泉、養寿館源泉がある。この他、過年度に実施された温泉調査資料には王湯源泉が記載されている。これを図2-1-7に示しておく。

本図には王湯源泉の他、目の湯、智与の湯、元の湯の所在が明記されているが、王湯源泉は県の源泉台帳には記載されていない。また、本図にある目の湯、智与の湯の実際の所在は確認できていない。

ますや源泉、虎湯、養寿館源泉は図2-1-7の範囲外にあり、虎湯、養寿館源泉の所在位置は確認できるが、ますや源泉の所在位置は不詳である。

これまで、旧町道下にあるのが智与の湯、旧丸木屋地下にあるのが目の湯と思っていたが、実際は逆である（図2-1-7は訂正済み）。また、平成17年12月には王湯露天風呂建物脇の通路の町道石垣下から湧出する水を智与の湯として分析している。これは、目の湯とされた湧出口（写真2-1-1）よりもやまきぼし側で、やや高い位置にある塩ビ管から湧出する水（写真2-1-2）を採取したものである。しかし、図2-1-8の位置関係から見ても、これが智与の湯に該当する可能性は低いので、本報告の中では目の湯湧水として取り扱うことにする。この水は水温が9.2°Cでほぼ地下水化しており、元の湯の温泉成分とは異なる組成を示している。写真2-1-1では目の湯の湧出口は湿っているが、湧出量としては確認できず、採水もできない程度の湿りである。

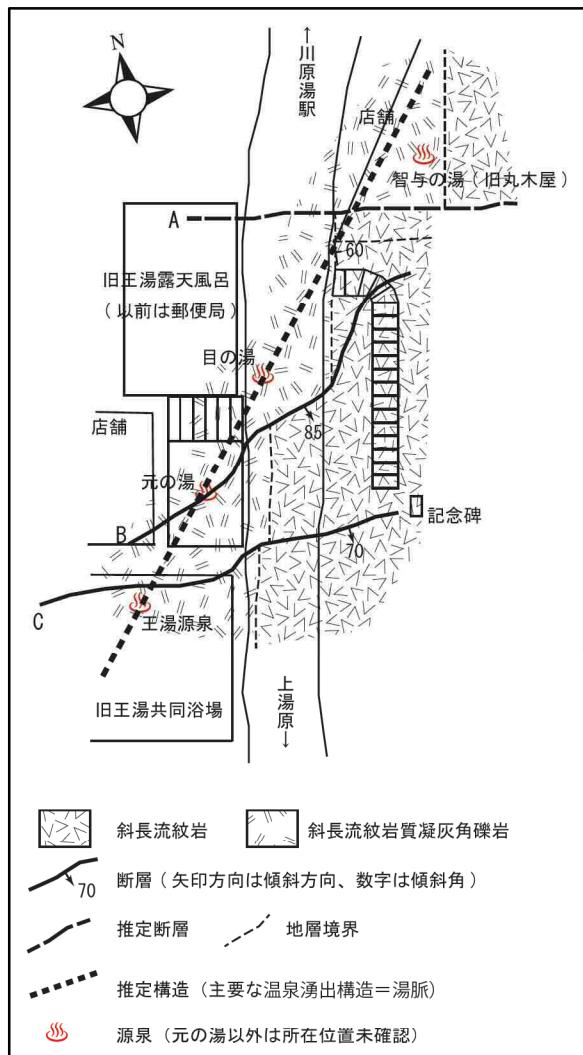


図2-1-7 元の湯周辺の既存源泉位置図



写真 2-1-1 目の湯の湧出口 (H17. 12)



写真 2-1-2 王湯会館通路の状況 (H17. 12)

以下、新湯、元の湯源泉以外の川原湯温泉の源泉について、県からの聞き取りによる概略的な履歴を記載しておく。

a) 目の湯（写真 2-1-1、2-1-2）

県有泉であり、組合等が使用していたという。平成 3 年には 41.8°C の記録があるが、以降は次第に温度が低下し、平成 13 年には 20.4°C、0.58L/min となっている。それ以降は測定不能となって、平成 24 年 3 月に廃孔届けが出されている。

b) 智与の湯

平成 14 年には 25.6°C の泉温を有していたが、次第に低温化し、平成 19 年には 15.1°C、0.4L/min という状況であった。以降は湧出なしの記録が続き、平成 24 年 2 月に廃孔届けが出されている。土地所有者と温泉利用者は個人である。

c) 虎湯（写真 2-1-3）

旧みよしや旅館の敷地内にあったものだが、量が少ないため、旧みよしや旅館が営業中であっても、ほとんど使用されていなかった源泉である。新湯などとともに、温泉定期観測の対象源泉であったが、平成 22 年 12 月に廃孔届けが出されている。



写真 2-1-3 虎湯源泉 (H17. 11)

d) 養寿館源泉（写真 2-1-4）

平成 19 年に廃止されているが、温泉の湧出は現在でも確認される。元の湯よりも吾妻川に近い低所部に存在していて、湧出温度は低く、湧出量もごく微量となっている。平成 17 年 12 月の調査時には 27.1°C の温度が確認された。

e) ますや源泉

当時のますや旅館が所在していた大沢よりも北東（旧 JR 川原湯温泉駅）側の沢に位置していたといわれているが、源泉位置は未確認である。平成 18 年 2 月時には、ますや旅館において微量の温泉湧出が確認され、採水し、分析を行っている。湧出量は微量で、配管距離も長いことから、温度は気温の影響を大きく受け、8.4°C に過ぎなかった。この源泉は平成 20 年に廃孔届けが出されている。

f) 王湯源泉

県の源泉台帳には掲載されていない、王湯共同浴場内に存在する源泉である。

王湯共同浴場の室内風呂には、男女浴槽それぞれに 3 つの温泉給湯口のあることが確認される。その一つは新湯から補給されているもので、室外から導入されている露出配管である。他の二つは男女浴槽を隔てる壁から伸びる配管で、2 口がほぼ接して存在している。一つは元の湯から供給されるものであり、他の一つが王湯源泉から供給されているものと推測される。

上記源泉については、過年度業務において温度や湧出量の計測をしているので、表 2-1-3 にその結果を示しておく。



写真 2-1-4 養寿館源泉 (H18. 2)

表 2-1-3 川原湯温泉他源泉の測定結果表 (H17)

源泉名	測 定		気温 °C	水温 °C	湧出量 ℓ/min	EC* mS/cm	pH	備 考
	年月日	時刻						
目の湯	2005(H17)/12/14			—	—	—	—	湧出なし
	2006(H18)/3/6			—	—	—	—	湧出なし
智与の湯	2005(H17)/12/14		3.0	9.2	0.8	0.13	7.88	分析
	2006(H18)/3/6	13:30		—	—	—	—	湧出なし
虎湯	2005(H17)/11/18		9.5	60.3	—	2.81	7.19	
	2006(H18)/2/3			57.7	2.0	2.78	7.58	Th 採水
養寿館源泉	2005(H17)/12/7	9:10		27.4	5.1	2.87	7.68	
	2005(H17)/12/14		4.0	27.1	4.8	2.88	7.89	分析
	2006(H18)/2/2	15:45	4.7	26.8	—	2.81	7.54	Th 採水
	2006(H18)/3/6	14:45	11.2	26.4	4.9	2.81	7.86	
ますや	2006(H18)/2/3	9:48	3.0	6.2	1.8	2.95	8.35	分析+Th 採水
	2006(H18)/3/6	14:10	12.3	9.2	2.0	2.44	8.52	

*25°C、2.5%補正

以上のように、川原湯温泉の既存源泉のうち、新湯は掘削自噴源泉で湧出量、温度ともに優勢な源泉であって、八ッ場ダムの湛水域よりも上位に位置することから、八ッ場ダムの建設に伴う保護や対策の必要性はなく、新たな川原湯温泉における主力源泉として利用され続ける。

これに対して、元の湯源泉は自然湧出泉であり、新湯が開発されるまでは川原湯温泉の主力源泉として利用されてきた温泉地のシンボル的な存在でもある。この源泉はダム湛水域内にあって、ダムが完成すると水没する位置にあることから、ダム完成後も使用するために、適切に保護する必要がある。

他の既存源泉はすべて廃止されており、元の湯のように保護する必要はない。しかし、これら源泉を通して、保護された元の湯にダム湖水や表流水、地下水が浸透したり、逆に元の湯から温泉が拡散したりするような障害を発生させないよう、元の湯を保護する際、温泉湧出等を適切な方法で遮断することが必要となる。

こうした源泉保護の範囲や方法、規模、温泉湧出の遮断方法などを決定するには、元の湯周辺の温泉賦存範囲や元の湯に温泉を供給する仕組み（温泉湧出機構）、他の源泉とのつながり、源泉枠の構造と枠内での温泉湧出部位、元の湯周辺の地盤の性状などの情報を得る必要がある。これらの点を明らかにするために、調査ボーリング、地質調査や周辺温泉調査、比抵抗探査、元の湯の源泉枠内部の状況調査などを実施した。

2-2. 機械ボーリング

元の湯の保護を行う上で必要となる基礎地盤の性状を把握するために、元の湯源泉周辺において地質調査ボーリングを3地点で実施した。実施地点を図2-2-1に示す。

川原湯温泉に存在する源泉状況については前述した通りであり、今回のボーリング地点の近くには元の湯がある。

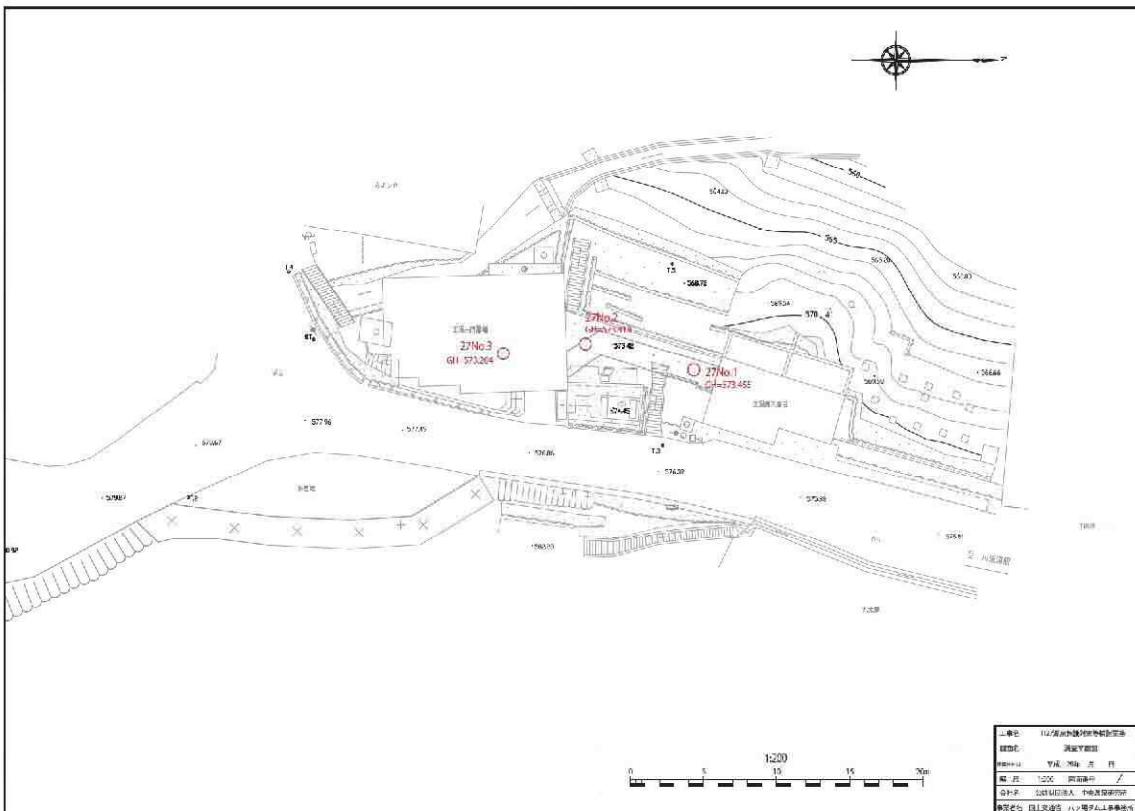


図2-2-1 ボーリング調査実施地点図

2-2-1. ボーリング調査の概要

今回実施したボーリング調査は、いずれも温泉の湧出を確認したが、源泉保護構造物（井筒）の基礎となり得る岩盤の性状が確認されたことなどから、実施数量は表2-2-1の通りとなった。

なお、27No.1孔と27No.2孔とは井筒の設置が想定される付近にあたり、温泉の湧出の有無と岩盤の性状の確認が主な目的となっている。27No.3孔は元の湯源泉からの温泉の連続性（王湯源泉の存在）を確認することを主な目的としている。

表 2-2-1 ポーリング調査数量表

機械ボーリング

地点	方向	孔径 mm	深度 m	砂～砂質土	礫混じり土砂	軟岩 m	備考
27No. 1	鉛直・下方	φ 66	6.0		5.6	0.4	
27No. 2	鉛直・下方	φ 66	5.0	0.4	3.0	1.6	
27No. 3	鉛直・下方	φ 66	3.0		1.0	2.0	
合計			14.0	0.4	9.6	4.0	

標準貫入試験

地点	方向	孔径 mm	深度 m	礫混じり土砂	軟岩 m	備考
27No. 1	鉛直・下方	φ 66	5.0	5	0	
27No. 2	鉛直・下方	φ 66	5.0	3	2	
27No. 3	鉛直・下方	φ 66	2.0	1	1	
合計			12.0	9	3	

2-2-2. ポーリング調査の結果

a) 27No. 1 孔

27No. 1 孔は、王湯会館（露天風呂）に近い場所を掘削地点とした（写真 2-2-1 参照）。その付近には谷側の石垣直上にパイプが敷設されていたことも勘案して掘削地点を選定した。

本孔の柱状図とコア写真を図 2-2-2 に示す。

深度 6.00mまでの掘削で、基礎地盤としての強度が得られた。深度 0.3m まではコンクリート、0.3~0.8m の 50cm 間はシルト混じり砂礫、0.8~5.9m までは集塊岩、5.9m から孔底の深度 6.0m までは斜長斑岩となっている。深度 5.9m の集塊岩と斜長斑岩との接触部は密着しているが、集塊岩の部位に当たる深度 5.85m に 60° 傾斜の開孔亀裂が確認され、その亀裂から温泉が湧出した。

ケーシング管插入により、ケーシング管内部の地上 +0.53~0.67m の位置で静水位を形成した。これは、元の湯の温泉湧出レベルとほぼ同程度である。ポーリング孔からの温泉湧出によって、元の湯の温泉湧出状況は鋭敏に反応し、極めて短時間で元の湯からの温泉湧出は停止した。



写真 2-2-1 27No. 1 孔の掘削

ボーリング柱状図

業務名称 H27源泉保護対策等検討業務
孔番 27No.1孔
掘進方向 鉛直下向き
掘削深度 0.00~6.00m
孔口標高 573.46
受託機関 公益財団法人 中央温泉研究所



図 2-2-2 27No. 1 孔の地質柱状図とコア写真

ここで注目されることは、王湯湧出温泉は元の湯の温泉が干上がってしまった直後であっても、温泉の湧出は継続していたことである。このことから、王湯湧出温泉は少なくとも元の湯源泉の内部（湯溜まり）からパイプ等によって直接供給されている温泉ではないことが明らかとなった。

b) 27No. 2 孔

27No. 2 孔は、元の湯源泉前を掘削地点とした（写真 2-2-2 参照）。

本孔の柱状図とコア写真を図 2-2-3 に示す。

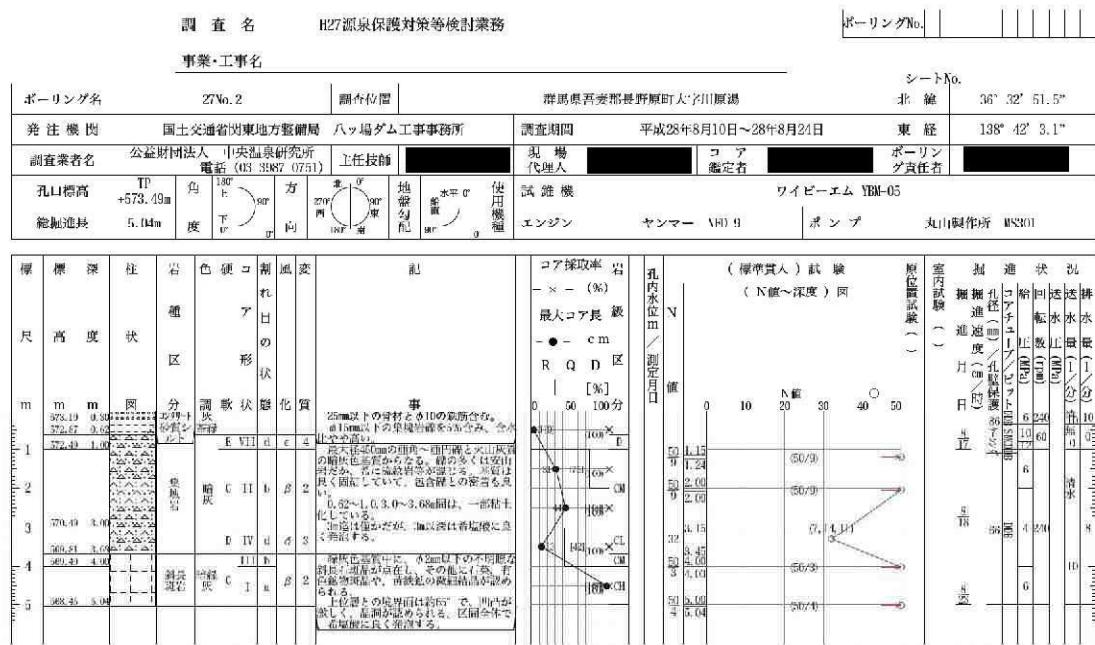
深度 5.04m までの掘削で、基礎地盤としての強度が得られた。深度 0.62m まではコンクリートとシルト、深度 3.68m までは集塊岩、孔底の深度 5.00m までは斜長斑岩となっている。深度 3.68m の集塊岩と斜長斑岩との接触部は 65° 傾斜で、凹凸が激しく、晶洞も認められ、温泉の湧出亀裂となっている。この孔では斜長斑岩を 1.36m くり抜いているが、斜長斑岩内部には亀裂が乏しい。

本掘削孔では 27No. 1 孔での経験を元に、温度が 50°C 程度に達したらすみやかにケーシング管を挿入し、温泉湧出に備えることにした。深度 3m までの掘削が完了した翌朝の作業前に、53.5°C の温度に達したことから、この日の掘進は行わず、ケーシング管の設置のみを実施した。その後、深度 4m まで掘削し、斜長斑岩に到達したところで温泉湧出を確認した。しかし、本孔ではケーシング管を挿入していたため、温泉水位は地盤高以上を維持していたことから、元の湯への影響はほとんど確認されなかった。このことから、さらに深度 5.04m まで掘削を継続し、地盤強度の確認を行った。



写真 2-2-2 27No. 2 孔の掘削

ボーリング柱状図



業務名称 H27源泉保護対策等検討業務

孔番 27No.2孔

掘進方向 鉛直下向き

掘削深度 0.00～5.04m

孔口標高 573.42

受託機関 公益財団法人 中央温泉研究所



図 2-2-3 27No. 2 孔の地質柱状図とコア写真 (2)

b) 27No. 3 孔

27No. 2 孔は、王湯会館共同浴場跡の男湯浴槽と道路側壁の間を掘削地点とした（写真 2-2-3 参照）。

本孔の柱状図とコア写真を図 2-2-4 に示した。

深度 3.00mまでの掘削で、深度 1.0mまではコンクリート、深度 2.0mまでは集塊岩、孔底の深度 3.0mまでは斜長斑岩となっている。集塊岩の中の深度 1.55mの部位には粘土化を伴う亀裂が存在し、温泉の湧出亀裂となっている。集塊岩と斜長斑岩との接触部は 45° 傾斜を示す。斜長斑岩自身も亀裂に飛んでおり、温泉の流動の場となっている。

本掘削孔では、掘削着手当日に深度 2mまでの掘削が完了し、斜長斑岩には到達していなかったが、最後に 58.1°C の温泉湧出を確認した。翌日、深度 3mまで掘削を継続し、2m以深で斜長斑岩に到達したことを確認した。



写真 2-2-3 27No. 3 孔の掘削

ボーリング柱状図

業務名称	H 27源泉保護対策等検討業務
孔番	27No.3孔
掘進方向	鉛直下向き
掘削深度	0.00～3.00 m
孔口標高	573.20
受託機関	公益財団法人 中央温泉研究所

図 2-2-4 27No. 3 孔の地質柱状図とコア写真

2-2-3. 考察

- ① 今回のボーリングの結果、温泉は集塊岩と斜長斑岩との境界部か、境界部に近い集塊岩中に発達した亀裂を通して流動・湧出している。
 - ② ボーリング孔で確認された温泉湧出面（ほぼ集塊岩と斜長斑岩の境界面）は、一つの面を構成しているものと思われ、この温泉湧出面が地表面と接したところが亀裂とな

って出現することになる。この地表部に出現した亀裂は、元の湯源泉内部の温泉湧出箇所に相当する可能性がある。

- ③ 標準貫入試験は、3孔ともにN値50以上が得られ、基礎地盤としての強度があることを確認した。
- ④ 各孔を連ねた地質断面図を作成すると(図2-2-5)、集塊岩の厚さは北部(27No.1孔)ほど厚く、南部(27No.3孔)ほど薄い。これは、地表に出現した亀裂との隔離距離が27No.1孔で最も大きく、27No.3孔で最も小さいことを示唆する。

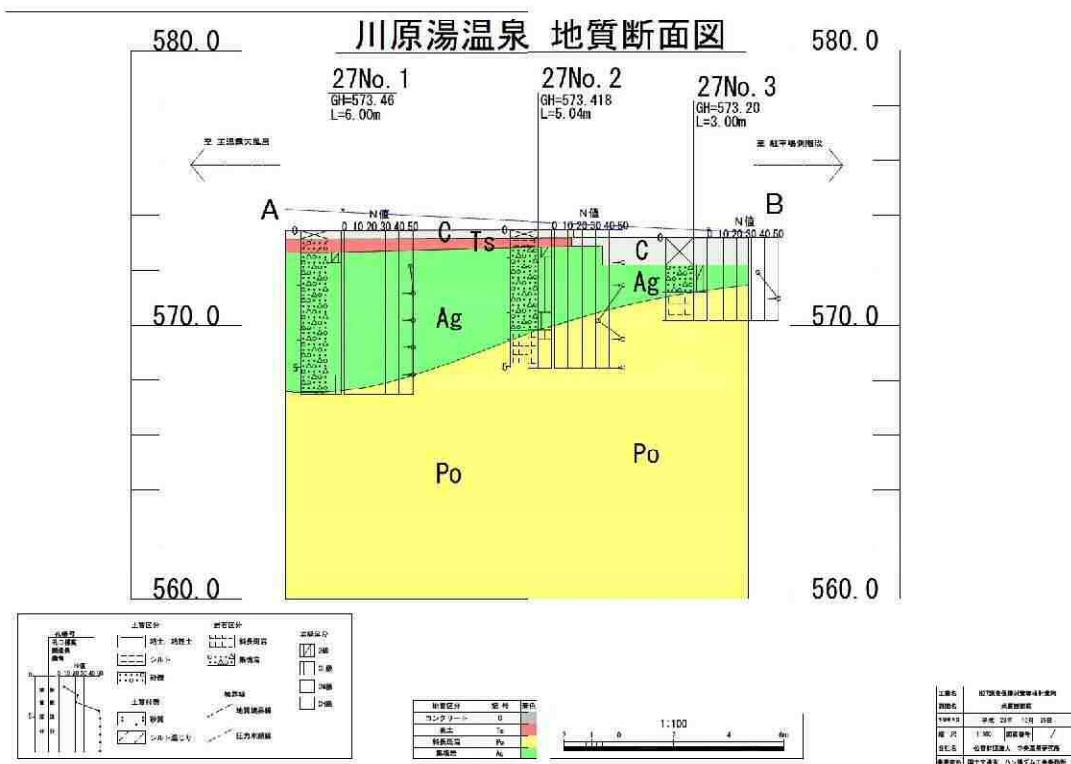


図2-2-5 ポーリング孔地質断面図

2-3. 元の湯詳細調査

2-3-1. 高密度比抵抗二次元探査

温泉の流动範囲を指定する調査手法として、地層の比抵抗値を測定する方法（比抵抗探査）がある。これは、地層の比抵抗値が地層水の温度や成分濃度に鋭敏に反応するためであり、高温・高濃度の温泉が賦存している地層は、そうでない地層に比較すると比抵抗値が著しく低下することから、比抵抗値を測定することで高温かつ相対的に高濃度の温泉の地下における賦存状況を推定することが可能となる。図 2-3-1 に経験的に求められた比抵抗値と地質との対応関係を示す。

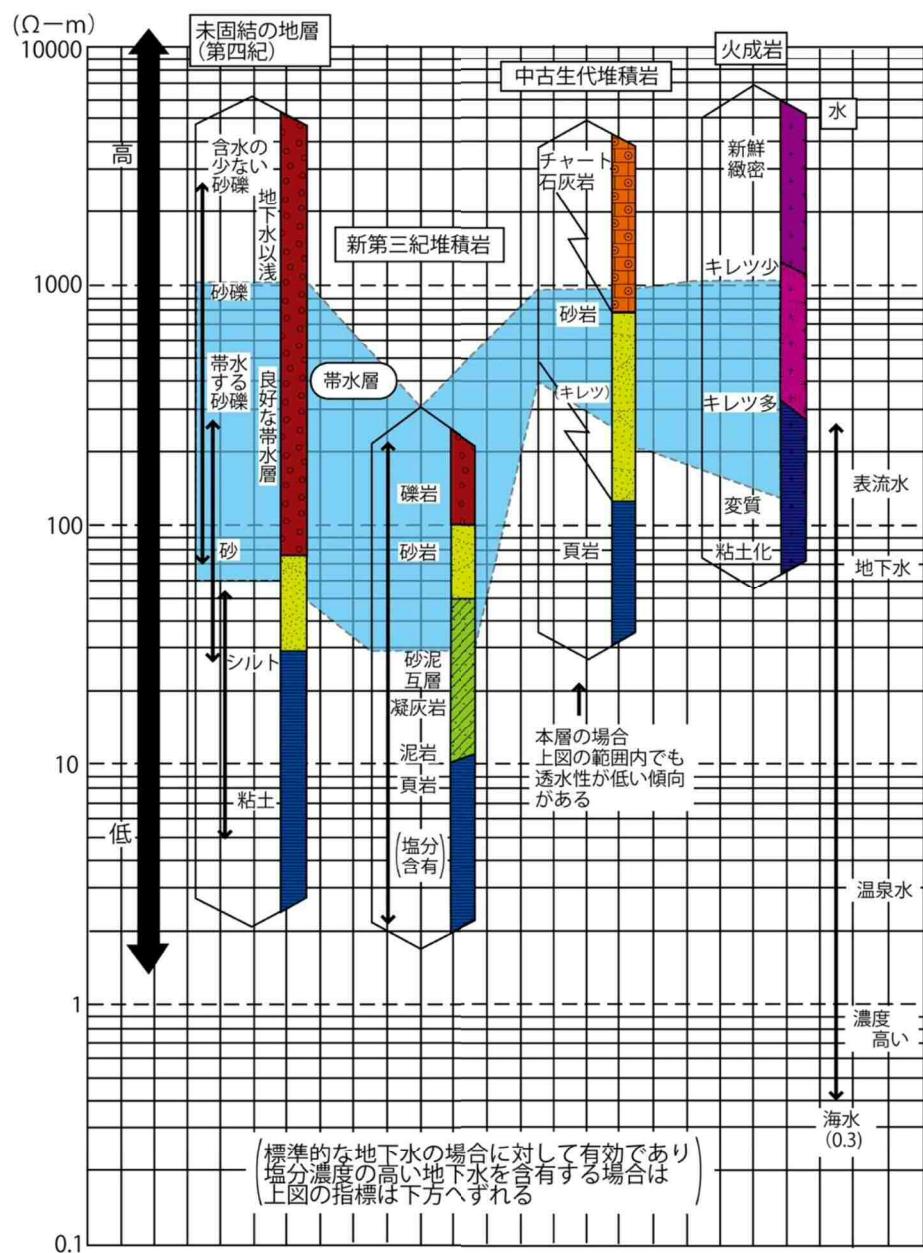


図 2-3-1 比抵抗値と地質との関係

a) 比抵抗二次元探査の測線配置

今回は旧王湯会館が解体されたため、源泉近傍において測点間隔 1m の高密度比抵抗探査を実施した。測点間隔が狭くなると、地形の傾斜が変わるところで測点の重複が生まれることから、出来る限り平坦な面で測定できるように測線を配置した。測線配置図を図 2-3-2 に、実施数量表を表 2-3-1 に示す。

表 2-3-1 比抵抗二次元探査の計画・実施数量表

実施		測点間隔	備考（測線沿いの源泉）
測線名	測線長		
A 測線	129m	1m	(目の湯、智与の湯)
B 測線	55m	1m	(元の湯)
C 測線	33m	1m	元の湯の谷側低所
D 測線	33m	1m	元の湯の谷側低所
E 測線	55m	1m	A～D 測線と斜交（虎湯）
F 測線	66m	1m	A～D 測線と斜交。
合計	371m		

なお、本調査で採用した電極配置は、電流電極 (A, B) と電位電極 (M, N) の各 1 極を無限とみなせる程度の遠方に固定極として接地、他の各 1 極を測定側の移動局とする二極法を採用した。遠電極の一方は笹湯下の温泉排水部に、もう一方は川原湯トンネル西口の薬師堂下付近に設置した。

b) 比抵抗二次元探査の結果

町道沿いの測線 (A 測線) は、現在は温泉湧出を停止した目の湯や智与の湯での温泉伏在状況と、元の湯の温泉との関連性を検討するために設定した。

B 測線は元の湯源泉を通る測線であり、元の湯に供給する温泉の賦存範囲や形態を検討するために設定した。

C, D 測線は元の湯の谷側斜面にあたっており、その部分での温泉賦存状況を検討し、元の湯保護工の施工範囲を決定する上での参考資料を得るために設定した。

上記 A～D 測線はほぼ同一方向の測線であるが、これに斜交する測線として E, F 測線を配置することで、測線の伸長方向に平行する亀裂の存在を確認することとした。また、この測線沿いに虎湯が存在するため、その温泉賦存範囲を検討することも探査目的に入っている。

調査結果の比抵抗断面図を図 2-3-3 に示す。

i) A 測線

町道沿いに設定した A 測線は、浅部に崖錐堆積物などの表層を構成する高比抵抗層が薄く分布し、その下位は全体として低めの比抵抗値を示す。特に、85～105m 間の

深部に相対的な低比抵抗部が存在し、測線長 90m 付近(おおむね 85~92m 間の辺り)に目の湯や智与の湯が存在していることになっていて、温泉賦存との関連性が疑われる。しかし、測線長 110m 付近(旧王湯会館前の駐車場敷地)において過年度に掘削されたボーリング孔は温泉の湧出は見ず、孔内温度も低かったこと、目の湯や智与の湯も現在はほぼ枯渇状態であることを考えると、本測線に存在する低比抵抗部は温泉の賦存範囲を示しているわけではなく、本測線のやや谷側に存在する元の湯の熱的な影響を受けていると考えるのが妥当である。

ii) B 測線

B 測線は元の湯を縦断する測線であり、元の湯直下にひょうたん状の明確な低比抵抗部が捕捉され、温泉の上昇域を示すものと思われる。また、元の湯の左右浅部に延びる低比抵抗部も捕捉され、温泉が浅部で拡散していることを示唆する。

このうち、測線の終点側浅部に延びる低比抵抗部は、元の湯直下から元の湯に向かって上昇する温泉の流れの一部が、浅部において王湯会館側に分岐し、王湯会館付近の浅部に二次的な温泉貯留域を構成しているように見える。これは王湯湧出源泉の源になっている可能性が高い。

一方、測線の起点側に延びる低比抵抗部は、元の湯直下の低比抵抗部との連続性が断ち切られていて、王湯会館側のように元の湯直下で温泉流動が分岐しているような形状とはなっていない。むしろ、元の湯に溜まった温泉が溢流しているような形状を示している。今回実施した元の湯の源泉構造調査では、元の湯の測線起点側(石階段側)に優勢な温泉湧出部が確認された。また、元の湯の石段下辺りに山木館、養寿館、やまきぼしに温泉を給湯するための木管が接続され、その木管は王湯露天風呂会館と町道との間の狭い通路に敷設されていた。つまり、元の湯よりも測線起点側にはかつて温泉を供給していた木管が現在も残存し、そこにいくらかの温泉が流れていて漏湯もあったり、地上配管では飲み込めない温泉が地下に溢流していたりする可能性がある。このことから、この部分での低比抵抗部の存在は、地下深部からの温泉流動を必ずしも示徴しているわけではない。

iii) C、D 測線

C、D 測線は全体として低比抵抗を示しているが、ボーリング調査で示された西傾斜を示す温泉湯脈は、地形面と同じ傾斜を示すことから、それぞれの浅部でこの温泉湯脈を捕捉しているか、その近くの地層の比抵抗を測定している可能性があることから、温泉湯脈の影響下にあることが想定される。

iv) E 測線

E 測線では、図の右端部(測線終点付近)に低比抵抗部が検出されている。この付近には解体された王湯会館の基礎が存在し、温泉の地表微候はないことから、この低比抵抗部は人為的な影響(基礎部の鉄筋など)によることが推定される。ただし、こ

の位置は過年度に実施した比抵抗探査により推定された新湯の沢沿いの断層に近いことから、この断層を捕捉している可能性もある。また、虎湯が存在する付近には深部に向かう低比抵抗部が存在し、温泉の流動を捕捉している可能性がある。

v) F 測線

F 測線では、図の右端部（測線終点付近）と左寄りの部分に相対的低比抵抗部が確認されている。前者は新湯の沢沿いの断層の影響を受けている可能性がある。後者は地質調査で確認された湧水の存在（湧水をもたらす亀裂の存在）が関係している可能性が高い。

c) 比抵抗二次元探査からの考察

全体傾向として、新湯の沢を境に北東側が低比抵抗を、南西側が高比抵抗を示していることから、主に温泉が賦存されるのは前者の地域（北東側の低比抵抗域）であると想定される。とりわけごく浅部に優勢な温泉が賦存するのは、元の湯を中心とした小範囲であると推定される。もちろん、より深部においては、新湯が掘削によって到達した温泉賦存層付近にあることは確かである。

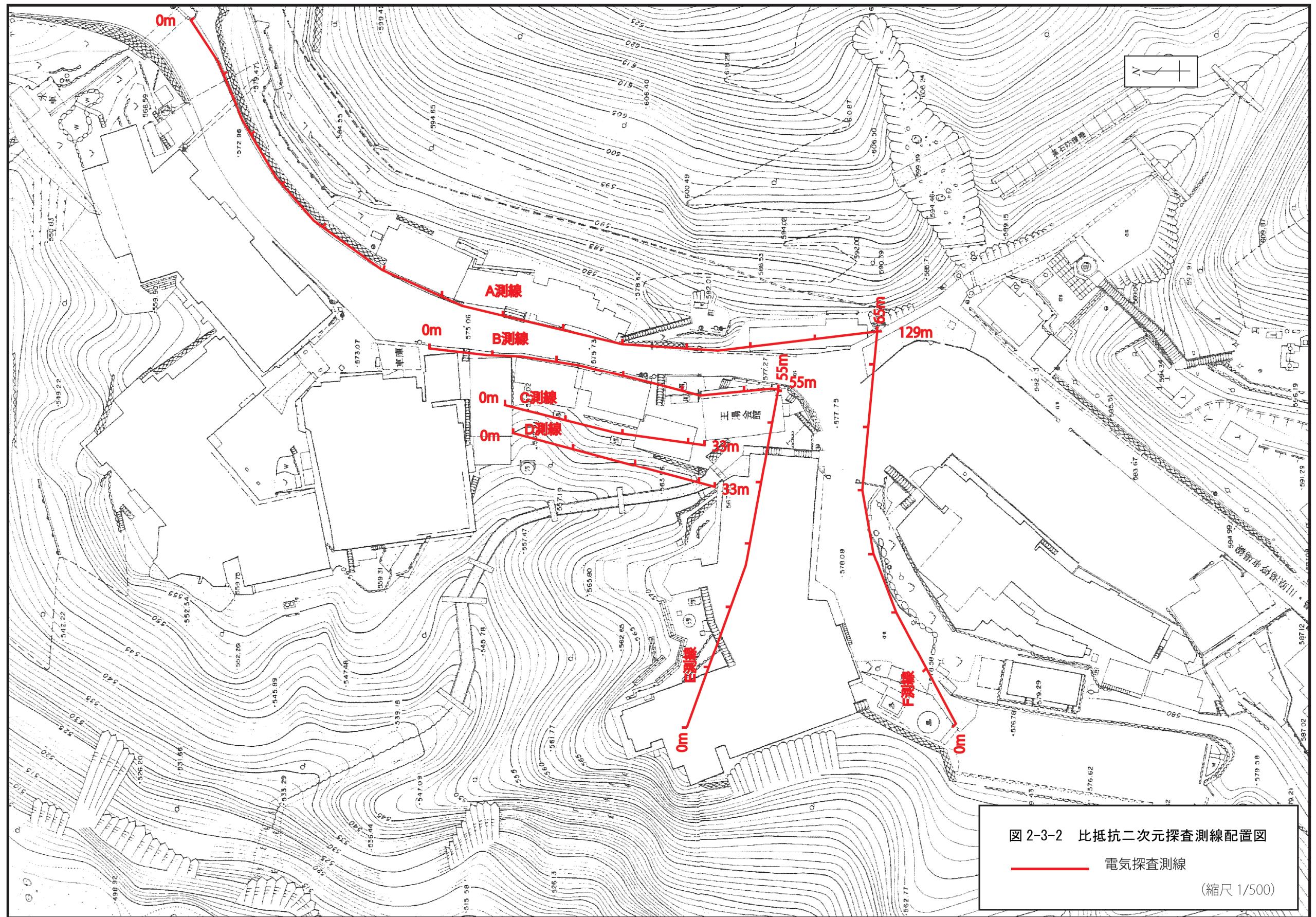


図 2-3-2 比抵抗二次元探査測線配置図

電気探査測線

(縮尺 1/500)

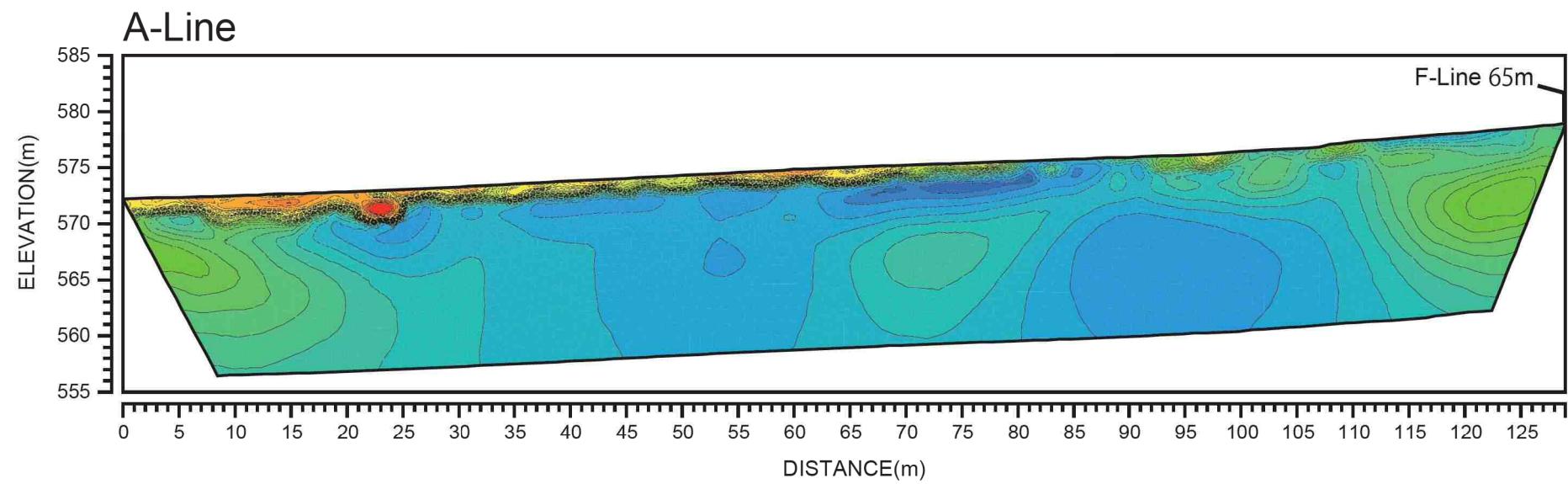
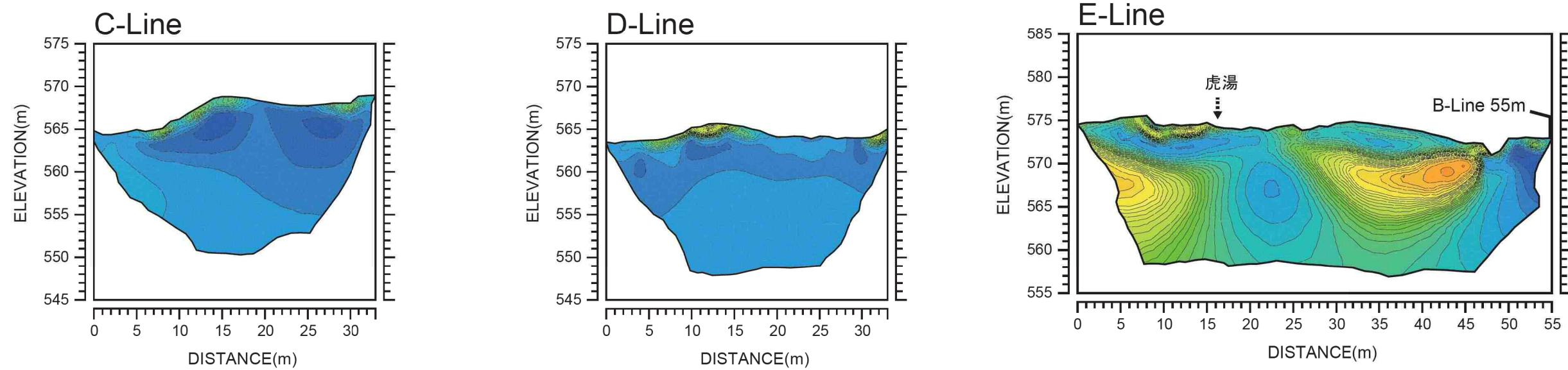
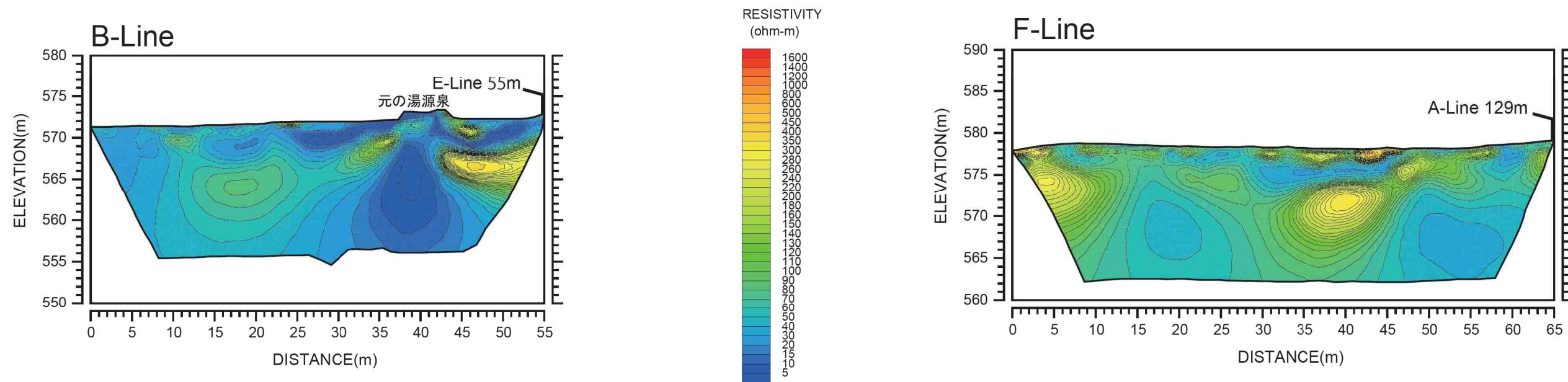


図 2-3-3 比抵抗二次元探査結果図
(比抵抗断面図)



2-3-2. 地質調査および周辺源泉調査

a) 地質調査の結果

今回の調査では元の湯源泉周辺における温泉賦存の状況や地盤の性状を把握するため調査ボーリング実施した。また、浅部地質構造を二次元的に解明するための比抵抗二次元探査も実施した。これらの調査結果を補完し、温泉賦存・湧出状況を総合的に検討する上での参考とするために、簡略的な地質調査も行った。

地質調査の結果を図 2-3-4、図 2-3-5 に示す。

この地域の山腹は急傾斜を示すものの、河床及び河岸部と道路沿いの切り割りを除くと、地質露頭は少ない。数少ない地質露頭の大半は川原湯斜長斑岩からなり、吾妻川河床では N70° E、60° NE の境界面（川原湯斜長斑岩の貫入面）の北側に川原畠層に相当する集塊岩の分布が確認され、源泉周辺の旧温泉街よりもやや低い場所には数か所で応桑泥流堆積物の存在が確認された。

吾妻川の南側斜面（旧山木館から下がる沢沿い）では、川原湯斜長斑岩の中に上記した川原湯斜長斑岩の貫入方向と一致する N70° E、85° NE の断層が確認された。また、この断層露頭の南西側には旧養寿館の露天風呂跡があり、低温ながら温泉が湧出している。この温泉湧出に関する岩盤は川原湯斜長斑岩であり、その割れ目は N-S、75° E の小さな節理である。川原湯斜長斑岩には、この他にも NE-SW 方向や NE-SE 方向の節理が認められるが、大きな断層は上記の N70° E、85° NE の断層のみである。

後述する元の湯源泉構造調査やボーリング調査の結果によれば、元の湯付近の温泉の湧出を規制する構造は、概ね N-S～N30° E、60° W 方向に伸長する斜長斑岩と集塊岩との境界面、もしくはその境界面にごく近接する集塊岩内に発達する亀裂であることが確認されている。ただし、元の湯周辺の地表には川原畠層に相当する集塊岩は見いだせず、その近くで分布が確認されるのは応桑泥流堆積物のみである。

吾妻川河床に見られる川原畠層と元の湯付近に潜在する集塊岩とは、図 2-3-5 の地質断面図上でも連続性は示さず、元の湯付近の集塊岩の分布形態は不明である。

養寿館源泉の温泉の湧出に関連する構造は N-S、75° E であるので、N-S 走向の共役断層（地殻に水平方向の同じ圧縮または引っ張り力が働いたとき、互いに断層面が直交し、それの向きが逆向きになる断層の組）が温泉湧出に関係しているものと思われる。ただし、元の湯付近の上記構造（斜長斑岩と集塊岩との境界面）は、斜長斑岩類の貫入面である可能性もあり、この構造面はある程度の広がりを有する平面ではなく、曲面である可能性も高い。

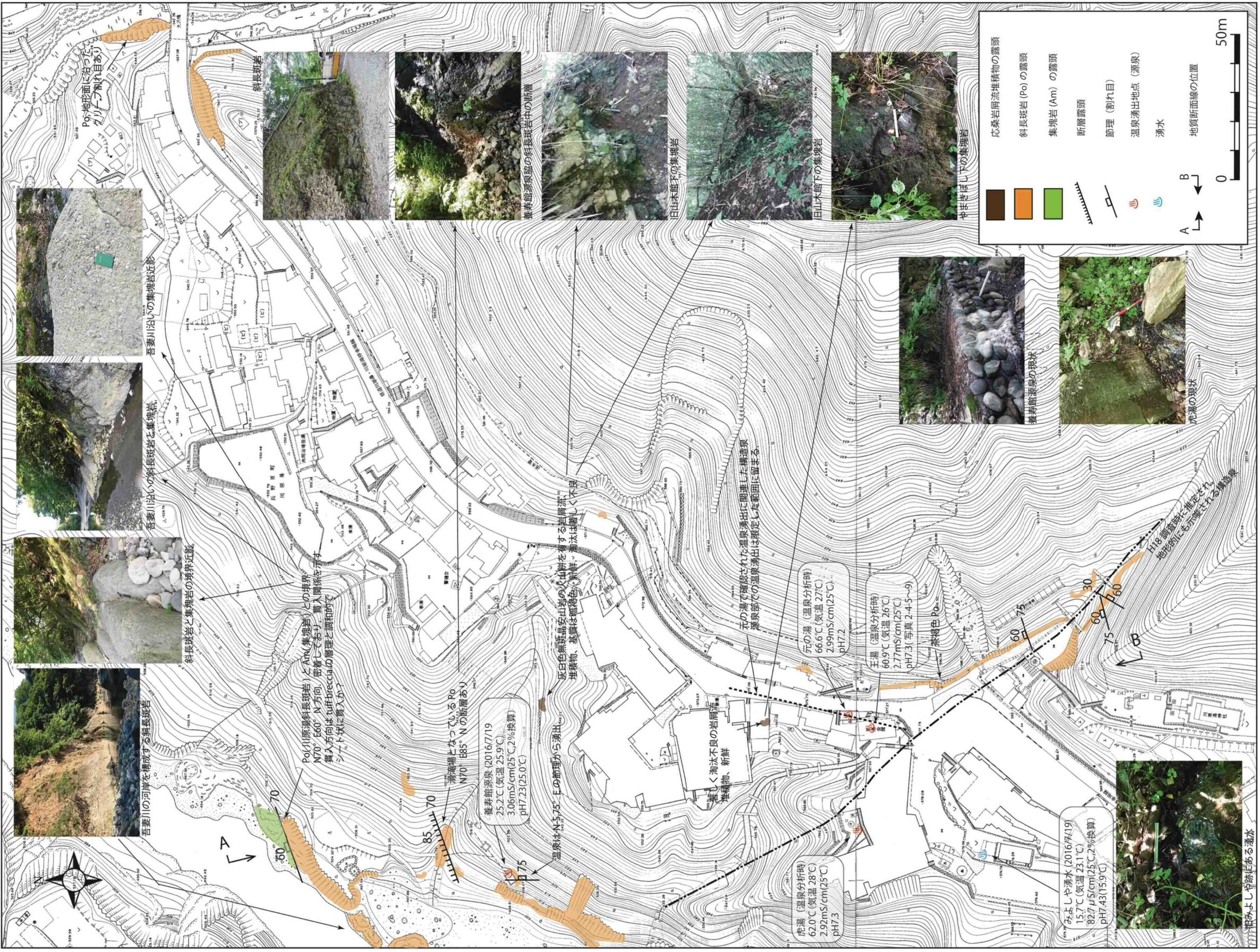


図 2-3-4 地質調査結果図

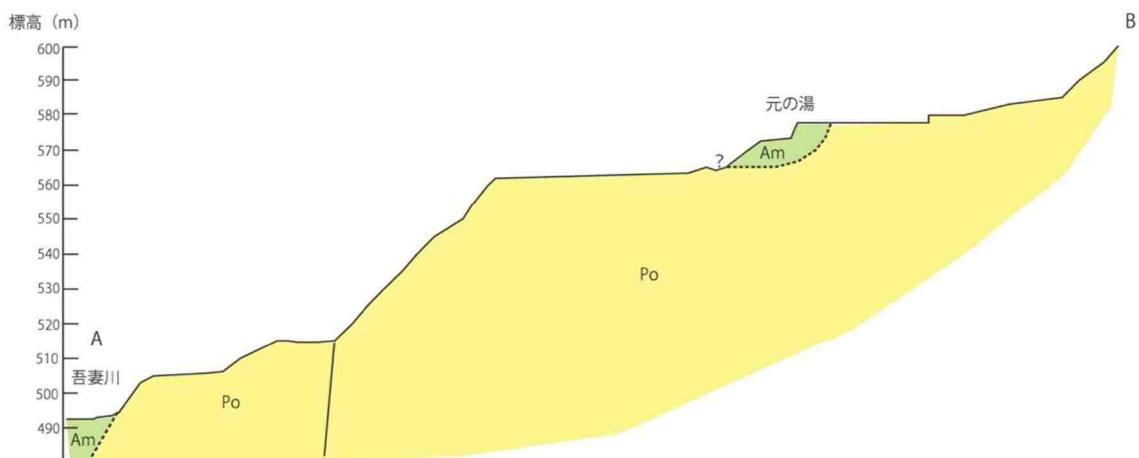


図 2-3-5 地質断面図 (A-B 断面)

b) 周辺温泉調査

今回の地質調査時に、養寿館源泉の湧出状況を計測（写真 2-3-1 参照）した他、旧みよしや跡地にある湧水（写真 2-3-2 参照）の状況を測定した。また、元の湯詳細調査時（平成 28 年 8 月）には元の湯（やまきぼし配湯枠、写真 2-3-3 参照）、虎湯（写真 2-3-4 参照）、王湯（写真 2-3-5）の 3 件を対象に温泉分析を行っている（いずれの温泉も量は測定不可）。それらの測定結果を表 2-3-2 に示しておく。

平成 17～18 年時の測定結果と比較できるのは養寿館源泉と虎湯のみである。養寿館源泉はやや低温化（27°C 前後→25.9°C）、虎湯はやや高温化（60°C 前後→62.0°C）している。なお、EC は電気伝導率であり本調査では温度係数を 2% として 25°C 補正している。

表 2-3-2 川原湯温泉他源泉の測定結果表

源泉名(件名)	測定年月日、時:分		気温 ℃	温度 ℃	EC* mS/cm	pH	測定時期
養寿館源泉	2016(H28)/7/19	11:50	25.9	25.2	3.06	7.23	地質調査時
みよしや湧水	2016(H28)/7/20		23.1	15.7	0.08	7.43	地質調査時
元の湯	2016(H28)/8/4		27	66.6	2.99	7.2	温泉分析時
王湯	2016(H28)/8/4		26	60.9	2.77	7.3	温泉分析時
虎湯	2016(H28)/8/4		28	62.0	2.92	7.3	温泉分析時

* : 温泉分析時のデータは薬剤師会による計測値、他は 25°C 換算、2.0% 補正



写真 2-3-1 養寿館源泉の現状 (H28. 7)



写真 2-3-2 旧みよしや湧水 (H28. 7)



写真 2-3-3 元の湯溢流枠 (H28. 8)



写真 2-3-4 虎湯源泉の現状 (H28. 8)



写真 2-3-5 王湯会館解体前の王湯源泉の現状 (H28. 6)

元の湯の湧出量は元々が把握困難な源泉であった。源泉の定期観測が行われた時期の元の湯の湧出量測定方法は、元の湯を利用している各施設において、元の湯からの出発量や施設への着湯量を測定し、その合計から元の湯への新湯補給量を減ずる、というものであった。各施設の湯量測定値はやや精度が粗く、一時期は新湯から笹湯への補給量が出発量よりも到着量の方が少ないことから、その差を元の湯に加えていた時期もあり、元の湯の湧出量は正確には把握できていなかったというのが実態である。

このため、元の湯の湧出量の測定は、同源泉の源泉枠構造調査の実施時期に併せて実施した。元の湯の温度や湧出量は、元の湯源泉の源泉枠構造調査の前後を通して数回～10 数回測定した。その概要を以下の表 2-3-3 に記しておく。

表 2-3-3 元の湯の湧出量や温度等の測定結果表

測定年月日	時刻	湧出量 (L/min)	統計値	温度 (°C)	EC (mS/cm)	pH
2016/8/24	14:05	54.0	平均	67.4	3.24	7.52
	17:00	57.5				
2016/8/25	08:40	48.0	最大値	66.4	2.99	7.20
			最小値	70.4	3.33	8.18

元の湯の湧出量は 50L/min 程度の湧出量となっているが、笹湯に現に給湯されている温泉は、種々の状況から元の湯を供給源としていることが確実視されており、元の湯の全体湧出量は上記の湧出量に笹湯への到着湯量を加えなければならない。

その笹湯の到着湯量等も随時測定しており、その結果を表 2-3-4 に示しておく。8月24日の到着湯量に変動が大きくなっているのは、元の湯の源泉枠を調査のため開削などをしている時であり、源泉枠の水位が昇降していることの反映と思われる。このことからも、笹湯に向かう温泉が元の湯から供給されていることが強く示唆される。

表 2-3-4 笹湯への到着湯量等の測定結果表

測定年月日	測定時刻	温度 °C	湧出量(L/min)			EC/25°C mS/cm	pH	備考
			男湯	女湯	合計			
2016/8/4	12:04	58.4	11.9	7.5	19.3	3.27	7.38	王湯停止
2016/8/24	8:47		2.2	1.9	4.1	3.28	7.17	王湯停止
	14:05		14.9	7.9	22.8	3.23	7.19	王湯停止
	17:00		11.0	8.3	19.2			王湯停止
	17:37							王湯開放
2016/8/25	8:40		7.3	7.3	14.6			王湯開放

元の湯の湧出量が測定された時の笹湯の湧出量は、19.2L/min、14.6L/min なので、元の湯の湧出量合計は 76.7L/min～62.6L/min となる。この 2 回の測定の差は、次に記す王湯湧出温泉の湧出を止めているか、湧出させているか、の差異に対応する。

王湯湧出温泉は元の湯源泉枠構造調査に備えて、既設管にホースを継ぎ足し、これを立ち上げることで温泉の湧出を止め、温泉水位が測定できるように改良している。その湧出量の測定も、上記の元の湯、笹湯の湧出量に併せて、王湯湧出温泉の湧出量を測定した回数は 2 回あり、その結果、3 源泉合計の湧出量はほとんど差異がないことが明らかとなった（表 2-3-5 参照）。

表 2-3-5 元の湯湧出量、笹湯到着量、王湯湧出量の合計量の状況

測定年月日	測定時刻	湧出量(L/min)				
		元の湯	王湯	元の湯+王湯	笹湯	元の湯+王湯+笹湯
2016/8/24	17:00	57.5	0	76.7	19.2	76.7
2016/8/25	8:40	48.0	15.7	62.6	14.6	78.3

データ上からも、元の湯と王湯湧出温泉とは一体の関係にある（強い影響関係にある）ことを示しており、元の湯と王湯湧出温泉とからそれぞれ単独で温泉を採取しても、王湯湧出温泉を止め、元の湯のみから温泉を採取しても、採取できる量に変わりはないことになる。

c) 王湯湧出温泉の探索

王湯湧出温泉の配管を辿る作業は、27No. 1 孔の掘削に前後して行った。浴場から山側に残された壁に向かって配管が伸びており、柱近くで下方向に向かっているところまでは確認できた。コンクリートの厚みが不明な状態で、これ以上の探索は無理と判断し、配管を辿る作業はこの段階で終了とした（写真 2-3-6～2-3-8 参照）。この後に行った調査ボーリング（27No. 3 孔）の結果、このコンクリートの厚みは 1m に達していることが確認されており、手作業での探索は実質不可能であった。

なお、この配管は口元を切断し、そこにホースを継ぎ足して上方に立ち上げた。これによって温泉の湧出を止め、温泉水位が確認できるように改良した（写真 2-3-9 参照）。



写真 2-3-6 王湯会館の解体状況（平成 28 年 7 月）



写真 2-3-7 王湯湧出温泉の探索状況（平成 28 年 8 月）



写真 2-3-8 王湯湧出温泉の探索結果（平成 28 年 8 月）



写真 2-3-9 王湯湧出温泉のパイプ接続、立ち上げの状況

今回調査した源泉の温度や電気伝導度の測定データから、元の湯、王湯湧出温泉、笹湯の各温泉の異同性を検討するために、表 2-3-6 を作成した。こ本表を見る限り、元の湯、王湯湧出温泉、笹湯の各温泉は、虎湯も含めてほとんど同質であり、元の湯と王湯湧出温泉とが一体の関係にあることも頷けるデータである。

表 2-3-6 元の湯とその周辺源泉の EC, pH の比較

測定項目		元の湯	王湯	笹湯	虎湯
泉温 (℃)	平均値	67.4	60.3		62.0
	最小値	66.4	56.8		61.9
	最大値	70.4	61.2		62.0
EC (mS/cm)	平均値	3.24	3.09	3.26	3.12
	最小値	2.99	2.77	3.23	2.92
	最大値	3.33	3.22	3.28	3.31
pH	平均値	7.52	7.55	7.25	7.42
	最小値	7.20	7.30	7.17	7.30
	最大値	8.18	7.68	7.38	7.54

d) その他の源泉調査（目の湯、智与の湯の探索）

今回、地元関係者による情報に基づき、智与の湯があったとされる場所（写真 2-3-10、2-3-11）で、同源泉の現状探索を行った。

現在は土砂に埋もれていたことから、土砂を取り除いたところ、旧丸木屋旅館の壁際が掘り込まれ、そこから旧浴槽まで溝が切られている状況が確認できた（写真 2-3-12）。温泉はこの掘り込み辺りから湧出し、浴槽に連なる溝を通して、温泉が浴槽まで導かれていたものと思われる。

この浴槽の掘り込み部分の熱赤外線映像を写真 2-3-13 に示す。掘り込みから溝部分にかけて少量の水が滲み出しているので、やや高温領域となっているが、せいぜい 10°C 台で、地下水の温度を示していると思われ、取り立てて高温という訳ではない。



写真 2-3-10 智与の湯付近から元の湯方向を見たところ



写真 2-3-11 智与の湯のあった場所(赤枠内)



写真 2-3-12 丸木屋旧浴槽(智与の湯があった場所)付近の状況

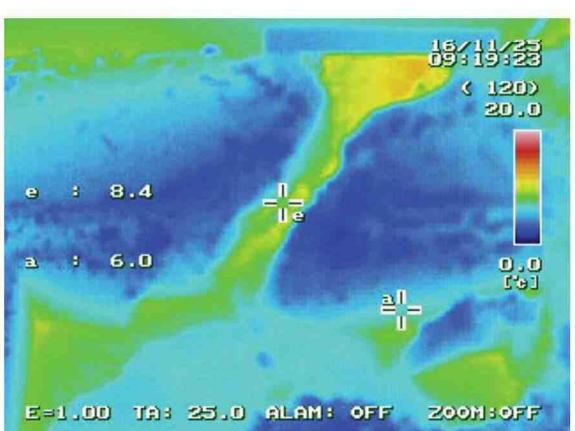


写真 2-3-13 丸木屋智与の湯があつた場所の熱赤外線映像と実映像

智与の湯の探索時には、目の湯の湧出口や元の湯崖下等についても、熱赤外線映像を撮影し、温度異常の有無を確認した。写真 2-3-14 は元の湯からやまきばしに向かう通路である。右側の石垣下には目の湯の湧出口があるが、高温部は検出されておらず、目の湯は枯渇状態であることを示唆している。写真 2-3-15、2-3-16 は元の湯下の崖（石垣）部分の映

像である、所々に高温部が検出されているが、目立った温泉湧水ではなく、元の湯から溢流した温泉が地下浸透し、地下水と混じり合って滲み出したものと推定される。



写真 2-3-14 やまきぼしへの通路の熱赤外線映像と実映像

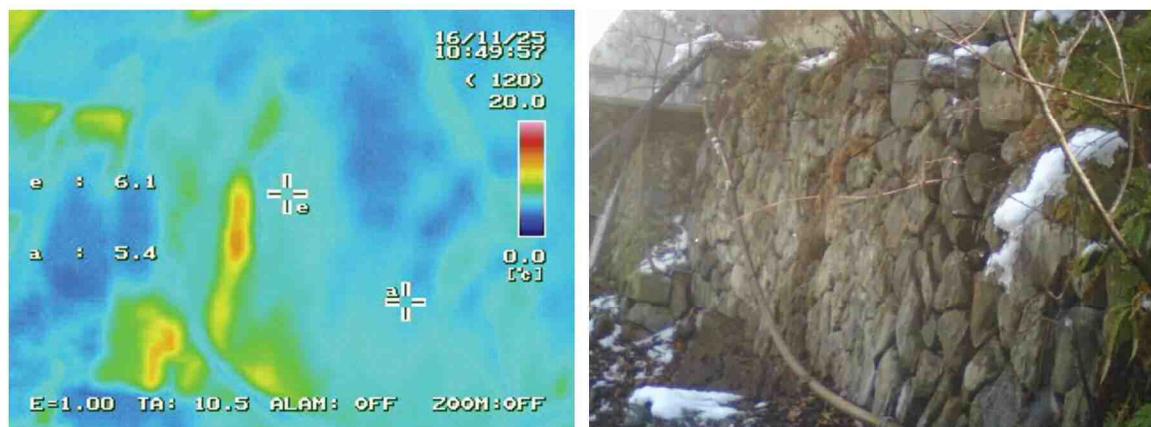


写真 2-3-15 元の湯崖下石垣の熱赤外線映像と実映像 (1)

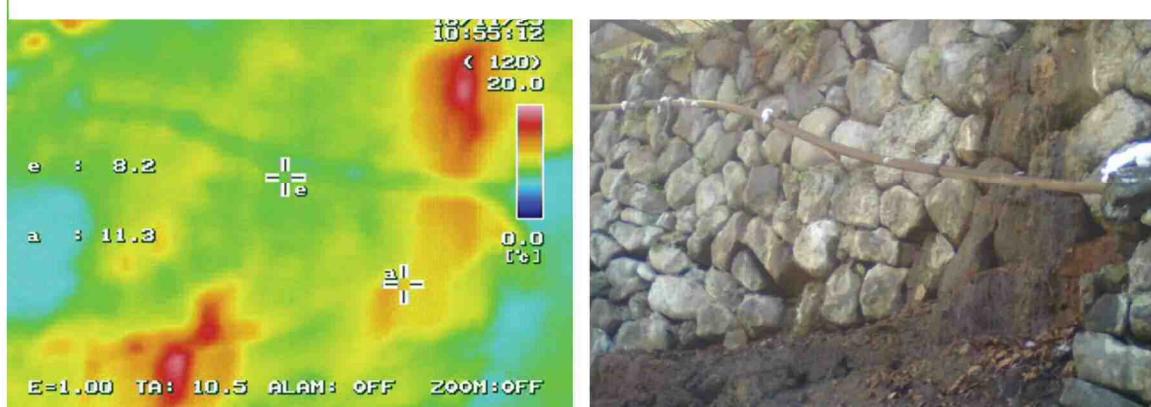


写真 2-3-16 元の湯崖下石垣の熱赤外線映像と実映像 (2)

e) 温泉分析結果

今回の調査時には王湯、虎湯と上記王湯湧出温泉の3箇所で温泉を採取し、温泉中分析を実施した。分析結果を表 2-3-7 に示す。また、過年度に実施した温泉分析結果も含めて、

水質組成図（トリリニヤーダイヤグラム）を作成した（図 2-3-6 参照）。

元の湯～干湯～虎湯は水質組成図上ではほぼ同じ場所にプロットされ、組成的には同質である。また、この 3 源泉は成分濃度も同様である。養寿館、ますや源泉は濃度が元の湯源泉などよりも薄いものの、組成図ではこれらに近い位置にプロットされ、水質的には類似している。

智与の湯は成分濃度が格段に薄く、組成図上も元の湯源泉などとは異なった領域にプロットされ、地下水化が進んでいることを示唆する。

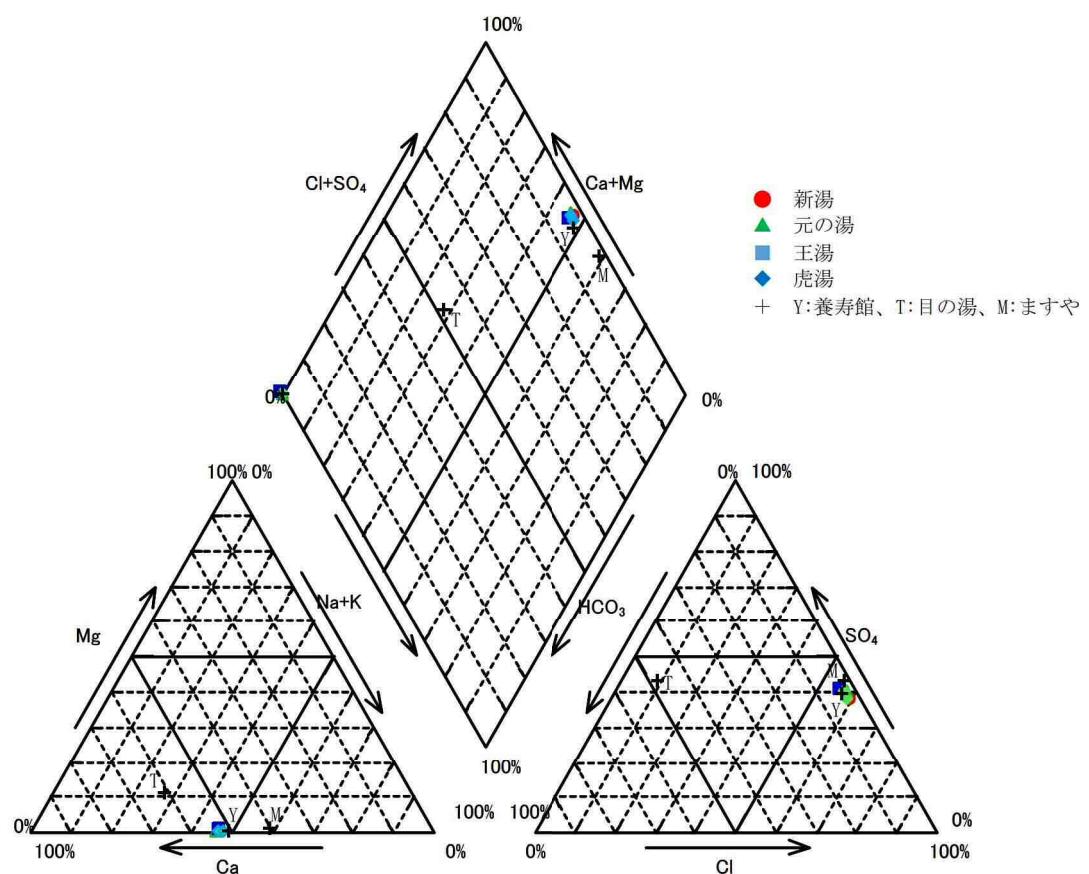


図 2-3-6 川原湯温泉のトリリニヤーダイヤグラム

表 2-3-7 温泉分析表

源泉名称	元の湯		王湯		虎湯	
調査年月日	2016/8/4		2016/8/4		2016/8/4	
泉温	66.6 ℃		60.9 ℃		62.0 ℃	
pH (湧出地)	7.2		7.3		7.3	
pH (試験室)	7.23		7.36		7.37	
密度(20℃/4℃)	1.000 g/cm ³		1.000 g/cm ³		1.000 g/cm ³	
蒸発残留物(110℃)	2.32 g/kg		2.18 g/kg		2.37 g/kg	
陽イオン	mg/kg	mval%	mg/kg	mval%	mg/kg	mval%
Na ⁺	332	45.07	314	46.11	339	45.53
K ⁺	6.62	0.53	6.31	0.54	6.45	0.51
Mg ²⁺	0.76	0.20	1.03	0.29	0.75	0.19
Ca ²⁺	348	54.20	315	53.06	349	53.77
計	687	100	636	100	695	100
陰イオン	mg/kg	mval%	mg/kg	mval%	mg/kg	mval%
F ⁻	0.7	0.11	0.7	0.13	0.7	0.11
Cl ⁻	652	56.79	581	55.63	643	56.14
SO ₄ ²⁻	629	40.44	571	40.35	629	40.54
HCO ₃ ⁻	48.8	2.47	64.1	3.57	58.0	2.94
HS ⁻	1.9	0.18	3.2	0.33	2.9	0.27
計	1,332	100	1,220	100	1,334	100
遊離成分	mg/kg		mg/kg		mg/kg	
H ₂ SiO ₃	88.2		90.2		87.3	
HBO ₂	49.8		37.9		48.9	
計	138		128		136	
溶存成分	2.16 g/kg		1.98 g /kg		2.17 g/kg	
溶存ガス						
CO ₂	21.5		11.0		19.7	
H ₂ S	1.4		1.8		1.7	
計	22.9		12.8		21.4	
成分総計	2.18 g/kg		2.00 g/kg		2.19 g/kg	
泉質	含 S-Ca・Na-Cl・SO ₄ 温泉		含 S-Ca・Na-Cl・SO ₄ 温泉		含 S-Ca・Na-Cl・SO ₄ 温泉	
分析機関	群馬県薬剤師会		群馬県薬剤師会		群馬県薬剤師会	
総ヒ素	0.28 mg/kg		0.25 mg/kg		0.28 mg/kg	

2-3-3. 元の湯源泉枠構造調査

a) 調査の目的と方法

元の湯源泉の保護工法や保護範囲を検討するため、元の湯源泉の大きさ（広がり）、深さ、各施設への配湯口の位置や状況などの構造を把握することに加えて、源泉枠のどの場所から、どのように温泉が湧出しているのかを調査した（写真 2-3-17～2-3-18 参照）。



写真 2-3-17 元の湯源泉詳細調査着手前（蓋を取った状況で、コンクリートが腐食・分解している。）



写真 2-3-18 元の湯源泉詳細調査中（崩れたコンクリートを撤去したところ。）

b) 源泉枠の構造

今回の調査結果から、源泉枠及び源泉構造物の構造図として、図 2-3-7 に示した平面図、断面図を作成した。

源泉枠の深さは、源泉周辺の地盤からは 60～67cm、源泉枠を囲むコンクリート壁上面からは 75cm である。源泉枠底面は崩落したコンクリート残渣等を取り除いた後でも 15cm ほどの凹凸がある。大きさは、外見上は 285cm×164cm のものと 45cm×152cm のものとに分かれるが、底部はつながっている。

温泉配湯口は、源泉枠の石階段下付近にやまきぼし、旧山木館及び養寿館への口が設けられていた（実際の状況までは確認できていない）。調査時には、やまきぼしへの配湯は地上配管によって行われており、配湯湯量が多くなった場合にも対処できるように、配湯枠にオーバーフロー管が設置されている。

源泉の右側にはかつての柏屋、みよしやへの温泉分湯口がある。本来は源泉枠からそれぞれ独立した分湯口を有していて、柏屋配湯枠への分湯には木管が用いられているが、本調査時点ではみよしや配湯枠を経由して柏屋配湯枠へつながる温泉流路がある。各施設への分湯管の底面は、源泉枠の最深部よりも 6～10cm 上位に配置されている。

川原湯温泉 元湯 現況平面図 S=1:30

平面図

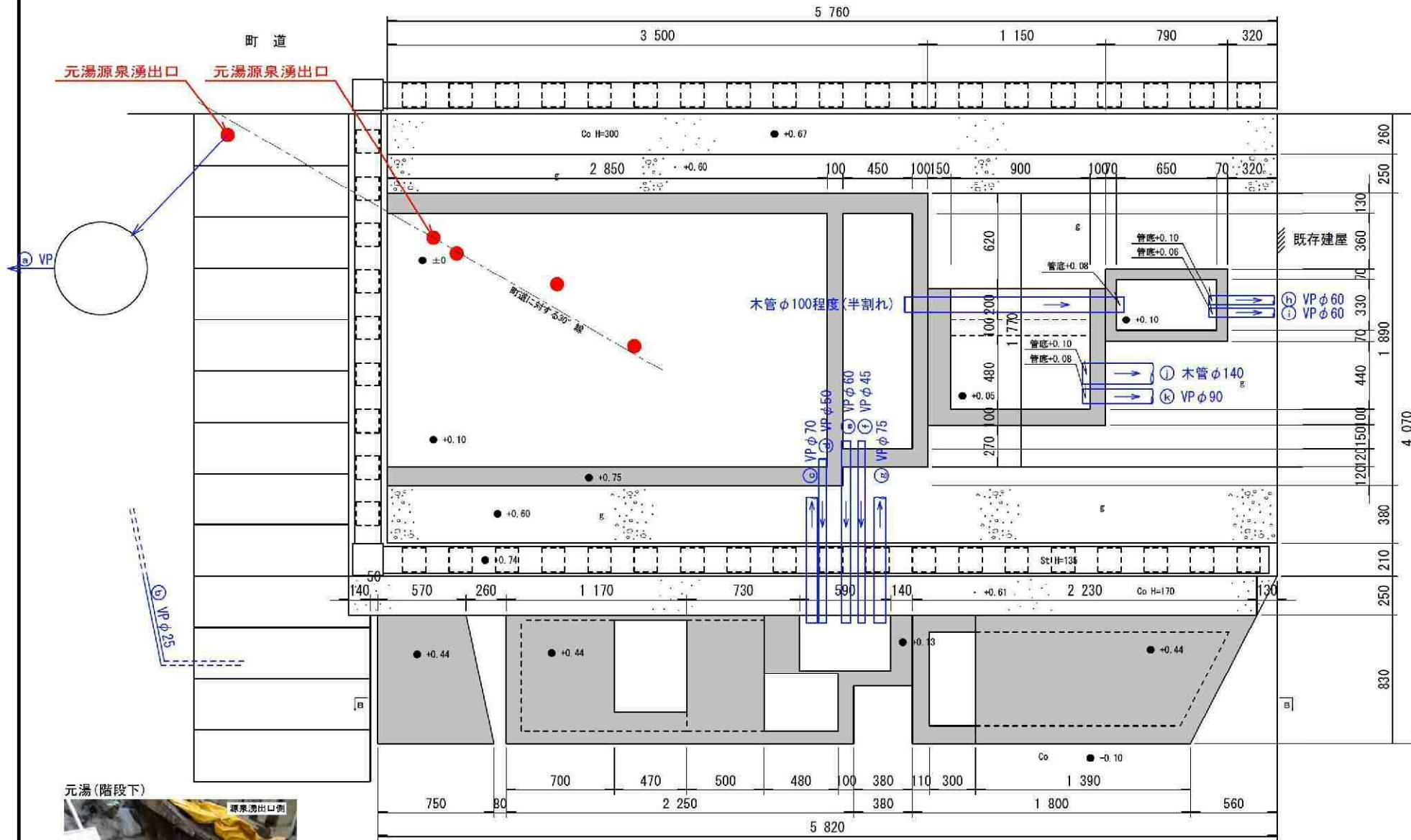


図 2-3-7 元の湯源泉現況構造図

川原湯温泉 元湯 現況平面図

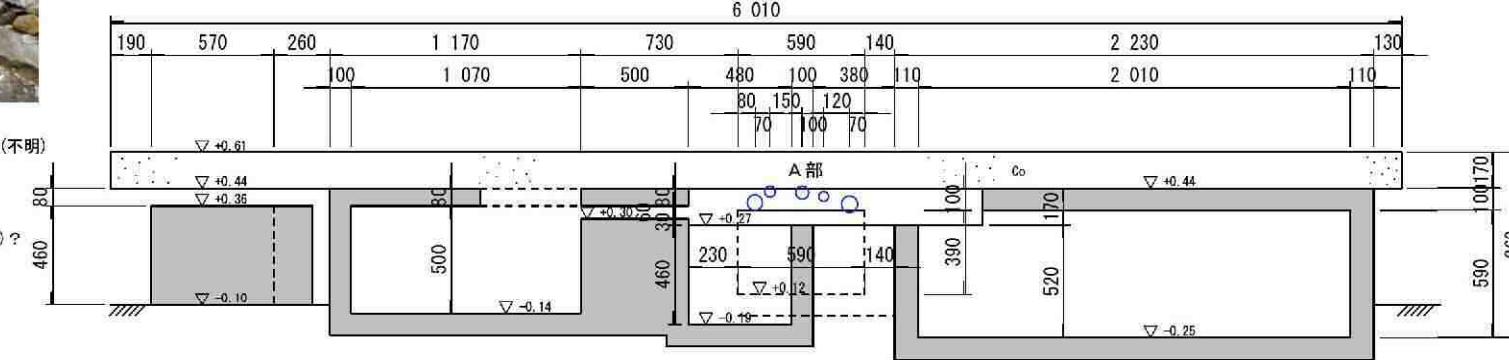
成年月日

1:30 20 国家卷

財団法人 中央温泉研究所

【元湯配湯先】

- (A) やまきぼし、山木館、養寿館、笹湯(不明)
- (B) 笹湯共(不明)
- (C) 笹湯
- (D) 丸木屋
- (E) 王湯、笹湯(高田屋、丸木屋にも溢流)?
- (F) 王湯(高田屋、丸木屋にも溢流)?
- (G) 王湯
- (H) 柏屋
- (I) 柏屋
- (J) (不明)
- (K) みよしや



源泉枠前面には丸木屋、高田屋、王湯、笹湯へ配湯するための分湯口が3口あり、温泉はいったん源泉前面の配湯枠に溜まって、そこから丸木屋、高田屋、王湯、笹湯に分湯される仕組みとなっている。ここでの分湯口の高低関係からみて、川原湯温泉の王湯と笹湯における温泉利用権はそれほど大きな地位を占めていないのではないか、と想定されてしまうが、王湯については、元の湯から配湯される温泉の他に、王湯浴槽付近に湧出する源泉も利用している。また、笹湯についても、源泉前面の配湯枠から分湯される以外に、やまきぼし、山木館、養寿館の分湯口付近から分湯されるものがある。したがって、川原湯温泉全体としての温泉利用の優先順位は、笹湯や王湯の共同浴場が上位を占めていると考えられる。

元の湯の保全工法を検討する際、元の湯からの分湯口を確実に遮断することを考慮しなければならないが、各施設の分湯口の高さは元の湯源泉前面のコンクリート叩き部(町道と源泉に向かって立った時の地盤面)とほぼ同レベルであり、源泉保護構造物の基礎を構築する際に、必然的にこれら分湯口は確実に遮断されることになる。

c) 源泉枠からの温泉湧出

温泉の湧出は、町道に近い石階段下辺りがもっとも優勢である。温泉湧出点（図2-3-7の赤丸）はそこから概ね S30°W 方向の線上に並んでいるものの、源泉枠のほぼ中央部までにとどまり、右半分からの温泉湧出はほとんど確認できなかった。

元の湯の温泉は高温（67°C程度）で、少量ながら硫化水素（ $H_2S + HS^-$ が3mg/kg超）を含んでいるためか、源泉枠を構成するコンクリート構造物は著しく腐食し、非常に脆くなっていることが確認された。足に少し体重をかけただけで容易に崩落する状況となつていて、特に石階段と町道との隅付近にある主要な温泉出口付近の腐食が著しかった（写真2-3-19～2-3-20参照）。施工当初は壁厚が約30cmあったものと推定されるが、元の湯源泉のコンクリート構造物が何時施工されたのか不明であることから、経過年に応じた腐食量は推量できない。



写真 2-3-19 元の湯源泉詳細調査時元の湯源泉詳細調査時 (コンクリートの腐食状況概観)



写真 2-3-20 元の湯源泉詳細調査時 (コンクリートの腐食状況詳細)

d) 温泉によるコンクリートの腐食

一般的に、温泉地帯での構造物の腐食には、温泉水に直接接することによるものと、噴気ガス、温泉蒸気によるもの、および土壤中の埋設によるものが挙げられる。

コンクリートに対しては、温泉の成分により侵食度が異なるが、「遊離酸」、「硫酸塩」、「炭酸塩」の成分を含む温泉水は、一般に侵食度が大きくなる。特に「硫酸塩」は、コンクリートを激しく侵食する。例えば、硫酸ナトリウムは水酸化カルシウムと反応し、可溶性の石膏を形成し、さらにカルシウムアミネートと反応して、生成物を針状結晶化する。この結晶圧により、コンクリートには著しい体積膨張が生じ、崩壊する。また、硫酸によりシリカゲルが生成し、コンクリートが剥落する。さらに、コンクリートに対する温泉成分の侵食因子は、温泉の pH 値が低いほど、また温泉の温度が高いほど顕著になる。

硫化水素は、酸化を受けて硫酸に変化し、金属やコンクリートなどを腐食させる。硫化水素（硫酸）によるコンクリートの腐食は、気相中の硫化水素酸化による硫酸の生成気相中の硫化水素がコンクリート表面の結露水や飛沫水に再溶解し、好気的な条件のもとで硫黄酸化細菌によって酸化され、硫酸が生成される。硫酸によるコンクリートの腐食・劣化コンクリートの表面に生成された硫酸によって、コンクリートが化学反応を起こし、腐食および劣化する。

e) 日光湯元温泉での調査結果

日光湯元温泉は、日光火山群の噴火によって形成された湯の湖の畔にある。湖からやや離れた平坦部に昔からの自然湧出源泉があり、周辺山地との境界部には掘削源泉もある。温度は 70°C を超え、硫化水素を 40mg/kg 以上含む含 S-Ca-Na-SO₄-HCO₃ 温泉である。川原湯温泉元の湯は温度が 66°C 程度、泉質は含 S-Ca-Na-Cl-SO₄ 温泉であり、日光湯元温泉と良く類似するが、硫化水素濃度は日光湯元温泉の方がより濃く、コンクリート構造物への腐食はより大きいと考えられる。

源泉が所在する場所は、川原湯温泉が山腹の急傾斜面に位置するのに対して、日光湯元温泉は平坦面に存在している点が異なっているものの、源泉の形態は両温泉とも良く類似する。すなわち、地表面を少し掘り込み、周囲はコンクリートや自然石によって固められ、源泉上面は雨や砂塵除けのため、屋根や板材で覆われている（写真 2-3-21～2-3-24 参照）。

日光湯元温泉の源泉周囲のコンクリート枠も腐食が著しく、崩れ落ちているものもある（写真 2-3-25～2-3-28 参照）。

腐食速度は、表 2-3-8 に示すとおり年間 1.0mm 程度であった。

表2-3-8 日光湯元温泉におけるコンクリート腐食状況

部材	部位	経過年数	腐食代	腐食速度	備考
源泉枠		約 60 年	—	—	木枠の設置により計測不可
源泉枠保護擁壁	上部	約 40 年	25mm	0.6mm/年	
	中間		40mm	1.0mm/年	
	下部		20mm	0.5mm/年	

また、天然石はコンクリートよりも高温で、硫化水素含有の温泉に対して比較的耐久性があるものの、その一部は変質し崩れかけている。硫化水素の環境下では、コンクリート構造物はもちろん、自然石などにも耐久性は望めないことが明らかである。

上記したことから、コンクリート構造物の設置には、硫化水による劣化を防止する対策が必要である。



写真 2-3-21 日光湯元温泉の源泉群全景



写真 2-3-22 日光湯元温泉の源泉群近景



写真 2-3-23 日光湯元温泉の温泉集湯枠
全景



写真 2-3-24 同左近景



写真 2-3-25 日光湯元温泉の源泉保護擁壁全景



写真 2-3-26 源泉保護擁壁 上部腐食計測



写真 2-3-27 源泉保護擁壁 中間部腐食計測



写真 2-3-28 源泉保護擁壁 下部腐食計測

2-3-4. 源泉監理

a) 源泉監理の目的

今回の調査では、過年度に実施した場所よりも元の湯により近い場所で調査ボーリングを実施しており、温泉が湧出することで元の湯に何らかの影響を与える可能性が極めて高いと判断された。実際、すべてのボーリング孔より温泉が湧出し、そのうちの1孔では元の湯に一時的な影響を与えた。

さらに、上記したような調査は源泉の状況を一時的に改変させるものであり、元の湯周辺の源泉状況を確認することにより、源泉間の相互干渉や源泉の同一性などに関する新たな知見が得られる可能性を有している。

こうした状況から、調査ボーリングの期間中は特に元の湯の湧出状況を確認することとした。この他の源泉については、以下の理由により監視対象からは除外した。

- ① 養寿館源泉と虎湯は、温泉湧出が確認されているものの、湧出量の測定が困難であること、すでに廃止された源泉であること、ボーリング地点とは距離が離れることなどから、監視源泉とはしなかった。
- ② 目の湯、智与の湯、ますや源泉は所在が不明で、温泉湧出も確認できないことから、そもそも監視源泉とはなり得ない。

元の湯源泉への影響監視の必要性は以上の理由によるが、これとは別に、温泉供給がすでに停止されているはずの王湯共同浴場と笹湯共同浴場に、現に給湯されている温泉がある（写真2-3-29, 2-3-30参照）。それぞれの浴槽へは、本来は元の湯の温泉が供給されていた。元の湯からの給湯は、写真2-3-31に示したように、源泉から湧出した温泉を源泉前に設けた配湯栓にいったん受け、そこから前記した元の湯湧出口の両側にあるパイプに温泉を飲み込ませ、二つの浴槽に給湯される仕組みとなっている。

新湯の開発・利用に伴って、両浴場には新湯の温泉も補給されるようになった。王湯共同浴場では、元の湯からのもの、新湯からのもの、それぞれ別のパイプ口から給湯され、それ以外に第三のパイプからも温泉が湧出していた。この第三のパイプから湧出する温泉が出所不明の温泉である（写真2-3-25）。

笹湯には室外に温泉の受け栓があり、そこで元の湯と新湯の温泉を混合し、笹湯浴槽に給湯していたが、何時の頃からか元の湯の供給はほとんどなく、新湯から補給される温泉でようやく運用できる状態となっていたといわれている。



写真 2-3-29 旧王湯共同浴場（室内）の平成 28 年 5 月の状況（左が男湯、右が女湯）



写真 2-3-30 廃止された 笠湯 浴槽への給湯状況（平成 28 年 8 月、左が男湯、右が女湯）



写真 2-3-31 元の湯源泉の王湯、笠湯への給湯口（平成 28 年 8 月）

王湯会館の解体に合わせて、新湯からの温泉供給は配湯所で停止された。 笠湯については、元の湯の 笠湯給湯口 は温泉を飲み込んでおらず、温泉は供給されなくなつたはずである。しかし、温泉は供給され続けており、その供給源としては元の湯以外には考えられなかつたが、確認は出来ていない。このことから、今回の調査中に何らかの機会を捉えて、その確認を行うことを考慮した。

王湯では、閉栓された元の湯給湯口の栓を外すと、写真 2-2-6 に示した王湯への給湯

口に温泉が飲み込まれる状況が確認できている。つまり、元の湯での王湯への飲み口と、王湯浴場での元の湯からの排出口とは、つながっていることが確認されたことになる。

b) 源泉監理の結果

今回の源泉調査結果を表 2-3-9 に示す。

27No. 1 孔の掘削時は、温泉が地下 1m までの砂混じり粘土層を通して、谷側の石垣部から流出するようになり、温泉の湧出口が 1m 程度切り下げたのと同じ状態になった。この影響で、短時間ではあるが元の湯は干上がったが、この時に笹湯への温泉給湯状況を確認したところ、温泉の湧出は止まっていた。この状況から、笹湯には元の湯の温泉が給湯されていることが確実となった。

一方、王湯浴場に湧出する温泉は、元の湯が干上がっても温泉の湧出は継続していたことから、元の湯の源泉枠から直接パイプを通して給湯されている訳ではないようである。しかし、影響の出現に時間的なズレがあった可能性までは否定できない。このため、元の湯とのつながりを完全否定することもできないのが実情である。

表 2-3-9 調査ボーリング中の元の湯源泉他の監視結果

測定		元の湯						王湯						虎湯					
年月日	時:分	温度 °C	量 L/min	水位 cm	EC mS/cm	pH	測定場所	温度 °C	量 L/min	水位 cm	EC mS/cm	pH	測定場所	温度 °C	量 L/min	水位 cm	EC mS/cm	pH	測定場所
2016/5/20	13:45	66.5			3.33	7.35	前面	60.9			3.16	7.48							
2016/8/1	14:35	67.7					やまきぼし配湯桟												
2016/8/2	11:35	67			3.29	8.18	前面	60.8	10.5		3.22	7.61							
2016/8/4		66.6			2.99	7.2	分析時（薬剤師会）	60.9	10.1		2.77	7.3	分析時（薬剤師会）	62.0			2.92	7.3	分析時（薬剤師会）
2016/8/4	10:46							60.8	9.8		3.15	7.68							
	11:08													61.9			3.31	7.54	
	11:39	68.1			3.29	7.58	前面												
	14:32								9.8										
	16:38								9.8										
2016/8/19	13:30							61.2	12.8		3.09	7.65							
2016/8/21	18:40								0.0	87.5			湧出管立ち上げ						
2016/8/22	8:54								0.0	94.0									
	11:38	70.4					源泉湯だまり最高値												
	13:43								0.0	94.0									
	14:55								0.0	92.0									
2016/8/23	8:55								0.0	93.0									
	9:11	53.7	-0.155				やまきぼし配湯桟 水位内側の縁基準												
	9:47	70.4			3.27	7.29	源泉湯だまり最高値												
	10:53								0.0	90.0			No2 より温泉湧出						
	11:02								0.0	55.0									
	11:29								0.0	53.0									
	12:38								0.0	54.0									
	13:06								0.0	69.0									
	13:23								0.0	98.0			No2 サンプラー挿入時						
	13:42								0.0	95.0									
	14:43								0.0	50.0									
	15:14								0.0	50.0									
	17:23								0.0	84.0			No2 ケーシング立ち上 げ後						
	17:50								0.0	84.0									
2016/8/24	9:21								0.0	86.0									
	10:06		-0.16				やまきぼし配湯桟 水位内側の縁基準												
	11:22								0.0	87.5									
	13:12								0.0	88.5									

	17:00		76.7					0.0	89.0									
	17:37							56.8	15.0									
2016/8/25	8:40		62.6					60.9	15.7		3.16	7.59						
	9:25							0.0	85.0									
	9:27		-0.16			やまきぼし配湯枠 水位内側の縁基準												
	9:54							0.0	85.5									
	10:00		60.5						85.5									
	10:20		64.5						83.0									
	15:52							0.0	82.0									
	16:42							0.0	83.0									
	16:48							0.0	43.0									
	18:10							0.0	44.0									
	19:06							0.0	88.0									
2016/8/26	8:49							0.0	89.5									
	9:40							0.0	44.0									
	10:39							0.0	76.0		No3 サンプラー挿入時							
	11:05	53.6	-0.16			やまきぼし配湯枠 水位内側の縁基準												
	11:13		-0.17			やまきぼし配湯枠												
	11:18		-0.185			やまきぼし配湯枠												
	11:21		-0.175			やまきぼし配湯枠												
	11:33	66.6	-0.17			やまきぼし配湯枠												
	11:37							0.0	40.0									
	11:46		-0.17			やまきぼし配湯枠												
	12:01							0.0	39.5									
	12:04	66.7	-0.17			やまきぼし配湯枠												
	12:06	66.4				前面												
	12:57							0.0	40.0									
	13:05	66.7	-0.17			やまきぼし配湯枠												
	13:05	66.4		3.27	7.54	前面												
	15:43							0.0	13.0									
	16:46	66.5	-0.17			やまきぼし配湯枠												
2016/8/27	作業前							74.5			塩ビ管撤去前							
	10:50							45.0			塩ビ管撤去後							
	11:05							87.5										
	14:45							87.0										
	15:55							87.5										
2016/9/13	12:14							92.0										

電気伝導度の 25°C換算式は次式による（温度係数 α は 2%とした）： $\kappa_{25} = \kappa_t / [1 + \alpha(t - 25)]$

水位は元の湯は水面上から水面までの長さ、王湯は地面からの高さ。

2-4. 解析等調査

2-4-1. 機械ボーリング結果の考察

今回の調査ボーリングの結果、集塊岩と斜長斑岩の境界部や、境界部に近い集塊岩中に発達した亀裂を通して温泉が湧出していることが確認された。後述するが、元の湯源泉内部の温泉湧出箇所も線上に配列していることから、元の湯源泉はボーリング孔で観察された集塊岩と斜長斑岩の境界部が地上に露出している地点と認識することが出来る。この観点から、元の湯源泉、27No. 1 孔～27No. 3 孔、平成 21 年のボーリングで温泉の湧出を見た 21No. 1 孔、それぞれの温泉湧出深度がひとつの面で分布していると捉え、湯脈の伏在深度を表現したのが図 2-4-1 である。図では 27No. 2 孔と 27No. 3 孔との間で屈曲したふたつの面で表現したが、実際には曲面で存在している可能性が高い。

そして、特に元の湯源泉が所在する範囲における等深度線の方向は、元の湯源泉内部で確認された温泉湧出地点の配列方向と一致し、その傾斜はボーリング孔で観察された温泉湧出に関連する亀裂面の傾斜と一致している。

調査ボーリング（図 2-4-2 参照）の結果に基づいて、図 2-4-3～2-4-4 に地質断面図を作成した。

以上のことから、元の湯源泉付近における浅部での温泉流動は、集塊岩と斜長斑岩の境界部や境界部に近い集塊岩中に発達した亀裂を通して行われていると見られるが、新湯が斜長斑岩中を掘削して、元の湯よりも高温・多量の温泉が得られていること、後述する元の湯を通る比抵抗二次元探査の測定結果では、元の湯の深部に温泉の賦存を示唆する低比抵抗ゾーンが広がっていること、27No. 3 孔の斜長斑岩には亀裂が多く発達し、温泉の流動を強く示唆していることなどの諸点から、川原湯温泉地域の温泉は元の湯の山側深部（新湯が存在する側）から元の湯に向かって斜長斑岩の中を上昇するが、地表付近では不透水層として振る舞っている集塊岩が斜長斑岩を覆っているために、温泉の拡散は斜長斑岩と集塊岩との境界部に留まり、貯留されているものと考えられる（図 2-4-5 参照）。

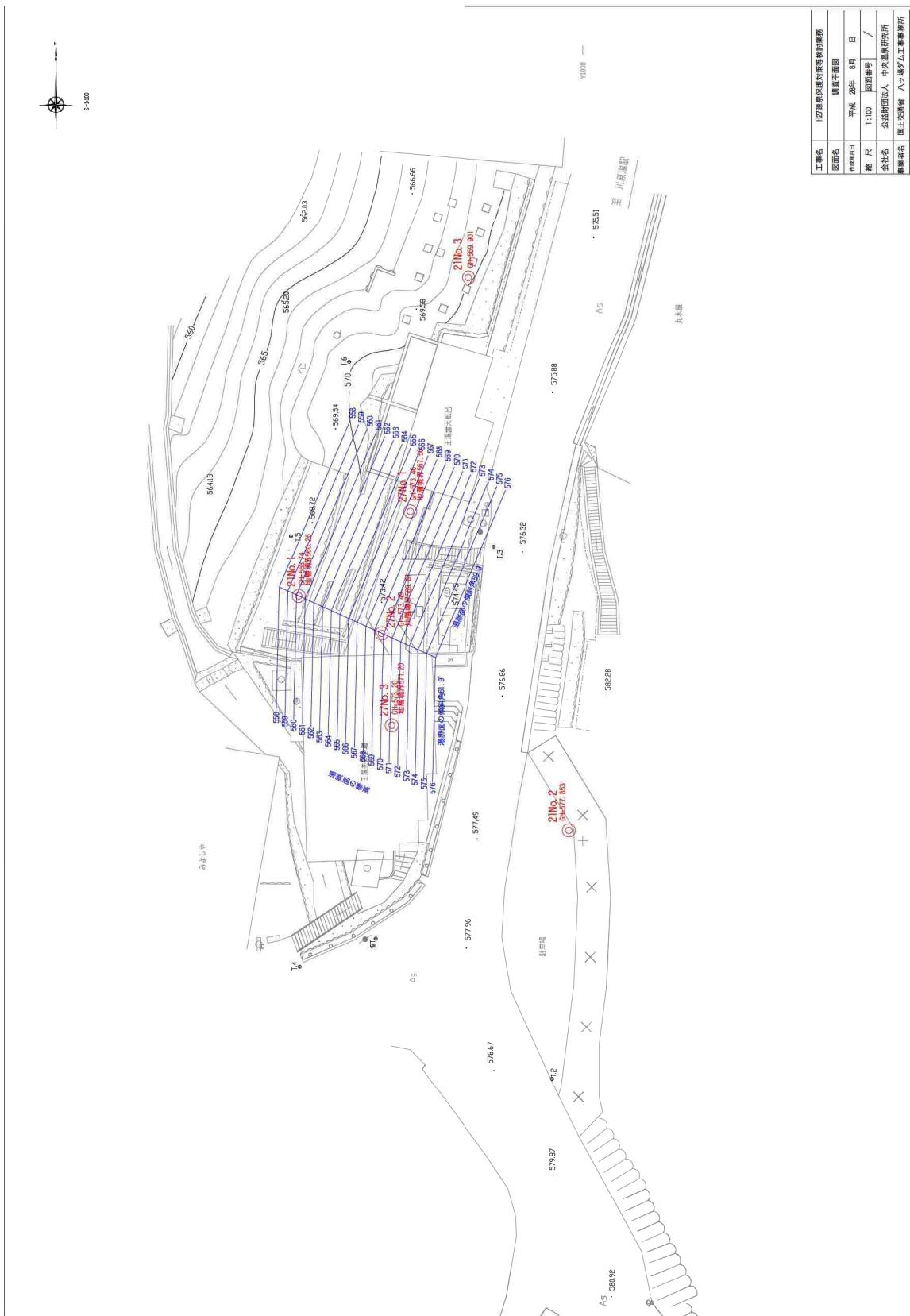


図 2-4-1 元の湯源泉、ボーリング孔から推定される温泉湧出面の等深度線図

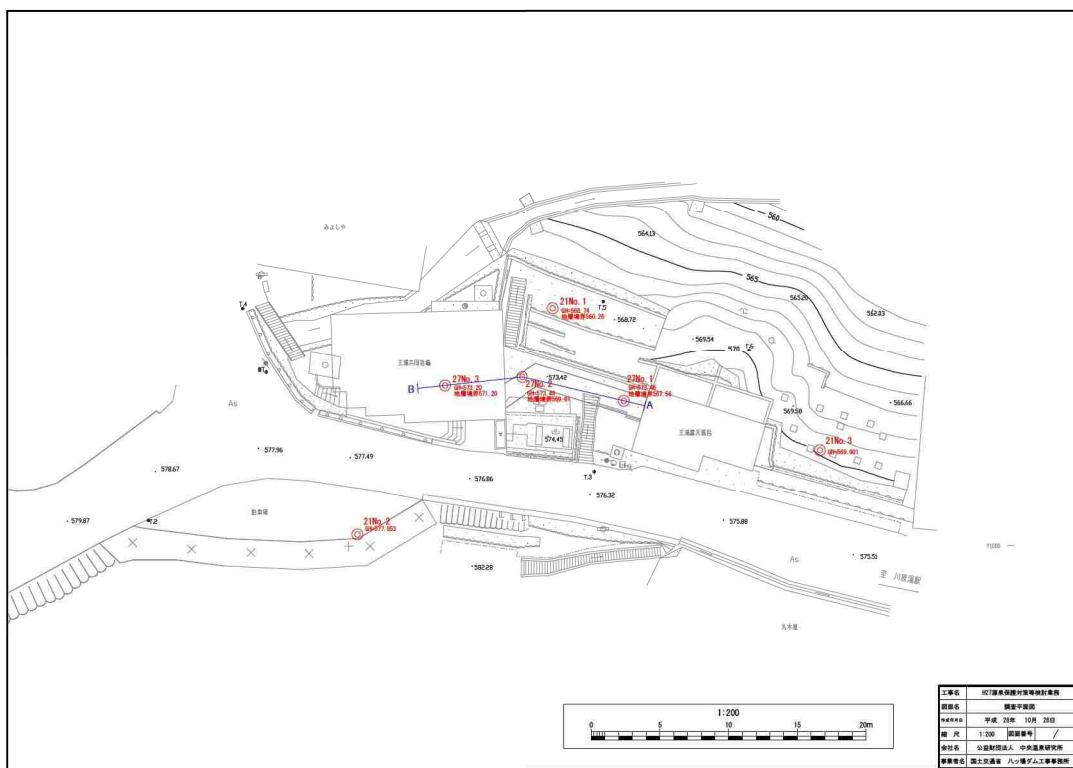


図 2-4-2 ボーリング調査位置図

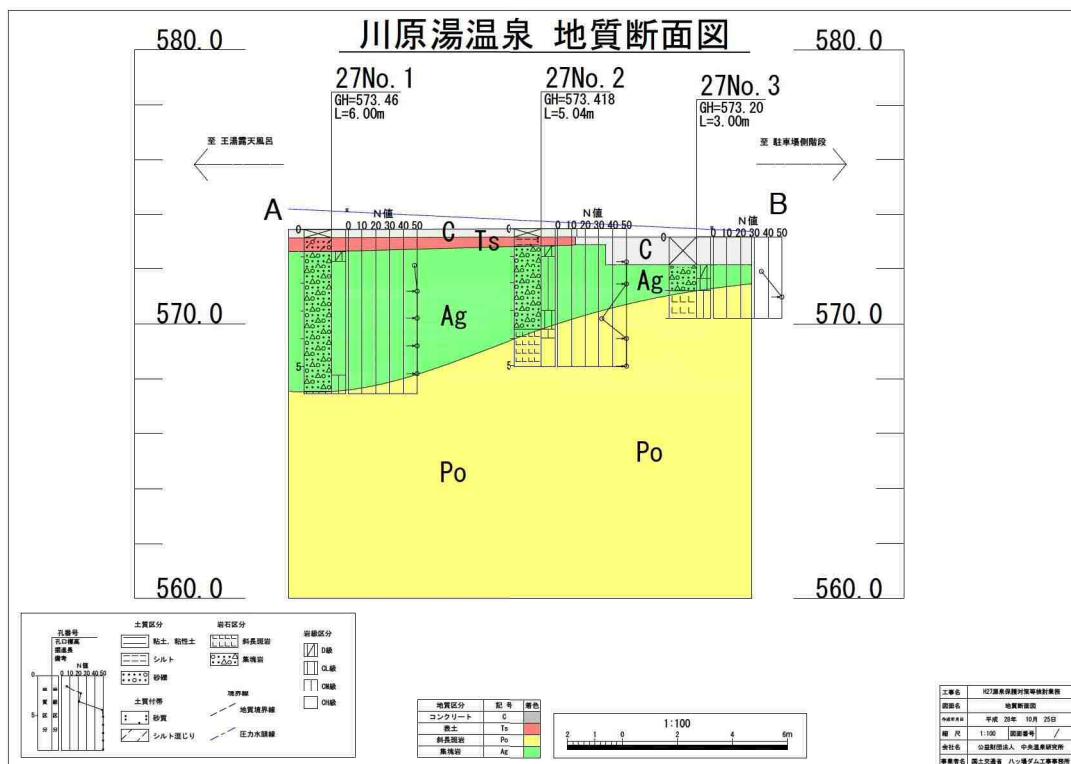


図 2-4-3 ボーリング結果に基づく地質横断図

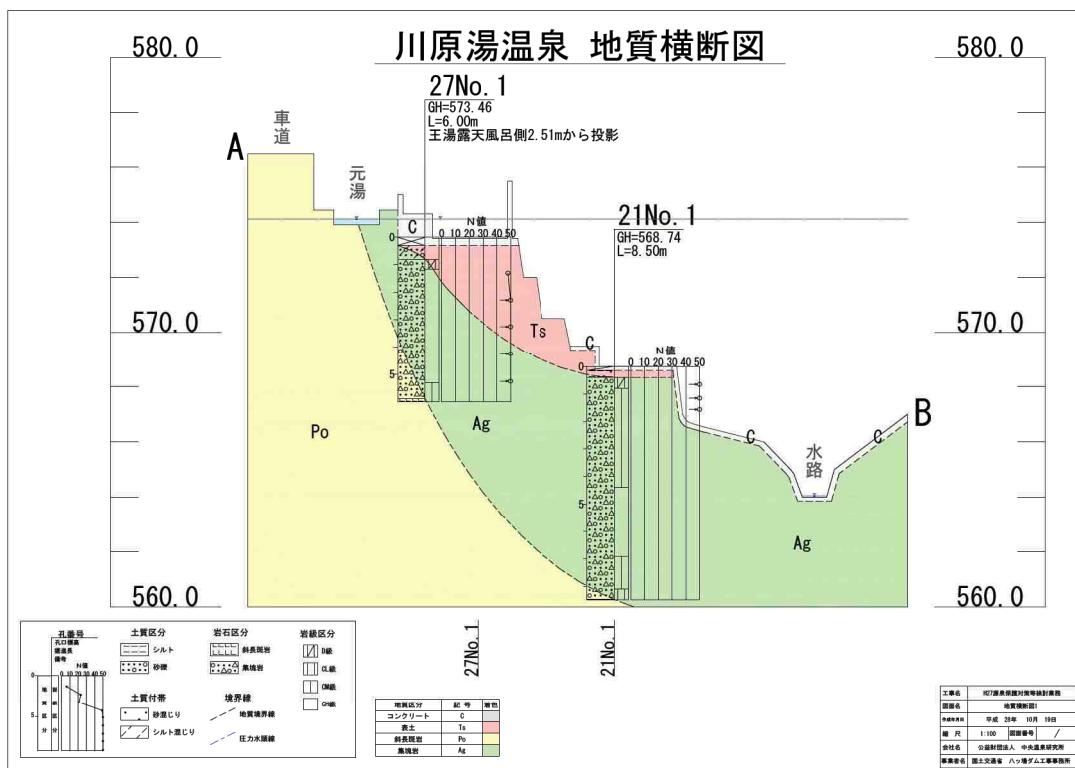


図 2-4-4 (1) ボーリング結果に基づく地質縦断図 (27No. 1)

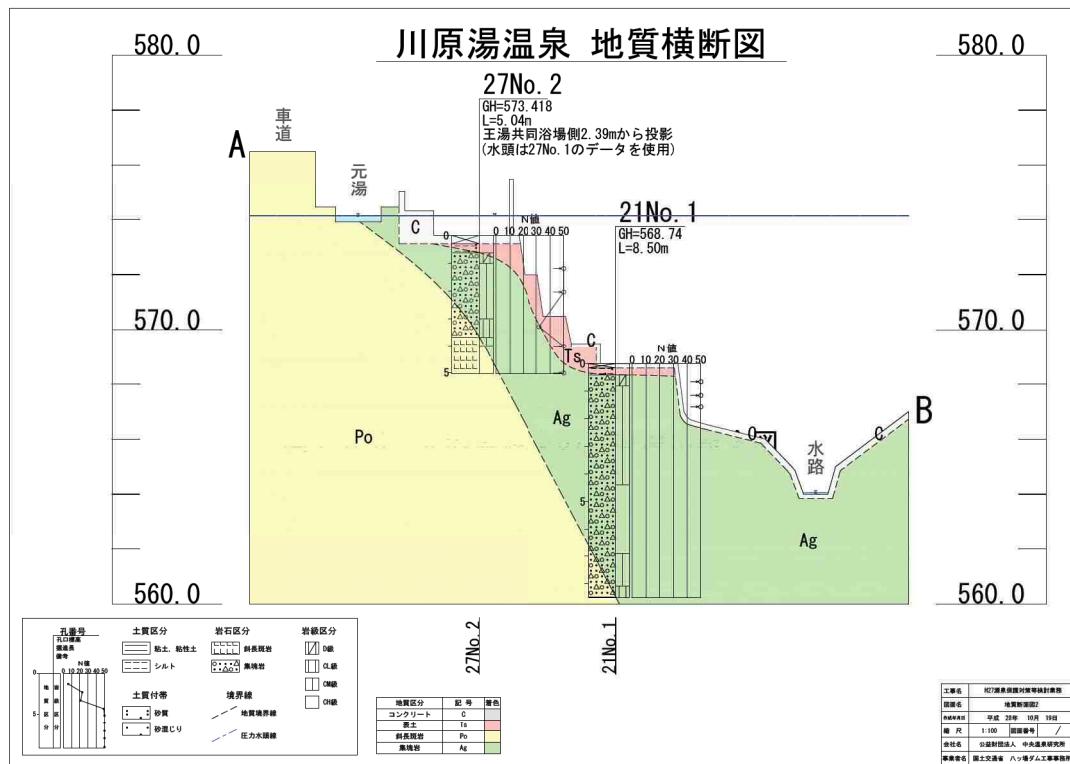


図 2-4-4 (2) ボーリング結果に基づく地質縦断図 (27No. 2)

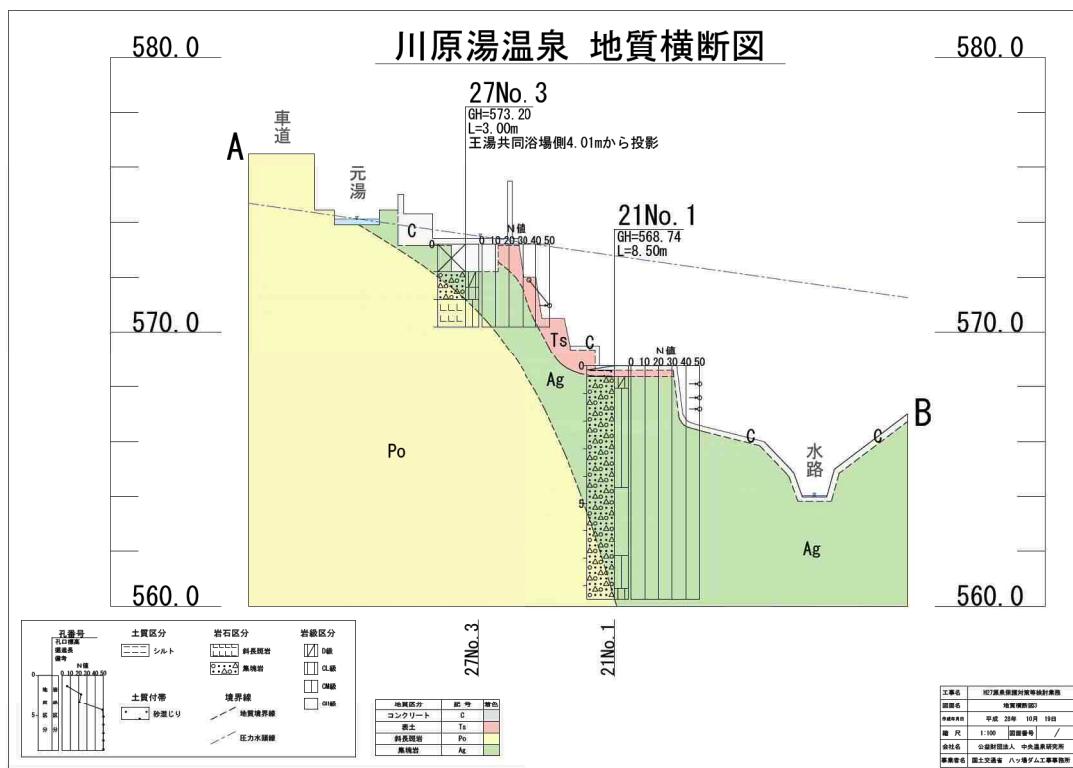


図 2-4-4 (3) ボーリング結果に基づく地質縦断図 (27No. 3)

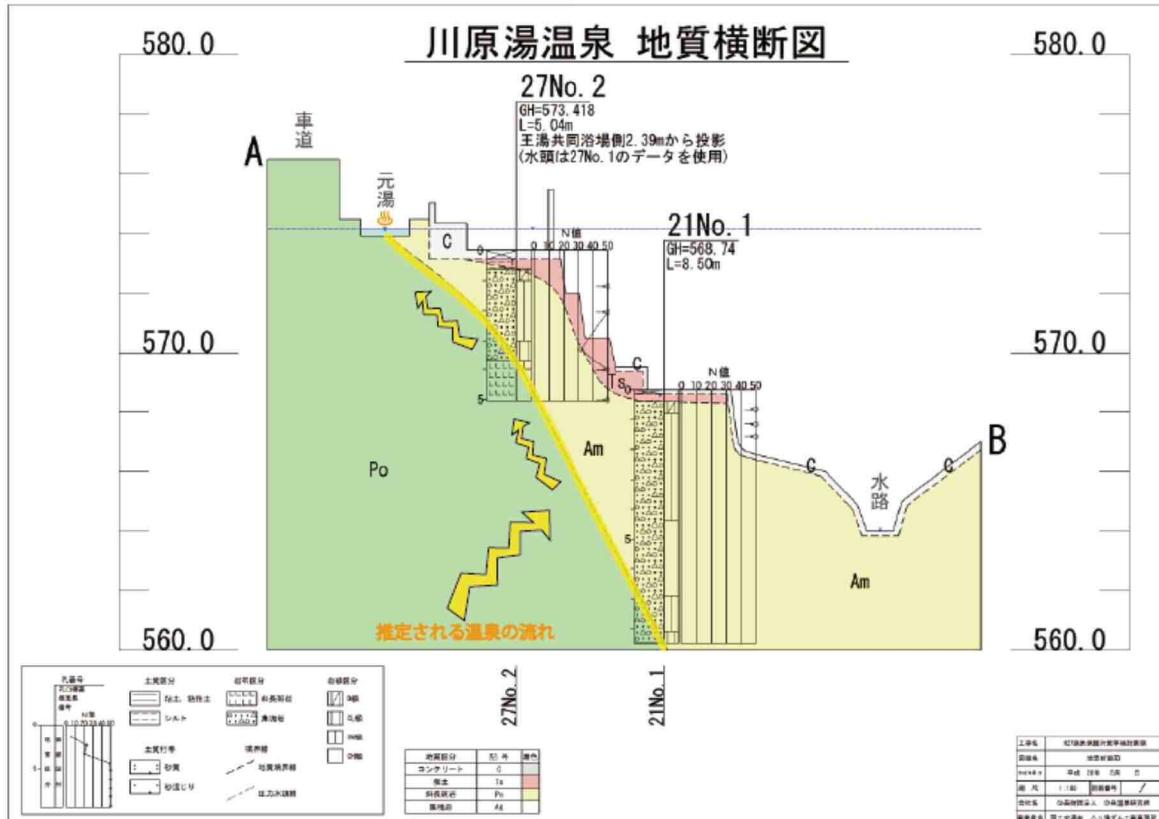


図 2-4-5 ボーリング結果に基づく温泉流動概念図

2-4-2. 比抵抗探査結果の考察

町道下の王湯会館脇の通路に沿って、元の湯源泉を通る測線で測定した結果を図 2-4-6 に示す。

元の湯源泉の直下に低比抵抗ゾーンがあり、温泉の湧出を示唆する。また、元の湯から図の左右両側に分岐する低比抵抗ゾーンがあり、元の湯源泉の直下から上昇する温泉が元の湯に湧出するばかりでなく、源泉の左右に溢流している状況も見て取れる。図の右側に伏在している低比抵抗ゾーンは、後述の王湯湧出源泉の存在に関与している可能性が高い。

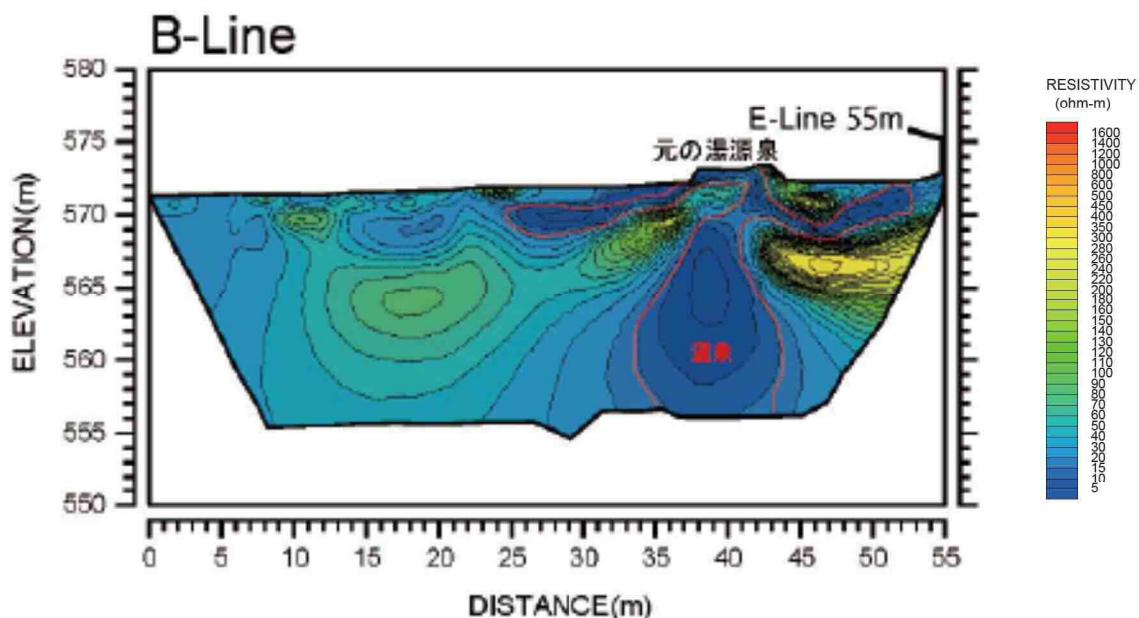


図 2-4-6 元の湯源泉を通る B 測線の比抵抗断面図

2-4-3. 元の湯源泉構造調査結果の考察

温泉の湧出は石階段下の町道に接する辺りが優勢で、そこから概ね S30° W 方向の線上に温泉湧出点が並んでいるものの、源泉構のほぼ中央部まで的小範囲にとどまっていることが明らかとなった（図 2-3-7 参照）。

元の湯源泉に隣接する旧王湯会館の浴場には、パイプから給湯される温泉が男女各 3 口あり、そのうち 1 口は元の湯から直接配湯されているものとは別物だが、詳細な湧出位置は不明である。この王湯湧出温泉は、表 2-4-1 のようにその自噴を止めても（ケース 1）、自噴させても（ケース 2）、元の湯源泉と王湯湧出温泉の合計湧出量は変わらないこと、泉質も両源泉に加えて、虎湯源泉も含めて同一であることから、両源泉は一体の関係にあると見るのが妥当である。

表 2-4-1 元の湯源泉と王湯湧出温泉との関係

	元の湯		王湯湧出温泉		元の湯と王湯湧出温泉 の合計湧出量
	温度	量	温度	量	
ケース 1	66℃程度	76.7 L/min	61℃程度	0 L/min	76.7 L/min
ケース 2		62.6 L/min		15.7 L/min	78.3 L/min

2-4-4. 川原湯温泉の温泉流動・湧出状況に関する考察

比抵抗二次元探査やボーリング調査、各種既存資料の状況などから判断すると、川原湯温泉地域の温泉の湧出機構は以下の通り考えられる。

掘削によって温泉を得ている新湯は、元の湯よりも高温、多量であって、しかも元の湯よりも高所に位置しながら温泉は自噴している。したがって、新湯の深部にある温泉貯留層は元の湯での温泉湧出圧力よりも高い圧力を有していることになる。つまり、圧力的には新湯が上流、元の湯が下流に対応することになり、温泉の流動方向は【新湯深部→元の湯】となる。

各ボーリング孔の調査結果では、温泉は川原湯斜長斑岩と集塊岩との境界部を流動していることが確認されており、その境界部は元の湯に接する現町道の方向から 30° ほど東に振った方向で、60° 程度西に傾斜する面を有している。これはこの付近の山体斜面の等高線の方向と傾斜方向にほぼ一致している。比抵抗二次元探査 B 測線の下位に設定した C、D 測線では川原湯斜長斑岩と集塊岩との境界部=温泉流動面の影響をうけて、全体として低比抵抗化している。

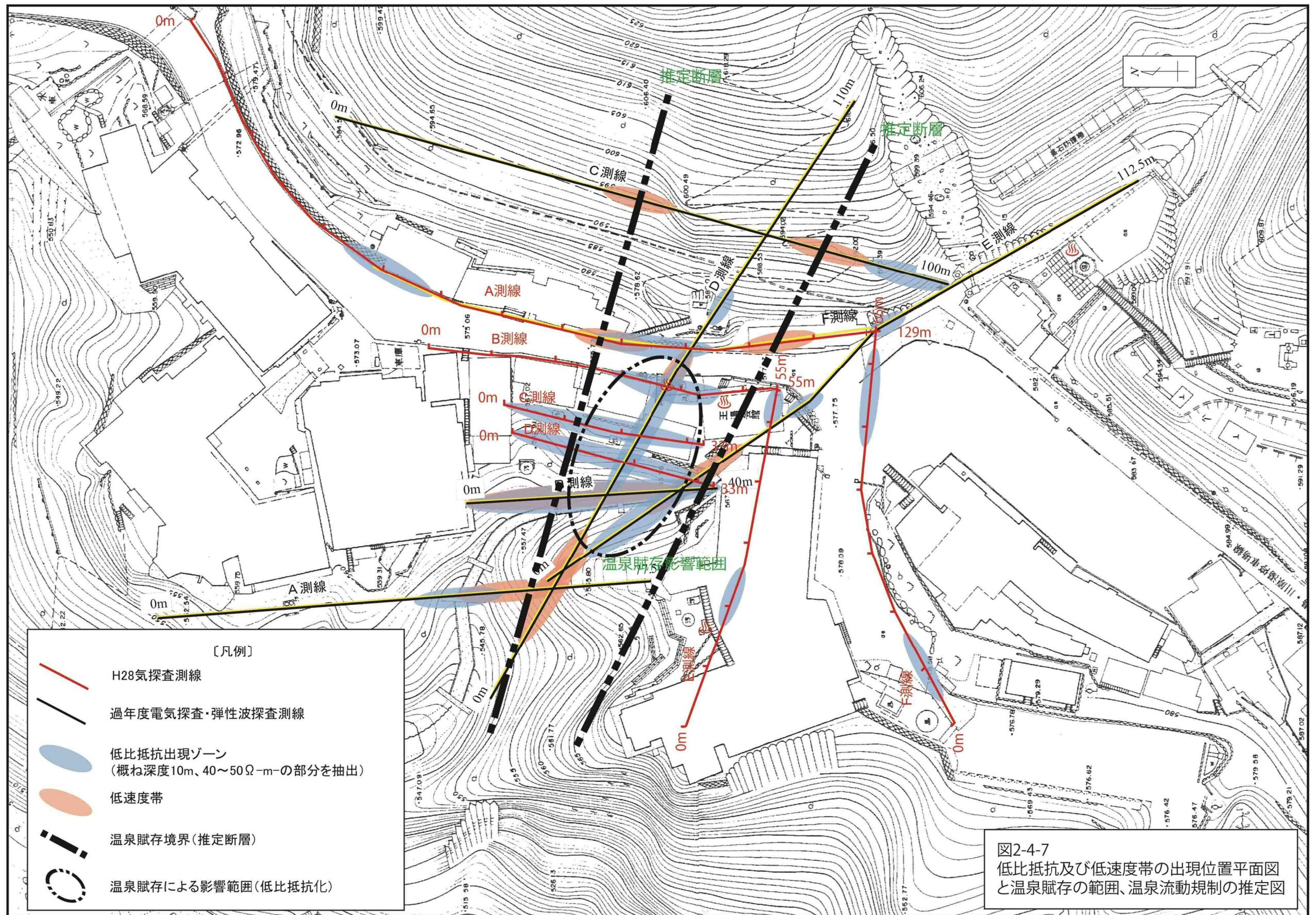
しかし、深部からの温泉供給のすべてが川原湯斜長斑岩と集塊岩との境界部を利用しているとは思われない。むしろ、川原湯斜長斑岩こそが温泉の湧出・流動の場となっていることが強く示唆される。その理由は、①前述の新湯と元の湯との圧力関係から、温泉の流動方向は【新湯深部→元の湯】であること、②比抵抗二次元探査の B 測線で元の湯の直下にひょうたん状に低比抵抗部が広がり、元の湯直下からの温泉水上昇をうかがわせること、③ボーリング孔の 27No. 3 孔の川原湯斜長斑岩には亀裂が多く確認され、温泉等の流動が十分に推定されることである。

以上の諸点から、温泉は山側深部（新湯が存在する側）から元の湯に向かって川原湯斜長斑岩の中を上昇するが、地表付近では不透水層として振る舞っている集塊岩が川原湯斜長斑岩を覆っているために、温泉の拡散は川原湯斜長斑岩と集塊岩との境界部に留まり、貯留されているものと考えられる。そして、現在の元の湯源泉からの温泉湧出は、石段下辺りから S30° W 方向に沿って複数箇所が確認されているものの、大きな広がりはなく、石段下辺りがもっとも優勢であって、むしろスポット的でさえある。

このように限定的な温泉湧出形状を形成した背景には、元の湯の南北両端に推定される断層の存在が大きく関係しているものと思われる。これは、過年度の調査で実施した弾性

波探査において補足された低速度帯の連続性から、図 2-4-7 に示したような温泉湧出範囲の南北を画するほぼ東西性の断層の存在が想定されるのである。

なお、かつての王湯共同浴場には、元の湯から供給される温泉給湯管の他に、出所不明の給湯管が存在する。この給湯管は浴場建物の柱の男湯側まで辿れるが、出所の確認はできていない。しかし、27No. 1 孔から温泉が湧出した時、元の湯の温泉湧出がすぐに停止したのに、この給湯管からの温泉量はすぐには変化しなかったことから、元の湯を温泉の供給源としているわけではない。この湧出温泉は王湯浴槽付近にあるものと推定され、27No. 2 孔、27No. 3 孔の温泉湧出時にはこの王湯湧出温泉も影響を受けていることが確認されており、元の湯、27No. 1 孔～27No. 3 孔、王湯湧出温泉は相互に影響関係にあることは間違いない。この王湯湧出温泉は、前述の 2 本の東西性の断層との位置関係では元の湯のブロックの中にあることから、元の湯と強い影響関係にあることは当然の帰結ともいえる。



2-4-5. 元の湯詳細調査のまとめ

元の湯詳細調査の結果をまとめると、以下の通りとなる。

- ・ 川原湯温泉の既存源泉は、掘削自噴源泉である新湯を除き、すべてが自然湧出泉である。
- ・ 源泉が所在する場所の地質は、新湯も含めてすべて川原湯斜長斑岩の分布域にあり、同岩が温泉の湧出に密接に関連していることがうかがえる。
- ・ 元の湯周辺で実施した機械ボーリングの結果、温泉は川原畠層に相当する集塊岩と斜長斑岩との境界面もしくは境界面近くの亀裂から湧出していることが確認されたが、掘削自噴源泉の新湯は斜長斑岩の中から大量、高温の温泉を湧出させていることから、斜長斑岩の深部から亀裂に沿って上昇した温泉は、地表近くに存在する集塊岩によって遮られて、その境界部（斜長斑岩の貫入面）の亀裂に沿って拡散していると考えられる。
- ・ 現在の元の湯は、斜長斑岩と集塊岩との境界部の亀裂が地表に出現した場所に相当すると考えられ、その方向は概ね N-S～N30° E 走向、60° W 傾斜を示している。
- ・ 元の湯からの温泉湧出は、町道際の石階段下辺りが中心であり、そこから源泉枠内部に向けて上記の方向に沿った 1m 程度の範囲に止まっている。
- ・ 上記亀裂の伸長方向に目の湯や智与の湯、王湯が存在するが、前 2 者の源泉はすでに枯渇状態であり、温泉の賦存を示す兆候もこの付近では得られていない。
- ・ 王湯は元の湯の湧出量と一体の関係にあり、温泉の供給源は元の湯と浅い深度でつながっていると考えられる
- ・ 虎湯、養寿館源泉は、微量ながら現在も温泉を湧出しており、虎湯については今回実施した比抵抗探査の結果、虎湯直下に低比抵抗が見出され、温泉が賦存している可能性を示唆する。この 2 源泉は、ともにダムによって冠水する。
- ・ 既存源泉の一つであるますや源泉の状況は不詳であり、現状は地形改変された場所にある。
- ・ 以上の諸点を踏まえて、次章において元の湯の保護対策の方法や規模、他源泉の処置方法について検討する。

2-5. 元の湯保護対策工法検討

2-5-1. 保護施設の形状

これまでの調査・解析結果による川原湯温泉の温泉湧出機構を勘案して、本項では元の湯源泉の保護工法について検討する。

元の湯源泉の保護工法としては、これまでに、① A案（蓋コンクリート構造）、② B案（独立井筒構造）、③ C案（擁壁+井筒構造、擁壁の形状でいくつかのバリエーションが考えられる）、④ D案（擁壁+ケーシング構造）の4案を提案している（表2-5-1参照）。井筒はその内部に人が立ち入り、作業することができる程度の広がり（大口径井戸）を有している。ケーシングは、通常の温泉井戸内に挿入するケーシング管程度の大きさ（小口径井戸）しか想定していない。

これらの案にはそれぞれ一長一短があるが、①蓋コンクリート構造は源泉を湖水に水没させるものであり、④擁壁+ケーシング構造は源泉を埋立て土で被せてしまうものであり、両者とも保護対策実施後に源泉内部をメンテナンスすることは不可能な構造である。

保護対策実施後であっても源泉内部のメンテナンスが可能なのは井筒構造のみであり、この点を考慮すれば、元の湯源泉の保護工法としては、②独立井筒構造か、③擁壁+井筒構造が適していることになる。さらに、メンテナンスの容易さという観点では、②独立井筒構造は源泉周辺が湖面となり、作業に大きな制約を受けることになるが、③擁壁+井筒構造であれば源泉脇まで重機等が立ち入ることができ、源泉内のメンテナンスは比較的容易である。ただし、井筒構造は井筒底から埋立地盤までの高さが大きく、井筒内の自然換気は期待できない。加えて、底部から湧出する温泉は高温で、有毒の硫化水素を含むため、井筒内に立ち入るのは危険である。メンテナンスを行うには安全確保のためそれなりの準備と対策が必要であり、その観点でも源泉周辺が湖面となる②独立井筒構造は推奨できない。

したがって、経済性がやや劣るが、③擁壁+井筒構造が最も推奨される工法となる。そのための保護範囲としては、元の湯源泉構造調査や調査ボーリングの結果と、主に以下に記す理由を勘案し、決定すべきである。

- A) 温泉の湧出場所は当初考えたものよりも小範囲に留まること、
- B) 温泉湧出の中心は石階段直下付近にあって、温泉湧出部位を確保するには石階段の撤去が必要であり、現状の源泉形態を留めて源泉全体を保護することは極めて困難なこと、
- C) 現在の元の湯全体を井筒で囲った場合、元の湯の軀体となっているコンクリートの風化や腐食がさらに進み、近い将来においてそれらコンクリートの残渣や石積みの自然石、土砂等を排出する作業が川原湯温泉関係者の手に委ねられ、相当額の出費を強いられる可能性が高いこと、

表 2-5-1 (1) 元の湯保護工法（構造）の比較

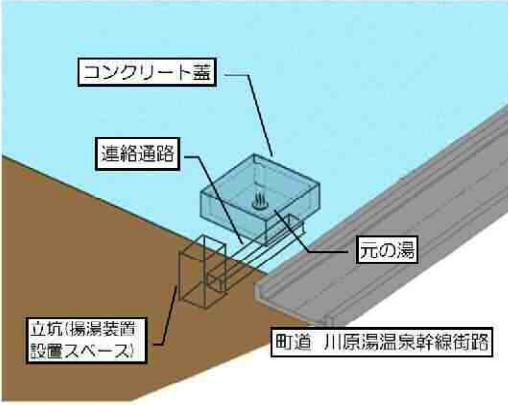
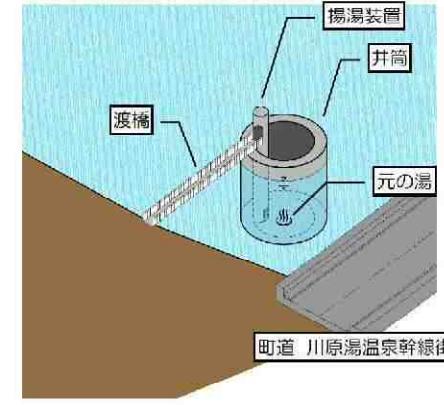
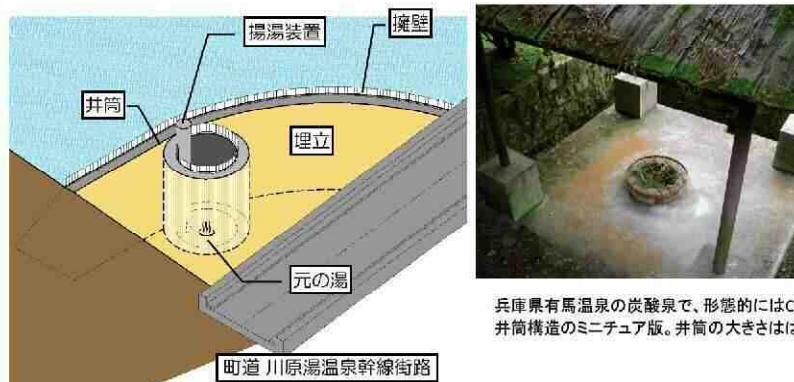
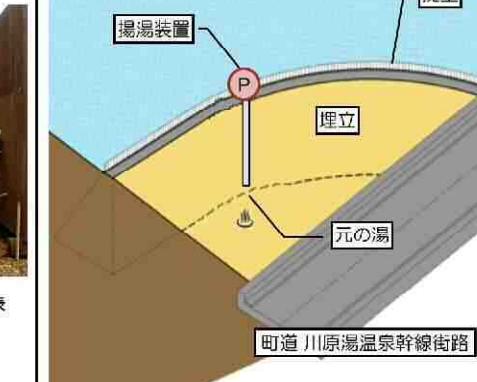
周辺状況 構 造	源泉周囲は水域		
	A案(蓋コンクリート構造)	B案(独立井筒(大口径井戸)構造)	
地上・水上構造物のイメージ写真	   <p>写真は富山県大牧温泉</p>	  <p>取水塔のイメージに近い(岐阜県御母衣ダム)</p>	
工法概要	<p>①元の湯の周囲の基盤層を露出させ、コンクリート基礎を構築する。その上にコンクリートを打設し、元の湯に蓋をする。 ②蓋コンクリートには立坑+横坑からなる導水坑を接続させ、地上部と連結する。</p>	<p>①元の湯の周囲の基盤層を露出させ、コンクリート基礎を構築する。その上に源泉保護構造物を積み上げ、元の湯を閉じる。 ②源泉保護構造物(元の湯)へのアプローチとして、隣接する代替地盛土部へ渡橋を設置する。 ③源泉保護構造物は、強度を考慮して円形のコンクリート井筒とする。大きさは現在の源泉を取り囲む程度になる(直径約7.5m)。</p>	
源泉の形状変化と岩盤圧密の程度	<p>①源泉の現状の形態はほぼ存続するが、蓋構造となるため、日の目を見るることはなくなる。 ②直接基礎方式であること、構造物重量が他工法と比較し軽いことから、岩盤圧密の可能性はほとんどない。</p>	<p>△</p> <p>①源泉の現状の形態はほぼ存続し、井筒上部からその姿を見ることは可能だが、橋を渡る必要があり、一般観光客への開放は制限される。 ②直接基礎方式であること、構造物重量はA案に比較すれば大きいが、他の工法(盛土案)に比較すると小さいことから、岩盤圧密の程度は小さい。 ③擁壁を元の湯に近づけた場合、擁壁の大きな重量が擁壁下に線状にかかり、湯脈遮断の可能性がある。</p>	<p>○</p>
源泉の保守の利便性	<p>①立坑・横坑を人が立ち入れる程度の大きさのボックスカルバートとすることで、蓋コンクリート構造物内の源泉の保守点検等は、ダム湖水位に関わらず一応可能であるが、温泉中に含まれる有毒な硫化水素は空気より重いため、蓋コンクリート構造物内は硫化水素が溜まり、酸欠状態となる。蓋コンクリート構造物内は構造的に換気が不十分となりやすいので、人の出入りは危険性が高い。</p>	<p>△</p> <p>①井筒構造となることで、源泉内の保守点検等はダム湖水位に関わらず可能であるが、井筒内に入人が出入りする際には、空気より重く、有毒な硫化水素が井筒内に充満し、酸欠状態ともなるため、十分な換気が必要。 ②重量物を扱う場合は、代替地盛土からの搬送(橋、クレーン等)となり、メンテナンス内容は限定されるが、井筒と陸地(代替地盛土)とが近接すれば、大きな支障ではなくなる(ただし、上項の③に指摘した問題が発生する)。</p>	<p>△</p>
揚湯設備の設置・保守の利便性	<p>①温泉の揚湯設備は源泉から水平に離れた立坑内に設置することになるが、ポンプ設置時に必要な水深を確保するには、温泉湧出には関係しない立坑底をやや深めに掘り込むだけよい。 ②ポンプの引き上げ・再設置は代替地盛土からとなるが、立坑そのものは代替地盛土に接しており、問題はない。</p>	<p>○</p> <p>①温泉の揚湯設備は源泉を包含する井筒内に設置することになり、ポンプ設置時に必要な水深を確保するため井筒底を掘り込むと、温泉が湧出する可能性が高く、状況によっては源泉部分での温泉湧出状況が変化する可能性がある。 ②ポンプに必要な水深を確保できず、ポンプを横置き設置しなければならない場合は、ポンプの昇降時でも、井筒内に入人が立ち入って、ポンプセットすることが必要となる。 ③ポンプ横置き設置以外では、ポンプの引き上げ・再設置は井筒上端からとなり、代替地盛土との隔離距離によるが、ポンプの昇降はワインチ使用、ポンプの搬入出は渡橋経路となるか、大型クレーンを用いる必要が生じる。</p>	<p>△</p>
源泉周辺の利活用	<p>①源泉周辺は湖水域であり、利活用は原則不可のため、利活用は代替地盛土地域に限定される。 ②源泉そのものの見学はできない。</p>	<p>×</p> <p>①井筒(源泉保護構造物)そのものは湖に孤立するため、井筒自体の利活用は不可。 ②渡橋の長さが短くなれば、代替地盛土との一体感が生じ、代替地盛土を利用した利活用も可能。 ③井筒内部を温泉で満たさないように揚湯(排水)すれば、かつての川原湯温泉の唯一の名残となる現状の源泉形態を井筒上部から観察できる。 ④安全上、渡橋利用に制限がつく可能性があるものの、井筒内の見学は可能。</p>	<p>△</p>
経済性	<p>①構造が簡易であり、施工性はよい。 ②メンテナンス性を重視すると蓋コンクリート構造物の水密性に難点が生じ、水密性を重視するとメンテナンスに難点が生じる。 ②擁壁や盛土の新たな設置がないため、工事費は最も安価。</p>	<p>○</p> <p>①構造は比較的簡単であるが、渡橋基礎が隣接する代替地の盛土部にかかるため、土木構造物としての調整等が必要となる。 ②擁壁や盛土の新たな設置はないが、井筒の規模が大きく、工事費はA案をやや上回るがC,D案に比較すれば安価。</p>	<p>○</p>
維持費	<p>メンテナンスが可能な工法を採用したとしても、メンテナンス可能な時期は限定され、こまめなメンテナンスはできない。トラブルの内容によっては、メンテナンスが行えるまでの期間、温泉を利用できなくなる可能性がある。</p>	<p>×</p> <p>渡橋を利用して保守点検等は可能である。重量物を扱う場合は、源泉保護構造物の位置が陸地から遠くなるほど大掛かりとなる。</p>	<p>△</p>
評価	<p>工事費は安価ではあるが、ダム湖の水位が高い時の保守点検は困難で、温泉を利用できなくなる期間が発生する可能性がある。</p>	<p>×</p> <p>構造は比較的単純であり、保守点検は可能であるが、重量物を扱う場合、速やかな対応は困難となる。</p>	<p>△</p>

表 2-5-1 (2) 元の湯保護工法（構造）の比較

周辺状況 構 造	源泉周囲は陸域		
	C案(擁壁+井筒(大口径井戸)構造)	D案(擁壁+ケーシング(小口径井戸)構造)	
地上・水上構造物のイメージ写真	 	 	
工法概要	<p>①元の湯の周囲の基盤層を露出させ、コンクリート基礎を構築する。その上に源泉保護構造物を積み上げ、元の湯を囲う。 ②源泉保護構造物の回りは盛土(盛土と井筒の立ち上げは同時進行)し、元の湯周囲への人の立ち入りを可能にする。 ③源泉保護構造物は、強度を考慮して円形のコンクリート井筒とする。大きさは現在の源泉を取り囲む程度になる(直径約7.5m)。</p>	<p>①元の湯にケーシング管を建て込み、ケーシング管周辺は温泉水が湧出しないように遮水工事を行う。 ②ケーシング管の周囲は盛土するが、ケーシング管の立ち上げは盛土工事と同時進行となる。</p>	
源泉の形状変化と岩盤圧密の程度	<p>①源泉の現状の形態はほぼ存続し、井筒周囲は盛土となるため、一般観光客も含めて、井筒上部から内部を覗くことは可能。 ②重量構造物である擁壁は、建設位置が主要な湯脈から離れることがから、大きな問題は発生しないと考えられる ③盛土も重量があり、岩盤圧密の程度は他の工法に比較して高くなるが、盛土の場合は重量が面的(均等)に分散することから、湯脈遮断の可能性は低い。</p>	<p>○ ①現在の源泉は盛土の下に埋もれ、存続しない。 ②重量構造物である擁壁は、建設位置が主要な湯脈から離れることがから、大きな問題は発生しないと考えられる ③盛土も重量があり、岩盤圧密の程度は他の工法に比較して高くなるが、盛土の場合は重量が面的(均等)に分散することから、湯脈遮断の可能性は低い。</p>	△
源泉の保守の利便性	<p>①コンクリート井筒周囲は陸地であり、重量物を扱う場合も直近まで近寄れ、保守点検等に問題はない。 ②井筒内に人が出入りする際には、空気より重く、有毒な硫化水素が井筒内に充満し、酸欠状態となるため、十分な換気が必要。</p>	<p>○ ①ケーシング管内の保守は、通常の井戸で行う保守点検の範囲(ポンプの昇降、井戸内の浚渫など)に止まる。 ②ケーシング先端の源泉部で異常が発生した場合は修復することができず、既存のケーシングは閉塞し、新たに井戸掘削を行い源泉を確保する。</p>	×
揚湯設備の設置・保守の利便性	<p>①温泉の揚湯設備は源泉を包含する井筒内に設置することになり、ポンプ設置時に必要な水深を確保するため井筒底を掘り込むと、温泉水が湧出する可能性が高く、状況によっては源泉部分での温泉水湧出状況が変化する可能性がある。 ②ポンプに必要な水深を確保できず、ポンプを横置き設置しなければならない場合は、ポンプの昇降時でも、井筒内に人が立ち入って、ポンプセイドする必要となる。 ③ポンプ横置き設置以外では、ポンプの引き上げ・再設置や交換は、代替地盛土から行うことが可能で、ユニック車や小型クレーンの使用で十分対応できる。</p>	<p>○ ①温泉の揚湯設備は通常の揚湯源泉と変わらず、ポンプの引き上げ・再設置や交換は、代替地盛土から行うことが可能で、ユニック車や小型クレーンの使用で十分対応できる。</p>	△
源泉周辺の利活用	<p>①井筒内部を温泉水で満たさないように揚湯(排水)すれば、かつての川原湯温泉の唯一の名残となる現状の源泉形態を井筒上部から観察できる。 ②井筒周囲は陸域であり、観光客に対しても大きな制限を設けることなく、井筒内部を観察してもらえる。 ③井筒周辺土地を含めた利活用が可能だが、井筒そのものが大きな面積を占めるため、代替地盛土で利用可能な面積は相対的に小さくなる。</p>	<p>○ ①現在の元の湯は盛土の下に埋もれ、観察は不可、復活させることも極めて困難。 ②ケーシング管は通常の掘削源泉と変わらず、陸域であって観察可能だが、観光客に対する観察対象としては価値が低い。 ③ケーシング管周辺土地を含めた利活用が可能で、代替地盛土で利用可能な面積は相対的に大きくなるが、源泉保護構造物そのものが小さくなるため、代替地盛土の面積を小さくすることも可能である。</p>	△
経済性	井筒構造周辺での盛土、盛土と湖水との接觸する部分への擁壁の設置等が必要であり、井筒構造も人規模となるため、工事費はもっとも高額となる。	× 擁壁や盛土は必要であり、その分工事費はB案よりも高額となるが、ケーシング構造は小規模で、その周辺で必要な盛土の面積はD案よりも狭くて済むため、工事費は中程度となる。	△
維持費	源泉近くに仮設機材が横付けできるので、大規模な仮設でも比較的安価に済む。	○ 実施可能なメンテナンスは通常の井戸と変わらず、結果としてメンテナンス費用は安価となる。しかし、施工内容は限定され、メンテナンス不能となれば源泉は放棄せざるを得ない。	△
評 価	構造が人規模となり、工事費、工期が最もかかるが、保守点検および緊急時の対応が容易であり、周辺の土地活用も可能となる。	○ ①構造は単純であり、工事費や工期は中程度であるが、確実性に不安が残る。 ②保守点検および緊急時対応は、点検・保守内容は限定されるものの、比較的容易である。周辺の土地活用も可能となる。	△

また、一般論として保護範囲が大きくなれば工事規模も大規模となり、防水・止水工事が必要になる範囲も広くなつて、源泉部分の防水・止水工事が困難になることが予想される。これに対して、保護範囲が小さくなれば、上記とは逆の効果（相対的に小規模工事となり、防水・止水工事が必要になる範囲も狭くなつて、より確実な防水・止水工事が行なえる可能性が高くなる）を期待でき、メリットとなる。

元の湯の温泉を湧出させる湯脈の南南西延長に位置する王湯湧出温泉は、元の湯とはごく浅い部分で温泉湧出経路を一体としている可能性が高く、王湯湧出温泉の湧出を停止すれば元の湯源泉の湧出量は増え、王湯湧出温泉の湧出を開放すれば元の湯源泉の湧出量は減る関係にある。つまり、元の湯+王湯湧出温泉の湧出量は一定となることから、王湯湧出温泉を元の湯の保護範囲の中に含める必要はないと考える。ただし、ダム完成後にかかる温泉への圧力上昇により、王湯湧出温泉の近傍地表部から温泉が漏出しないように、温泉湧出に関わる地質構造（亀裂）を塞ぐ必要がある。

現時点では、以下の諸点で注意が必要である。

- 1) 源泉保護のための基礎とするために、計画された源泉保護範囲よりもやや広く開削するとともに、保護工施工中の温泉排水および保護工竣工後の温泉揚湯のため、源泉部（温泉の湧出部位）に1ヶ所もしくは複数箇所でボーリングによる井戸を穿つ必要がある。
- 2) 保護工内の源泉部から温泉が外部に漏出しないように、またダム湛水時にはダム湖の水が保護工内に流入しないように、保護工は適切な遮水材料を用いてシールする必要がある。
- 3) 保護工の材料にはコンクリートを使用することになるが、高温で硫化水素を含む温泉が対象となるため、温泉による腐食対策が必要となる。
- 4) 保護工はダムの計画高水位よりも高くする必要があるが、その高低関係の中では温泉を自然湧出状態で採取し、利用することは難しい。温泉を採取するためには揚湯設備が必要だが、ポンプとして水中ポンプかボアホールポンプを採用する必要がある。温泉が高温で、かつ硫化水素を含むことを勘案すると、ボアホールポンプの採用を推奨する。
- 5) 水中ポンプかボアホールポンプか、いずれを採用するにしても、ポンプの水没深を確保するため、源泉部には1)に記した井戸を設けることが不可欠となる。
- 6) この井戸のサイズは、仕上がり口径200mm以上、源泉部底面からの深度が5m程度を確保する必要がある（使用するケーシング管の規格や源泉部底面からの立ち上げ量に応じて、柔軟に対応することが必要である）。
- 7) 井筒の地上部は、雨や塵芥が源泉内に入り込まないように環境に配慮した屋根で修景する。
- 8) 元の湯以外の源泉については、将来、ダム湖に湛水した時の岩盤への圧力増により予期せぬ地点から温泉が漏出しないように、湧出口を閉塞しておく必要がある。

2-5-2. 保護構造物の形状

保護工の構造形状としては、大きくは円形、小判型、矩形の3つの形状が考えられる。以下に

各形状の特徴をまとめておくが、保護構造物の形状としては円形構造がもっとも優れているといえる。

a) 円形構造

- ・ 円形構造は、外周部から作用する土圧を均一に受けるとした場合に、円周方向に土圧による軸力(圧縮力)のみが発生する構造となる。
- ・ 引張力が発生しないため、コンクリートのみで土圧に対して抵抗することができる。ただし、微少部分ではコンクリートの乾燥収縮や不均一な土圧による引張力が発生し、ひび割れが生じる可能性があるため、配筋を行うものとする。
- ・ また、部材には均一な圧縮力が作用するため、部材断面は円周方向に一定とすることができます。
- ・ 構造例) トンネル覆工、集水井など

b) 小判形構造

- ・ 小判形構造は、円弧部と直線部とからなる形状で、外周部から作用する土圧により形状の変形が生じる。この変形により、部材に引張力と圧縮力とが生じるため一般的な鉄筋コンクリート構造となる。
- ・ 引張力が発生するため、これに抵抗する配筋を行う必要がある。
- ・ また、平面上の縦横比によっては、土圧に抵抗する鉄筋コンクリート断面が大きくなることが懸念され(特に直線部)、部材断面を経済的にするためにには平面的に中間梁を設け、変形量を小さくする必要がある。ただし、中間梁の設置により、揚重時の維持管理が煩雑となり、構造的に重要な中間梁を硫化水素ガスから保護する対策が必要である。
- ・ 構造例) シールドマシン発進縦坑、仮設土留工など

c) 矩形構造

- ・ 矩形構造は、直線部からなる形状で、外周部から作用する土圧により形状の変形が生じる。この変形により、部材に引張力と圧縮力とが生じるため、ボックスカルバートのような一般的な鉄筋コンクリート構造となる。
- ・ 引張力が発生するため、これに抵抗する配筋を行う必要がある。
- ・ また、平面上の縦横比による鉄筋コンクリート断面の特性については、小判形構造と同様である。
- ・ 構造例) ボックスカルバート、集水槽など

2-5-3. 保護施設工の硫化物による劣化対策

前記したように、元の湯の源泉を保護するための施設としては擁壁+井筒構造が最も適しているが、その保護施設に使用される材料としてはコンクリートが一般的である。しかし、元の湯源泉井筒詳細調査の項で述べたように、温泉に直接触れる構造物としてコンクリートは適さない。特に、高温で硫化水素を含む川原湯温泉ではなおさらのことである。

保護施設の材料としてコンクリートを使用する際には、何らかの腐食・劣化対策を講ずるか、硫化水素等への耐性がある材料を使用するかが考えられる。以下、これらの点について検討する。

a) FRP 管

温泉のタンクや配管に使用される材料として一般的なのは、金属製品（鉄やステンレス）、塩ビ製品、FRP 製品であるが、川原湯温泉のケース（高温、含硫化水素）で多く用いられているのは FRP 製品である。保護施設となる井筒の材料として、FRP 製品の使用が選択肢の一つとなるが、その場合には FRP 製の温泉タンクを転用することが考えられる。しかし、温泉タンクは内部に温泉を溜めることによる圧力への抵抗力はあるが、外部からの負荷には弱く、井筒の周囲を埋め立てる計画となっている今回のケースでは、温泉タンクをそのまま井筒として転用することはできない。

そこで、埋立土への保護構造物としてはコンクリート井筒を使用し、それが温泉に直接接しない方法として、井筒内に FRP 製の円筒を組み込むことが考えられる。FRP 製品（タンク（写真 2-5-1 参照）、パイプ類）は温泉での使用実績が多く、川原湯温泉の新湯配湯所、打越配湯所のタンクも FRP 製品が使われている。また、上記した日光湯元温泉でも FRP 製のタンクやパイプが使用されている（写真 2-5-2 参照）ことから、元の湯保護材料としても使用が推奨される。

使用する FRP 製の円筒は、特に経済性の観点から温泉タンクを転用することが推奨されるが、コンクリート井筒の中に設置するという条件のもとでは、タンクの直径に対して高さがある程度任意に設定でき、現地で組み立て可能なものが必要である。



写真 2-5-1 FRP タンク例



写真 2-5-2 日光湯元源泉 FRP タンク全景

b) 耐酸性防食ライニング

ここでは、コンクリート製井筒を耐酸性防食ライニングすることにより保護することを検討する。

i) 選定条件

- ・ 泉質は、カルシウム・ナトリウム-硫酸塩泉である。
- ・ 泉温は、約 70°C である。

- ・水素イオン指数は、ph7.1である。
- ・硫化水素濃度は、10ppm程度と想定する。
- ・コンクリートの乾燥収縮等のひび割れに追従する。
- ・硫化水素濃度が10ppm程度であることから、日本下水道事業団指針の下水道防食区分D1種を想定する。
- ・長期耐久性が期待できる。
- ・基礎工は温泉と接することが考えられ、耐酸性防食ライニングによるコンクリートの保護が必要である。なお、基礎工は腐食代等を考慮して壁厚は厚く、壁高は高くすることを想定しているため、FRPライニングは内面のみ考慮する。
- ・井筒工は硫化水素下に置かれるため、内外面に耐酸性防食ライニングによるコンクリートの保護を行う必要があるが、基礎工と比べて壁厚が薄くなるため、構造の安定性を考慮し、内外面ともにFRPライニングを行う。
- ・FRPライニングの高さは、井筒工底面位置から井筒工天端までとする。
- ・ただし、源泉が約70°Cと高温であるため、耐酸性環境で実績の高いFRPライニングを採用することとするが、FRPライニング層の剥離も考えられる。
- ・FRPライニング層の剥離による躯体コンクリートの腐食を防止するため、躯体コンクリートの脆弱化に対して余裕厚(腐食代)を確保するか、貯湯はFRP槽内とし、躯体コンクリートに直接温泉が接しないようにすることを考慮する必要がある。

ii) 選定候補①（エアタイトVE-3工法、図2-5-1、写真2-5-3～2-5-4参照）

- ・下水道腐食環境D種対応で、ビニルエステル樹脂を使用し、硫化水素環境下で50°C程度までの耐久性を確保できる。
- ・耐薬品性は、JIS K 7070により確認し、濃度20%塩酸で70°C以内、濃度37%塩酸で60°C以内、濃度50%硫酸で70°C以内、濃度70%硫酸で60°C以内とする。
- ・ただし、直接に源泉と接しない場合であれば大気環境下となり、70°C以下に温度低下することが考えられる。
- ・耐久年数を証明する資料はない。
- ・FRPライニング層が直接に源泉と接する場合には、FRP層が剥離する恐れがある。
- ・コンクリート躯体のひび割れの追従に適する、軟質ポリエスチル樹脂を使用する工法は、高温環境に適していない。

ビニルエスチル樹脂

エアタイトVE-3工法

防 食

3プライライニング+ガラスサーフェイスマット仕様

膜厚：壁面基準3.0mm以上

防食性・耐薬品性が高い重防食仕様です。

▼FRPライニング工程▼

8.上塗り

MRトップコート30 0.3kg/m²
※クリヤー仕上げになる場合があります。

7.中塗りライニング

MR-300PT 0.4kg/m²
ガラスマット#30P 0.03kg/m²

6.FRPライニング③

MR-300PT 1.2kg/m²
ガラスマットEM450 0.45kg/m²

5.FRPライニング②

MR-300PT 1.2kg/m²
ガラスマットEM450 0.45kg/m²

4.FRPライニング①

MR-300PT 1.2kg/m²
ガラスマットEM450 0.45kg/m²

▼素地調整工程▼

3.バテ処理

MRバテ 0.5kg/m²

2.プライマー

MRプライマー 0.2kg/m²

1.表面処理

サンディング

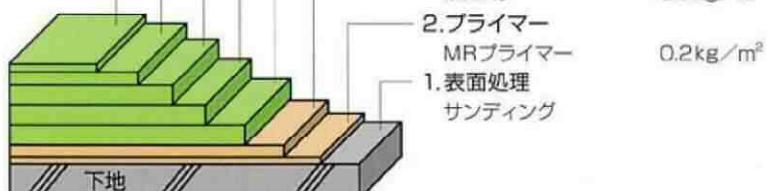


図 2-5-1 耐酸性防食ライニング例



写真 2-5-3 エアタイト工法施工例(防液堤)



写真 2-5-4 エアタイト工法施工例(下水道施設)

iii) 選定候補② (PM 工法)

- 下水道腐食環境 D1 種対応で、ビニルエスティル樹脂を使用しているが、使用環境が複雑なため対応できないことが想定される。
- 耐久性からは高い品質が期待できるパネル工法が望ましいと考えるが、自社で当該工法を保有していないため、使用性や耐久性等については不明である。

iv) 選定結果

- 耐酸性防食ライニングについては、川原湯温泉の高温下で長期にわたって安定的に使用できる材料はなかった。
- ダム湖水位の昇降に伴って井筒内の温泉水位も昇降する結果、ライニング部に温度変化が生じ、熱膨張と収縮を繰り返すことでライニングの脱落を促進する恐れがある。
- ライニングの脱落・劣化に備えて、FRP 槽の併用を考慮する必要があることから、耐酸性防食ライニングは二次的な対策工法に止まると考えられる。

c) コンクリート腐食代 (表 2-5-2 参照)

- 日光湯元温泉におけるコンクリートの腐食は、約 40 年で 40mm 程度と想定される (腐食速度は年 1mm)。この事例を参考にして、腐食速度を年 1mm、使用年数を 100 年とすれば、必要なコンクリート腐食代は 100mm となる。

表2-5-2 コンクリート腐食代の想定

部材	部位	経過年数	腐食代	腐食速度	備考
源泉枠		約 60 年	—	—	木枠の設置により計測不可
源泉枠保護擁壁	上部	約 40 年	25mm	0.6mm/年	
	中間		40mm	1.0mm/年	
	下部		20mm	0.5mm/年	

d) 止水板

i) 選定条件

- 泉質は、カルシウム・ナトリウム硫酸塩泉である。
- 泉温は、約 70°C である。
- 水素イオン指数は、ph7.1 である。
- 硫化水素濃度は、10ppm 程度と想定する。
- 長期耐久性が期待できる。

ii) 選定候補② (ビノン止水板)

- 耐薬品試験にて、70°C のアルカリ溶液中に 14 日間浸漬試験を行い、JIS K 6773 の規格を合格している。

- ・ 耐硫化水素に対する耐性が高いポリ塩化ビニル(PVC)が挙げられる。
- ・ 製品の長期耐久性を考慮し、常温(23°C)での使用が基本となっている。PVCは耐熱温度が66~79°Cであるが、これまでの知見から60°Cを超える場合には別途に考慮する必要があり、製品としては上限を50°C程度と考えている。
- ・ 耐久年数を証明する資料なし。
- ・ 上記により該当製品なし。

iii) 選定候補③(クニシール)

- ・ ベントナイトを主成分とし、周囲の水分により膨潤し止水を行う。
- ・ 核燃料リサイクル開発機構により、ベントナイトは100°C以上の環境で数十年間における安定性が確認されている。
- ・ 製品はアルカリ性の物質で、同アルカリ性の水であれば止水性が確保されるが、酸性の場合にはその構造が破壊され、止水性を発揮しない。
- ・ 耐久年数を証明する資料なし。
- ・ 上記により該当製品なし。

iv) 選定結果

- ・ 検討の結果、井筒工の止水板には耐久年数に関する資料がないが、その中では高温環境での止水性が確保できるシーアイ化成のビノン止水板が選定される。

e) 推奨される劣化対策

以上、保護施設工の硫化物による劣化対策としてFRP筒の使用や防食ライニングなどを検討したが、安定性と確実性の観点から、温泉タンクとしての使用実績が豊富なFRP筒の使用を推奨する。

2-5-4. 源泉保護工の範囲と規模

a) 源泉保護の範囲と規模（図2-5-2参照）

- ・ 元の湯における温泉湧出箇所は石階段下付近が主体で、そこから南南西に1m程度の範囲で、線状に数ヶ所の湧出が認められる。
- ・ ポーリング調査の結果より、温泉湧出は集塊岩(Ag)と斜長斑岩(Po)との地層境界付近にあり、その境界は谷側に60°程度傾斜する。
- ・ 源泉を保護するには、源泉外周の一定の範囲を新鮮岩盤が露出するまで開削し、その新鮮岩盤にコンクリート基礎を構築する必要があるが、この開削によって掘削底面における地層境界は谷側にずれることになる。
- ・ 基礎中空部内には岩盤開削後も上記の地層境界が取り込めるように、かつ調査により確認された石階段下の湧出口も取り込めるように、岩盤掘削部を決定する。

- サイズとしては、同タンクの最小径である内径 $\phi 4100\text{mm}$ （外径は $\phi 4300\text{mm}$ 程度）の使用をまず考える。このFRP筒内の中空部（源泉部）の径は $\phi 4100\text{mm}$ となるが、この径の中には石階段下の湧出口と岩盤開削後の地層境界を取り込むことができる（図2-5-2参照）。

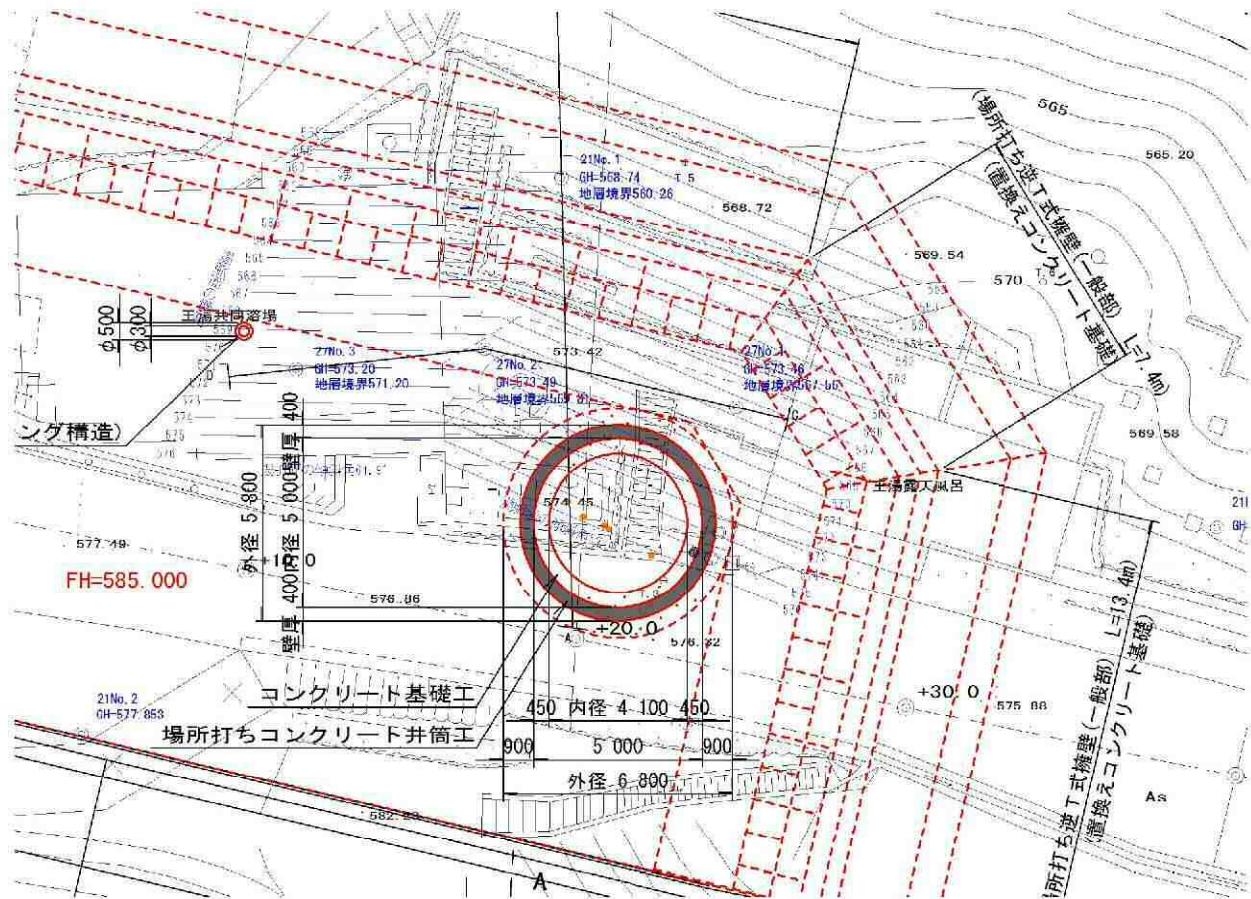


図2-5-2 元の湯保護施設工配置平面検討イメージ図

- 上記した温泉の特徴や保護構造物に使用される材料の特性から、源泉保護工の構造は、①温泉の湧出部位である源泉部（岩盤露出部）と温泉を貯めるためのFRP筒、②FRP筒の外側にあって源泉周囲を盛土から保護するための井筒と、これを支える基礎工、の大きく二つの構造物に区分できる。
- ①の温泉の湧出部位である源泉部（岩盤露出部）は、前掲した元の湯における現在の温泉湧出箇所に加え、源泉部を掘り込んだ場合に谷側にずれると予想される集塊岩(Ag)と斜長斑岩(Po)との地層境界の両方を取り込む。
- ②の井筒と基礎工は上記の施工によって直接温泉が接する（温泉が接触し、流動する）ことは極力防止することができる。しかし、コンクリート部への湯気やガスの漏出を完全に遮断することは困難であることから、コンクリート厚みを土木設計強度上必要な厚みに適度な腐食代を加えることなどの対策を施す必要がある。
- 以上の条件を整理したのが表2-5-3である。

- ・また、内径 $\phi 4100\text{mm}$ （外径は $\phi 4300\text{mm}$ 程度）の既設タンクで、高さを 14300mm まで伸ばした時に必要な円筒筒の厚みと強度計算書は巻末に掲載しておく。

b) 源泉保護構造物の材質

- ・2-5-3項に記した通り、保護構造物の腐食対策としてはFRP筒の使用を推奨する。
- ・FRP筒は外圧に対する抵抗力がないため、FRP筒の周辺を埋め立てる本計画においては、FRP筒の外周は別の構造物（井筒）で防護する必要がある。その井筒の素材としては、コンクリート製が一般的である。
- ・FRP製の筒の大きさは、型枠から製造すればほぼ任意に製作できるが、高額となるため、既製品の転用を検討する。また、FRP筒の挿入は、コンクリート製井筒の所定の高さまでの施工が完了してから行う必要があるが、そのためには現地組立型の特殊な製品が必要となる。
- ・FRP製のタンクやパイプは、川原湯温泉の新湯配湯所及び打越配湯所に使用されている他、上記した日光湯元温泉でも使用されるなど、温泉での使用実績が多い。

2-5-5. 施工部の形状寸法と構造条件（図 2-5-3、表 2-5-3～2-5-4 参照）

上記の通り、保護構造物の内部で温泉と直接接触するのは FRP 筒である。したがって、井筒や基礎コンクリートが温泉と直接接触することはないが、FRP 筒外から温泉の湯気や硫化水素ガスが浸透し、コンクリート製の井筒や基礎を腐食させる恐れはあるので、以下に記すそれらの形状寸法や構造条件は、温泉による腐食代を考慮している。その基礎的な検討は過年度に行っている、

a) 井筒工

- ・井筒工の内径は、基礎工中空部に挿入される FRP 筒外径（ $\phi 4.30\text{m}$ ）に、設置に必要な幅（片側 0.30m 以上）を加えた大きさ（ $\phi 4.8\text{m}$ ）とする。
- ・井筒工の壁厚は、構造計算により決定する必要壁厚に、腐食代 100mm を加えた厚さとする。
- ・井筒工の高さは、計画盛土高 585.00m に 1.00m を加えた高さ 586.00m を天端とし、天端から井筒工と基礎工との止水性を確保するため井筒工を基礎工に 0.50m 根入れした高さまでとし、 11.00m とする。

b) 基礎工

- ・基礎工内空部に設置する FRP タンクの既製品形状は内径 $\phi 4.10\text{m}$ 、外径 $\phi 4.30\text{m}$ であり、FRP 筒固定用金具の設置に必要な幅を加味すると、設置時に必要な基礎工空洞部の内径は $\phi 4.80\text{m}$ となる。なお、FRP 筒固定用金具設置後に基礎コンクリートの打設を行うか、基礎コンクリート内側に固定用金具設置幅分を箱抜きして後打ちコンクリートを充填する方法のいずれかにより施工する。
- ・基礎工の壁厚は、安定計算により決定する必要躯体厚に、腐食代を加えた厚さとする。
- ・基礎工は、基礎地盤である岩盤面との岩着となるため、浸透路長による必要躯体厚を設定しないものとする。
- ・基礎地盤の標高は、ボーリング孔 27N0.1 の 572.31m 以深とする。

- ・基礎工下端から谷側に伸ばす荷重影響線($\theta=30^\circ$)を想定し、これが集塊岩および斜長斑岩内となるようにする（道路上工-擁壁工指針参照）。
- ・基礎工の高さは、施工後の元湯湧出面からの高さとし、3.50mとする。
- ・なお、谷側は地形の傾斜を考慮し、ボーリング孔27N0.2の調査結果より、施工後の元湯湧出面からさらに0.5mの基礎根入れを行い、谷側の基礎工の高さを4.00mとする。

c) 基礎根入れ深さ

- ・基礎地盤はボーリング調査により確認された岩級区分CM, CHの集塊岩および斜長斑岩とし、その標高はボーリング孔27N0.1が572.31m、27N0.2が572.49mとなる（図2-5-4, 図2-5-5参照）。
- ・基礎地盤の標高は、安全側を取り、標高の低いボーリング孔27N0.1の572.31m以深とする。
- ・基礎工下端から谷側に伸ばす荷重影響線($\theta=45^\circ$)が集塊岩および斜長斑岩内となるようにする（道路上工-擁壁工指針参照）。
- ・基礎地盤への根入れ深さは、0.5m以上とする（道路上工-擁壁工指針参照）。
- ・以上の状況から、施工後の元湯湧出面は標高572.00mとする。

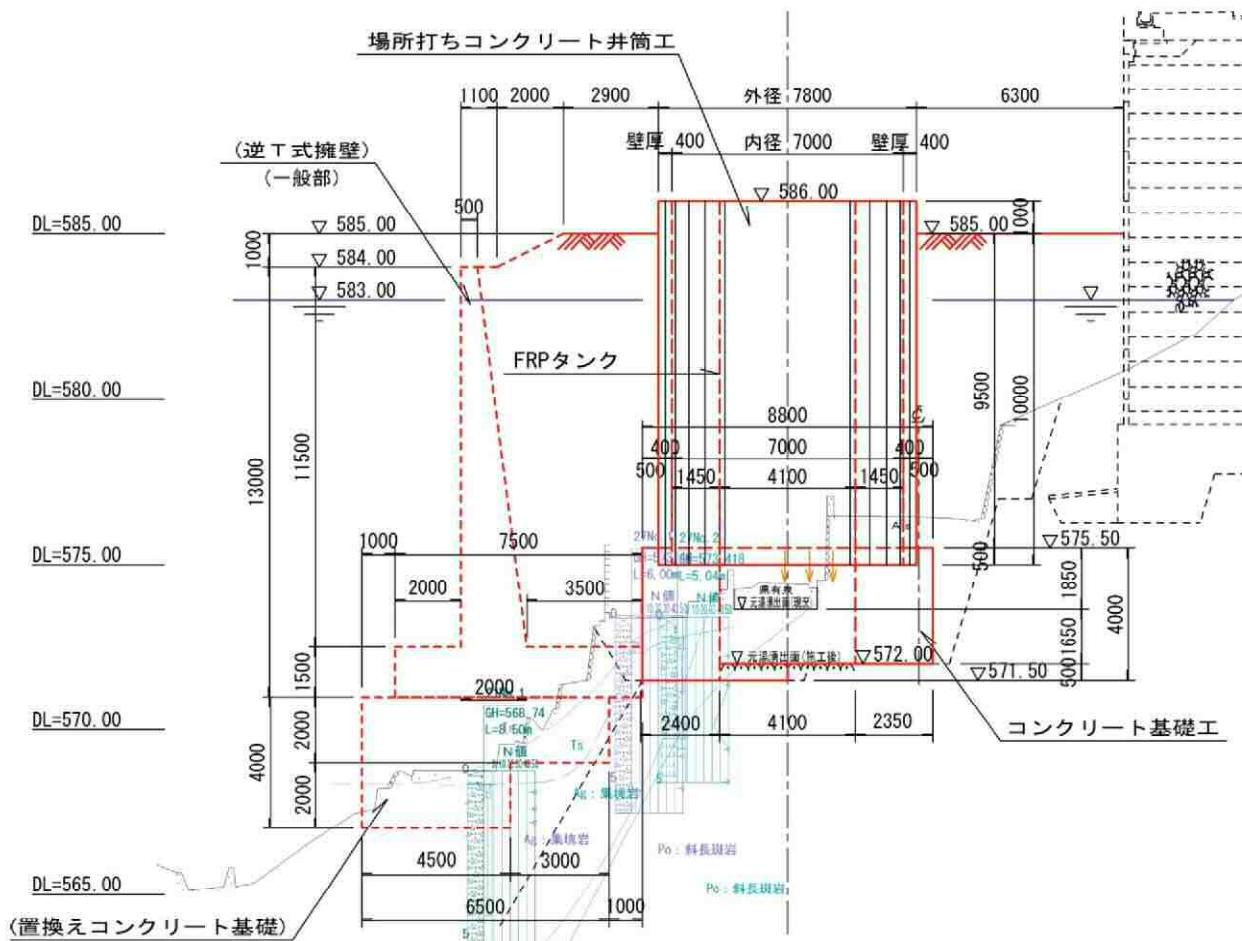


図2-5-3 元の湯保護施設工基礎工検討イメージ図

表2-5-3 井筒工・基礎工の構造概要表

位 置	項 目	項 目	設計条件	備 考
井筒工	形状寸法	内径	・ $\phi 4.80\text{m}$	調査結果参照
		壁厚	・ 必要壁厚に、腐食代を加えた厚さ	
		高さ	・ 11.00m	構造図参照
		天端標高	・ 586.00m	構造図参照
		下端標高	・ 575.00m	構造図参照
	構造条件	セメント種類	・ 普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント ・ 早強セメントの使用も可	
		コンクリート	・ $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 以上	
		鉄筋	・ SD345	
基礎工	形状寸法	空洞部内径	・ $\phi 3.00\text{m}$ (完成後) ・ $\phi 4.80\text{m}$ (設置時必要内径)	調査結果参照
		壁厚	・ 必要壁厚に、腐食代を加えた厚さ ・ 腐食代 : 0.10m	
	構造条件	セメント種類	・ 普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント ・ 早強セメントの使用も可	
		コンクリート	・ $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ 以上	
		鉄筋	・ (SD345)	

表2-5-4 基礎根入れ概要表

位 置	項 目	項 目	設計条件	備 考
基礎	基礎根入れ	基礎地盤	・ 集塊岩および斜長斑岩(岩級区分CM, CH)	調査結果参照
		基礎地盤の標高	・ 572.00m	構造図参照
		基礎への根入れ深さ	・ 0.5m以上	

調査名 H27源泉保護対策等検討業務 ポーリングNo. []

事業・工事名

ポーリング名	27No. 1	調査位置	群馬県吾妻郡長野原町大字川原湯		北緯	36° 32' 51.6"
発注機関	国土交通省関東地方整備局 ハッカダム工事事務所	調査期間	平成28年8月2日～28年8月10日		東経	138° 42' 3.1"
調査業者名	公益財團法人 中央地質研究所	主任技師	現場代理人	コア鑑定者	ポーリング責任者	[]
孔口標高	TP +573.46m	角上 90° 方向 270° 地盤勾配 1:0.0	試験機種	機械式	ワイヤーピーム YBM-05	
総掘進長	6.00m	度数 0° 面 c 面 c	エンジン	ヤンマー NFD-9	ポンプ	丸山製作所 MS313A

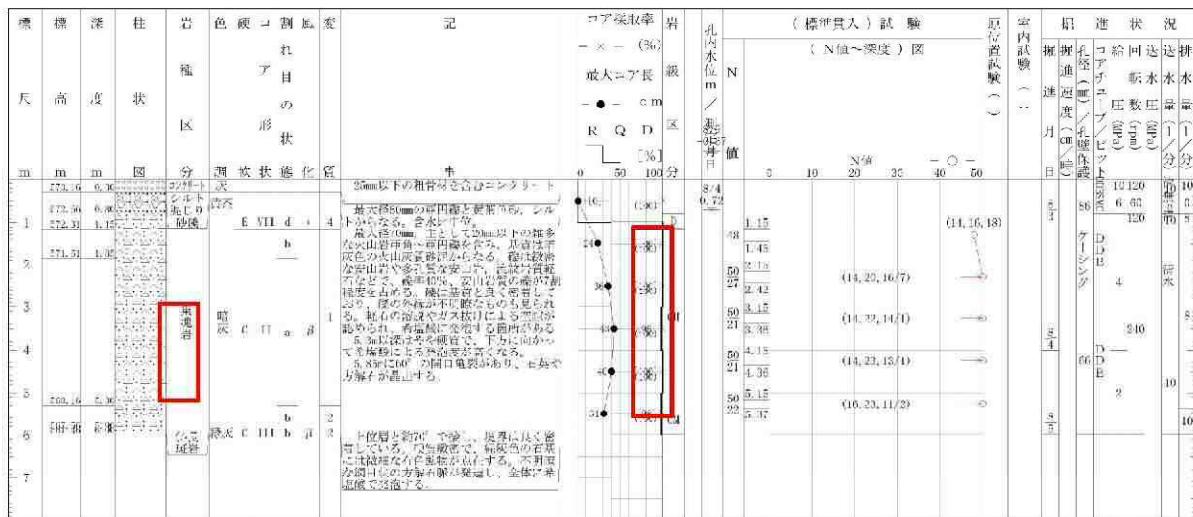


図 2-5-4 ポーリング(27No. 1)調査結果

調査名 H27源泉保護対策等検討業務 ポーリングNo. []

事業・工事名



図 2-5-5 ポーリング(27No. 2)調査結果

2-5-6. 施工計画案

FRP 筒の具体的仕様を図 2-5-6 に示した。以下、FRP 筒の具体的な施工計画を検討する。なお、コンクリート製井筒の施工計画は本業務では行わない。

a) FRP 筒及び源泉部

- 今回採用を計画しているカベオラップタンク（表2-5-5の材料集計表参照）は、FRP筒を立ち上げる底面とFRP筒側壁との部分（コーナー）にコーナーパネルを張り、その上から現地でFRPを積層する必要がある。そのため、底面は平滑面が必要である。
- FRP筒を設置するために打設するコンクリートの広がりは、FRP筒を底面に設置するために必要な最小規模である外径4800mm×内径3000mmのドーナツ状とし、厚さはFRP筒のアンカーポルトを埋め込むのに必要な最小厚さ150mmとする（写真2-5-5、2-5-6参照）。



写真 2-5-5 FRP 筒設置状況



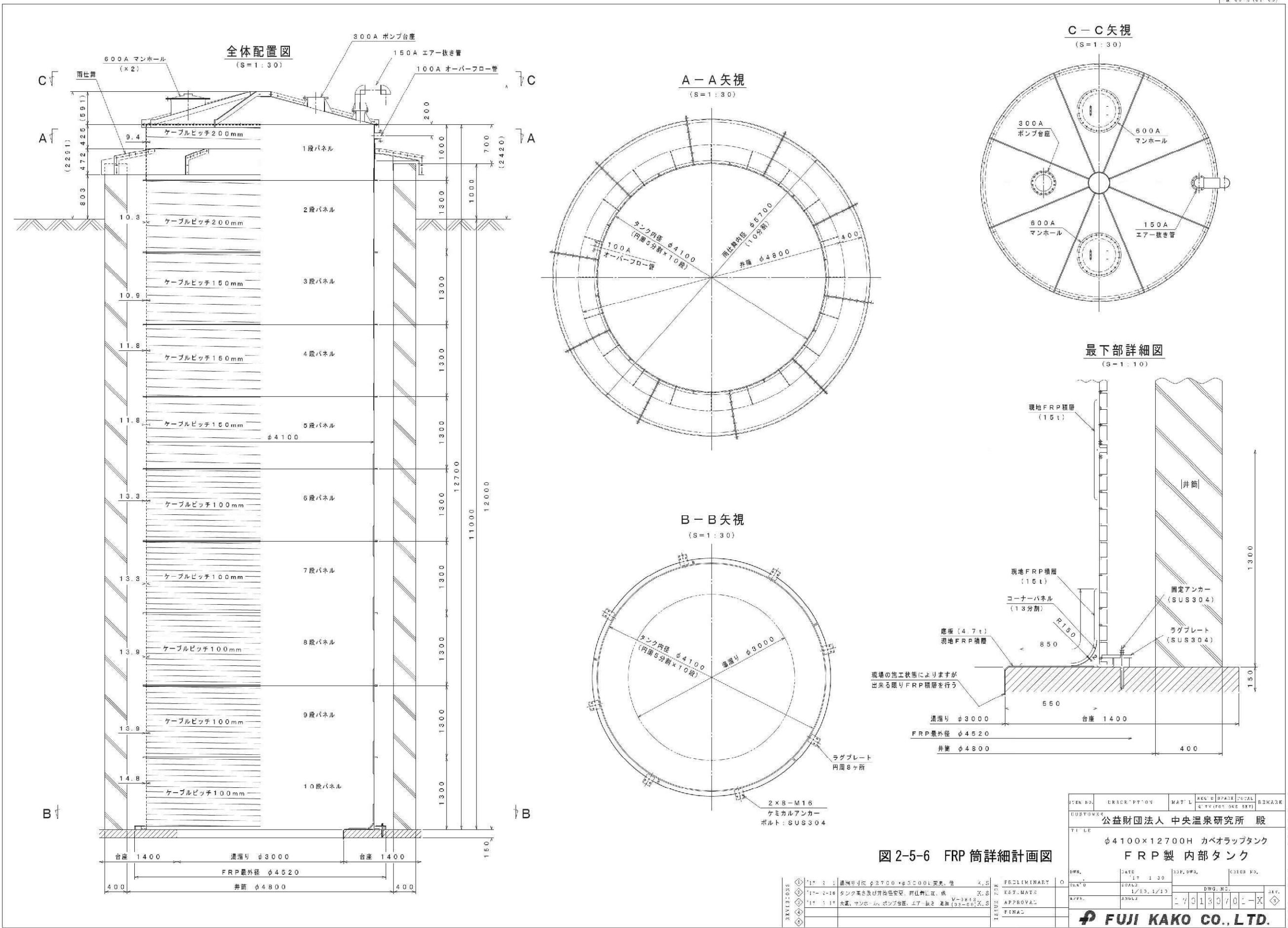
写真 2-5-6 FRP 筒固定用金具設置状況

- また、コンクリート打設部の内面（源泉部）直下は、岩盤を多少（50cm程度）掘り込んで、コーナーパネル、コンクリート面とともに岩盤面も可能な限りFRPを現地積層し、コンクリートが温泉と直接接することがないように留意する。
- 源泉部には源泉保護工事の施工中の温泉排水と、保護工事完了後のポンプ設置のため、最小仕上がり口径200mm以上の井戸を設置する。使用するケーシング管はストレーナー付きのFRP管かステンレス製の巻き線スクリーン管とする。これらの1本当たり単位長さは6m程度のことが多いため、井戸の深さは5～6m程度とする（周辺岩盤面からケーシング管が立ち上がるようとする）。
- コンクリート井筒施工前に、前項に記した温泉排水用井戸から温泉を排水することで施工底部をドライな状態にしながら、FRP筒の最下段（可能であれば+2段目）の設置と底部のFRP積層を完了する。

- ・ 残りのFRP筒の設置はコンクリート井筒の施工完了後に行うものとする。設置方法は後述するが、組み立ては地上部で行い、組み込み可能な段数をクレーン等でつり下げて、既設の底盤側板と接続する。
- ・ FRP筒の詳細施工計画図を図2-5-6に示した。

表 2-5-5 $\phi 400 \times 12700H$ FRP 製内部タンク材料集計表（概略）

No.	品名	数量	単位	備考
1	FRP パネル A (2600W×1300H, t=14.8mm)	5	枚	
2	FRP パネル B (2600W×1300H, t=13.9mm)	10	枚	
3	FRP パネル C (2600W×1300H, t=13.3mm)	10	枚	
4	FRP パネル D (2600W×1300H, t=11.8mm)	10	枚	
5	FRP パネル E (2600W×1300H, t=10.9mm)	5	枚	
6	FRP パネル F (2600W×1300H, t=10.3mm)	5	枚	
7	FRP パネル G (2600W×1300H, t=9.4mm)	5	枚	オーバーフロー管付 1枚含む
8	FRP パネル II ($\phi 4100 \times 8$ 分割, t=6.4mm)	8	枚	天蓋パネル(MII, ノズル付 4枚含む)
9	FRP パネル I ($\phi 4100 \times 5700 \times 1800W$)	10	枚	雨仕舞パネル
10	FRP コーナーパネル (R300×500L)	13	枚	
11	頂部ユニット ($\phi 350$)	1	個	天蓋中心部組込
12	ワイヤーケーブル ($\phi 13 \times 500m$)	3	巻	
13	ワイヤークリップ	50	個	
14	ラグプレート (SUS304)	8	個	
15	ケミカルアンカー (R-16N)	16	個	
16	アンカーボルト (SUS304 M16×240L)	16	本	
17	ボルトナット (SUS304 M16×55L 全ネジ)	90	本	雨仕舞組立用
18	現地積層用樹脂	I	式	
19	現地積層用ガラス	I	式	



b) 施工中の温泉排水計画

- 源泉底部に設ける温泉排水用の井戸は、源泉保護完成後は揚湯利用するためのポンプ設置井戸となる（揚湯ポンプの詳細と選定理由は次項（2-5-7.2）に記す）。
- 源泉保護工事施工中の温泉排水に使用するポンプは水中ポンプか陸上ポンプのいずれかである。完成後の温泉揚湯に使用するボアホールポンプは、施工中ではポンプの保持が極めて困難であり、対象外とした。
- ポンプ能力としては、表2-5-6に示した内容を満足するものが必要である。

表 2-5-6 温泉排水ポンプに求められる主な仕様

全揚程	概ね15m以上
吐出量	200L/min以上を確保できるもの（温泉水位を下げる目的であり、現状湧出量の倍の吐出量を見込む）。
使用条件	温泉の温度：最高70℃ 温泉の特徴：数ppm程度の硫化水素を含むことに対応できる。 運転条件：連続運転、

- 温泉排水時に使用する場合の水中ポンプと陸上ポンプのメリットとデメリットは表2-5-7の通りであるが、いずれの場合もポンプ空転を避けるため、井戸内にポンプ運転の自動停止。自動復帰のための電極が必要であり、吸い切らないようバルブ調整が必要である。

表 2-5-7 温泉排水に使用するポンプ（水中ポンプと陸上ポンプ）の比較

ポンプ種類	水中ポンプ	陸上ポンプ
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 井筒内底部地に設ける設備は水中ポンプ地上部品のみ。 排水不可となった場合でもポンプへの損傷はあまり大きくない 	<ul style="list-style-type: none"> ポンプを2台並列に置くことも可能。 ポンプのメンテナンスや交換が比較的簡単（価格が安価）。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ポンプに不具合が生じ、ポンプ交換が必要になった時は即応できない。 ポンプの価格は陸上ポンプに比較して高価。 	<ul style="list-style-type: none"> 井筒内底部に設ける設備は相対的に大きい。 何らかの理由で温泉排水が行えなくなると、ポンプは水没し、故障する。

- 連続排水を確実にするには、雷等による瞬間停電に対する対応措置（予備電源（発電機）の仮設）が必要不可欠である。ポンプの出力は1.5~2.2kW程度であり、大出力の発電機は不要である。
- 上記施工中の温泉排水計画としては、いくつかの案が考えられる。図2-5-7はその1例で、図では排水ポンプとして水中ポンプを描いているが、陸上ポンプでも同じである。
- コンクリート井筒の立ち上げと同時に、配管をFRP筒の外側、コンクリート製井筒に抱かせるもので、配管材料としては可撓性のあるポリプロピレン管などを念頭に置いている。

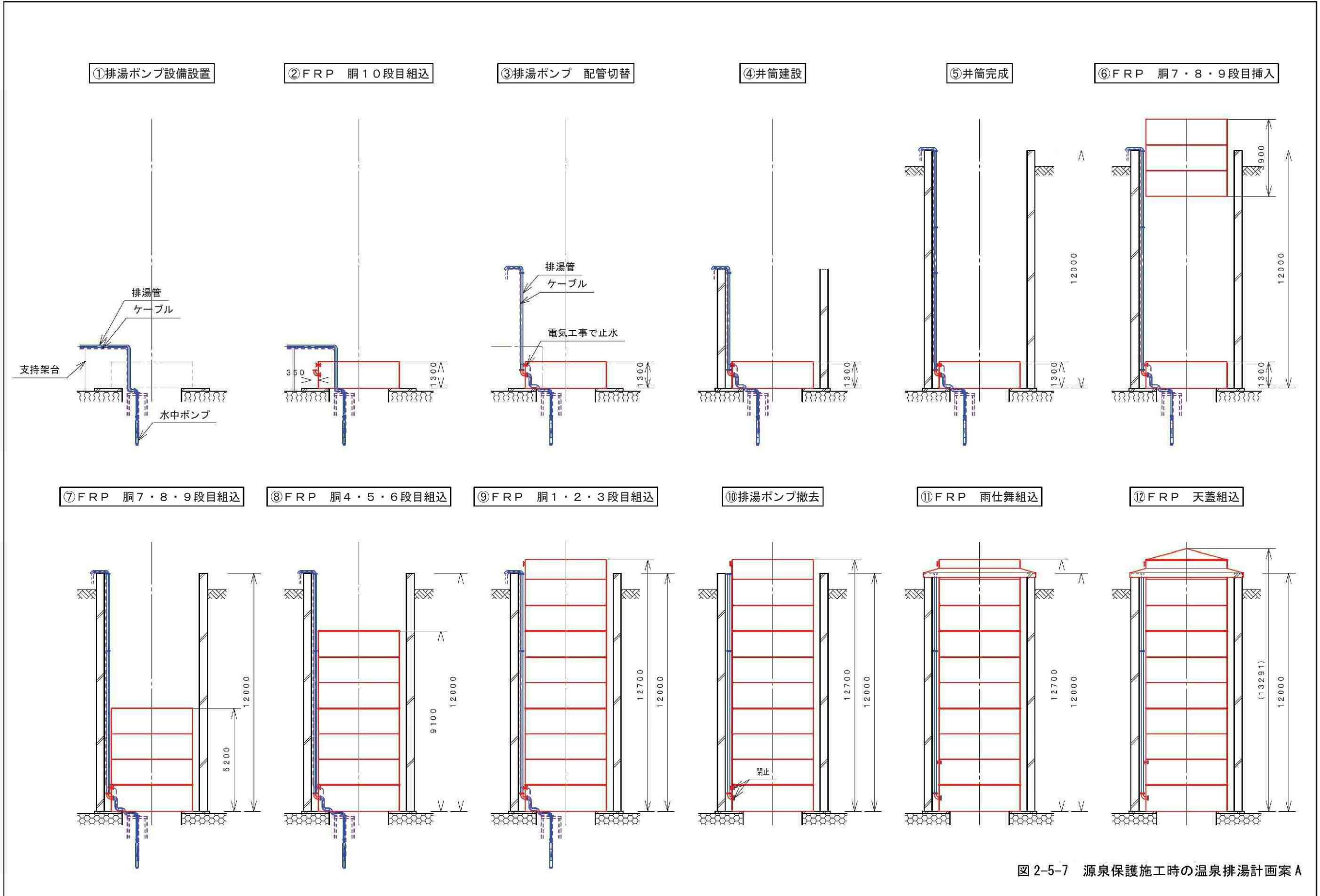


図 2-5-7 源泉保護施工時の温泉排湯計画案 A

- しかし、ポリブデン管も曲げを自由に行える訳ではなく、井筒上端では井筒が立ち上がるとともにエルボの継ぎ足しが必要になること、今回使用する配管口径（水中ポンプで50A、陸上ポンプでは32A）には長尺物はなく、直管（定尺5m）を接続する必要があることから、それらパイプ類の継ぎ足し時には必ず温泉排水の一時中断を伴う。
- また、仮設配管であり長期使用を前提とする訳ではないが、施工中に物が当たったりした場合、金属管に比較すると損傷の度合いが大きいなどの課題も残る。
- これを改善する方法として、コンクリート製井筒の施工時には図2-5-8に示したような排水計画を提案する。これは、仮設足場に配管を抱かせ、井筒の予定構築高さに対応した位置に排湯用のバルブ付き横引き配管を取り付けて排湯する。横引き配管の直上には継ぎ足し用のバルブ（全閉状態）をあらかじめ設置しておき、井筒の予定高さまでの構築が終わったら、その継ぎ足し用バルブの上に配管を継ぎ足し、次の段階の井筒の予定構築高さに対応した位置に排湯用のバルブ付き横引き配管を仮設する。そして、それまで閉にしていた継ぎ足し用バルブを開にし、排湯に用いていた横引き配管のバルブは閉にすることで、排湯を連続的に継続する、というものである。
- 配管材料は、 $\phi 32$ （陸上ポンプ）もしくは $\phi 50A$ （水中ポンプ）の通常の鉄管（配管用炭素鋼钢管）で十分であり、耐衝撃性はポリブデン管よりも優れている。

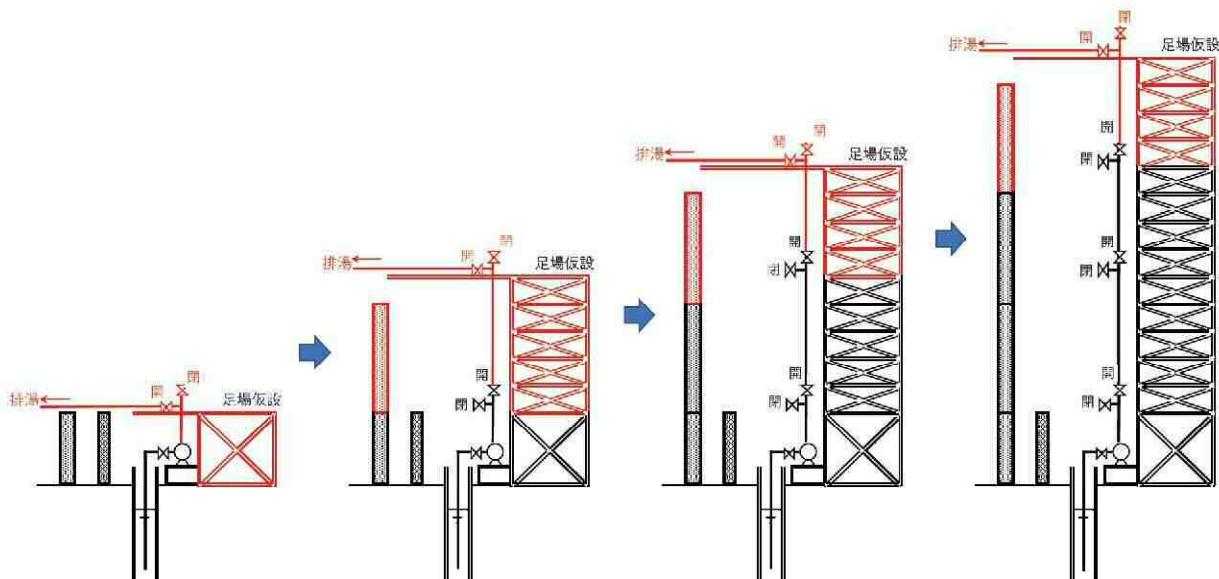


図 2-5-8 源泉保護施工時の温泉排湯計画案 B

- コンクリート井筒の構築が終わり、FRP 筒の設置に入った段階では、図 2-5-9 に示した仮設配管に移行する。コンクリート井筒の構築が終わったところで、FRP 筒の一段目に設けたフランジ部（横向き）に当初設置してあった横引き配管のバルブまで管を接続し、FRP 筒の外側にも同様に接続されているフランジ（上向き）に管を接続し、構築済みのコンクリート井

筒に管を抱かせ設置することになる。

- ・動力ケーブルについては、図 2-6-9 に示したように、あらかじめ FRP 筒の一段目を通してコンクリート製井筒に抱かせて設置しておくことを推奨する。これによって、コンクリート製井筒構築後、FRP 筒構築前の仮設に際しても、ポンプ電源ケーブルのつなぎ替えが不要で、排水の一時停止を行う必要がなくなる
- ・井筒内の仮設足場については、コンクリート製井筒及び FRP 筒設置時に共通する土台構造物として、井筒内岩盤露出部に強固な仮設作業床（プラットフォーム）を設置する必要がある。ポンプ設備はこの作業床下に設置するが、必要な高さとしては 1m 程度を推奨する。
- ・作業床面の高さは、最初に設置する FRP 筒の最下段（10 段目）の上端高さよりも低くすることで、次段目（9 段目）の FRP 筒設置へのライニング施工が容易となるように配慮する。
- ・温泉排水用材料一覧（ポンプは前掲）

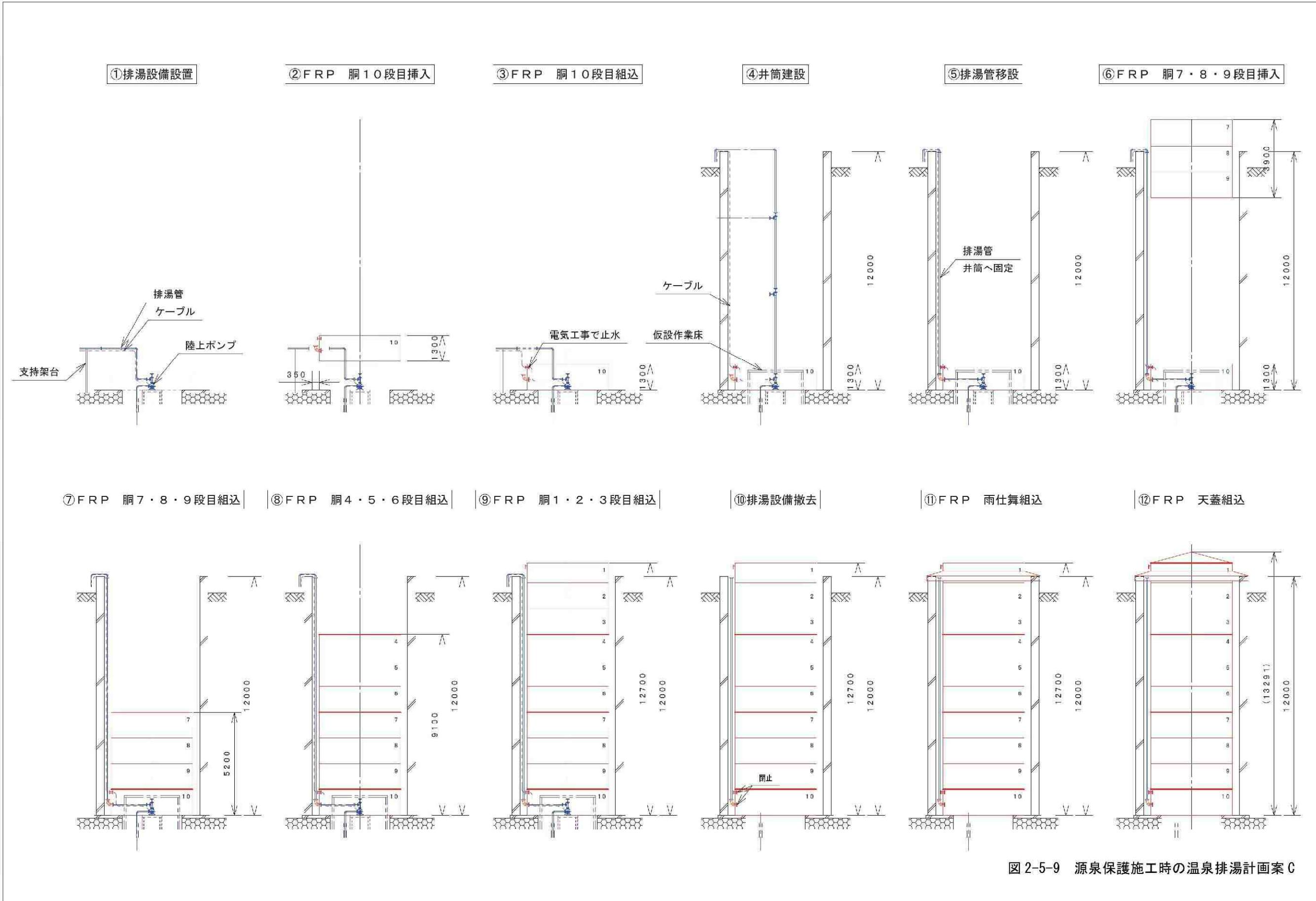
表 2-5-8 温泉排水に使用する主な材料一覧（ポンプは除く）

コンクリート製井筒設置

φ 32ASGP もしくは φ 50ASGP の直管	垂直配管 17m+（仮設段階数に切断、両端ねじ加工）、横引き配管 8m+（4m×2 本、ねじ切り）
同上サイズのフランジ（ねじ込み式）	2 個（ポンプ接続部）
同上サイズのバルブ（ねじ込み式）	2 個×仮設段階数（8 段）
同上サイズのチーズ（ねじ込み式）	1 個×仮設段階数（8 段）

コンクリート製井筒設置後、FRP 筒設置時

φ 32ASGP もしくは φ 50ASGP の直管	垂直配管 12m+（5.5m×3 本、両端ねじ加工）、横引き配管 1m+（短管、両端ねじ加工）
同上サイズのフランジ（ねじ込み式）	2 個（FRP 筒取り出し部）
同上サイズのバルブ（ねじ込み式）	1 個（地上部）
同上サイズのエルボ（ねじ込み式）	2 個（FRP 筒内）
同上サイズのソケット（ねじ込み式）	2 個程度（井筒内）



2-5-7. 付属物

a) 構造物内への昇降設備

- ・保護対策後の源泉内には70°C近い高温で、硫化水素（空気より重く、源泉保護施設内の底部に停滞しやすい）を含む温泉が湧出していることから、基本的には源泉内への立ち入りは厳しく規制すべきである。タラップ等の昇降設備を常設すると、安易な源泉内立ち入りを可能とすること、それら設備は湯気や硫化水素等で腐食し、それに頼って昇降するのはかえって危険であることから、常設設備は設置しない。
- ・源泉内に立ち入りするときは、源泉内の温泉水位を低下させるため温泉の揚湯を行いながら、かつ源泉内の送気・排気を十分に行いながら、源泉底部で作業することの安全性が確保されたことを確認した後に、落下防止対策を施し、スライド式はしごなど用いて立ち入ることとするので、井筒やFRP筒にはその都度必要となる換気設備や昇降設備を地上で固定できる部材を設置しておく。なお、源泉内の温度を低下させるには、人が立ち入る前に源泉内に霧状に散水するなどの方法も効果的である。

b) 揚湯設備

- ・源泉内には温泉を採取するためのボアホールポンプ（重量500kg程度）を設置する。ボアホールポンプを選定した理由は、温泉が高温であることと、硫化水素を含むこと（電源ケーブルに浸透して、絶縁低下を引き起こす）、の2点である。
- ・ボアホールポンプは、2-5-1項に記した源泉部に設ける井戸内に挿入されるが、その直上の地上部にはモーターが設置されることになる。そのサポート設備を設ける場所（埋立地盤、コンクリート井筒、FRP筒のいずれか）については、源泉の地上部をどのように処理するか定まっていない現状では、コンクリート井筒やFRP筒の構造設計に関係しないよう、コンクリート井筒周囲の埋立地盤にポンプサポート設備を設けることとする（図2-5-10）。

c) 安全設備

- ・可能性は低いが、温泉がFRP筒の上端を越えて溢流することがないよう、FRP筒の最上位箇所にはφ100mm程度の余水吐（フランジ）を接続しておく。この管径は現状の温泉湧出量を飲み込むのに十分な口径である。
- ・上記の余水吐出管は温泉の湯溜まりとなるFRP筒に設置することになるが、コンクリート井筒とFRP筒と同じ高さに設置すると、この吐出管を通すための穴をコンクリート井筒に設けることになり、FRP筒の温泉による伸縮を考慮すると不都合が生じる恐れがある。このため、吐出管をコンクリート井筒の天端よりも上に配置できるように、FRP筒の天端の高さはコンクリート井筒よりも高位にする。
- ・なお、余水吐出管は水平短管をフランジ接続し、通常は水平管から90°エルボをつなぎ、コンクリート井筒周辺の特定箇所に設ける排水溝内まで管を接続しておくが、必要に応じて溢流量が計測できるような設備とする。

- ・コンクリート井筒とFRP筒との間には数10cmの空間が残り、人がその隙間を覗ける位置となる（コンクリート井筒の天端の高さは埋立地盤+1m）ことから、危険防止・落下物防止の観点から、スカート状の覆いを設置する。この覆いはコンクリート井筒に密着させない構造であり、FRP製とするので、覆いには過重はかけられない。
- ・源泉の地上部分をどのような体裁で仕上げるかは今後の課題であるが、方法としては、①FRP筒に既製品の屋根をかけ、上記ボアホールポンプはその屋根の上に適切なサポートを設けて設置する（ボアホールポンプは屋外型となる）、②FRP筒には既製品の屋根はかけず、FRP筒上にボアホールポンプを適切なサポートを設けて設置し、コンクリート井筒やボアホールポンプのモーター部を含めて全体を小屋掛けする（ボアホールポンプ直上の屋根にはボアホールポンプ昇降のための取り外し可能な天窓を設置する必要がある）、の二通りが考えられる。
- ・①の方法は構造物がFRPタンクの屋根部となり、新湯や打越の配湯所のタンクと同様の見栄えとなる。これに対して、②は小屋の形状を多様にデザインすることが可能であり、源泉公園などのモニュメントとして観光要素の一つにもなり得る。今回の計画では、②の内容が未定であるため、①の案を採用している。

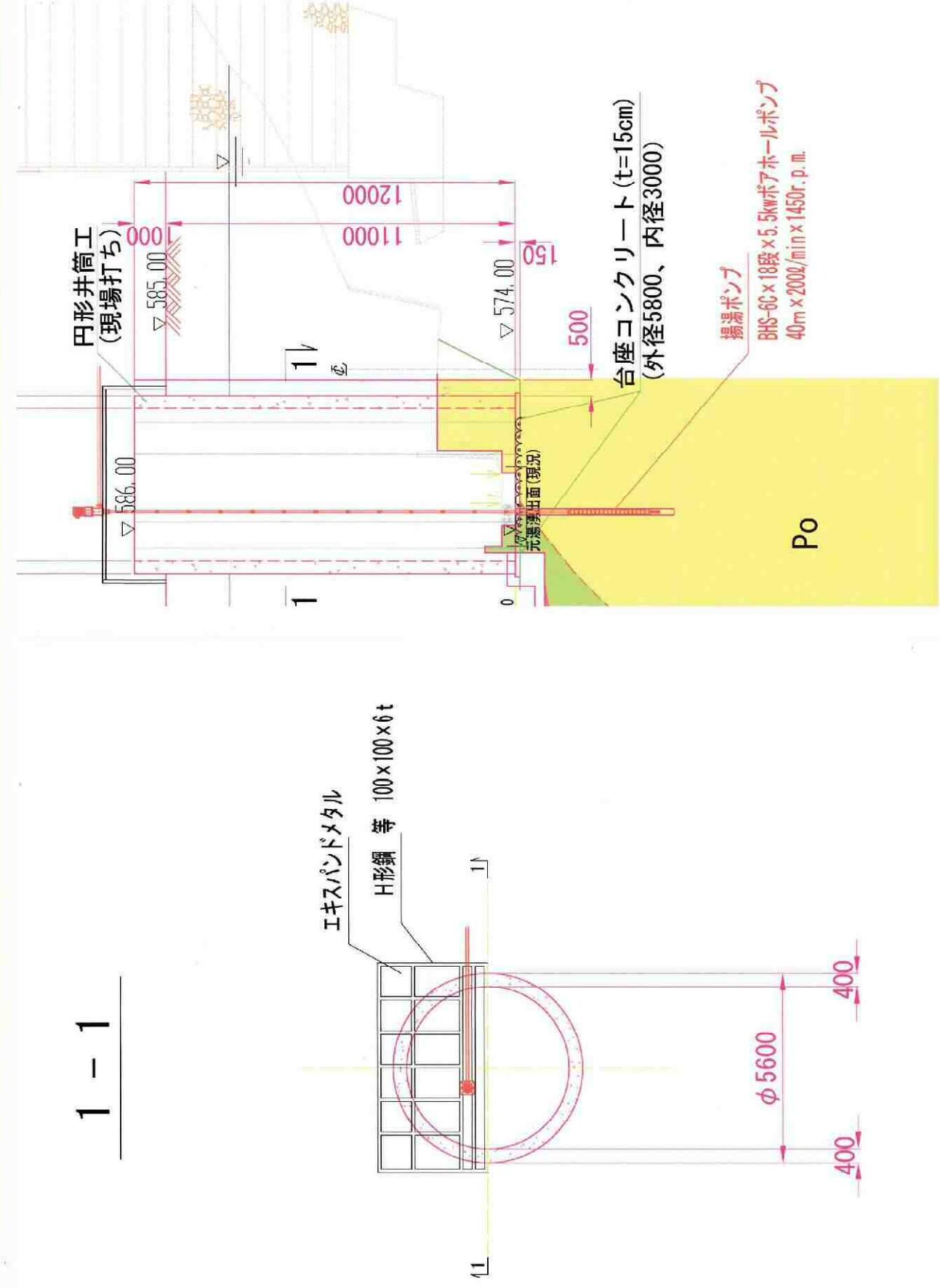
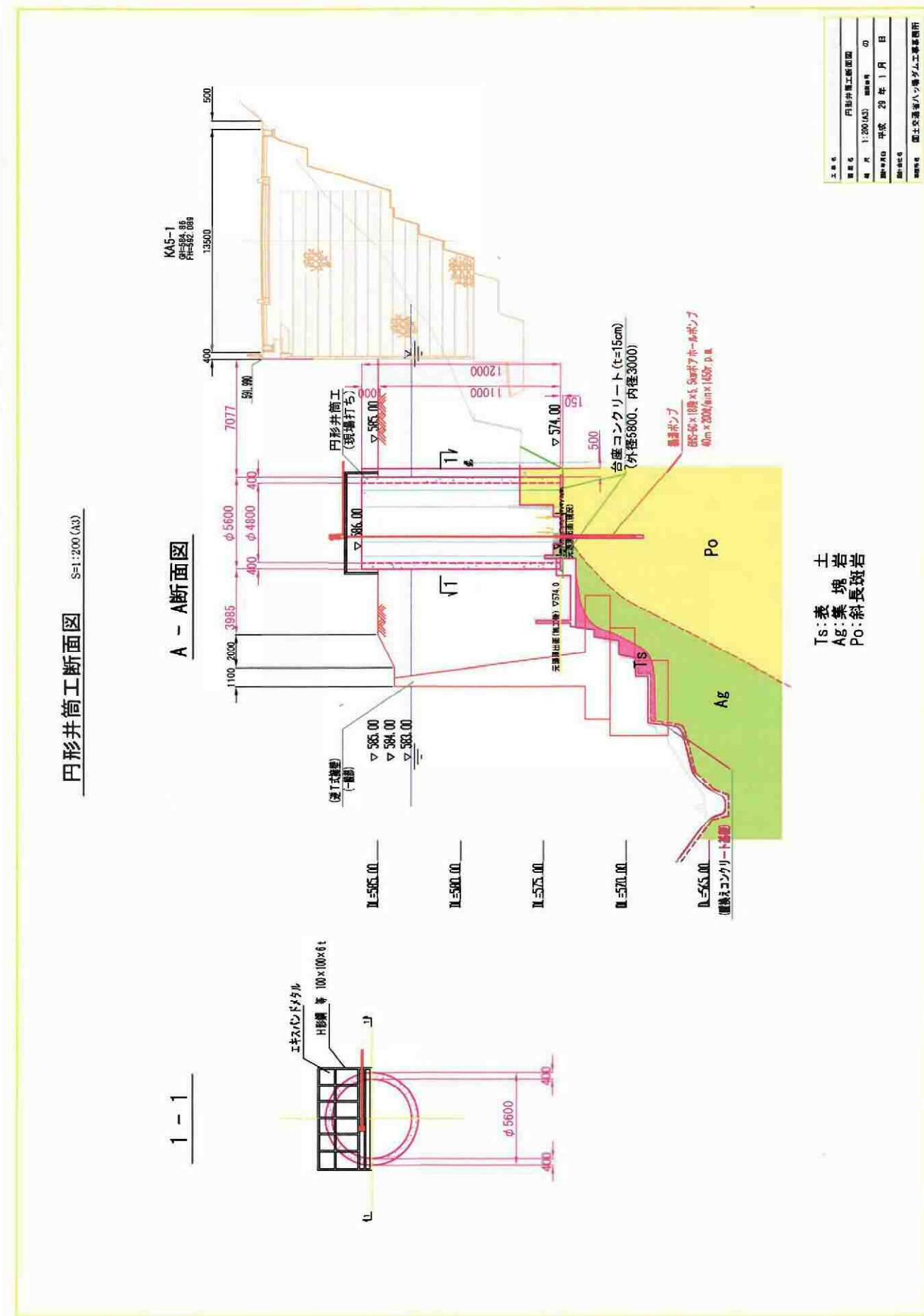


図 2-5-10 源泉揚湯設備の設置計画案

2-5-8. 元の湯及び王湯湧出温泉泉以外の源泉の処置について

川原湯温泉には元の湯、新湯、虎湯、智与の湯、日の湯、ますや源泉、養寿館源泉等が存在している（写真2-5-7）。

上記した源泉の内、虎湯、智与の湯、日の湯、ますや源泉、養寿館源泉は廃止届が出されているが、養寿館源泉と虎湯は現在も温泉が湧出していることを確認している。

また、日の湯、智与の湯（丸木屋）、ますや源泉の所在は確認できていない。県の記録によると、これらの温泉の温度は低く、量も極めて微量であり、平成20～24年に廃止届けが出される前に、ほぼ枯渇状態となっていたもようである。

王湯湧出温泉は元の湯と近接し、王湯湧出温泉を閉塞すれば元の湯の湧出量が増加し、王湯湧出温泉を湧出させればその湧出量分だけ元の湯の湧出量が減ずるという関係にある。おそらく、元の湯直下で垂直方向に元の湯に向かって流動する温泉と、王湯会館方向に向かって側方流動する温泉とに分岐していることが推定され、温泉湧出点が若干異なっているだけで、地表近くでは根を一つにしている関係にあると思われる。

目の湯や智与の湯と元の湯との水理的連絡性については、前記したように元の湯の温泉湧出範囲を制限する断層の外にあり、元の湯との直接の関係性は王湯源泉などよりも薄いと考えられる。しかし、全く無関係とする根拠はなく、現在は相互に温泉が行き来している訳でなくとも、何ら処置を行わずに放置することは適切ではない。

具体的には、虎湯と養寿館源泉については湧出量が微量であることから、温泉湧出部位周辺の堅硬岩盤を洗い出し、岩盤を含めてコンクリート等により蓋をする（岩盤と一体化する）ことが考えられる。智与の湯、日の湯については、源泉状況が確認可能な丸木屋地下の源泉（智与の湯）をまず掘り起こし、その状況を見た上でどのような対策を施すか検討する必要がある。道路下に埋まっている日の湯源泉については、元の湯保護工事時の町道掘削の際に状況確認し、智与の湯などと同様に適切に処置すべきである。

ますや源泉については、現在では温泉の湧出がそもそも認められず、処理が必要な場所の特定ができない上、元の湯と大きく離れることから、特段の処理は必要ないものと思われる。



写真 2-5-7 元の湯、新湯以外の既存源泉の状況

2-5-9. ダム完成後に想定される温泉状況

ダムが完成すると、河川水位（湖水位）は大きく上昇し、季節による変動もある。この湖水位の変動に応じて、温泉水体を包蔵する地盤にも大きな圧力がかかり、温泉水の湧出状況も変化することが想定される。標題のことに関しては、新湯や虎湯、横壁の白岩の湯などを対象にして行われていた温泉定期観測データに基づいて、湖水位の代わりに地下水位との関係について検証することにする。

図 2-5-113 は、新湯における 2005 年～2011 年の圧力と湧出量の変化図である。圧力は源泉孔口に設置された圧力計の読み値である。2007 年 11 月以前は自噴利用であったが、11～12 月の貯湯タンクの設置に伴い、12 月以降は現在ある渦巻ポンプを本格稼働させている。ポンプ稼働後もプラスの圧力を示していることから、ポンプは吸い込み状態ではなく、自噴状態で源泉からポンプに押し込む圧力を有していることを示している。

その圧力は 12～3 月頃が低く、9 月頃に高くなる季節変化を示している。地下水位の記録はないが、気象庁の気象観測データ（中之条）によると、降水量は冬季に少なく、夏季に多くなる傾向を示しており（図 2-5-12 参照）、新湯の圧力の変化に影響する要因として、降水量の多寡＝地下水位の高低があることを強く示唆する。

これと同様の事例として、横壁の圧力と湧出量の記録を図 2-5-13 に示しておく。白岩の湯では新湯よりもはるかに明確に 12～3 月頃が低く、9 月頃に高くなる季節変化を示しており、温泉の湧出圧力（＝湧出量に反映）が降水量すなわち地下水位に関連していることを示している。

なお、図 2-5-14 は新湯での湧出量変化（ポンプ設置に伴う湧出量の増加）に対応した虎湯の湧出量変化図である。新湯は 360m の掘削自噴源泉であり、虎湯は自然湧出源泉（多少掘削している可能性はある）であるのに、両者には密接な影響関係が存在することを示しており、川原湯地区の新湯、元の湯、虎湯は根源的に一体の温泉源から発した温泉であることを物語っている。

今回計画している元の湯保護工法は、井筒内の空洞部（温泉湧出部）において揚湯ポンプを設置するためのボーリングを行ない、かつダム完成後には揚湯を行い、温泉水位を低下させることになるので、この付近の温泉は保護された元の湯源泉に集まることになる。ダム完成後、岩盤に水圧がかかって温泉の湧出圧力が増大すれば、井筒内の温泉水位の上昇となってその圧力は井筒内で開放されることになる。

また、現状の温泉流動域となっている斜長斑岩は集塊岩によって蓋をされ、集塊岩を通した温泉の外部への流出や地下水や河川水の内部への流入はほぼ完全に阻害されている。加えて、温泉の湧出圧力は現地盤面よりも上位にある（自噴する）ことから、温泉水体中に地下水が入り込める状況にはなく、ダム湛水後もその状況は維持される。井筒基礎部についても、遮水措置を十分に施すことは可能で、ダム湛水後に地下水や表流水が保護対策をなした源泉内に浸透する恐れは殆どないといえる。

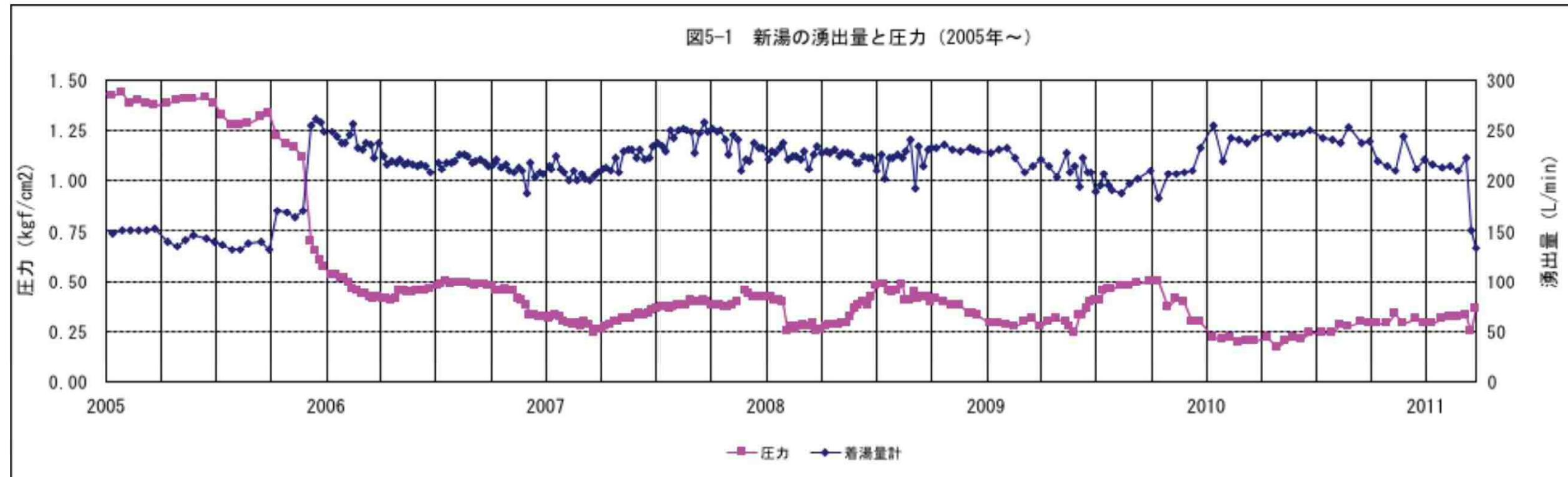


図 2-5-11 新湯の湧出状況変化図

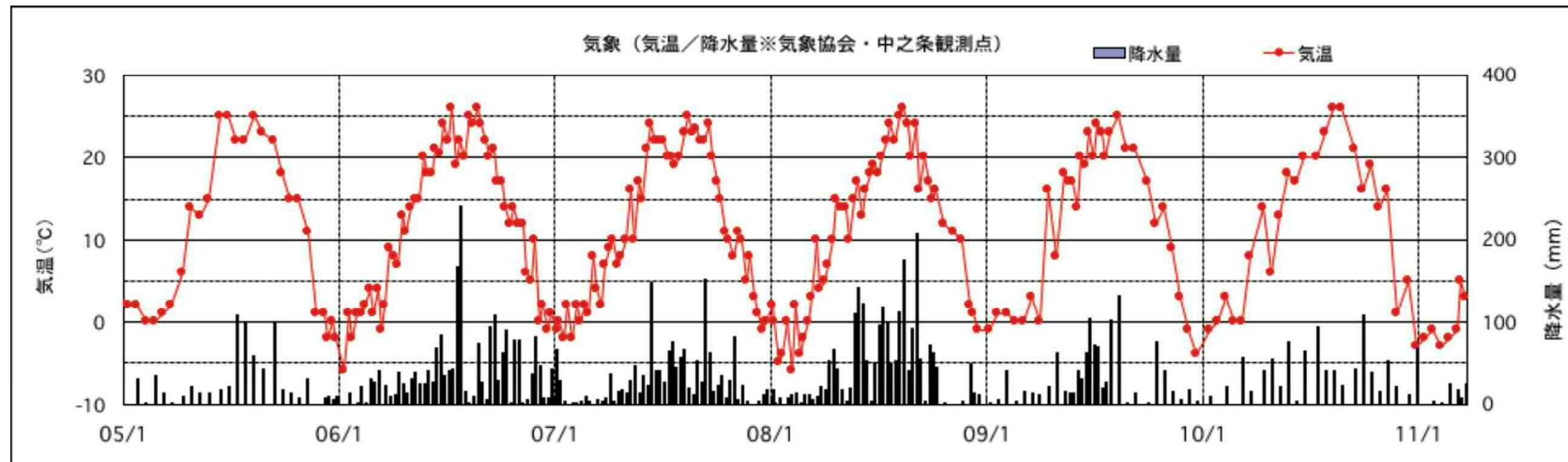


図 2-5-12 気象データ

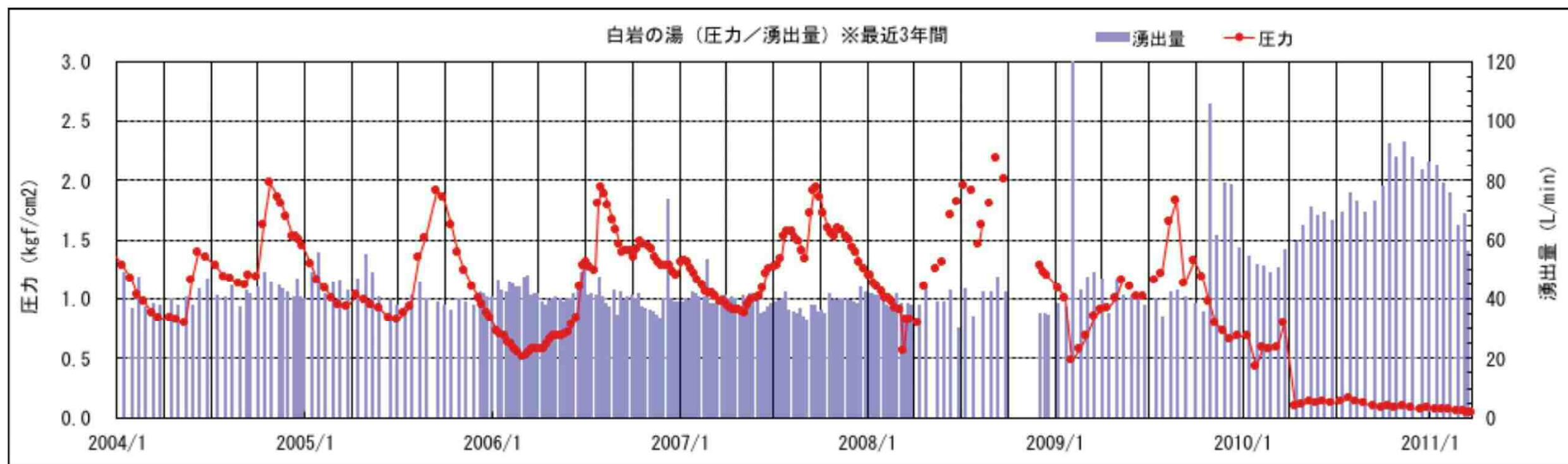


図 2-5-13 横壁白岩の湯の湧出状況変化図

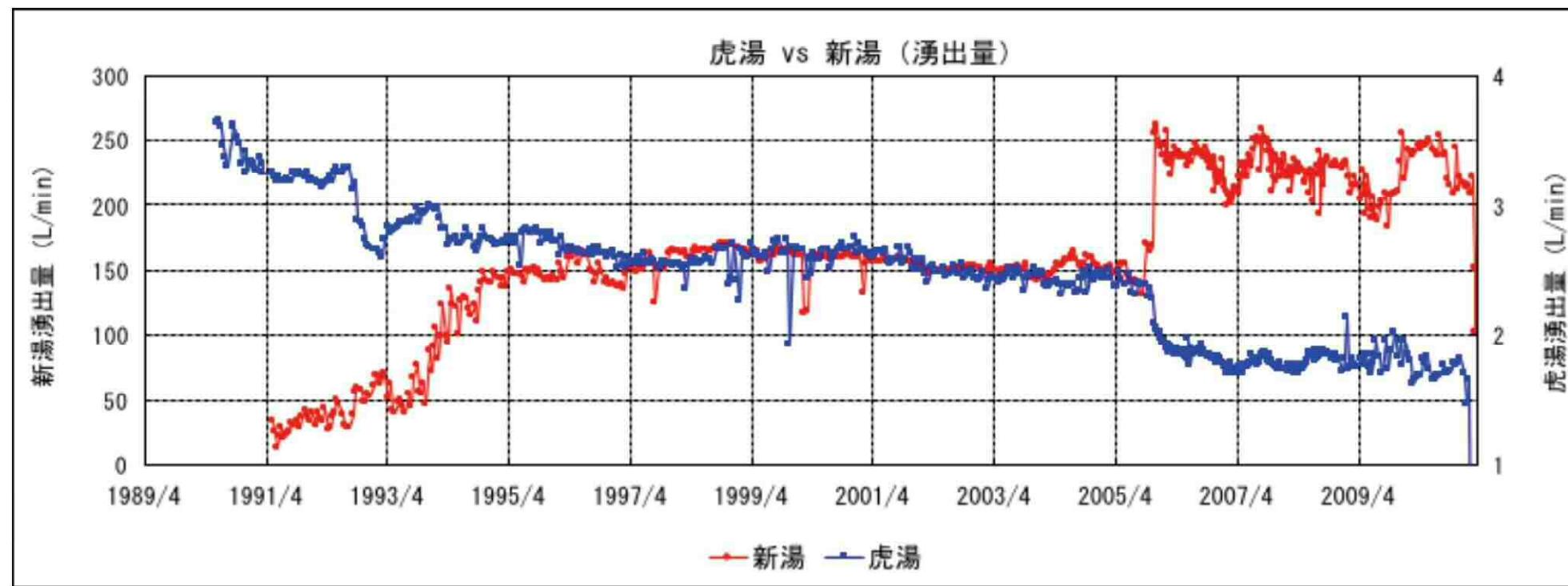


図 2-5-14 新湯と虎湯の影響関係

2-5-10. 幹線街路建設に際しての温泉影響

a) 温泉影響の有無の検討

元の湯の温泉湧出に関連する亀裂に沿って、北北東方向には智与の湯と日の湯が、南南西方向に王湯湧出温泉があるとされている。

王湯湧出温泉は、前記したように比較的浅部において元の湯へ向かう温泉流動の一部が水平方向に分岐したものと考えられ、ごく浅部で同一の根源を有していると考えられる。智与の湯と日の湯についても、県の源泉台帳に登録されていることから、存在していたことは確かであろう。しかし、平成17年の調査時には智与の湯の存在は確認されず（枯渇）、日の湯とされた源泉（湧水）についても、分析の結果は通常の地下水と変わらないものであり、枯渇状態であった。この湧水の泉質が川原湯温泉のものと明らかに異なることは、同じ時期に実施された虎湯の分析結果からも明瞭に読み取れることである。

さらに、今年度には現在の町道に沿って比抵抗二次元探査（A測線）を実施し、温泉の伏在を示唆するような低比抵抗ゾーンが存在するかを検討した。その結果を図2-5-15に示す。

結果は、測線長45～60m付近と85～100m付近とに相対的な低比抵抗ゾーンが捕捉された。後者（低比抵抗帯B）は元の湯の源泉に近い箇所であり、元の湯の熱的な影響を受けているだけと考えられる。実際、測線長110m付近で平成21年度に実施したボーリング調査（21No.2孔）では、深度15mまで掘削したが、温泉は湧出せず（図2-5-16参照）、熱伝導による影響だけを受けていることを確認している。

前者（低比抵抗帯A）は、旧丸木屋建物北端部（やまきぼし玄関前）に当たる場所であり、日の湯の存在場所ではない。日の湯があったとされる場所は旧丸木屋建物の南端部、測線長85m付近であり、その浅部にはごく薄い層状の低比抵抗部（低比抵抗帯C）が存在する。これは浅層部にある粘性土に対応すると思われるが、たとえ日の湯に相当するとしても、低比抵抗部の長さは15m程度で限定的であり、元の湯との間に低比抵抗部が連続しているわけでもない（低比抵抗帯BとCとは連続していない）。そもそも日の湯はすでに枯渇、消滅てしまっている可能性が高く、事実、前述したように智与の湯とされた温泉は2005年12月時点で地下水化している。

以上のことから、幹線街路の工事（金花山2号橋）によって温泉が湧出する可能性は低く、元の湯の温泉に影響が及ぶ恐れも小さいと考えられる。ただし、金花山2号橋の施工に際して地質調査ボーリングを実施する必要性が生じた場合には、岩盤調査の観点に加えて、温泉の存在の有無を確認出来る調査（代表例は孔内温度の測定）を付け加えておくことを推奨する。

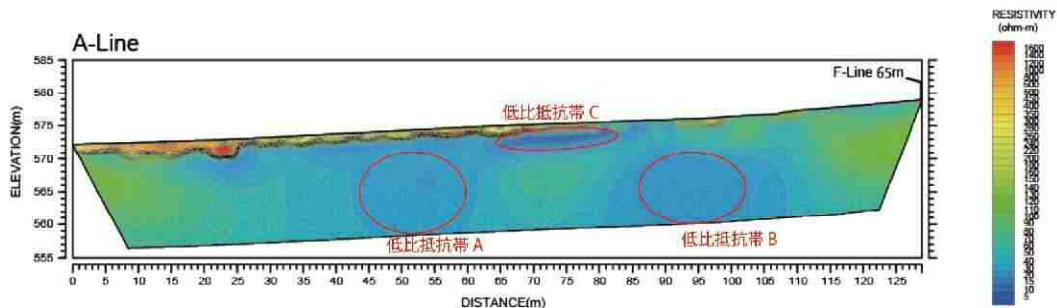
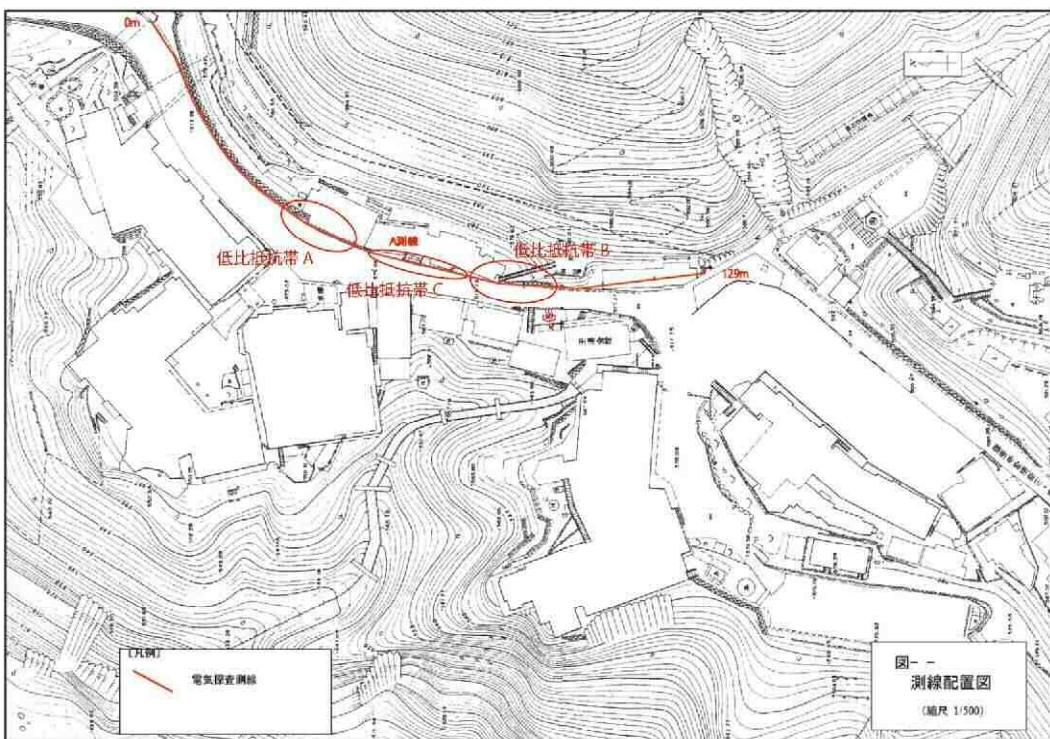


図 2-5-15 比抵抗探査 A 測線の実施位置と比抵抗断面図

施工に際して突発的な温泉湧出の危険性を回避するためには、開削面の温度を隔測式温度計（赤外線温度計）等によって随時確認しておくことが安全である。元の湯や王湯、虎湯の温度は、今年8月の調査時にはいずれも60°C以上を示していることから、当面の日処として開削面の温度が50°Cを示すようになれば、それ以深の開削には注意を要すると判断すべきである。温泉湧出を回避するには、開削面の温度が50°Cに達した時点で、以深の地盤の亀裂を充填し、地下水流动を阻害するように地盤改良を施すべきであろう。もし温泉が湧出した場合には、量が少ないうちであれば湧出部をコンクリート等で塞ぐことが可能であろう。それが困難となった場合には、周辺に温泉を汲み上げるための井戸を設けて、そこから温泉を排出することで開削部の温泉水位を低下させ、遮水する必要がある。

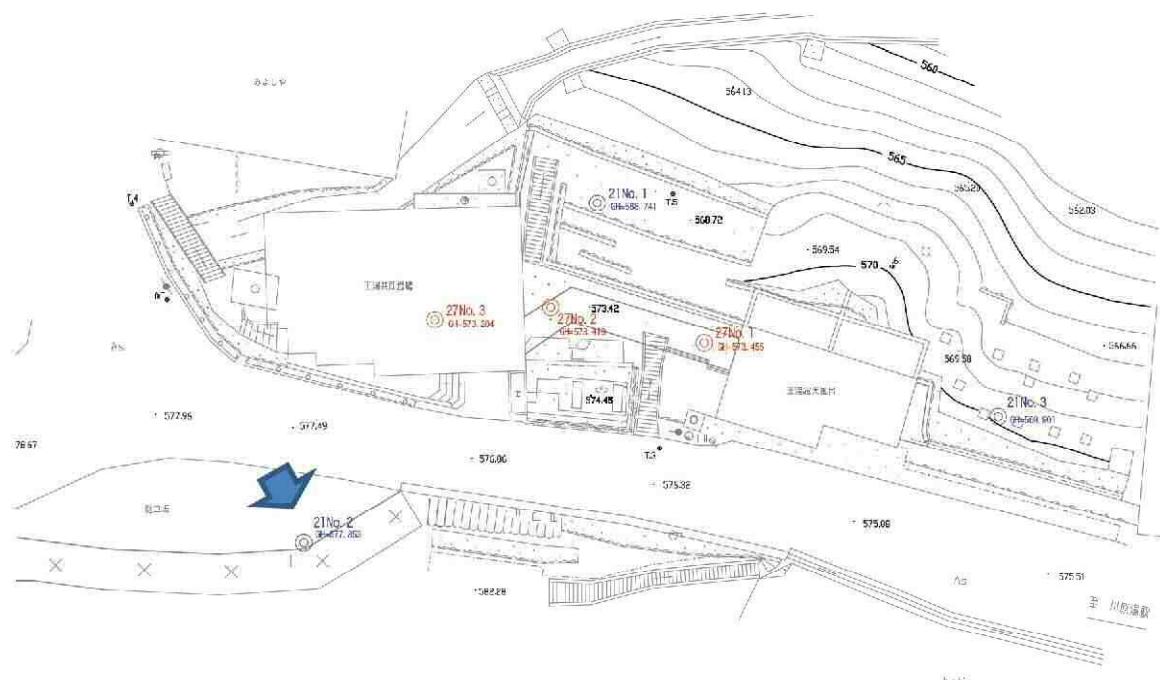


図 2-5-16 平成 21 年ボーリング調査（21No. 2 孔）柱状図と掘削位置図

幹線街路の内、メタルロードの施工位置は、今回実施した比抵抗二次元探査の A 測線よりも北東方向に位置し、温泉賦存の可能性に関する知見は得られていないが、この辺りに源泉が存在していることを示す報告はなく、ますや源泉は大沢よりもさらに北東方向の沢に位置している。元の湯源泉とこのメタルロード施工区間との間に旧山木館の脇を通る小さな沢があり、この沢の下流点には養寿館の源泉があるものの、幹線街路の施工位置には温泉微候はない。したがって、メタルロード施工区間で温泉が湧出する可能性は低いと判断するが、その施工に際して地質調査ボーリングを実施する必要性が生じた場合には、岩盤調査の観点に加えて、温泉の存在の有無を確認出来る調査(代表例は孔内温度の測定)を付け加えておくことを推奨する。

b) 温泉が湧出した際の対応

温泉が湧出する恐れは、土地を掘削することによってはじめて生じるが、温泉幹線街路の工事でこの恐れがあるのは橋台、橋脚工事の時である。温泉湧出の恐れは、それぞれの開削深度と元の湯との距離関係に左右されるが、後者の観点では A1 橋台 > P1 橋脚 > A2 橋台の順で小さくなる。

これら開削部からの温泉湧出の恐れは、これまでの検討から小さいと考えるが、対応策としては湧出した場合の対応を考えることよりも、温泉湧出の可能性を早めに検知し、開削部から温泉が湧出しないように事前の手当を行うことが何より大切である。そのための手法は、開削面の温度を隔測式温度計(赤外線温度計)等によって随時確認し、当面の目処として開削面の温度が 50°C に達した時点で、以深の地盤の地下水流动を阻害するような地盤改良を施し、温泉湧出を止めるか湧出量を最小に留めるように対策すべきであろう。

もし温泉が多量に湧出した場合には、開削部(温泉湧出箇所)で温泉湧出を塞ぐことは困難であり、周辺に温泉を汲み上げるための井戸を設けて、そこから温泉を排出して温泉水位を低下させ、開削部の温泉湧出を一時的に止めてから遮水を施すことになる。この場合、一時的にせよ井戸から温泉を排出させることで、新湯や元の湯の湧出状況により一層大きな影響を与える可能性があり、対応策としては不適当である。温泉水位低下工法のための井戸の設置位置や本数、掘削深度については、温泉湧出する部分の水理的特徴(透水性や貯留性など)によることなので、現時点では明確に記すことはできない。

c) 元の湯、新湯の湧出量に影響した場合の対応策

このことは前提とすべきではないが、可能な対応策としては以下のことが考えられる。

① ポンプの揚湯量を調整する(バルブを開く)。ただし、温泉水位が地表面下となった時は、温泉が高温のため吸い上げ揚程に限界が生じることにより、吸い上げポンプでの揚湯は困難となるので注意を要する。水中ポンプ等に切り替えるにも、源泉口元にゲートバルブがあるため、その部分の配管を交換する必要があり、簡単ではない。動力装置変更の許可も必要となる可能性がある。

② 上記した状況により新湯からの揚湯量が不足した場合には、元の湯から温泉の補給を受ける(既存源泉の利用ではあるが、一時的とはいえた新湯のみの利用から混合泉の利用に変わ

るため、改めて温泉利用許可を得る必要があるかもしれない)。

- ③ 元の湯の湯量も減少するような事態が生じたら、開削部から湧出する温泉あるいは開削部周辺にもうける井戸から排出する温泉を新湯のタンクに補給する(厳密には温泉利用許可是必要)。

なお、温泉掘削許可については、橋台や橋脚の施工部から温泉が湧出する恐れがあったとしても、それを行うために許可を得る必要はない。また、工事箇所周辺で温泉排水のための井戸を設ける場合も、緊急避難的な対応であり、温泉掘削許可は要しないものと想われるが、関係機関への届け出や相談をしておくことを推奨する。

3. 打越地区暫定配管付替検討

3-1. 暫定配管敷設の経緯

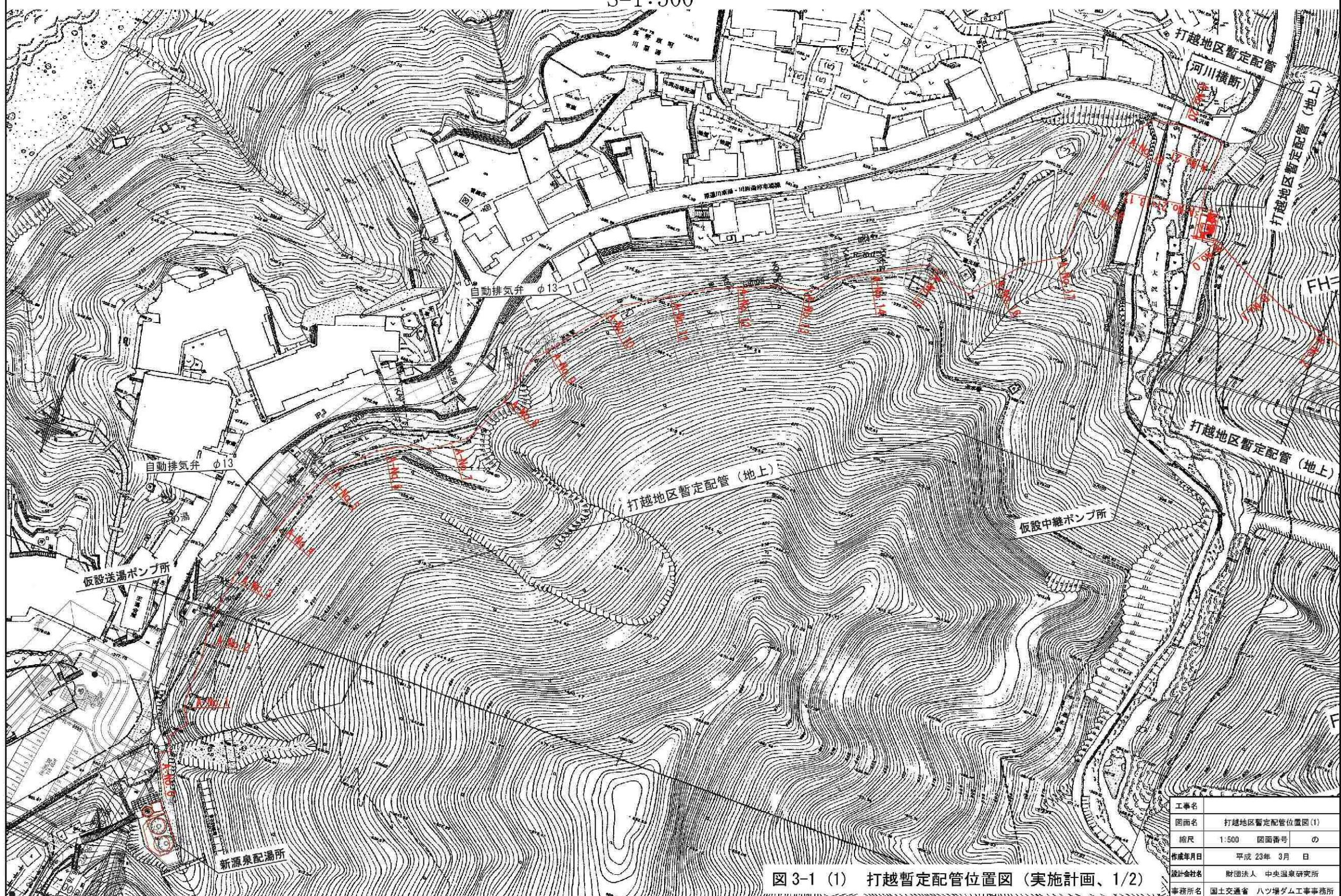
打越暫定配管は、旧川原湯温泉において温泉営業を続けている施設がある中で、打越代替地への移転を計画している施設のために、旧川原湯温泉での在来の温泉給湯に加えて、打越代替地へも新たに温泉給湯を可能とした仮設配管である。

その設計は、代替地での温泉配湯施設の詳細設計と併せて、過年度業務でまとめているが、打越暫定配管配管を計画した段階では代替地の整備が始まって間もない段階で、代替地における温泉配湯施設整備も造成に伴って順次行われることになっている。一方、新湯配湯所から打越代替地まで温泉を配湯する管路は、新たに整備する「町道川原湯温泉幹線街路」に敷設する予定であるが、その整備は代替地に温泉施設が移転する時期よりもさらに先になることから、その整備が行われるまでの期間、打越代替地に温泉を配湯するための配管、すなわち打越暫定配管が必要となったものである。

その打越暫定配管は、旧川原湯温泉街に温泉旅館や民家が数多く残り、温泉街を縦貫する道路も生活道路として利活用されていたため、配管を敷設できる場所は温泉街の山側にしかなく、過年度の設計も山側に配管敷設することで計画した。

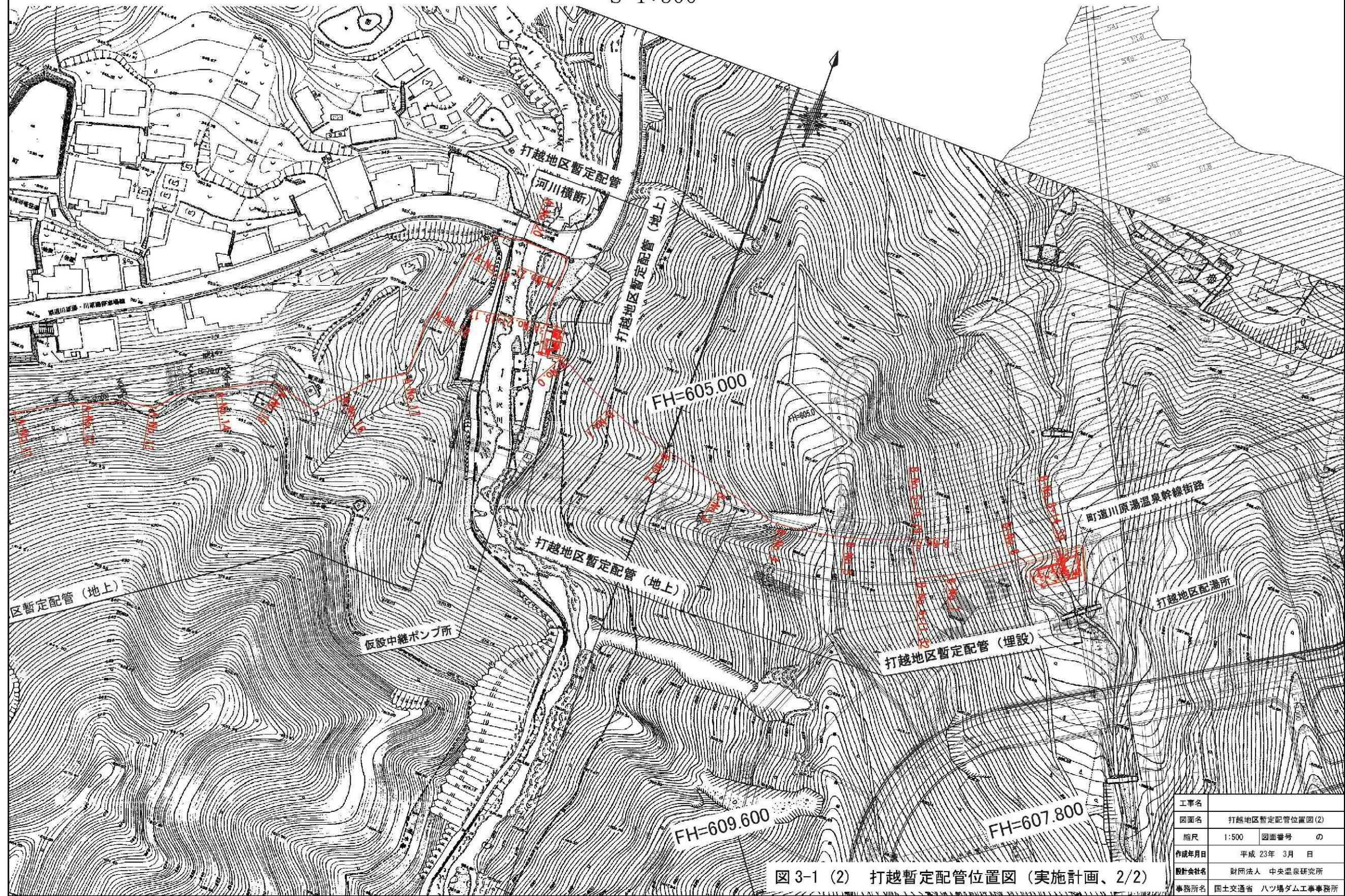
打越地区暫定配管位置図(1)

S=1:500



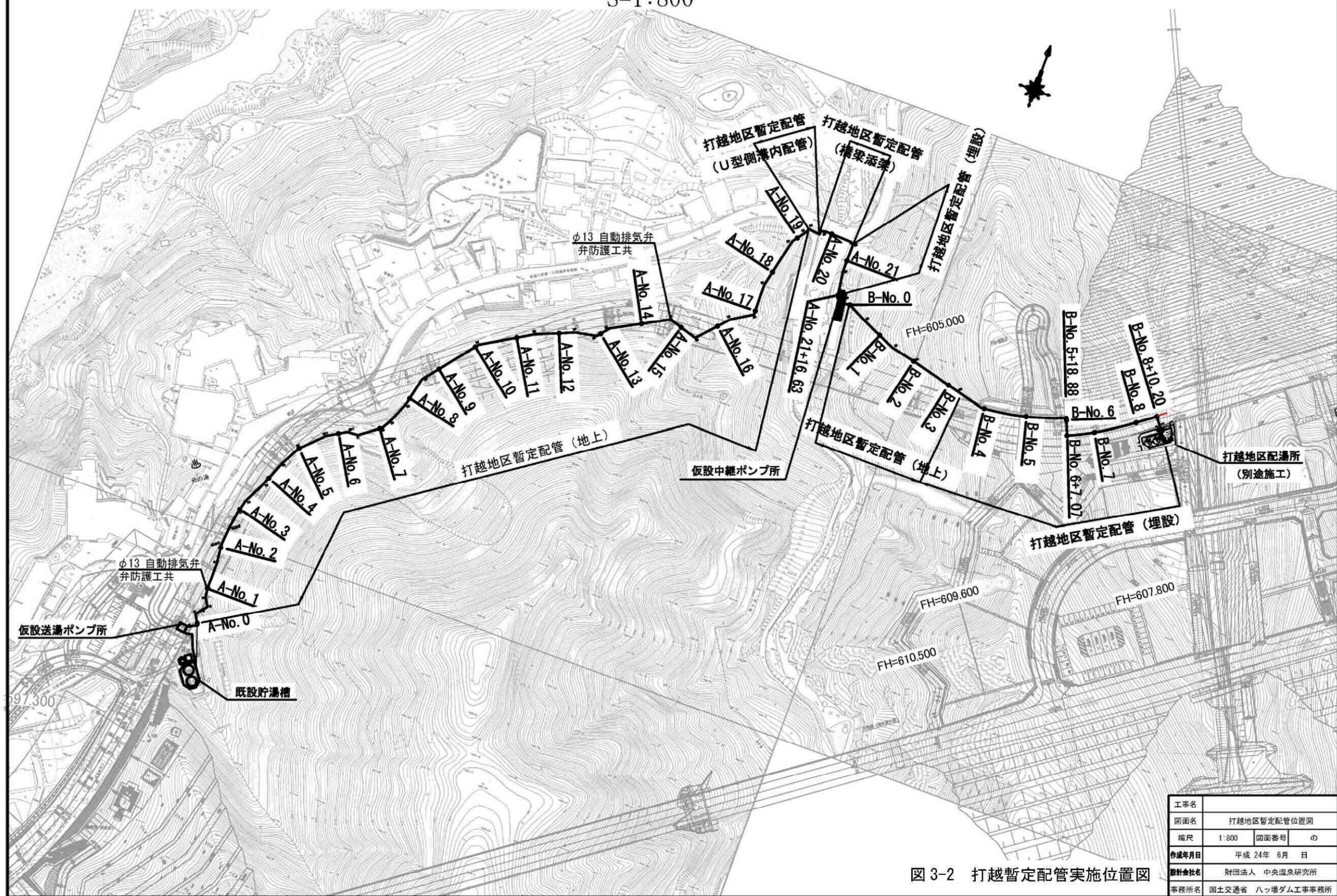
打越地区暫定配管位置図(2)

S=1:500



打越地区暫定配管位置図

S=1:800



3-2. 暫定配管付替の概略検討・比較

これまでの暫定配管は、計画されている「町道川原湯温泉幹線街路」とその多くが重なり、幹線街路の施工前には施工時の支障にならない位置に付け替える必要がある。このため、過年度において打越地区暫定配管付替設計を行い、付替配管ルートを複数案作成し、それぞれを比較した。以下、上記業務報告書から一部を抜粋して以下に示す。

この設計比較にあたっては、以下の点に配慮した。

- 1) 配管付替施工時に打越地区への温泉配湯が中断する時間を極力短くできるように配慮する。
- 2) 配湯所から新規保温付温泉管により配湯する。
- 3) 仮設送湯ポンプ所付近（測点 A-No. 0）から仮設中継ポンプ所（測点 A-No. 21+16. 63）までの配管とする。
- 4) 途中の配湯先へは既設配管への接続までとする。
- 5) 将来的に分解・撤去を容易にするため、極力露出配管とする。
- 6) 分岐が1か所しかないため、保温一体型の長尺管を使用する。
- 7) 造成・道路工事に影響の無い様に既存道路から離れた位置を配管する。
- 8) 距離を短くするために谷越しする部分は索道吊下とする。
- 9) 標高再下点（測点 A-No. 20 付近）に排泥弁を設置する。

配管ルートは図 3-3 に示すように 3 案作成した。また、図 3-4 に第 2 案と第 3 案の縦断図を作成した。各ルート案を比較した結果を表 3-1 に示す。

第 1 案は幹線街路との重なりはなく、施工性や経済性は高いものの、幹線街路とごく接近する部分が多く、幹線街路整備時には大きな支障となる可能性が高い。よって、この案の評価は最低位となる。

第 2 案は幹線街路の整備のために必要な工事用地も考慮して、現県道よりも川側に大きく迂回するルートであり、施工内容は大規模となり、施工性や経済性は悪くなる。しかし、幹線街路整備時の支障はほとんどなくなる（幹線街路の施工計画にて対応可能な）ことから、幹線街路整備のための支障施設除去という本来の目的を達成するのに適した案となり、評価は最高位となる。

第 3 案は、付替が必要な配管長は最も短く、経済性は良好と考えられる。しかし、配管工事は幹線街路整備工事の進捗に合わせて行うことになるので、両方の工事を温泉配湯に支障が生じないように施工することが困難となって、工事期間が全体として長くなる（一方の工事の手待ちが生じる）ことも考えられ、結果的に両工事の工事費の増加要因となる可能性もある。また、付替配管と既設配管との繋ぎこみの箇所数が多くなり、打越配湯所への温泉配湯を中断しなければならない回数が増えることにもなる。さらに、図 3-4 に示したように、

第3案は配管の縦断形状は起伏が多くなり、配湯に支障が生じる可能性も多くなることから、温泉の安定配湯には新湯配所と大沢中継槽との間の配管低所部となる場所に、中継槽と中継ポンプを設備するのが安全である。この案は幹線街路整備のための支障施設除去という本来の目的は達成し得るもの、温泉の安定配湯に困難を生じさせる可能性があることから、評価は低位となる。

表 3-1 各配湯ルートの比較表

	第1案	第2案	第3案
ルート概要	現県道にほぼ沿う。	現県道よりも川側に大きく迂回する。	幹線街路整備工事に合わせた施工となる。
施工性	現県道沿いで施工のため、施工性は良い。	3つの案の中では最も大掛かりとなるが、施工上の難点は少ない。	連続的な施工ができず、施工性は悪い。
経済性	最も安価	高価	幹線街路整備工事の進捗に影響を及ぼさなければ安価、及ぼす場合は、結果的に高価となる。
維持管理	自然流下での配湯が可能。配管の不具合が生じる可能性は小さく、管理の頻度は少なくて済む。管理は容易	自然流下での配湯が可能。配管の不具合が生じる可能性は小さく、管理の頻度は少なくて済む。頻度は少なく、実施はやや困難。	ポンプ圧送は必要。配管の起伏が激しく、送湯に支障が生じる可能性が高い。管理には多くの回数が必要で、実施は困難。配湯の安定化のためには、中継槽・中継ポンプの追加設置が必要。
幹線街路整備への支障	大部分の区間で幹線街路整備時の支障となる。	幹線街路整備時の支障となる区間はほとんどない。	幹線街路整備工事に合わせるために、支障はない。
評価	×	○	△

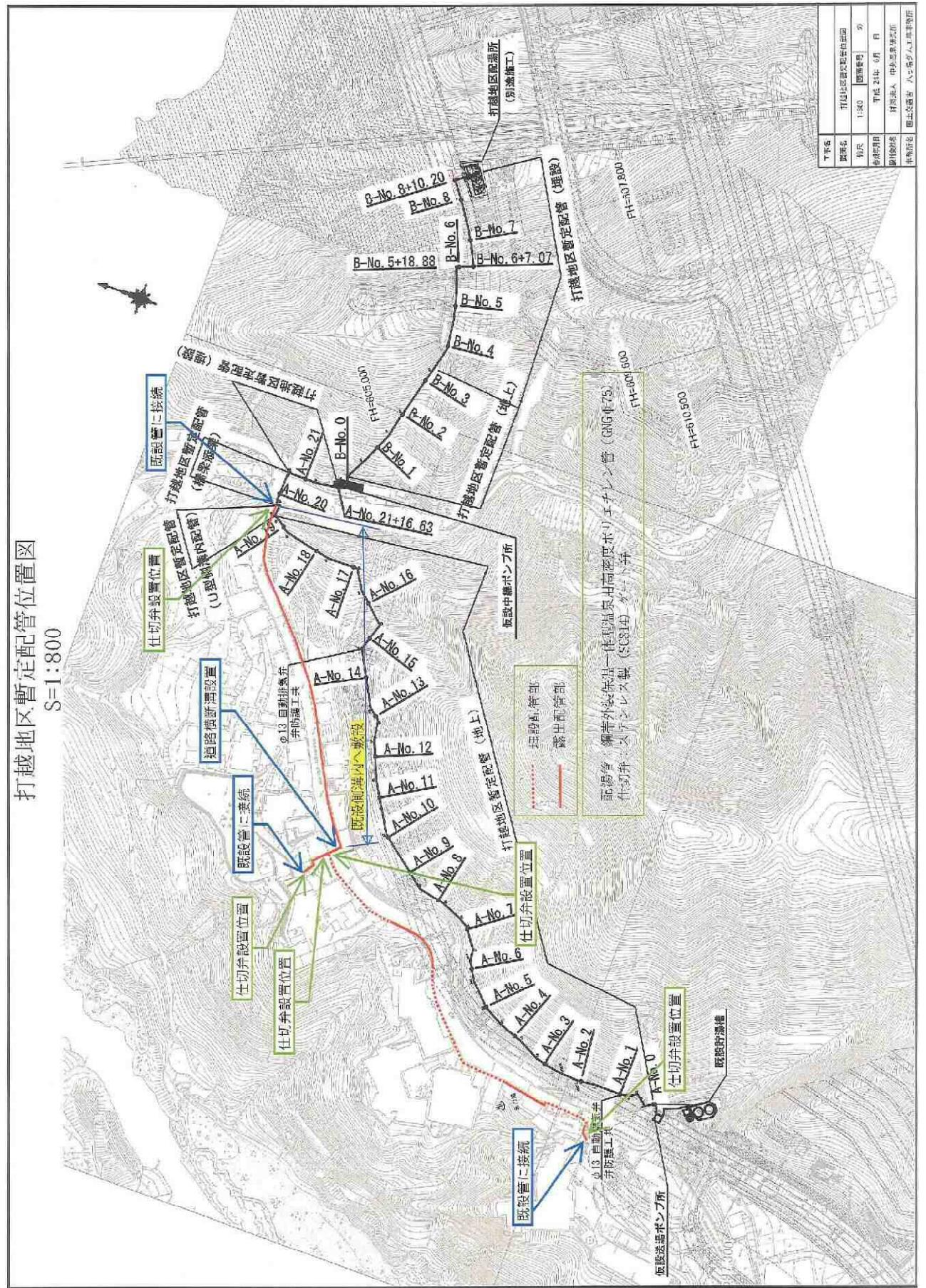


图 3-3 (1) 打越地区暫定配管付替 (第 1 案)

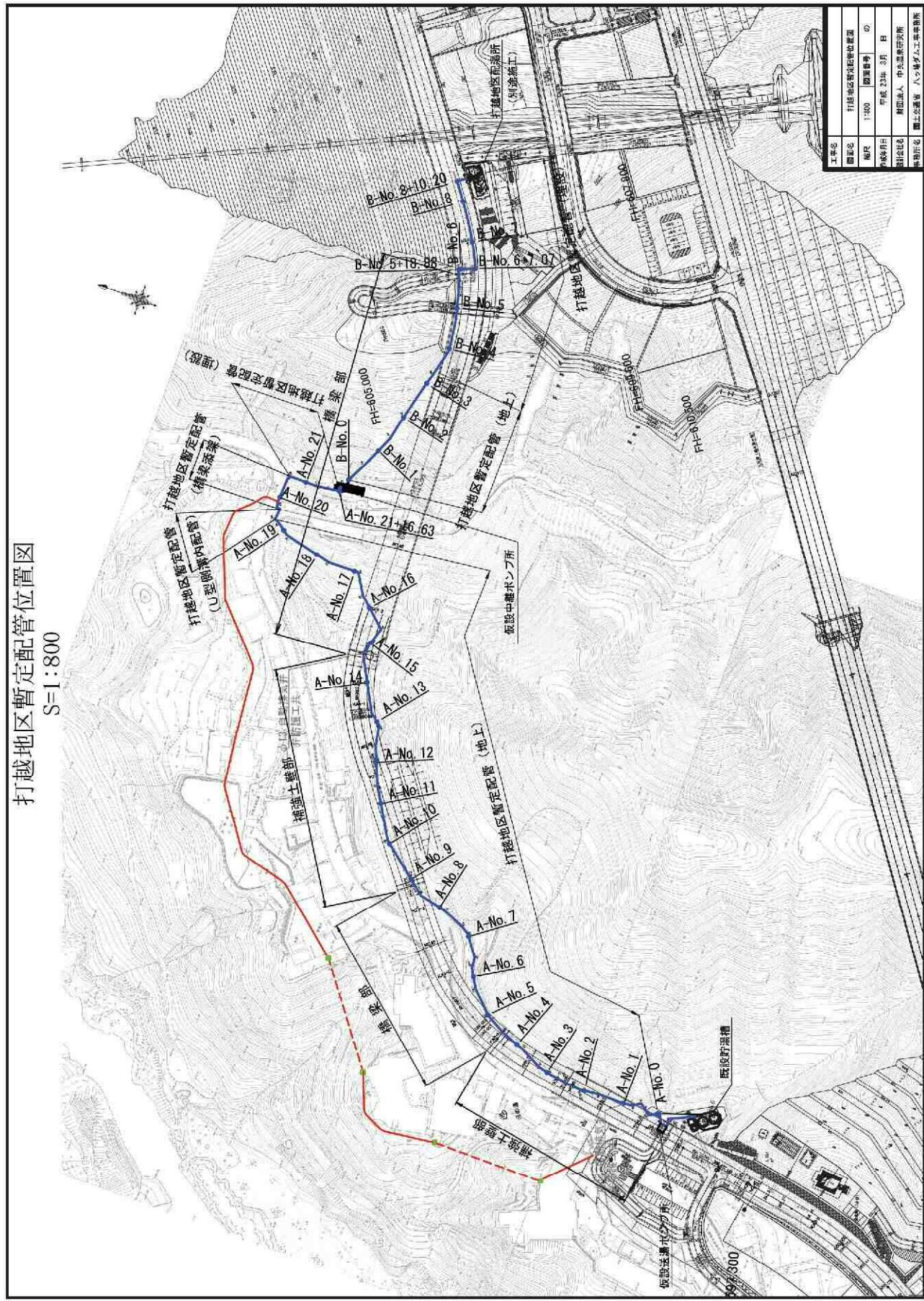


图 3-3 (2) 打越地区暂定配管付替 (第 2 案)

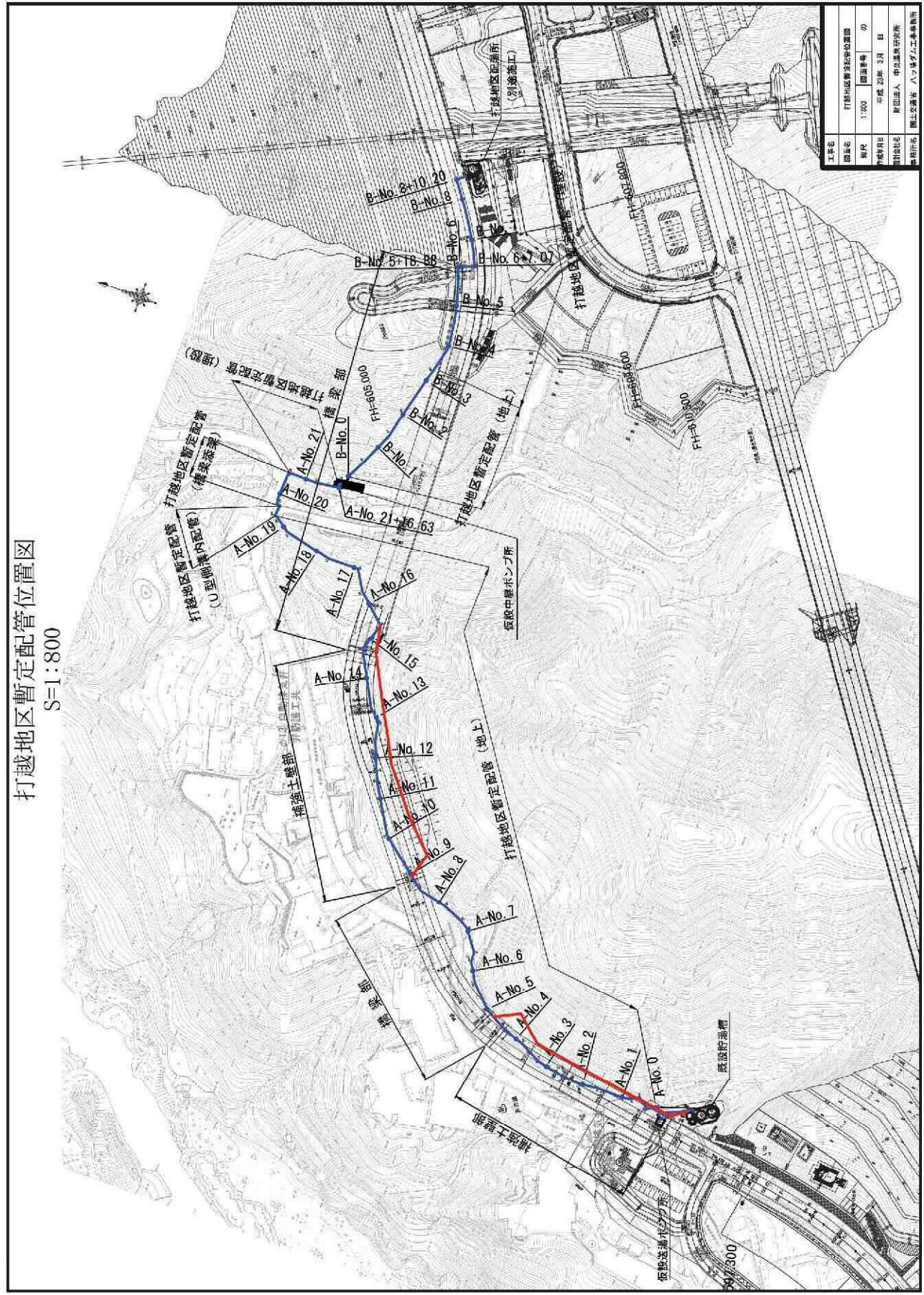


図 3-3(3) 打越地区暫定配管付替 (第3案)

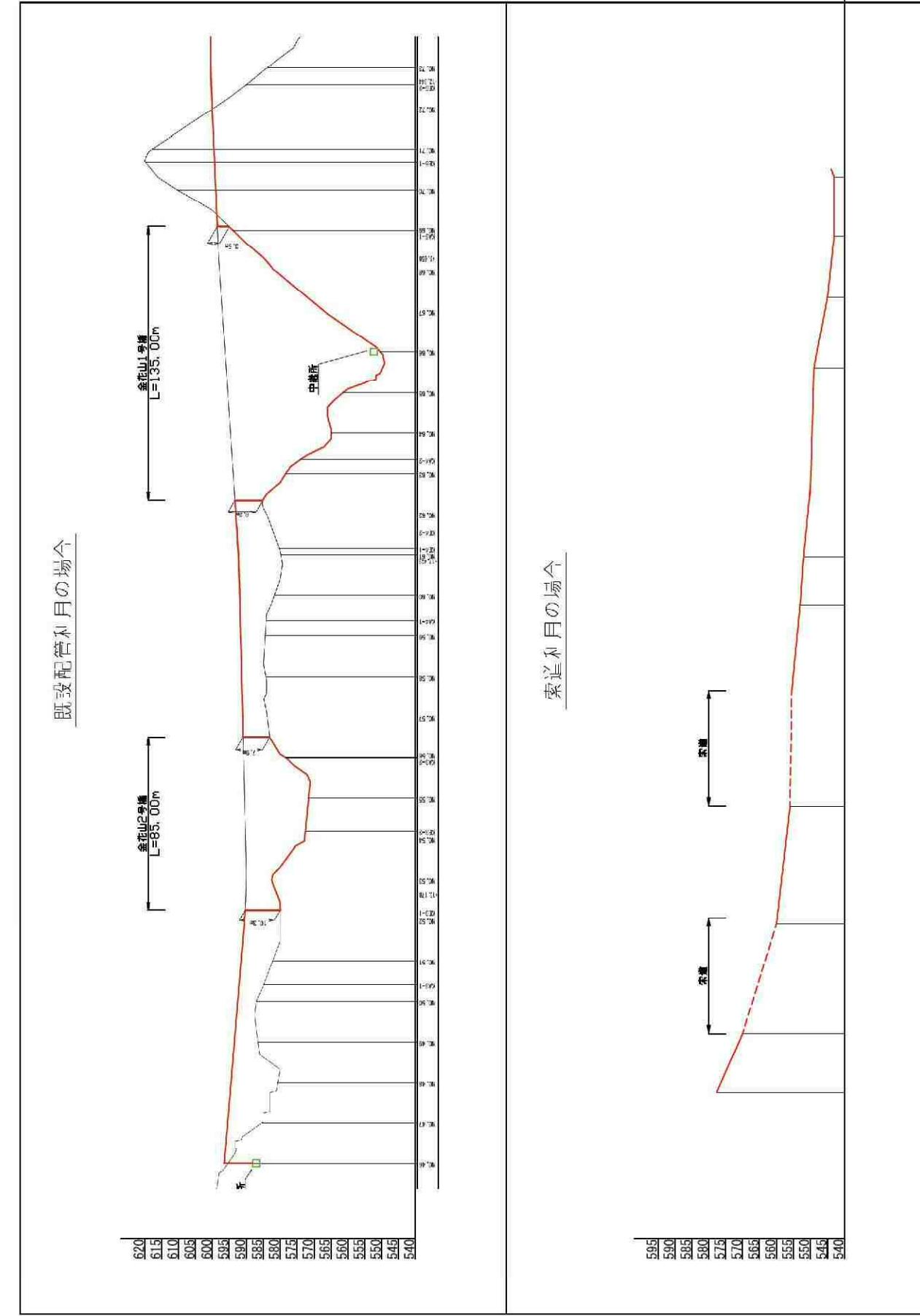


図 3-4 第2案と第3案の縦断図比較

3-3. 暫定配管付替設計

今回の暫定配管付替設計は、「町道川原湯温泉幹線街路」の施工計画の内容を受けて、暫定配管の設置位置を幹線街路と重複しないところにするのは当然として、幹線街路施工のための作業ヤードにもかからないように配慮し、配管ルートの検討を行った。

3-3-1. 現地確認

配管ルート検討のため、現地確認を行った。

3-3-2. 配管ルート検討

現地確認の結果に基づいて、図 3-5 に配管ルート案を作成した。関連写真を写真 3-1 に示した。図 3-5 は過年度業務で比較検討した第 2 案に近いルートだが、その計画には一部架空配管を含み、施工規模と施工費用が大きくなることから、今回は地上転がし配管を基本として設計し直した。

3-3-3. 配管計画と数量

最終的な配管ルート図を図 3-6 に、管割平面図及び同縦断図を図 3-7 及び図 3-8 に示した。また、水理計算書を表 3-2 に、数量計算書を表 3-3 に示した。

大沢橋部分の横断については、橋下を通す計画としている。

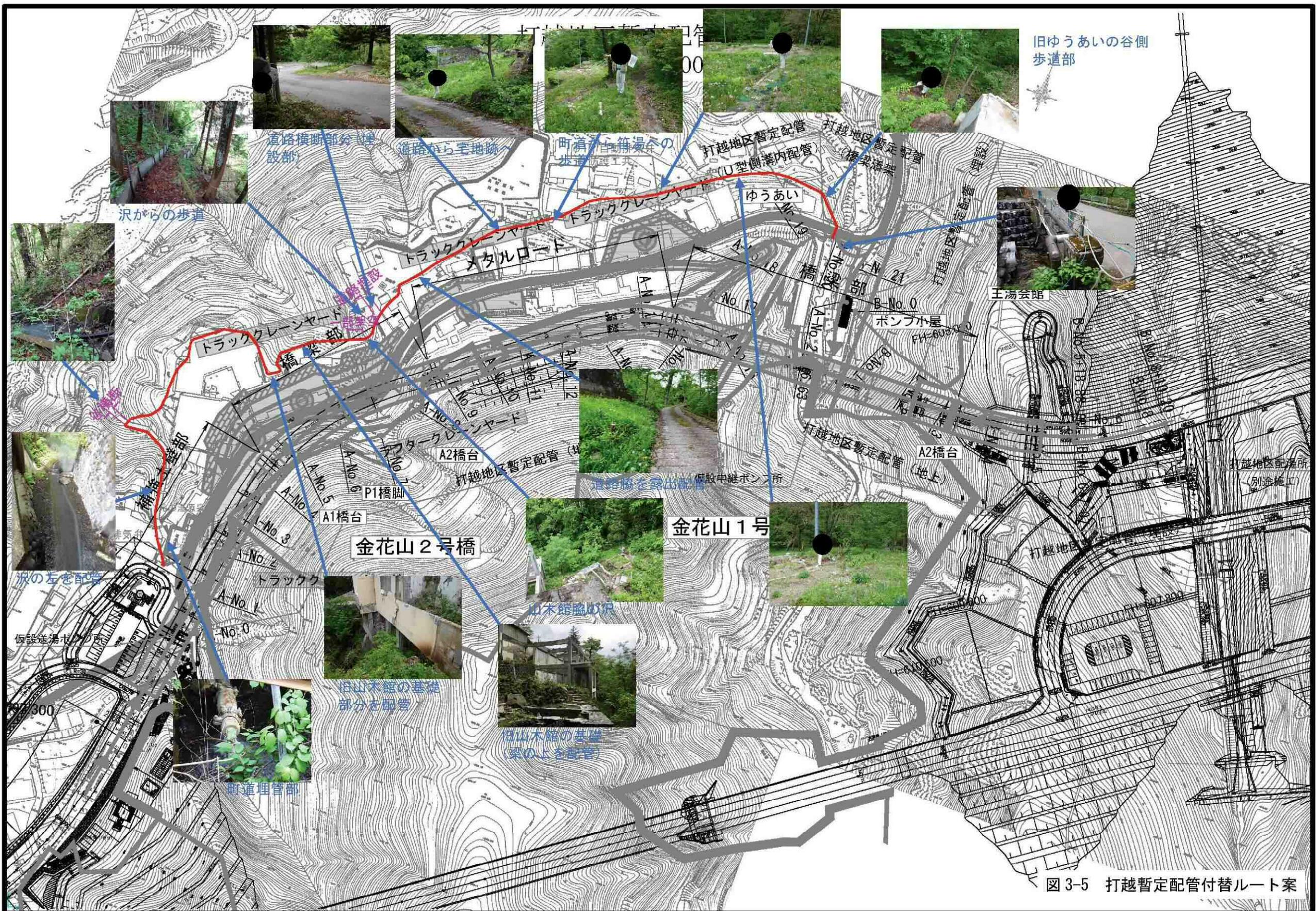


図 3-5 打越暫定配管付替ルート案

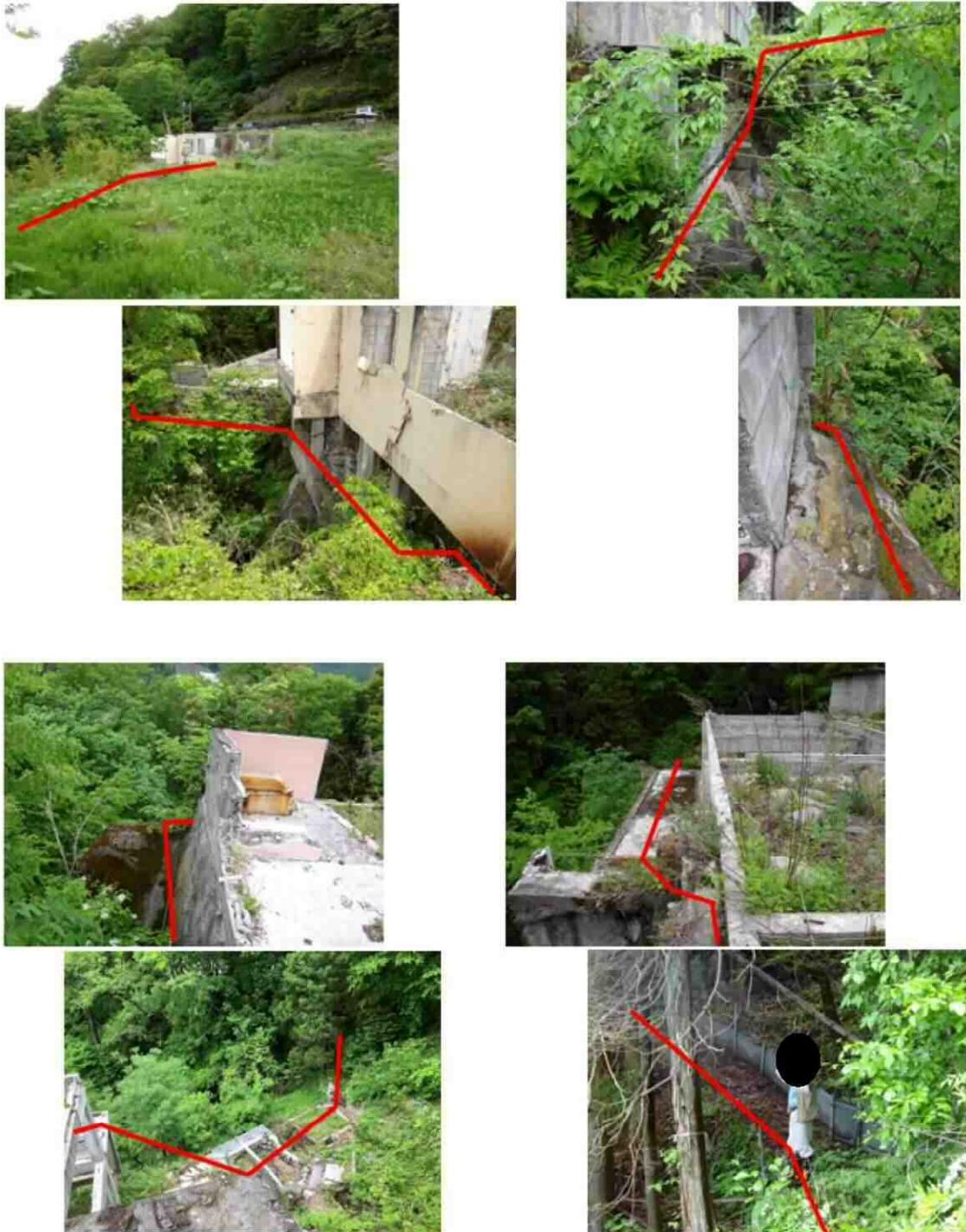


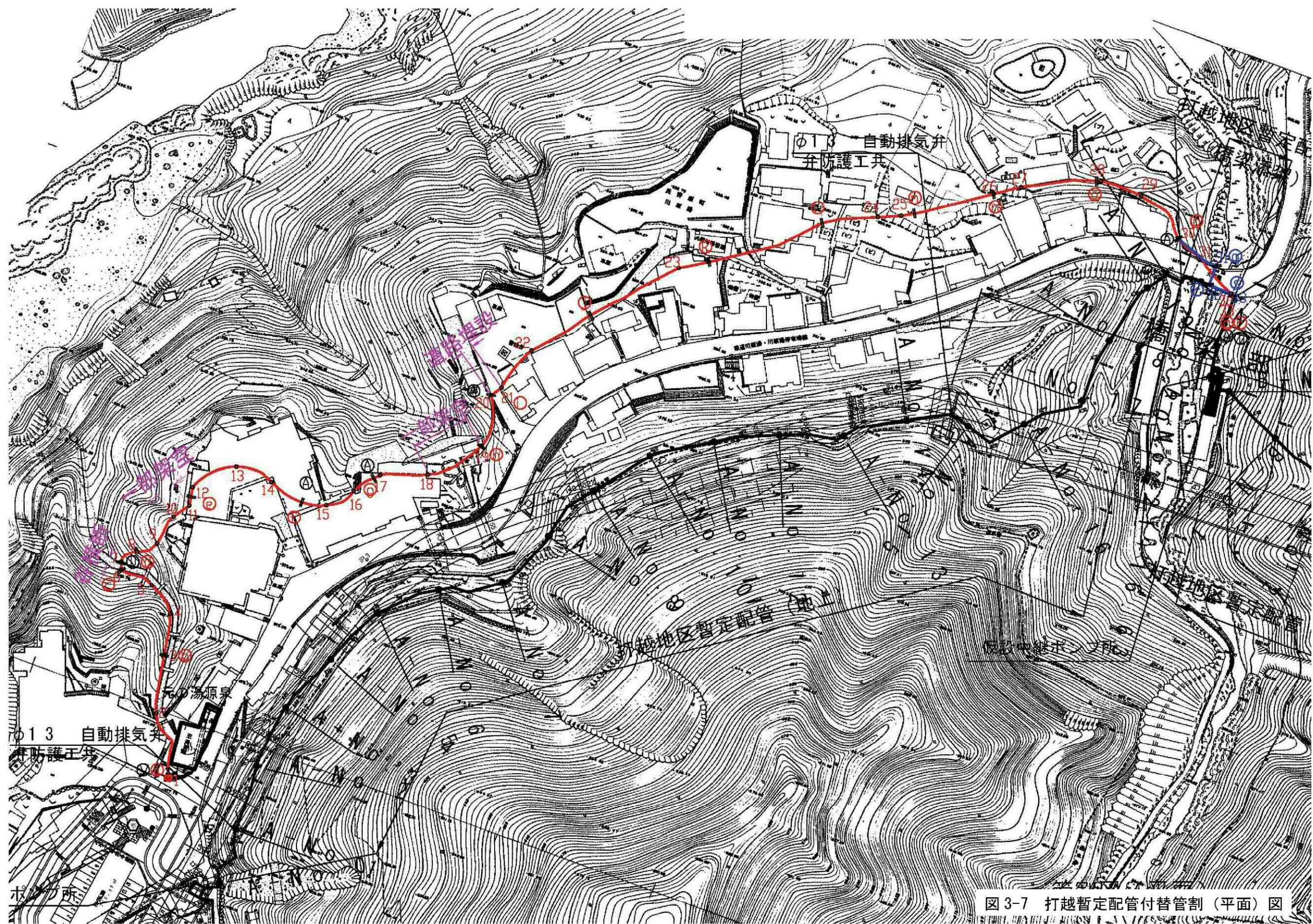
写真 3-1 旧山木館周辺における配管敷設についての現地確認・検討

打越地区暫定配管位置圖

S=1:1500



図 3-6 打越暫定配管付替位置図



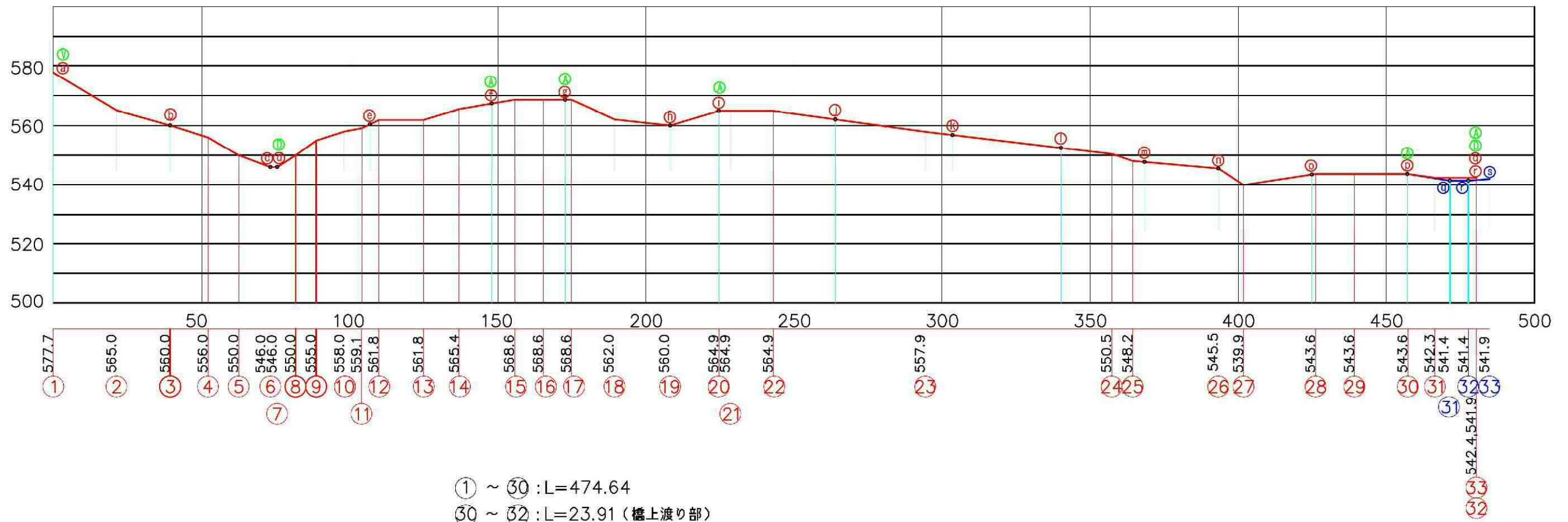


図 3-8 打越暫定配管付替管割（縦断）図

表 3-2 打越暫定配管付替水理計算書

系統	区間	流量 L/min	配管径 mm	配管距離 m	単位圧力損失 (-m/m)	区間圧力損失 (-m)	標高差 m	区間水頭 m	残存水頭 m
共通	1→7	200.0	75.0	82.58	-0.0096	-0.79	31.70	30.91	30.91
	7→17	200.0	75.0	102.03	-0.0096	-0.98	-22.60	-23.58	7.33
	17→19	200.0	75.0	37.00	-0.0096	-0.36	8.60	8.24	15.57
	19→22	200.0	75.0	35.54	-0.0096	-0.34	-4.90	-5.24	10.33
	22→27	200.0	75.0	161.95	-0.0096	-1.55	25.00	23.45	33.78
	27→30	200.0	75.0	55.54	-0.0096	-0.53	-3.70	-4.23	29.54
赤	30→32	200.0	75.0	23.91	-0.0096	-0.23	1.70	1.47	31.01
合計	1→32	200.0	75.0	498.55	-0.0096	-4.79	35.80	31.01	31.01
青	30→32	200.0	75.0	20.80	-0.0096	-0.20	2.20	2.00	31.54
	32→33	200.0	75.0	7.15	-0.0096	-0.07	-0.50	-0.57	30.98
合計	1→33	200.0	75.0	502.59	-0.0096	-4.82	35.80	30.98	30.98

表 3-3 打越暫定配管付替数量計算書

費　目・工種・種別	数量	単位
送湯管 GNG-AR $\phi 75$	554.0	m
中間継手 (S)	9.0	個
端末継手 (F)	24.0	個
90° 継手 (L)	3.0	個
分岐継手 (T)	8.0	個
排泥弁 GV75A, SCS14, JIS10KF	2.0	台
自動排氣弁	5.0	台
支持金物	252.0	基
雑材料	1.0	式
配管・延管工費	554.0	m
継手工費	44.0	個所
管路伐採等	192.2	m
圧力試験費	8.0	回
道路横断工費	1.0	個所
雑工費	1.0	式
運搬搬入費	1.0	式
安全衛生費	1.0	式
仮設費	1.0	式
現場管理費	1.0	式
一般管理費	1.0	式
計		
諸経費	1.0	式
合計		

4. 協議資料作成

4-1. 協議資料作成

協議資料として、以下の資料を作成した。

- ① 温泉掘削申請書（案）等
- ② 温泉増掘申請書（案）等

① 温泉掘削申請書（案）

別記様式第7号（規格A4）（第8条関係）

温泉掘削許可申請書

平成28年12月 日

群馬県知事 大澤 正明 様

住所 群馬県吾妻郡長野原町大字与喜屋11
氏名 国土交通省関東地方整備局
八ッ場ダム工事事務所長
矢崎 剛吉

次により、ゆう出路を増掘する許可を申請します。

掘削に係る温泉の利用の目的	源泉保護工施工時の温泉排水のため
掘削しようとする土地の所在、地番及び地目並びにその付近の状況	場所：群馬県吾妻郡長野原町大字川原湯字上打越乙290 付近の状況：別図のとおり
ゆう出路の口径、深さ その他掘削の工事の施工方法	口径：200mm(FRPケーシングパイプ、内径) 深さ：10m 本数：2本
主要な設備の構造及び能力	TBM88（別添カタログ参照）の使用を予定。
工事の着手及び完了の予定日	
備考	建設中の八ッ場ダムの計画高水位は川原湯温泉の元の湯が存在する場所よりも高く、同ダムが完成すると元の湯はダム湖内に水没することになる。このため、元の湯の周囲は井筒で保護し、その周囲は埋め立てて井筒天端を湖水面よりも高く保持することで、保全する予定である。この源泉保全工事中は源泉部からの温泉湧出を止める必要があり、源泉部分での開削、掘削（増掘、別途申請）とともに、周辺で温泉排水を行うための井戸を掘削するのが本掘削申請である。本掘削孔では温泉が自噴する可能性が高いが、元の湯の保護工事が終了すれば不要となる井戸であり、温泉が湧出し続けることは元の湯の保全に悪影響を及ぼすことから、保護工事が終了した段階では完全に埋め戻す予定である。

- 注 1 申請者の住所及び氏名は、申請者が法人にあっては、主たる事務所の所在地及び名称並びに代表者の氏名を記載すること。
2 二人以上の共同申請の場合には、代表者について所定事項を記入し、その他の者については別紙に住所及び氏名を記載すること。
3 「工事の施工方法」の(1)には掘削の方法を記入し、(2)には掘削の形態、たとえば垂直掘り等について記載すること。

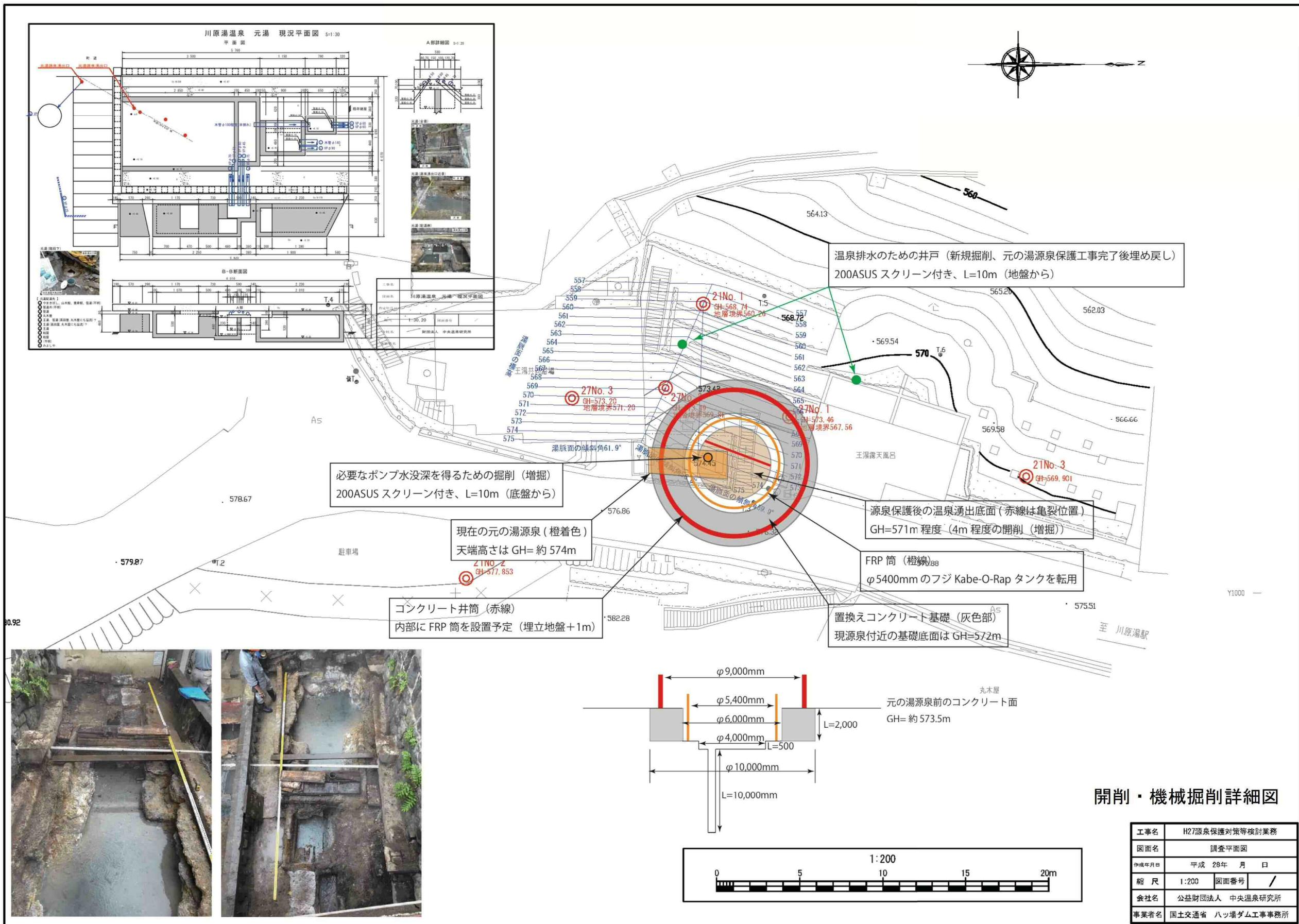


新湯と配湯所



現在の元の湯源泉躯体 (橙色)
天端高さは GH= 約 574m





② 温泉増掘申請書（案）

温泉増掘許可申請書

平成28年12月 日

群馬県知事 大澤 正明 様

住所 群馬県吾妻郡長野原町大字与喜屋11
氏名 国土交通省関東地方整備局
八ッ場ダム工事事務所長
矢崎 剛吉

次により、ゆう出路を増掘する許可を申請します。

増掘の目的	源泉保護工の施工のため
増掘しようとする場所及びその付近の状況	場所：群馬県吾妻郡長野原町大字川原湯字上打越乙290 付近の状況：別図のとおり
温泉のゆう出量、温度及び成分並びにゆう出路の口径及び深さ	ゆう出量：77リッター／分、温度：70°C (H28.8.23～24測定) 成分：別添分析書 (H28.8.4実施) のとおり 口径、深さ：自然湧出泉（別添構造図参照）
増掘後のゆう出路の口径、深さ その他増掘の工事の施工方法	(1) 土木機器による開削部分 口径：5400mm 深さ：3m(源泉前コンクリート地盤573.4mから) (2) 機械ボーリングによる垂直掘削部分 口径：200mm(FRPケーシングパイプ、内径) 深さ：10m(上記開削部底面570.4mから)
主要な設備の構造及び能力	開削部は土木用開削機器、機械ボーリングはTBM88（別添カタログ参照）の使用を予定。
工事の着手及び完了の予定日	
備考	

- 注 1 申請者の住所及び氏名は、申請者が法人にあっては、主たる事務所の所在地及び名称並びに代表者の氏名を記載すること。
- 2 二人以上の共同申請の場合には、代表者について所定事項を記入し、他の者については別紙に住所及び氏名を記載すること。
- 3 「工事の施工方法」の(1)には掘削の方法を記入し、(2)には掘削の形態、たとえば垂直掘り等について記載すること。



新湯と配湯所



現在の元の湯源泉躯体 (橙色)
天端高さは GH= 約 574m



