

平成 27 年度
糸魚川地域地熱資源開発調査事業
総合解析業務
報 告 書

平成 28 年 3 月
地熱技術開発株式会社

まえがき

本報告書は、糸魚川市殿のご発注により実施した「平成 27 年度 糸魚川地域地熱資源開発調査事業 総合解析業務」の結果を取りまとめたものであります。

本調査は、構造試錐井調査によって新たに得られた情報と昨年度の調査結果を用いて総合解析を実施することで、本地域の地熱構造モデル更新、及び地熱資源有望域を抽出することを目的として実施しております。

本調査の実施にあたり、糸魚川市殿の関係各位より種々のご指導・ご協力と貴重なご意見を賜りました。ここに記して厚く御礼を申し上げます。

平成 28 年 3 月

地 熱 技 術 開 発 株 式 会 社
代表取締役社長 中 田 晴 弥

目 次

I 総説.....	5
I - 1 業務件名	5
I - 2 目的	5
I - 3 業務期間	5
I - 4 調査地域	5
I - 5 業務従事者	5
I - 6 結果の概要	6
II 解析方法	9
II - 1 地質図の更新	9
II - 2 地熱構造モデル更新	9
II - 3 貯留層解析.....	9
II - 4 地熱資源有望域の検討.....	9
II - 5 仮噴気試験計画(案)の作成.....	9
II - 6 総合評価	9
III 解析結果	10
III - 1 地質図の更新	10
III - 2 地熱構造モデル更新	27
III - 3 貯留層解析.....	60
III - 4 地熱資源有望域の検討.....	60
III - 5 仮噴気試験計画案の作成	64
IV 総合評価	67

参考文献

図 表 目 次

第Ⅰ-6-1 図	調査地域図	7
第Ⅰ-6-2 図	調査位置図	8
第Ⅲ-1-1 図	糸魚川地域 坑井間地質対比図	16
第Ⅲ-1-2 図	H27-ITG-1 変質分帯図	17
第Ⅲ-1-3 図	H27-ITG-1 流体包有物均質化温度分布図	18
第Ⅲ-1-4 図	H27-ITG-1 静止中電気検層結果	19
第Ⅲ-1-5 図	H27-ITG-1 静止中温度・圧力検層結果	20
第Ⅲ-1-6 図	見直し前の地質平面図	21
第Ⅲ-1-7 図	見直し後の地質平面図	22
第Ⅲ-1-8 図	見直し前の地質断面図(a-a'断面)	23
第Ⅲ-1-9 図	見直し後の地質断面図(a-a'断面)	24
第Ⅲ-1-10 図	見直し前の地質断面図(b-b'断面)	25
第Ⅲ-1-11 図	見直し後の地質断面図(b-b'断面)	26
第Ⅲ-2-1 図	坑井内垂直温度分布(湯原・木島,1994)	31
第Ⅲ-2-2 図	糸魚川温泉 1 号井・2 号井及び ITG-1 の温度比較	32
第Ⅲ-2-3 図	H27-ITG-1 総合地質柱状図	33
第Ⅲ-2-4 図	地質と推定地下温度分布(標高-1,300m)	34
第Ⅲ-2-5 図	電磁探査(MT 法)測点位置図	35
第Ⅲ-2-6 図	MT 法 2 次元解析結果(C 断面)	36
第Ⅲ-2-7 図	地質と残差重力異常の比較図	37
第Ⅲ-2-8 図	残差重力異常と比抵抗分布(標高 0m)の比較図	38
第Ⅲ-2-9 図	残差重力異常と比抵抗分布(標高-500m)の比較図	39
第Ⅲ-2-10 図	残差重力異常と比抵抗分布(標高-1,000m)の比較図	40
第Ⅲ-2-11 図	残差重力異常と比抵抗分布(標高-2,000m)の比較図	41
第Ⅲ-2-12 図	地質と比抵抗分布(標高 0m)の比較図	42
第Ⅲ-2-13 図	地質と比抵抗分布(標高-500m)の比較図	43
第Ⅲ-2-14 図	重力基盤深度と比抵抗分布(標高 0m)の比較図	44
第Ⅲ-2-15 図	重力基盤深度と比抵抗分布(標高-500m)の比較図	45
第Ⅲ-2-16 図	重力基盤深度と比抵抗分布(標高-1,000m)の比較図	46

第Ⅲ-2-17 図	重力基盤深度と比抵抗分布(標高・2,000m)の比較図	47
第Ⅲ-2-18 図	鉛直一次微分図	48
第Ⅲ-2-19 図	重力構造図	49
第Ⅲ-2-20 図	地質断面と比抵抗と重力基盤の比較図(a-a'断面).....	50
第Ⅲ-2-21 図	地質断面と比抵抗と重力基盤の比較図(b-b'断面).....	51
第Ⅲ-2-22 図	地質断面と比抵抗と重力基盤の比較図(c-c'断面).....	52
第Ⅲ-2-23 図	インダクションベクトル図(1Hz)	53
第Ⅲ-2-24 図	北部フォッサマグナ北西縁地域の模式構造図 (Okamura,2003)	56
第Ⅲ-2-25 図	モデル解析による日本列島の現在の相対せん断変位 (濱島,2003)	56
第Ⅲ-2-26 図	中部日本における火山分布 (生出, 1987)	57
第Ⅲ-2-27 図	調査地域の地熱構造モデル (模式図)	59
第Ⅲ-4-1 図	地熱有望域	63
第Ⅲ-5-1 図	仮噴気試験設備(1).....	65
第Ⅲ-5-2 図	仮噴気試験設備(2).....	66
第Ⅰ-3-1 表	調査工程.....	5
第Ⅲ-2-1 表	西頸城地域における断層形態の特徴.....	55

I 総説

I-1 業務件名

平成 27 年度 糸魚川地域地熱資源開発調査事業 総合解析業務

I-2 目的

本年度実施された構造試錐井調査より新たに得られた情報と昨年度の調査で得られた情報を用いて、総合解析（地質図更新，地熱構造モデル更新，貯留層解析，地熱資源有望域の検討，仮噴気試験計画（案）の作成，総合評価）を実施する。

I-3 業務期間

（自）平成 27 年 9 月 2 日 ～ （至）平成 28 年 3 月 18 日

第 I-3-1 表 調査工程

	平成27年				平成28年		
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
① 地質図更新							
② 地熱構造モデル更新							
③ 貯留層解析							
④ 地熱資源有望域の検討							
⑤ 仮噴気試験計画案の作成							
⑥ 総合評価							

I-4 調査地域

新潟県糸魚川市姫川周辺（第 I-6-1 図及び第 I-6-2 図参照）。

I-5 業務従事者

佐藤 龍也	業務代理人	探査部長	（技術士：応用理学・総合技術監理）
長谷 英彰		探査部マネージャ	（理学博士）
大澤 健二		探査部サブマネージャ	（技術士補：応用理学）
佐波 瑞恵		探査部	（理学博士）
高梨幸志郎		探査部	（理学博士）
渋谷 明貫		探査部	（技術士：応用理学）

I - 6 結果の概要

1. 地質図の更新

構造試錐井掘削で得られた情報を基に、地質断面図及び地質平面図の更新を行った。調査地域周辺は、糸魚川-静岡構造線を構成する NNW-SSE 走向の断層と、それを横切る胴切り断層が存在する複雑な地質構造が推定された。既存温泉井との坑井地質の比較から、構造試錐井 ITG-1 では地層境界の出現深度は深くなるものの、基本的な地質層序は一致しており、同様の地質構造が南側に連続している可能性が示唆された。

2. 地熱構造モデル更新

坑井地質情報から、本地域に発達する地熱貯留層は、先新第三系中に発達する割れ目と考えられる。本地域はプレートの沈み込みに関連した複雑な地質構造を有しており、地下深部に第四紀火山列に関係したマグマが熱源として存在する可能性が考えられる。本地域に産出する温泉水は、天水が地層中に取り込まれた海水成分を溶かし込んで温泉になったと考えられ、外部からの熱水の供給が期待できる。以上のことから、本地域では、天水が地下深部に浸透し、熱源からの伝導熱などで温められ上昇してきた熱水が、地層中の成分やメタンを溶存しつつ流動して地熱貯留層を形成していると考えられる。

3. 貯留層解析

構造試錐井 ITG-1 において熱水の湧出が確認された場合、推定される地下温度と透水性などの情報から、坑内流動シミュレーションなどを行い、平成 28 年度に予定する仮噴気試験で期待される生産量を推定する計画であった。しかしながら、構造試錐井 ITG-1 では、全坑加圧を含め、数回にわたって熱水の汲み上げ試験を試みたが自噴には至なかった。

4. 地熱資源有望域の検討

本年度の調査では、昨年度の調査で抽出した掘削ターゲットに向かって構造試錐井 ITG-1 が掘削されたが、地熱貯留層には逢着しなかった。しかしながら、本調査地域では既存温泉井である糸魚川温泉 1 号井及び 2 号井周辺の地下構造と同様の構造が、より南側まで連続している可能性が示された。すなわち、断層⑤と⑥に挟まれた浅部低比抵抗域と重力基盤の急傾斜部が重なった部分で、糸魚川温泉 1 号井、2 号井の温泉帯水層(標高-1,000 ~ -1,300m 付近) よりも深部で浅部低比抵抗域の下部に推定される高温域が地熱資源の有望域と考えられる。貯留層の上面深度は、既存温泉井より南側では深くなると考えられる。

5. 仮噴気試験計画(案)の作成

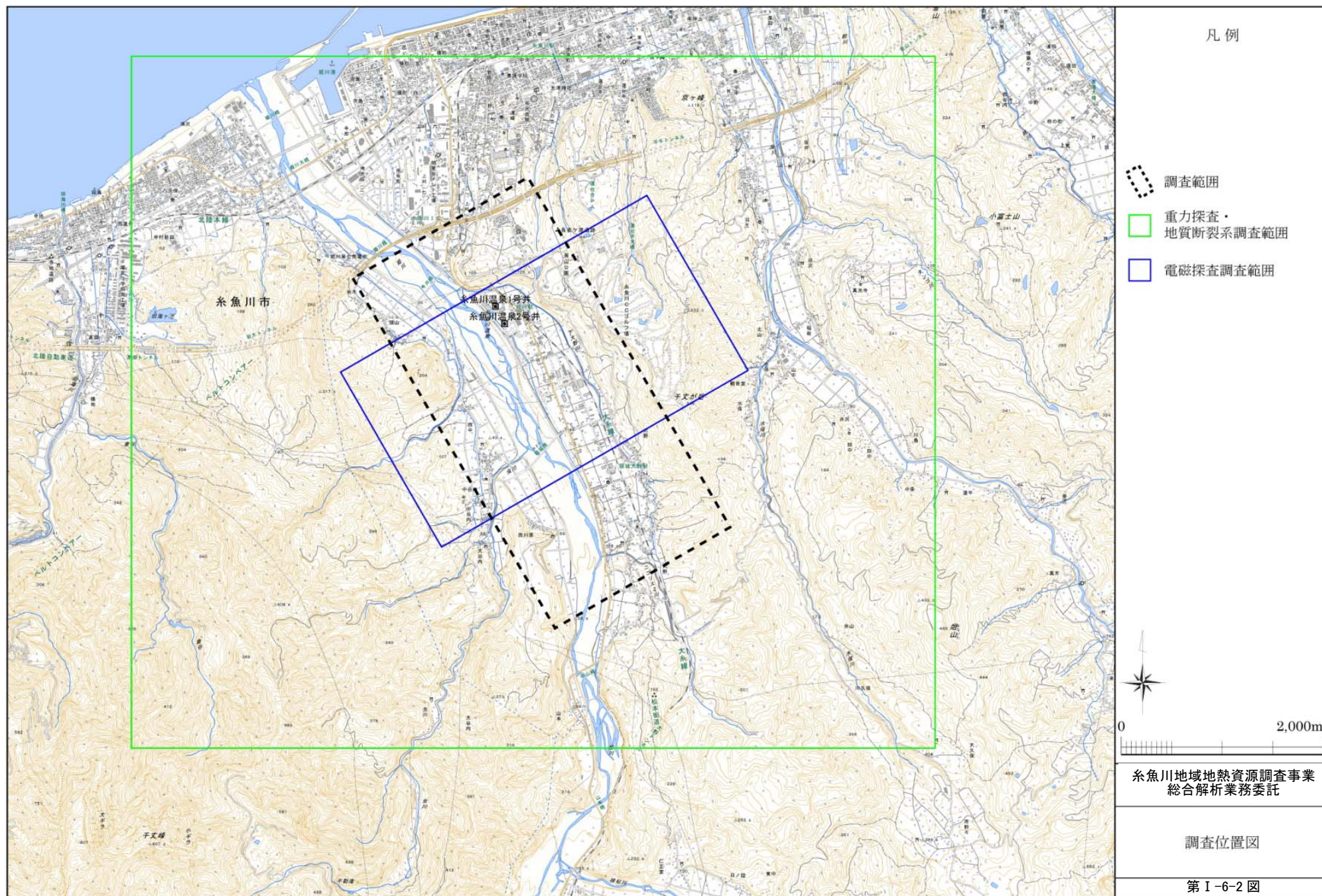
構造試験井 ITG-1 が噴気した場合に備え、次年度に予定されていた仮噴気試験計画について、試験計画案の検討を行った。なお、今回の調査では掘削中に逸泥が確認されず、また、掘削後に注水を行ったが、透水性が確認されなかったことから、仮噴気試験を実施する可能性は低いと、今後、新規の構造試験井掘削を行った際の参考になると考える。

6. 総合評価

上記の調査・解析結果を基に、本地域の地熱資源量やその分布、地熱資源有望域の絞り込みを行い、次年度以降の継続的な調査事業計画に関する判断を含めた全体的な評価を行った。



第 I -6-1 図 調査地域図



II 解析方法

II - 1 地質図の更新

構造試錐井掘削で得られた情報をもとに、地質断面図及び地質平面図を更新する。また、掘削で得られた情報は昨年度構築したデータベースに追加する。これら情報は地熱構造モデルに反映される。

II - 2 地熱構造モデル更新

更新された地質図や、構造試錐井で得られた各種情報を加えて既存の各種情報を平面図や断面図上で比較し、地熱構造モデルを構築する。これら情報は資源量評価や地熱資源有望域の絞り込みに参照する。

II - 3 貯留層解析

構造試錐井調査で実施される検層結果や、熱水の汲み上げ試験の履歴などから透水性の推定を試みる。また、推定される地下温度と透水性など得られた情報を用い、坑内流動シミュレーションなどを行い、平成 28 年度に予定する仮噴気試験で期待される生産量を推定する。

II - 4 地熱資源有望域の検討

昨年度提示された大野地区の地熱資源有望域について、更新された地熱構造モデルや構造試錐井掘削で得られた情報に基づいて検討を行う。同検討を通して、有望域のさらなる絞り込みを行う。

II - 5 仮噴気試験計画(案)の作成

次年度に予定する仮噴気試験計画(案)を作成する。

II - 6 総合評価

上記の調査・解析結果を基に、本地域の地熱資源に対する総合的な評価を行う。これには、資源量やその分布、地熱資源有望域の絞り込みを行い、次年度以降の継続的な調査事業計画に関する判断を含み、全体的な評価を行う。

III 解析結果

III - 1 地質図の更新

1. 構造試錐井調査結果

本年度、構造試錐井 ITG-1 が掘削され、カッティングス分析及び物理検層が実施された。

第Ⅲ-1-1 図に構造試錐井 ITG-1 と既存温泉井である糸魚川温泉 1 号井及び 2 号井の坑井間地質対比図、第Ⅲ-1-2 図に変質分帯図、第Ⅲ-1-3 図に ITG-1 の流体包有物均質化温度分布図をそれぞれ示す。

カッティングス観察の結果から、ITG-1 の坑井地質は以下のように区分された。

掘削深度	地層名
地表-55 m	沖積層・段丘堆積物
55-565 m	仙翁沢層
565-835 m	今井層
835-975 m	山本層
975 m 以深	先新第三紀基盤岩類

構造試錐井 ITG-1 では地熱貯留層を構成するような顕著な逸水層には逢着しなかった。しかしながら ITG-1 の掘削により、本調査地域では南部ほど地層境界の出現深度が深くなる傾向にあることが判明した。また、変質鉱物の出現傾向は深部ほど高温条件で安定な鉱物が確認されており、過去の熱水活動では 200℃以上の高温熱水が存在していた可能性が指摘された。流体包有物均質化温度分布は平均値で 108～202℃であった（第Ⅲ-1-3 図）。

物理検層として、最終段（6-1/4” 坑）掘削直後の静止中の電気検層及び温度検層、温度回復後の静止中の温度・圧力検層が実施された。第Ⅲ-1-4 図に静止中電気検層結果、第Ⅲ-1-5 図に静止中温度・圧力検層結果をそれぞれ示す。

掘削直後の静止中電気検層では、深度 1,100m 付近を境に見掛比抵抗値が深部ほど高くなる傾向を示しており、原岩の種類を反映しているものと考えられた。

掘削直後の静止中温度検層では、深度 1,350m で最高温度 98.2℃を記録した。また、温度回復後の静止中温度・圧力検層（スタンディングタイム 747 時間）では、深度 866m で検層器が降下不能となったため、最高温度 75.7℃(@深度 861-866m)、最高圧力 9.15MPaA であった。深度 866m までの温度傾向が坑底まで連続すると仮定すると、坑底付近の地層温度は約 110℃と推定され、これは流体包有物の最低均質化温度と整合的な値である。

2. 平成 26 年度地質断裂系調査結果

平成 26 年度の地質断裂系調査では、本地域の地質は次の様にまとめられた。

(1) 地質分布

本地域には、南西部に先新第三紀の地層が分布し、北西部から中央北部にかけて新第三系の山本層、今井層が分布する。調査地域東部は新第三紀の根知層及び第四紀段丘堆積物が分布する。

(2) 断裂構造

鉱物脈及び節理は北東-南西方向に卓越しており、その他北北東-南南西、北西-南東系の走向も分布している。地形解析によって得られたリニアメントは北北西-南南東系及び東北東-西南西系に卓越する。

(3) 地質構造

本地域の地質は、姫川沿いの断層により、調査地域の西から東にかけて地層が階段状に落ちていると考える。また、糸魚川-静岡構造線に対して横切るような走向を持つ断層により、調査地域の南から北にかけて地層が階段状に落ちていると考えられる。ただし、糸魚川温泉付近では糸魚川温泉 1 号井よりも南に位置する 2 号井の方で地層が落ち込んでいる事が温泉井の地質対比により確認されている。

(4) 変質帯

本地域内では、特に今井層流紋岩に粘土化変質が見られる。また、調査範囲内の鉱泉は 2 つとも姫川流域内に見られる。

(5) 地熱兆候・変質帯と断層の関係

姫川流域では糸魚川-静岡構造線に沿う北北西-南南東から北西-南東系の断層とこれを横切る断層（北東-南西系）が複数存在することにより、周辺地域に比べて断層が集中していると推定される。これらの北北西-南南東から北西-南東系、北東-南西系の断層の分布が熱水活動を規制している可能性があると考ええる。特に断層①の近くには、糸魚川温泉 1 号井及び 2 号井が分布し、頭山鉱泉も分布する。よって、断層①がこれらの地熱流体流動を規制していると推定する。

3. 地質図の更新

本年度は、地質情報の細部の見直しと重力調査結果との整合性について検討し、地質平面図の更新を行った。また、本年度掘削された構造試錐井 ITG-1 の坑井情報を基に地下地質構造を検討し、地質断面図を更新した。第Ⅲ-1-6 図に見直し前の地質平面図、第Ⅲ-1-7 図に見直し後の地質平面図、第Ⅲ-1-8 図～第Ⅲ-1-9 図に見直し前及び見直し後の地質断面図（a-a'断面）、第Ⅲ-1-10 図～第Ⅲ-1-11 図に見直し前及び見直し後の地質断面図（b-b'断面）を示す。

(1) 地質平面図の更新

a. 糸魚川-静岡構造線（断層⑤及び断層⑥）の分布

断層⑤及び断層⑥は糸魚川-静岡構造線（Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line; ISTL）を構成する断層で、フォッサマグナ堆積盆形成初期において重要な役割を果たしたと考えられている（白石,2003）。現在では、これら 2 本の断層を含めた複数の断層の活動によって、フォッサマグナ側が沈降していったと考えられている。特に、断層⑤に関しては、糸魚川-静岡構造線を構成する断層に見られる地域的な特性から横川断層と呼ばれており（長森ほか, 2010）、調査地域の南側で確認されている断層露頭の観察結果から、少なくとも 4 回の断層運動があり、いずれも正断層の性質を示す事が指摘されている（竹之内・宮島, 2001）。

b. 胴切り断層の分布の検討

i) 断層①

構造試錐井 ITG-1 と、過去に掘削された 2 本の温泉井の坑井地質柱状の対比から、各地層境界の出現する深度は、南側ほど深くなることが明らかとなった。

白石(2003)は、1 号井と 2 号井に表れる地層境界深度が水平離隔距離約 250m で 100m 以上の落差があり、各地層毎の出現深度の差がほぼ同じであることから、この間に断層の存在を示唆している。平成 26 年度の総合解析結果では、白石ほか(2001)が長野県小谷地域で想定した胴切り断層と同様の NE-SW 方向に伸びる断層（断層①）を推定した。一方、白石ほか(2001)や白石(2003)によると、小谷地域に見られる胴切り断層は、断層の伸びの方向が新第三系に発達する褶曲軸や断層の方向と一致することから、鮮新世以降の構造による変位であると論じている。ここで、糸魚川周辺では鮮新世以降に形成されたと考えられる地質構造は NNE-SSW 方向が卓越する傾向にあることから、本年度地質情報の更新を行うに当たって、断層①の伸長方向を新第三系に発達する構造の方向と

調和的になるように変更した。

平成 26 年度の調査では、断層①は 1 号井と 2 号井の間を抜け、頭山鉱泉を通るように推定した。しかしながら、断層①と頭山鉱泉を繋ぐ明確な根拠はなく、鮮新世以降の地質構造の卓越方向とも一致しない。このことから、頭山鉱泉の流路となる断裂構造は断層①とは別に存在していると推定した。

ii) 断層②

平成 26 年度の地質断裂系調査では、リニアメント構造から 2 号井と構造試錐井 ITG-1 の間に断層②を想定した。ここで、2 号井と構造試錐井 ITG-1 の各地層境界の出現深度を結んだ見掛け傾斜方向は、水平離隔距離に対する地層落差から考えると、およそ 4～10° で南に向かって深くなる傾向を示す(a-a'断面(NNE-SSW 方向;第Ⅲ-1-9 図)参照)。これは、1 号井～2 号井間よりも地層落差や層厚変化が小さく、地層の傾斜角も小さい。

ここで、調査地域周辺の地層の傾斜方向は、構造試錐井 ITG-1 の南西に位置する翡翠橋付近を境にして北西側では北傾斜、南東側では南傾斜が卓越する傾向にある。しかしながら、本地域が鮮新世以降に大きく構造変位を受けている事を考慮すると、周囲を断層に囲まれた 2 号井～構造試錐井 ITG-1 間の領域(ブロック)が南傾斜となる可能性は十分に考えられる。以上のことから、現状では 2 号井と構造試錐井 ITG-1 の間に断層(平成 26 年度の断層②)は想定せず、地下における地層の傾斜方向は概ね南傾斜であると考えた。

iii) 断層③

平成 26 年度の調査では、A36 露頭において今井層相当層の走向傾斜データが取得されており、この露頭では地層が南西に傾斜することが明らかとなっている。平成 26 年度の総合解析では、この A36 露頭と 2 号井における今井層の出現深度の違いから、断層③の存在が推定された。

ここで、構造試錐井 ITG-1 の坑井柱状図に着目すると、今井層の出現深度は深度 565m で、層厚は 400m 程度と見積もることができる。構造試錐井 ITG-1 における今井層の出現深度と A36 露頭における地層の傾斜方向から推察すると、構造試錐井 ITG-1 と A36 露頭との間には数百 m 以上の落差を想定する必要がある、断層の存在が示唆される。そこで本調査では、断層③を頸城大野駅の西側に NNE-SSW 方向に伸びる断層として推定した。構造試錐井 ITG-1 と A36 露頭間では地層の落差が大きいことを考慮すると、複数の断裂構造が存在している可能性も考えられる。一方で、この断層の位置は平成 26

年度調査で判明した重力構造やリニアメントの分布とは必ずしも一致しておらず、検討の余地が残されている。

iv) 断層④

地表地質ならびに坑井地質における地層境界の出現深度の違いから、断層⑤によって東側の地層が落ち込んでいることが推測される。一方、調査範囲の南側に位置する A36 露頭で確認された流紋岩（今井層相当層）は SW 方向に傾斜しているが、その南側に分布する地層は今井層よりも下位の山本層であることから、この間に地質構造のギャップ（断層構造）が推定できる。平成 26 年度の総合解析では、地質断裂系調査の結果を基にリニアメントの確認された位置に断層構造（断層④）を推定したが、平成 26 年度に実施した重力調査の結果からは、中山橋の東側から A36 露頭付近を通して頸城大野駅付近にかけて、南北方向に伸びる重力構造線が抽出されており、その伸びの方向が新第三系に発達する褶曲軸や断層の方向と一致する。このことから、断層④については NNE-SSW 方向に伸びる構造に修正した。

A36 露頭で観察された地層では、今井層の相当する流紋岩と泥岩（七谷階相当）が接していることから、今井層のなかでも比較的上位の地層であると推測される。仮に、この A36 露頭が今井層の最上部とした場合、断層④は数百 m の落差を有していると考えられる。

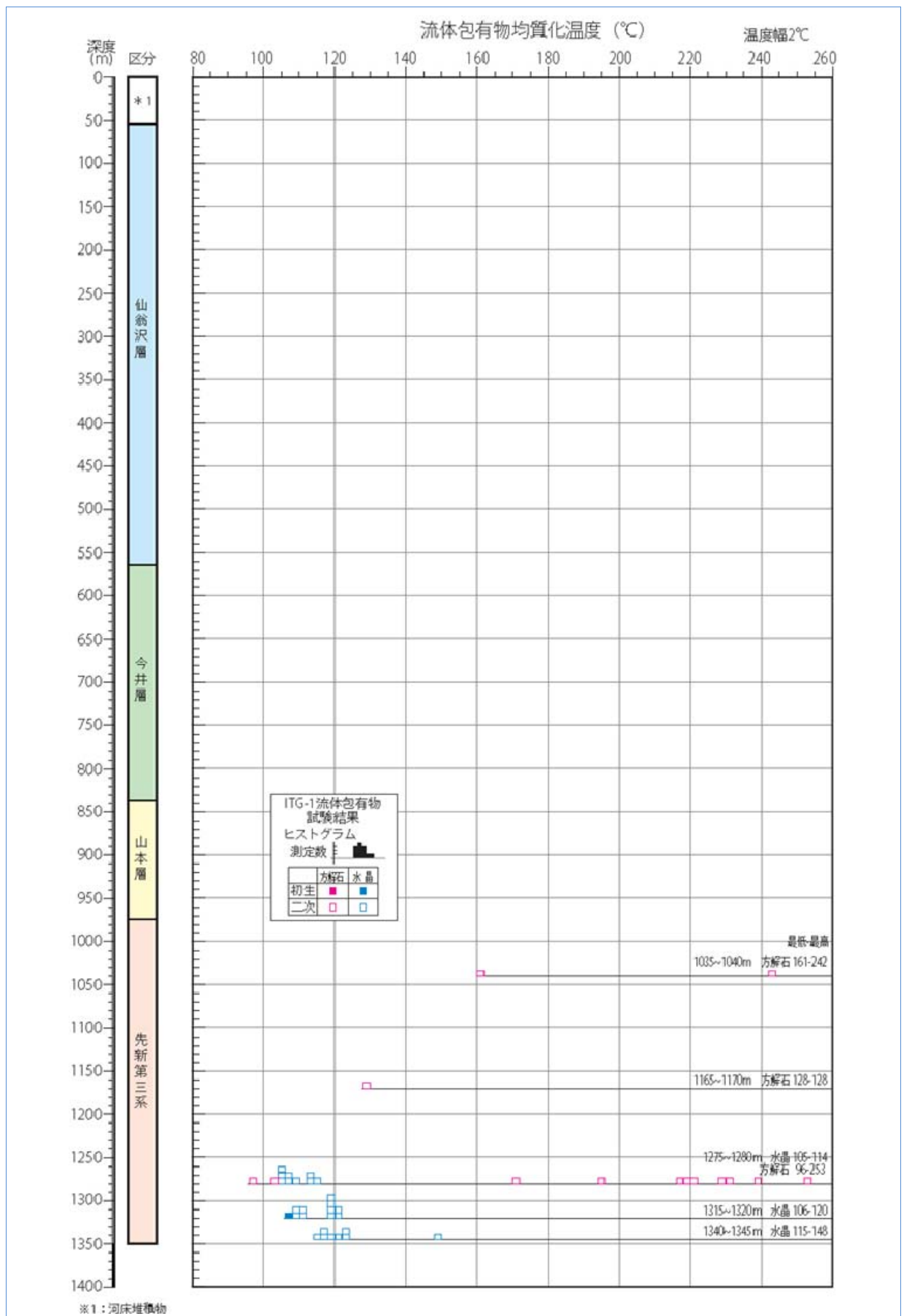
4. 地質断面図の更新

既存井及び本年度掘削された構造試錐井 ITG-1 の坑井データから、坑井周辺における地層の傾斜方向について検討した。本年度は以下の推定に基づいて、地下における地層の傾斜方向を鑑みた断面図の更新を行った。

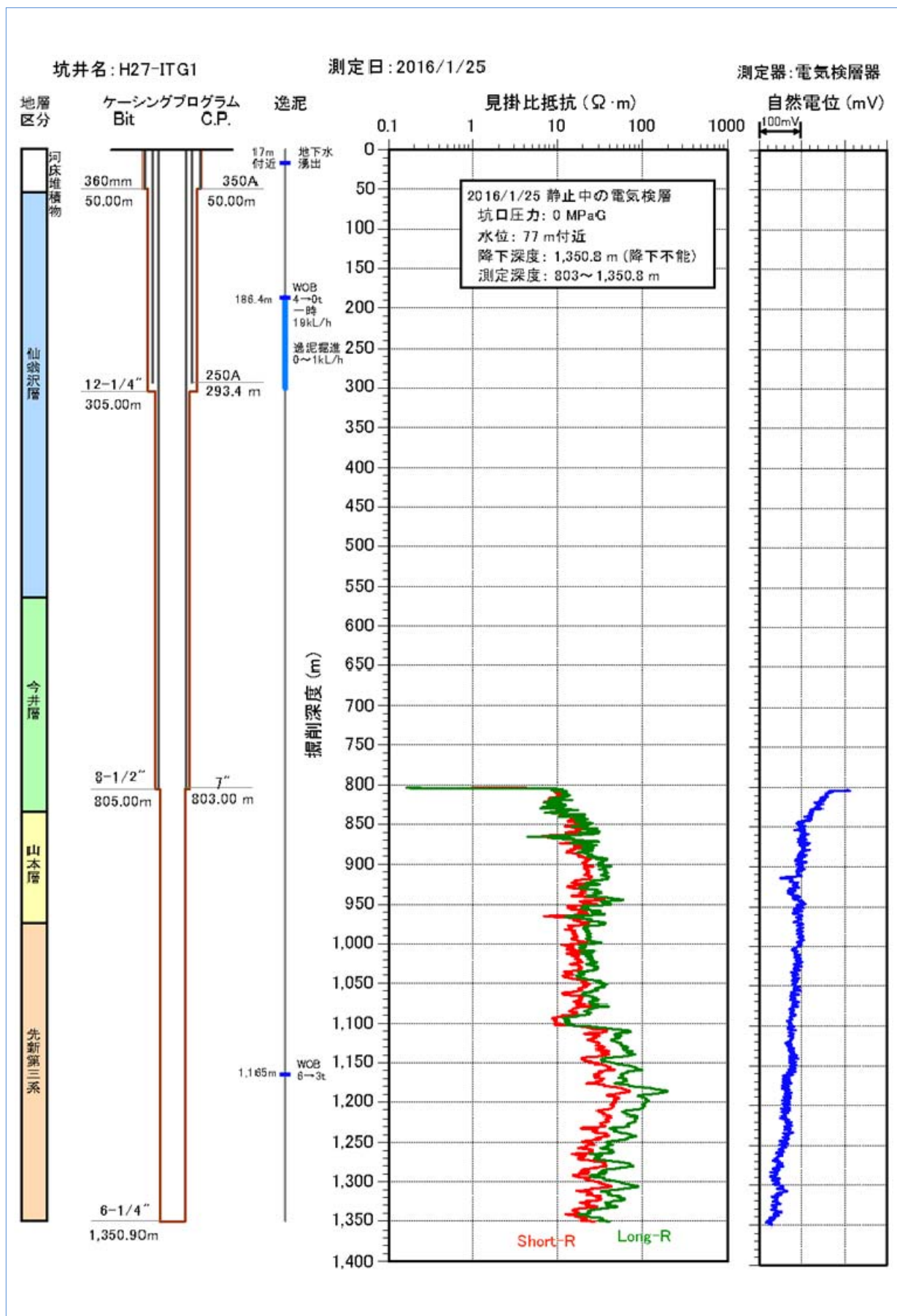
一般に、断面図上に示される地層の傾斜角（見掛け傾斜角）は、断面線と地層の走向の交わる角度と地層の真の傾斜角から求められる。そのため、見掛け傾斜角と傾斜方向及び地層の走向方向が判れば、地層の真の傾斜角と傾斜方向を推定することができる。2 号井と構造試錐井 ITG-1 の各地層境界の出現深度から、調査範囲周辺に分布する地層の見掛けの傾斜は平均して 6～7° 南傾斜と見積ることができる。

ここで、坑井周辺の地層の姿勢が既存資料における周辺地区の地層の姿勢と大差ないと仮定する。構造試錐井 ITG-1 で確認された仙翁沢層は後期中新世の堆積相で、上位に位置する根知層とは堆積環境が良く似ており、一部同時異相の関係にあった可能性が指摘されている（長森ほか, 2010）。仙翁沢層も上位の根知層と同様の変位を受けており、地下にお

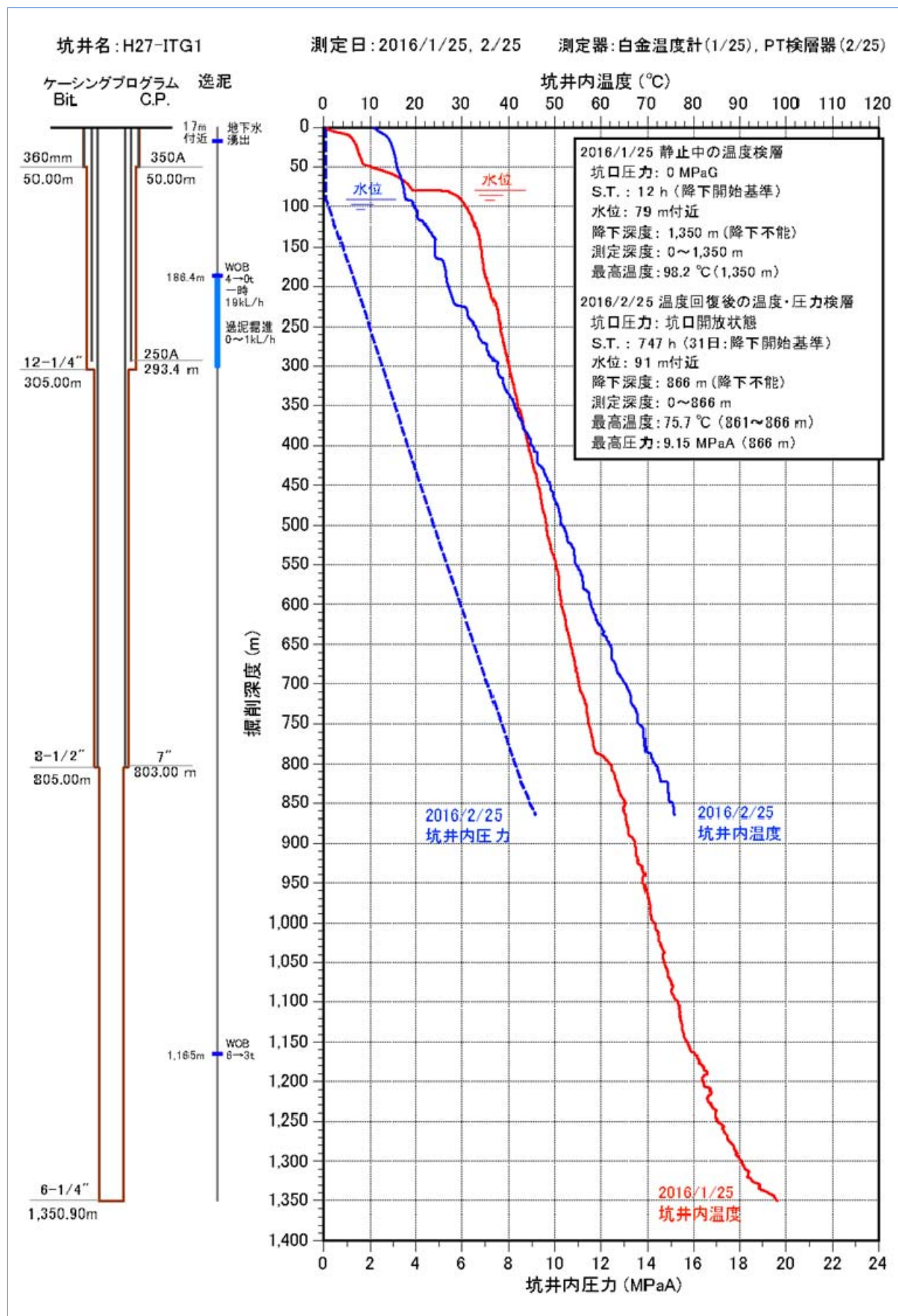
ける仙翁沢層の走向が地表で確認できる根知層の走向と変わらないと仮定すると、構造試験井 ITG-1 周辺では NE 走向が卓越すると考えられる。そこで、構造試験井 ITG-1 から最も近い根知層の走向傾斜データ（長森ほか(2010), 新潟県(1982)) を使用して地層の傾斜角を見積った。その場合、走向と断面線 (a-a'断面) の交わる角度はおよそ 55° となり、見掛け傾斜角が 6.5° の時の地層の真の傾斜角は 8° 程度で南側 (SE 方向) に傾斜していると推定した。



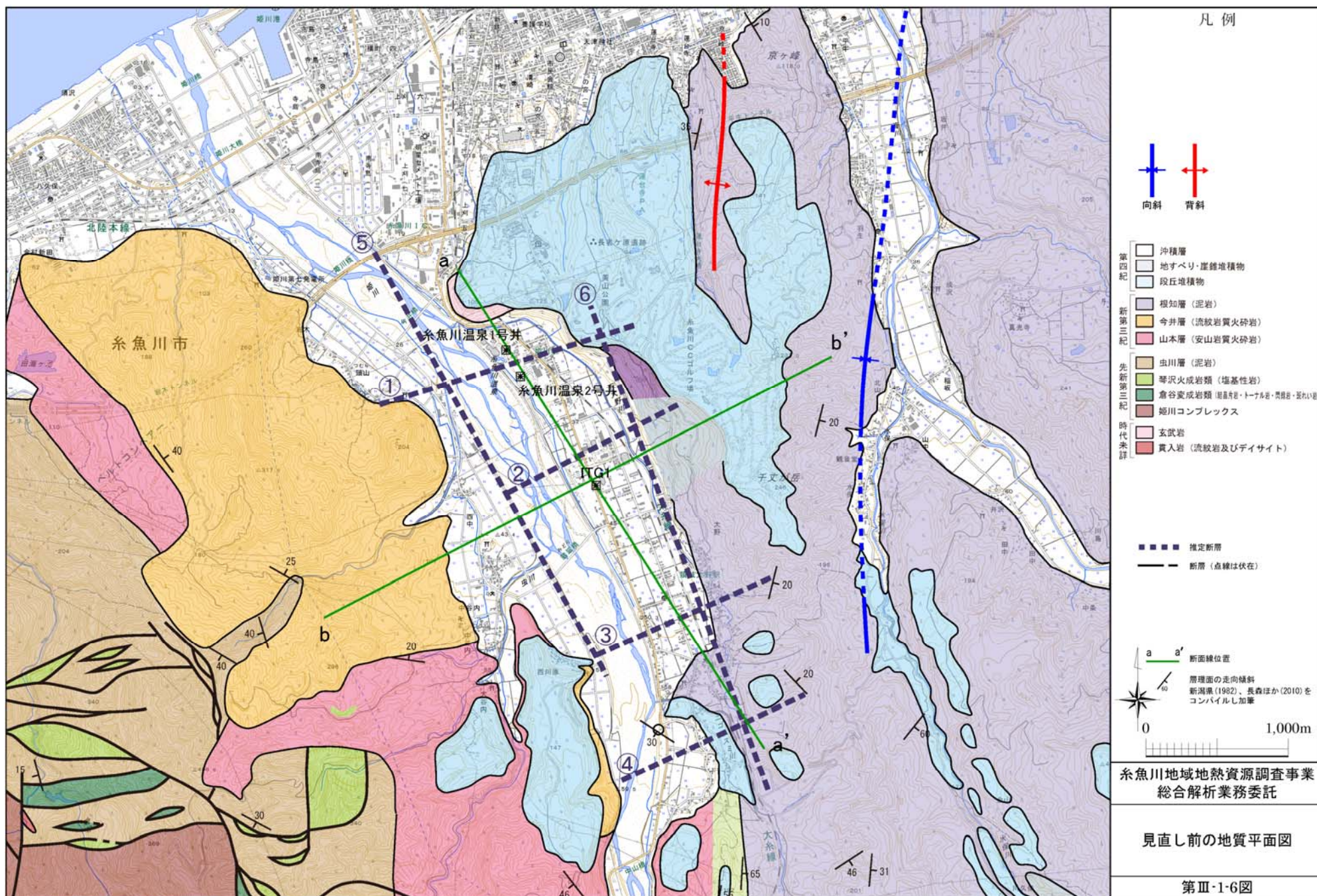
第Ⅲ-1-3 図 H27-ITG-1 流体包有物均質化温度分布図

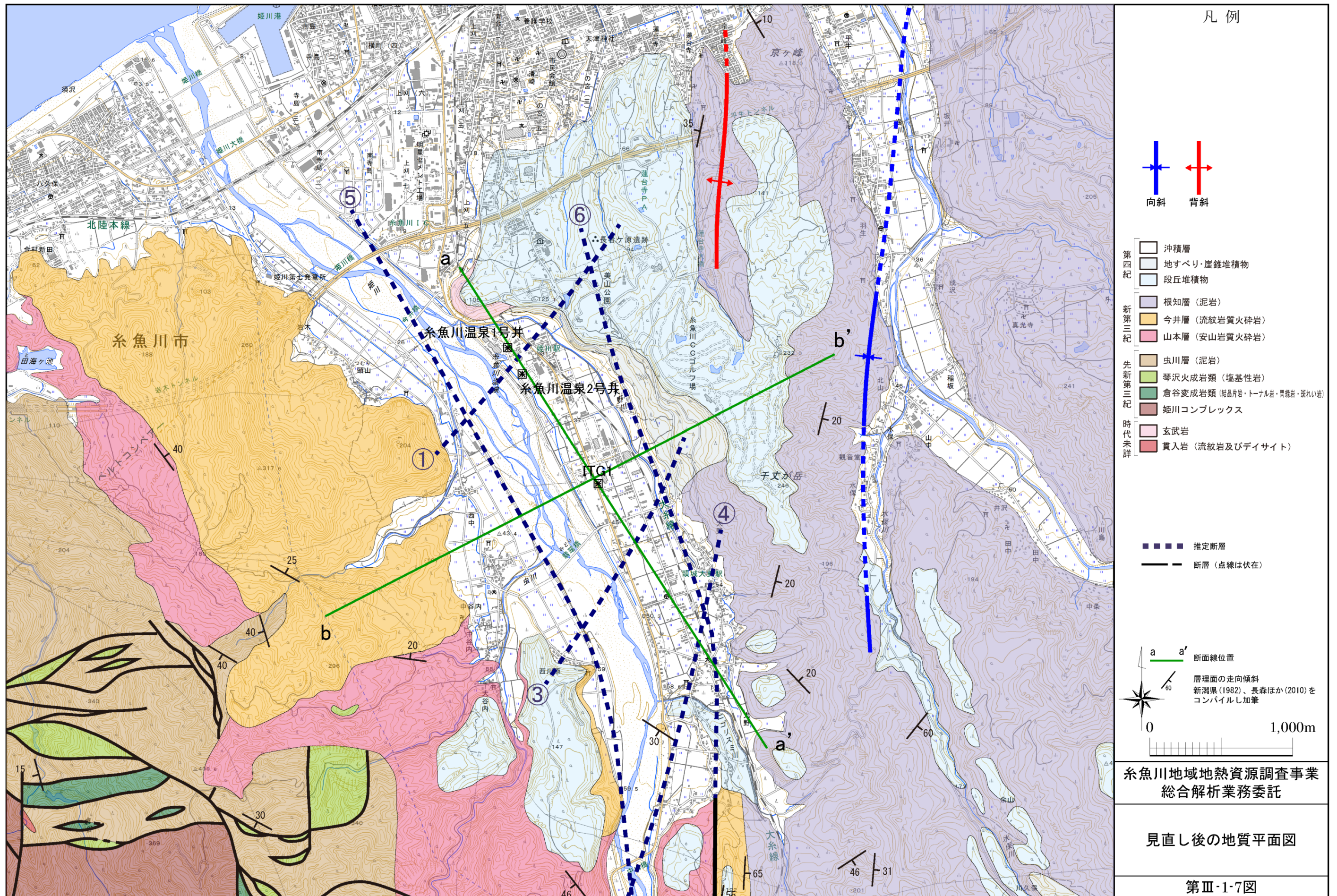


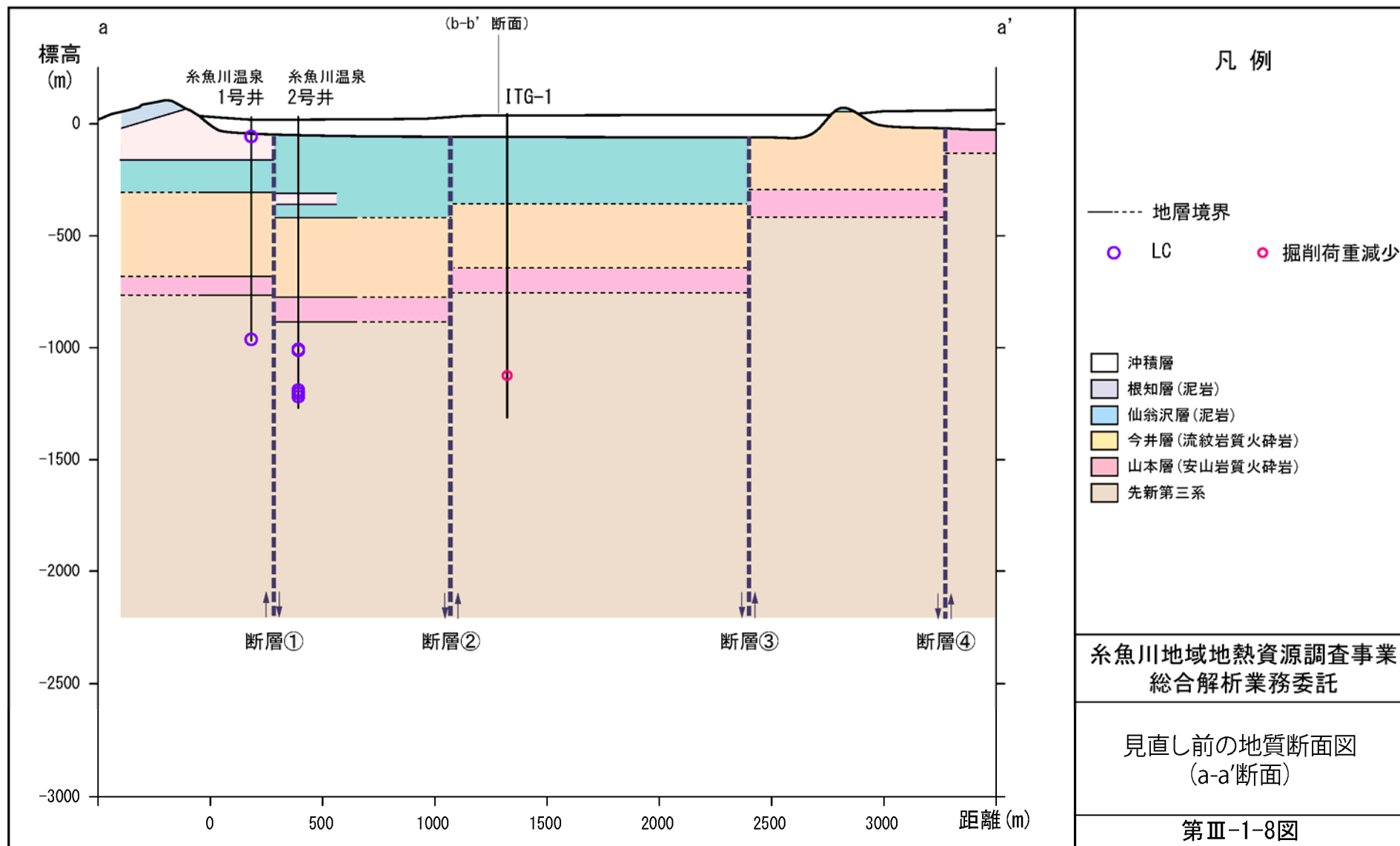
第三-1-4 図 H27-ITG-1 静止中電気検層結果

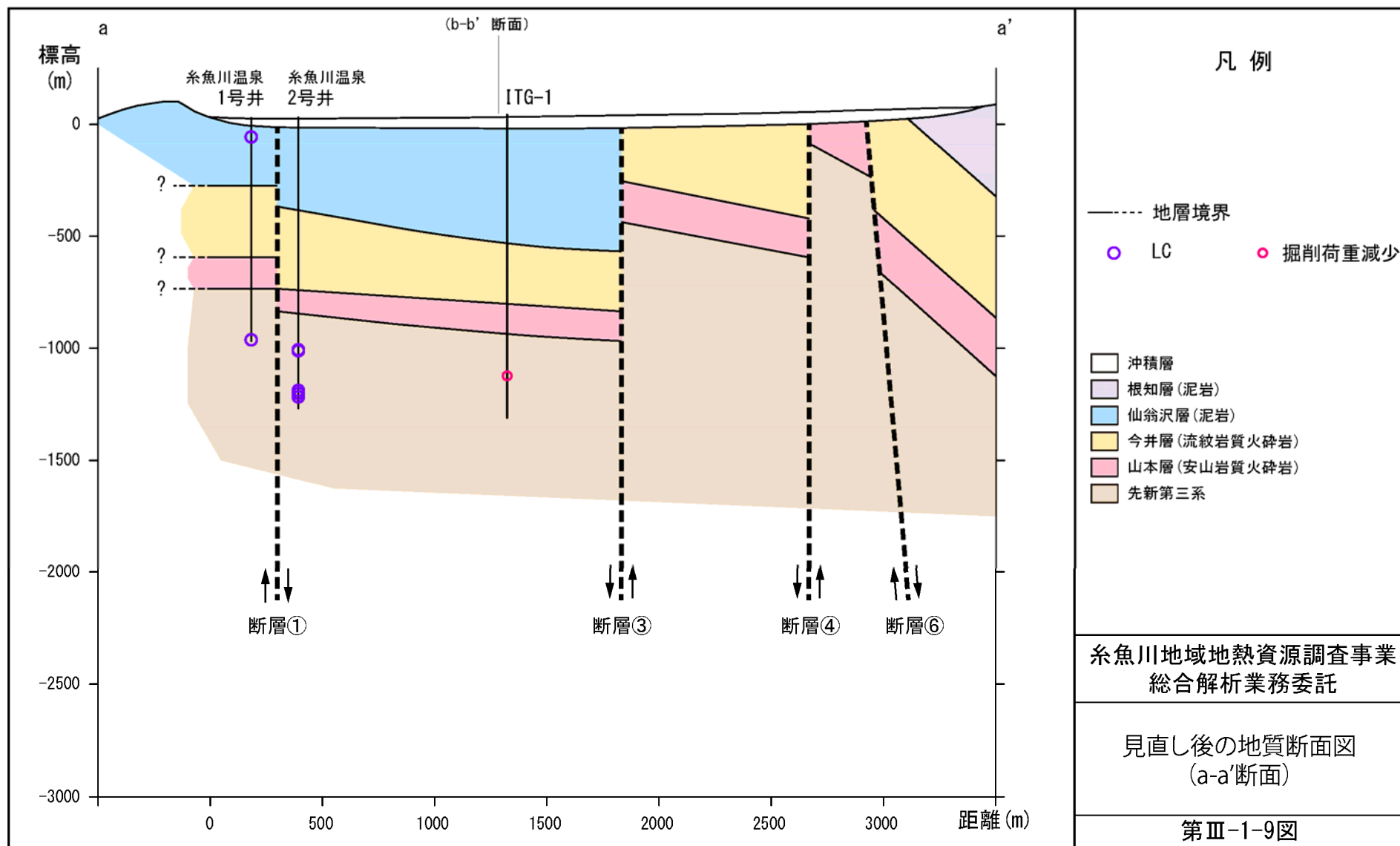


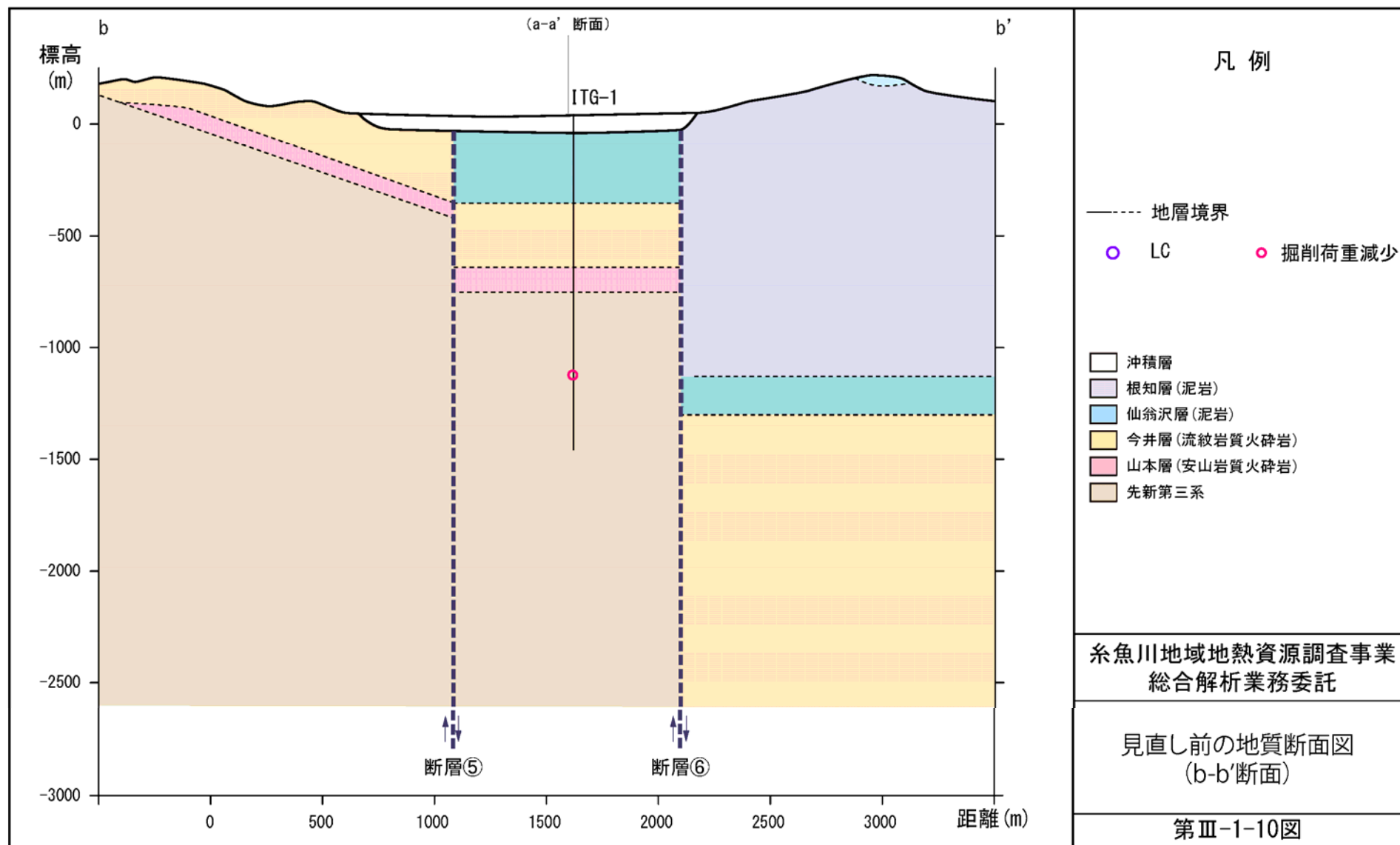
第Ⅲ-1-5 図 H27-ITG-1 静止中温度・圧力検層結果

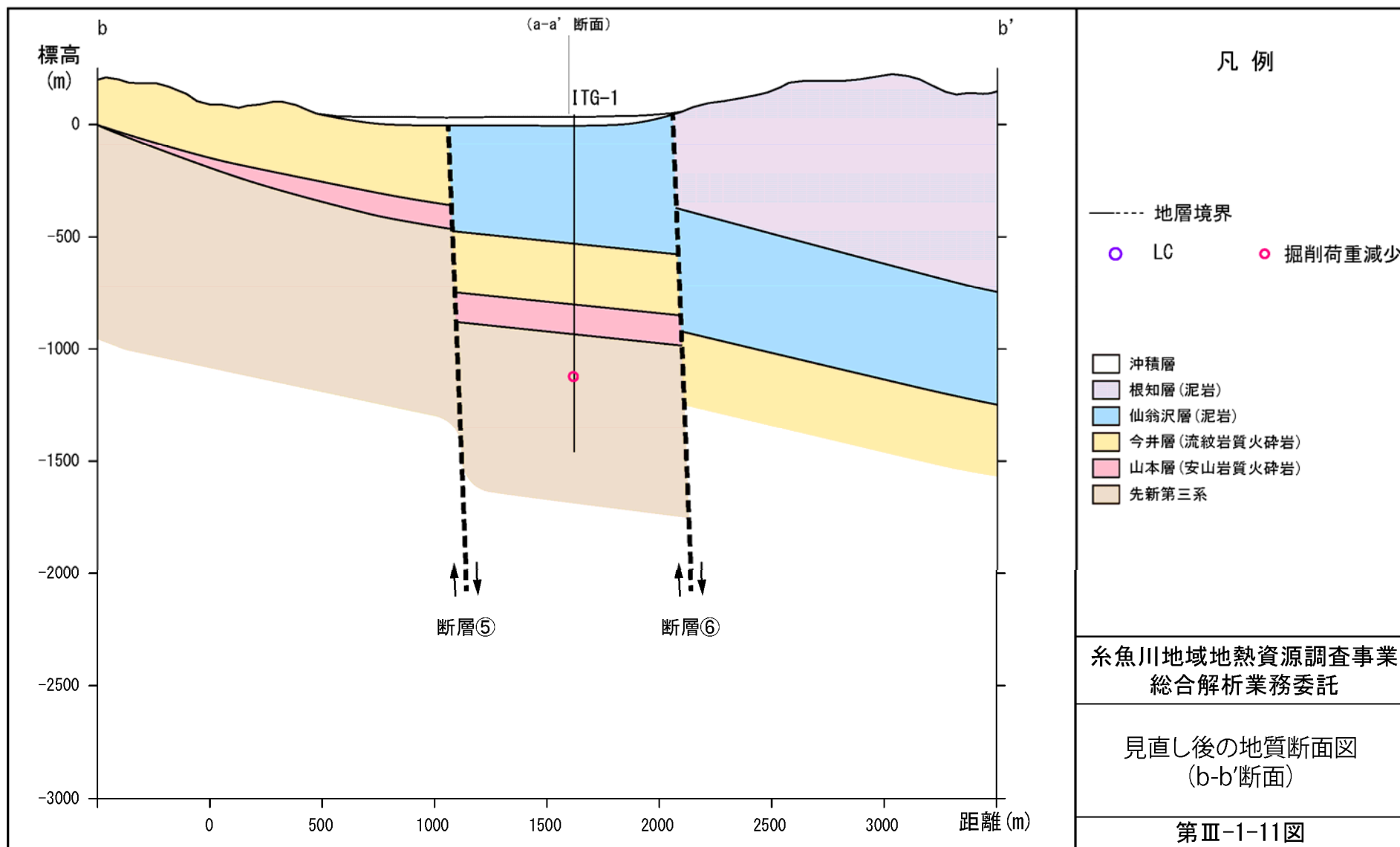












III - 2 地熱構造モデル更新

ここでは、構造試錐井調査で得られたデータを昨年度構築したデータベースに登録した。また、調査結果に加えて既存の各種情報を平面図や断面図上で比較し、地熱構造モデルを構築した。なお、本調査で使用しているデータベースシステムは地熱データベースシステム G★Base である。

1. データベース更新

昨年度の調査では、データベースに地形情報（地形の等高線や道路・河川）、既存の温泉井に関する情報、昨年度の電磁探査結果、及び重力探査結果が登録されている。本年度は ITG-1 掘削によって得られた、同坑井の坑跡や検層データなどを追加登録した。

総合評価では登録された複数のデータを同じ空間上に配置し、これを比較することで解析を進めたが、これにはデータベースシステム（G★Base）の描画機能を利用した。

2. 地熱構造モデル更新

(1) 地下温度の推定

既存井の温度検層による垂直温度分布（湯原・木島,1994：第Ⅲ-2-1 図）から、本地域では地温勾配の大きい熱伝導型（1号井：約 $8.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、2号井：約 $5.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）の温度プロファイルを示している。平成 26 年度はこのデータに基づいて温度推定を行った。その結果、糸魚川温泉 1 号井の温度プロファイルから、深度 1,300m で $130\sim 142^{\circ}\text{C}$ 、深度 1,500m で $145\sim 162^{\circ}\text{C}$ 、深度 2,000m で $180\sim 210^{\circ}\text{C}$ 、程度の温度が予測された（第Ⅲ-2-2 図）。また、2 号井では、平成 21 年度に実施された噴出試験（約 5 時間）において、坑口で $120^{\circ}\text{C} \cdot 60\text{t/h}$ の地熱流体の噴出（自噴）が確認されており、深部では地層温度が高いことが予測された。

第Ⅲ-2-2 図には ITG-1 の温度検層結果も併せて示したが、ITG-1 は熱伝導型の温度プロファイルを示しており、既存の糸魚川温泉 1 号井・2 号井と同様の温度構造が考えられる。掘削直後の温度プロファイルに着目すると、深度 780m 付近に温度変曲点があり、深度 1,150m 付近及び 1,320m 付近では温度勾配の変化が認められる。温度回復後の検層（S.T.747 時間）では深度 866m で降下不能となったが、この温度プロファイルから直線近似で深部の温度を推定すると、深度 1,300m 付近で 110°C 程度の温度が予測され

る。

一方、第Ⅲ-2-3 図の総合地質柱状図にも示したが、ITG-1 では得られたカッティングスから流体包有物温度の測定がおこなわれている。坑底付近(1,340m)の流体包有物最低均質化温度は 115℃で、温度プロファイルからの直線近似で推定される温度と整合的である。そこで、ITG-1 の深度 866m の回復温度を直線近似し、これを深度 2,000m まで外挿して温度を推定した（第Ⅲ-2-2 図）。

ここで、糸魚川温泉 1 号井の温度プロファイルを下方へ外挿した温度プロファイルの平均（第Ⅲ-2-2 図の黒点線）と、ITG-1 の回復温度及び深度 866m 以深の外挿温度を用いて地下の 3 次元温度分布図を作成した。なお、熱水対流域は断層⑤と⑥に挟まれた姫川流域のみと仮定し、断層⑤の西側及び断層⑥の東側は国内の平均的な地温勾配（3℃/100m）を仮定した（地表は 15℃と仮定）。第Ⅲ-2-4 図に標高-1,300m の推定地下温度分布を地質図と併せて示した。

(2) 電磁探査 (MT 法) 2 次元解析結果と ITG-1 の比較

平成 26 年度には本地域で電磁探査 (MT 法) が実施され、1 次元解析及び 2 次元解析が行われた。第Ⅲ-2-5 図に測点配置図と 2 次元解析断面位置を示す。ITG-1 は 2 次元解析の C 断面付近に掘削されているので、ここでは同断面の比抵抗分布と ITG-1 掘削で得られた各種情報を比較した。第Ⅲ-2-6 図に 2 次元解析で得られた C 断面の比抵抗分布図を示す。

第Ⅲ-2-3 図で示した総合地質柱状図では、比抵抗検層結果と二次元解析結果(C 断面)とを比較しているが、両者は整合的である。また、同図の ITG-1 の変質分帯を見ると、深度 50m～400m 付近にかけてスメクタイト帯が分布しているが、第Ⅲ-2-6 図でも ITG-1 付近では深度 300m～500m 付近にかけて最も比抵抗が低い様子が示されており、両者は整合的である。

3. 総合図の作成

総合図の作成では、平成 26 年度に実施された重力探査及び電磁探査 (MT 法) の結果、及び本年度見直しを行った地質平面図・断面図を比較し、地熱構造を解釈するための図面類を作成した。第Ⅲ-2-7 図に地質図と残差重力異常の比較を、第Ⅲ-2-8 図～第Ⅲ-2-11 図に残差重力異常と 2 次元解析で得られた比抵抗分布（標高 0m, -500m, -1,000m,

-2,000m)を比較した。また、第Ⅲ-2-12図～第Ⅲ-2-13図に地質図と2次元解析で得られた比抵抗分布(標高0m, -500m)の比較を、第Ⅲ-2-14図～第Ⅲ-2-17図に重力基盤分布と2次元解析で得られた比抵抗分布(標高0m, -500m, -1,000m, -2,000m)をそれぞれ比較した。

第Ⅲ-2-7図を見ると、姫川東側で第三紀層が、西側で第四紀層が分布しており、姫川の両岸に北北西-南南東方向に走向を持つ断層⑤⑥が走っている。断層⑤⑥は東落ちの断層で大きな落差を示しており、残差重力異常も断層⑤⑥に挟まれた領域で急傾斜部を示し東側に低重力異常域が分布する点で、地質構造と整合的である。第Ⅲ-2-9図では標高-500mの比抵抗分布と残差重力異常分布を示したが、姫川付近で見られる重力の急傾斜部には低比抵抗域(浅部低比抵抗域)が広がる様子が示されている。標高-1,000m, -2,000mと深くなるに従い、重力の急傾斜部は比抵抗が高くなる様子が示されている。また、本地域で自噴する温泉井である糸魚川温泉1号井・2号井及びITG-1は、重力の急傾斜部、かつ、浅部に低比抵抗の広がる領域に位置している。

第Ⅲ-2-13図では地質図と比抵抗分布を比較しているが、姫川の西側を走る断層⑤を境に東側で低比抵抗域、西側で高比抵抗域が広がっており、同断層と比抵抗分布との整合性は良い。

第Ⅲ-2-14図～第Ⅲ-2-17図では比抵抗分布と重力基盤分布を比較したが、重力基盤分布は南西から北東に向かって深くなる様子が示されている。一方、比抵抗分布では南西側で高比抵抗(比抵抗基盤)が浅部に分布し(第Ⅲ-2-14図)、標高-500m～-2,000mの比抵抗分布図を見ると低比抵抗域は北西で厚みを増す様子が示されている。つまり、高比抵抗の基盤が北西側で深くなっており、重力基盤分布の特徴と一致する。

第Ⅲ-2-18図にブーゲ異常の鉛直一次微分図、第Ⅲ-2-19図に重力構造図を示す。鉛直一次微分図では、値が0のコンターは重力異常の急傾斜部を示すとされ、重力構造線抽出の目安とされている。糸魚川1号井、2号井及びITG-1は重力構造線状に位置している。

第Ⅲ-2-20図～第Ⅲ-2-22図には糸魚川温泉1号井、2号井及び構造試錐井ITG-1を通る北西-南東方向の断面線a-a'の地質断面に比抵抗分布及び推定地下温度分布を投影した図面を、断面線b-b'として調査地域中心付近を通る南西-北東方向の地質断面に比抵抗分布及び推定地下温度分布を投影した図面を、c-c'断面として糸魚川温泉付近を南西-北東方向に切る比抵抗分布と重力基盤及び推定地下温度分布をそれぞれ比較した。