

## (2) 計算結果

図2-2-34～36に測線A, B, Cに沿う3次元解析断面を示す。各測線とも2次元解析結果とほぼ同様の比抵抗分布を示すが、2次元解析結果に比べ平滑化が進んだ比抵抗分布となっており、2次元解析で検出された比抵抗不連続帯は、同一方向の緩やかな比抵抗変化として解析されている。

解析周波数を50Hzまでとしたため、地表付近の変質に伴う低比抵抗域は再現されていないが、1kmより深い高比抵抗を示す花崗岩類の構造は捉えられており、2次元解析と同様、北側から南側に向けて花崗岩類の分布範囲が狭まる傾向が認められる。また、花崗岩類内部の比抵抗値も南側ほど低くなる。

図2-2-37～41に3次元解析比抵抗平面図を示す。解析に用いた測点の最高標高は測点A01の約4,600m、最低標高は測点C15の約4,320mで、標高差は約300mであるが、現在の3次元解析では地形効果を補正出来ていない。

平面図の地表下300-400m間では、測線Cと測線Aの中央部で小規模な低比抵抗域が認められる。地表下900-1,000m間では、地域西部に $100\Omega\cdot\text{m}$ 以上の高比抵抗域が見られるが、2次元解析結果と同様に、この高比抵抗層中にNW-SE方向の弱い比抵抗変化が認められる。この不連続域はこの区間のみ認められることから、規模の大きな構造とは言えない。地表下1,400mからは、高比抵抗域がNE-SW方向の伸びを示す比抵抗構造をもって東部の中比抵抗域と接している。この比抵抗構造は地表下2,000mからは消失している。

## 2-2-4 2002年2月時点での地熱系モデルとCJZK3001の掘削位置の検討

以下には、2002年2月時点での地熱系モデルの考え方と、それに基づく調査井(CJZK3001)の掘削位置の検討について述べる。

### (i) 地熱流体の流動が顕著な断層

羊八井北部地域にはNNE-SSW系、NE-SW系、及びNS～NNW-SSE系の3系統の断層が発達する。これらの断層の変位量、現在の噴気の有無、熱水変質度、変質鉱物帯、TL強度比、流体含有物のタイプに基づいて、断層に沿う地熱流体の流動の強さを評価すると、表2-2-16の通りとなる。

変質帯と変質鉱物帯の分布において、溶脱型珪化帯と明ばん石帯が最も高温生成の変質帯であるが、これは硫黄村北西付近からNNE-SSW方向に伸長する地域に広く分布する。この地域から周辺に向かって、より低温で生成する鉱物が累帯配列している。断層F6や西部の明ばん石帯は、変質度はやや低いことから変質中心とは言えないであろう。TL発光強度比の分布において、値が小さいことは地熱活動による高温に曝されたことを示すが、値の小さい地域は断層F2を中心として東側が断層F6付近まで、西側が断層F2から約550mの地域までであり、この地域の地熱活動が活発であることを示している。

以上のように、熱水流動が強い断層は断層F2(断層帯)であり、その北西(下盤)側が透水性が高いと推定される。

断層F2(断層帯)は、電磁探査の2次元解析で硫黄村付近に当地域の最も顕著なNNE-SSW性比抵抗不連続線として検出される(図2-2-42)。この不連続線は標

高 4200m (ほぼ地表) から標高 2500m まで確認され、北西側の高比抵抗域と南西側の低比抵抗域の境界となっている。また、重力調査によると、重力値は北西側から南東側に向って低くなるが、同じく硫黄村付近に NNE-SSW 方向の密度不連続線が分布している (図 2-2-43)。この密度不連続線も断層 F2 (断層帯) の存在を示すものと考えられる。

この他、変質帯及び変質鉱物帯の分布によると、当地域西部に明ばん石帯等の NW-SE 方向の分布が認めれる。この変質帯に変位量の大きい断層は確認されていないが、NW-SE 系の断層は地域内で最も頻度が高い断層系であること、電磁探査 2 次元解析で西部に 2 本の NW-SE 性の比抵抗不連続線 (R2 及び R3) が存在すること、及び重力調査でも西部に 3 本の NW-SE 性の密度不連続線 (G4, G5, G6) が存在することから、これらの強変質帯の地下に地熱流体が流動する断層が存在する可能性もある。また、断層 F6 に沿っては珪化帯及び明ばん石帯が分布することから、地熱流体の流動が存在する可能性がある。

表 2-2-16 地熱流体が流動する断層の評価

断層名	断層変位量	噴気の有無	熱水変質度	変質鉱物帯	TL 強度比	流体包有物のタイプ	断層評価
F1	2	2	1	2~3	1~3	2	2
F2	1	1	1	1	2	2	1
F3	3	1	1~2	2~3	-	-	2
F4	3	2	3	3	-	-	3
F5	3	1	1~3	2~3	2	1	2
F6	2	2	1~3	1~2	1	1~2	2
F7	3	2	2~3	1~3	1~3	1	2~3

#### 区分基準

断層変位量 1 : >200m, 2 : 50~200m, 3 : <50m

現在の噴気の有無 1 : 断層に沿って噴気が配列, 2 : 噴気なし

熱水変質度 1 : 珪化帯, 2 : 粘土化帯, 3 : 未変質帯~弱粘土化帯

変質鉱物帯 1 : 明ばん石帯, 2 : ディッカイト帯~カオリナイト B 帯, 3 : カオリナイト A 帯~スメクタイト帯

TL 強度比 1 : <50%, 2 : 50~100%, 3 : >100%

流体包有物のタイプ 1 : タイプ 1 + 2 のみ, 2 : タイプ 1 ~ 4 あり

断層評価 1 : 地熱流体の流動は大きい, 2 : 地熱流体の流動は中程度, 3 : 地熱流体の流動は小さいか乏しい

(ii) 熱源, 地下温度構造及び地熱流体の上昇域

羊八井地域の熱源は確定していないが、既存の電磁探査で深度 5 km に低比抵抗層が検出され、これは冷却中のマグマと推定されている。また、ZK4001 の 1850m 以深

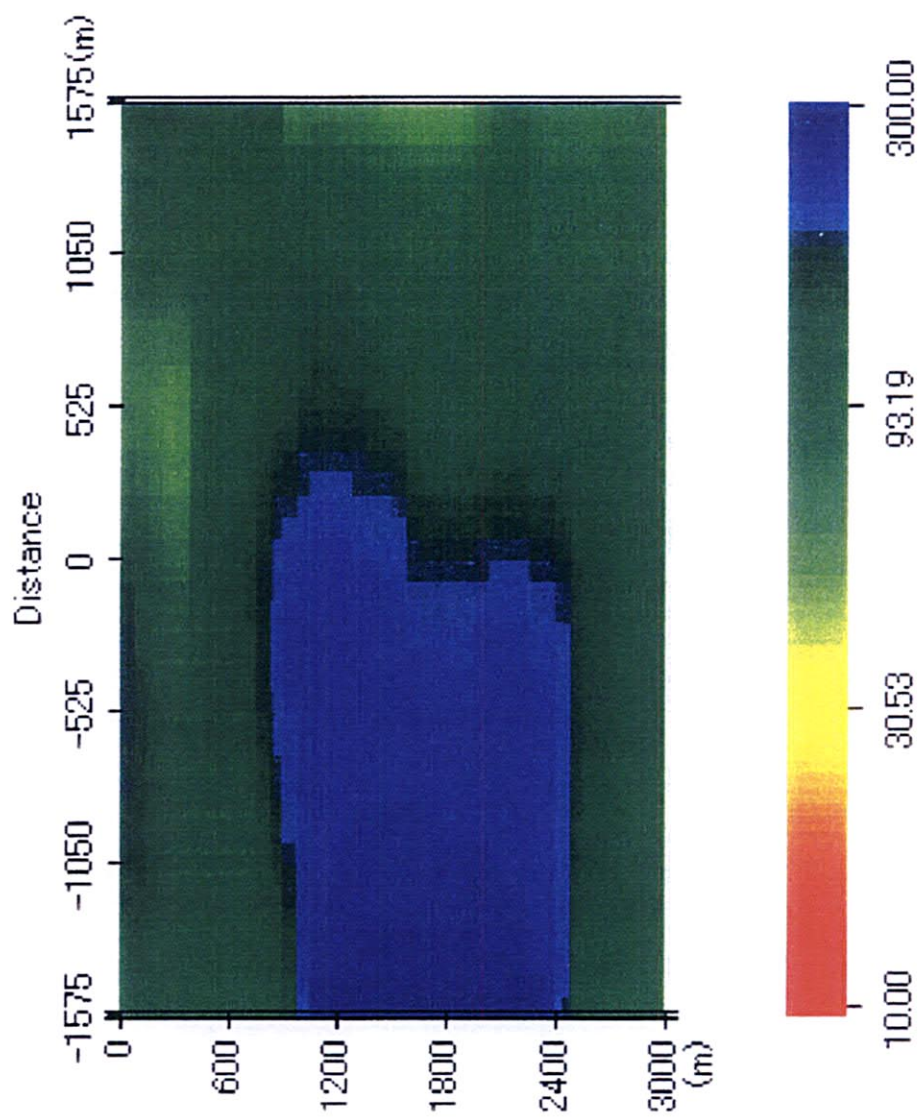


图2-2-34 3次元解析結果(測線A)

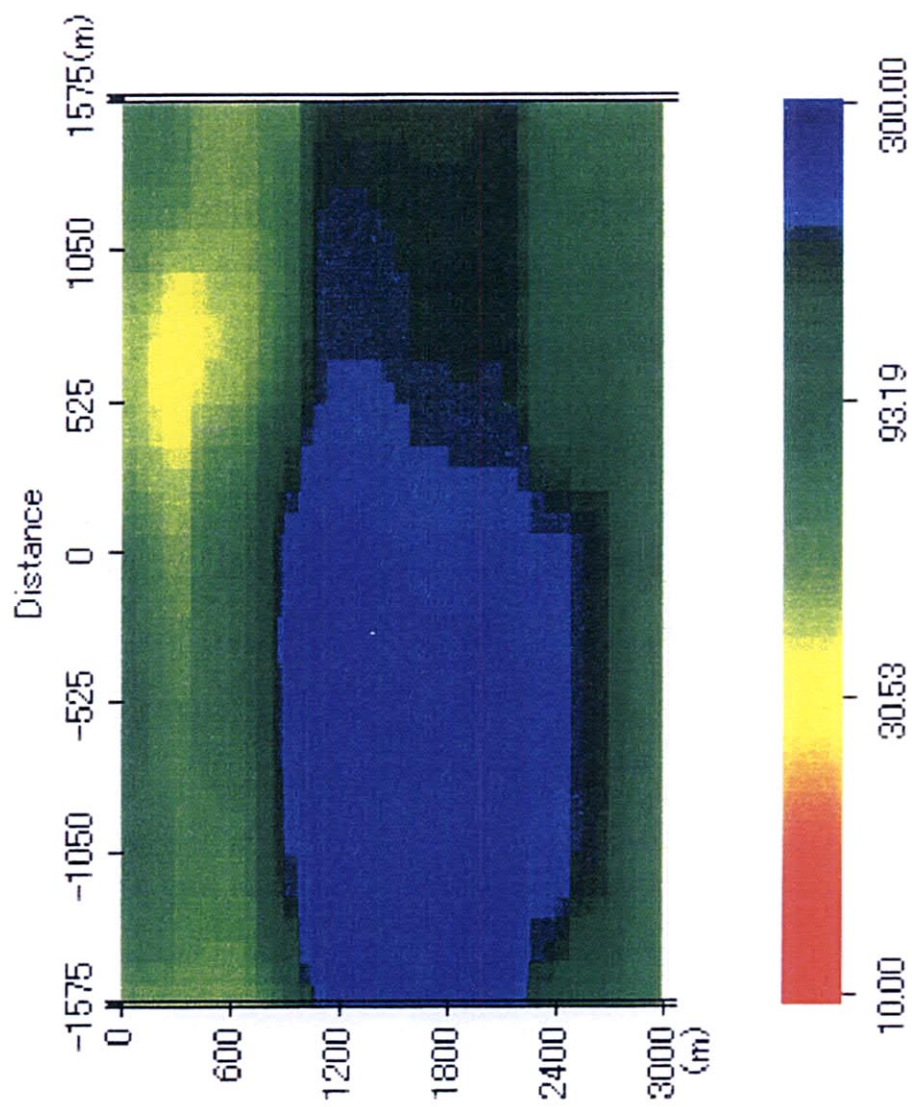


图2-2-35 3次元解析結果(測線B)

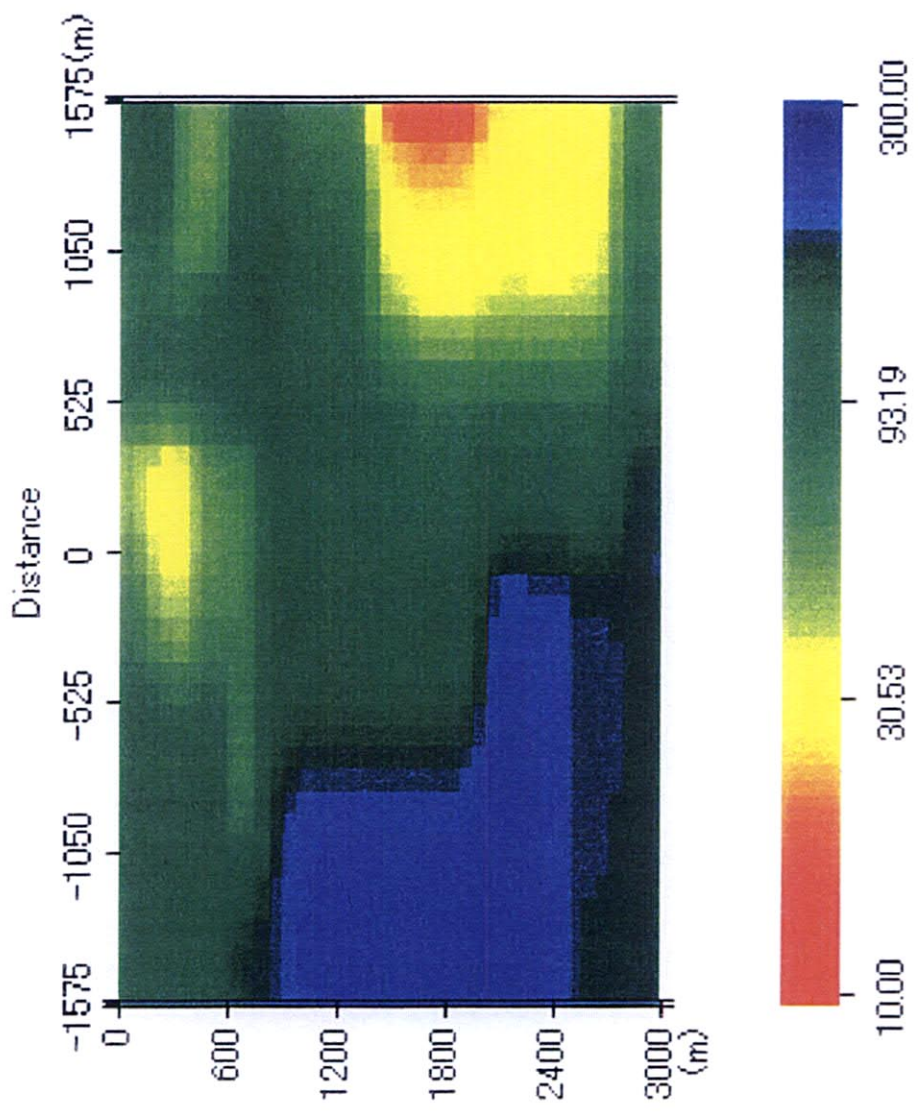


图2-2-36 3次元解析結果(測線C)

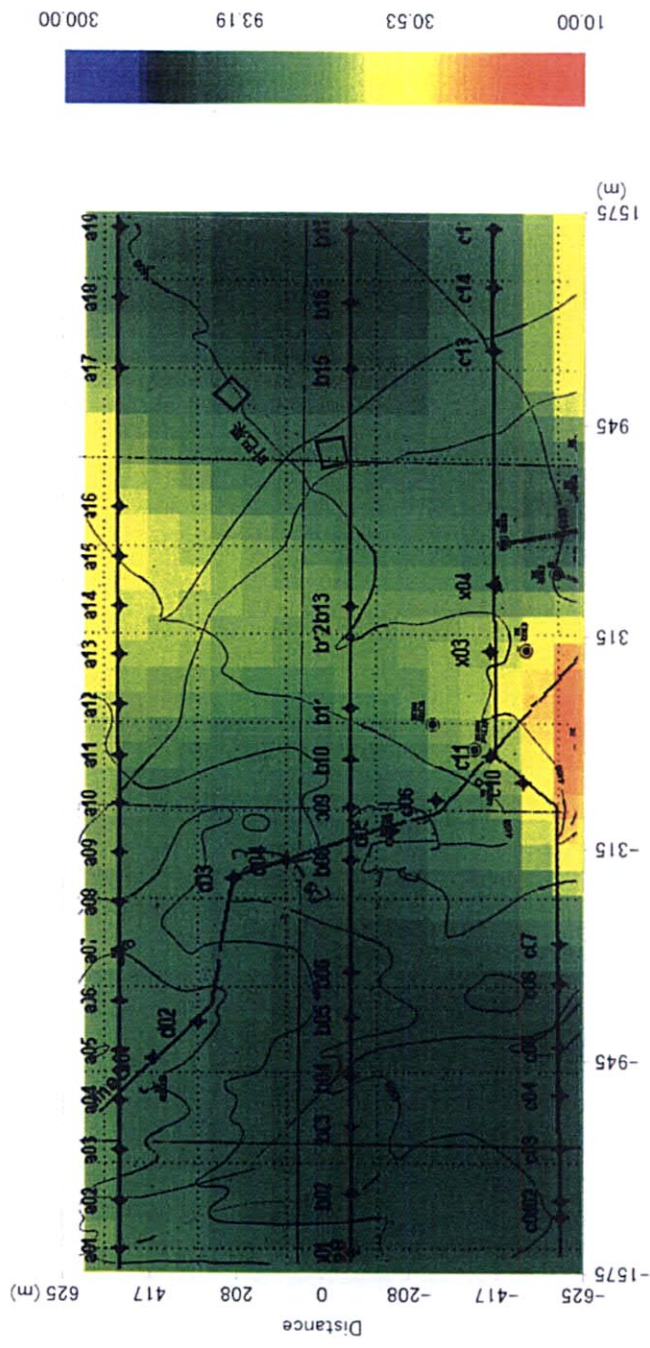


图 2-2-37 比抵抗平面图 (地表下 300-400m)

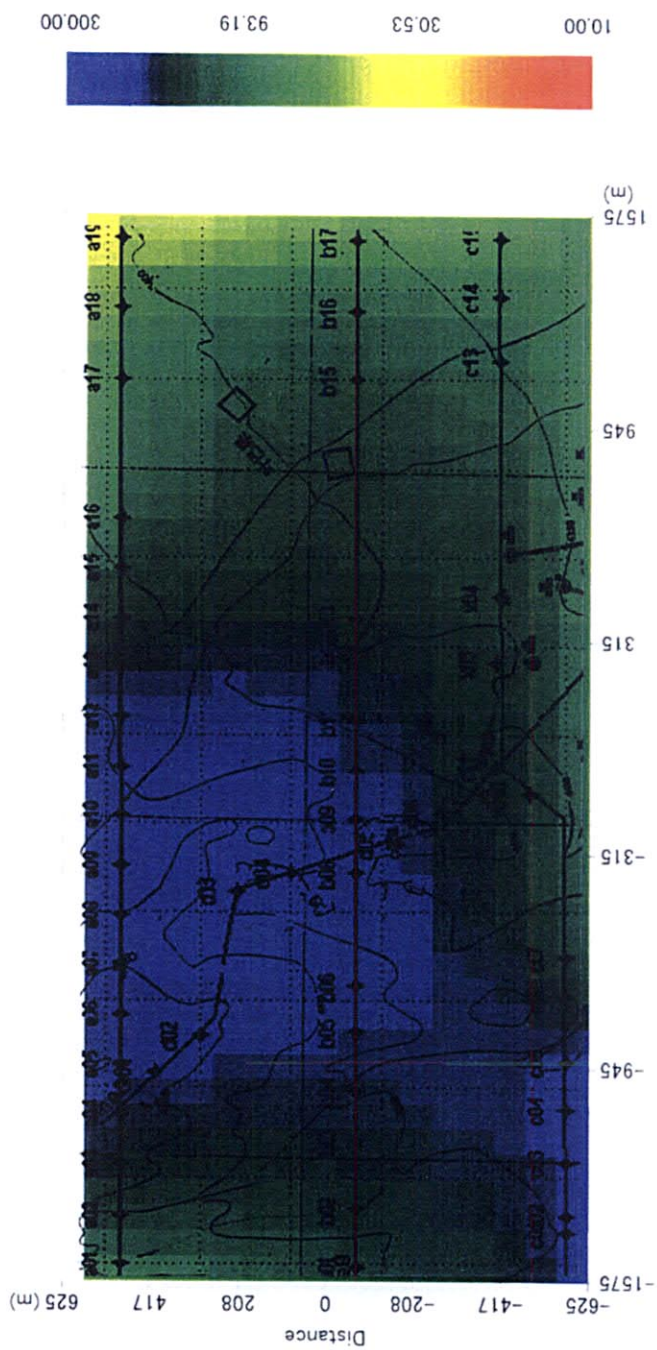


图 2-2-38 比抵抗平面图 (地表下 900m)

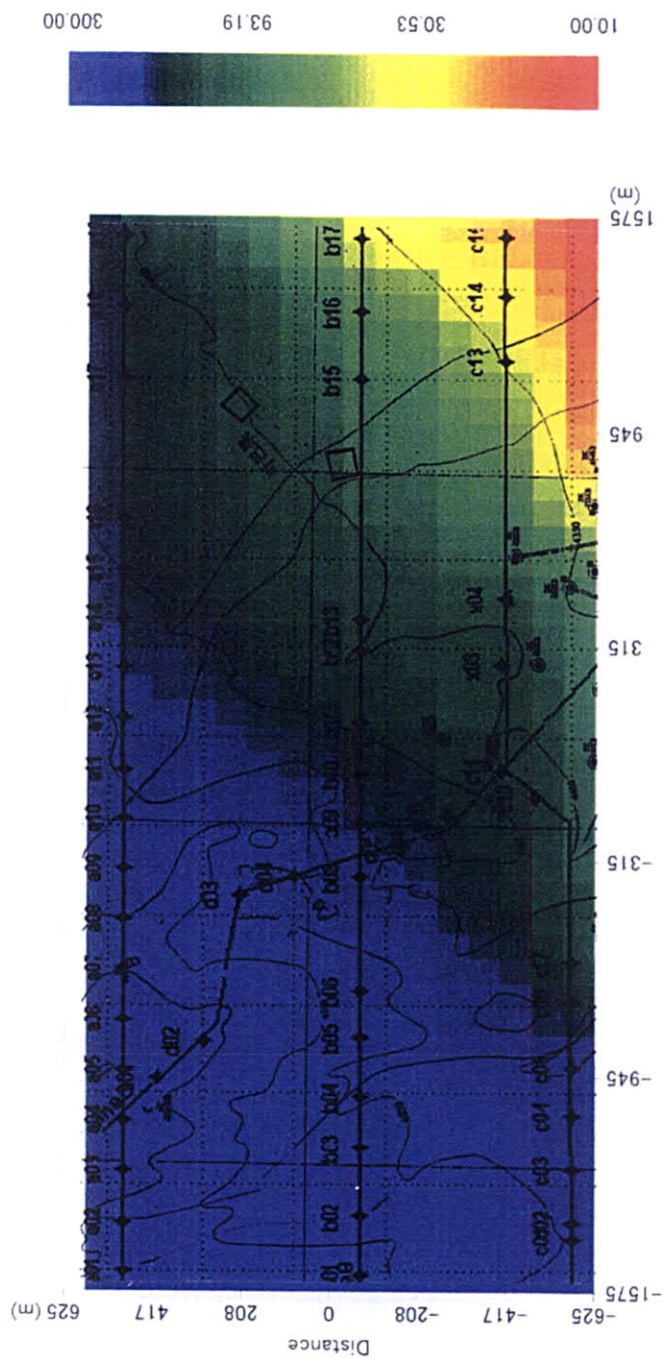


图 2-2-39 比抵抗平面图 (地表下 1,400—1,600m)



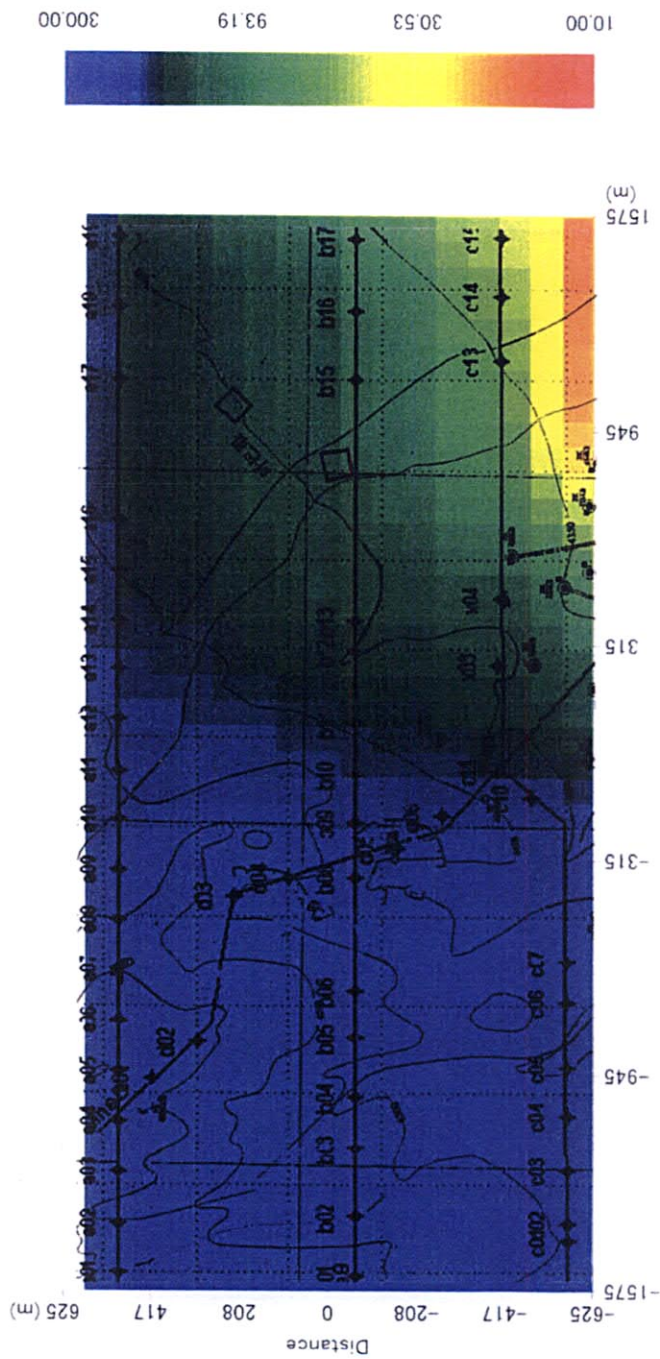


图 2-2-40 比抵抗平面图 (地表下 2,000-2,250m)

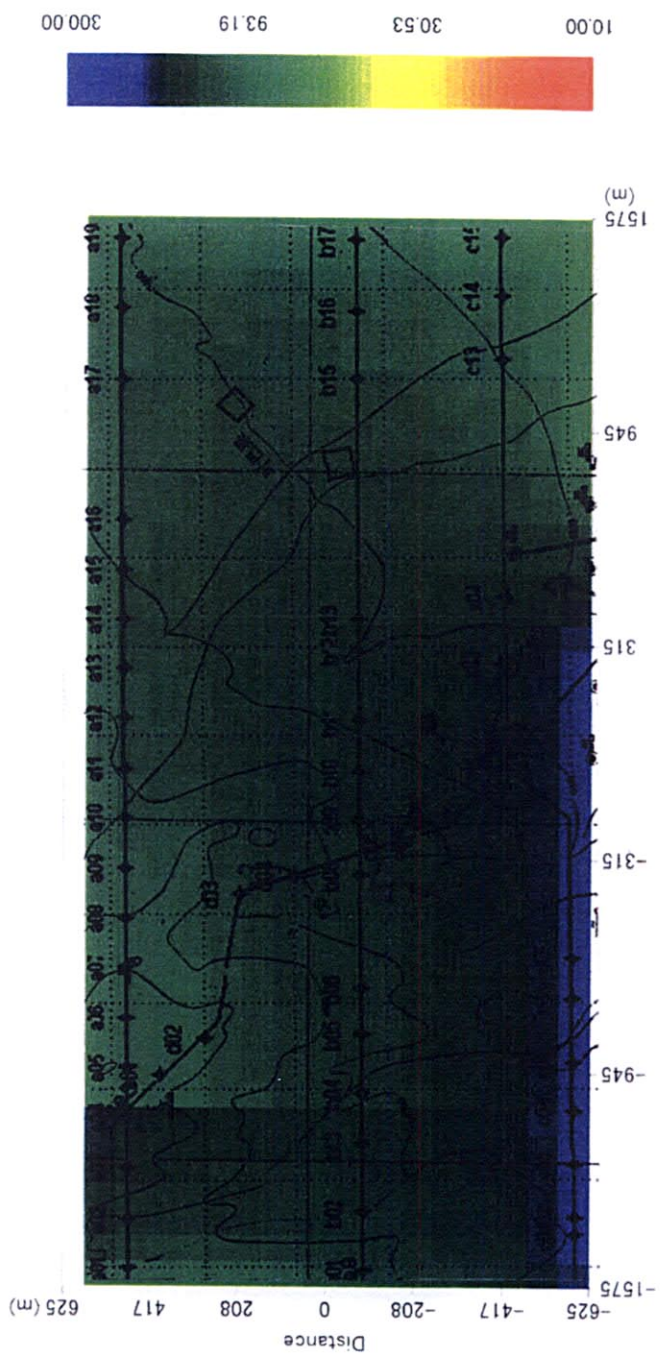


图 2-2-4 1 比抵抗平面图 (地表下 2, 500-2, 750m)

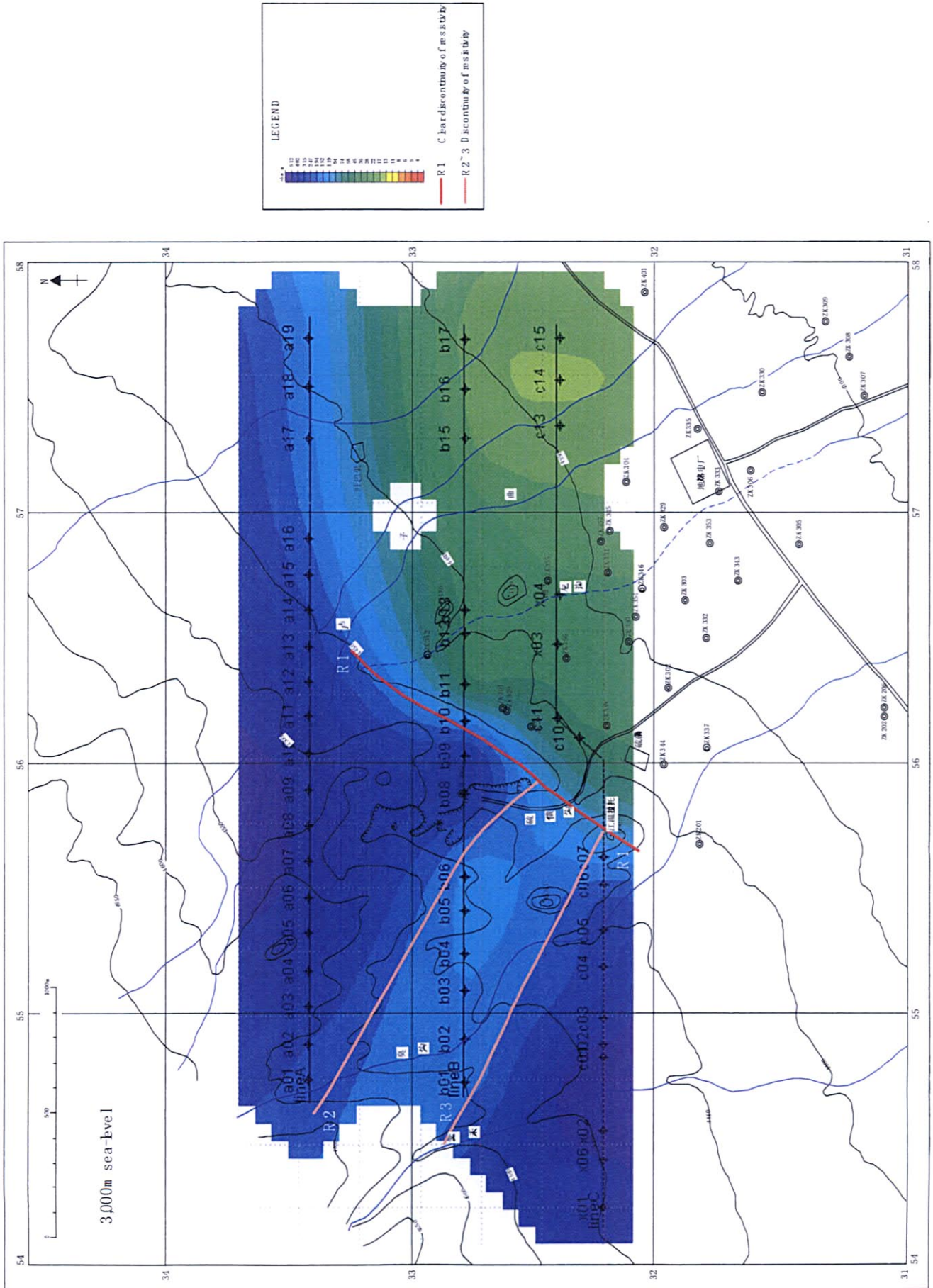


图 2-2-4-2 羊八井地熱地域の標高3,000mにおける比抵抗分布と比抵抗不連続線

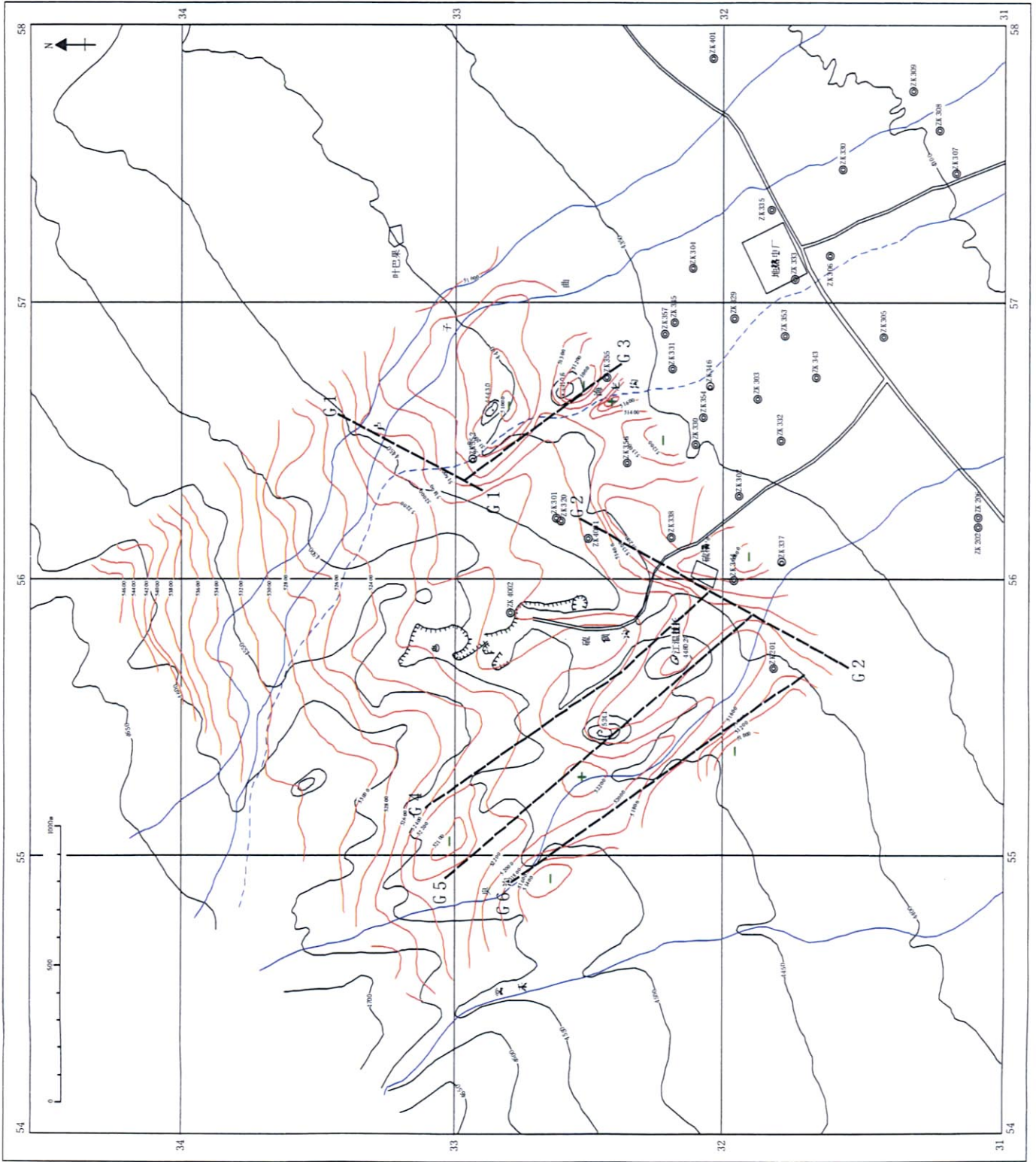


图2-2-43 羊八井地热区域, 布格重力异常图(西藏自治区地质队, 1993)

の温度勾配は  $150^{\circ}\text{C}/\text{km}$  を越え、深度  $4\sim 5\text{ km}$  では花崗岩の溶融温度の  $600^{\circ}\text{C}$  から  $700^{\circ}\text{C}$  に達し花崗岩マグマが存在する可能性がある (Dor and Zhao, 2000)。

中国側の地下温度分布図によると、標高  $4200\text{m}$ ,  $4000\text{m}$ ,  $3800\text{m}$  における羊八井北部地域の高温域は、標高によってほとんど変わらずに硫黄村北西地域から ZK4001, ZK320 にかけての NE-SW 方向に約  $1.5\text{km}$  程伸張する地域にある。高温の中心の温度は、標高  $3800\text{m}$  において  $250^{\circ}\text{C}$  以上である。したがって、熱水対流の上昇域はこの高温域であると考えられる。高温域から周辺地域に向かって地下温度は低下するが、南東方向には舌状に中温域が広がり、側方への地熱流体の流動を示している。

#### (iii) 地熱系モデル(2002年2月時点)

羊八井北部地域の調査総括図を図 2-2-44 に、地熱系モデルを図 2-2-45 にそれぞれ示す。

電磁探査によると、羊八井北部地域の地表から深度  $500\text{m}$  ないし  $800\text{m}$  までは低比抵抗を示す。これは第四紀礫層及び基盤の花崗岩類浅部が熱水変質して比抵抗値が減少した深度区間に相当し、浅部貯留層の分布を示していると考えられる。これ以深は比抵抗構造が大きく変化して全般に高比抵抗となり、比抵抗不連続線が検出されるようになる。これは深部貯留層の花崗岩類中の構造を反映していると考えられる。

前述のように、地質調査及び変質帯調査の結果、断層 F2 (断層帯) の南側地域が最も高温であり、花崗岩類中に発達する断層 (断層帯) に沿って地下深部から地熱流体が上昇し、花崗岩類の浅部と第四紀礫層中に発達する浅部貯留層に流入していると考えられる。これは浅部地熱流体が ZK4001 の地熱流体と地表水の混合で生成しているとの推定とも調和する。また、北部地域の地熱流体は地化学温度が高くガス濃度も高いことから、北部地域に深部の地熱流体の上昇があると推定される。

上昇した地熱流体の側方流動は、温度分布、 $^3\text{H}$ 濃度の分布からも推定される。側方流動は、花崗岩類浅部の断裂系と第四紀礫層中の空隙を通して生じていると考えられる。側方流動過程で塩素濃度の低下や $^3\text{H}$ 濃度の増加が起こっていないことから、浅部貯留層への地表水の差込みは少ないと見なされる。羊八井地域では浅部貯留層の開発に伴って貯留層圧力が低下して地表の地熱徴候が消失したが、それにもかかわらず地表水の差込みが少ないことは、浅部貯留層の周りに粘土鉱物や方解石の生成による流体流動の遮蔽帯 (自己シーリング帯) が存在するか (図 2-2-45)、地下浅層の地下水量が乏しい可能性もある。

以上から、熱水対流により高温の地熱流体が上昇する地域は、断層 F2 (断層帯) に沿う NNE-SSW ないし NE-SW 方向に伸長した地域であり、この地域が深部地熱開発上最も有望な地域であると結論される。

#### (iv) 調査井(CJZK3001)の掘削位置の検討

第2次現地調査と第1次国内作業の結果、高温の地熱流体の上昇域は断層 F2 (断層帯) に沿う NNE-SSW ないし NE-SW 方向に伸長した地域であり、この地域が深部地熱開発上最も有望な地域であると結論された (図 2-2-44~45)。

この結論に基づいて、新規調査井の掘削目標 (ターゲット) と掘削地点は次の通り考えられる。

#### ●掘削目標：

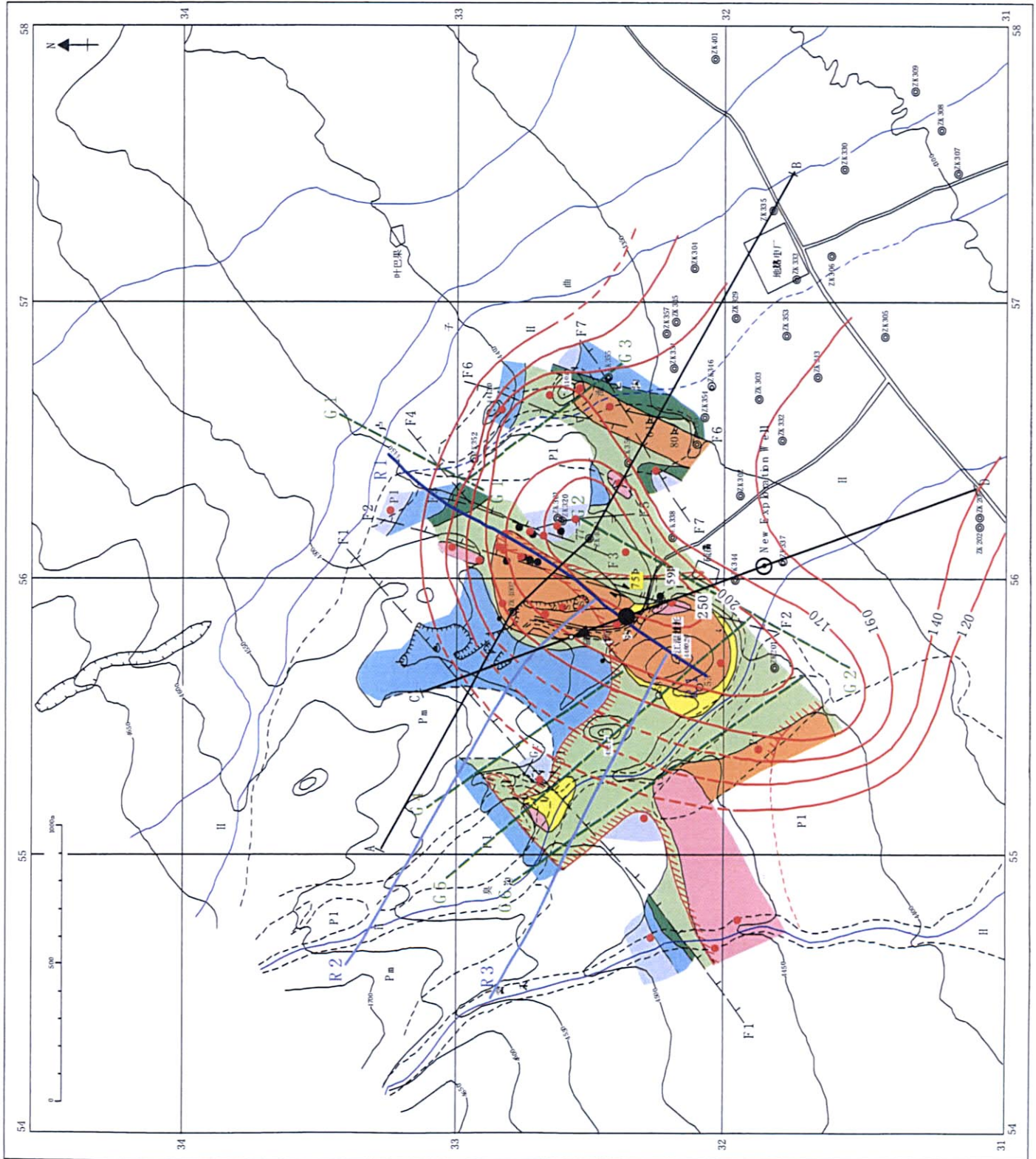


图 2-2-44 羊八井地熱地域調查總括图 (2002 年 2 月時点)

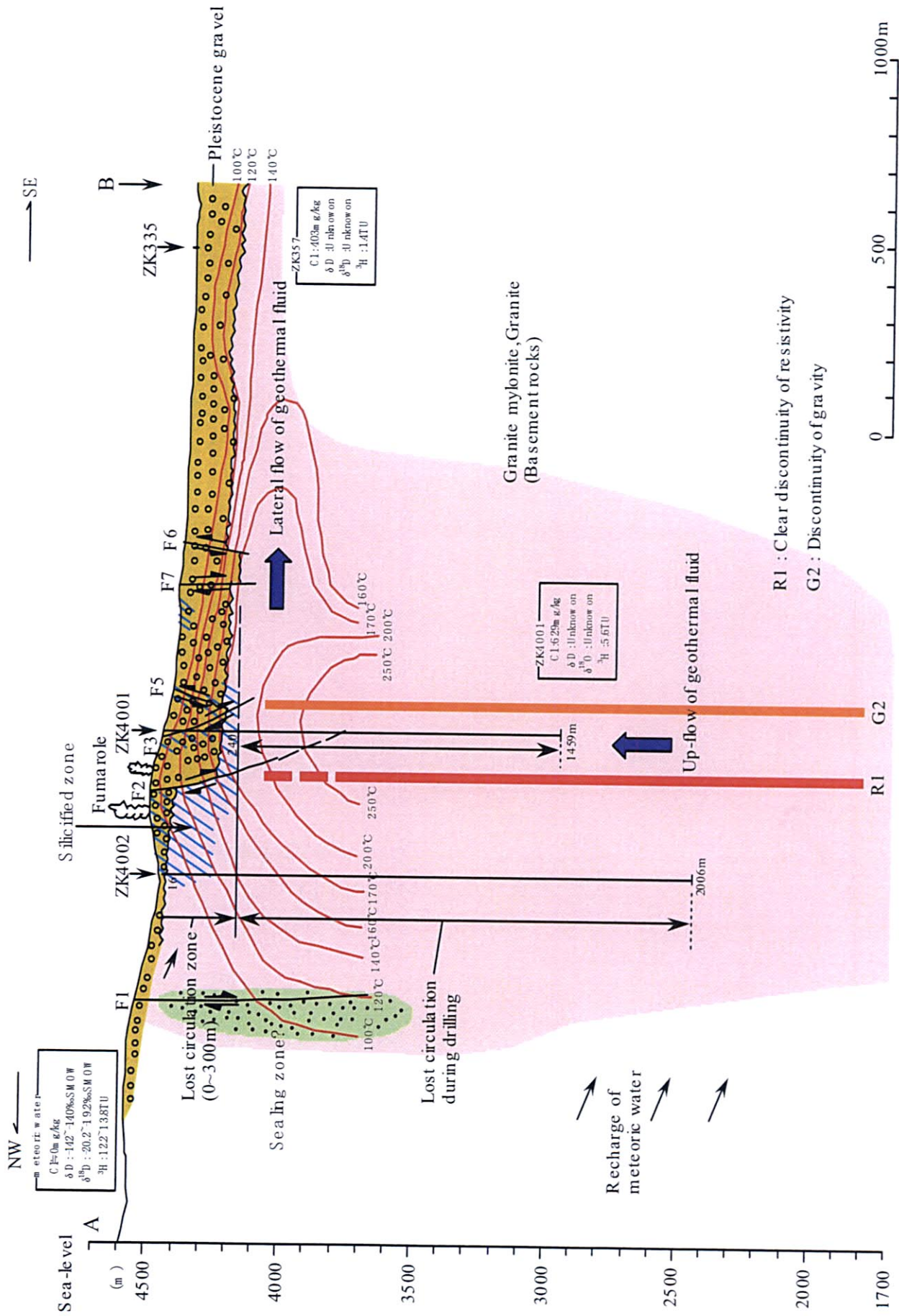


図 2-2-45 羊八井地熱地域の地熱系モデル (2002年2月時点)

- ① 標高 3,800m 以浅に知られる高温域で、NNE-SSW 性の断層 F 2（断層帯）とこれに相当すると見られる比抵抗不連続線並びに密度不連続線の深部に推定される深部地熱流体の上昇通路に到達するように掘削する。
- ② 断層 F 2（断層帯）は右横ずれを伴う正断層で南東方向に 70° ほど傾斜している。このため断層は深部で南東側にずれるので、断層の南東（上盤）側から掘削するのが有利である。

●坑口位置：

- ① 浅部貯留層を通過する際には多くの逸泥が発生すると予想される。掘削が短期間で確実に行えるように浅部貯留層の逸泥が小さい地点が望ましい。
- ② 傾斜掘りに使用するダウンホールモーターの耐熱上の理由から、キックオフ深度（KOP）の地下温度が低い地点が望ましい。

以上の基本的な考え方については、2001 年 12 月の第 3 次現地調査（前期）において、中国側と協議した結果合意が得られた。また、具体的なターゲットと坑口位置について、中国側から提出された既存坑井資料を検討し、現地において地形条件等も検討した。その結果、海竜溝の ZK352 の南方約 200m の地点(エリア A と呼ぶ)と硫黄村の南方約 200m の地点(エリア B と呼ぶ)が上記の坑口位置の条件を満たしかつ掘削目標とする有望ゾーンに到達できる坑口位置の候補として抽出された。

これらのエリアを比較検討した結果は次のとおりである。

	エリア A	エリア B
浅部の逸泥	ZK352 では少なかった。	ZK344, ZK537, ZK201 では少なかった
浅部の温度	200m 深で 170℃ 以下	200m 深で 170℃ 以下
有望ゾーンとの関係	有望ゾーンへ到達するには西方に掘削する。西方への掘削は有望ゾーンの方角と平行に近く、断層に当たりにくい。	有望ゾーンへ到達するには北～北西へ掘削する。有望ゾーンの方角と垂直に近く断層に当たりやすい。
探査範囲	既存深部井の ZK4001, ZK4002 に近く、探査範囲は広がらない。	既存深部井の ZK4001, ZK4002 から遠く、探査範囲が広がる。

これらの比較検討の結果、エリア B のほうが有望ゾーンとの方位的位置関係から優れていることから、硫黄村南方 200～300m で浅部が比較的低温かつ逸泥が少ない地区を坑口位置とすることで中国側と協議の結果、決定した。

その後、さらに日本側で検討して得られた坑口位置、ターゲット位置、坑井仕様の詳細は次のとおりである。

① 坑口位置

羊八井北部地区地形図における座標値

東経 56,050m、北緯 31,850m



- ② ターゲット位置      坑口位置基準  
方位：MN20W（磁北基準）  
偏距：564m（垂直深度 1,904m にて）  
方位の許容範囲：±20°
- ③ 坑井仕様              KOP：180m  
最終傾斜角：20°

図 2 - 2 - 4 6 に新規調査井の予想断面図を示す。

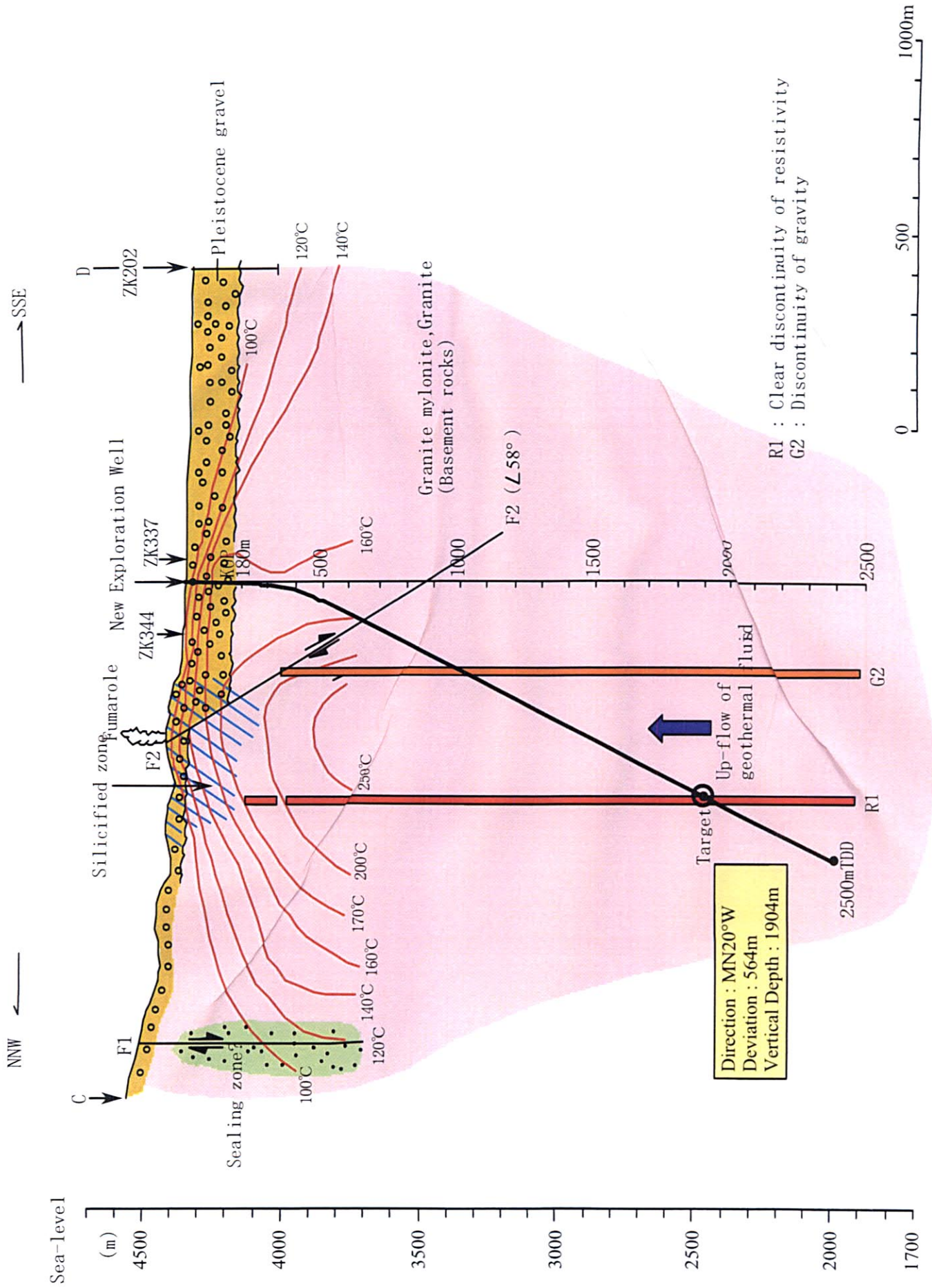


図2-2-46 新規観測井の予想断面図 (2002年2月時点)