

第3章 検討業務

3-1 調査・解析業務

3-1-1 熱源解析

廃棄物層の温度分布は、廃棄物層内部の熱が、伝熱・対流・放射等の複合現象により、観測時点の平衡状態を示しているものである。そのため、温度分布の状況は時間経過につれて変化するものであるが、今回の温度調査では、計測に2～3日をかけて温度分布を記録した。

熱移動の様子は複合現象として考慮する必要があり、部分的な温度観測から廃棄物層内の温度分布を推定することは非常に困難である。しかし、複合的な要因の中から、最も大きな影響因子である伝熱現象を解析手法として用いて廃棄物層内部の温度分布を推定することとする。伝熱の解析は、調査時の温度測定結果を再現できるような伝熱解析モデルを試行錯誤により作成し、測定結果に合致する、廃棄物層内の高温部(熱源)の概略位置を推定した。以下に温度調査結果と伝熱解析の概要について示す。

①温度調査結果

b-31、b-40 以外の調査孔における孔内温度は、混合物主体層の嫌気性発酵熱による温度を示していると考えられる。一方、b-31、b-40 の孔内温度は、高温発酵で到達する温度を超えており、発熱現象以外に高温を示す要因があるものと考えられる。特に b-31 の孔内温度は著しく高く、廃棄物層内の燃焼によるものと考えられる。

A 調査概要

- ・浅層温度調査 10m間隔グリッド 302 箇所
- ・孔内温度調査 既設ボーリング 13 箇所
- ・1m 地温 混合物主体層、土砂層、基盤岩層において観測

B 調査結果

- ・浅層温度調査 最低位 21.5℃ 最高 57℃ 平均 28℃
- ・孔内温度調査 最低位 25.3℃ 最高 564℃(b-31) 平均 56℃

②伝熱解析概要と解析方法

熱源特定のための伝熱解析は、図 3-3-1 に示すフローに従って実施した。

A 解析の概要

- ・解析ソフト G-HEAT 2D
- ・解析方法 二次元 定常解析
- ・解析モデル 30m間隔グリッド 横断方向 6 測線
節点間隔 2.5m
定数設定 表 3-3-1 に示す一般値の範囲から設定

B 解析方法

- ・Bor31-40 間の断面を試行解析して解析条件を決定
- ・試行解析と同条件をもって他の横断 6 測線を解析
- ・解析結果を座標データに変換して温度分布をコンタリング、縦断方向の温度コンタリングも併せて行った。

以下に試行解析モデルの解析結果を示す。

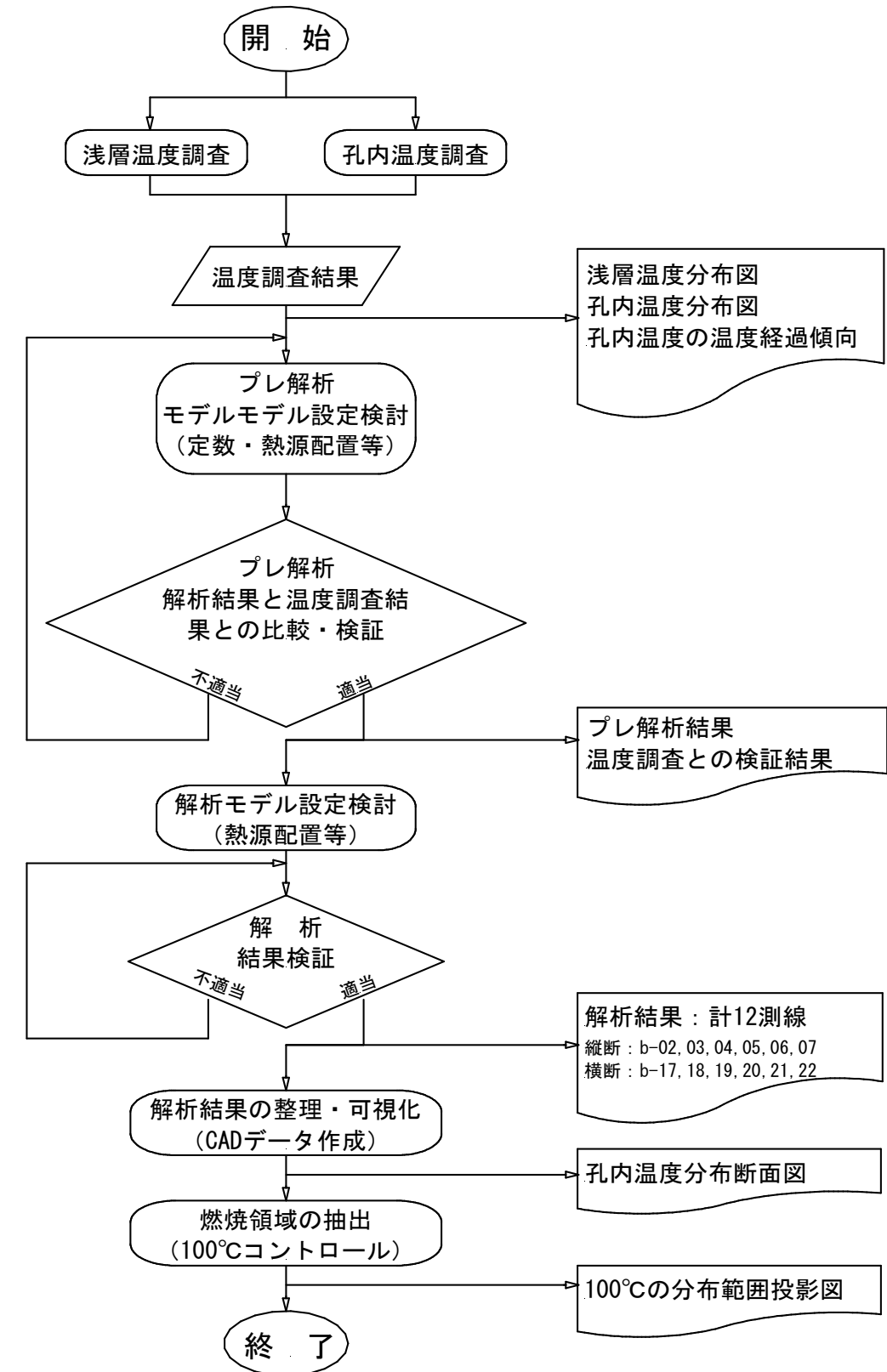


図 3-3-1 伝熱解析の順序

③ 試行解析によるモデル設定
 試行解析は、以下の順序でおこなった。

- A 解析モデルの設定
- B 熱源仮定(位置・温度)
- C 解析および温度調査結果との検証

④ 解析断面モデル

孔内温度調査結果より、高温を確認したb-31およびb-40を結ぶ断面を解析モデルとした(図 3-3-2 参照)。解析モデルには、既往調査ボーリング B-01 と浅層温度調査結果を盛り込んだ。

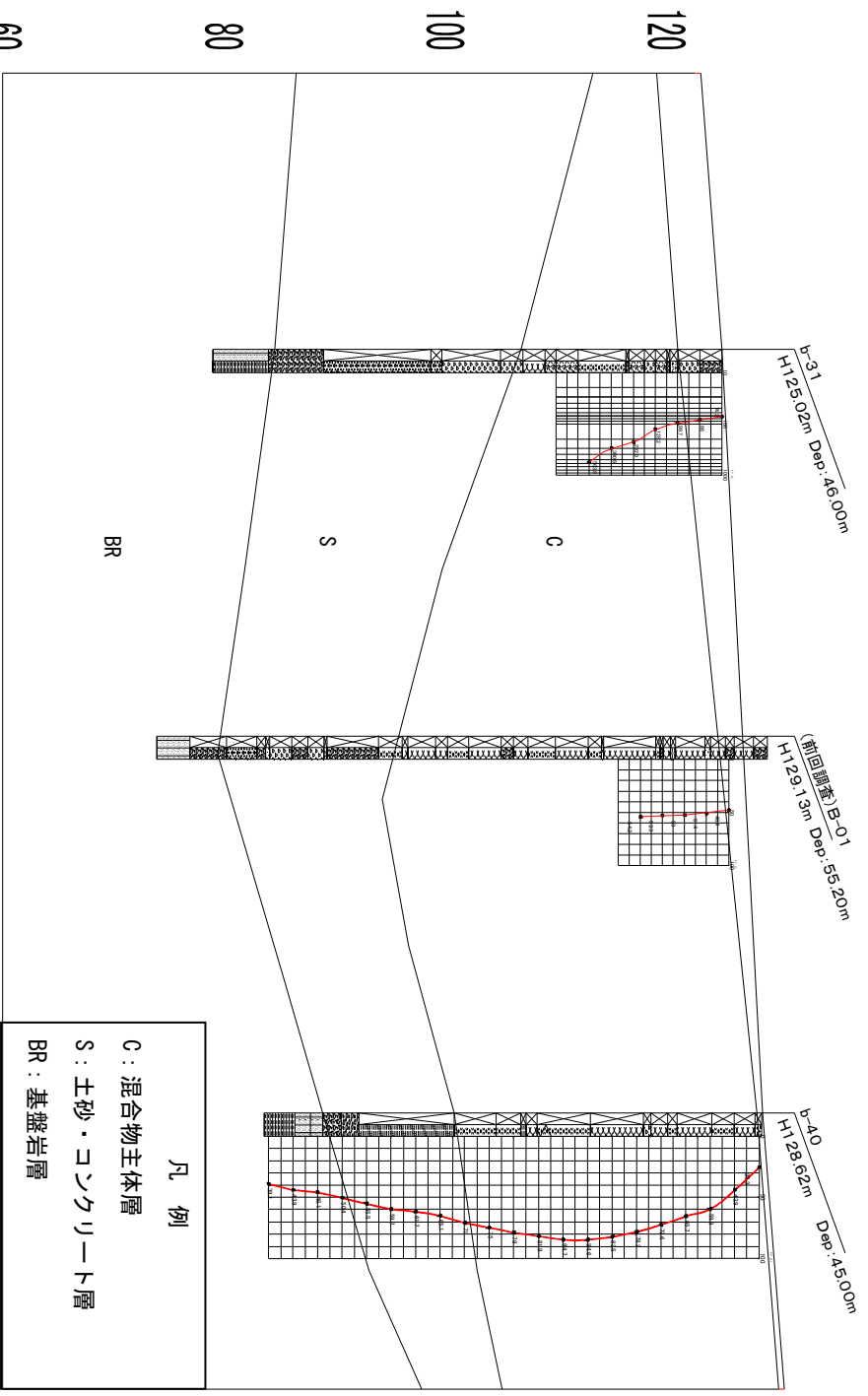


図 3-3-2 試行解析モデル断面図

⑤定数

解析に用いる各定数は、表3-3-1に示す値を用いた。各定数は、一般文献・参考論文等を参照し、一般値を逸脱しない範囲を目安として設定した。

表 3-3-1 定数 (赤枠・太字：採用値)

物質	区分	密度 (kg/m ³)	熱伝達率 (W / m ² ・°C)	比熱 (J / kg・°C)	熱伝達率 (W / m ² ・°C)	地温勾配	1m深 平均温度(°C)
C	木材(乾)	⑥ 1410	① 0.14~0.18	① 1250	—	⑦3.33	⑦32.5
	紙		① 1.50	① 1170~1340			
廃棄物(不飽和)	コンクリート	② 1650	② 0.57	② 840	② 16 10 25)	② 1.70	② 20.8
	砂		—	① 840			
	粘土		① 0.30	① 800			
	火山砂		⑤ 0.84	—			
	土壌(乾)		⑤ 0.46	—			
S	玄武岩	⑥ 1730	① 0.14	① 840~1000 ④1050(500°C)	—	⑦4.08	⑦22.5
	花崗岩		—	① 800~840 ④ 800~840			
	砂岩		③ 1.76 3.72	—			
岩盤(不飽和)	② 1900	② 2.20	② 1400	② 16 10 25)	② 6.82	② 16.6	

出典： ①：理科年表 ②安定型処分場の熱能回収に関する研究 ③岩の工学的性質と設計・施工への応用 ④：応用岩石学辞典 ⑤図解土質・基礎用語集 ⑥横河鉄工研調査結果 ⑦温度調査結果

試行解析モデルの熱源と初期温度の分布は以下のパターンを設定した。

- 熱源温度：300°C~600°C
- 熱源位置：b-31 とb-40 の間
- 熱源規模：5m、10m、20m程度の範囲
- 熱源箇所：1 箇所、2 箇所
- 初期温度：A：浅層温度調査および孔内温度調査の結果
B：初期温度条件 Aに S 層と BR 層の境界面の初期温度を設定

⑥ 試行解析結果

試行解析結果の要点を表 3-3-2 に示す。試行解析モデルの各パターンを図 3-3-3～12 に示す。

表 3-3-2 試行解析結果の要点

ケース	熱源の仮定			初期温度の設定				解析結果の検証※			
	箇所数	温度(°C)		浅層温度	孔内温度	S層境界	BR層境界	浅層温度	b-31	b-01	b-40
1-	1	600	—	有	有	無	無	ov	lev	ov	ov
	2					有	有	ov	lev	ov	ov
	3					有	有	ov	lev	ov	un
2-	1	600	600	有	無	無	無	ov-lev	ov-lev	un-ov	ov
	2	600	400			ov-lev	un-lev	un-ov	ov		
	3	500	300			ov-lev	un-lev	un-ov	ov		
	4	600	100			ov-un	un-lev	un-ov	lev		
3-	1	600	100	60	有	有	ov-lev	un-lev	un-ov	lev	

※ ov: 全般的に高い lev: 同程度 un: 全般的に低い

試行解析では、様々な想定を行ったが、熱源を 3 箇所配置するモデルが、現地温度調査結果と最も調和する傾向となった。試行解析結果から混合物主体層に伏在する熱源状況は、以下の状況が想定された。

- 600°C程度以上の熱源の大きさは、小規模(1000m³以下)であると考えられる(それ以上の大きさでは解析結果が調査結果と大きく異なる)。
- 熱源位置は、b-31 の直下ではなく b-40 の方向へずれた位置にある。

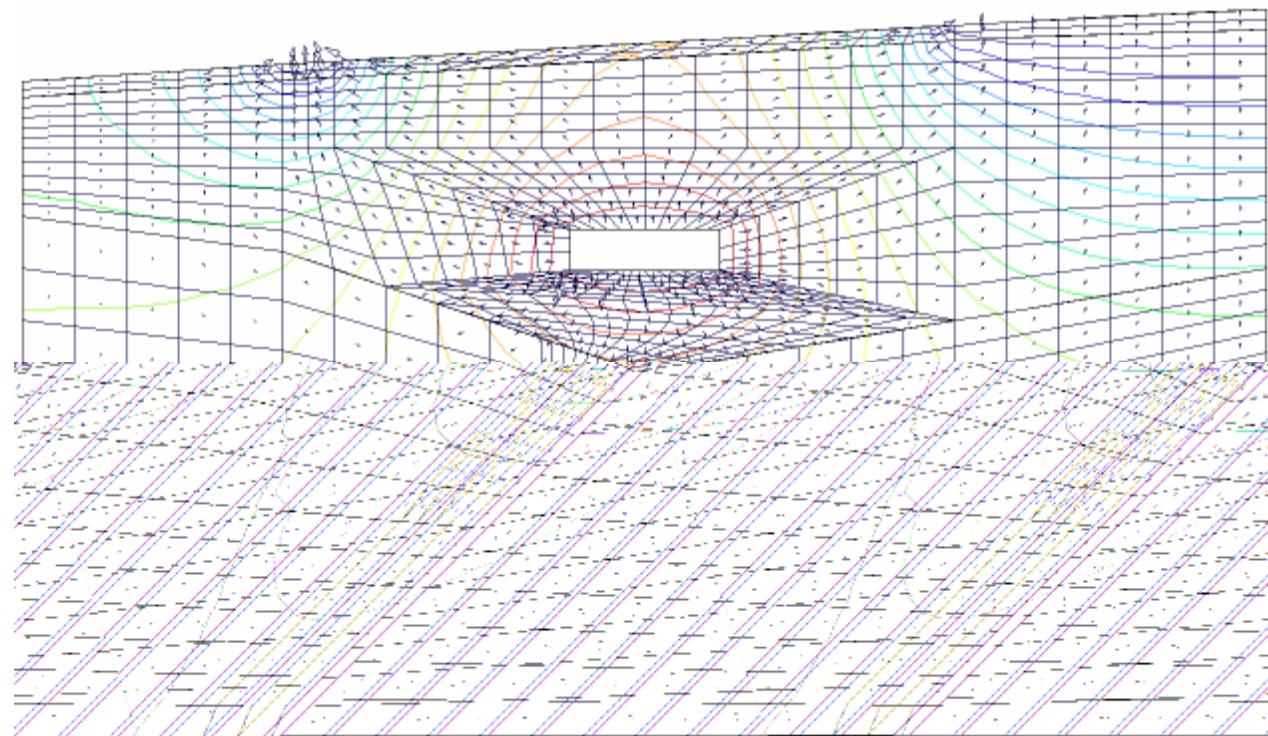
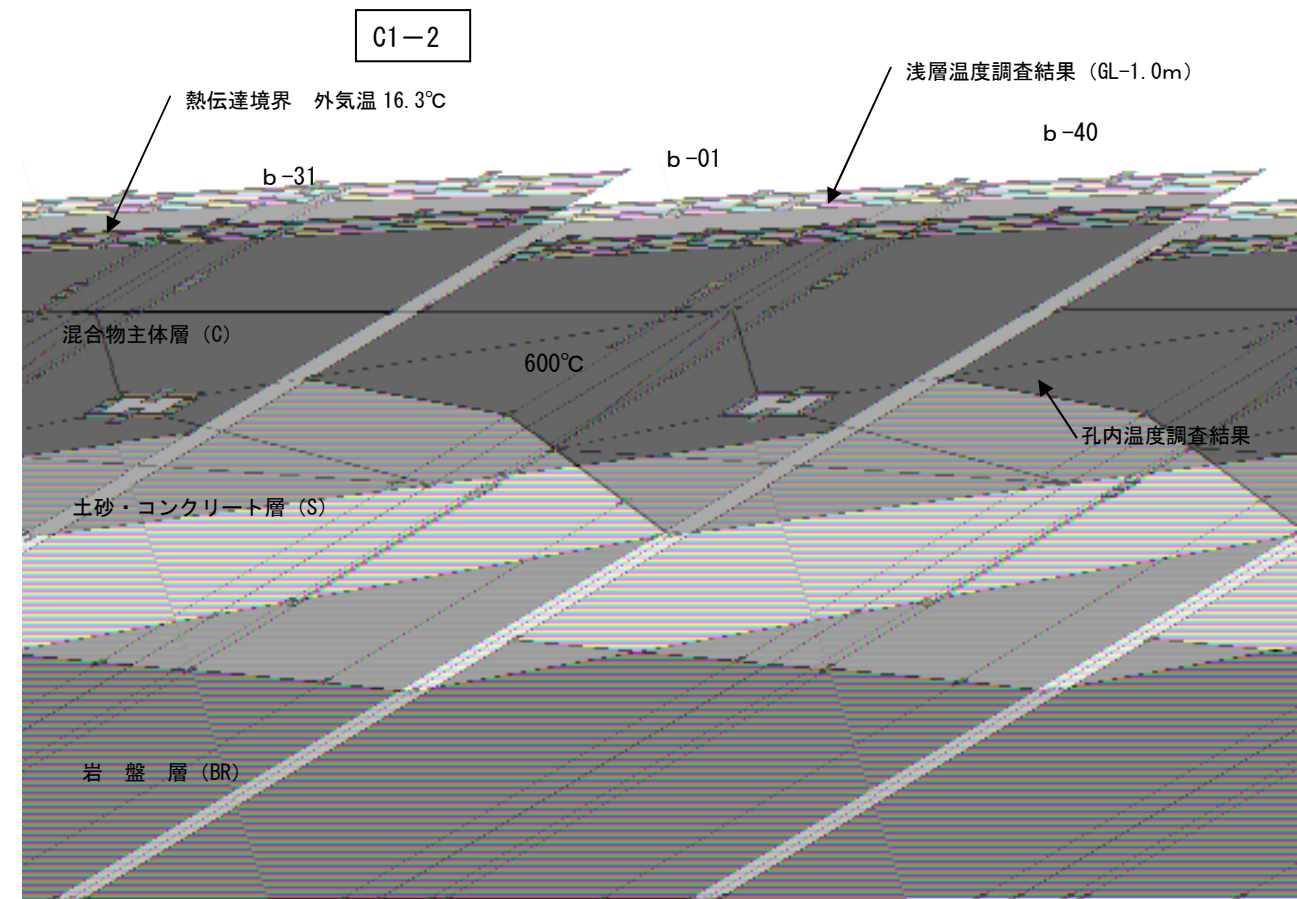
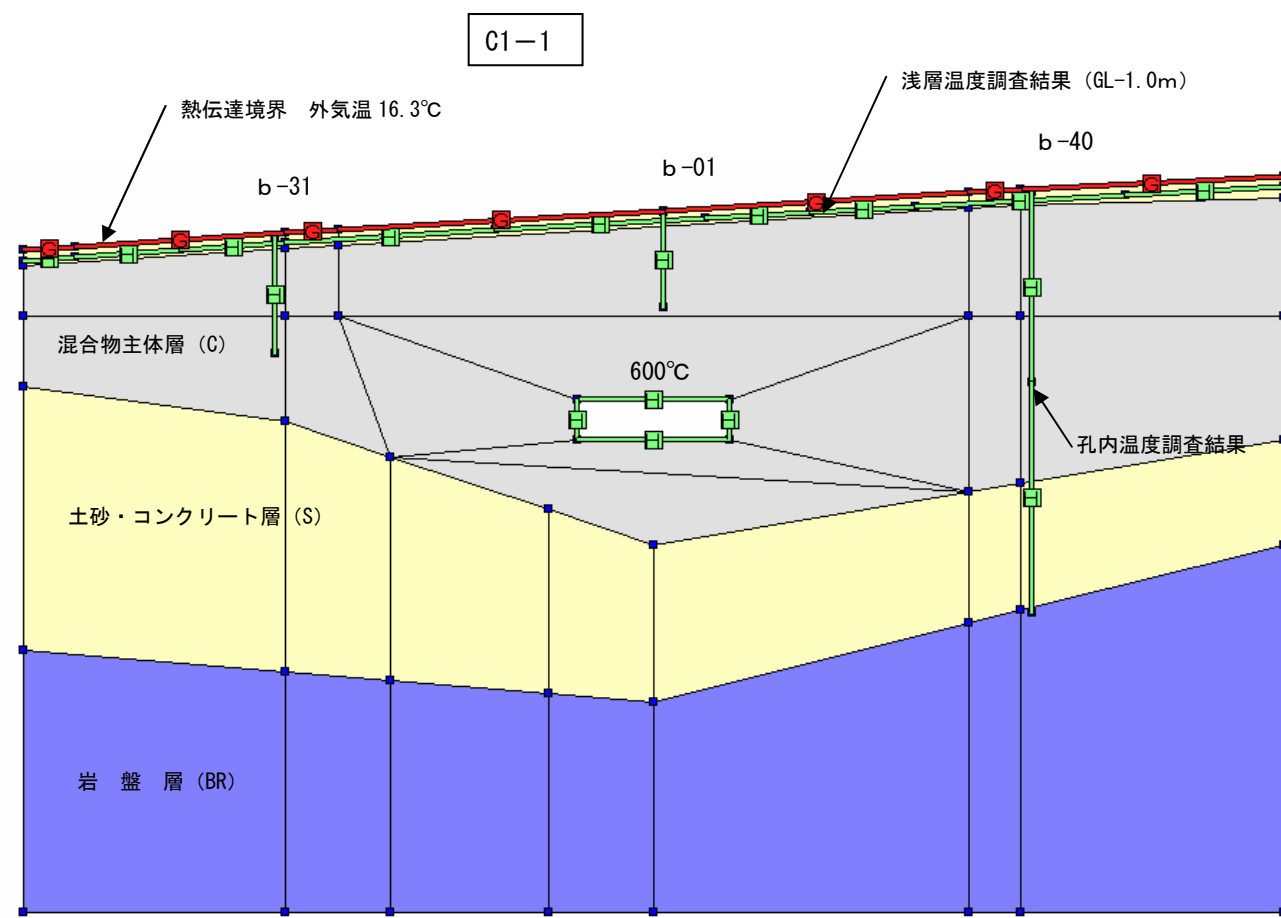


図 3-3-3 試行解析 ケース 1-1

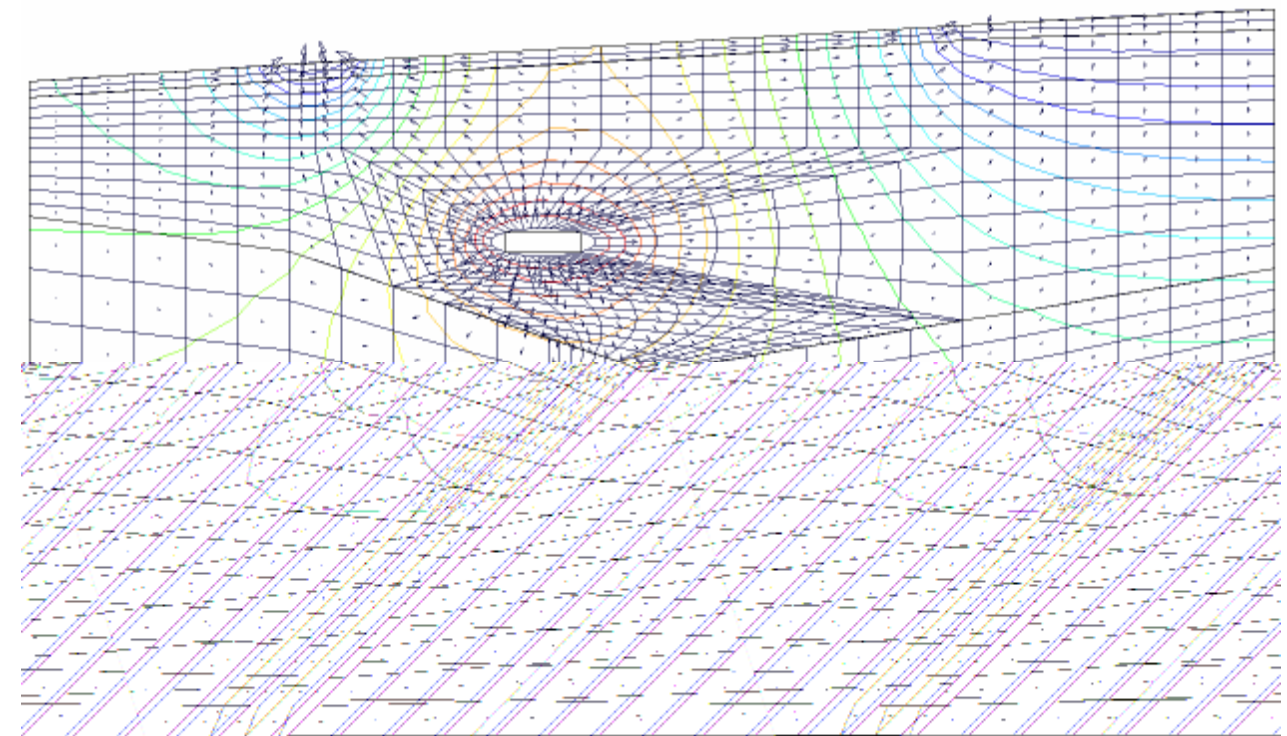


図 3-3-4 試行解析 ケース 1-2

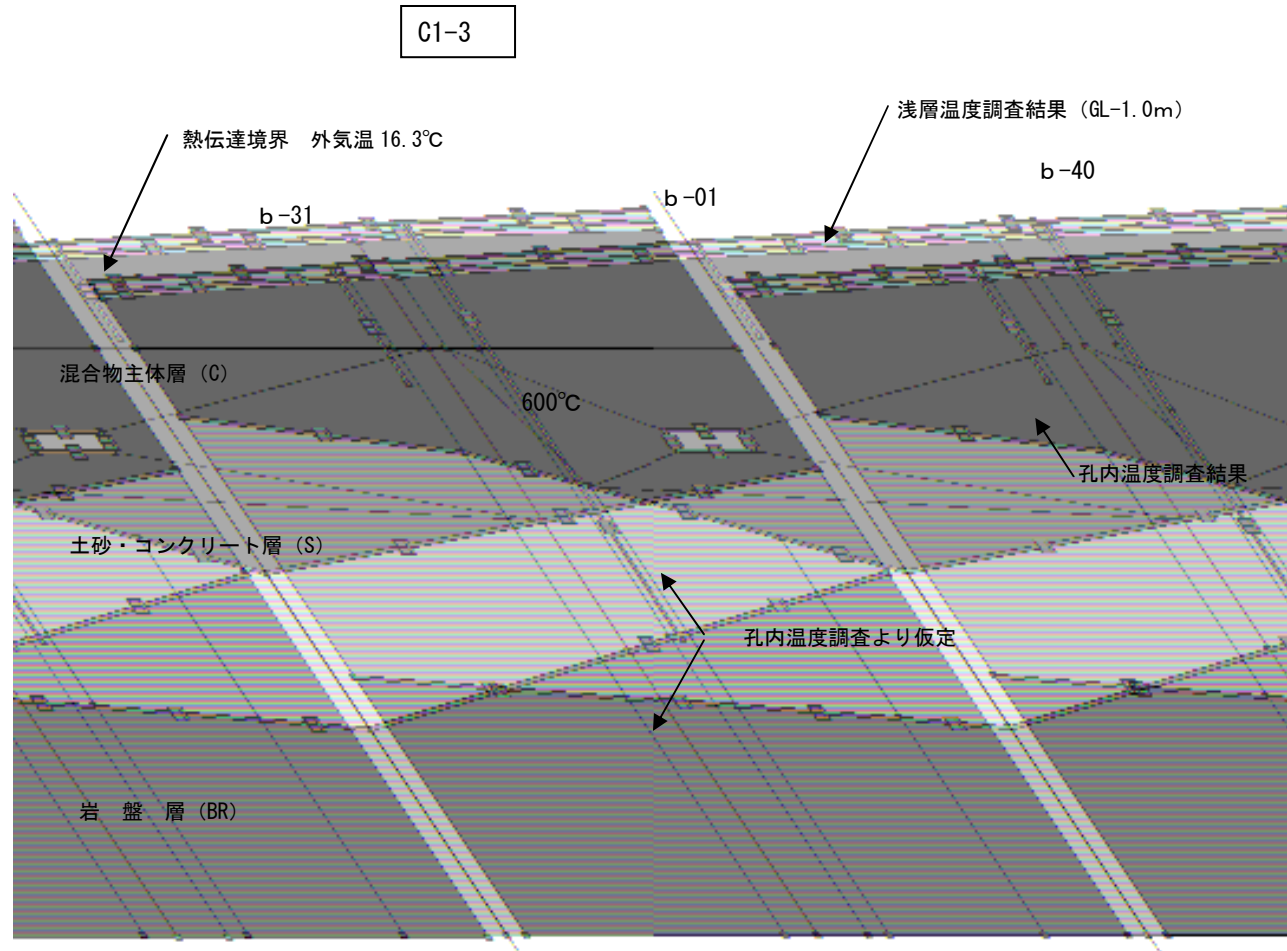


図 3-3-5 試行解析 ケース 1-3

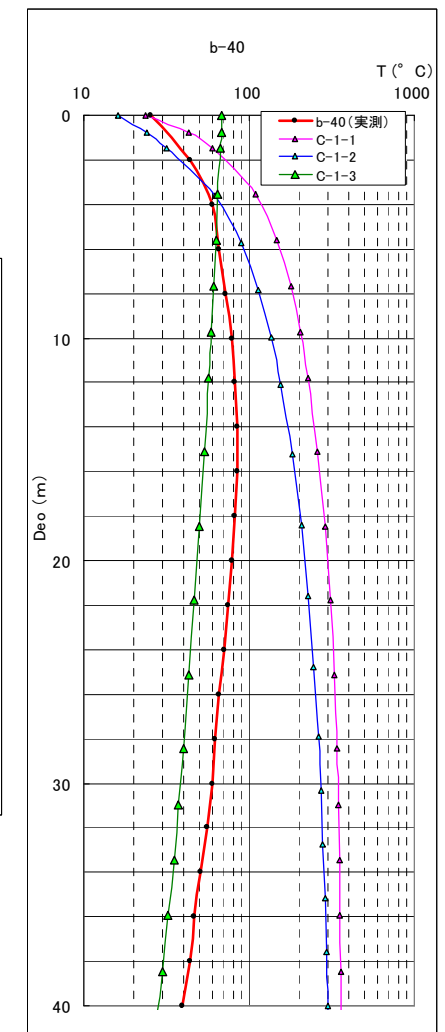
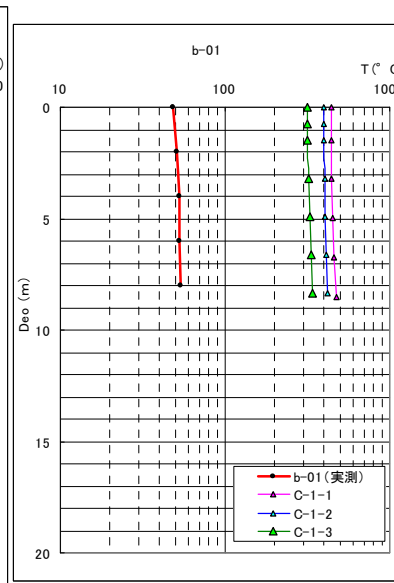
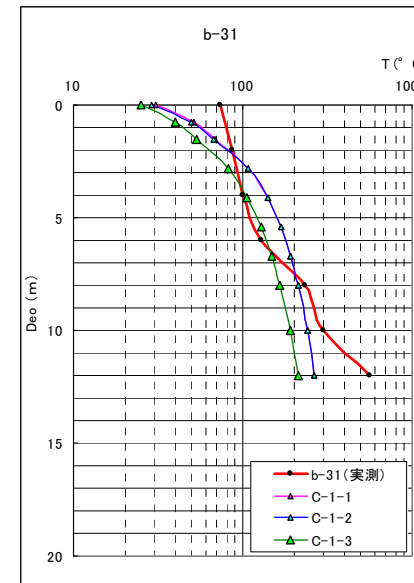
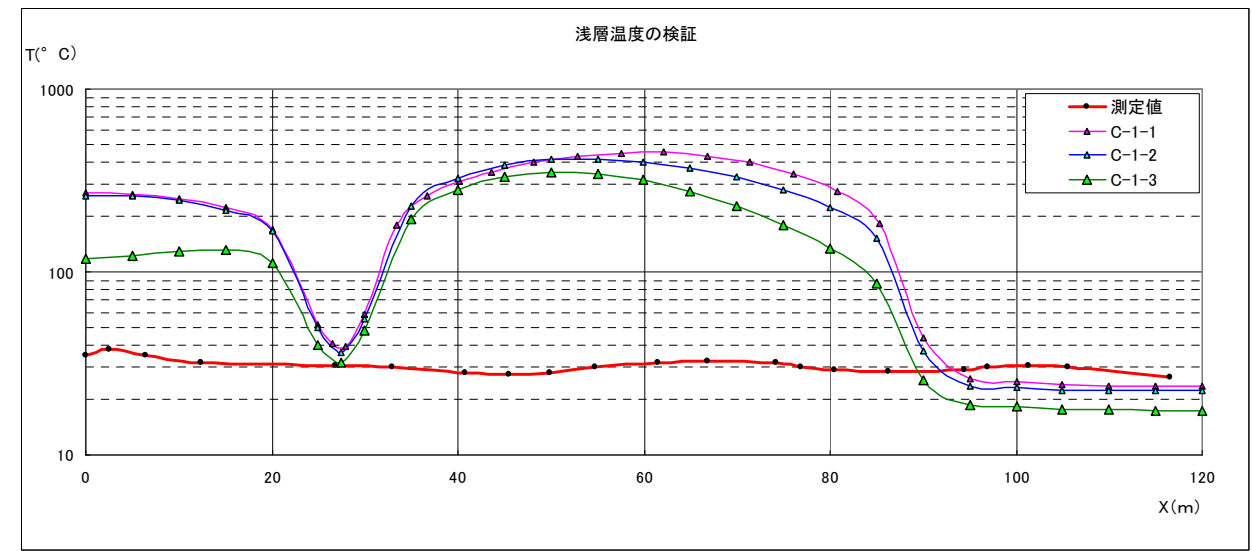
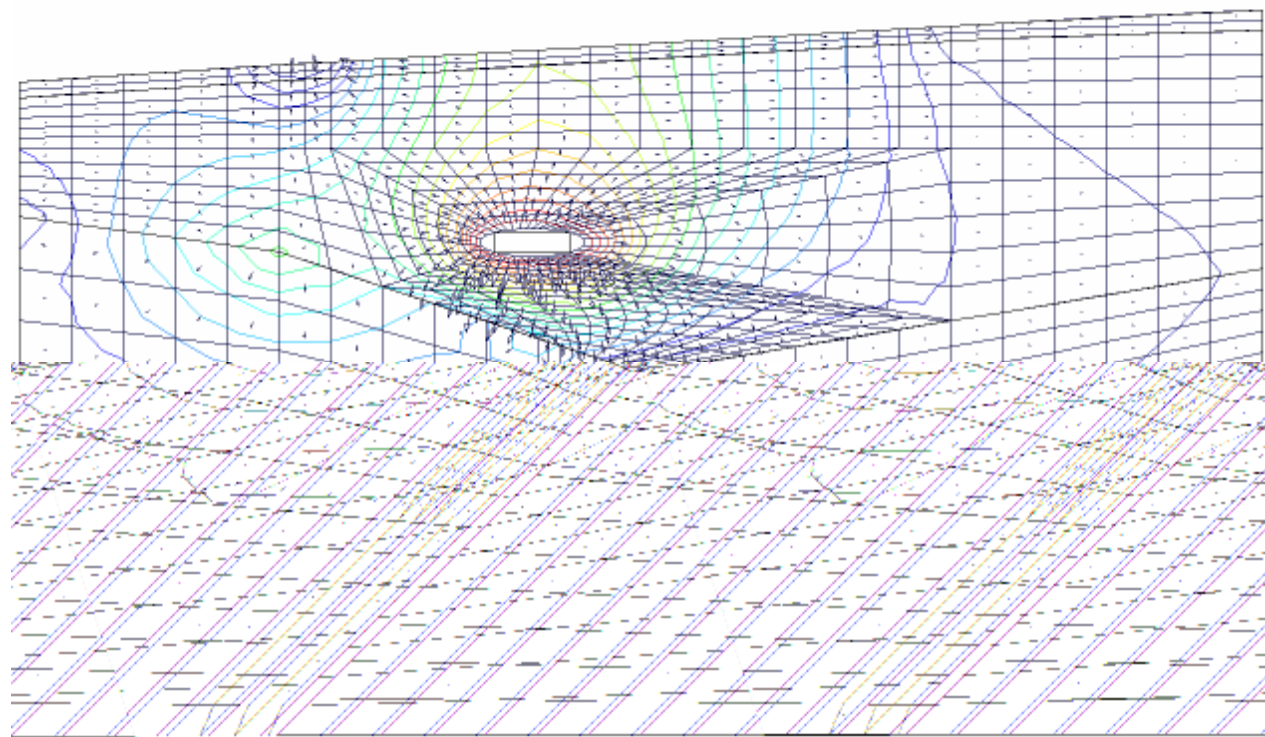


図 3-3-6 試行解析 熱源 1 の検証

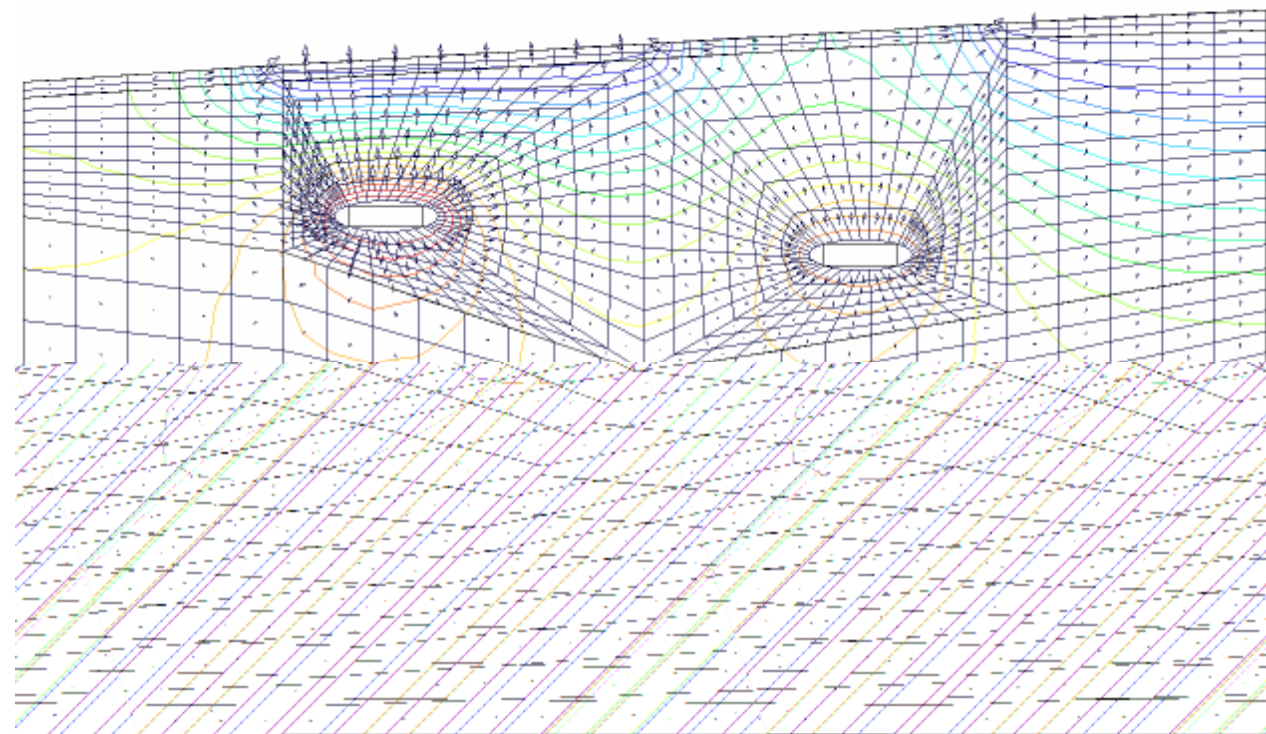
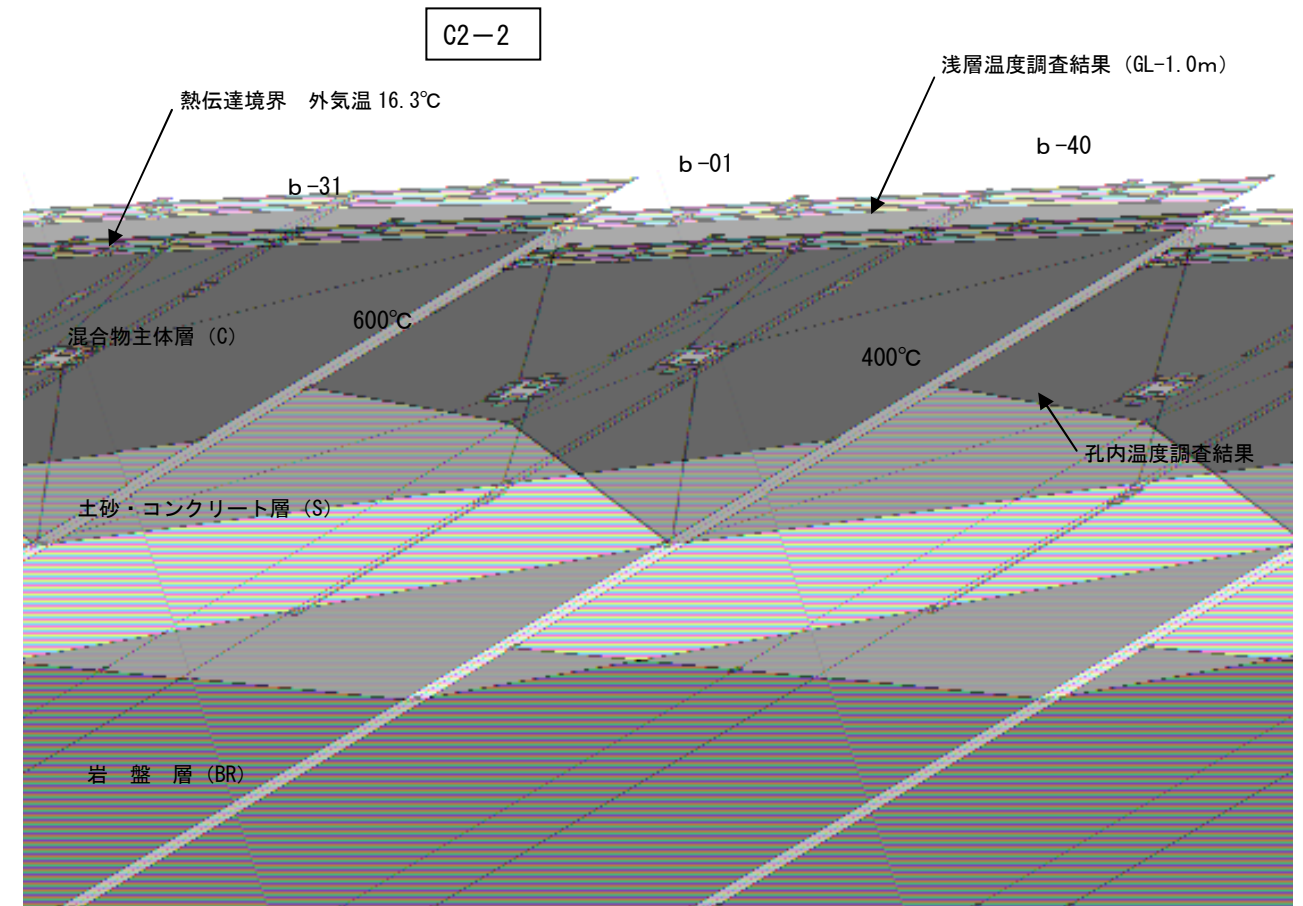
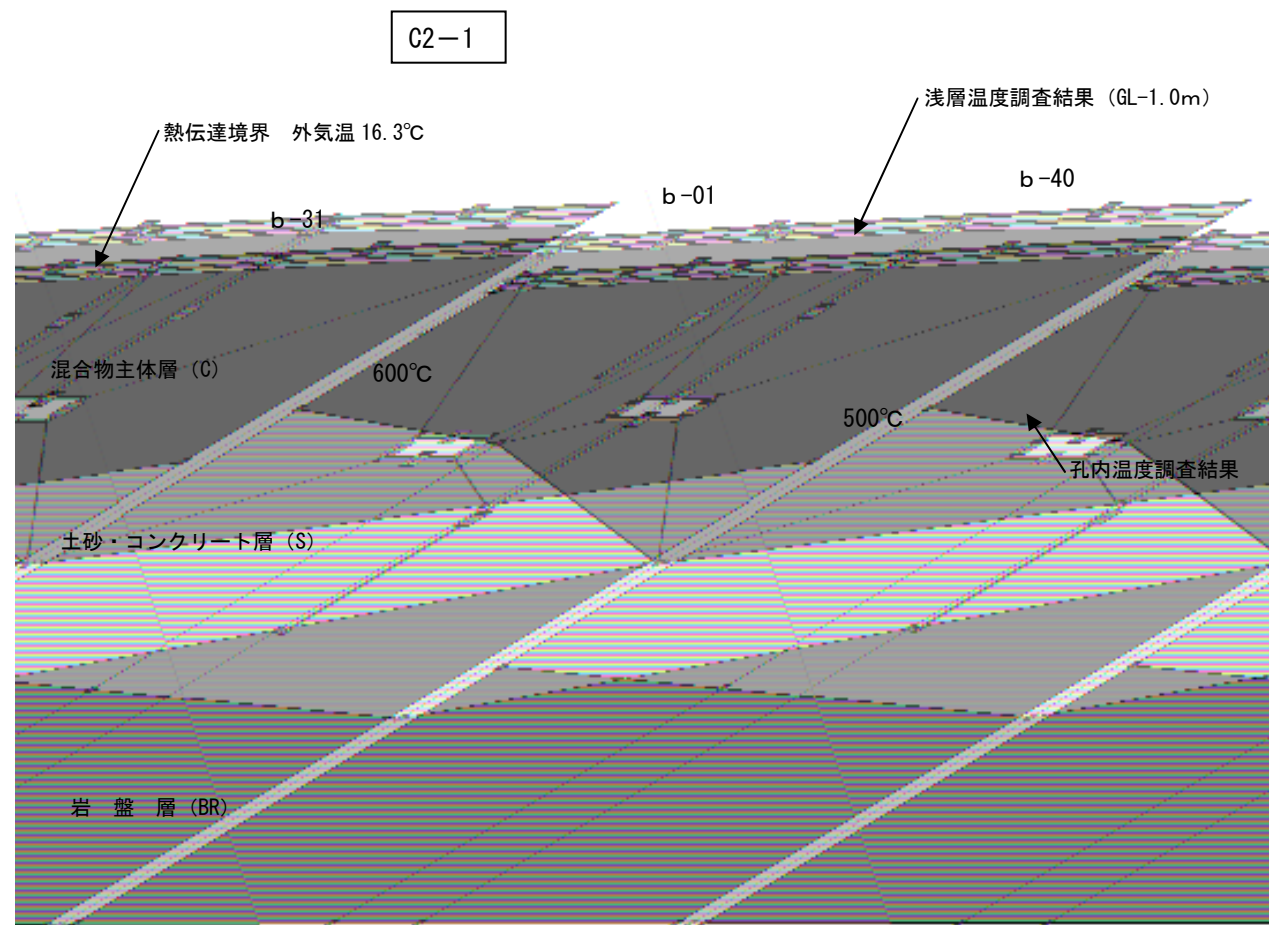


図 3-3-7 試行解析 ケース 2-1

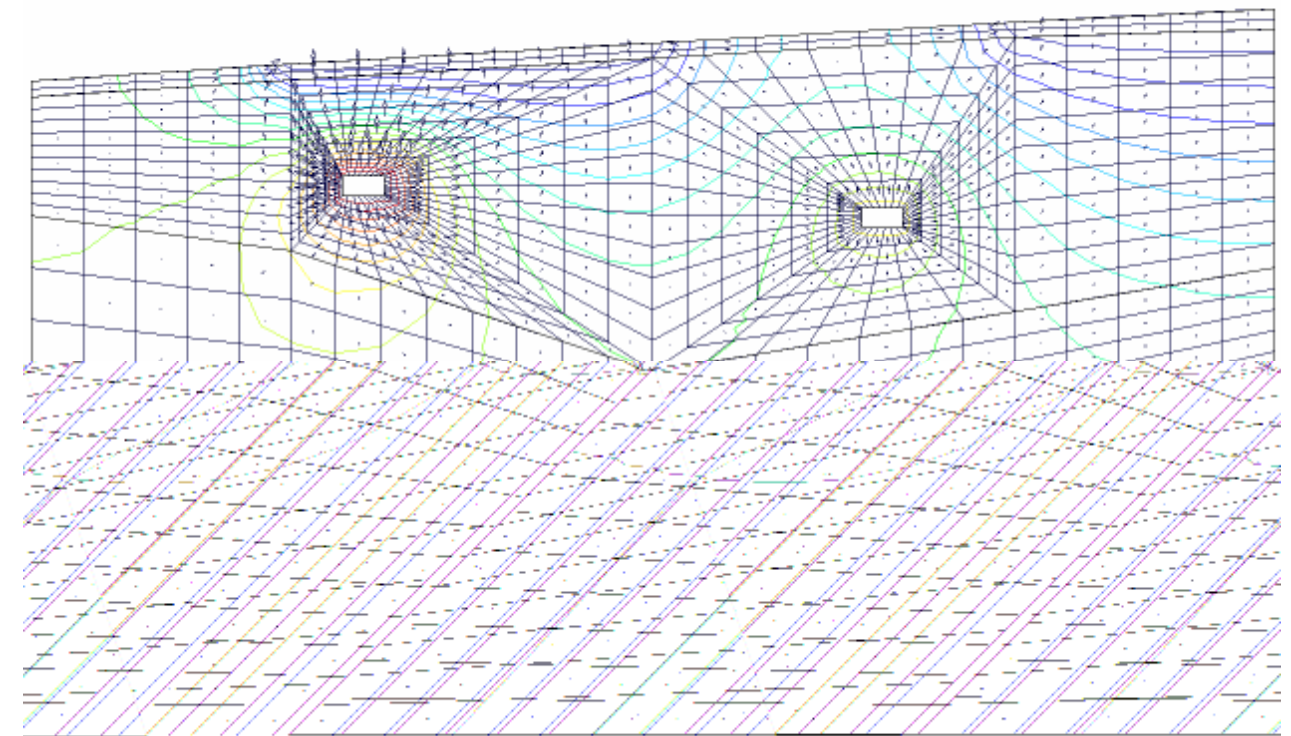


図 3-3-8 試行解析 ケース 2-2

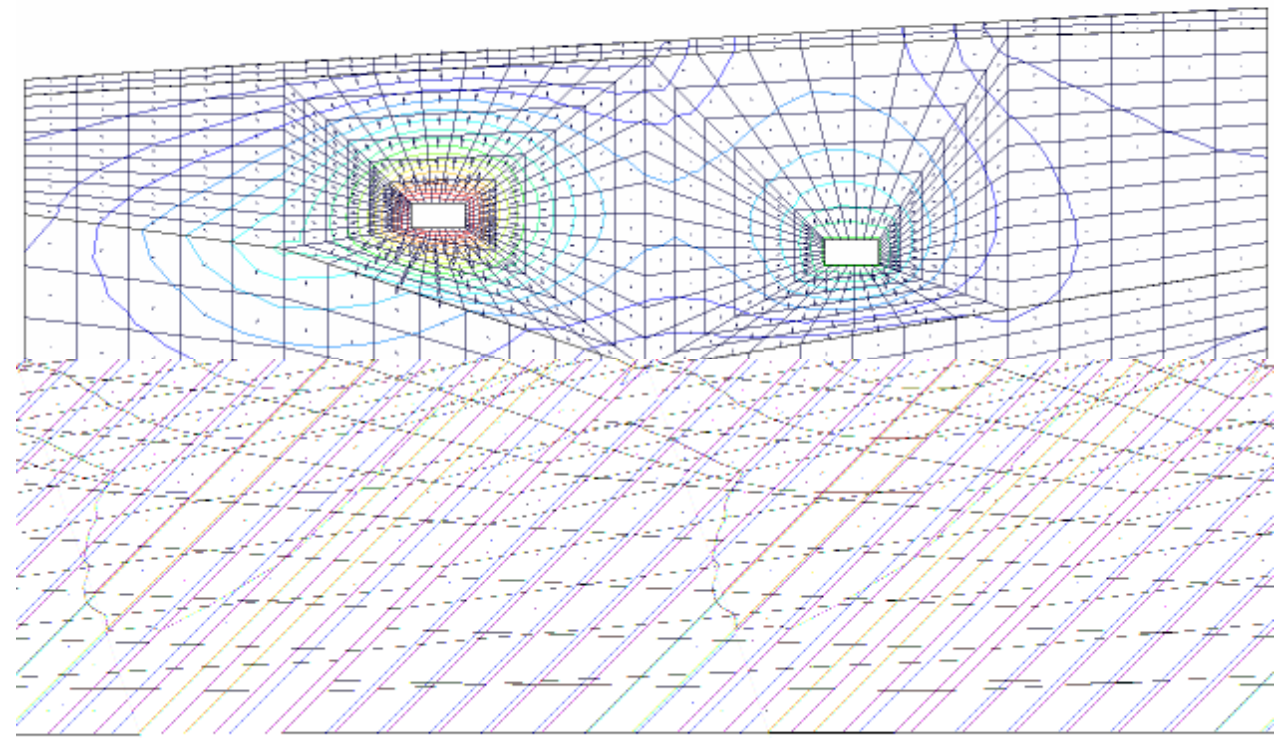
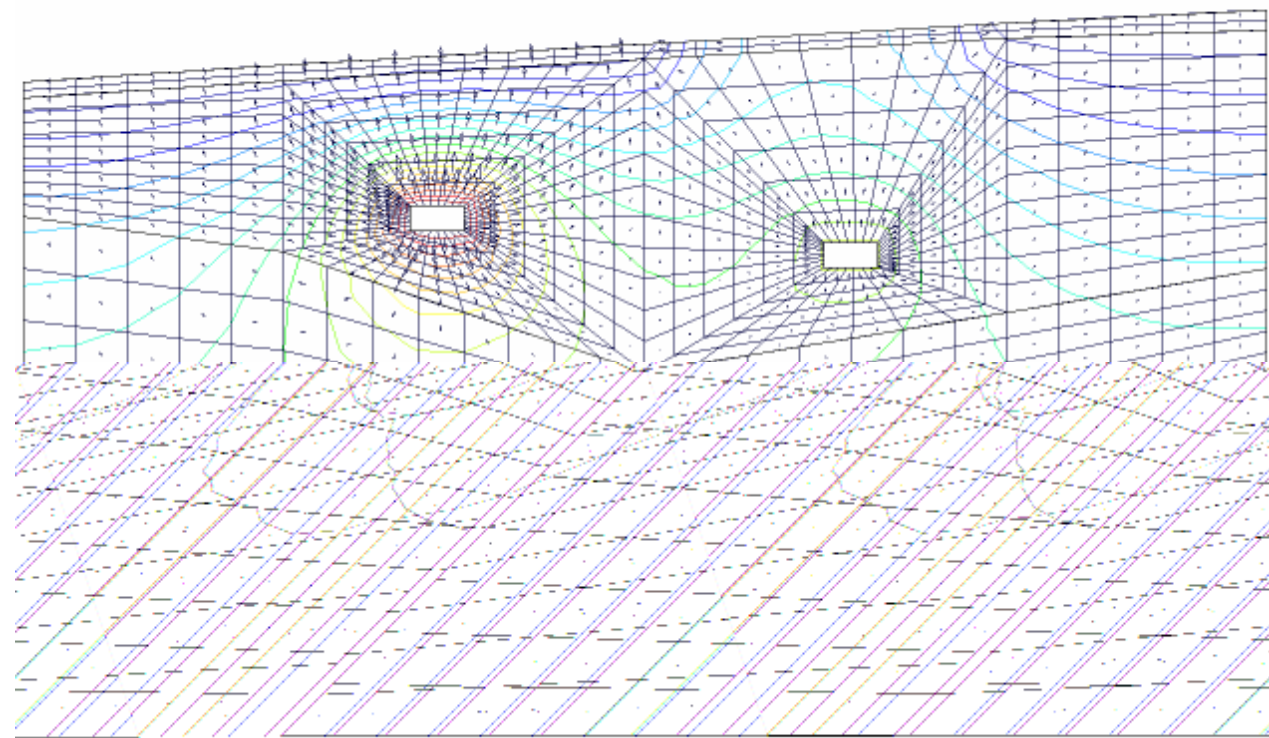
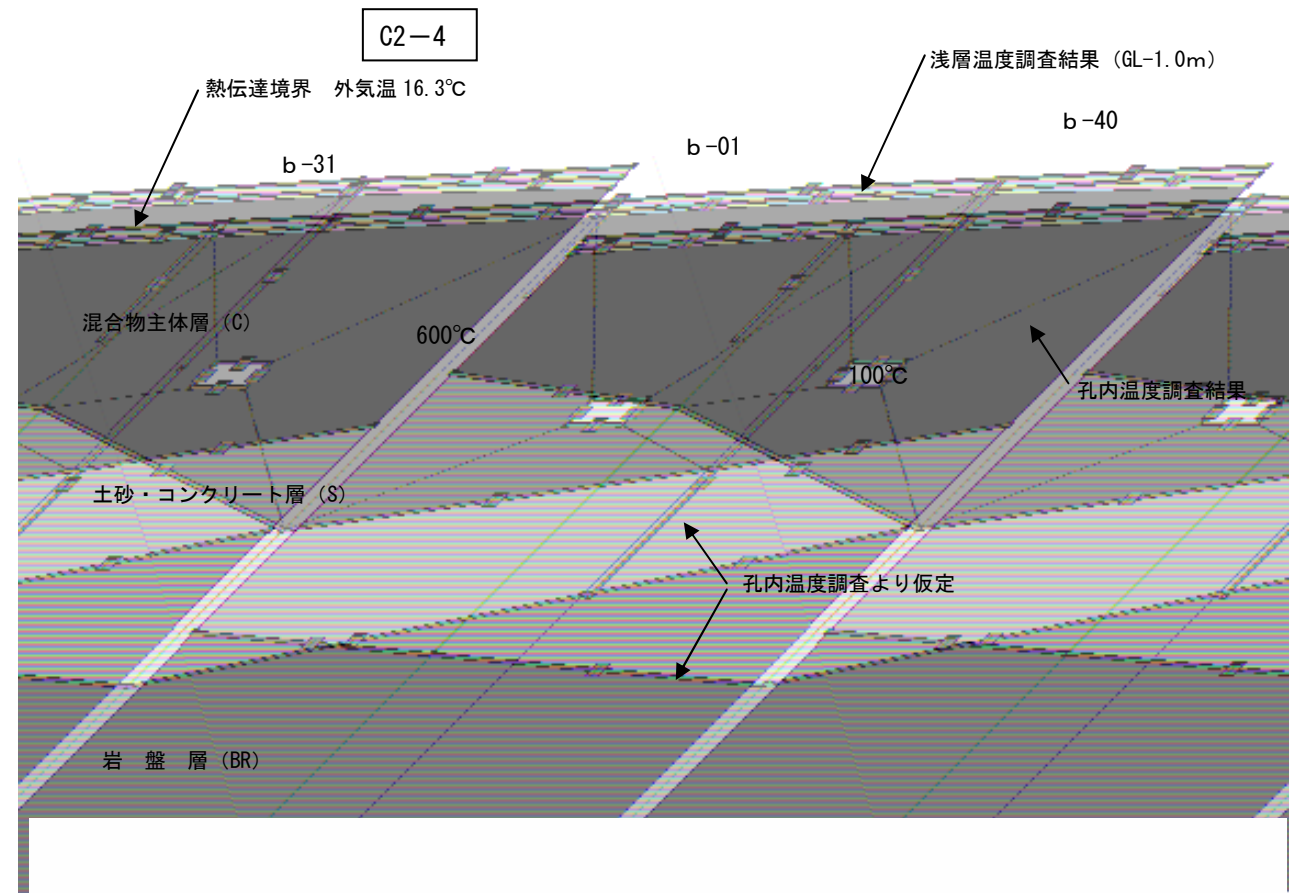
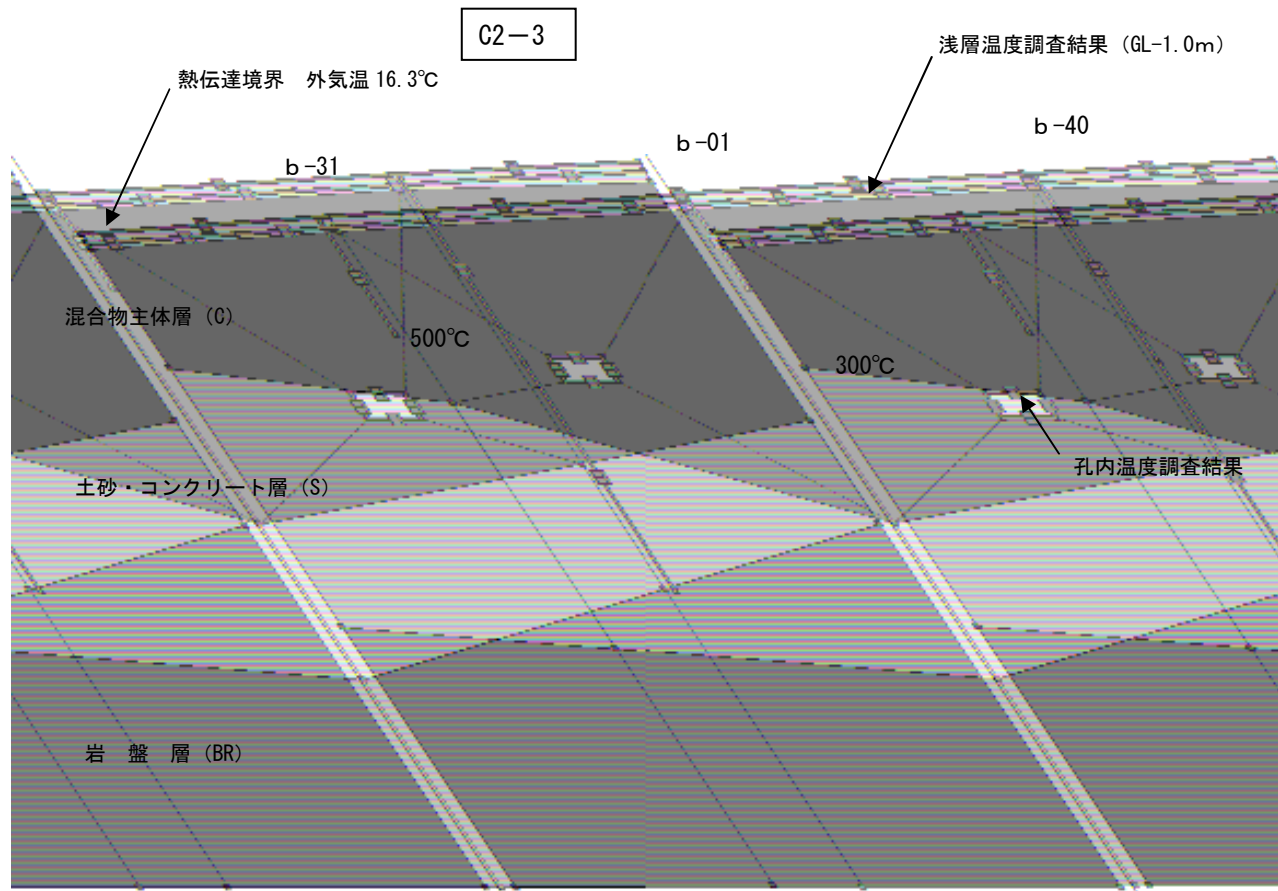


図 3-3-9 試行解析 ケース 2-2

図 3-3-10 試行解析 ケース 2-3

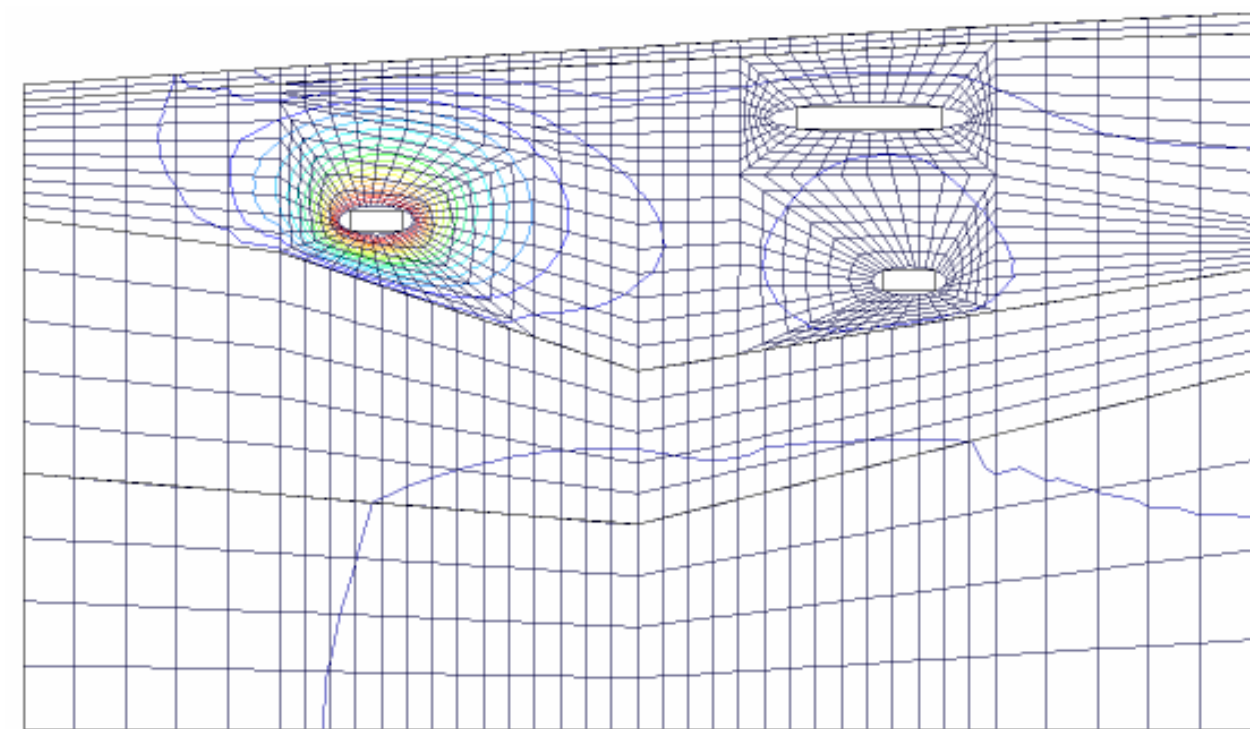
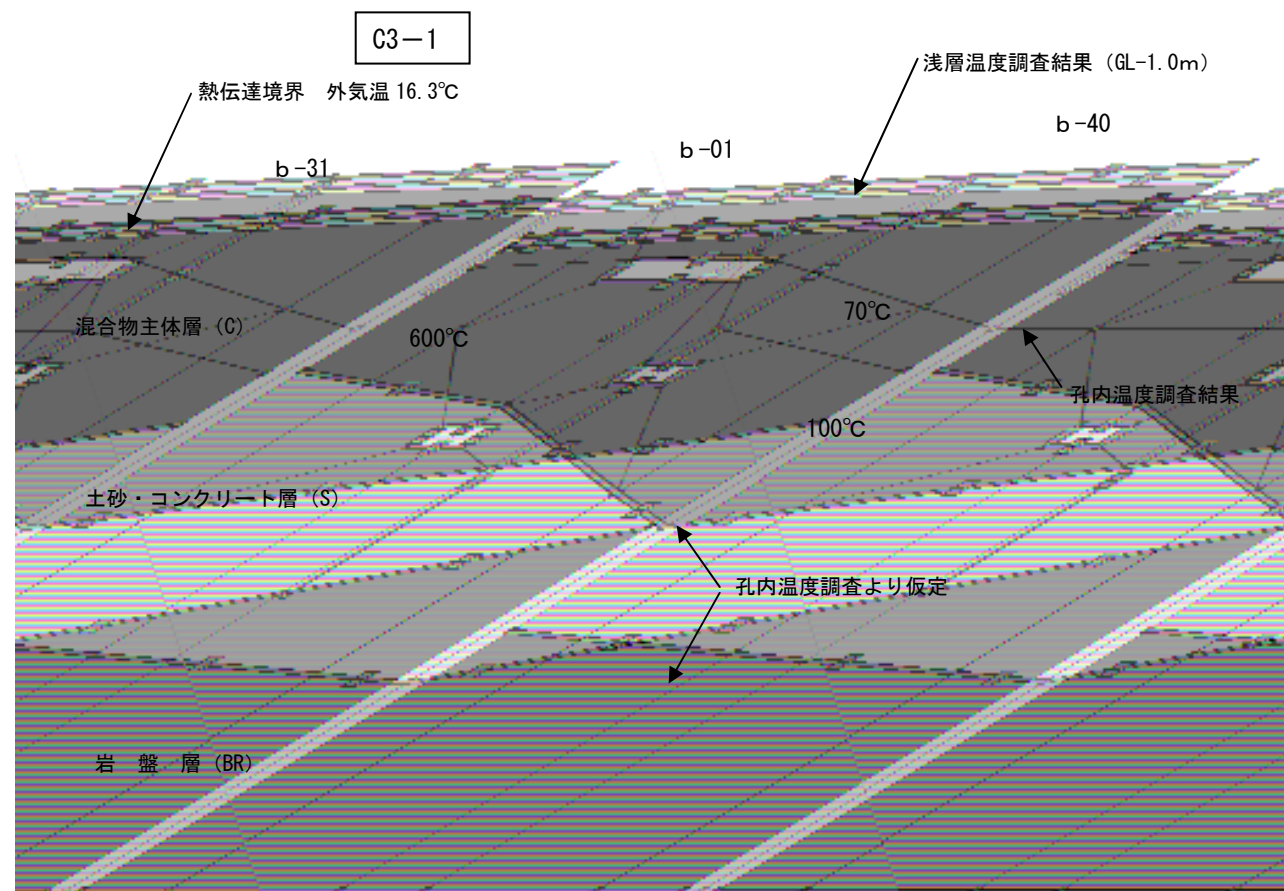


図 3-3-11 試行解析 ケース 3-1

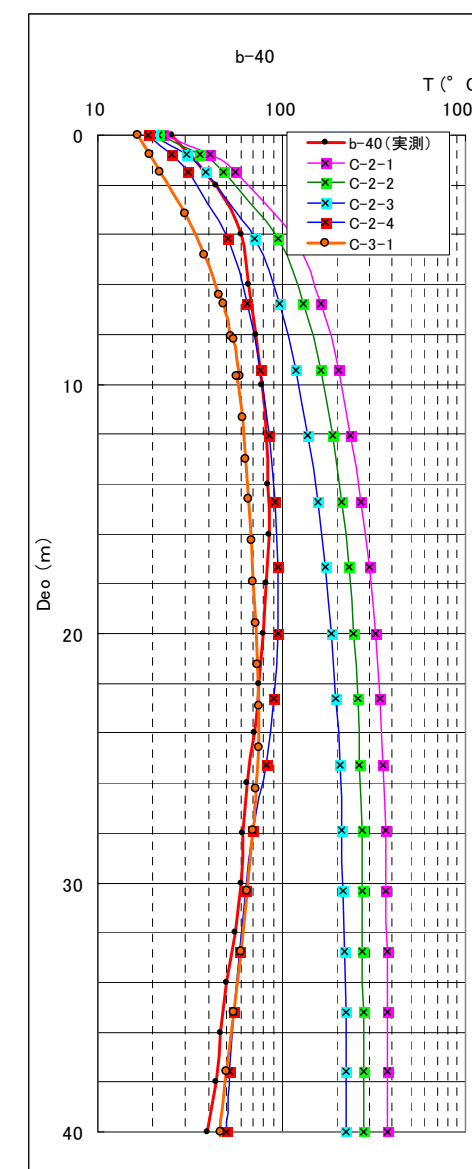
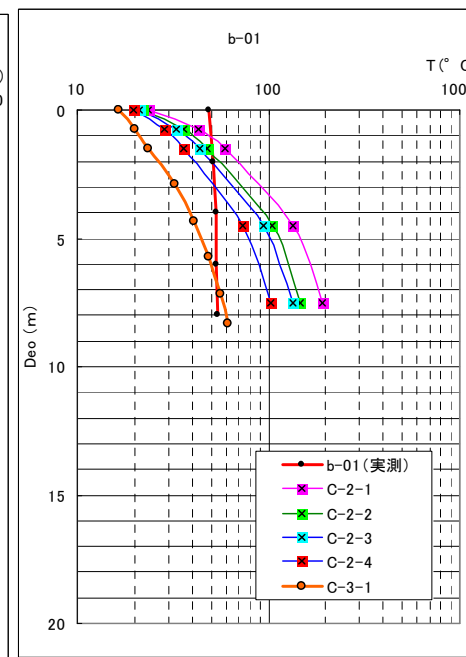
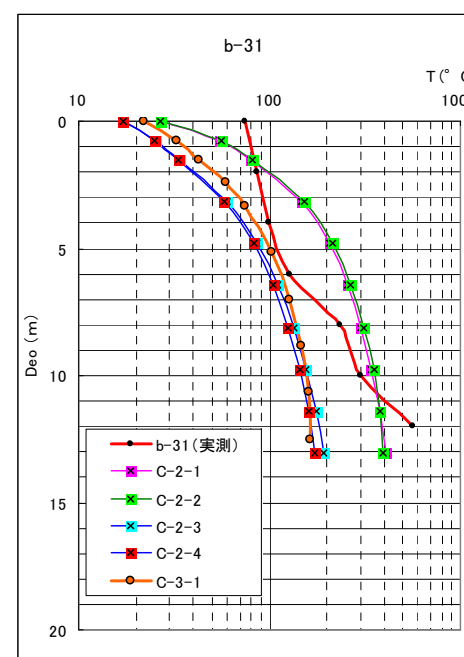
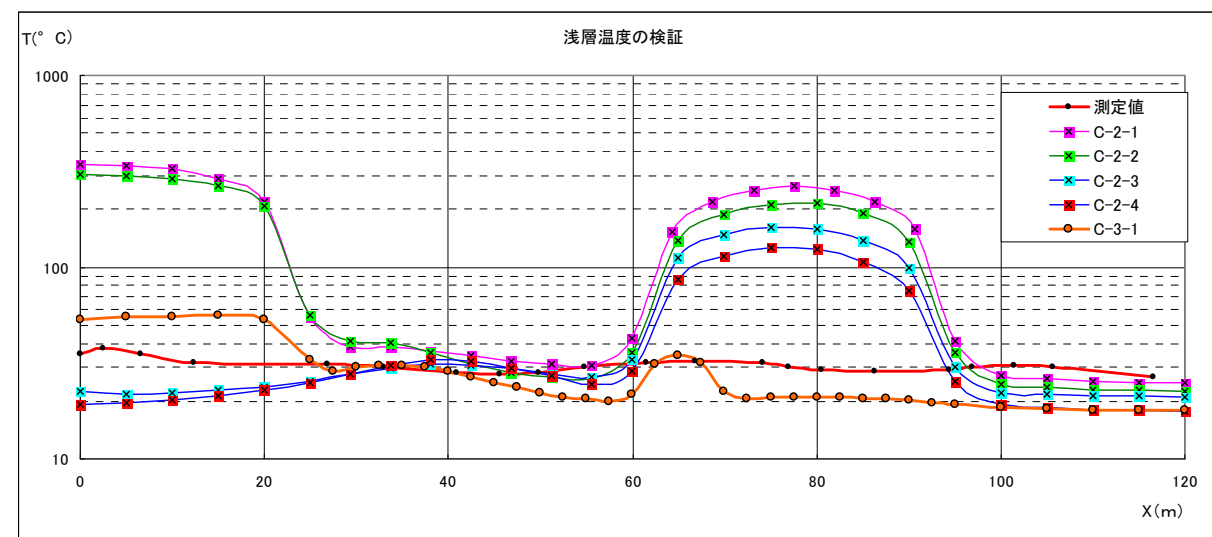


図 3-3-12 試行解析 熱源 2~3 の検証

⑦解析結果とまとめ

試行解析モデルと同じ条件で、既往調査測線の従横断面について伝熱解析を実施した。

解析結果はおよび座標データを巻末に添付する。解析結果より温度分布断面図を図 3-3-13～24 に示す。

伝熱解析結果から得られた廃棄物内の温度分布の再現状況に関する特徴を以下に示す。

- ①燃焼範囲： 燃焼の範囲を、水分が蒸発して乾燥状態となる 100℃以上とした場合、平面的には e-04～e-05 と e-18～e-19 の間付近で、標高約 100～120m の範囲に 100℃以上の位置が含まれる。
- ②その他： 観測した温度は、伝熱現象の他にガス対流等による熱移動の影響も受けていると考慮すれば、高温が観測された範囲は本来の燃焼部分よりも大きく判定された可能性があると考える。

図 3-3-25 に 100℃以上の範囲を投影した平面図を示す。

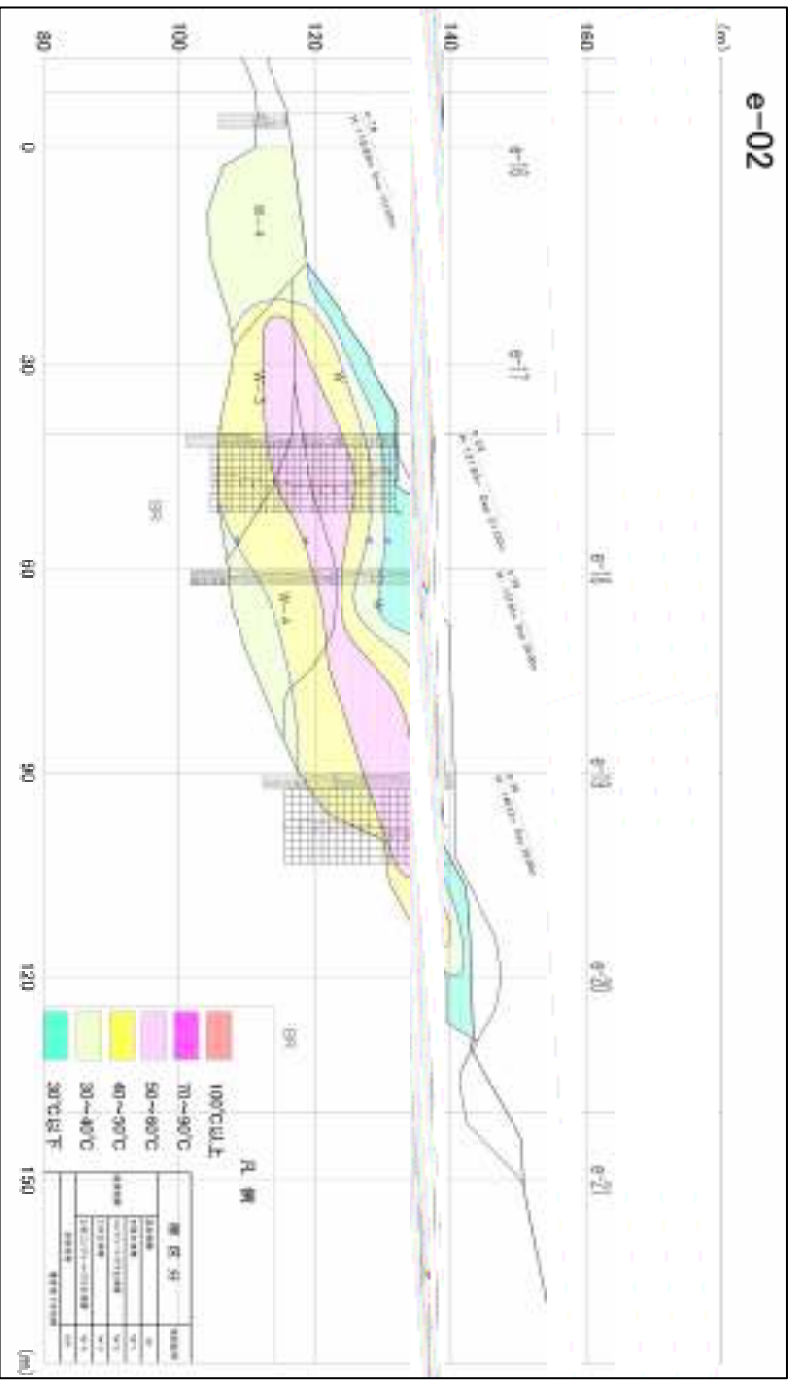


図 2-2-12 温度分布

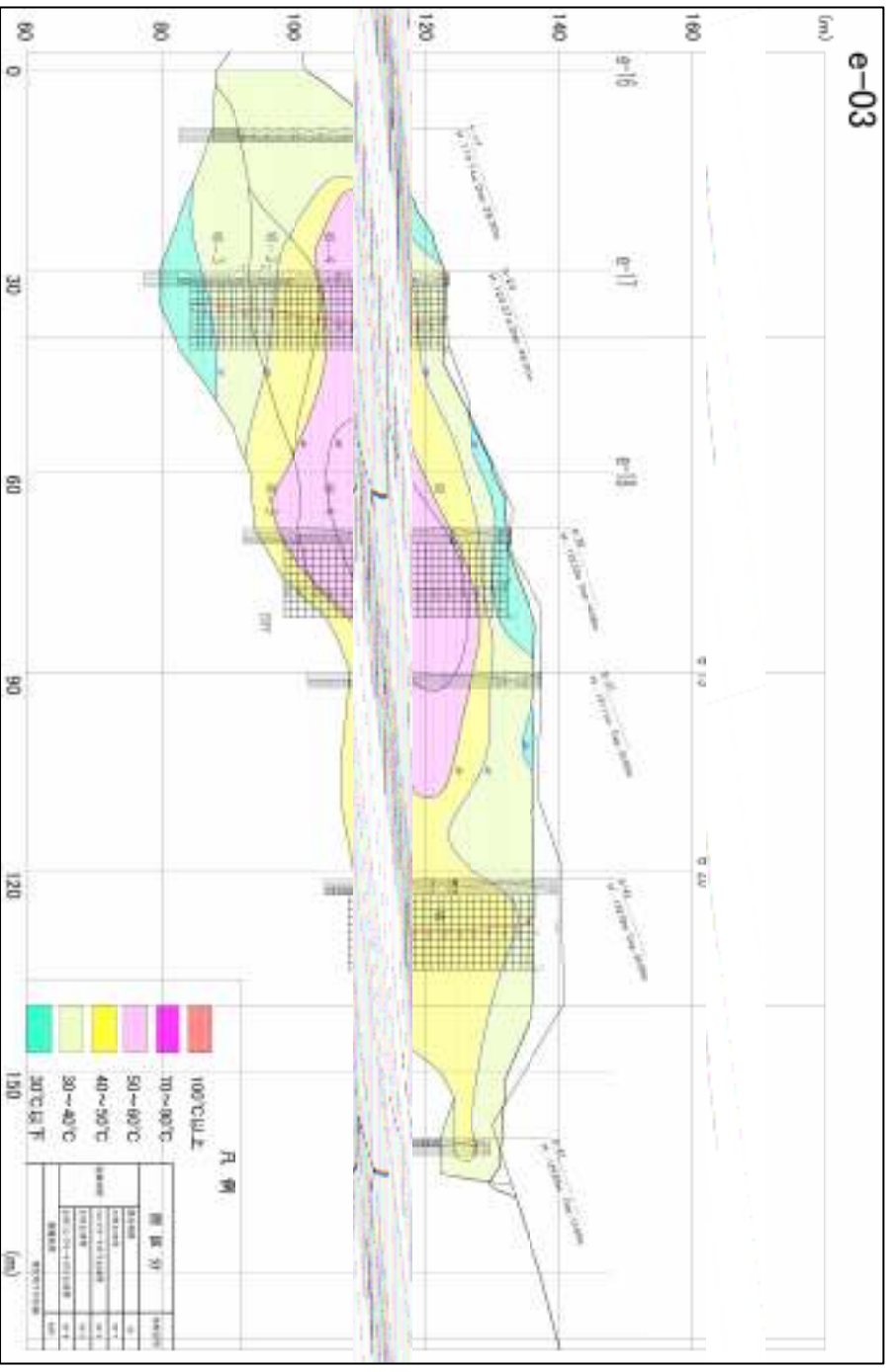


図 2-2-11 温度分布

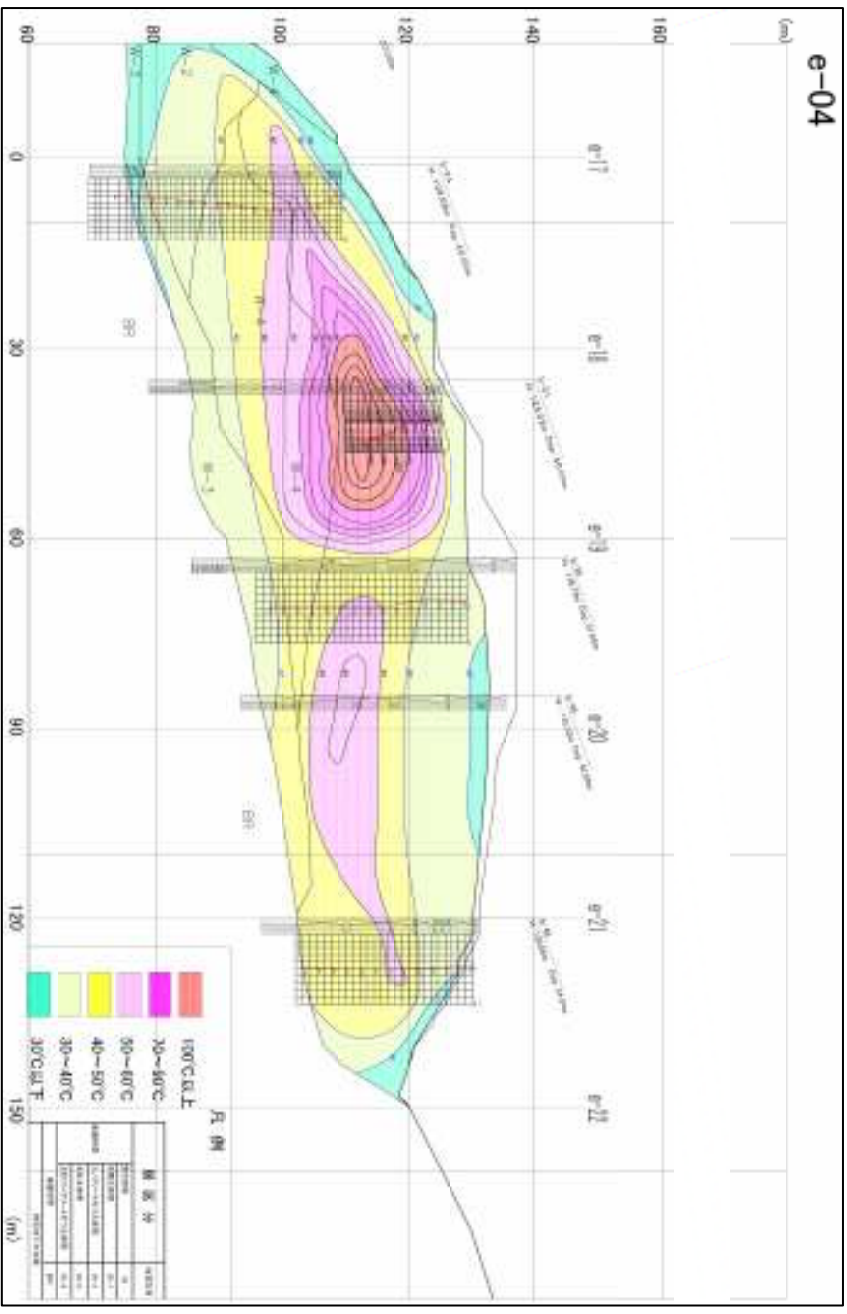


図 2-2-11c 温度分布

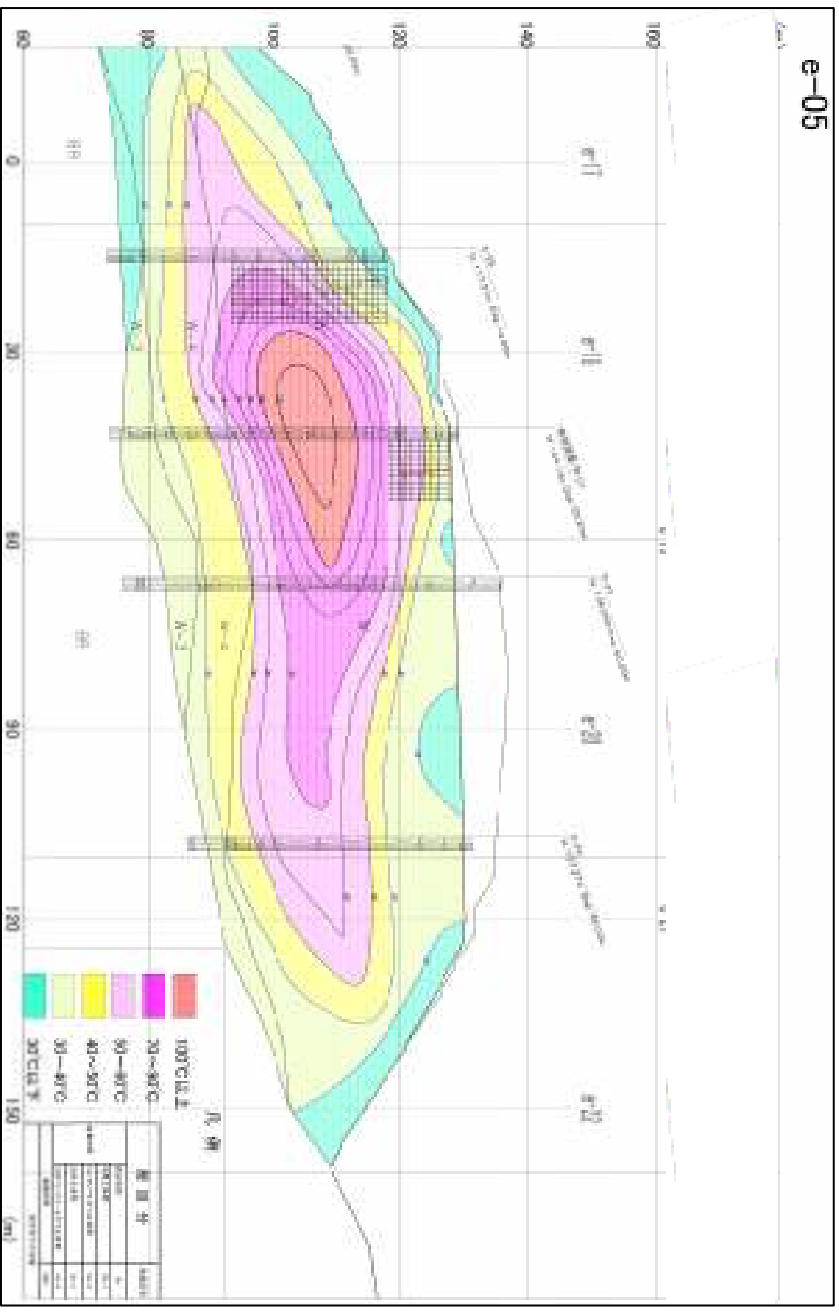


図 2-2-11d 温度分布

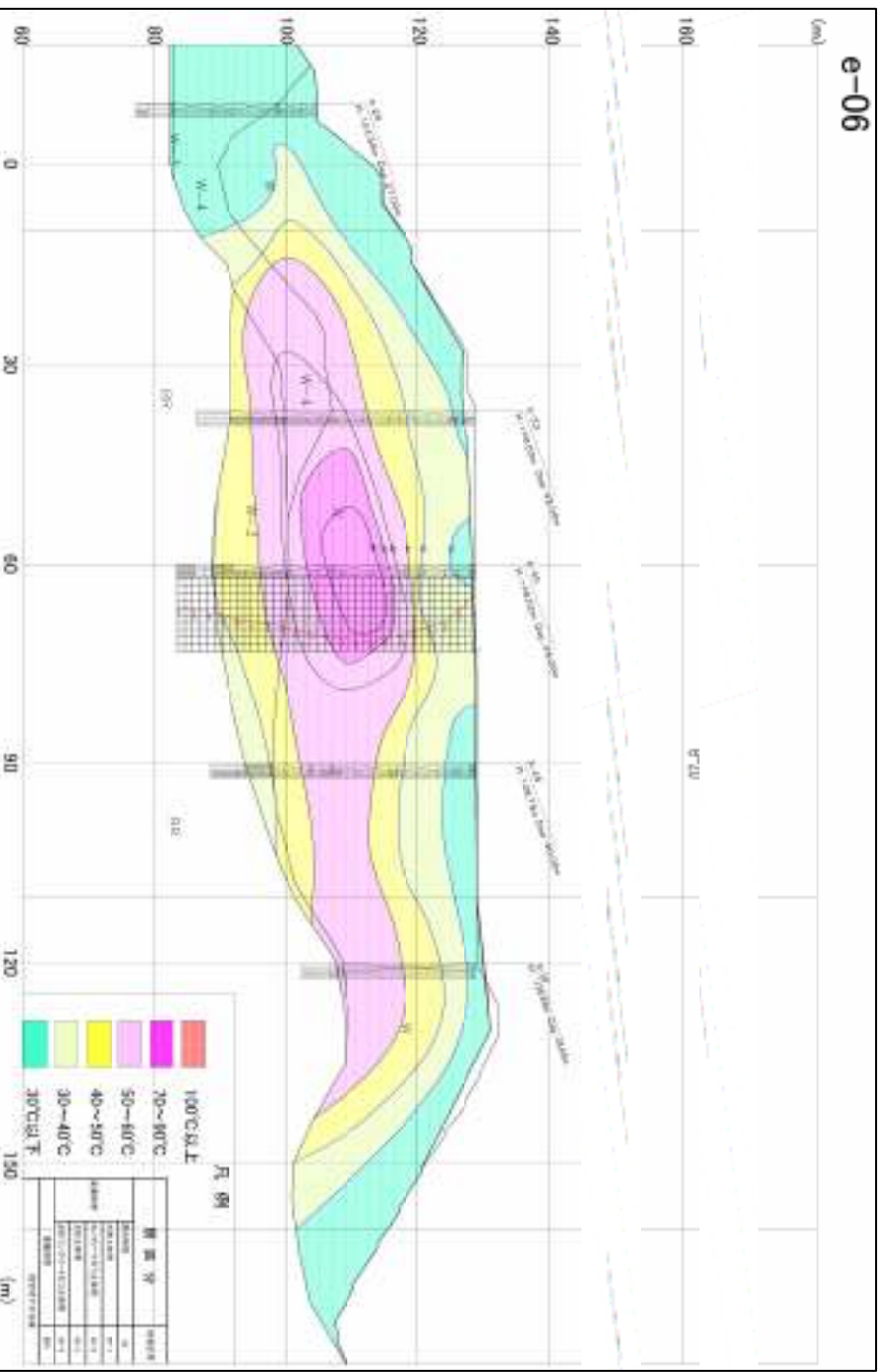


図 2-2-17 温度分布

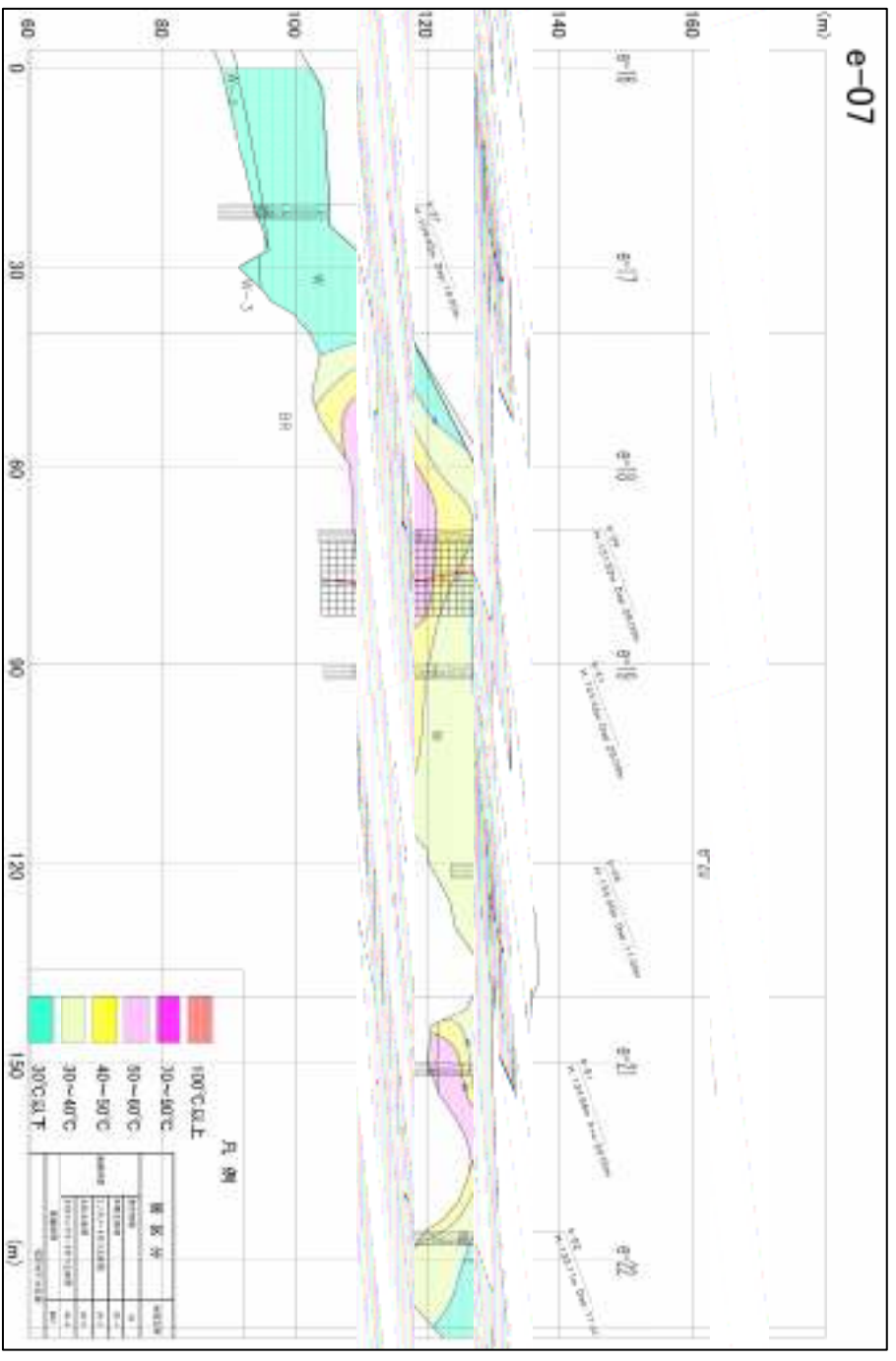


図 2-2-18 温度分布

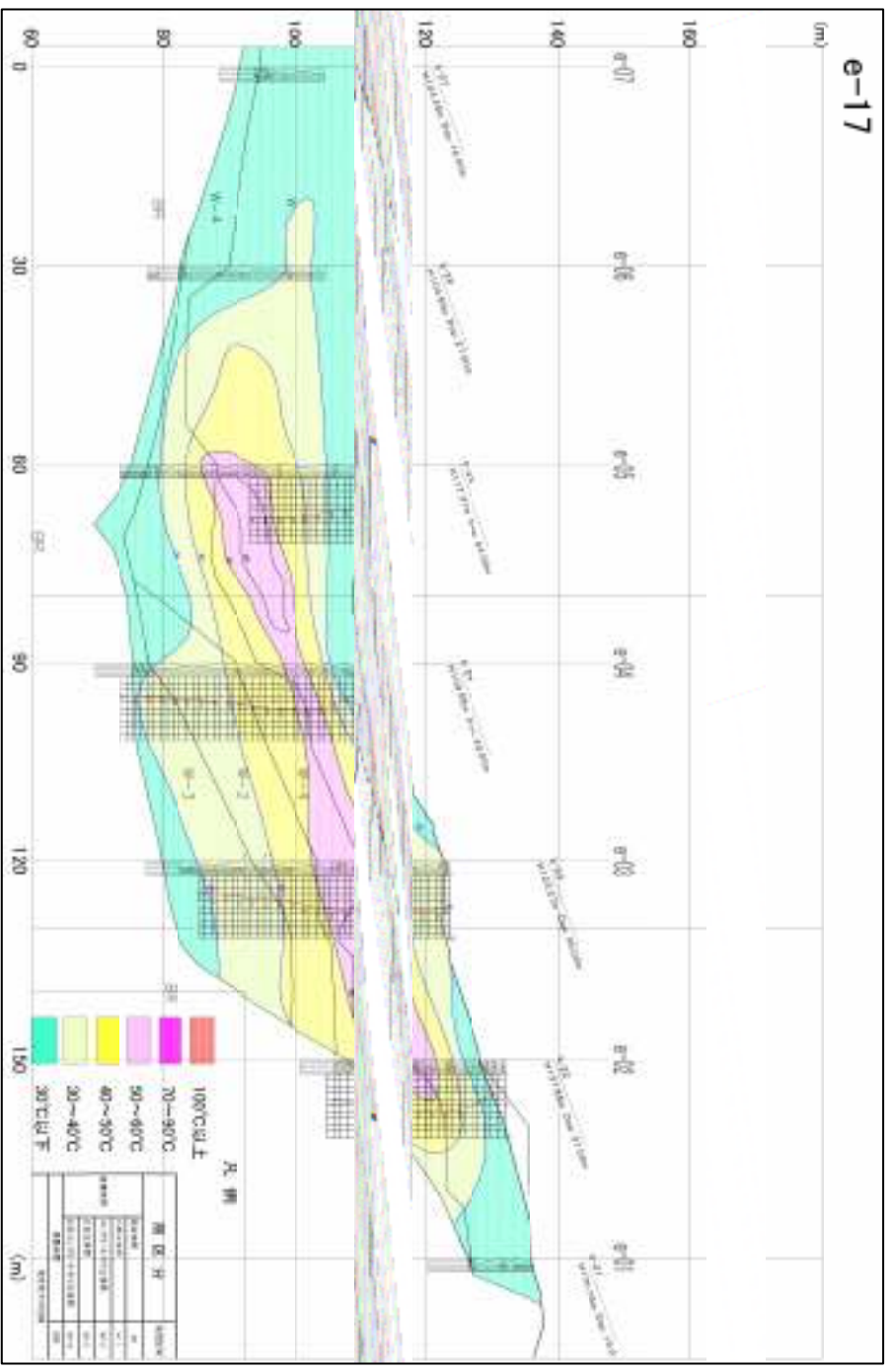


図 2-2-10 温度分布

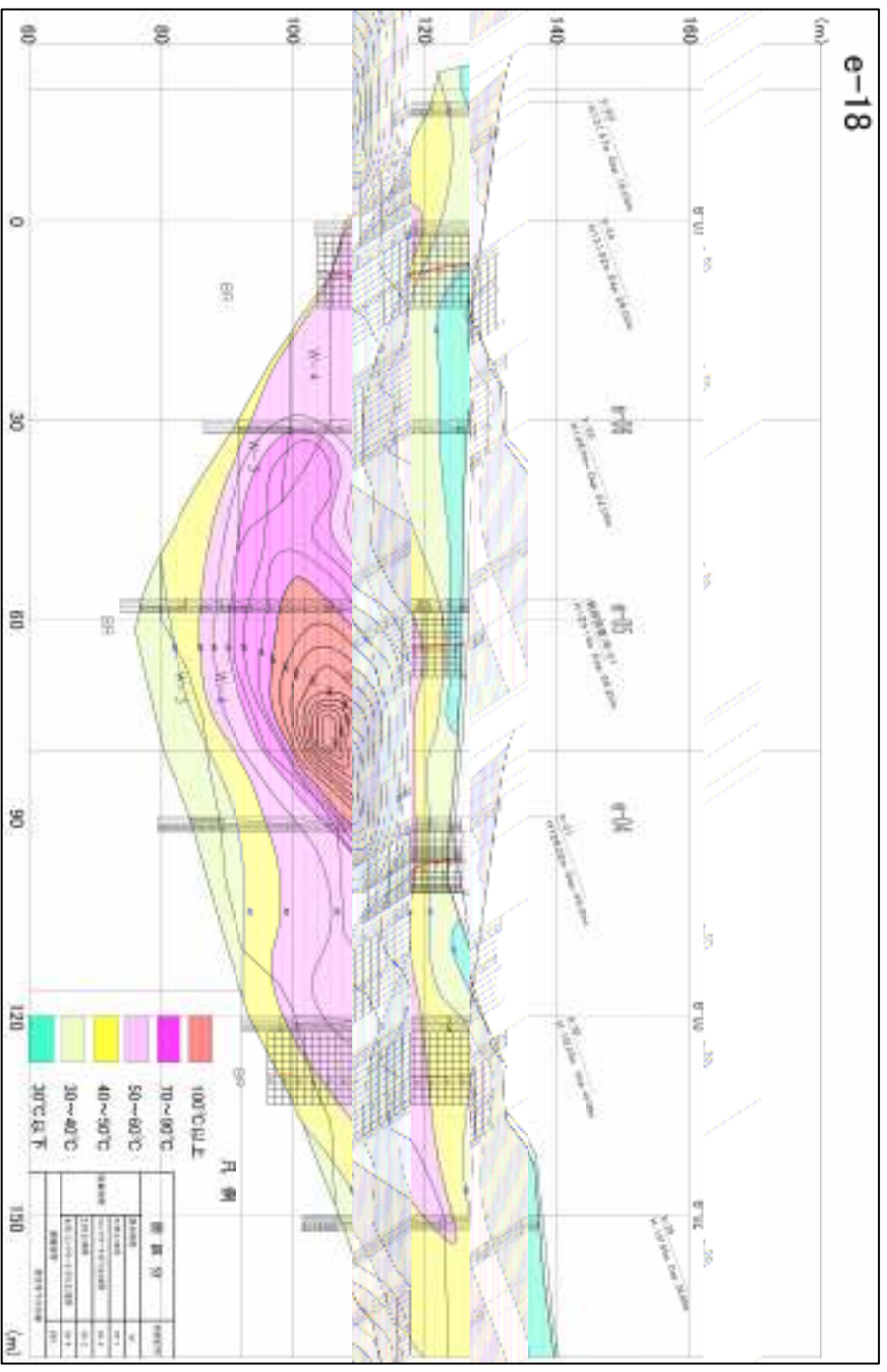


図 2-2-11 温度分布

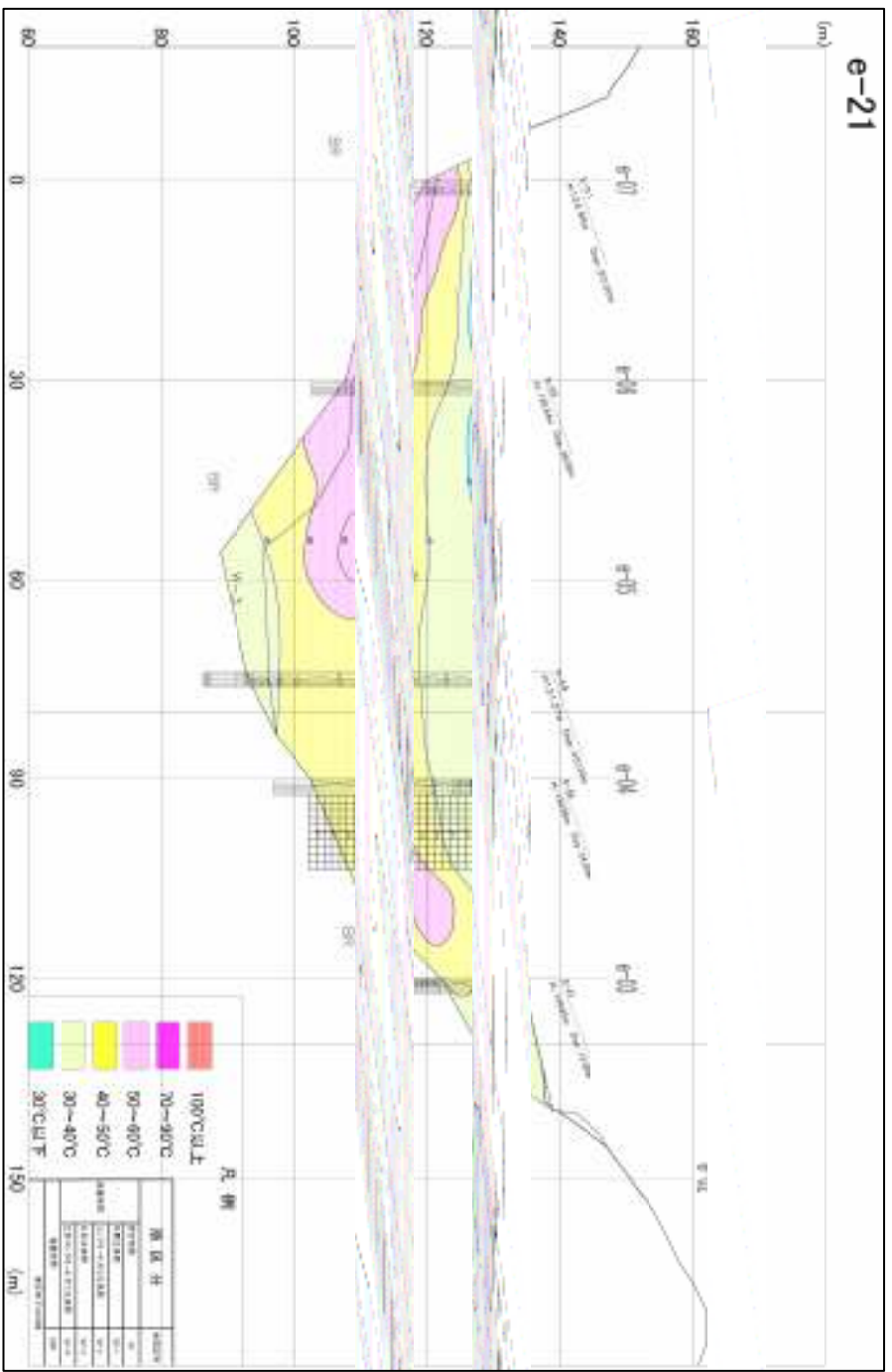


図 2-2-22 温度分布

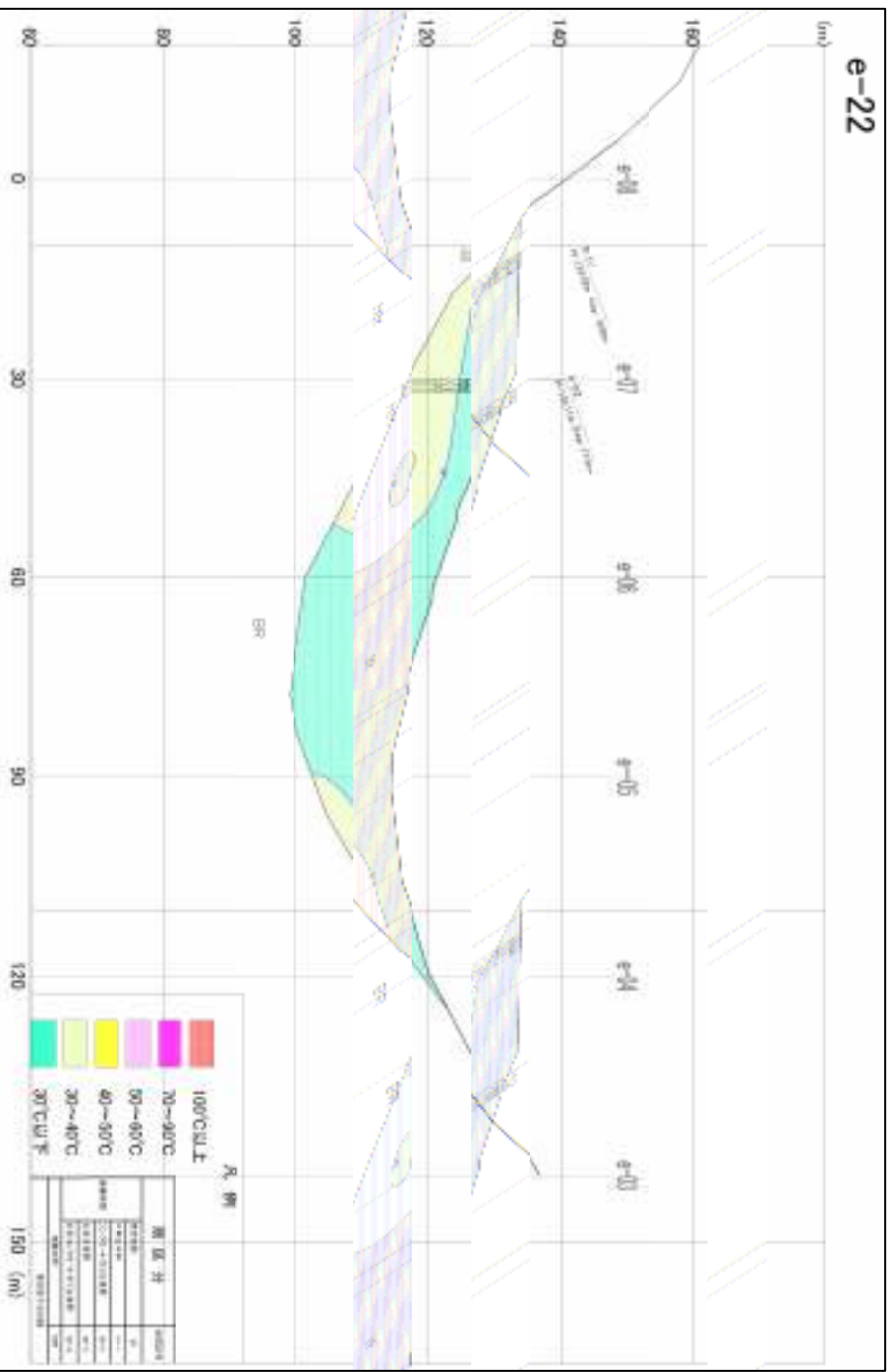


図 2-2-21 温度分布

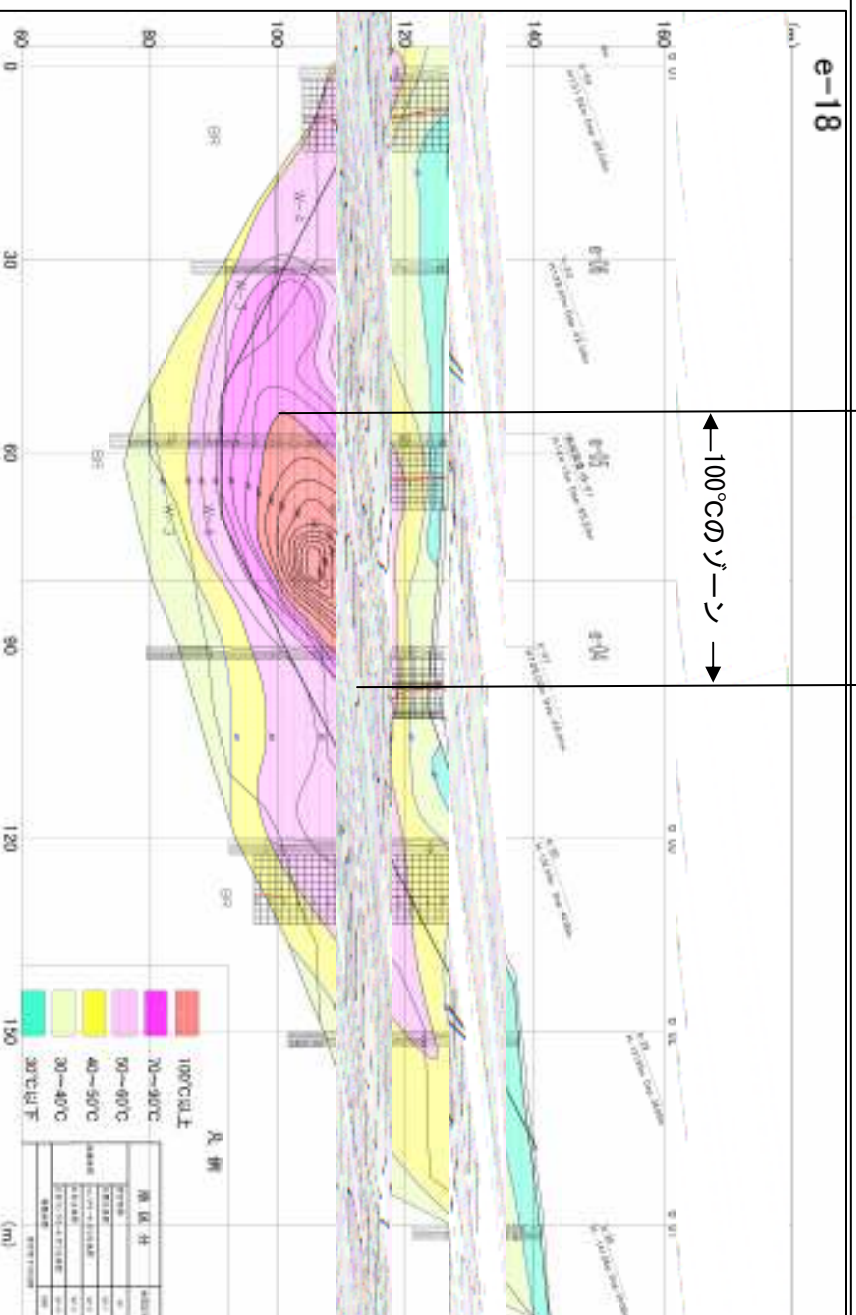


図 3-3-25 100°C以上範囲の投影平面図

3-1-2 温度調査と伝熱解析結果のまとめ

温度調査と伝熱解析の結果を表 3-3-3 に示す

表 3-3-2 調査・解析結果まとめ

調査・解析種目	結果	備考
浅層温度測定	<ul style="list-style-type: none"> 浅層温度の平均は 30℃以下であり、30℃以上の箇所は、廃棄物の直接露出・植生被覆による蓄熱、燃焼による影響を受けている可能性が高いものと考えられる。 高温部は、廃棄物露出箇所と土砂分布箇所を検出し、土砂分布箇所付近に熱源と想定。 浅層温度と表面温度の高温部検出箇所は殆ど同位置である。 	<p>廃棄物層内の熱移動は廃棄物が熱の媒質として一様ではないため、均一に等方向に伝熱拡散していると断定できない。そのため、温度分布には偏在性があると考えられる。</p>
赤外線カメラ 表面温度測定		<p>測定により識別した地表面温度の幅は 1~3℃であり、地表付近の植生被覆や日照、風向風速のノイズを受けるおそれがあり、測定温度の評価について注意が必要である。</p>
孔内温度測定	<ul style="list-style-type: none"> 孔内温度は 50℃前後が廃棄物中の有機物の発酵による蓄熱温度の平均であり、それ以上の温度では発酵以外の現象が生じている可能性がある。 測定温度と一般的な知見から b-31 深部では燃焼が生じていると判断する。 孔内温度の経時変化より、廃棄物内部の一部は温度上昇傾向にあり、b-31 の燃焼領域の拡大と空洞化が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> b-31 の孔底付近では約 600℃を測定している。 b-40 では孔の中間深度で約 85℃を測定している。 b-40 の測定温度については、有機物発酵の温度領域を超えており今後検討が必要であると考えられる。
伝熱解析	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼範囲 燃焼温度の定義 100℃とした場合、平面的には e-04~e-05 と e-18~e-19 の間付近、標高約 100~120m の範囲に 100℃以上の位置が含まれる。 	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼領域の温度について検討する必要がある。 実際の燃焼部分では、伝熱現象の他にガス移動等の熱移動があると推定されるので、伝熱現象に依存し解析した燃焼範囲は、現実の範囲よりも拡張した結果を示していると考えられる。

伝熱解析により、100℃以上を示す高温部の平面的な広がり、赤色の太線で示す範囲である。ただし、伝熱解析の与条件とした廃棄物層内温度測定結果は、伝熱現象を含めたガス対流現象等も含む複合的な現象を反映しているものであり、伝熱解析の結果が、現場の状況と完全に一致するものではない。

本業務の伝熱解析は、廃棄物層内の温度分布の測定結果を再現できる伝熱モデルを作成し、廃棄物層中の温度分布の範囲を推定した。ガス対流等による熱移動は伝熱移動よりも早く、広範囲になると考えれば、伝熱解析による高温部の推定は、本来の高温部の広がりよりも大きく判定されていると考える。

伝熱解析結果を用いて熱源位置を予測しているが、他の調査による検討を併せて補完することにより、推定精度を高めることは有効である。

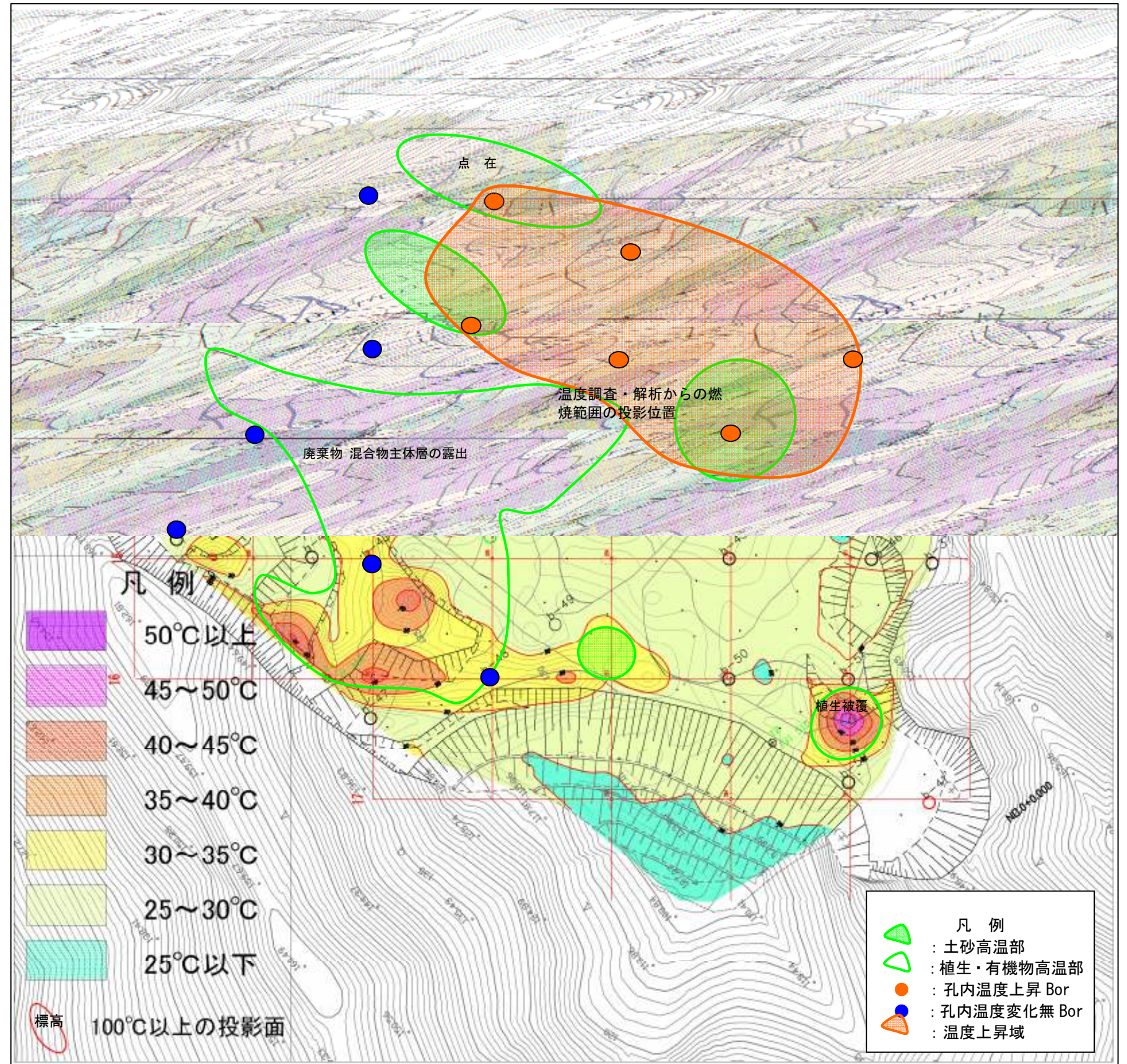


図 3-3-26 温度調査・温度解析のまとめ

3-2 他の調査結果との対比

本業務の温度調査と伝熱解析の結果について、他の調査と比較して検討する。

3-2-1 既往電気探査結果との関係

既往電気探査と今回の伝熱解析の結果を比較し、関連性を評価した。

2つの調査を比較して、ボーリング孔b-31を含む測線e-04において、温度と比抵抗との間に有意な関係が認められた。図3-4-1に温度と比抵抗値の重合図を示す。

電気探査には、鉄管等の憂慮導体の存在や、土中の乾燥状態は、比抵抗の測定に影響がある。そのため、電気探査は、ボーリングに用いる孔壁保護管の影響を心配し、ボーリング施工前に実施していた。

また、現地作業員から「過去(2004以前)に焼却炉の背後で火災を生じており、消火できず土砂で埋めた。」との聞き取り情報については、地中における低水分(乾燥)領域の存在を予見させるものである。しかし既往の電気探査結果解析の際には、乾燥条件による比抵抗の高さを考慮していなかった。

既往電気探査で高比抵抗を示した要因は、「温度上昇による含水低下ならびに間隙変化によるもの」と推察される。一般に比抵抗値の変化要因は、直接的な温度上昇とともに二次的な物性変化にも依存している。電気探査の高比抵抗部と伝熱解析の熱源部分は同じ領域を示している。

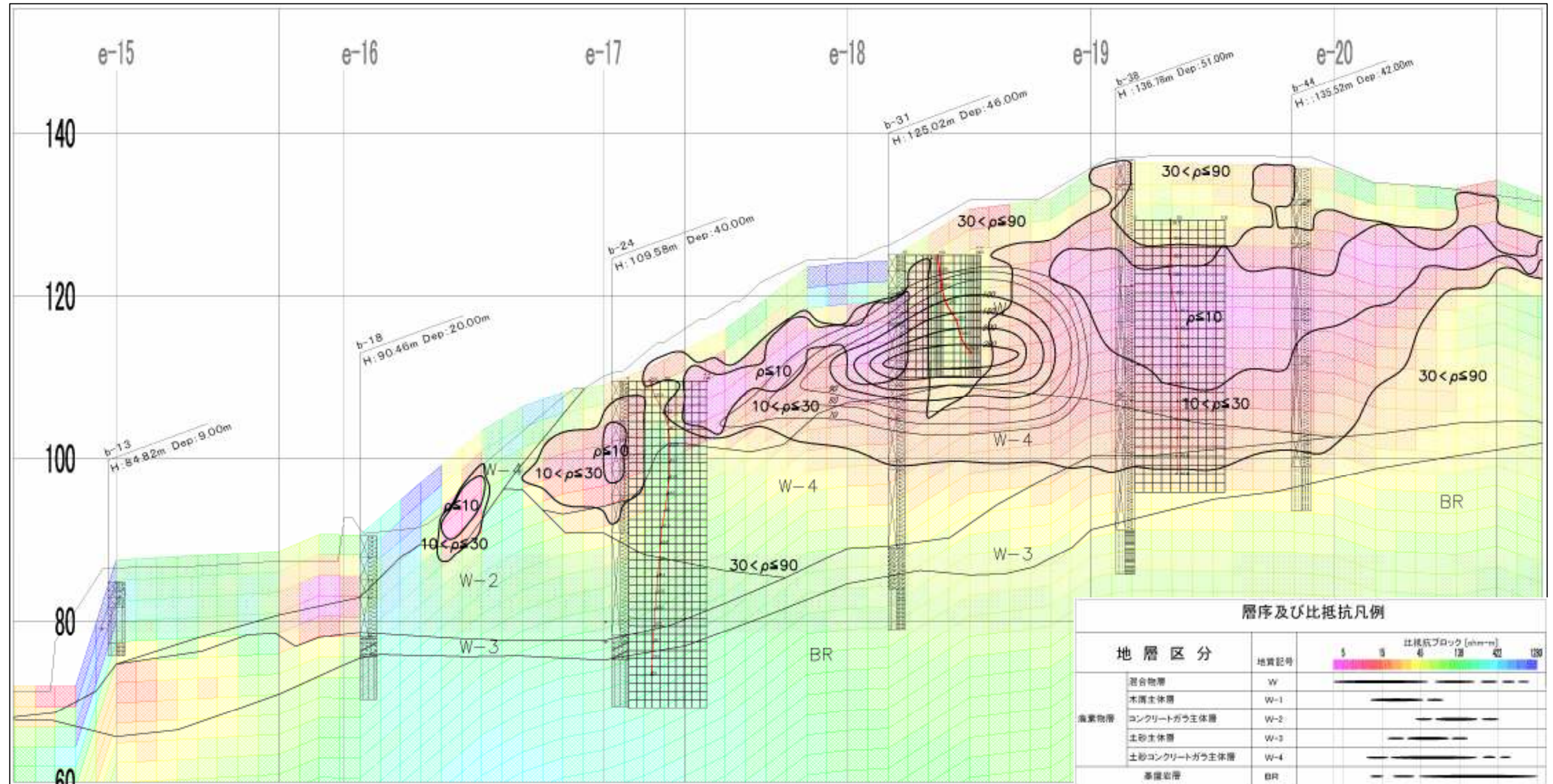


図 3-4-1 温度と比抵抗値の重合図

3-2-2 ガス調査結果との関係整理

別業務で実施されたガス調査の結果を用いて、熱源、燃焼に係わる要素を整理する。

表 3-4-1 中のガス温度・圧力ならびにガスの特成分について、それぞれの状況と分布を把握する。

表 3-4-1 ガス調査結果一覧表

調査地点	ガス温度 ℃	ガス圧 Pa	窒素 %	酸素 %	一酸化炭素		二酸化炭素 %	水素 %	硫化水素 ppm	窒素酸化物 ppm	硫黄酸化物 ppm	塩素 mg/m ³	炭化水素				塩化ビニル モノマー mg/m ³	ダイオキシン類	
					検知管 ppm	%							メタン		非メタン			12%換算 ng- TEQ/m ³ N	実測 ng- TEQ/m ³ N
													ppmC	%	ppmC	%			
B-01	46	9	63	1.8	<0.05	90	15	<0.1	360	7.2	1.3	<0.2	49000	4.9	111000	11.1	0.054	0.00095	0.0018
b-21	11	1	79	1.6	<0.05	90	12	<0.1	240	11	1.1	<0.2	20000	2	21000	2.1	0.028	0.00010	0.00022
b-22	14	2	79	21	<0.05	<1	<0.05	<0.1	0.043	11	<1	<0.2	4	0.0004	14	0.0014	0.019	0.0012	0.00013
b-23	42	52	77	20	<0.05	<1	0.42	<0.1	0.0010	5.0	<1	<0.2	<0.5	0.00005	14	0.0014	0.0019	0.012	0.0013
b-24	11	6	79	20	<0.05	<1	0.76	<0.1	0.030	8.3	<1	<0.2	110	0.011	110	0.011	0.0019	0.00047	0.000052
b-25	33	8	81	7.9	<0.05	10	8.4	<0.1	12	14	<1	<0.2	1200	0.12	1400	0.14	<0.0010	0.0018	0.0031
b-26	41	29	77	20	<0.05	1	0.16	<0.1	<0.0005	5.1	<1	<0.2	1	0.0001	9	0.0009	<0.0010	0.0039	0.00044
b-28	15	2	77	17	<0.05	<1	2.8	<0.1	0.0014	7.8	<1	<0.2	340	0.034	340	0.034	<0.0010	0.17	0.019
b-29	20	96	78	20	<0.05	<1	0.35	<0.1	0.044	8.0	<1	<0.2	2	0.0002	20	0.002	0.0012	0.18	0.020
b-30	50	81	78	20	<0.05	<1	0.37	<0.1	0.29	8.5	<1	<0.2	6	0.0006	22	0.0022	0.0018	0.064	0.0070
b-31	72	86	80	6.5	0.54	>500	8.6	<0.1	0.0054	9.3	1.9	<0.2	190	0.019	420	0.042	0.10	170	280
b-33	9	5	62	4.5	<0.05	150	14	<0.1	1900	10	<1	<0.2	54000	5.4	146000	14.6	0.016	0.0000044	0.0000079
b-34	26	6	63	1.7	<0.05	500	15	<0.1	2300	15	4.9	<0.2	52000	5.2	108000	10.8	0.032	0.000064	0.00014
b-35	7	5	78	20	<0.05	<1	0.28	<0.1	0.045	9.9	<1	<0.2	5	0.0005	15	0.0015	<0.0010	0.000016	0.0000017
b-36	49	23	78	1.7	<0.05	26	14	<0.1	71	8.9	<1	<0.2	12000	1.2	14000	1.4	0.011	0.00078	0.0019
b-38	41	2	43	1.4	<0.05	430	18	<0.1	1800	8.4	4.0	<0.2	62000	6.2	248000	24.8	0.19	0.0024	0.0052
b-40	12	0	78	20	<0.05	(50-100)	0.54	<0.1	0.033	8.9	<1	<0.2	2	0.0002	62	0.0062	0.026	0.00016	0.000054
b-43	44	8	42	1.2	<0.05	500	16	<0.1	5200	9.1	5.5	<0.2	63000	6.3	257000	25.7	0.21	0.000072	0.00015
b-44	15	1	78	21	<0.05	<1	0.26	<0.1	0.033	9.6	<1	<0.2	4300	0.43	5300	0.53	0.0071	0.000017	0.0000018
b-45	11	11	40	1.5	<0.05	27	17	<0.1	75	8.0	<1	<0.2	64000	6.4	256000	25.6	0.085	0.0000011	0.0000025
b-48	41	9	80	7.3	<0.05	7	7.7	<0.1	29	11	<1	<0.2	27000	2.7	31000	3.1	0.029	0.00021	0.00034
b-50	8	18	63	2.8	<0.05	35	12	<0.1	370	48	3.9	<0.2	59000	5.9	171000	17.1	0.20	0.0000022	0.0000047

3-2-3 ガスの温度と圧力

ボーリング孔で観測されたガス温度とガス噴出圧を表 3-4-2、図 3-4-2 に整理する。

ガスの温度と圧力は、概ね 50℃以下、30Pa 以下を示しており、個別には、以下の傾向が見られた。

- A: 温度:高 圧力:高:b-23、30、31
- B: 温度:低 圧力:高:b-29
- C: 温度:高 圧力:低:b-26、B-01、b-36、38、43
- D: 温度:低 圧力:低:b-21、22、24、28、33、35、40、44、45、48、50
- E: 当該しない:b-25、34

ガス測定のボーリング孔は、ほぼ 30mのグリッドで配置されており、データ配列をボーリング配置と同様にした。(表 3-4-3 参照)。

表 3-4-3 ガス温度と圧等一覧表 (位置整理)

測線		e-01	e-02	e-03	e-04	e-05	e-06	e-07
e-17	Bor	b-21	b-22	b-23	b-24	b-25	b-26	-
	ガス温度	11.2	14.4	41.8	10.7	32.9	41	-
	ガス圧	1	2	52	6	8	29	-
	最大温度	11.2	57.6	57.5	52.4	60.9	41	-
e-18	Bor	b-28	b-29	b-30	b-31	B-01	b-33	b-34
	ガス温度	15.2	19.9	50.4	72.2	46.1	8.8	26.1
	ガス圧	2	96	81	86	9	5	6
	最大温度	15.2	19.9	61.8	563.9	54.2	48	55.4
e-19	Bor	b-35	b-36	-	b-38	-	b-40	-
	ガス温度	7.3	48.8	-	41.1	-	11.9	-
	ガス圧	5	23	-	2	-	0	-
	最大温度	7.3	53.5	-	47.6	-	84.7	-
e-20	Bor	-	-	b-43	b-44	-	b-45	-
	ガス温度	-	-	44.4	15.3	-	11.1	-
	ガス圧	-	-	8	1	-	11	-
	最大温度	-	-	46.4	48.5	-	11.1	-
e-21	Bor	-	-	-	b-48	-	b-50	-
	ガス温度	-	-	-	40.6	-	8.4	-
	ガス圧	-	-	-	9	-	18	-
	最大温度	-	-	-	50.1	-	8.4	-

ex: 温度:高 圧:高 温度:低 圧:高 温度:高 圧:低 温度:低 圧:低 中間的

ボーリング孔の配置に準じて、ガス温度とガス圧の配列は、燃焼中心部と見られるb-31 孔を中心とする同心円状の配置が見られる。前項で伝熱解析により得た、熱源の中心位置と対比すると、高温ガスや高圧ガスの中心は、温度調査・伝熱解析結果より、やや西側にずれていると見られる。

ガス温度、ガス圧の測定結果を、図 3-4-3 に取りまとめて示す。

表 3-4-2 ガス温度と圧等一覧表

調査地点	ガス採取時		孔内温度等の最高温度 太字:ガス採取時温度 斜体:岐阜市観測 max-t(°C)	Bor深度 dep(m)
	ガス温度 G-t(°C)	ガス圧 G-pres(Pa)		
B-01	46.1	9	54.2	8
b-21	11.2	1	11.2	5
b-22	14.4	2	57.6	26
b-23	41.8	52	57.5	38
b-24	10.7	6	52.4	36
b-25	32.9	8	60.9	24
b-26	41	29	41.0	5
b-28	15.2	2	15.2	5
b-29	19.9	96	19.9	5
b-30	50.4	81	61.8	30
b-31	72.2	86	563.9	12
b-33	8.8	5	48.0	10
b-34	26.1	6	55.4	24
b-35	7.3	5	7.3	5
b-36	48.8	23	53.5	20
b-38	41.1	2	47.6	28
b-40	11.9	0	84.7	40
b-43	44.4	8	46.4	25
b-44	15.3	1	48.5	38
b-45	11.1	11	11.1	5
b-48	40.6	9	50.1	24

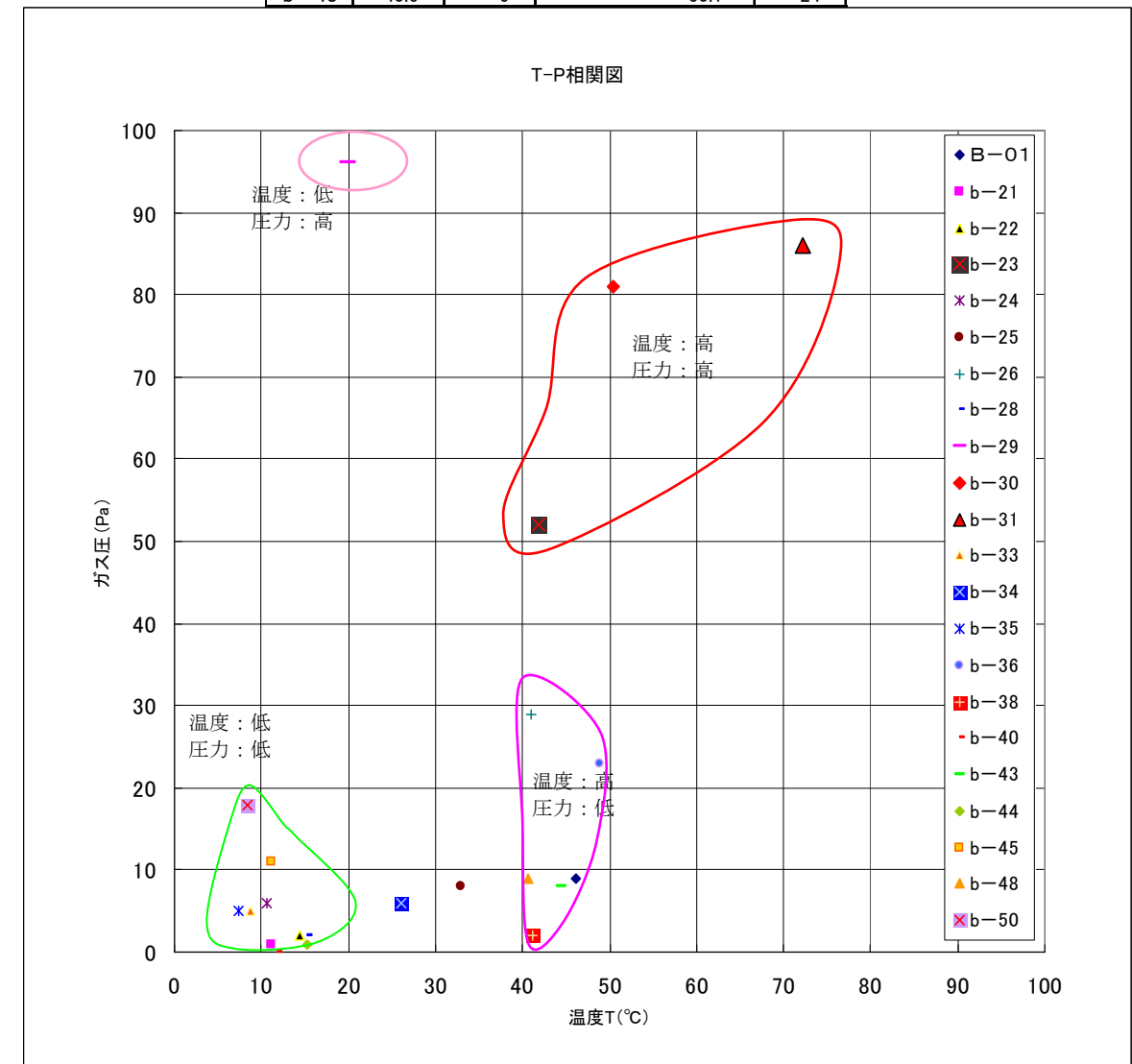


図 3-4-2 ガスの温度と圧力

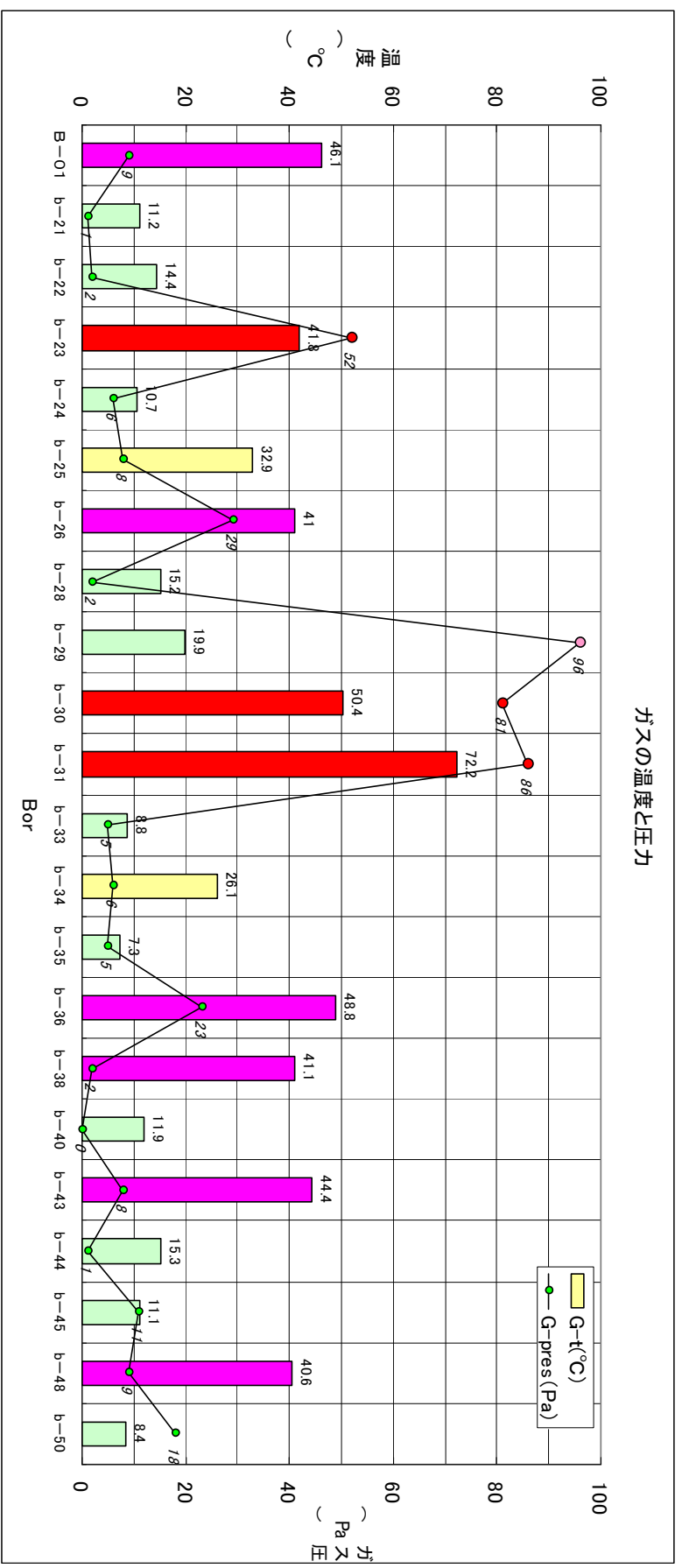
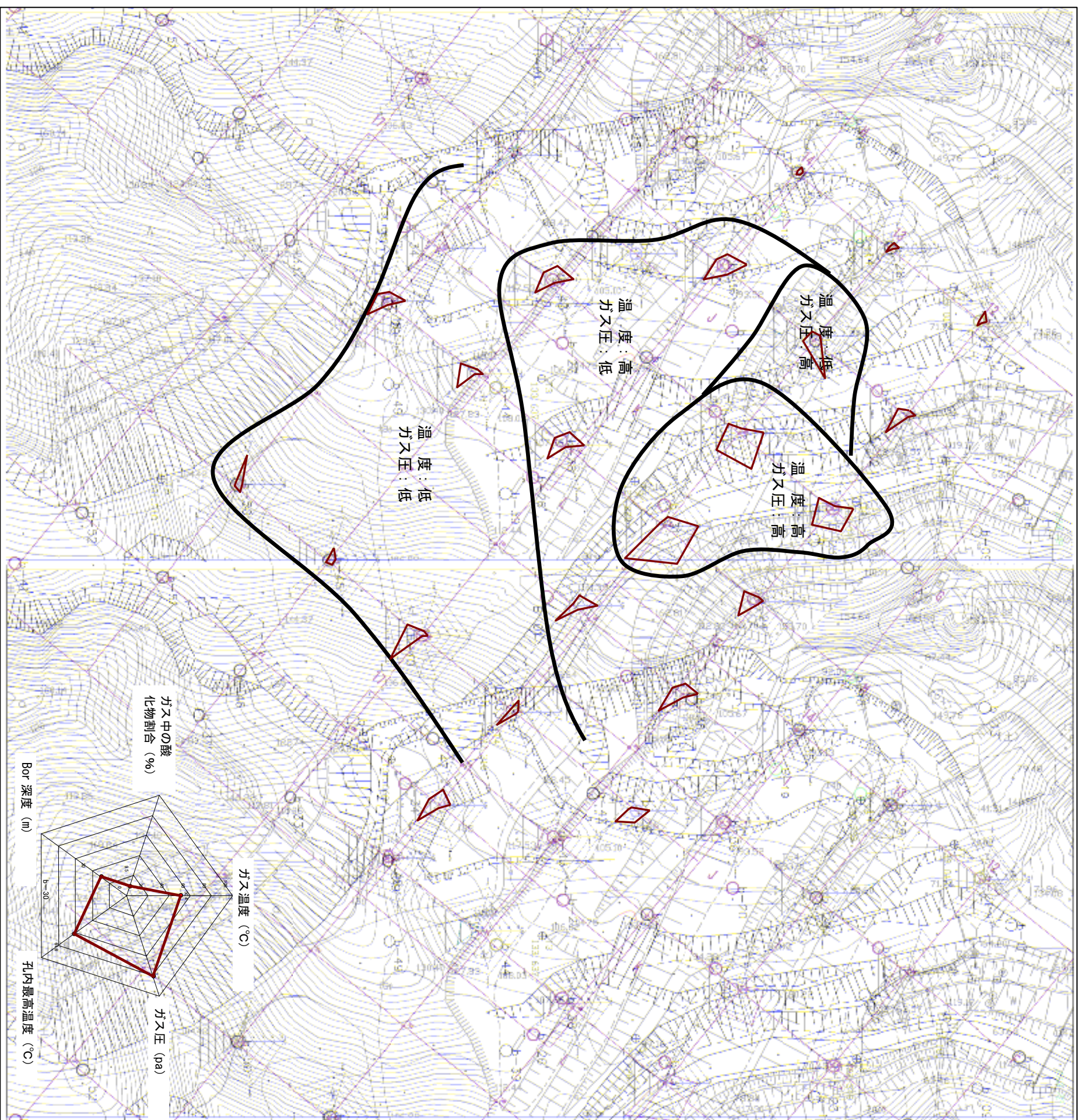


図 3-4-3 ガス温度と圧のまとめ

表 3-4-4 各ガスの割合

調査地点	各ガスの割合(%)						
	others	CO2	CO	C-H	H2	N2	O2
B-01	4.1	15.0	0.1	16.0	0.1	63.0	1.8
b-21	3.2	12.0	0.1	4.1	0.1	79.0	1.6
b-22	-0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	79.0	21.0
b-23	2.4	0.4	0.1	0.0	0.1	77.0	20.0
b-24	0.1	0.8	0.1	0.0	0.1	79.0	20.0
b-25	2.3	8.4	0.1	0.3	0.1	81.0	7.9
b-26	2.7	0.2	0.1	0.0	0.1	77.0	20.0
b-28	3.0	2.8	0.1	0.1	0.1	77.0	17.0
b-29	1.5	0.4	0.1	0.0	0.1	78.0	20.0
b-30	1.5	0.4	0.1	0.0	0.1	78.0	20.0
b-31	4.2	8.6	0.5	0.1	0.1	80.0	6.5
b-33	-0.7	14.0	0.1	20.0	0.1	62.0	4.5
b-34	4.1	15.0	0.1	16.0	0.1	63.0	1.7
b-35	1.6	0.3	0.1	0.0	0.1	78.0	20.0
b-36	3.6	14.0	0.1	2.6	0.1	78.0	1.7
b-38	6.4	18.0	0.1	31.0	0.1	43.0	1.4
b-40	1.3	0.5	0.1	0.0	0.1	78.0	20.0
b-43	8.6	16.0	0.1	32.0	0.1	42.0	1.2
b-44	-0.4	0.3	0.1	1.0	0.1	78.0	21.0
b-45	9.3	17.0	0.1	32.0	0.1	40.0	1.5
b-48	-1.0	7.7	0.1	5.8	0.1	80.0	7.3
b-50	-1.0	12.0	0.1	23.0	0.1	63.0	2.8

3-2-4 ガスの種別と分布位置

分析結果から、燃焼系ガスと非燃焼系ガスについて表 3-4-4、図 3-4-4 に整理する。

各試料について、酸素 O2、炭化水素 C-H、二酸化炭素 CO2(CO 含む)の存在比に着目して区分した。

- A: 酸素リッチ: b-22、23、24、26、28、29、30、35、**40、44**
- B: 炭化水素リッチ: —
- C: 二酸化炭素リッチ: b-21、36
- D: 炭化水素・二酸化炭素リッチ: B-01、b-33、34、38、43、45、50
- E: 混合状態: b-25、31、48

ガス採取はボーリング孔で行われており、ボーリング孔は、ほぼ 30mのグリッドに配置されていることからこれらデータをボーリング配置と同様に再配列させた(表 3-4-5 参照)。

燃焼発生しているb-31 孔付近より北側に酸素リッチ、南側に二酸化炭素と炭化水素がリッチなゾーンが形成されている傾向が見られた。また、南側では、繰り返して酸素リッチなゾーンが認められた。

北側の酸素リッチゾーンは、斜面部からの空気流入の影響と考えられる。一方、南側の酸素リッチゾーンは、両ボーリングの掘削深度は、約 40mであるため、廃棄物下層の水路に沿った空気流入を検出したものと考えられる。

ガス分布状況から、燃焼の影響を受けていると考えられる箇所は、混合状態をなすゾーンであり、隣接する二酸化炭素・炭化水素リッチゾーンへの二酸化炭素供給が行われているものと考えられる。

以上の結果を、図 3-4-3 取りまとめて示す。

表 3-4-5 ガス成分の区分 (位置整理)

測線		e-01	e-02	e-03	e-04	e-05	e-06	e-07
e-17	Bor	b-21	b-22	b-23	b-24	b-25	b-26	-
	O2	1.6	21.0	20.0	20.0	7.9	20.0	-
	C-H	4.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	-
	CO2	12.1	0.1	0.5	0.8	8.5	0.2	-
e-18	Bor	b-28	b-29	b-30	b-31	B-01	b-33	b-34
	O2	17.0	20.0	20.0	6.5	1.8	4.5	1.7
	C-H	0.1	0.0	0.0	0.1	16.0	20.0	16.0
	CO2	2.9	0.4	0.4	9.1	15.1	14.1	15.1
e-19	Bor	b-35	b-36	-	b-38	-	b-40	-
	O2	20.0	1.7	-	1.4	-	20.0	-
	C-H	0.0	2.6	-	31.0	-	0.0	-
	CO2	0.3	14.1	-	18.1	-	0.6	-
e-20	Bor	-	-	b-43	b-44	-	b-45	-
	O2	-	-	1.2	21.0	-	1.5	-
	C-H	-	-	32.0	1.0	-	32.0	-
	CO2	-	-	16.1	0.3	-	17.1	-
e-21	Bor	-	-	-	b-48	-	b-50	-
	O2	-	-	-	7.3	-	2.8	-
	C-H	-	-	-	5.8	-	23.0	-
	CO2	-	-	-	7.8	-	12.1	-

ex: O2 rich C-H rich CO2 rich C-H, CO2 rich mixed

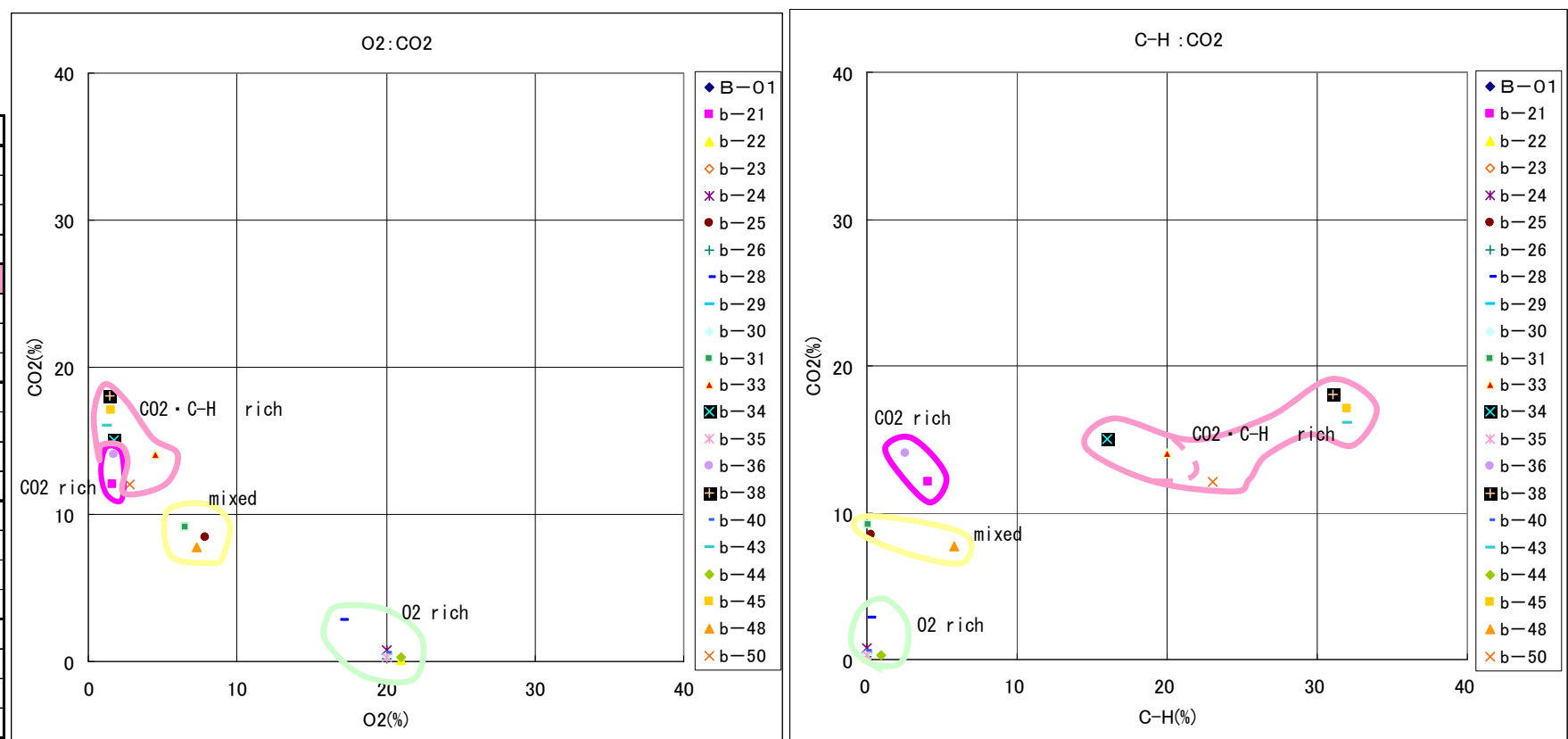


図 3-4-4 ガスの割合 左: 3-4-4 O2-CO2 右: CO2- C-H

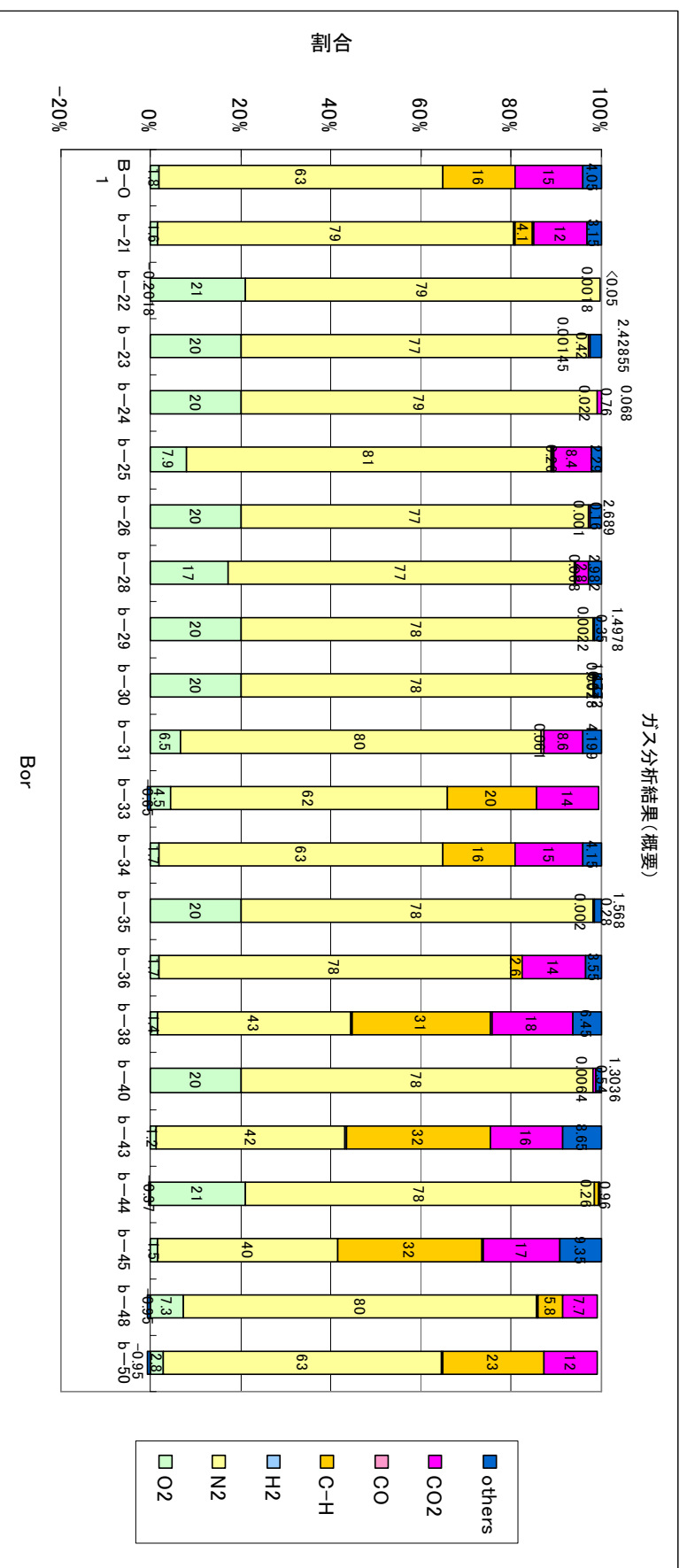
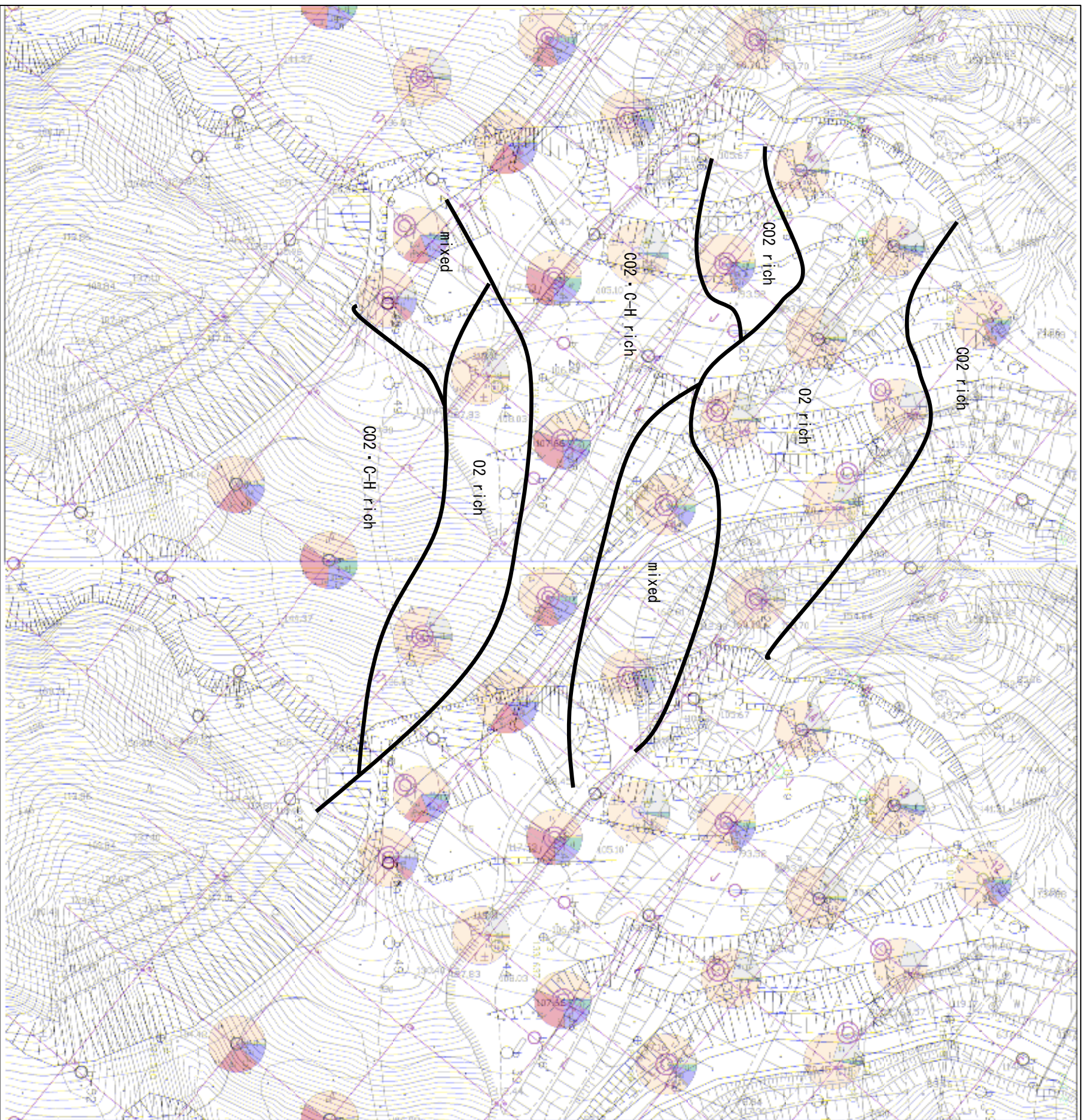


図 3-4-5 ガス分布のまとめ

3-2-5 メタンガス及び非メタン系ガスの分布

メタン及び非メタン系ガスについて平成18年9月、平成18年12月と平成17年1月の分析結果を併せて検討する。

3回の分析結果は、表3-4-5および図3-4-6に示すとおりである。また、メタンガス濃度および非メタン系ガス濃度に着目して整理した結果を図3-4-7～図3-4-10に示す。なお、メタンのみ分析した平成17年1月と平成18年9月、非メタン系ガスを併せて分析した平成18年12月では、サンプリング方法、分析機器が異なるため、グラフ整理を別にした。

分析結果の整理により、以下の点が読取れる。

図3-4-7より、非メタン系ガスが有意に検出される場所では、メタンよりも非メタン系ガスの濃度が高い。

図3-4-8より、メタンガス濃度の経時対比ができる b-36、b-38、b-43 では、濃度が上昇している。

図3-4-9より、メタンガス及び非メタン系ガスが検出される場所では、メタンガスの濃度上昇につれて非メタン系ガスの濃度も上昇している。ただし、上昇の傾向は、一様ではない。

図3-4-10より、燃焼部に近接する周縁部でメタンガス、非メタン系ガスとも濃度が高い。

図3-4-7と図3-4-8の対比により、各ボーリング孔の平成18年9月と12月のメタン濃度が大きく異なる。

分析結果について、考察を以下に述べる。

メタン、非メタン系とも高濃度で検出される場所では、発酵に加えて熱分解による非メタン系ガスの生成が活発に進行しているものとする。一方、両ガス成分の濃度が低く検出される場所では、ガス発生の活性度が低く、発酵優先の現象が進行していると考えられる。

異なる現象の分布を図3-4-10に赤丸○および青丸○で示した。燃焼の中心部である b-31 では、炭化水素系ガスは燃焼してしまい残存していないが、燃焼の周辺部では燃焼温度の伝熱により、非メタン系ガスの生成が活発に進行しているものと考えられる。

それぞれの平成18年9月と12月のメタン濃度が大きく異なる原因は、サンプリング操作および分析に供する機器が異なるために発生したと考える。非メタン系ガス濃度を分析するためには、サンプリングボリュームが大きくなり、所要時間やサンプリング操作の過程で9月と12月の再現性が低下したものと推定する。今後のモニタリング調査においては、メタンおよび非メタン系ガス分析に関する再現性の確保を十分に把握して作業計画を立てなければならない。

ガス調査分析結果 一覧表

調査地点	井戸形態	調査日	ガス温度 ℃	窒素 %	酸素 %	二酸化炭素 %	炭化水素			
							メタン		非メタン	
							ppmC	%	ppmC	%
B-01	G	H18.9	44.4	56	1.3	18	—	22	—	—
		H18.12	46.1	63	1.8	15	49000	4.9	111000	11.1
b-21	G	H17.1	28.8	77	1.9	13	—	7.4	—	—
		H18.12	11.2	79	1.6	12	20000	2.0	21000	2.1
b-22	W	H18.12	14.4	79	21	<0.05	4	0.0004	14	0.0014
b-23	W	H18.9	47.2	78	19	0.79	—	<0.05	—	—
		H18.12	41.8	77	20	0.42	<0.5	0.00005	14	0.0014
b-24	W	H18.12	10.7	79	20	0.76	110	0.011	110	0.011
b-25	G	H17.1	45.8	76	3.2	11	—	6.0	—	—
		H18.12	32.9	81	7.9	8.4	1200	0.12	1400	0.14
b-26	G.W	H17.1	41.8	77	21	0.16	—	<0.05	—	—
		H18.12	41.0	77	20	0.16	1	0.0001	9	0.0009
b-28	G.W	H17.1	23.9	63	10	11	—	13.0	—	—
		H18.12	15.2	77	17	2.8	340	0.034	340	0.034
b-30	G.W	H17.1	57.6	78	20	0.71	—	<0.05	—	—
		H18.9	57.2	77	19	0.88	—	<0.05	—	—
		H18.12	50.4	78	20	0.37	6	0.0006	22	0.0022
b-31	W	H18.9	75.2	80	3.5	12	—	0.45	—	—
		H18.12	72.2	80	6.5	8.6	190	0.019	420	0.042
b-33	G	H17.1	50.7	58	1.3	16	—	21	—	—
		H18.12	8.8	62	4.5	14	54000	5.4	146000	14.6
b-34	G.W	H17.1	53.3	73	1.5	14	—	11	—	—
		H18.12	26.1	63	1.7	15	52000	5.2	108000	10.8
b-35	W	H18.12	7.3	78	20	0.28	5	0.0005	15	0.0015
b-36	G.W	H17.1	42.9	83	1.6	11	—	2.2	—	—
		H18.9	51.5	75	1.5	14	—	6.6	—	—
		H18.12	48.8	78	1.7	14	12000	1.2	14000	1.4
b-38	G	H17.1	45.7	53	1.0	18	—	23	—	—
		H18.9	41.6	42	1.0	20	—	36	—	—
b-40	W	H18.9	19.9	85	2.6	11	—	0.09	—	—
		H18.12	11.9	78	20	0.54	2	0.0002	62	0.0062
b-43	G.W	H17.1	45.4	29	0.6	19	—	40	—	—
		H18.9	43.8	29	1.4	21	—	46	—	—
		H18.12	44.4	42	1.2	16	63000	6.3	257000	25.7
b-44	W	H18.12	15.3	78	21	0.26	4300	0.43	5300	0.53
b-45	G	H18.12	11.1	40	1.5	17	64000	6.4	256000	25.6
b-48	G.W	H17.1	44.2	75	1.6	13	—	9.7	—	—
		H18.12	40.6	80	7.3	7.7	27000	2.7	31000	3.1
b-50	W	H18.12	8.4	63	2.8	12	59000	5.9	171000	17.1

注) G:ガス管仕上げ、W:井戸仕上げ

表 3-4-5

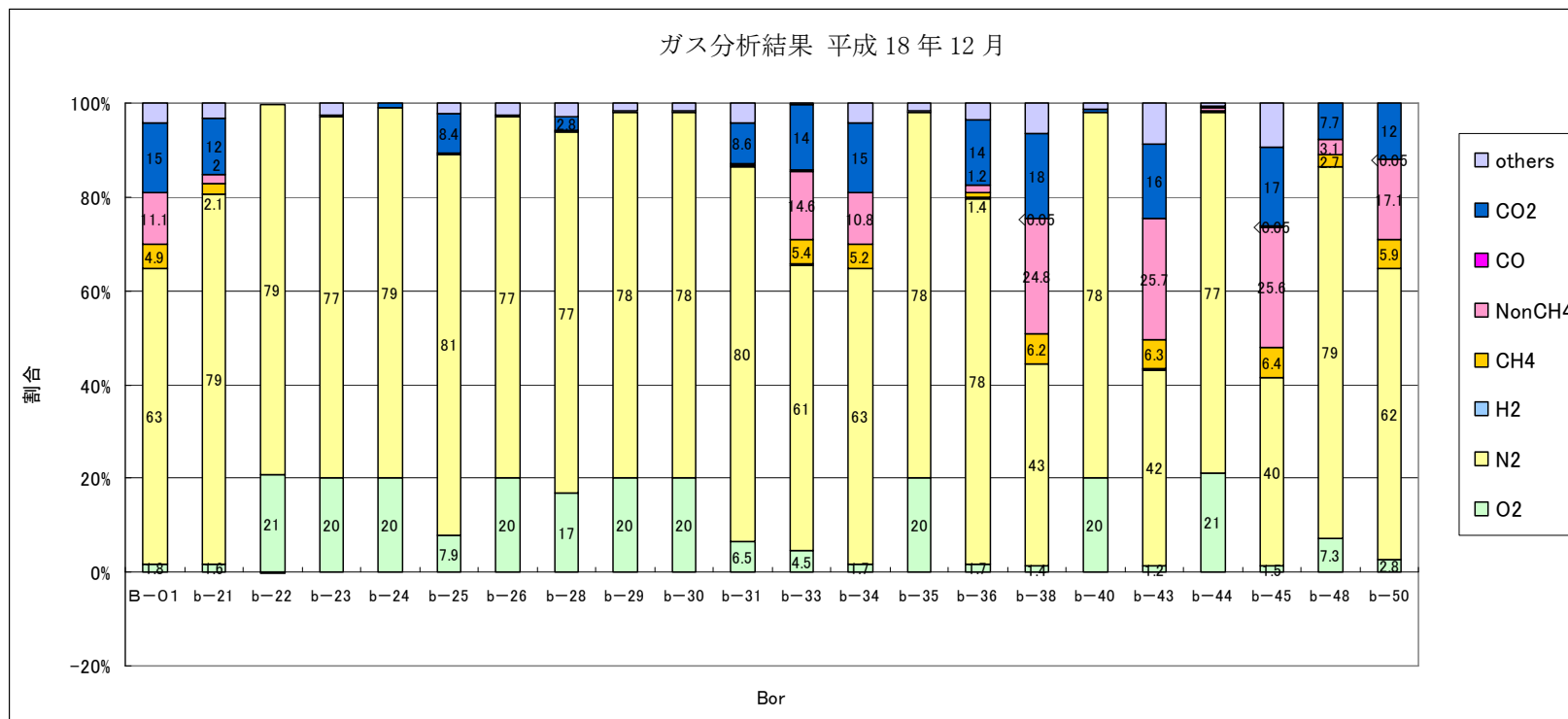


図 3-4-6

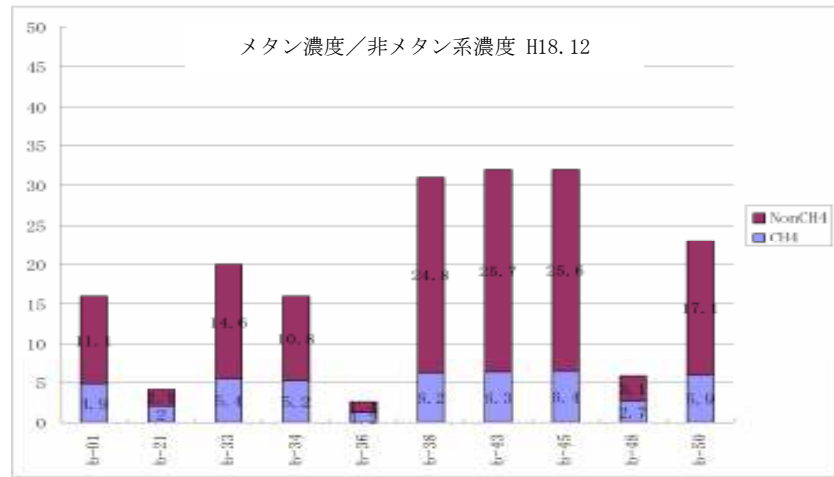


図 3-4-7

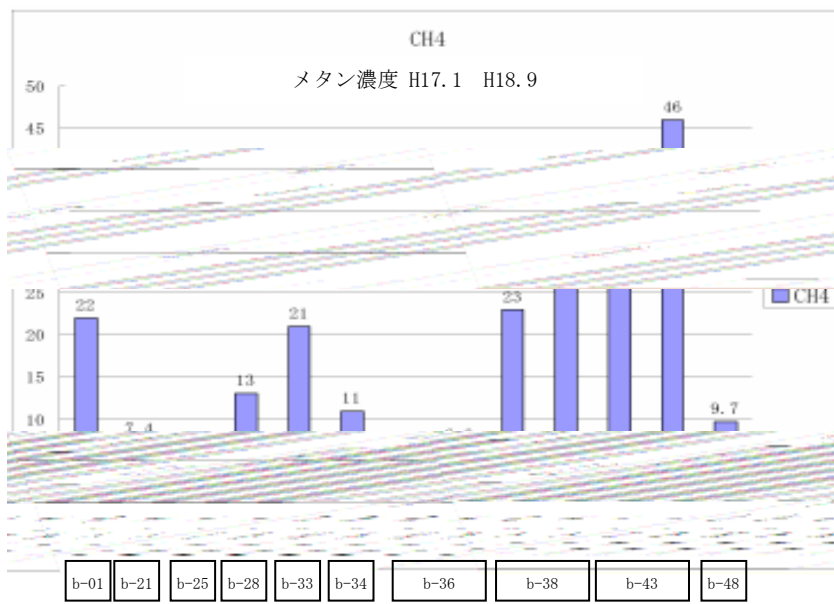


図 3-4-8

メタンガス：非メタン系ガスの対比/平成 18 年 12 月

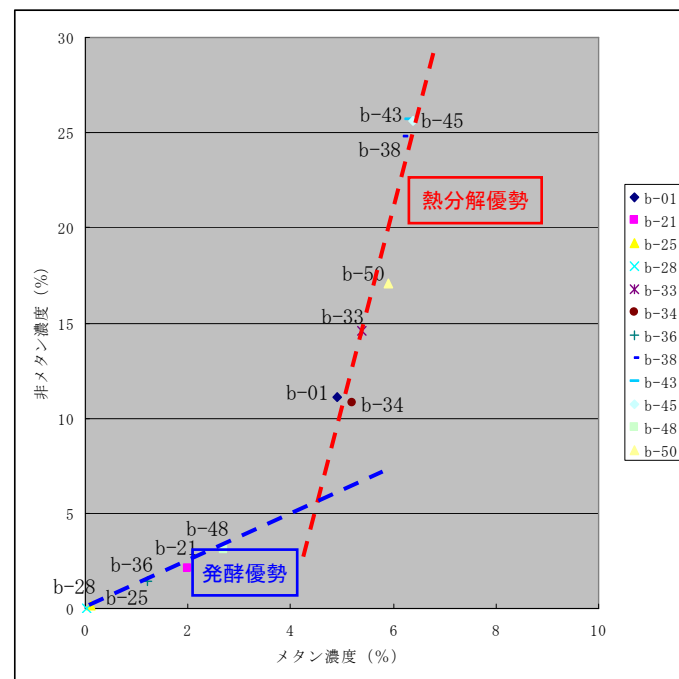


図 3-4-9

メタンガス/非メタン系ガス 分布図 (H18.12)

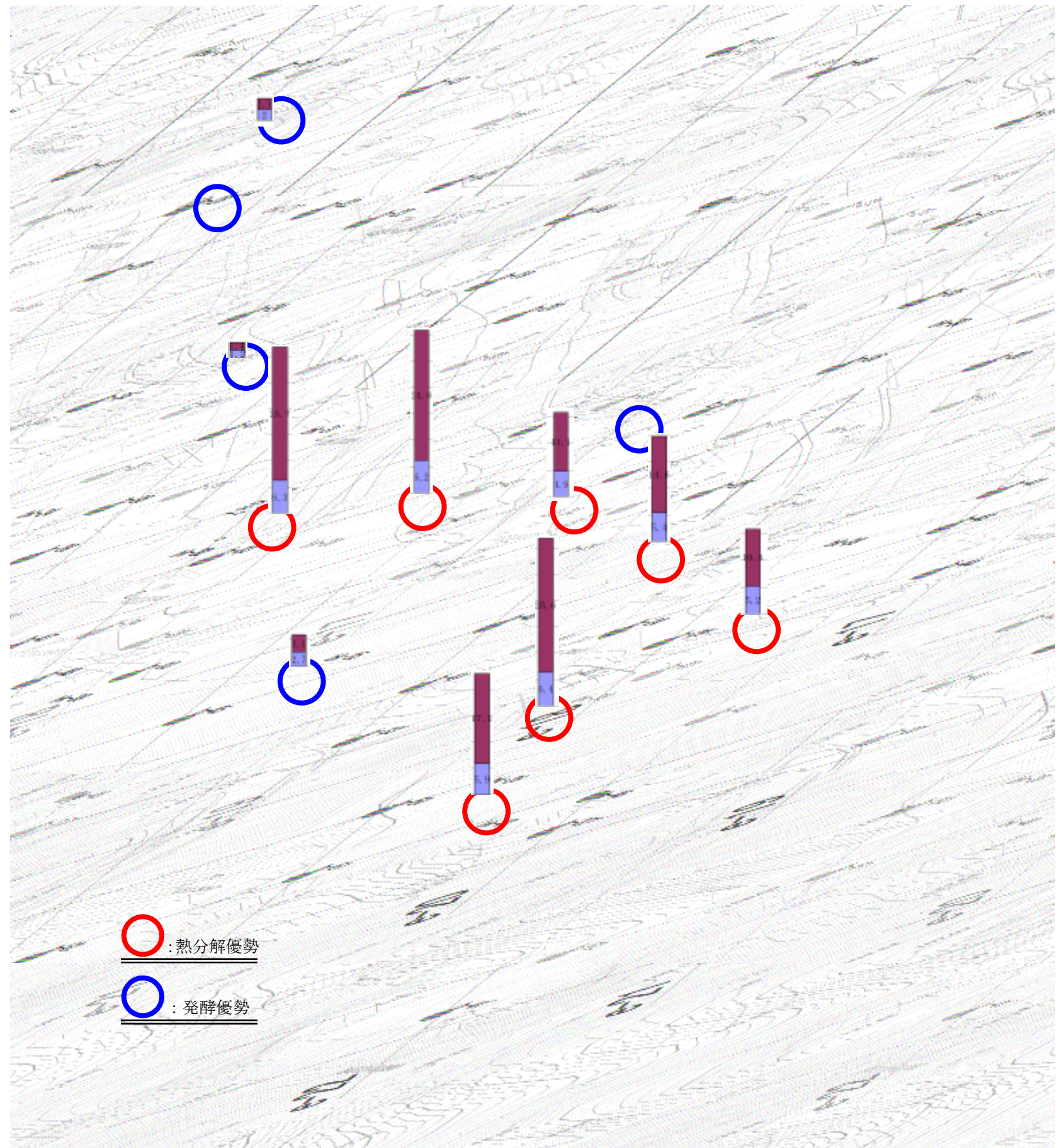


図 3-4-10

3-3 燃焼メカニズムの推定

3-3-1 廃棄物の温度分布、ガス成分、地中比抵抗概況

廃棄物の表面温度は、外気温の影響を受けて変動している。土砂被覆された廃棄物が掘削により露出している箇所は表面温度は周囲より高い。地中部（地表下 1.0m 付近）の温度は、40°C～60°C を示す。メタンガスの発生が確認されており、嫌気性発酵の進行が推定される。地中深部では、著しい高温（80°C～500°C）を示す領域がある。二酸化炭素、一酸化炭素の発生が確認されており、燃焼の進行が推定される。

3-3-2 燃焼メカニズムの推定

既往の調査結果、資料の整理及び文献調査を実施し、現場の混合物主体層における発熱のメカニズムから燃焼にいたるメカニズムまでを推定した。

一般に燃焼は、空中で炎を上げて燃える現象を指す。本現場においては、堆積した廃棄物の内部で著しい高温を示す領域の存在が確認されており、堆積物の内部では、可燃物の燃焼が進行していると推定する。ただしこの燃焼は、廃棄物や土砂で被覆された内部深くで進行しており、空気（酸素）の供給が制約された不完全燃焼であると推定される。観測ボーリング孔で測定する発生ガス中には、一酸化炭素が検出されており、不完全燃焼を裏付けるものがある。

不法投棄された廃棄物が燃焼に至る過程は一概ではないと推測される。本現場における燃焼は、廃棄物の中でも、既往の廃棄物分布調査で判明した、混合廃棄物層（木質系廃棄物の優先部）において進行している。そのため、燃焼は、廃棄物層中に木質系廃棄物が卓越する部分の燃焼であると推定する。

木質系素材の発火温度は、一般に次のようにされている。

燃焼に必要な最低温度である「発火点」（丸善 理科年表より）

木材	400 ～ 470°C
木炭	320 ～ 400°C
泥炭	225 ～ 280°C

これは開放系における発火温度である。本現場においては、堆積した廃棄物の層厚が 40～50m に達しており、圧密による加圧条件が加わり、更に内部発熱は外部と遮断されて蓄熱が容易に進行する条件になっていると考えられる。

木材チップ等の可燃物の集積場では、消防火法に基づく条例等により、集積高さ（堆積厚さ）を 5m 以下とするように定められている。これは、内部で発生する熱の放熱が困難となる高さを示しており、5m を超えるような層厚では、発熱量が放熱量を上回り、内部蓄熱による温度上昇の継続が起ることになる。

堆積された木材チップ等は空気が遮断されるために嫌気発酵による発熱を生じる。堆積状況により発熱量が放熱量を上回ると、嫌気発酵の進行に伴い内部温度が上昇する。しかし、嫌気発酵は微生物活動によるものであり、嫌気性微生物の至適温度を超えると生物活性度が低下し発熱は徐々に低下し、一定の水準で発酵と温度上昇がバランスして定常状態となる。

一般に高温嫌気発酵の至適温度は50～60℃前後である。
嫌気発酵により60℃まで温度上昇した木材チップ等は、木材内部の脂肪酸活性が高まり、酸化反応に伴う発熱により更に温度が上昇する可能性がある。脂肪酸の酸化による温度上昇が100℃を超えると、木材内部および周辺の水分が水蒸気化して乾燥状態となるため、自然発火する現象が生じる。

本現場における不法投棄廃棄物の堆積状況は、混合廃棄物層に限っても層厚が最大部で40mほどある。土砂層との互層になっており、また、廃棄物中に土砂が混じっている点では発火燃焼の妨害条件もあるが、自然発火が生じて燻焼状態となることが推定される。燃焼に至るプロセスを模式図として示す。

