

JNC TJ7420 2002-002

花崗岩地域を対象とした  
高密度電気探査による地質構造調査  
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2002 年 3 月

株式会社ダイヤコンサルタント

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2002

JNC TJ7420 2002-002

花崗岩地域を対象とした  
高密度電気探査による地質構造調査  
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2002 年 3 月

株式会社ダイヤコンサルタント

2002 年 3 月

花崗岩地域を対象とした高密度電気探査による地質構造調査  
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

杉本芳博<sup>※1</sup>, 山田直之<sup>※1</sup>

要旨

東濃地科学センターで実施している「広域地下水流動調査」における地質構造調査の一環として、岩盤中のリニアメントなどの不連続構造と比抵抗構造（比抵抗分布）の関係を明らかにすること、および地質構造調査における高密度電気探査の有効性を確認することを目的として、花崗岩分布域において高密度電気探査を実施した。調査により得られた地下の比抵抗分布と既存の地質調査、リニアメント調査、試錐孔調査などのデータとの比較により、以下の成果を得た。

1. 本調査地域の比抵抗構造は次の4つの領域に概ね区分できる。  
①50～800  $\Omega m$  の低比抵抗領域、②200～2000  $\Omega m$  の中程度の比抵抗領域、③2000  $\Omega m$  以上の高比抵抗領域、④測線 400～550m 区間深部の 100～300  $\Omega m$  の低比抵抗領域。
2. ④の低比抵抗領域は、既存資料では相当する地質構造は認められていない。
3. 既存資料との比較により、比抵抗構造と地質が概ね対応することが確認できた。
4. 既存のリニアメント位置に相当する個所では小規模な低比抵抗帯が認められる。
5. ④の低比抵抗領域についてシミュレーション検討を行った。その結果、幅の狭い低比抵抗帯が解析断面に広い比抵抗領域を示す可能性のあることが分かった。

今回の調査結果では、岩盤の不均質性や不連続構造の可能性のある比抵抗分布が顕著に示されており、花崗岩を対象とした地質構造調査手法としての高密度電気探査の有効性が示されたと考えられる。

---

本報告書は、株式会社ダイヤコンサルタントが核燃料開発サイクル機構との契約により実施した業務研究に関するものである。

契約番号：1306A01352 契約件名：花崗岩を対象とした高密度電気探査による地質構造調査  
機構担当課室：東濃地科学センター地質環境特性研究グループ 松岡稔幸

\* 1：株式会社ダイヤコンサルタント ジオテクニカル事業部物理探査グループ

Geological Survey by High Resolution Electrical Survey on Granite Areas  
(Contract business report with Japan Nuclear Cycle Development)

Yoshihiro SUGIMOTO<sup>\*1</sup>, Naoyuki YAMADA<sup>\*1</sup>

Abstract

As an integral part of the geological survey in "The study of the regions ground water flow system" that we are carrying out with Tono Geoscience Center, we proved the relation between the uncontinuation structure such as lineament in the base rock and resistivity structure (resistivity distribution), for the purpose of that confirms the efficacy of the high resolution electrical survey as geological survey, we carried out high resolution electrical survey on granite area. We obtained the following result, by the comparison of resistivity distribution with established geological survey, lineament analysis and investigative drilling.

1. The resistivity structure of this survey area is almost able to classify it into the following four range. ①The low resistivity range of  $50\sim 800\Omega\text{m}$ , ②The resistivity range like the middle of  $200\sim 2000\Omega\text{m}$ , ③The high resistivity range of  $2000\Omega\text{m}$  over, ④The low resistivity range of depth of the survey line  $400\sim 550\text{m}$  section.
2. The low resistivity range of ④ that correspond with the established geological data is not admitted.
3. It was confirmed that resistivity structure almost correspond to geological structure by the comparison with the established data.
4. The small-scale low resistivity area is admitted in the point equivalent to the lineament position of established.
5. We carried out it with the simulation method about the low resistivity range of ④. As a result, it understood that it has the possibility that the narrow ratio low resistivity area is shown as the wide ratio resistivity range in the analysis section.

In the survey in this time, it is conceivable that the resistivity distribution with the possibility of the unhomogeneous and uncontinuation structure of the base rock is being shown conspicuously, the efficacy of the high resolution resistivity survey as geological survey on granite was shown.

---

This work was performed by Dia Consultants Co.,Ltd under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: Geoscience Reserch Group Tono Geoscience Center Toshiyuki MATSUOKA

\* 1 : Dia Consultants Co.,Ltd., Geophysical Department.

## 目次

|                  |    |
|------------------|----|
| 1. はじめに          | 1  |
| 1.1 件名           | 1  |
| 1.2 調査目的         | 1  |
| 1.3 調査対象         | 1  |
| 1.4 調査場所         | 1  |
| 1.5 調査期間         | 1  |
| 1.6 作業内容         | 1  |
| 1.7 業務実施体制       | 2  |
| 1.8 現場作業工程       | 3  |
| 2. 比抵抗2次元探査の概要   | 7  |
| 2.1 比抵抗とは        | 7  |
| 2.2 比抵抗探査の原理     | 9  |
| 2.3 作業手順         | 11 |
| 2.4 測定           | 11 |
| 2.5 解析           | 15 |
| 3. 現地測定          | 18 |
| 3.1 電極の設置        | 18 |
| 3.2 測定           | 18 |
| 4. データ解析         | 24 |
| 4.1 有限要素法メッシュの作成 | 24 |
| 4.2 見かけ比抵抗の計算    | 24 |
| 4.3 逆解析          | 24 |
| 5. 比抵抗断面の解釈      | 30 |
| 5.1 地形地質概要       | 30 |
| 5.2 比抵抗断面の解釈     | 31 |
| 6. シミュレーションによる検討 | 36 |
| 6.1 シミュレーションの手順  | 36 |
| 6.2 シミュレーションー1   | 36 |
| 6.3 シミュレーションー2   | 38 |
| 7. 考察            | 40 |
| 8. 今後の調査に対する提案   | 42 |
| 9. おわりに          | 43 |
| 10. 参考文献         | 44 |

## 図 目次

|        |                              |    |
|--------|------------------------------|----|
| 図-1.1  | 調査場所周辺のリニアメント図               | 4  |
| 図-1.2  | 測線位置図                        | 5  |
| 図-1.3  | 測線地形断面図（水平：1/2500、垂直 1/1000） | 6  |
| 図-2.1  | 比抵抗概念図                       | 7  |
| 図-2.2  | 諸要因の比抵抗値に与える影響               | 8  |
| 図-2.3  | 各種岩石の比抵抗                     | 8  |
| 図-2.4  | 比抵抗探査の測定概念図                  | 9  |
| 図-2.5  | 比抵抗2次元探査の測定概念図               | 10 |
| 図-2.6  | 作業手順図                        | 11 |
| 図-2.7  | 測定手順図                        | 13 |
| 図-2.8  | 交代直流による測定の概念図                | 14 |
| 図-2.9  | 比抵抗探査の解析流れ図                  | 15 |
| 図-2.10 | 2次元、2.5次元解析モデルの比較            | 17 |
| 図-3.1  | 測線周辺状況図                      | 21 |
| 図-3.2  | 見掛け比抵抗S-Rマップ                 | 22 |
| 図-3.3  | 減衰曲線                         | 22 |
| 図-3.4  | フィルター処理結果                    | 23 |
| 図-4.1  | 有限要素法メッシュ図                   | 25 |
| 図-4.2  | 見掛け比抵抗断面図                    | 26 |
| 図-4.3  | 残差プロット図                      | 27 |
| 図-4.4  | 比抵抗探査 解析結果(S=1/2000)         | 28 |
| 図-4.5  | 見掛け比抵抗擬似断面図                  | 29 |
| 図-5.1  | 調査場所周辺の活断層図                  | 33 |
| 図-5.2  | 地質、リニアメント図(S=1/2000)         | 34 |
| 図-5.3  | 比抵抗区分図(S=1/2000)             | 35 |
| 図-6.1  | シミュレーション結果－1 (S=1/2000)      | 37 |
| 図-6.2  | シミュレーション結果－2 (S=1/2000)      | 39 |
| 図-7.1  | 総合考察図 (S=1/2000)             | 41 |

## 表 目次

|       |                 |    |
|-------|-----------------|----|
| 表-1.1 | 現場作業工程表         | 3  |
| 表-3.1 | 接地抵抗を改善した測点 一覧表 | 18 |
| 表-3.2 | 測定機器一覧          | 20 |
| 表-4.1 | 有限要素法メッシュデータ    | 24 |
| 表-5.1 | DH-9 孔 岩層区分     | 31 |

## 付録一覧

|      |                     |
|------|---------------------|
| 付録-1 | 現場写真                |
| 付録-2 | デジタルデータファイルフォーマット一覧 |

## 1. はじめに

### 1.1. 件名

花崗岩地域を対象とした高密度電気探査による地質構造調査

### 1.2. 調査目的

東濃地科学センターで実施している「広域地下水流動調査」における地質構造調査の一環として、花崗岩分布域において高密度電気探査を実施した。本調査の目的は以下に示す2点である。

- (1) 調査により得られた地下の比抵抗分布と既存の地質調査、物理探査、試錐孔調査などのデータとの比較によって、花崗岩中のリニアメントなどの不連続構造と比抵抗構造との関係を明らかにする。
- (2) 花崗岩を対象とした地質構造調査における高密度電気探査の有効性を確認する。

### 1.3. 調査対象

本調査は、図-1.1に示すようにサイクル機構において地下水流動を規制している可能性にある不連続構造として抽出されている瑞浪市日吉町付近のNW-SE系のリニアメントを対象として実施する（三枝他、2001）。

### 1.4. 調査場所

岐阜県瑞浪市日吉町常柄

測線位置を図-1.2、測線地形断面図を図-1.3に示す。

### 1.5. 調査期間

平成14年1月31日～平成14年3月15日

### 1.6. 作業内容

- (1) 調査実施に必要な事前作業

調査測線沿いの下草刈り

測線設定（簡易測量）

- (2) データの取得

## ①測定方法

2 極法による比抵抗 2 次元探査

## ②測定仕様

測線長：550m

電流電極間隔：5m

電位電極間隔：5m

電極隔離係数：1～30深度。ただし12～30深度は間引いて（14,16・・・30の偶数深度のみ）

測定した。また、逆測定を行った。

今回計画した測線長は500mであったが、現地測定において低比抵抗の領域が測線の終点側（北東側）で認められたため、その分布を把握（追跡）するために50m追加し、550mの測定を行った。

## 1.7. 業務実施体制

### (1)計画・監督

核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター

### (2)実施体制

株式会社 ダイヤコンサルタント

ジオテクニカル事業部

物理探査グループ

埼玉県さいたま市吉野町2-272-3

TEL:048-654-3382

担当

主任技術者：杉本芳博（理学博士）

現場代理人：山田直之

## 1.8. 現場作業工程

現場での作業工程表を表-1.1に示す。

表-1.1 現場作業工程表

| 作業日   | 作業内容                                |
|-------|-------------------------------------|
| 2月13日 | 測量、遠電極およびケーブル設置                     |
| 2月14日 | 電極、本線、中継線設置、測定（0～75m）               |
| 2月15日 | 測定（80～315m）                         |
| 2月16日 | 追加測線測量、電極、本線、中継線設置、<br>測定（320～550m） |
| 2月17日 | 撤収                                  |

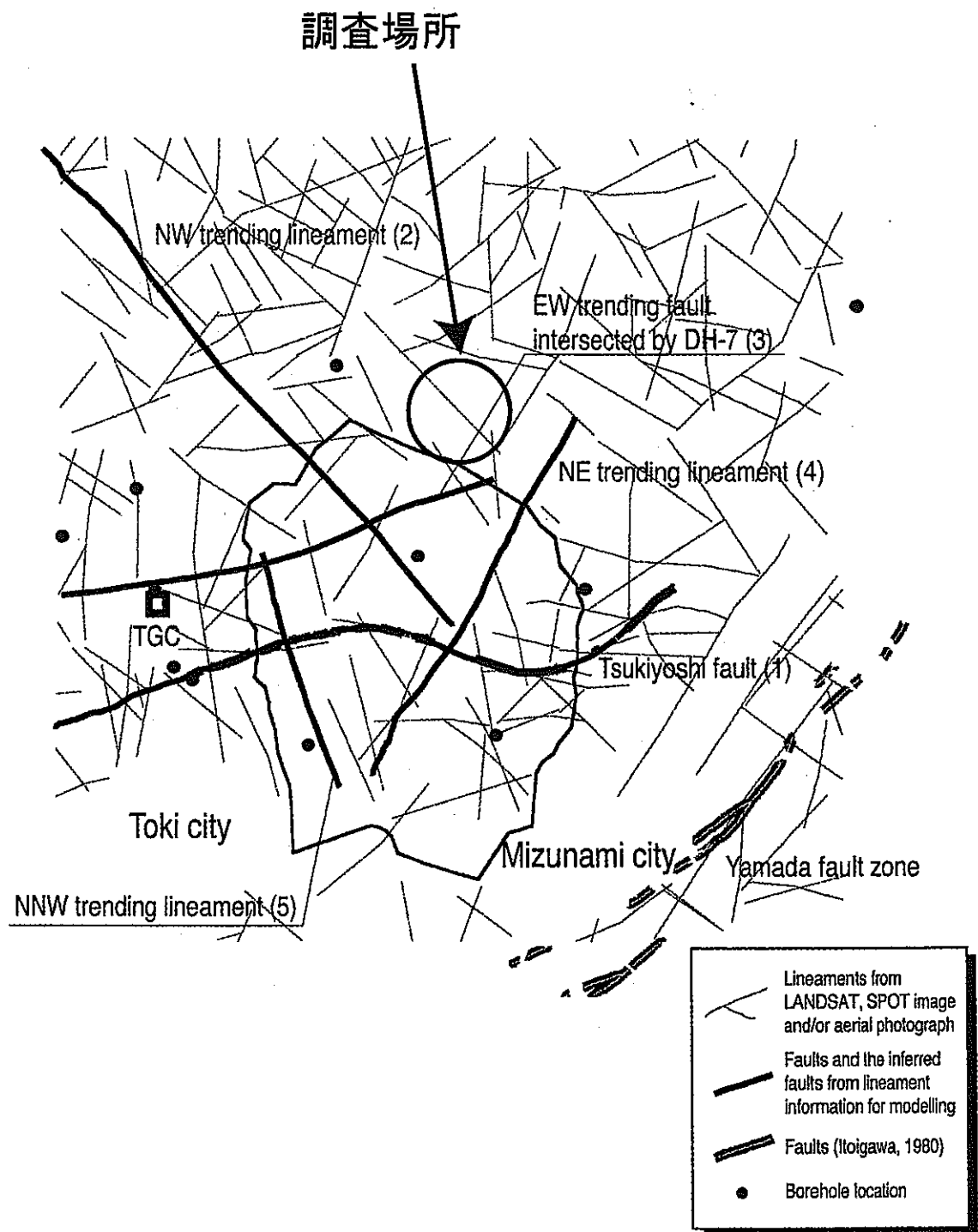


図-1.1 調査場所周辺のリニアメント図  
(三枝他、2001)

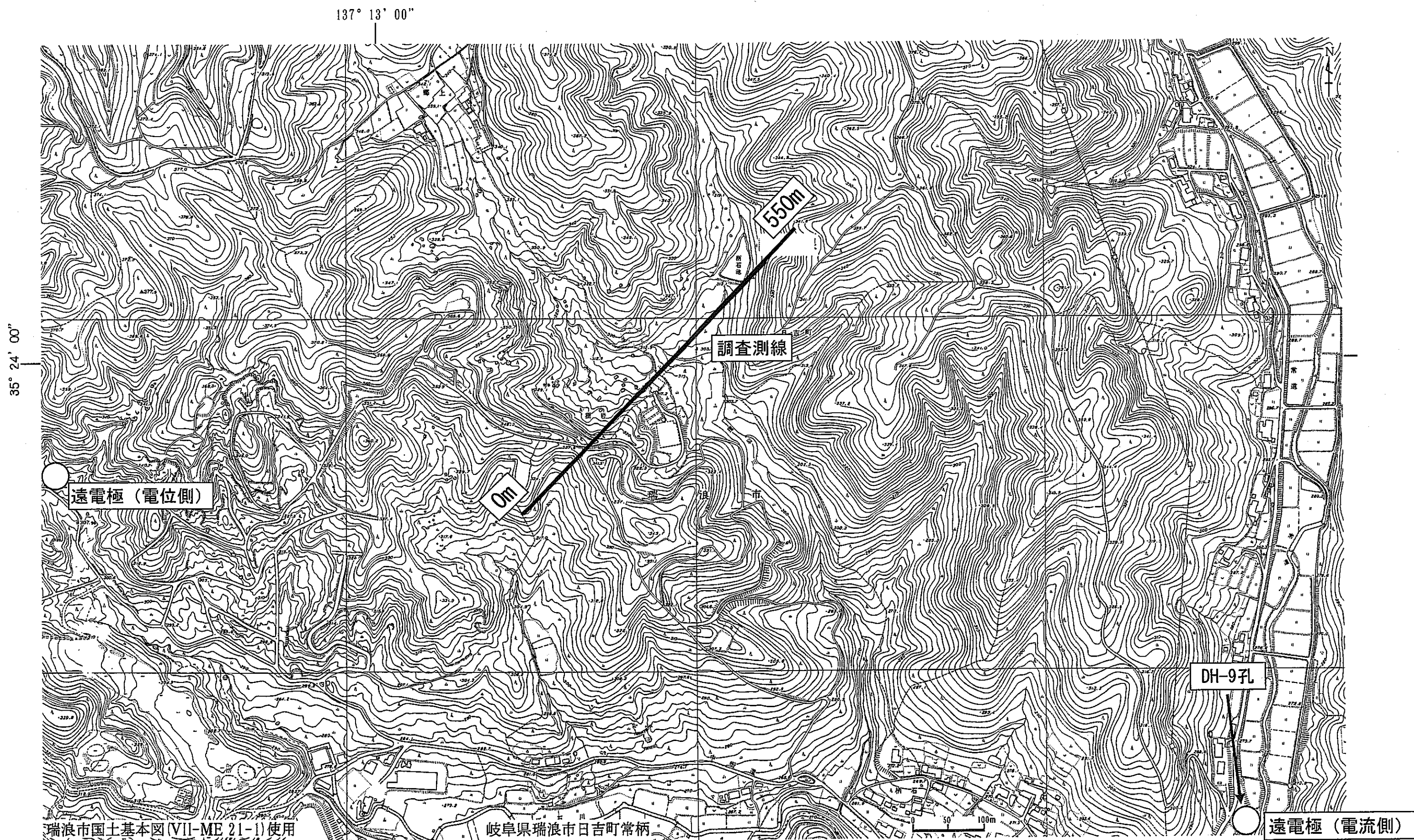


図-1.2 測線位置図

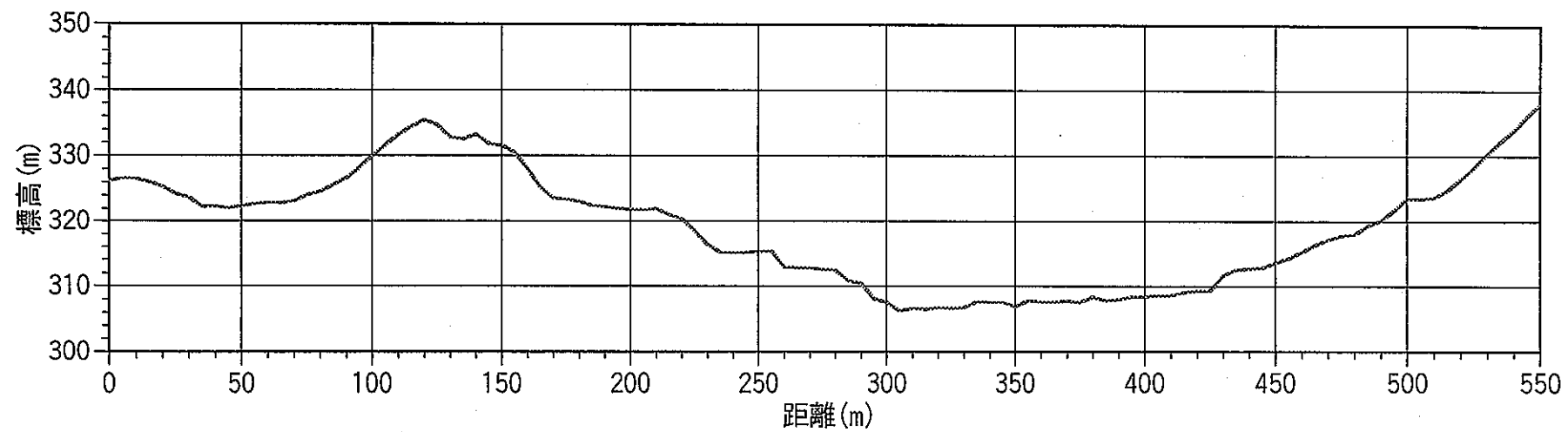
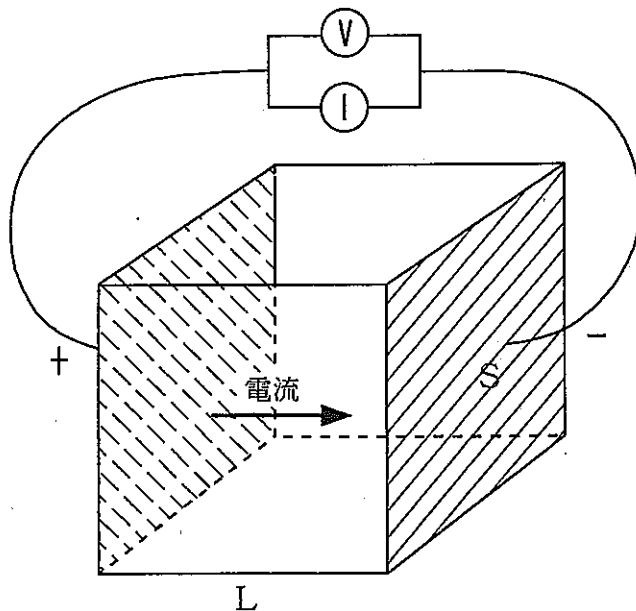


図-1.3 測線地形断面図  
(水平：1/2500、垂直：1/1000)

## 2. 比抵抗 2 次元探索の概要

### 2.1. 比抵抗とは

比抵抗とは比電気抵抗の略語であり、電気の流れにくさを示す値である。物質の電気抵抗は同一物質であっても断面積と長さが異なれば異なる値を示すので物性値として用いることは出来ない。そこで図-2.1に示すような、単位長さあたりの電気抵抗値を単位断面積の電極板で測定したときの値を比抵抗と呼んでいる。



比抵抗  $\rho$  は次式で与えられる。

$$\rho = R \frac{S}{L}$$

ここで、  
S : 断面積の大きさ  
L : 電極間の長さ  
R : 電極間の電気抵抗  
(単位はohm-m)

図-2.1 比抵抗概念図

地山の比抵抗値は岩石の種類、亀裂の発達程度、風化変質の程度、粘土鉱物や黄鉄鉱黄銅鉱などの伝導性鉱物の含有状態、含水状態などの多くの条件によって変わる。図-2.2は、これらの諸要因と比抵抗値との関係について定性的に示したものである。また図-2.3に各種岩石の比抵抗を示した。

| 要 因            | 比 抵 抗 値 |         |   |
|----------------|---------|---------|---|
|                | 小       | ←-----→ | 大 |
| 間隙水の含有量        | 多       | -----   | 少 |
| 間隙水の比抵抗        | 小       | -----   | 大 |
| 粘土鉱物，導電性鉱物の含有量 | 多       | -----   | 少 |
| 風化・変質の程度       | 強       | -----   | 弱 |
| 亀裂の発達程度        | 多       | -----   | 少 |
| 温 度            | 高       | -----   | 低 |

図-2.2 諸要因の比抵抗値に与える影響

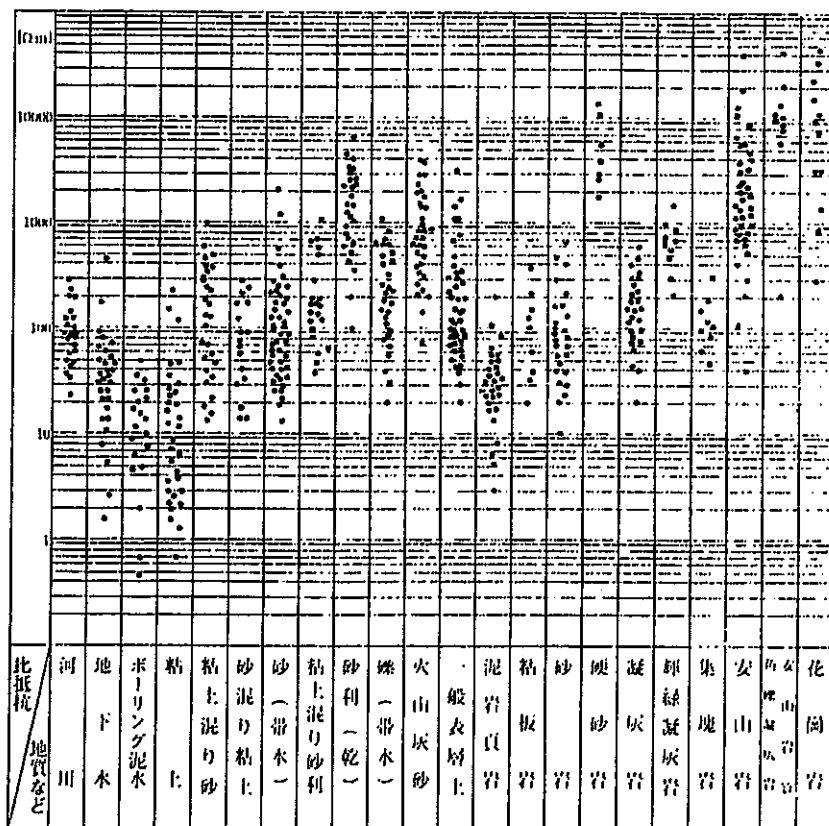


図-2.3 各種岩石の比抵抗

このように、比抵抗値は地下情報を与える重要な物理量である。もちろん、比抵抗値を定める要因は多岐にわたるため、比抵抗値だけから一意的に地下の状態を決定することは出来ないが、ボーリング調査や地表調査、他の物理探査の結果と合わせて解釈することで、地下構造や地下水の状態、風化帯の分布を精度良く把握することが出来る。

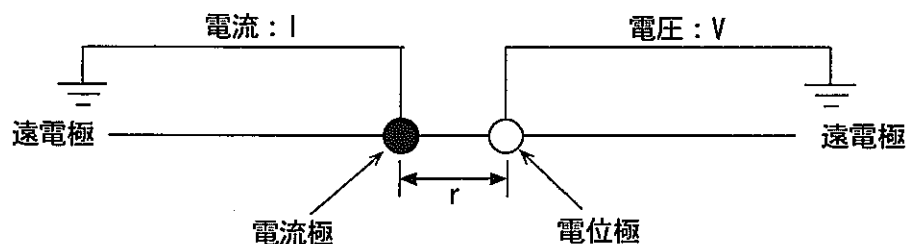
## 2.2 比抵抗探査の原理

比抵抗探査は、地表に設けた1組の電流電極と、これとは十分に離して設けた別の1組の電位電極を使って行う。図-2.4に比抵抗探査の測定概念図を示す。

大地が均質等方である場合には、流した電流 $I$ と測定電位差 $V$ から、大地の比抵抗 $\rho$ は、

$$\rho = K \frac{V}{I} \quad (2-1)$$

から計算される。ここで、 $K$ は電極配置によって定まる定数である。実際の大地は不均質であり、上記の式で計算される値は電極周辺の平均的な比抵抗値を表すと考えられる。一般に、このようにして計算された比抵抗値を見掛け比抵抗と呼ぶ。



測定電位 $V(r)$ は電極間隔の関数  
等方均質媒質の場合は次式で表  
される

$$V(r) = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

ただし、 $r$  : 電極間隔

$\rho$  : 比抵抗

$I$  : 電流量

図-2.4 比抵抗探査の測定概念図

比抵抗法の探査原理は、電流電極と電位電極の距離を変えることによって、見掛け比抵抗に反映する地下構造の範囲が変わるという性質を利用している。一般には、電極間隔を大きくとるほど深部の比抵抗構造を反映したデータが得られ、逆に電極間隔を小さくするほど浅部の局所的な構造を反映したデータが得られることから、いろいろな電極間隔のデータを測定することによって比抵抗の深度分布を求めることができる。このようにして地表に電極を設置して比抵抗の深度分布を求める探査を一般に垂直探査と呼んでいる。また、ある特定の電極間隔の測定を水平方向に移動しながら行うことで比抵抗の水平方向の変化を調べる探査法のことを、一般に水平探査と呼んでいる。これらの探査法は、水平な地下構造を仮定しているため、この仮定が成立しない一般的な構造の場合には探査精度が低下するという問題があったが、最近のコンピュータ技術の進歩によって、2次元モデルを使った解析が可能となり、垂直探査と水平探査を統合した高精度探査が行われるようになった。このような探査法のことを、高密度電気探査または比抵抗2次元探査と呼んでいる。2次元探査は、地形に起伏がある場合や測線方向に比抵抗構造が変化する場合においても正確な解析が可能である。

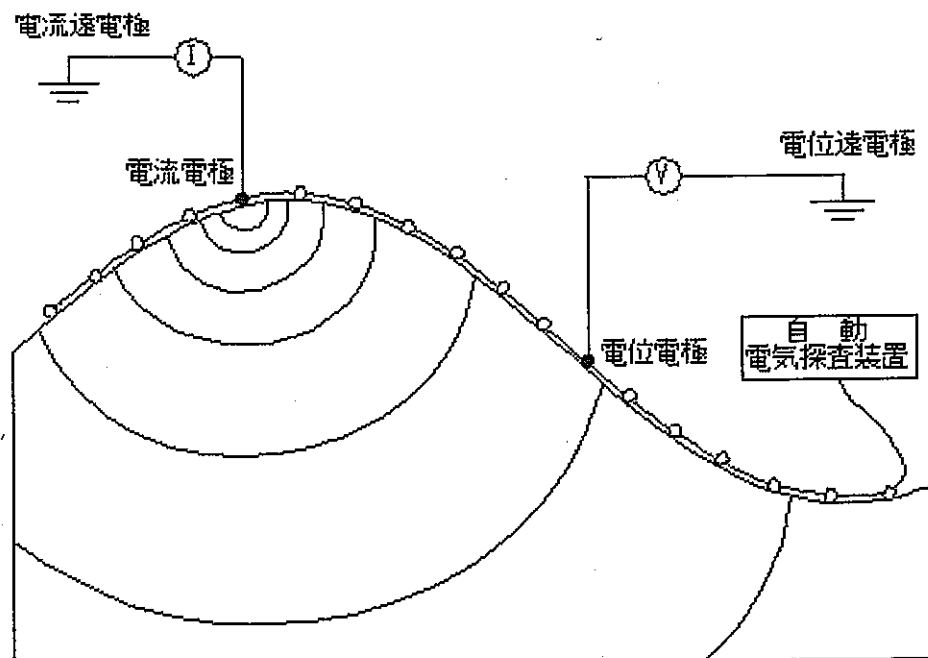


図-2.5 比抵抗2次元探査の測定概念図

## 2.3 作業手順

図-2.6に本調査の一連の作業手順を示す。

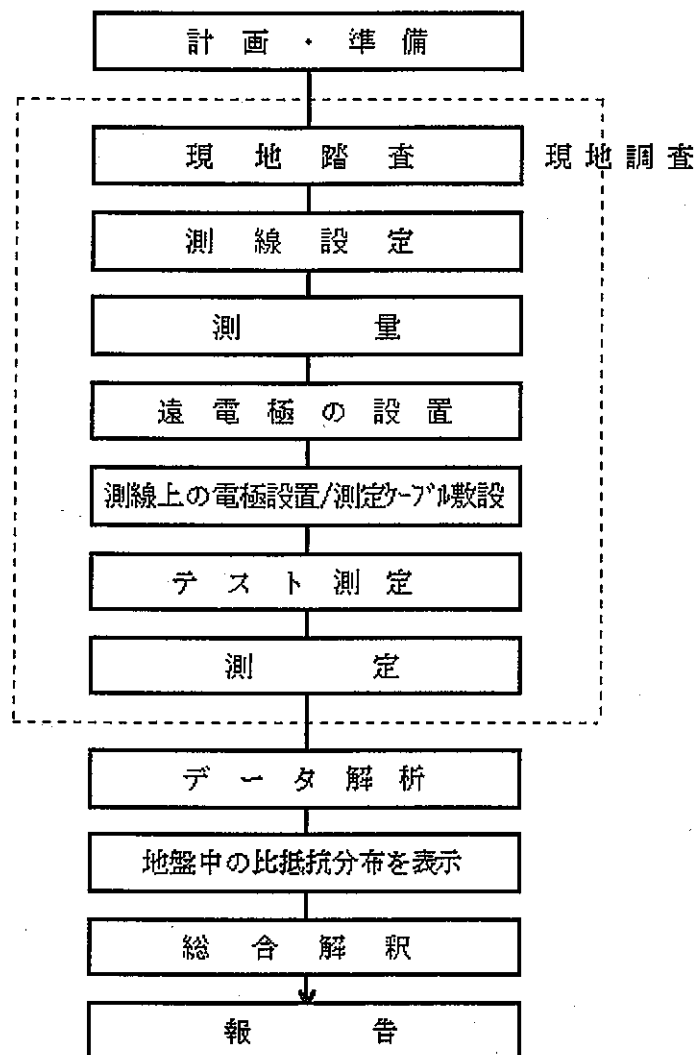


図-2.6 作業手順図

## 2.4 測定

### a. 測線計画

本調査では、対象深度を100m程度、電極間隔を5mとした。解析断面の低部では、解析精度が低くなるので、対象深度よりも最大電極間隔の大きい測定を行う必要がある。今回は電極隔離係数を30（最大電極間隔150m）として計画した。ただし、深部の測定については測定間隔を大きくしても、解析精度に大きな変化はないと考えられるため、12 ~30

深度は間引いて（12,14,16・・・30の偶数深度のみ）測定した。データの再現性を確認するため逆測定を行った（データ数：約3620）。

#### b. データ取得

測定計画に従って、地表測線に対して一定の電極間隔に電極および電極ケーブルを敷設する。電極をセットした後、任意の電極を選択し、これと電流側の遠電極との間に電流を通電した。それによって発生した人工的な電位分布を、電流電極以外の各電極を順次切り替えながら測定した。この操作を図-2.7に模式的に示す。今回の測定では、データの正確さを確認するために、電流電極と電位電極を入れ替えた逆測定も実施した。

地盤中には、イオンを含んだ地下水の流れに起因する電位分布（流動電位）をはじめとして、種々の自然現象による地電流が常時流れている。このため、測定された電位は、自然状態の電位と測定電流による電位が足し合わされた値となる。通常の電気探査では交代直流といって、ある一定時間プラスの電流を通電した後、電流の符号を変えてマイナスの電流を通電し、このときの電位の差を計測することによって自然状態の電位を消去している。図-2.8に交代直流による測定原理を模式的に示す。

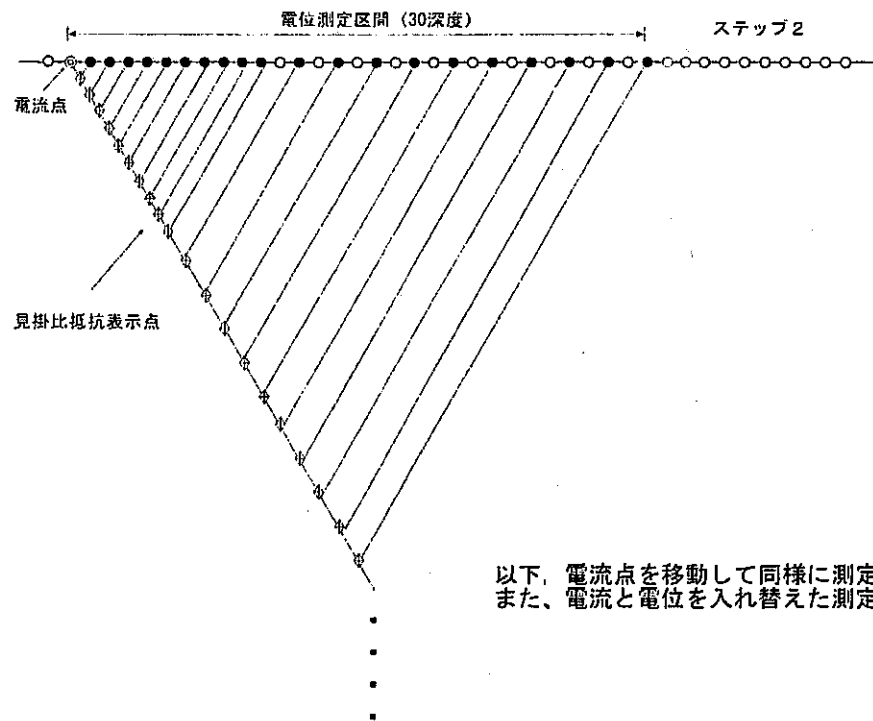
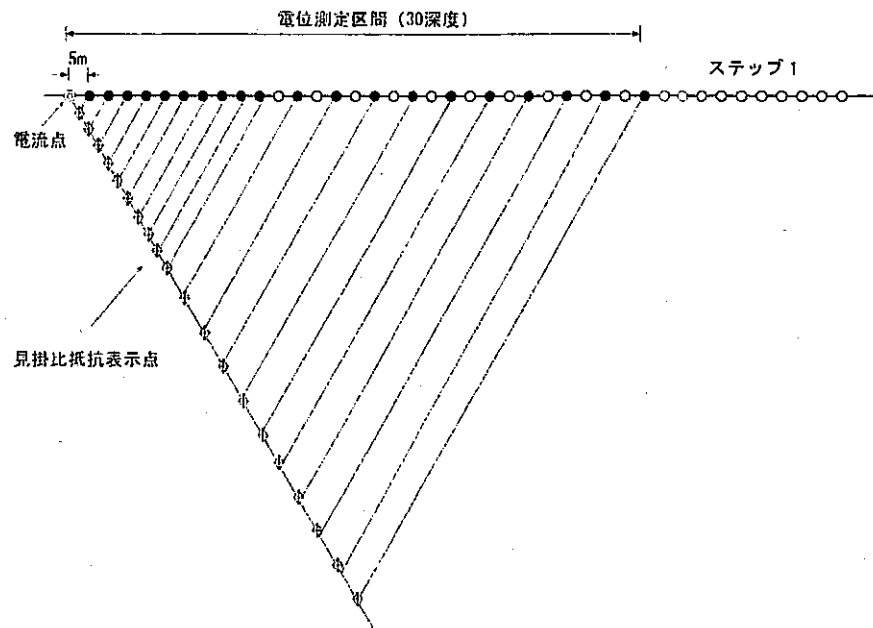


図-2.7 測定手順図

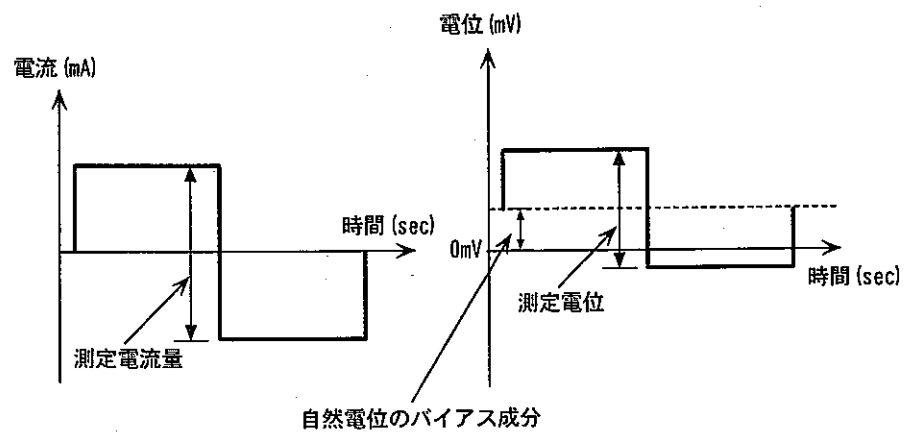


図-2.8 交代直流による測定の概念図

## 2.5 解析

解析には比抵抗2次元解析ソフト“E-Tomo”（杉本他、1995）を用いた。データ解析の流れを図-2.9に示す

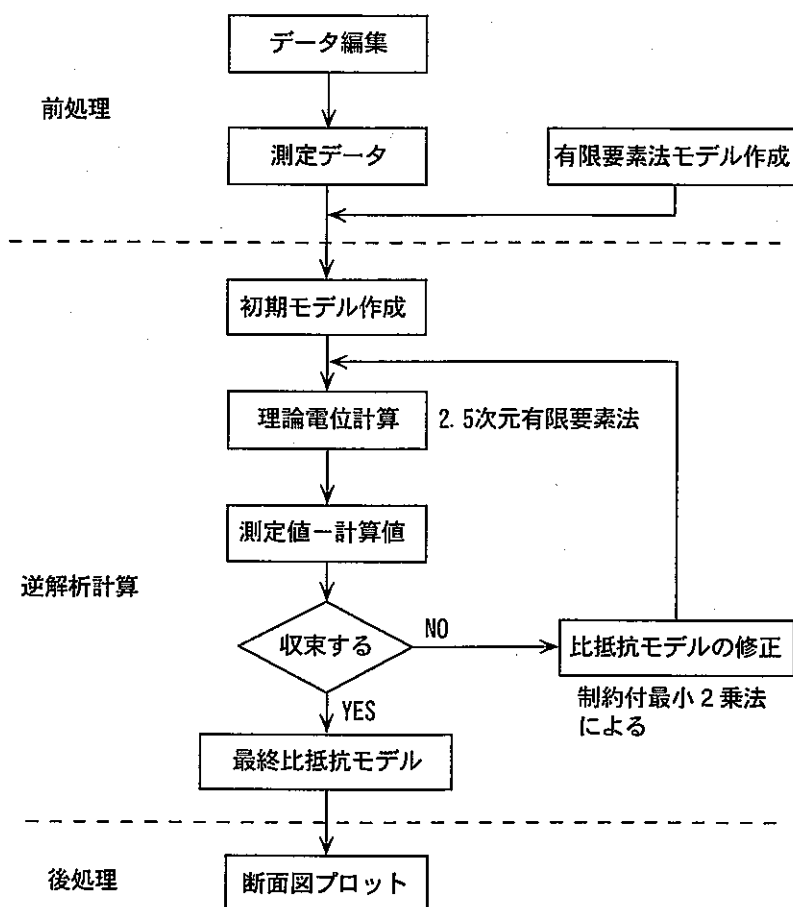


図-2.9 比抵抗探索の解析流れ図

### (1) 前処理

#### (a) データの編集

測定器から出力された測定原データを、解析プログラムで使うフォーマットに変換する。不良だと思われるデータはこの時点で除去する。また、2次元ダイアグラム上でフィルターを適用してランダムなノイズを除去した。

#### (b) 遠電極補正

逆解析では遠電極が無限遠にあるものとして電位計算が行われるが、実際の遠電極は有限な距離だけ離れたところに設定するため、解析結果に遠電極の影響が入り込む可能性があるため、前処理の段階で、均質無限媒質を仮定したときの理論計算値を使って遠電極位

置の影響を補正した。

#### (c) 有限要素法モデルの作成

有限要素法を使って電位計算を行うため、逆解析に先立って有限要素法のメッシュモデルを作成した。高密度電気探査の解析ではポテンシャル場を測定対象としているので、探査対象領域の周辺にも広い計算領域（長さで探査対象領域の最低5～10 倍程度の領域）を確保した。一般に測定点近傍ではモデルのメッシュサイズを細かくするほど計算精度が向上するが、測定点から離れたところではメッシュが粗くても精度の低下はほとんどない。計算時間はメッシュ数が増えるほど増大するので、測定点近傍においてメッシュのサイズを細かくし、測定点から離れるにしたがってメッシュサイズを大きくする方法が有効である。

### (2) 逆解析計算

まず比抵抗分布の初期モデルを作成し、そのモデル上で、現地測定時と同じ電極配置での理論的な測定値を、有限要素法を用いて計算した。次にこの計算値と測定値との差を用いて逆解析を行い、初期モデルを修正した。さらに修正されたモデルを用いて、計算値と測定値との差が収束するまで同様の計算を繰り返し行い、最終的な比抵抗分布モデルを得た。

#### (a) 初期比抵抗モデルの作成

初期モデルは全領域の比抵抗値が一樣な均質モデルとし、全データの見掛け比抵抗値の中間値をもって初期モデルの比抵抗値とした。

#### (b) 理論電位計算

電位計算には、2.5次元有限要素法を用いた。図-2.10は、2次元解析、2.5次元解析の違いを概念的に示したものである。

2次元比抵抗探査では、比抵抗断面の法線方向に比抵抗が変化しないという仮定をして解析を行う。しかし、実データを扱う場合には3次元的な電流場を考えないと精度のよい解析ができないため、支配方程式を断面と垂直な軸でフーリエ変換し、これに有限要素法を適用する。有限要素法によって求められた波数領域での電位（フーリエ変換された電位）は、逆フーリエ逆変換することによって3次元領域における電位分布に変換することができる。このような計算法は、2次元と3次元の中間という意味から、一般に、2D・3D解析または2.5次元解析と呼ばれる。

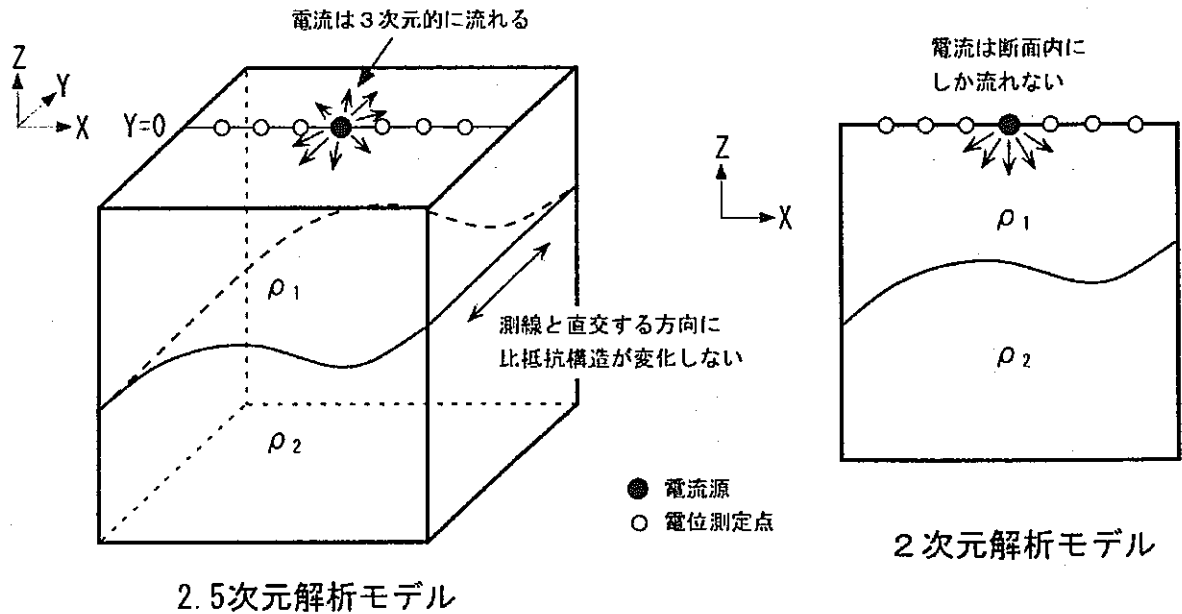


図-2.10 2次元、2.5次元解析モデルの比較

### (c) モデルの修正（逆解析）

初期モデルとして与えた比抵抗分布が実際の地盤の比抵抗分布をうまく表現していない場合、理論電位計算値は測定電位と一致しない。この食い違い（残差）が小さくなるように最小二乗法を用いて初期モデルを修正した。

修正したモデルを使ってさらに理論電位計算を行い、残差が十分に小さくなるまでモデルの修正を繰り返し、最終的に残差が十分小さくなったときのモデルを地盤の比抵抗モデルとした。

一般に最小二乗法による2次元解析では、データに含まれるノイズの大きさや測定ジオメトリの制限によっては解が不安定になる場合がある。解の安定化のために既知事前情報を制約条件として与える方法（制約付き最小二乗法）が有効である。今回は、制約条件として初期拘束条件（いわゆるダンプト最小二乗法）を使用した。

### (3) 後処理

解析した結果の比抵抗分布断面をカラーコンター表示で出力した。今回は破碎帯が赤色で表示されるように低比抵抗を赤系統の色で表示した。

### 3. 現地調査

#### 3.1. 電極の設置

調査位置図に基づき、測量を行い、測線設定を行った。測線上の5m間隔に電極を設置し、ケーブルを介して測定器と接続した。測線周辺の状況を図-3.1に示す。

測線から解析上、無限遠とみなされる点2ヶ所に遠電極を設置した。設置場所はサイクル機構殿が指定する場所とした。東側を電流電極、西側を電位電極とした（図-1.2参照）。

測定器で隣り合った電極間の抵抗を測定し、接地抵抗を確認した。接地抵抗が $5k\Omega$ 以上の点は、接地抵抗低下剤（主成分：炭素、石灰）および水を散布し、接地抵抗を改善させた。表-3.1に接地抵抗の改善を行った測点を示す。

表-3.1 接地抵抗を改善した測点 一覧表

| 距離程(m)                              | 測線周辺の状況 |
|-------------------------------------|---------|
| 150,155,160                         | 道路付近    |
| 205,210,215,220,<br>225,230,235,240 | 家屋付近    |
| 265                                 | 倉庫付近    |
| 365,370                             | 草むら     |

#### 3.2. 測定

測定に使用した機器を表-3.2に示す。ノイズの影響を低減させるために、次のように測定を行った。

- ・60Hzのノッチフィルターを使用してデータを取得した。
- ・スタックは5回行い、標準偏差が0.5%以上のデータは削除した。
- ・電位波形をモニターし、突発ノイズが無いことを確認した。
- ・約200データごとに減衰曲線および見掛け比抵抗断面をプロットして、異常なデータの無いことを確認した。

取得データ数は、3900データで、順測定2055データ、逆測定1845データである。追加測線の505～550m間は、逆測定を行わなかった。得られたデータから計算した見掛け比抵

抗のS-Rマップ（電流電極－電位電極）を図-3.2に示す。図-3.2から、順測定と逆測定では等しい値が得られていることを確認した。

①順測定データ、②逆測定データ、③ ①と②の平均値、の3つから測定点ごとに、最適なものを選択し、図-3.3の減衰曲線（電流電極毎の抵抗値と電極間隔のグラフ）をプロットした。測点90～110で電極間隔の大きいデータに多少のばらつきが見られるが、隣接した点同士で抵抗値が大きく変化する等の異常な点がないことを確認した。

解析にはフィルター処理を行ったデータを用いた。フィルター処理結果を図-3.4に示す。

今回の測定で、良好なデータが得られたのは、電極の接地を低くすることができたことと、調査場所が比較的高比抵抗の地域であるため、測定で得られた電位がノイズレベルよりも十分大きかったためと考えられる。

表-3.2 測定機器一覧

| 種類       | 機種名                          | 仕様                                                                                                                                                                                               | 数量   |
|----------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 電気探査装置   | McOHM-21<br>MODEL-2115       | トランスミッタ<br>電圧: 400Vp-p<br>電流: 1 ~ 200mA<br>レシーバ<br>入力インピーダンス: 1Mohm<br>測定レンジ<br>±0.6、6V FS<br>分解能: 20 $\mu$ V<br>スタック回数: 1, 4, 16, 64<br>50Hz/60Hzのノッチフィルター 90db<br>サイクルタイム: 3.5sec<br>電源 DC-12V | 1台   |
| 電極自動切替装置 | ジオエレクトリックスキャナ<br>MODEL-2207A | 最大電極数: 32極<br>切替方式: ラッチングリレーによる接点切り替え方式<br>電源: DC-12V                                                                                                                                            | 3台   |
| ステンレス電極棒 |                              | 直径5mm × 長さ30cm                                                                                                                                                                                   | 250本 |
| 本線ケーブル   |                              | 24ch 5mピッチケーブル                                                                                                                                                                                   | 3本   |
| 中継ケーブル   |                              | 24ch 100mケーブル                                                                                                                                                                                    | 5本   |
| その他      |                              | 遠電極用平行ビニール線(抵抗約15 $\Omega$ /km)および<br>電極板(約30 × 30cm)、発電機、AC/DCコンバータ等                                                                                                                            |      |

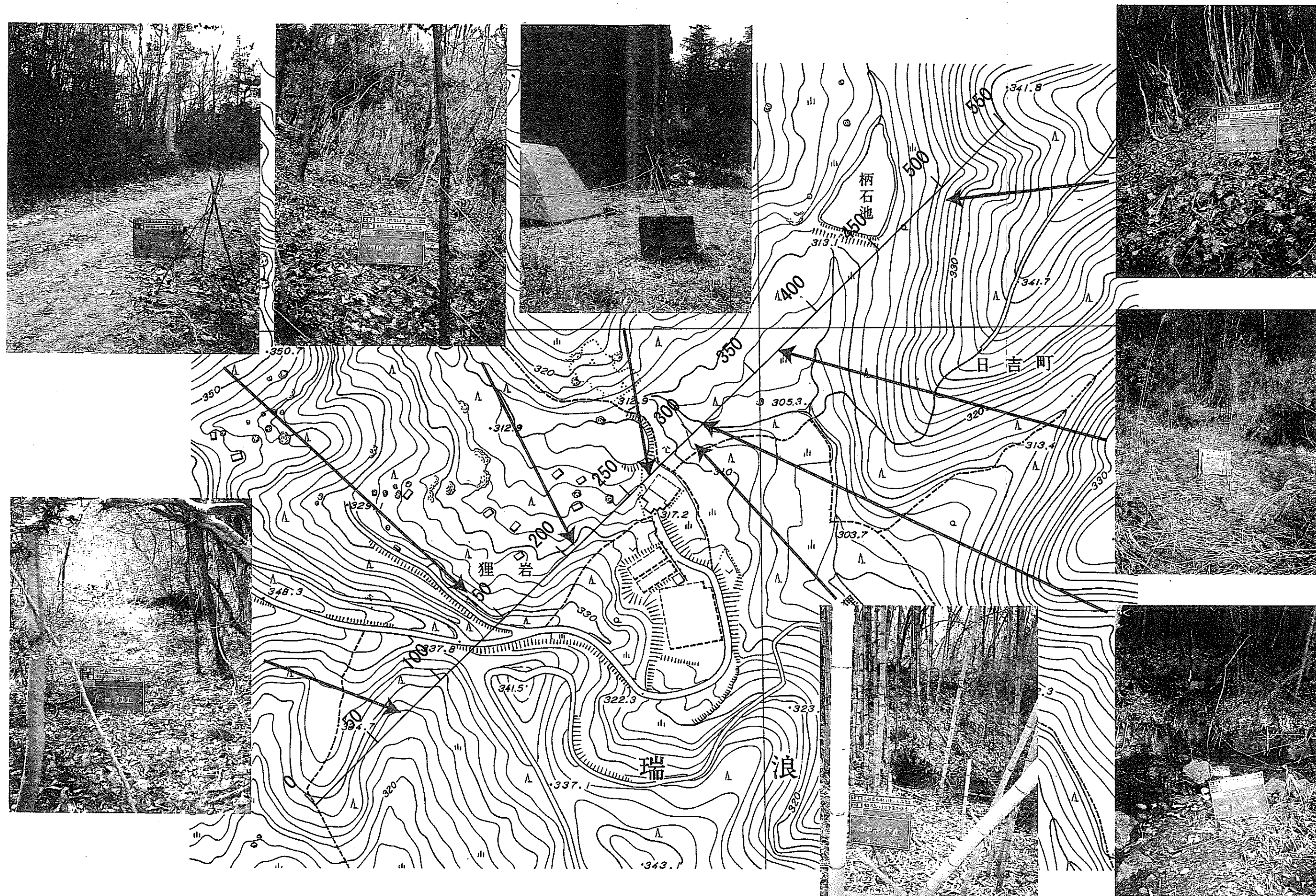


図-3.1 測線周辺状況図 (S=1/2000)

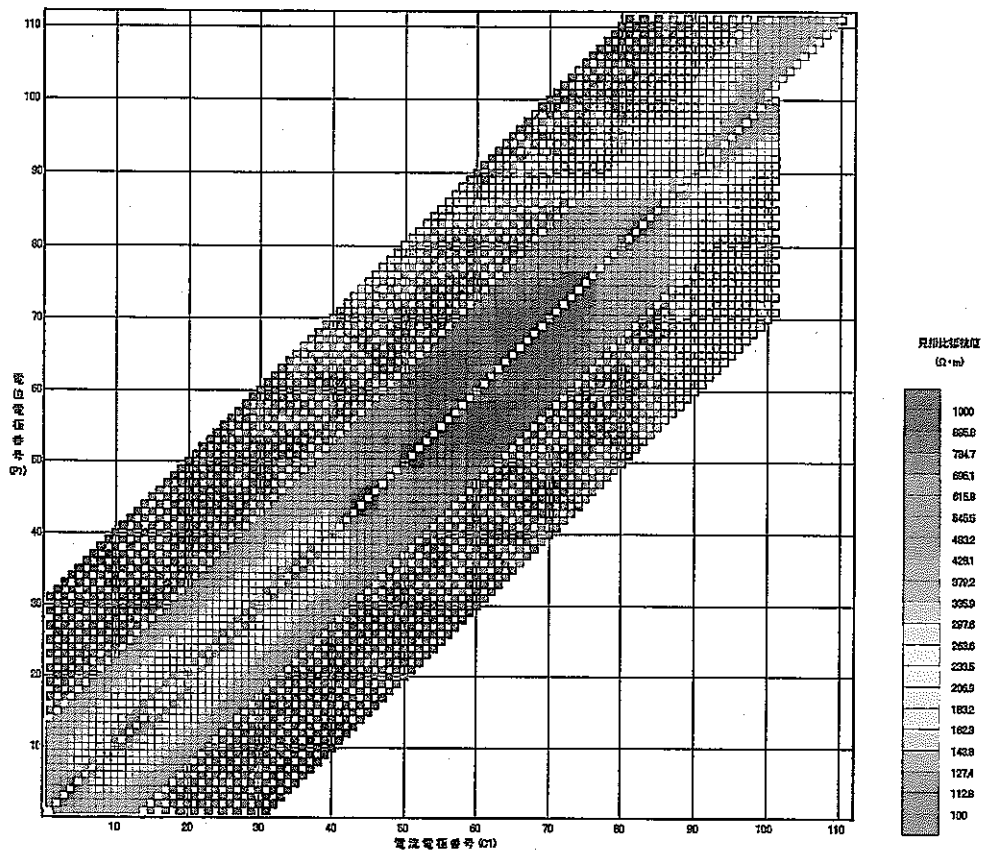


図-3.2 見かけ比抵抗 S-Rマップ

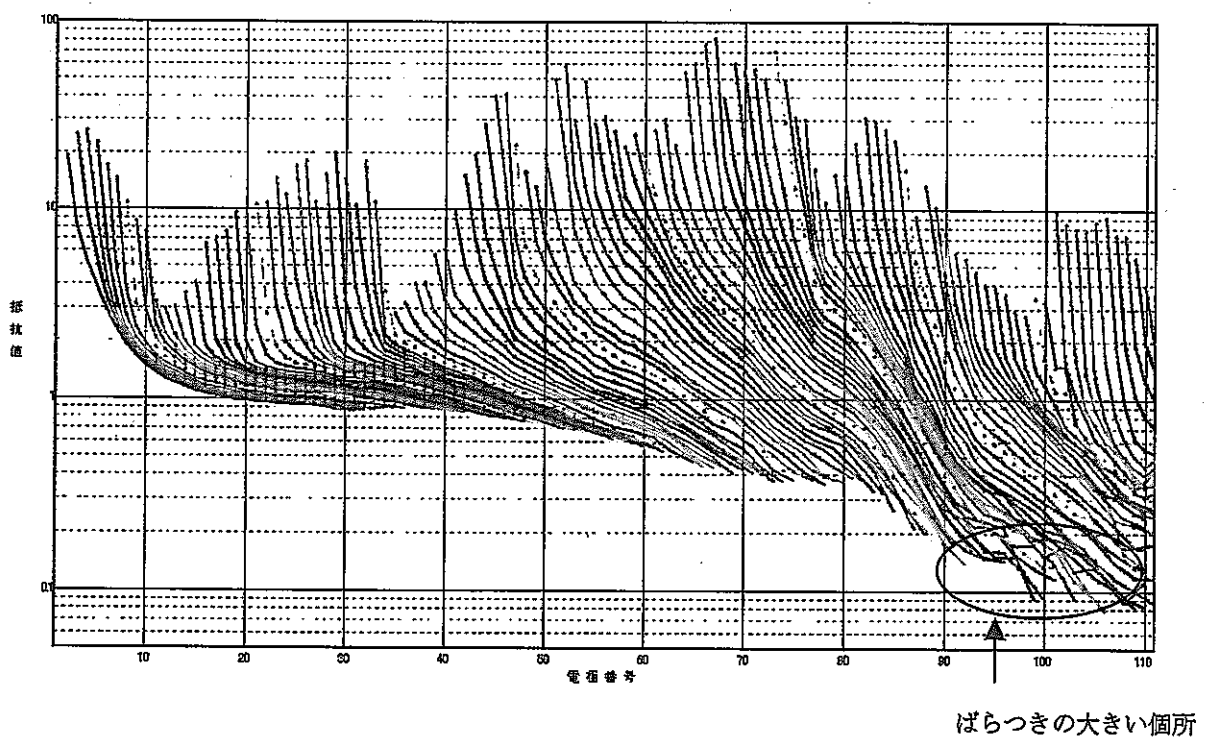
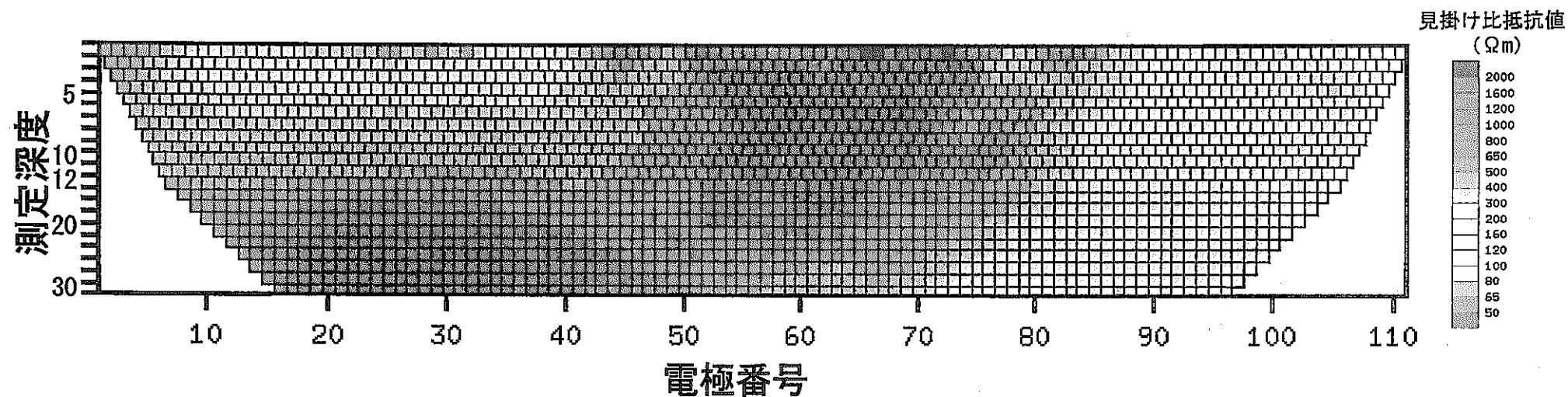
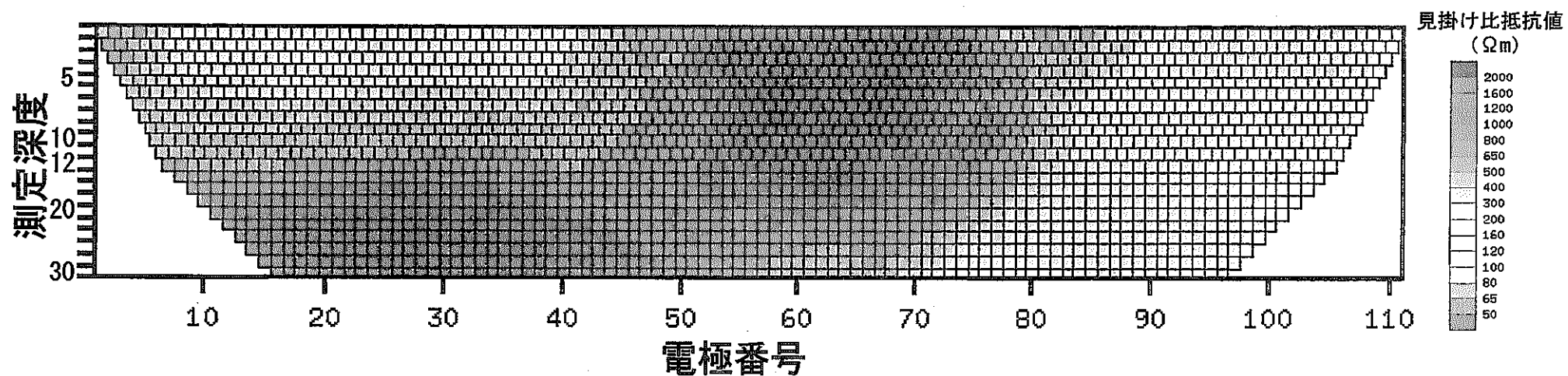


図-3.3 減衰曲線



(1) フィルター前データ



(2) フィルター後データ

図-3.4 フィルター処理結果

## 4. データ解析

### 4.1. 有限要素法メッシュの作成

解析に使用した有限要素法メッシュを図-4.1に示す。メッシュの接点数・要素数・グリッド数を表-4.1に示す。

表-4.1 有限要素法メッシュデータ

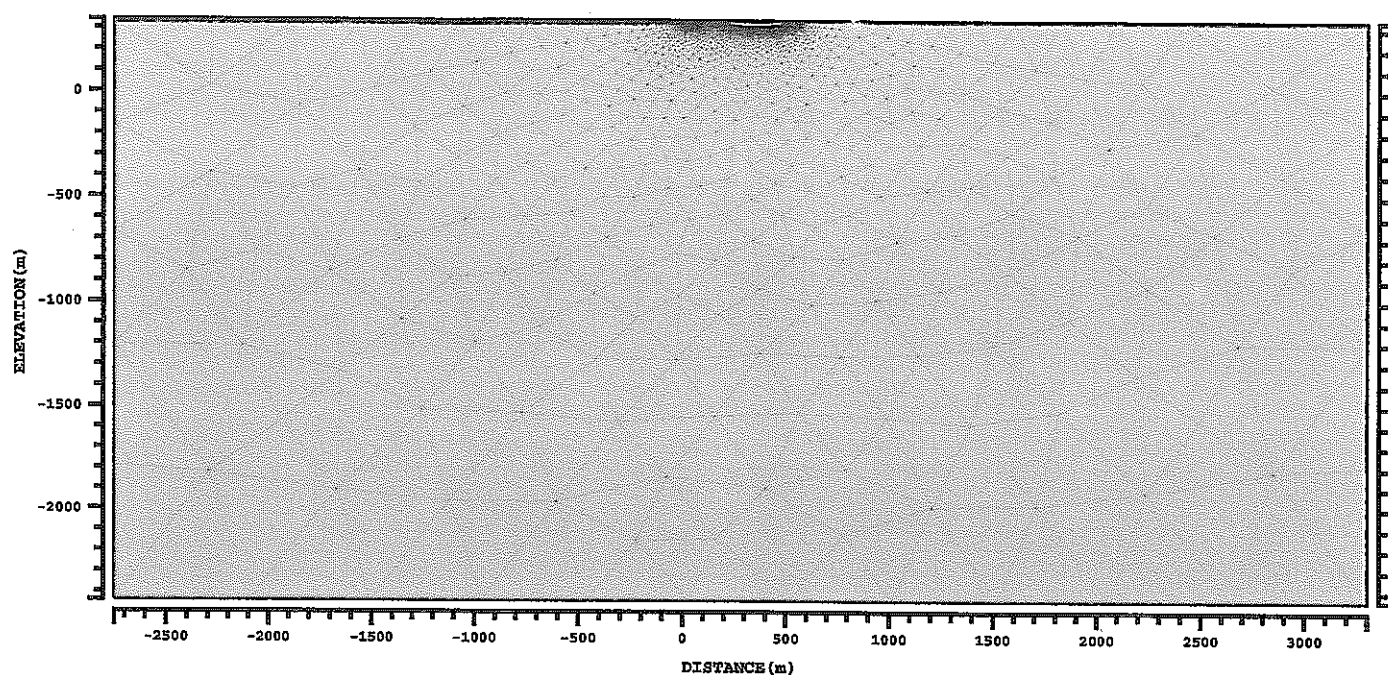
|       |      |
|-------|------|
| 接点数   | 3212 |
| 要素数   | 6085 |
| グリッド数 | 1188 |

### 4.2. 見掛け比抵抗の計算

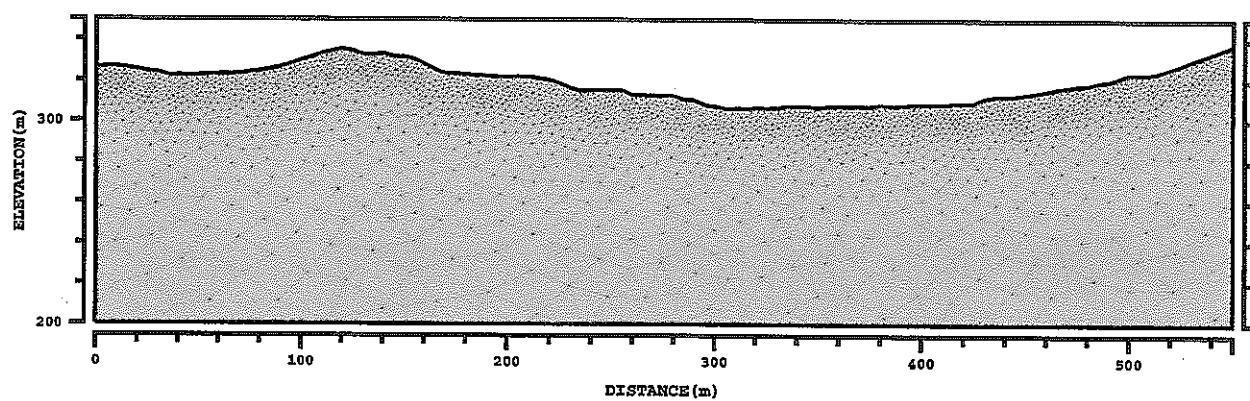
4.1節で作成したメッシュと測定データから、見掛け比抵抗断面を作成した。遠電極の位置の影響を確認するために、①遠電極補正前のデータ、②補正後のデータの両方で見掛け比抵抗断面を作成した。見掛け比抵抗断面を図-4.2に示す。その結果、深度の深いところで②のほうが若干大きい値を示しているが、大局的には大きな違いは認められず、遠電極の影響は小さいものと考えられる。

### 4.3. 逆解析

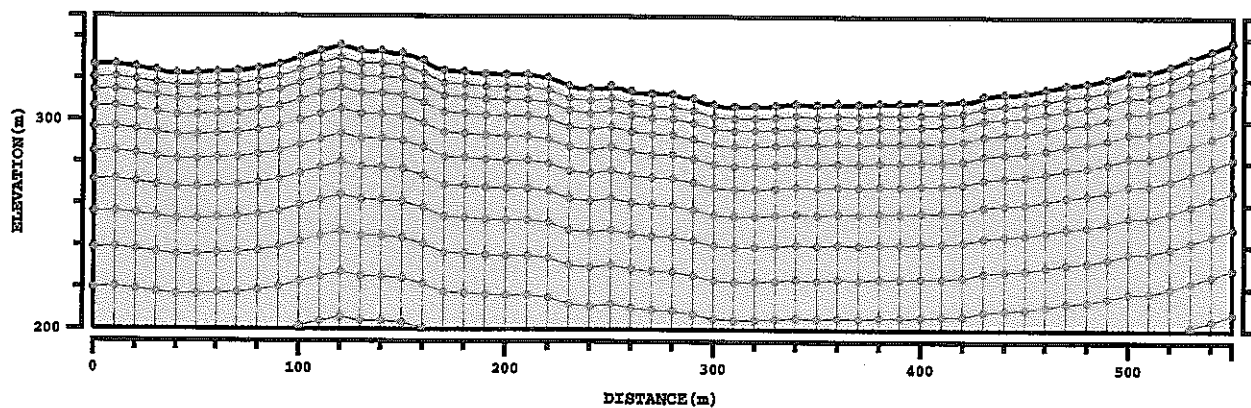
メッシュと4.2節で遠電極補正を行ったデータを用いて、逆解析を行った。初期モデルには均質なモデルを用い、比抵抗値は全データの見掛け比抵抗値の平均値（ $497\Omega\text{m}$ ）とした。この初期モデル上で、現地測定時と同じ電極配置での理論的な測定値を、有限要素法を用いて計算した。次にこの計算値と測定値との差を用いて逆解析を行い、初期モデルを修正し、この修正したモデルを用いて、計算値と測定値との差が収束するまで同様の繰り返し計算（イタレーション）を行い、最終的な比抵抗分布モデルを得た。イタレーションごとの残差を図-4.3、解析結果を図-4.4に示す。また、最終的な比抵抗分布モデルから計算される見掛け比抵抗擬似断面図を図-4.5に示す。



(1) メッシュ図 (全体)

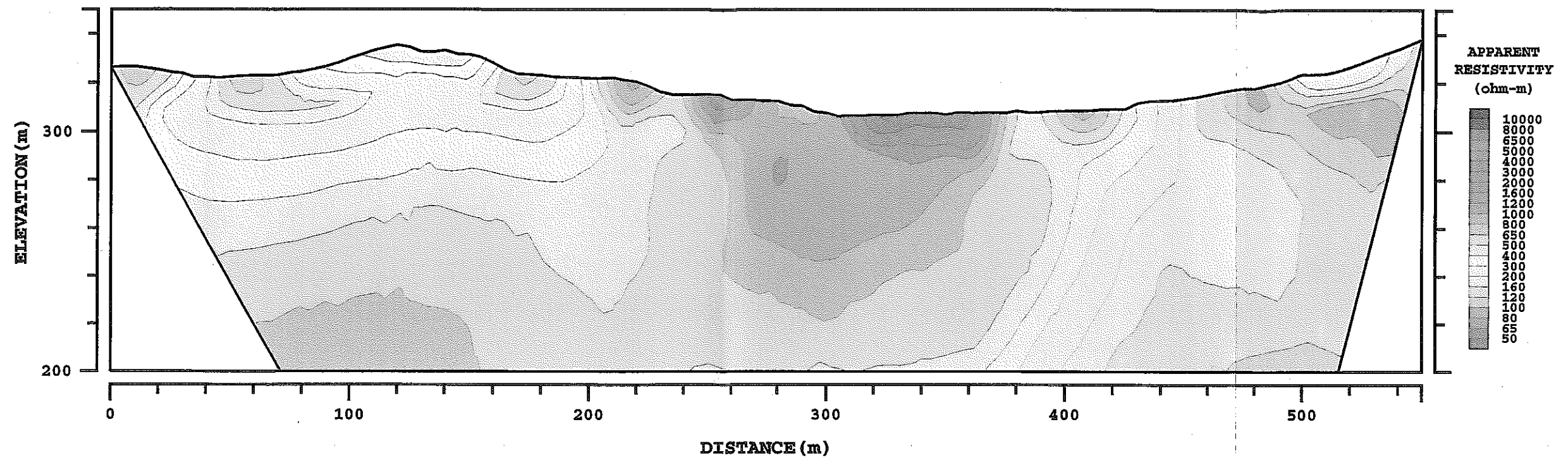


(2) メッシュ図 (測定領域)

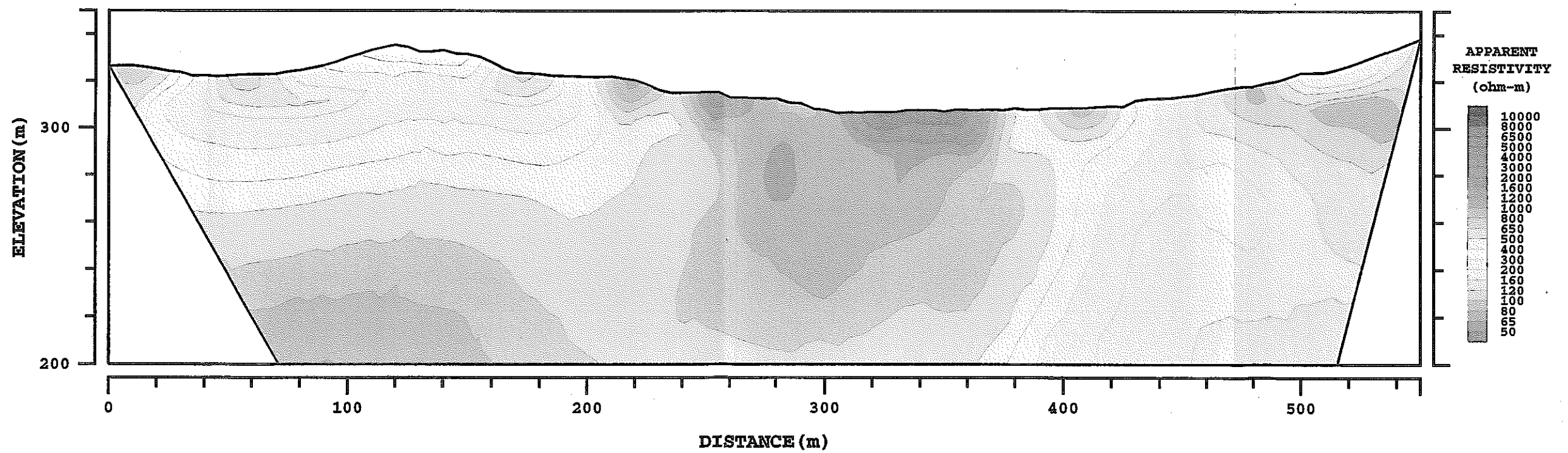


(3) グリッド図

図-4.1 有限要素法メッシュ図



(1) 見掛け比抵抗断面図（遠電極補正前）



(2) 見掛け比抵抗断面図（遠電極補正後）

図-4.2 見掛け比抵抗断面図

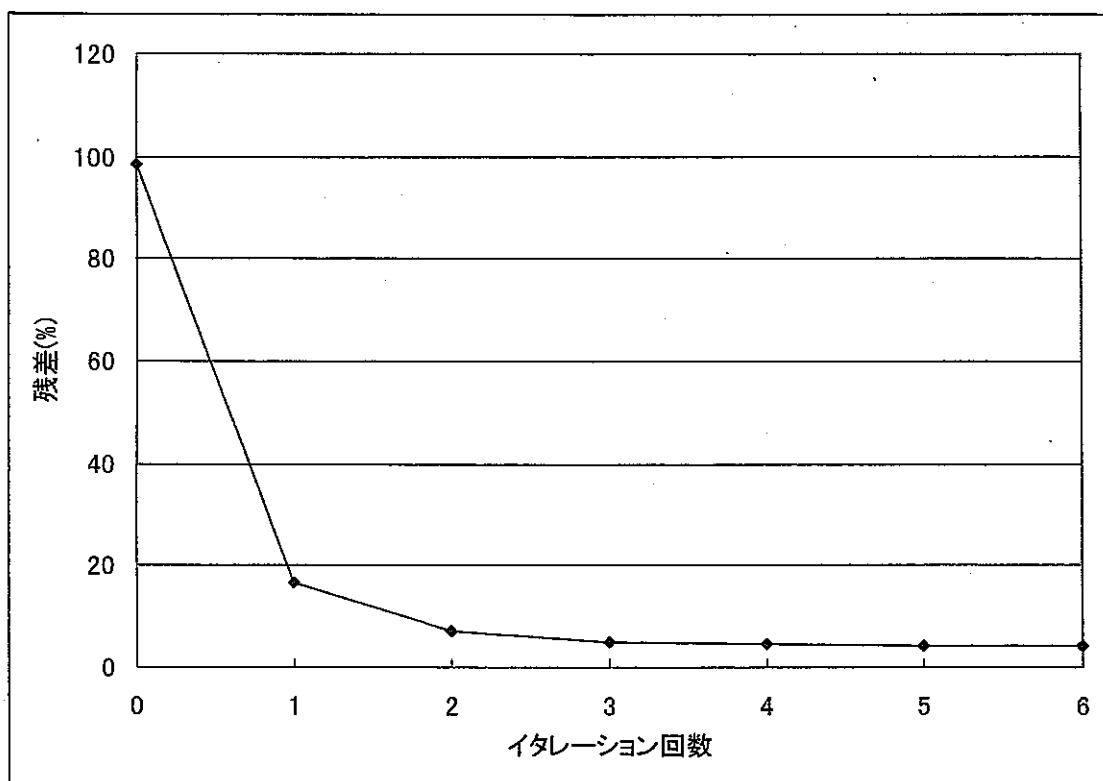


図-4.3 残差プロット図

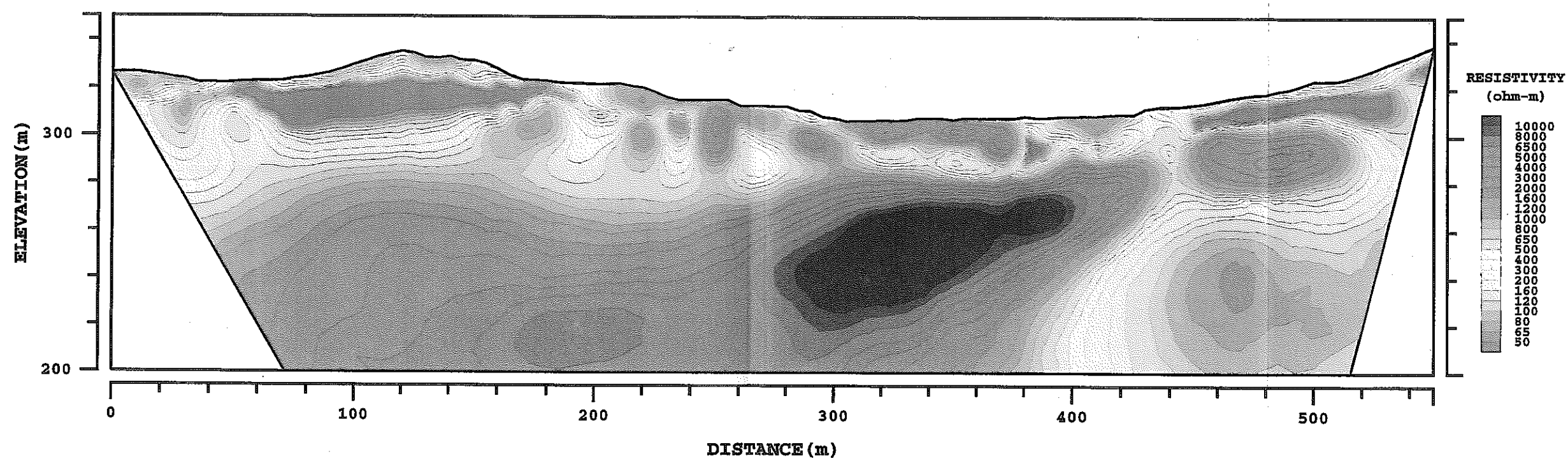
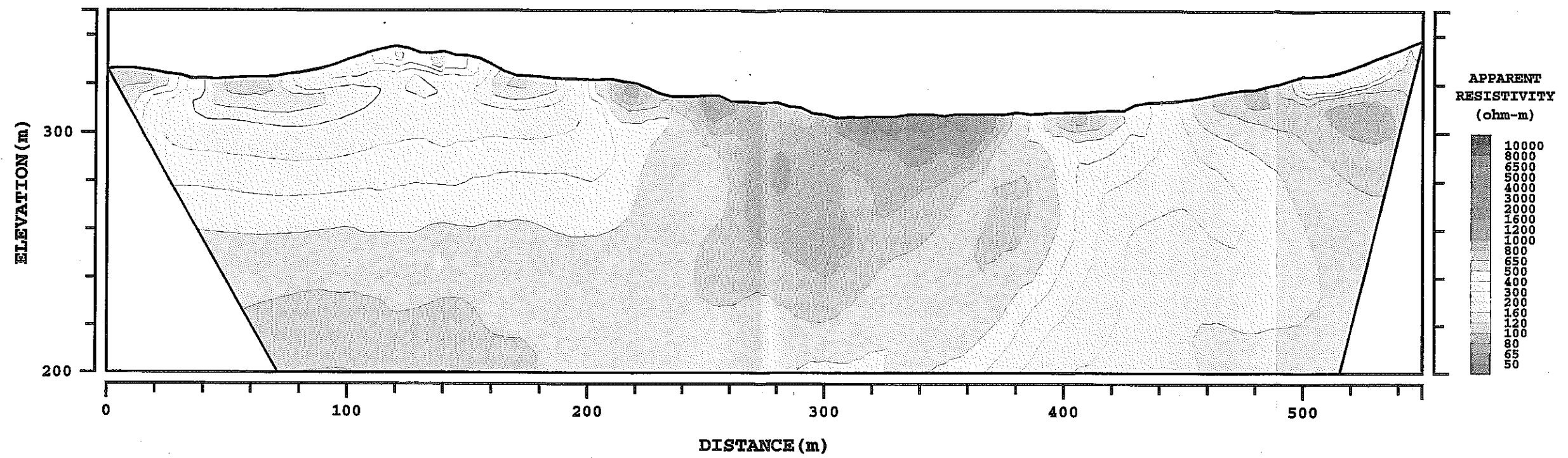
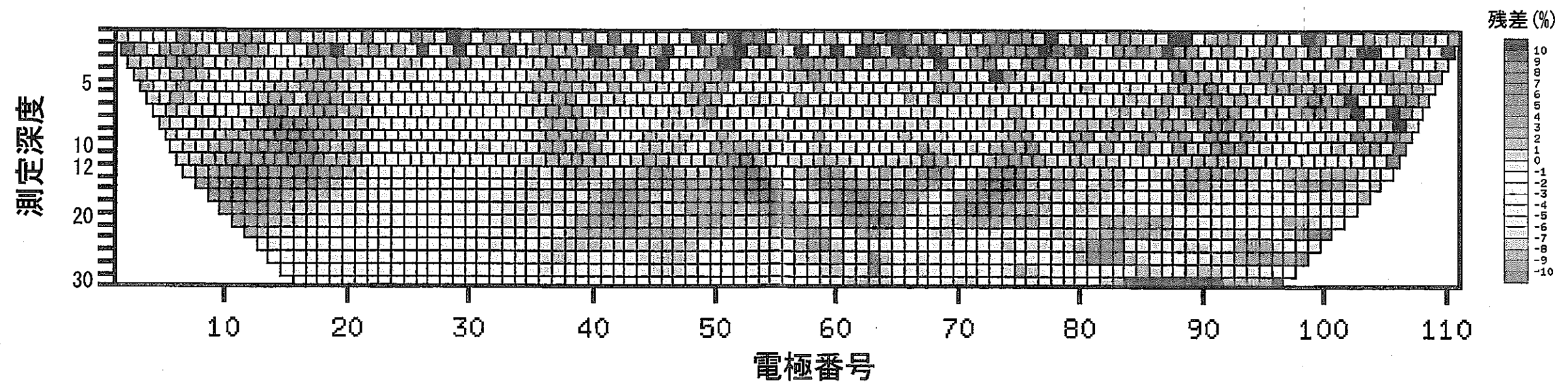


図-4.4. 比抵抗探査 解析結果  
( $S=1/2000$ )



(1) 見掛け比抵抗擬似断面図



(2) 解析残差分布図

図-4.5 見掛け比抵抗擬似断面図

## 5. 比抵抗断面の解釈

### 5.1. 地形地質概要

本調査地域は濃尾平野東方の東濃丘陵に位置する。東濃丘陵の北方には美濃山地、南東には美濃三河高原が分布している。東濃丘陵と美濃三河高原の間には北東－南西に走る屏風山断層があり、急崖を形成している。東濃丘陵では起伏量200m以下の丘陵地が発達し、中央には土岐川が北東－南西方向に流下する。土岐川のまわりには段丘堆積層によって作られた台地や沖積低地が発達している。地質は、先新第三紀の土岐花崗岩、濃飛流紋岩、秩父古生層（現在は中生層と考えられている）が基盤を形成している。その上位を瑞浪層群（中新統下・中部）、瀬戸層群（鮮新統～更新統）、段丘堆積層、沖積層等が不整合におおっている（サイクル機構, 2000）。

本調査地域の南方約1kmには、ほぼ東西走向の月吉断層が認められる。東濃鉾山の坑内では、月吉断層はN80E60Sの走向傾斜をもつ逆断層として観察される。月吉断層は、土岐花崗岩と瑞浪層群に変位を与え、その垂直変位は約30mであるが、瑞浪層群の上位に位置する瀬戸層群には変位を与えていない。このことから月吉断層は、中新統の瑞浪層群が堆積した後から、鮮新統の瀬戸層群が堆積する前に形成されたと推定される。調査地付近には活断層は認められない。調査地の南方約20kmにはNE-SW方向に発達する屏風山断層が、また東方にはNW-SE方向に発達する赤河断層（調査地の東方約20km）や阿寺断層（東方約50km）があり、これらと同方向を示すリニアメントも顕著である。また、月吉断層と同方向（E-W方向）を示す断層もいくつか認められる（サイクル機構, 1999）。調査場所周辺の活断層図を図-5.1に示す。

測線周辺の地質区分を動力炉・核燃料開発事業団（1988）から、リニアメント位置を動力炉・核燃料開発事業団（1994）から引用し、図-5.2に示す。但し広域調査の元図（1/25000）を、1/2000に拡大した。これらから、測線周辺は花崗岩が分布し、一部測線距離10～160mおよび520～550mでは礫、砂、および泥の堆積層の分布が認められる。リニアメントは測線距離270mに認められ、測線とはほぼ直交している。

測線付近の地質断面図は作成されていないが、DH-9孔（図-1.2参照）の試錐調査（サイクル機構, 1999）では、岩層を表-5.1のように区分している。

表-5.1 DH-9孔 岩層区分

| 深度 (m) | 岩層区分                   | ノンコア区間 |
|--------|------------------------|--------|
| 6.7    | 礫混じり土砂                 |        |
| 50.5   | (花崗岩風化層)               |        |
| 79.0   | 中粒花崗岩                  |        |
| 95.0   | 細粒花崗岩                  |        |
| 177.6  | 中粒花崗岩<br>(含アプライト脈)     |        |
| 235.6  | (粗～) 中粒花崗岩<br>(含石英閃緑岩) |        |
| 363.5  | (細～) 中粒花崗岩             |        |

## 5.2. 比抵抗断面の解釈

4.3節に示した比抵抗解析結果図を以下の基準で区分した。区分図を図-5.3に示す。

- ・ 低比抵抗層と高比抵抗層の境界
- ・ 高比抵抗部に挟まれた低比抵抗部

図-5.3に示すように、比抵抗構造は4つの領域に区分することができる。

### (1) 領域①

測線距離0～180mおよび430～550mにおいては、表層部に厚さ5～10m程度で100～800 $\Omega$ mの比抵抗層が分布する(1a)。その下部には厚さ10～20mで50 $\Omega$ m程度の低い比抵抗層が認められる(1b)。既存資料によると領域①は瀬戸層群分布域に対比される(図-5.2参照)。このうち、1aは不飽和状態にあり比較的高い比抵抗を示していると考えられる。その下部の1bは飽和しているため低比抵抗値を示していると考えられる。

### (2) 領域②

領域①の下部に分布し、200～2000 $\Omega$ mの中程度の比抵抗値を示す。測線距離180

～430mでは地表部に露出している。既存資料によると、この領域は花崗岩の分布する領域と対比され（図-5.2参照）、新鮮な花崗岩の一般的な比抵抗値（1000～10000  $\Omega$ m、図-2.3参照）よりも低いことから判断すると、風化が進んだ領域と推定される。また、測線から約1km東方のDH-9孔の掘削結果によると、地表から深度50m程度までに風化した花崗岩が分布しその下部に新鮮花崗岩が分布することが確認されており、今回の結果と整合的である。領域②の中に比較的小規模な低比抵抗帯（A、B、C）が分布する。領域②と③の境界がこの付近で窪んでいる。このうちCについては図-5.2のリニアメント位置とほぼ一致する。

### (3) 領域③

領域②の下位に分布し、2000  $\Omega$ m以上の高い比抵抗値を示す。図-5.2および表-5.1から新鮮な花崗岩の分布する領域と推定される。

### (4) 領域④および低比抵抗帯D

測線距離400～550m区間では、標高280m以深に100～300  $\Omega$ mの低比抵抗領域が分布する。比抵抗値から推定すると、破碎あるいは変質の進んだ花崗岩か、比較的泥質な堆積岩の可能性があるが、次のような理由から花崗岩中に破碎帯が分布する可能性が高い。

- ・ 仮にこの領域が堆積岩とすると、測線始点側に分布する花崗岩との間に100m以上の断層変位が推定されるが、既存の資料によるとこのような比較的規模の大きな断層は報告されていない。
- ・ さらに、測線から1km東側のDH-9孔では深度約7m以深に花崗岩が分布していることが確認されており、この地点に落差100m以上の東側落ちの断層を想定することは難しい。
- ・ 測線距離440mでは領域③の高比抵抗中に低比抵抗帯Dが分布し、領域④の低比抵抗帯の方向に連続するように見える。また、領域②と③の境界がこの付近で段差（東上がりの20mの段差）を生じている。

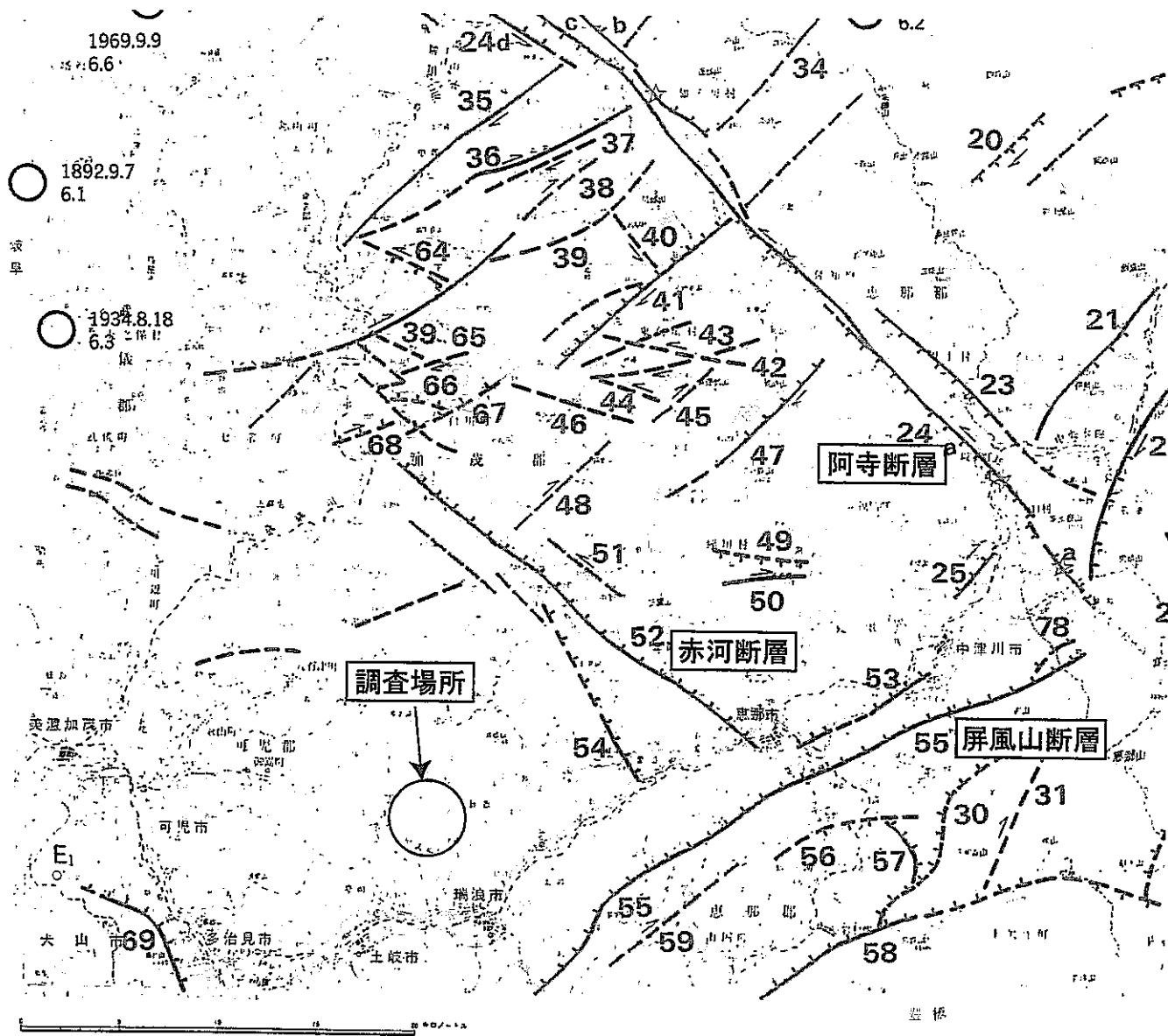


図-5.1 調査場所周辺の活断層図  
(東大出版会, 1991)

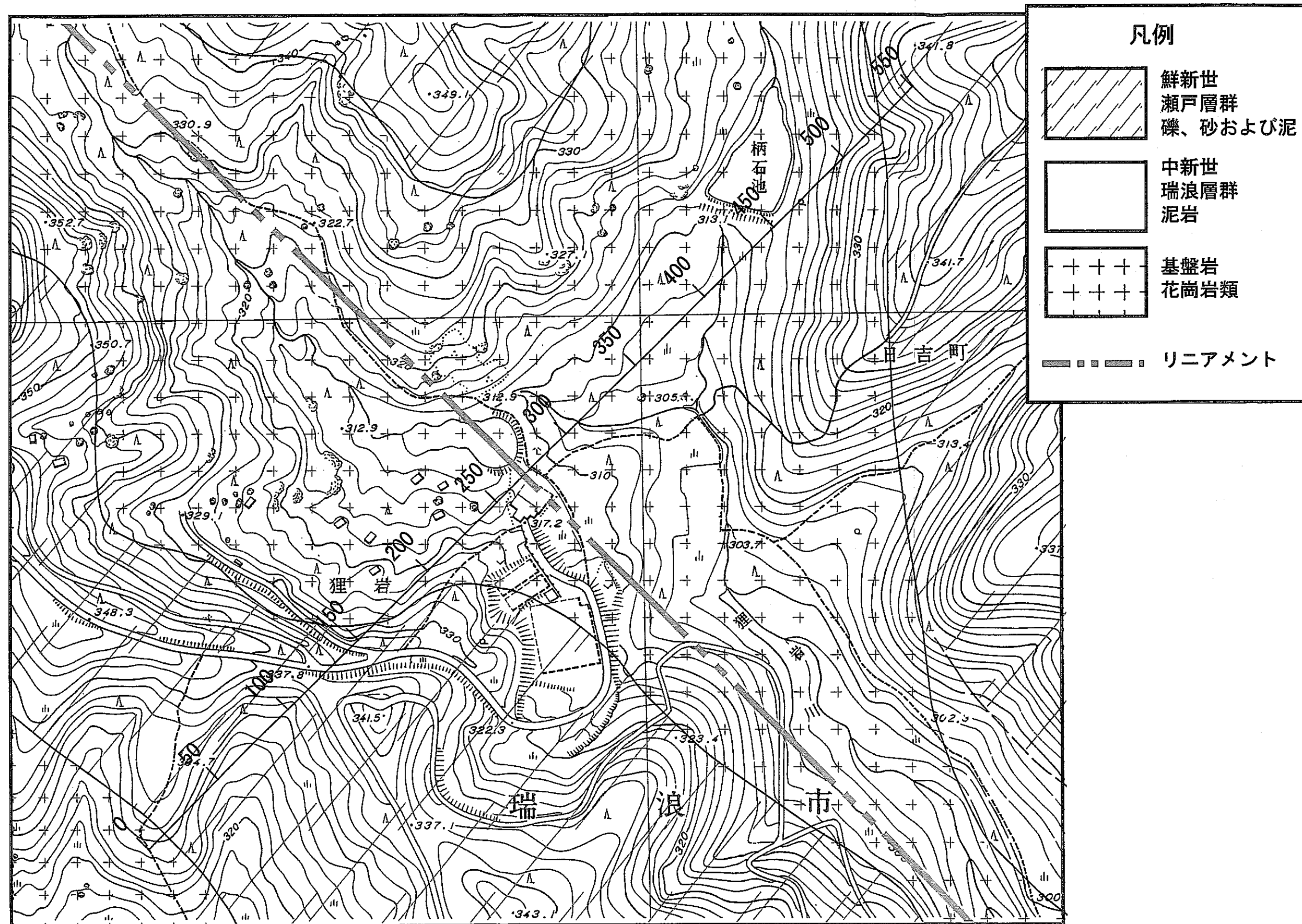


図-5.2 地質、リニアメント図 (S=1/2000)

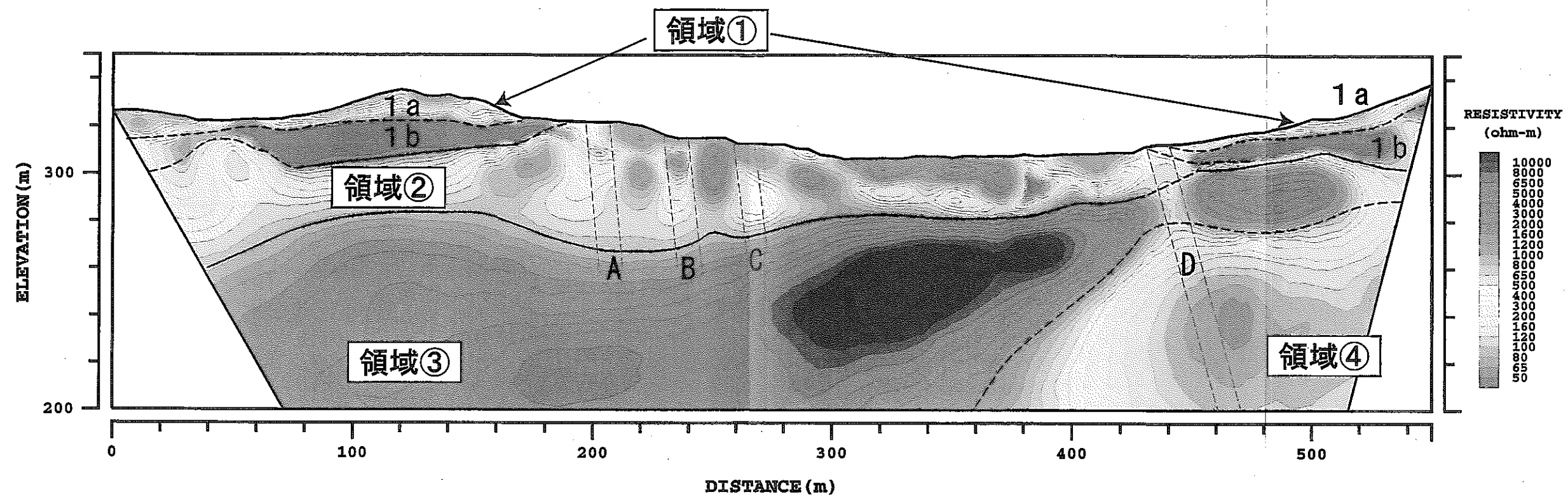


図-5.3 比抵抗区分図  
(S=1/2000)

## 6. シミュレーションによる検討

### 6.1. シミュレーションの手順

調査結果の解釈結果から比抵抗モデルを作成し、現地測定と同じ電極配置で得られるデータを算出した。このデータを用いて4章と同様の逆解析を行い、比抵抗断面を求めた。この断面と4章の断面を比較して、地下構造を検討する。

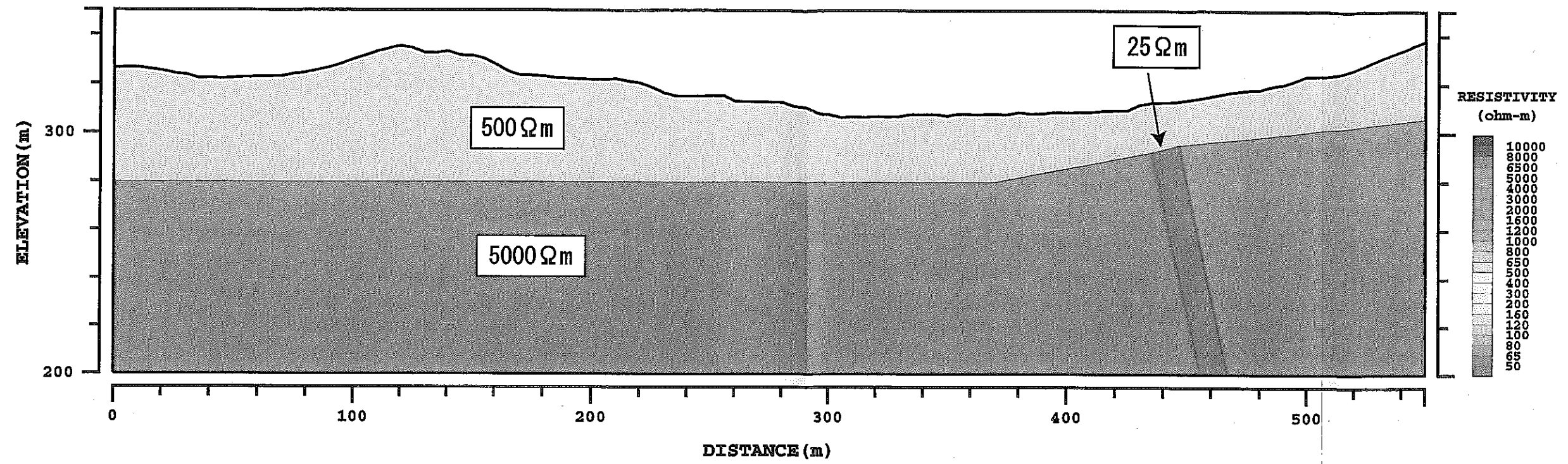
### 6.2. シミュレーションー1

以下のようなモデルを作成し、低比抵抗の領域④および低比抵抗部Dについて検討を行った。

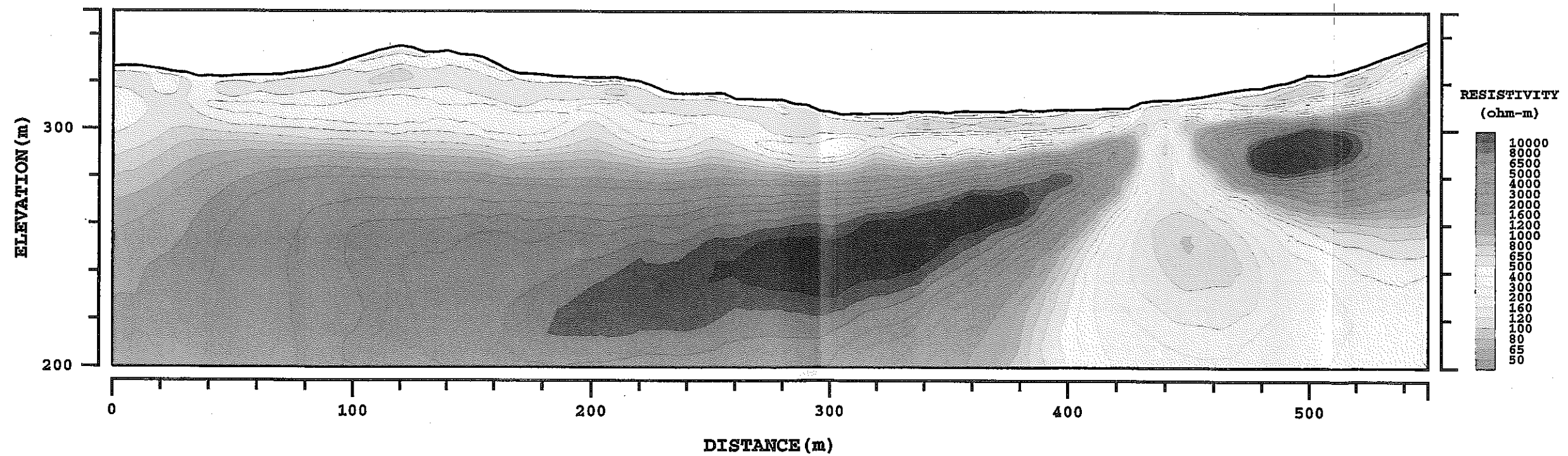
- ・測線距離0～370mまでは標高280mを境界とし、測線距離370mから終点側に向かって境界を上り傾斜とした。
- ・比抵抗値は浅部を500Ωm、深部を5000Ωmとした。また低比抵抗部Dを模して測線距離460mに幅10m、25Ωmの低比抵抗部を設定した。

モデルおよびシミュレーション結果を図-6.1に示す。この結果から、以下のことが考えられる。

- ・低比抵抗帯Dの位置に与えた幅10m、比抵抗値25Ωmの比較的幅の狭い低比抵抗帯が、逆解析の結果、幅100m以上の広範囲に分布する低比抵抗領域として解析されている。また、この低比抵抗領域の分布傾向は、現場データの解析断面とよく似ている。従って、図-5.3に認められる領域④の低比抵抗部は、比較的幅の狭い低比抵抗帯の存在によっても説明することができる。
- ・測線距離180～230m付近では、図-4.3とは異なり、比抵抗境界が窪んでいない。窪みに対応する構造として、この区間に地表から境界部付近に低比抵抗の領域があると考えられる。
- ・モデルでは深部を5000Ωmに設定しているが、解析結果では10000Ωm程度の高比抵抗領域が認められる。図-4.3においても同じように高比抵抗領域が認められるが、解析上の理由から高比抵抗として解析されている可能性が考えられる。
- ・測線の始点側の深部で比較的低い比抵抗値が見られることから、測線の端部ではデータ密度が低いために解析精度が低下し、比抵抗値が低く解析されている可能性が考えられる。



(1) モデルー 1



(2) シミュレーションー 1

図-6.1 シミュレーション結果ー 1  
(S=1/2000)

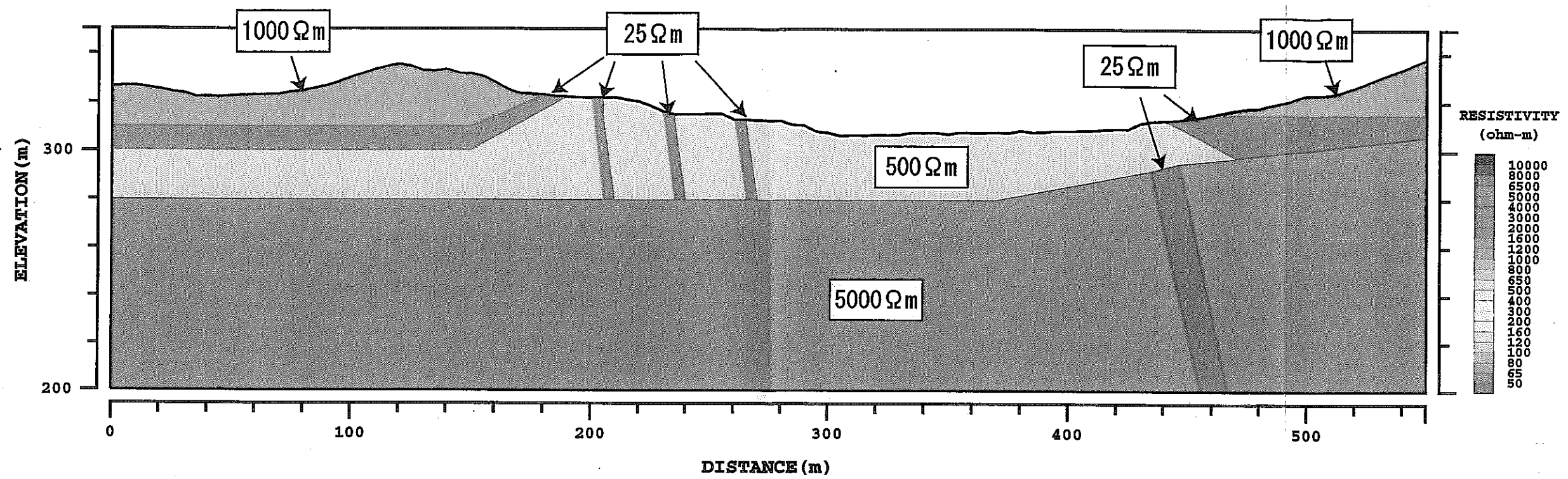
### 6.3. シミュレーションー 2

測線距離200～270mの低比抵抗部A,B,Cおよび地表部の不連続な構造を検討するために、モデルー 1 を次のように変更し、シミュレーションを行った。

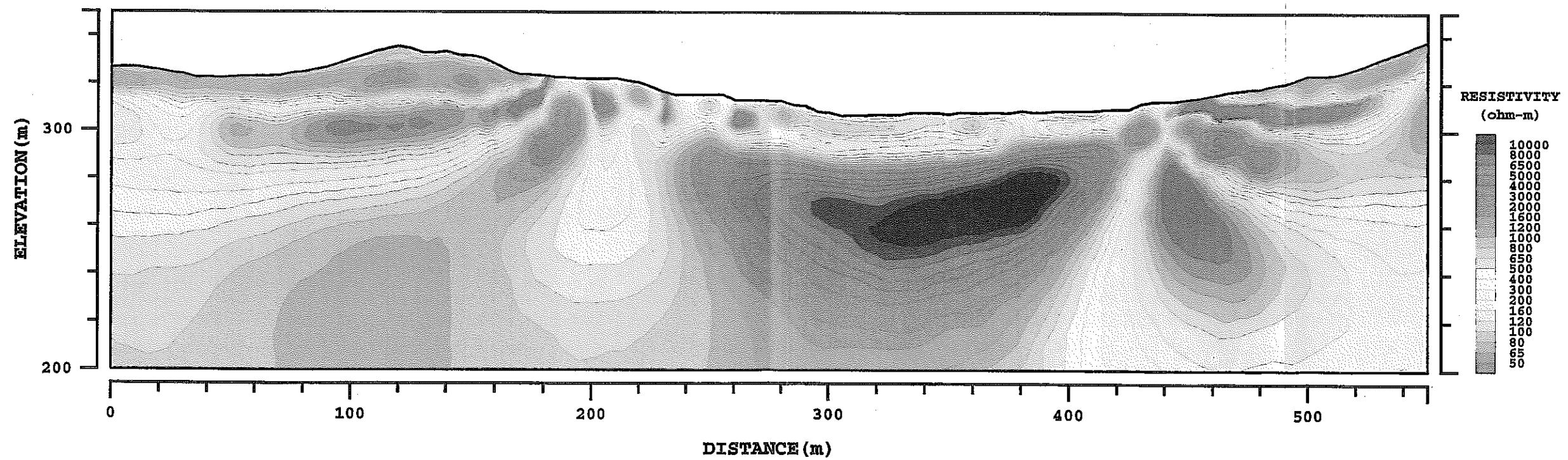
- ・ 測線距離0～180m、450～550mの地表付近に領域①に対応する $1000\Omega\text{m}$ (1a)および $25\Omega\text{m}$  (1b) の領域を追加した。
- ・ 測線距離200m、230m、270mの浅部に低比抵抗部A,B,Cに対応する幅5m、 $25\Omega\text{m}$ の低比抵抗部を追加した。

モデルおよびシミュレーション結果を図-6.2に示す。この結果から、以下のことが考えられる。

- ・ 測線距離0～180m、450～550mの地表付近の比抵抗分布は、現場データの解析断面とよく似ている。従って、図-5.3に認められる領域①は、モデルに与えたように、比抵抗値の異なる2層構造の可能性が考えられる。
- ・ 測線距離200m、230m、270mに認められる低比抵抗帯は、現場データの解析断面の分布傾向と概ね似ている。図-5.3に認められる低比抵抗帯は、モデルの測線距離200m、230m、270mに与えたような、狭い低比抵抗帯の存在によって説明することができる。
- ・ シミュレーション結果の測線距離200mの低比抵抗帯は、現場データの解析断面より低い比抵抗値を示している。また、シミュレーション結果では、測線距離200mの低比抵抗帯の下部に $1000\Omega\text{m}$ 以下の領域が深部まで広がっているが、現場データの解析断面ではこの領域は $1000\Omega\text{m}$ 以上を示している。従って、低比抵抗帯Aは低比抵抗帯B,Cよりも小規模な不連続構造であるか、または領域①の低比抵抗帯により解析断面に現れた偽像の可能性があると考えられる。



(1) モデルー 2



(2) シミュレーションー 2

図-6.2 シミュレーション結果ー 2  
(S=1/2000)

## 7. 考察

5章および6章の検討により推定した地質構造を図-7.1に示す。花崗岩地域における高密度電気探査について、本調査により以下のことが示される。

### (1) 花崗岩中のリニアメントなどの不連続構造と比抵抗構造との関係

既存資料による本調査地域の地質構造は、比抵抗探査結果は次の点で概ね整合している。

- ・ 地表の地質分布図（堆積物、花崗岩の分布）は領域①および②の比抵抗構造に相当すると考えられる。
- ・ 風化層の厚さ（約50m）は領域②の層厚に相当すると考えられる。
- ・ 図-5.2のリニアメントの位置は低比抵抗帯Cに相当すると考えられる。

また、今回の調査により、既存資料から想定していない位置に比較的規模の大きな低比抵抗帯Dが見つかった。この低比抵抗帯についての確認調査が必要と考えられる。

### (2) 花崗岩を対象とした地質構造調査における高密度電気探査の有効性

今回の調査結果では、比抵抗構造を次の4つの領域に概ね区分した。

- ①50～800 $\Omega$ mの低比抵抗領域
- ②200～2000 $\Omega$ mの中程度の比抵抗領域
- ③2000 $\Omega$ m以上の高比抵抗領域
- ④測線距離400～550m区間深部の100～300 $\Omega$ mの低比抵抗領域

また、領域②、④の中に100 $\Omega$ m以下の低比抵抗帯が認められる。一般的に花崗岩の比抵抗値は1000～10000 $\Omega$ mを示し、破碎や変質などにより粘土化した領域あるいは粘土鉱物を多く含む領域は10～100 $\Omega$ mの比抵抗値を示す（図-2.3参照）。新鮮部と劣化部では最大で2オーダー程度の比抵抗コントラストが見こまれる。従って、花崗岩地域においては、比較的容易に破碎帯や変質部が低比抵抗帯として検出されるものと考えられる。また比抵抗断面の解釈において、シミュレーション手法を用いた検討は非常に有効であると考えられる。

今後の調査においても、高密度電気探査を行うことで地質構造が明らかになるものと考えられる。

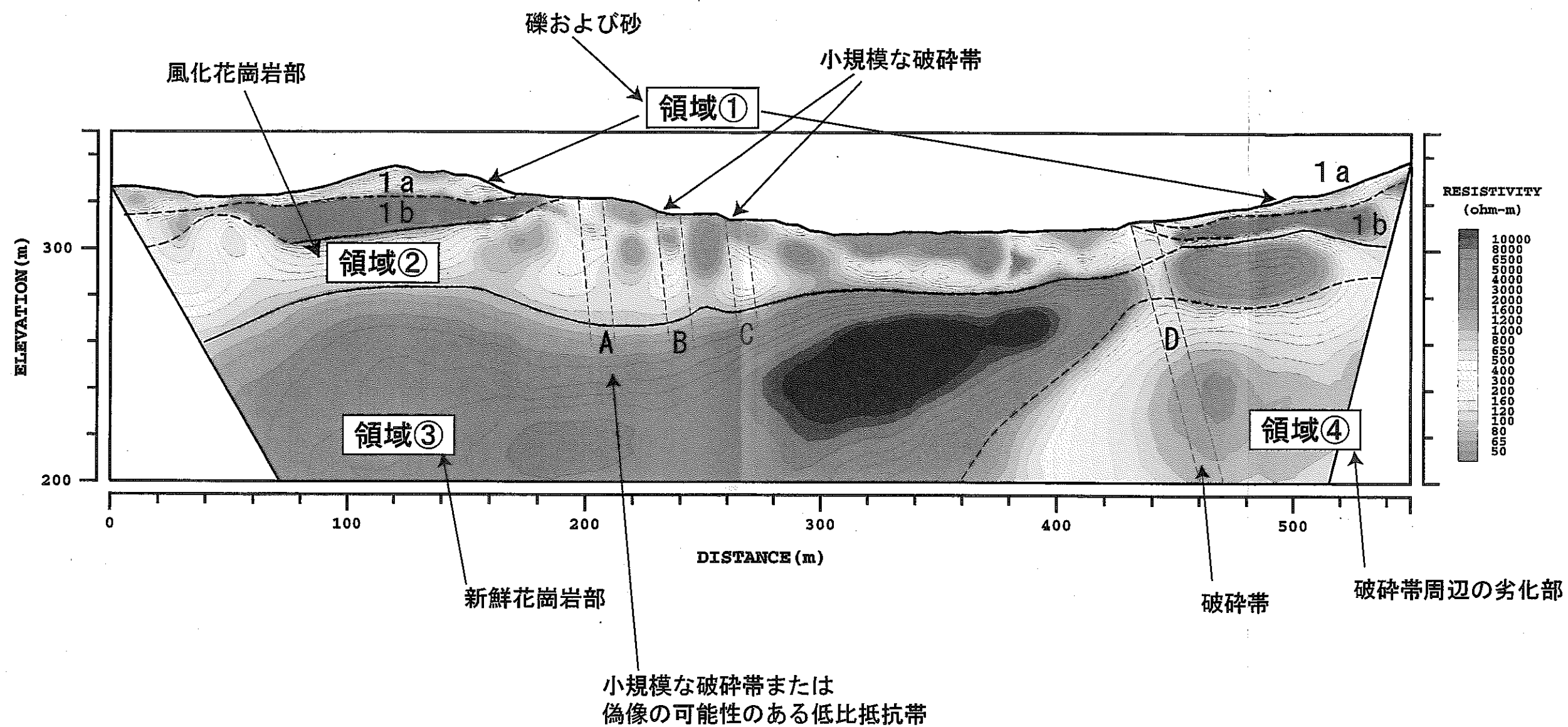


図-7.1 総合考察図  
(S=1/2000)

## 8. 今後の調査に対する提案

本調査の目的として、花崗岩中のリニアメントなどの不連続構造と比抵抗構造との関係と、花崗岩を対象とした地質構造調査における高密度電気探査の有効性をより詳細に検討するために、今後、以下に示す検討が重要と考えられる。

### (1) 空中写真判読

今回、比較的大きなリニアメントと推定した測線距離450mの低比抵抗部Dについて、空中写真からリニアメントと判読することが可能か否か再検討する。

### (2) 地表踏査

測線付近の地表踏査を実施し、今回の調査結果と整合する不連続構造が存在するか否か確認する。

### (3) 比抵抗探査

測線距離450mを中心とした測線長500～1000mの比抵抗探査を実施する。この調査による比抵抗構造を基に測線距離400～550mの深部の低比抵抗領域を説明できる地下構造をシミュレーションにより検討する。

### (4) ボーリング調査

測線距離460m付近から鉛直または始点側に傾斜した斜めボーリングを実施し、低比抵抗部に対応する不連続構造等が存在するか否か確認する。

### (5) 3次元比抵抗探査

平行した2測線ないし3測線を設定し、測線内および測線間の3次元比抵抗探査を実施することで、破碎帯の水平方向の連続性を把握することができる。測線近傍の3次元的地形形状や構造の影響などによる2次元のシミュレーション検討では確認できない偽像も、3次元探査によって偽像か破碎帯等の連続した構造であるかを判別することができると考えられる。

## 9. おわりに

東濃地科学センターで実施している「広域地下水流動調査」における地質構造調査の一環として、花崗岩分布域において高密度電気探査を実施した。求められた地下の比抵抗分布と既存の地質調査、リニアメント調査、試錐孔調査などのデータとの比較により、以下の成果を得た。

1. 比抵抗構造は次の4つの領域に概ね区分することができる。

①50～800 $\Omega$ mの低比抵抗領域

②200～2000 $\Omega$ mの中程度の比抵抗領域

③2000 $\Omega$ m以上の高比抵抗領域

④測線距離400～550m区間深部の100～300 $\Omega$ mの低比抵抗領域

2. 測線終点側で深部に高比抵抗層中に広く低比抵抗領域が認められるが、既存資料では相当する地質構造は認められていない。

3. 既存資料との比較により、比抵抗構造と地質が概ね対応することが確認できた。

4. 既存のリニアメント位置に相当する個所では小規模な低比抵抗帯が認められる。

5. 2. の低比抵抗領域についてシミュレーション検討を行った。その結果、幅の狭い低比抵抗帯が解析断面に広い比抵抗領域を示す可能性のあることが分かった。また、測線の端部ではデータ密度が低いために解析精度が低下し、比抵抗値が低く示される可能性があることが分かった。

6. 4. の低比抵抗帯についてシミュレーション検討を行った。その結果、幅の狭い低比抵抗帯が解析断面に小規模な不連続構造として示される可能性があることが分かった。

花崗岩地域においては、比抵抗断面上で破碎帯や変質部が低比抵抗帯として示され、比較的大きなコントラストがあり、検出しやすいと考えられるので、今後の調査においても、高密度電気探査を行うことで地質構造が明らかになるものと考えられる。

## 10. 参考文献

核燃料サイクル開発機構：“広域地下水流動研究における試錐調査(その2)(DH-9孔)”、  
JNC契約業務報告書、JNC TJ7440 98-002,p.1-285 (1999)

核燃料サイクル開発機構：“リニアメント周辺の地質構造調査”、JNC契約業務報告書、  
JNC TJ7440 2000-016,p.8-27 (2000)

三枝博光、他：“水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その6)－不連続構造の水理特性および水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析－”、亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム 発表論文集、(2001)

杉本、他：“比抵抗2次元探査解析ソフトE-TOMOといくつかの現場適用例について”、  
物理探査学会第92回学術講演論文集、p.428-432 (1995)

東京大学出版会：“[新編]日本の活断層 分布図と資料”、活断層研究会編、p.222-229  
(1991)

動力炉・核燃料開発事業団：“日本のウラン資源(Ⅱ)”、p.30-31 (1988)

動力炉・核燃料開発事業団：“東濃地域を対象としたリニアメント解析(その1)”、P  
NC契約業務報告書、PNC TJ7361 94-002,p.1-69 (1994)

動力炉・核燃料開発事業団：“概査領域を対象とした地質構造調査”、PNC契約業務報告  
書、JNC TJ7440 2000-027,p.1-39 (1997)

## 付録－1 現場写真



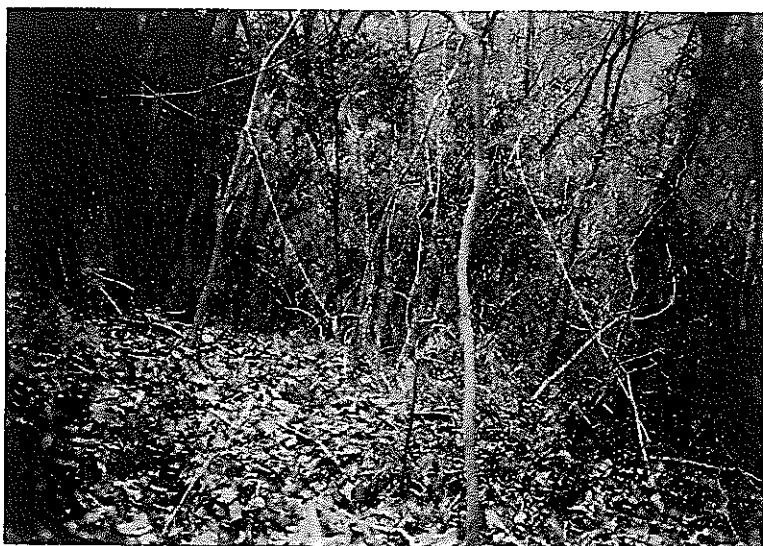
測量状況



電極設置



電極



ケーブル展開状況



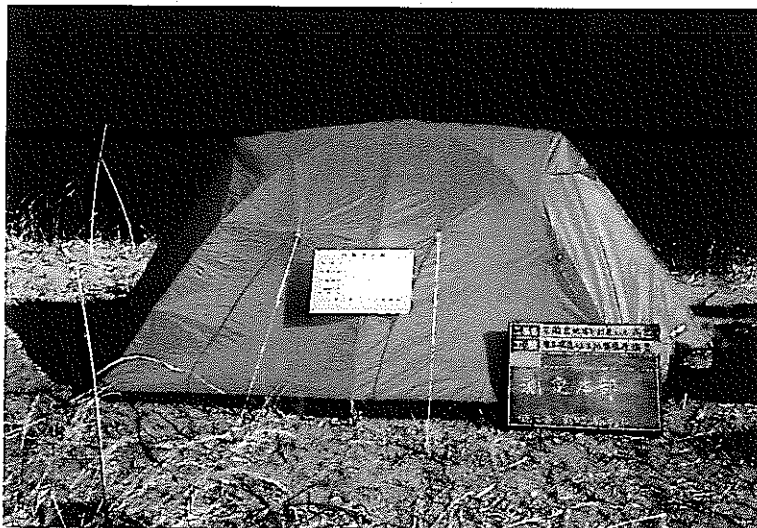
遠電極設置



遠電極



測定器



測定本部



測定器・  
電極切替器

## 付録ー2 デジタルデータファイルー覧

## デジタルデータファイル一覧

### 1. データファイル

遠電極補正前 : org\_1.dat

遠電極補正後 : rec\_2.dat

解析結果残差データ : misfit\_1.dat

### 2. 電極位置ファイル

station.dat

### 3. 有限要素法モデルファイル

msh2.dat

### 4. 擬似断面プロットファイル（見掛け比抵抗断面）

遠電極補正前 : apres\_no\_r.dat

遠電極補正後 : apres.res.dat

### 5. 比抵抗ファイル

lsq\_1.dat

### 6. 比抵抗セルデータファイル

lsq\_1.vel

## 1. 解析用データファイル

解析用データファイルはアスキー形式で書かれ、フォーマットは次のとおりです。

コメント (80キャラ)

ETDS1, ETDS2, NREC (フリーフォーマット)

電流源の電極番号 (ETDS1, ETDS2) と、この電流源に対して  
測定した電位データの数 (NREC)

電流極が 1 極の場合は、ETDS2 は 0 か負の値とします。  
ETDS1 が負のときはデータが終了することを示します。

ETDP1, ETDP2, POTOBS, CURRENT (フリーフォーマット)

電位電極の電極番号 (ETDP1, ETDP2) と、測定電位 (POTOBS),  
電流値 (CURRENT)。電位極が 1 極の場合は、ETDP2 は 0  
か負の値とします。

.....  
.....

ETDP1, ETDP2, POTOBS, CURRENT NREC 番目の測定

測定データ  
共通電流源毎にまとめ  
て書かれます。

.....  
.....

次の電流源のデータ

-1 -1 -1

データの終了

## 2. 電極位置ファイル

電極位置ファイルはアスキー形式で書かれ、フォーマットは次のとおりです。

STAT

NO(0), X(0), Y(0)

(フリーフォーマット)

.....

.....

.....

次の電流源のデータ

NO : 電極番号

X : X座標

Y : Y座標

NO(N), X(N), Y(N)

### 3. 有限要素法モデルファイル

有限要素法モデルファイルは節点座標や要素コネクティビティー、境界条件等を内容とします。1 カラム目が\*の行はコメントとみなされ無視されます。また行内の数字はフリーフォーマットで記入できます。

#### NODE

節点の定義

id, x, z

id : 節点番号

x, z : 座標値

繰返し

#### TRI3

3 角形 1 次要素定義

id, im, n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>, n<sub>3</sub>

id : 要素番号

im : 物性値番号

n<sub>i</sub> : 要素を構成する節点の番号

反時計回りの順番に指定して下さい。

繰返し

#### QUAD4

長方形 1 次要素定義

id, im, n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>, n<sub>3</sub>, n<sub>4</sub>

id : 要素番号

im : 物性値番号

n<sub>i</sub> : 要素を構成する節点の番号

反時計回りの順番に指定して下さい。

繰返し

#### LINE

線要素定義 (電位計算プログラム e\_pot でのみ有効です)

id, rbor, n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>, n<sub>3</sub>

ID : 要素番号

rbor : 抵抗値 ( $\Omega/m$ )

n<sub>i</sub> : 要素を構成する節点の番号

2 節点要素の場合は n<sub>3</sub> はブランク、  
または n<sub>1</sub> か n<sub>2</sub> と同じ番号です。

繰返し

**BOUN**      **zboun**      固定境界条件の設定

[ **nodeb, potb** ]  
繰返し

zboun : 地表標高  
nodeb : 節点番号  
potb : nodeb におけるポテンシャルの拘束値  
。 potb が 0 以外の場合は、プログラム内部で理論値を計算した値に potb をかけたものの拘束値とします。 potb=0 のときは拘束値は 0 となります。

**MXBND**      **zboun**      **x0**      **z0**      混合境界条件の設定

[ **ID, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>** ]  
繰返し

zboun : 地表標高  
x0, z0 : 仮想ソース位置  
n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub> : 境界面を構成する節点番号

グリッドカードによるセル（あるいはグリッド点）の定義法には、GRID、GRID2 および GRID3 の 3 方法があります。

**GRID**      セル（グリッド）の定義（長方形セル）  
セル番号を要素定義の中で行っている場合はなくてもかまいません。

**IGRDx**      **ngrdx**      X 座標の定義  
IGRDx : フラッグ  
ngrdx : 指定する座標値の数

[ **gridx(1), gridx(2), .....** ]      座標値  
繰返し

**IGRDz**      **ngrdz**      Z 座標の定義  
IGRDz : フラッグ  
ngrdz : 指定する座標値の数

[ **gridz(1), gridz(2), .....** ]      座標値  
繰返し

GRID2

グリッド点の定義（地表に起伏がある場合）

セル番号を要素定義の中で行っている場合はなくてもかまいません。

IGRDx2

ngrdx2

IGRDx2：フラッグ

ngrdx2：指定する座標値の数

gridx：X座標

z1,z2：Z座標の最小と最大

図参照のこと

gridx(1),z1(1),z2(1)

繰返し (1~ngrdx2)

Z方向のグリッド間隔の指定

IGRDZ2

ngrdz2

IGRDZ2：フラッグ

ngrdz2：Z方向のグリッド数

GRIDZ(1),GRIDZ(2),.....

グリッド間隔の比 (ngrdz2-1 個の変数)

GRID2 は z1~z2 までの全区間を GRIDZ で指定した比で分割しますが、GRID3ではある深度以深を平坦に分割します。

GRID3

グリッド点の定義（地表に起伏がある場合）

セル番号を要素定義の中で行っている場合はなくてもかまいません。

IGRDx3

ngrdx2

IGRDx3：フラッグ

ngrdx3：指定する座標値の数

gridx：X座標

z1,z2：比で分割する区間のZの最小と最大

gridx(1),z1(1),z2(1)

繰返し (1~ngrdx3)

Z方向のグリッド座標および間隔比

IGRDZ3

ngrdz3

ngrdz4

IGRDZ3：フラッグ

ngrdz3：Z方向のグリッド数

ngrdz4：平坦面として指定する層数

GRIDZ(1),...,GRIDZ(ngrdz4)

グリッドのz座標 (ngrdz4 個)

GRIDZ2(1),GRIDZ2(2),.....

グリッド間隔の比 (ngrdz3-ngrdz4-1 個)

2. 5次元解析では断面と鉛直方向にフーリエ変換して、各波数について2次元解析をした結果を逆フーリエ変換で、実空間上のポテンシャル分布に戻します。

WAVNOはこの時の波数を指定します。NITを大きくすると解析精度は良くなりますが、計算時間が増加します。通常は14~20程度としますが、3極法や4極法の場合には大きめの値にとって下さい(20程度)。分割数を偶数に限っているのは、逆フーリエ変換の際の積分にシンプソンの方法を採用しているためです。

|       |       |
|-------|-------|
| WAVNO | 波数の定義 |
|-------|-------|

|                 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| WMIN, WMAX, NIT | WMIN : 最小の波数<br>WMAX : 最大の波数<br>NIT : 分割数 (偶数) |
|-----------------|------------------------------------------------|

解析する際の座標系とは別の座標を使って図化する場合には、次のような座標変換の指定をします。x座標の変換にはXCONVあるいはXCONV2のいずれか、標高の変換にはYCONVを使います。

なお、座標変換が有効となるプログラムは、e\_post、e\_apres、e\_boundです。それ以外のプログラムでは無視されます。

|       |   |   |                               |
|-------|---|---|-------------------------------|
| XCONV | A | B | X座標変換係数の定義<br>新しいx座標 = $AX+B$ |
|-------|---|---|-------------------------------|

|       |   |   |                              |
|-------|---|---|------------------------------|
| YCONV | C | D | Y座標変換係数の定義<br>新しい標高 = $CY+D$ |
|-------|---|---|------------------------------|

|        |   |             |
|--------|---|-------------|
| XCONV2 | M | M: 座標指定点の個数 |
|--------|---|-------------|

Xold(1) , Xnew(1)

Xold(2) , Xnew(2)

.....

Xold(M) , Xnew(M)

Xold: 変換前のx座標

Xnew: 変換後のx座標

1行に1点ずつ指定します。

|       |    |    |    |    |    |
|-------|----|----|----|----|----|
| GRID  |    |    |    |    |    |
| IGRDX | 6  |    |    |    |    |
| 0     | 30 | 42 | 48 | 60 | 90 |
| IGRDZ | 6  |    |    |    |    |
| 0     | 20 | 35 | 45 | 55 | 60 |

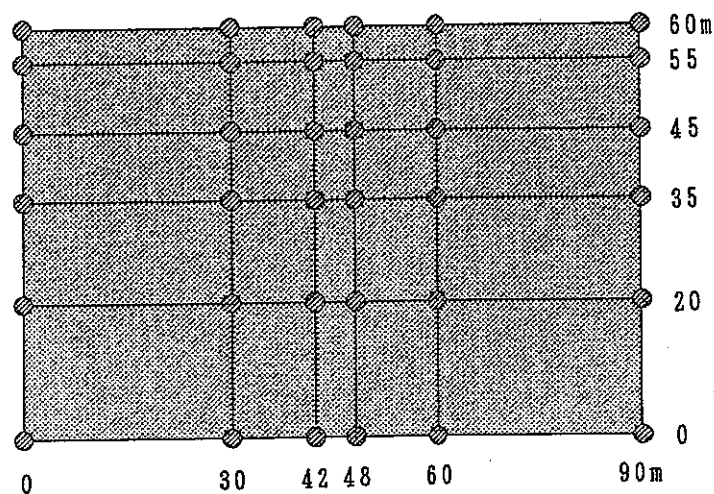


図 3 - 1 GRIDカードによるグリッド分割の例

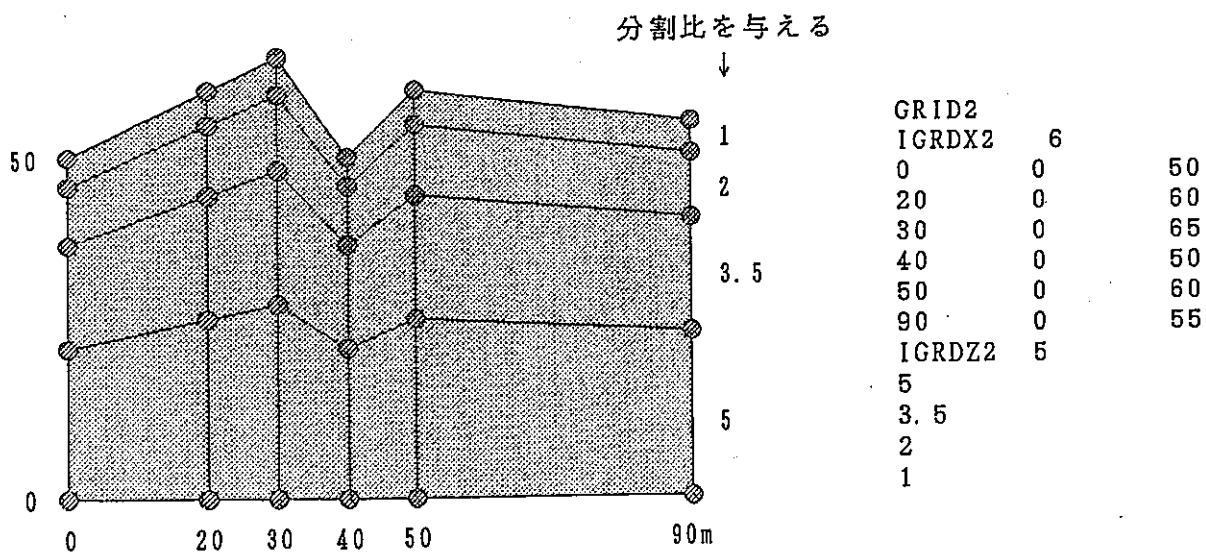


図 3 - 2 GRID2カードによるグリッド分割の例

|          |        |    |    |   |
|----------|--------|----|----|---|
| GRID3    |        |    |    |   |
| IGRDX3 6 |        |    |    |   |
|          | 0      | 30 | 50 |   |
|          | 20     | 30 | 60 |   |
|          | 30     | 30 | 65 |   |
|          | 40     | 30 | 50 |   |
|          | 50     | 30 | 60 |   |
|          | 90     | 30 | 55 |   |
|          | IGRDZ3 | 8  | 3  |   |
| 標高 →     | 0      | 10 | 20 |   |
| 分割比 →    | 4      | 4  | 2  | 1 |

全層数：8 標高で指定する層数：3  
残りは分割比を指定

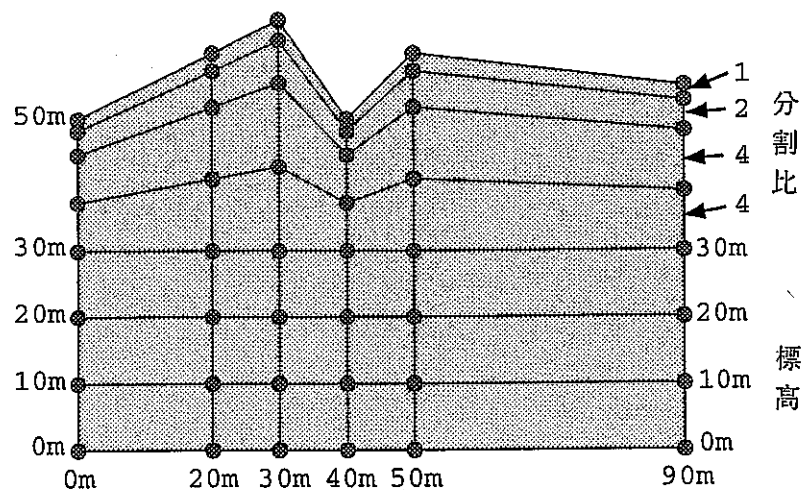
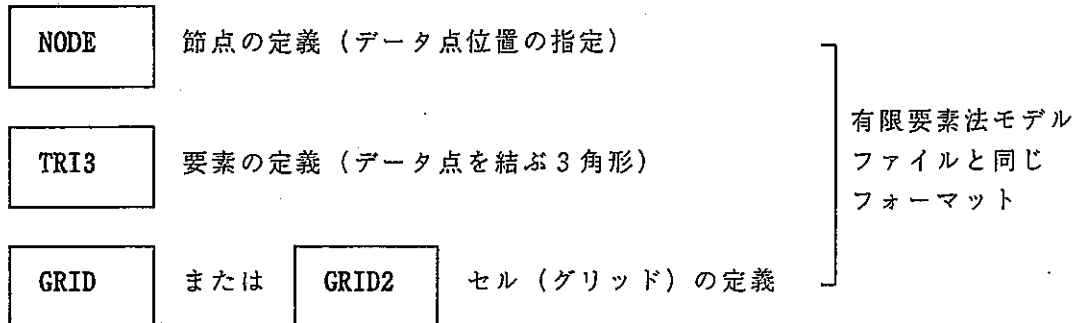


図 3 - 3 G R I D 3 カードによるグリッド分割の例

## 4. 疑似断面プロットファイル

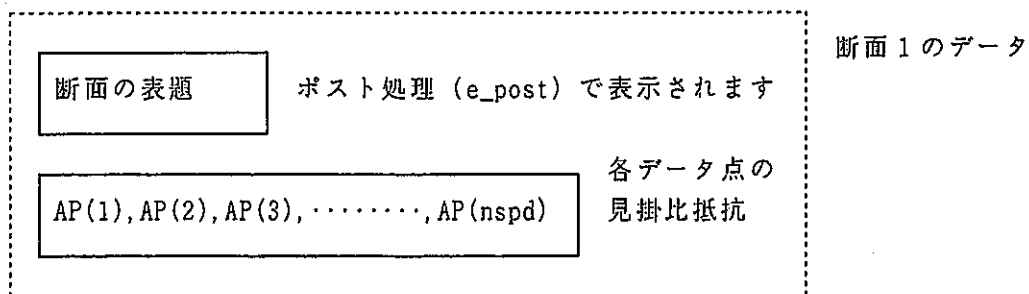
疑似断面プロットファイルは、データ点を結んだ3角形メッシュ網の断面形状データと、データ点（各節点に相当）の見掛け比抵抗値のデータからなります。断面形状データは有限要素法モデルファイルのフォーマットと同じです。



GRID カードは基本的には疑似断面プロットには必要ありません。ただし、セル（グリッド）を定義しておくとポスト処理において比抵抗断面表示する際に、有限要素法モデルとして疑似断面の形状データを使うことができます。この時、セル（グリッド）の定義は比抵抗解析に使った有限要素法モデルのセル（グリッド）と同じでなければなりません。比抵抗断面表示では断面形状データのみが使われ、" APRES" 以下の見掛け比抵抗値データは無視されます。



itaf はファイルに書かれた断面数（フィルターをかけたもの、かけないもの等の複数断面が書けます）。nspd はデータ点の数。値が dflg のデータ点は表示しません。



断面 itaf のデータ

断面の表題

ポスト処理 (e\_post) で表示されます

AP(1), AP(2), AP(3), ……………, AP(nspd)

各データ点の  
見掛比抵抗

## 5. 比抵抗ファイル

比抵抗ファイルはアスキー形式で書かれ、ファイルの内容は次のとおりです。

|       |      |
|-------|------|
| ICELL | DFLG |
|-------|------|

ICELL は解析法の指定。1 の場合はセルモード、2 の場合はグリッドセルモード。  
比抵抗値が DFLG のセル (グリッド) は、ポスト処理のときに表示されない。デフォルト値は 0。

|      |      |
|------|------|
| NBLO | ITAF |
|------|------|

NBLO はセル数 (ICELL=1) またはグリッド数 (ICELL=2)  
ITAF はファイルに書かれた最大ソリューション番号。

|      |
|------|
| COMM |
|------|

コメント。行数に制限無し。

|          |   |     |     |
|----------|---|-----|-----|
| SOLUTION | 1 | RES | OHM |
|----------|---|-----|-----|

1 番目の断面

SOLUTION: ソリューション番号を示すフラッグ (先頭 8 文字)  
1 : ソリューション番号 1  
RES : 図化のときのカラスケールのタイトル。  
デフォルト (ブランク) は "RESISTIVITY"  
OHM : 図化のときのカラスケールの単位。  
デフォルト (ブランク) は "(ohm-m)"

|                                   |
|-----------------------------------|
| R(1), R(2), R(3), ..... , R(NBLO) |
|-----------------------------------|

各セルあるいはグリッドの比抵抗値 (フリーフォーマット)

.....

.....

|          |      |     |     |
|----------|------|-----|-----|
| SOLUTION | ITAF | RES | OHM |
|----------|------|-----|-----|

ITAF 番目の断面

SOLUTION: ソリューション番号を示すフラッグ (先頭 8 文字)  
ITAF : ソリューション番号 ITAF  
RES : 図化のときのカラスケールのタイトル。

デフォルト (ブランク) は "RESISTIVITY"  
OHM : 図化のときのカラースケールの単位。  
デフォルト (ブランク) は "(ohm-m)"

R(1), R(2), R(3), ..... , R(NBLO)

各セルあるいはグリッドの比抵抗値 (フリーフォーマット)

## 6. セルデータファイル

比抵抗データは解析に使用したメッシュモデルがなければ表示することができません。それでは他のソフト等との互換性がなく不便ですので、E-Tomoではセル変換プログラム e\_velboyをサポートしてメッシュに依存する比抵抗データを競るデータの形に直すことができます。セルデータは弾性波トモグラフィ・ソフト「velboy」で使われている速度ファイルフォーマットを利用しております。

### 1 データの内容

#### ① 最終解の SOLUTION No.

各イタレーション毎の結果は SOLUTION というフラッグ行の後に出力されます。ここには最大のイタレーション回数が入ります。

#### ② IX, IY, X0, Y0, DX, DY, FLGNUL

IX : X 方向のセル数+1

IY : Y 方向のセル数+1

X0 : 原点の X 座標

Y0 : 原点の Y 座標

DX : セルの一辺の長さ( X 方向 )

DY : セルの一辺の長さ( Y 方向 )

FLGNUL : 比抵抗値の入っていないセルは FLGNUL で与えられた値が入ります。通常 0.0 かブランクです。

#### ③ SOLUTION, IT, RCHARACTER1, CHARACTER2

SOLUTIONというフラッグの次の5カラムにイタレーション数、さらに14カラム目以降にキャラクターが入っている場合は、velboyで表示する際のカラースケールの単位が指定されます。比抵抗値の場合は、CHARACTER1=RESISTIVITY、CHARACTER2=ohm-mとなります。

#### ④ 比抵抗値

各セルの比抵抗が並びます。比抵抗値の並びの順番は次の図の例のように、左下のセルが1番目となります。

|    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
|    |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |    |
|    |    |    |    |    |    |
| 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |

(X0, Y0) DX

↑  
セル数  
(IY-1)  
↓  
DY

← セル数 (IX-1) →

この例では IX=7, IY=8です。

## 2 セルファイルの構造

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| ① |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 最終解のSOLUTION番号 (I5)                            |
| ② |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | IX, IY, X0, Y0, DX, DY, FLGNUL<br>(I5, 5F10.5) |
|   | C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | コメントその他                                        |
| ③ | SOLUTION <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">1</span>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1 番目のイタレーションの<br>比抵抗値                          |
| ④ | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div>.....</div> <div>.....</div> </div> | 'SOLUTION', I5<br>データの並びはフリーフォーマット             |
|   | C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | コメントその他                                        |
|   | SOLUTION <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">2</span>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2 番目のイタレーションの<br>比抵抗値                          |
|   | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div>.....</div> <div>.....</div> </div> | 'SOLUTION', I5<br>データの並びはフリーフォーマット             |