

# 水上電気探査（比抵抗法）手法の開発

吉村正義・藤井勢之

## Development of Resistivity Sounding on the Water

Masayoshi YOSHIMURA and Seishi FUJII

### Abstract

The authors have produced a system of electric resistivity sounding on the surface of water. No special knowledge about electrical prospecting is necessary to use this system. The system consists of measuring instruments and automatic inversion software for use in a personal computer.

Measurement is vertical electric sounding (VES) using a pole-pole array. A floating type electrode cable is used. Many current and potential electrodes are attached to the cable, spaced at equal intervals. Measurement is conducted simply by suspending the cable over the river and using the selector to switch from one potential electrode to the next.

Error owing to floating type electrodes is estimated as at most 5% maximum (Table 1). Occasionally, numerical experiments gave completely different solutions from those for the original model when automatic inversion of data included random noise of 5% (Fig. 1).

Therefore, the authors tried applying a digital filter to apparent resistivity curves. This filter effectively reduces short wave length fluctuations. In addition, the authors adopted the following new inversion technique:

First, the medium below the water surface is divided into thin layers having thicknesses equal to the minimum electrode interval. Next, resistivity values of each layers are determined by means of the least squares method.

These improvements automatically yielded more reliable results (Fig. 4). It is possible to roughly classify the layers by integrating resistivity values of each thin layer with respect to depth (Figs. 5 and 6).

Results from field experiments carried out at rivers are shown in Figs. 7 and 9.

This system was developed for measuring depth of bodies of water. Echo sounders are not useful for this purpose when rivers are swollen by heavy rain. Under such conditions, this system is useful and very effective for estimating erosion of the riverbed due to swelling of the river. In addition, the system is very useful for prospecting of bottom sediments at the bottom of rivers, lakes and marshes. The system helps to reduce drilling costs.

### 1 まえがき

河川の水深を測定する場合、流れが緩やかであれば、測量用のスタッフを立てたり、音響測深儀を使用するなどの方法によって容易に求めることができ、実際に行わ

れている。しかし、洪水時における川床の洗掘状況や洪水直後における土砂の再堆積状況などを十分に把握することは、河川の改修計画を立てる場合に重要な要素であるにもかかわらず、これまでのところ、適切な計測方法が確立されていないのが現状である。すなわち、洗掘が

問題となるような洪水時にスタッフを立てることなどは不可能である。また、音響測深器にしても、濁流中の気泡によって超音波が散乱してしまって役に立たないであろう。さらに、電磁波による水底からの反射波を用いて水深を求めようということも試みられたようであるが、成功していないようである。志村(1965)は、湖底の堆積層の土質状況を把握するために、水上電気探査を実施した例について述べている。これによれば、Wennerの四極法を採用し、当時の許された技術範囲で工夫を凝らして成果を挙げたようであるが、たとえ静穏時であるとはいえ、四つの電極を所定の位置に設置することは極めて困難なことであったことがうかがえる。

最近に至り、Schröder et al (1987)は、測定精度を向上させるために、特殊な電極配置を用いて、浅い海において電気探査を実施している。かれらが使用した電極配置では、筆者らが使用したものよりも数倍の長さの浮遊型電極ケーブルを必要とする。

筆者らは、このような電極設置のことや洪水時ということらを考慮して、二極法による比抵抗法を採用することにした。そして、電極の展開については、水に浮くケーブルに所定の間隔に多数の電極を取付け(ここでは、浮遊型電極ケーブルと呼ぶ)、このケーブルを、たとえば橋の上から垂らすことによって、電極は川の流れにしたがって下流に向かって展開される。その後、手元スイッチを用いて電極間隔を切換えて一連の測定を実施することによって、その場所における垂直探査が終了することによって、その場所における水深を求めることができる。また、川底の堆積層の比抵抗値も得られることから、堆積層の土質の判定にも役立つことになる。以上のような考え方に基づいて、浮遊型電極ケーブルの設計および解析手法の開発を行った。

## 2 システムの概略構想

この水上電気探査の手法の開発に当たっての具体化のための概略構想としては、つぎのように考えた。

- 1) 増水時の一般的な河川状況を考へて、最大探査深度を10m程度とする。
- 2) 浮遊型電極ケーブルの長さを最小にするために、電極配列は二極法とする。二極法においては最大電極間隔は最大探査深度と同じ長さであればよいが、たとえば、Wennerの四極法の場合にはその3倍の長さを必要とする。電極ケーブルの長さが長いほど水流の変動の影響を受けやすく、測定位置や電極間隔が不明確である。
- 3) 浮遊型電極の形状としては自由に曲がる多芯ケー

ブルに電極を取付けることにした。形状としては、たとえば、木あるいはプラスチックのまっすぐな棒に電極を取付けたもののように曲がらないものは、水の流れの影響を受けることなく電極間隔を一定に保つことができるという利点はあるが、波立った水面上の電極が常に水面に接触しているとは限らないということが懸念され、また、取扱いが不便であるという欠点がある。これに対して、自由に曲がる多芯ケーブルに電極を取付けたものは、電極間隔および電極位置が水流の影響を受けて変動するであろう。しかし、激流のためにケーブルが極端に湾曲して電極間隔が所定通りにならないような場合あるいは水深が急激に変化するような場所でない限り、電極の位置変動はそれほど問題にはならないであろう。

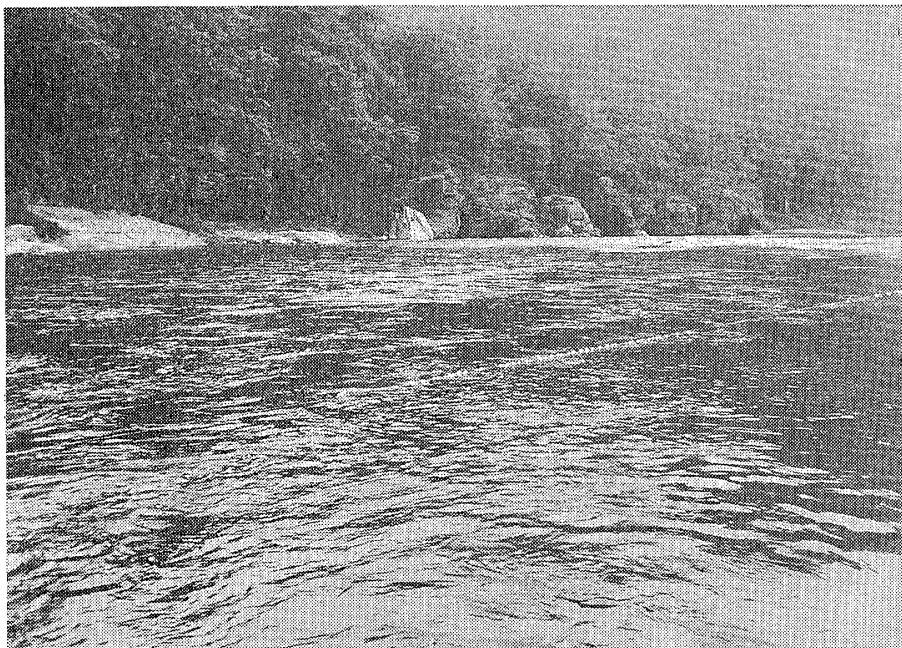
- 4) 測定器としては、応用地質特製の McOHM と手動による電極切換スイッチの組合わせたものを用いて試行することにする。
- 5) 解析は、パソコンを用いて全自動で行うこととする。解析方法としては対話形式(牛島ほか, 1987)とすることも考えられるが、この形式では電気探査についてのある程度の基礎知識を必要とするというような煩わしさがある。このことを解消するために、測定値を直接パソコンに入力し、自動的に解析を行い、その結果をディスプレイ上に表示する方法を採用することにする。ただし、この場合、結果の信頼性については十分確認しておくことが必要となる。

## 3 予備実験

### 3・1 浮遊型電極ケーブルによる測定値の精度

電極を地面に固定するのとは異なり、水上に浮かべるのであるから、当然のことながら、水の流れの向きが変われば電極位置は移動するし、水面が波立っておれば電極と水の接触条件も変化する。このような変動によって生じる測定値のばらつきの程度によっては、浮遊型電極ケーブルによる方式の成否が決まることになる。

このばらつきの程度を調べるためにつぎのような実験を行った。まず、フレキシブルなケーブルに発泡スチロールを取付けて、ケーブル全体が水面に浮くようにし、このケーブルの両端に、それぞれ電流電極と電位電極を5m離して取付けた。このケーブルを川に浮かべ、電流電極側は固定し、電位電極側は川の流れに任せた。この川の水深は約1m、流速は1m/s程度で、中に人が立つと押し流されそうであった(写真-1参照)。また、ケー



浮遊型電極ケーブル

写真—1 予備実験のために電極ケーブルを浮かべた状況

Photo 1 Circumstances of the electrode cable setting for preliminary experiment

ブルは直線状に下流方向に伸び、ケーブルの下流端は左右に1 m程度緩やかに移動していた。このような状況下において、通電電流を20mAとして、約30秒間隔で計11回の測定を実施した。

表—1 水上で測定したときの抵抗値の変動（電極間隔 5 m）  
Table 1 Fluctuation of resistance values measured on the water (electrode spacing: 5m)

測定番号	測定値( $\Omega$ )	平均値からのずれの割合(%)
1	9.477	-0.68
2	9.452	-0.94
3	9.622	+0.83
4	9.439	-1.08
5	9.958	+4.36
6	9.428	-1.19
7	9.429	-1.18
8	9.544	+0.02
9	9.614	+0.75
10	9.459	-0.87
11	9.543	+0.01
平均	9.542	1.08*

\*絶対値の平均

抵抗値の測定結果は表—1に示すとおりである。これによると、平均値からのずれの場合は最大+4.36%で、ずれの割合の絶対値の平均は1.08%となっている。測定値におけるこの程度のばらつきは、地上において測定を行う場合でも、たとえ電極を地面にしっかりと固定してあってもしばしば経験する程度のものである。したがって、このような構造のケーブルを用いて水上において測定した結果は、陸上における測定結果と同程度の精度であると考えられることができる。データを収録するという観点から見ると、浮遊型電極ケーブル方式は十分有用であり、データのばらつきが最大5%程度であることを念頭においておけばよいであろう。

### 3・2 解析法を決定するための数値実験

前に述べたように、測定方法は二極法であり、電流電極と電位電極の最小間隔を $a$ とするとき、 $a, 2a, 3a, \dots, na$  ( $n$ : 正の整数)のように整数倍の電極間隔で測定できるように電極を配置することにした。このような測定ができるようにしておけば、アルファセンター法を用いた二次元自動解析（島ほか, 1985; Sakayama et al. 1986）とのデータの相換性が保たれるので、一次元の垂直探査が適用できないような複雑な構造の場合に、比抵抗映像法と呼ばれている二次元解析（今井ほか, 1988）をスーパーミニコンで行うことができるように配慮したものである。

浮遊型電極ケーブルの設計に当たって、上記のような解

析上の問題を考慮することにしたのではあるが、3・1で述べたように、浮遊型電極ケーブルによる測定においては、測定値に最大5%程度のばらつきがあることが判明した。したがって、解析法を選定するに当って、このようなノイズの混入によって逆解析結果の精度にどのような影響を及ぼすかを検討しておくことは重要なことである。そこで、つぎのような数値実験を行った。

まず、比抵抗モデルを設定し、そのモデルに対して上記のような測定を実施したときに得られる抵抗値を理論的に計算する。この値に最大±5%のランダムノイズを加えたものを実際の測定データと見做し、このデータを用いて逆解析を行い、さきに設定した比抵抗モデルと比較して解析法の評価をすることにした。

そこで、逆解析法としては、一般によく用いられている層の数、各層の厚さおよび比抵抗値を未知量とし、リアフィルター法と非線形最小二乗法の組み合わせによる計算の繰返しによって、最適な未知量を求める方法（ここでは通常の方法と呼ぶことにする）を使用することにした。

設定した比抵抗モデルは、水、堆積層および基盤岩の3層構造とした。堆積層としては、粘土から砂礫までの種々の粒度の物質が考えられるが、いずれにしてもその比抵抗値は水の比抵抗値よりも大きい。一方、基盤岩は海成の泥岩のような低比抵抗値のものから、花崗岩類のような高比抵抗値のものまでを考慮すると、数 $\Omega \cdot m$ から数千 $\Omega \cdot m$ までの広い範囲にわたっており、水の値より高い値とは限らない。これらのことを考慮して、比抵抗値の組み合わせとしては、表-2に示すような6つの場合を設定することにした。この表において、1~3は基盤岩の比抵抗値が水の値よりも高い場合、また、4~6

は低い場合を想定したものである。

また、基盤岩までの深さに関しては、大きい場合と小さい場合（大きい場合の半分）の2種類とし、それぞれについて、堆積層の厚さと水深の比率を2:3, 3:2および4:1とした。したがって、数値実験に用いたモデルの数は、 $6 \times 2 \times 3 = 36$ となる。

これらの36個のモデルについて、前述の通常の方法による逆解析を実施した（この逆解析は、データを入力すればすべて自動的に行われる）。この解析結果を設定モデルと比較して図-1に示す。この図において、左段は基盤岩が深い場合、右段は基盤岩が浅い場合であり、上の行はモデル、下の行は逆解析結果である。

この36個の数値実験の結果によれば、モデルが3層構造であるにもかかわらず、解析結果は2層構造となり、求められた比抵抗値から見ると、中間の堆積層の部分が欠落した結果を示すものが18例と半数を占めている。しかも、基盤岩の比抵抗値が水の比抵抗値よりも大きい場合のほとんどのものがこのケースに該当している。つぎに、解析結果は3層構造となつてはいるが、層の境界深度がモデルと異なるものが9例あり、そのうちの2例は水の層、他の2例は堆積層に該当する比抵抗値を示していない。したがって、各層の比抵抗値および境界深度がほぼモデルと一致していると思われるものは9例ということになる。

これらの数値実験の結果から判断すると、測定される抵抗値に5%程度のノイズが混入している場合、通常の方法を機械的に使用するときには、解析結果に誤りが生じる危険が多いことになる。

### 3・3 解析方法の改良

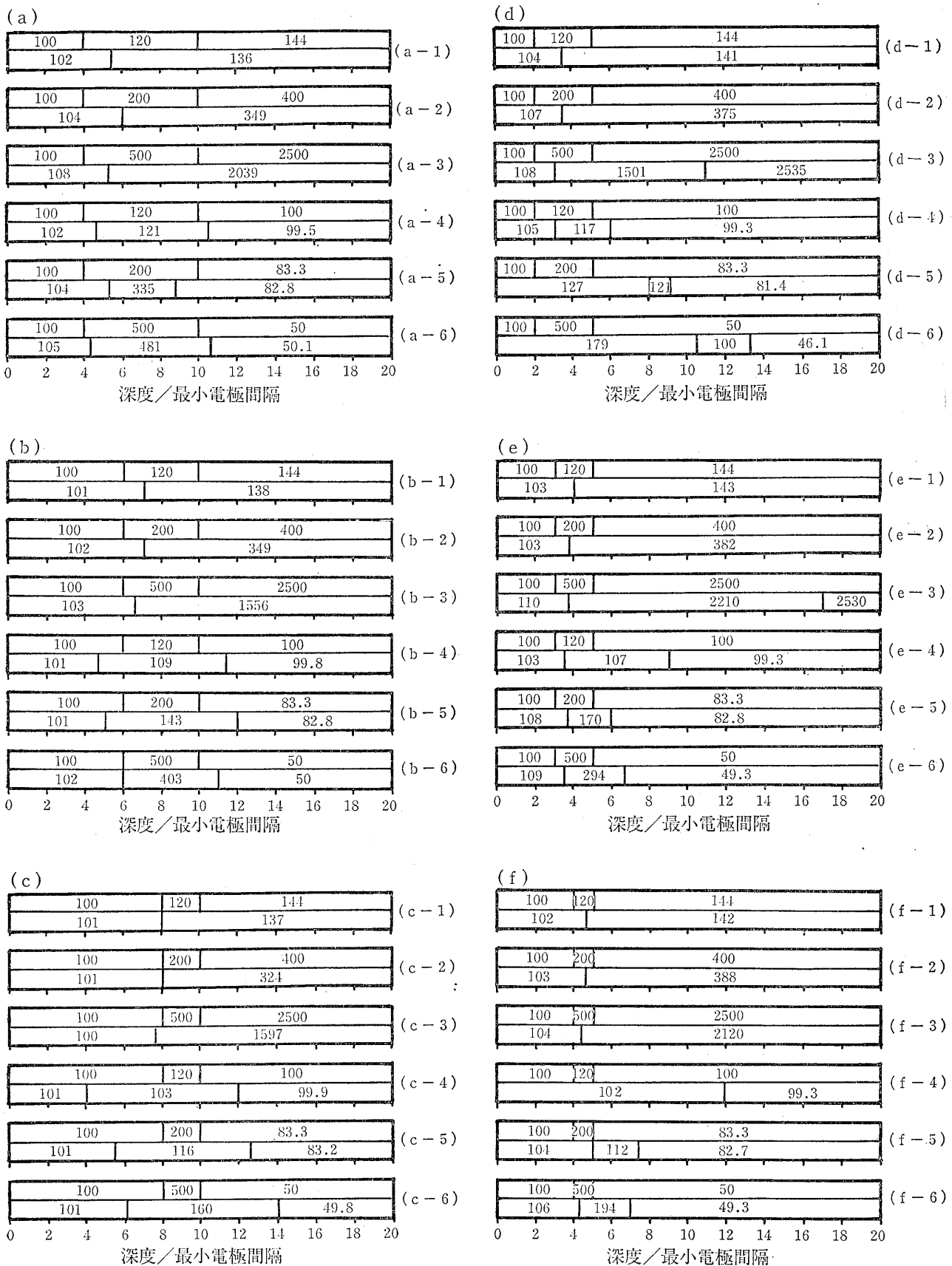
前節で述べたように、ノイズの混入しているデータの逆解析を機械的に実施すると、大きな誤りを犯すことが判明した。したがって、測定時にノイズを減らす方法としては、多数回の測定によるスタッキング法あるいは合成電位法によるノイズ除去法（島ほか、1986）などがあるが、これらの方法は、現状では測定に時間がかかるなどの難点があることから、解析方法の改良を行うこととした。

電気探査のWennerの四極法の場合の標準曲線を用いる解析において、得られた $\rho_a - a$ 曲線を標準曲線に当てはめるとき、曲線の全体の傾向を合わせるようにすることは、各点のずれの量を誤差として扱うことに外ならない。これは、重力探査において、重力異常のスペクトル分析から、ある波長以下の変動をノイズと見なして、フィルターを用いてその除去を行っている（加藤、1987）

表-2 数値実験において想定した各層の比抵抗値  
Table 2 Imagined resistivity of each layers  
for computer simulation

番号	水	堆積層	基盤岩
1	100	120	144
2	100	200	400
3	100	500	2500
4	100	120	100
5	100	200	83.3
6	100	500	50

単位： $\Omega \cdot m$



図一 数值実験の結果（上行：数值モデル，下行：逆解析結果，単位： $\Omega \cdot m$ ）

Fig. 1 Result of computer simulation (Upper row: model, Lower row: inversion result, Unit:  $\Omega \cdot m$ )

ことと全く同じ操作である。

このように考えて、測定によって得られた  $\rho \sim a$  曲線にフィルターをかけ、短波長の変動を除去することにした。しかしながら、どのような特性を持ったフィルターが最適であるかを定める方法は明確になっていない。そこで、元のデータを損なう恐れが少なく、しかもパソコンの負担にならないように考えて、3点の移動平均を用いる方法を採用した。すなわち、隣合っている見掛比抵抗を  $\rho_{i-1}$ ,  $\rho_i$ ,  $\rho_{i+1}$  とするとき、

$$(\log(\rho_{i-1}) + \log(\rho_i) + \log(\rho_{i+1}))/3$$

をもって、 $i$  点の見掛比抵抗の対数値とする方法である。これは最も単純なデジタルフィルターの一種であり

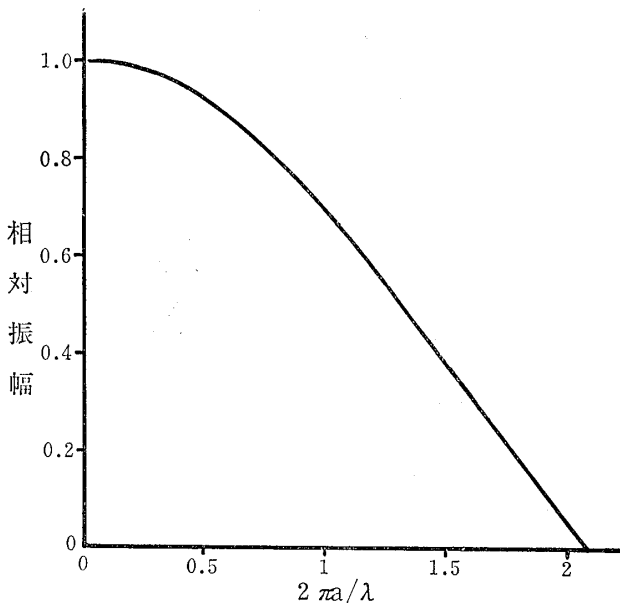


図-2 フィルター特性 ( $a$ : 最小電極間隔,  $\lambda$ : 波長)  
Fig. 2 Response of the filter ( $a$ : minimum interval of the electrode,  $\lambda$ : wave length)

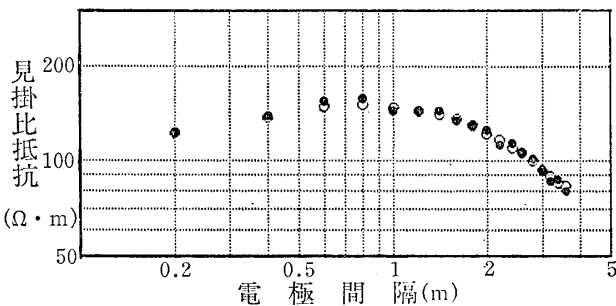


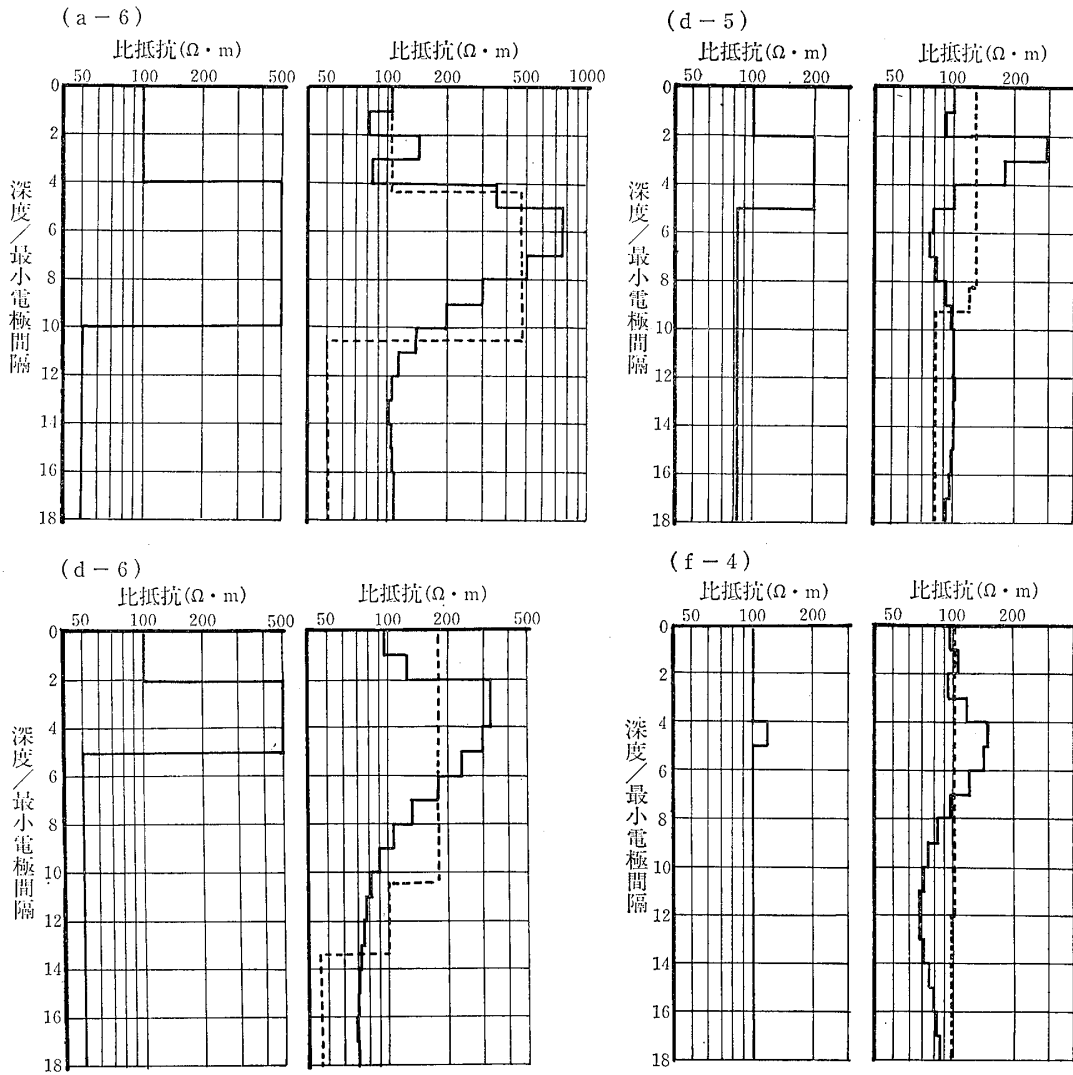
図-3  $\rho \sim a$  曲線にフィルターを適用した例  
(●: 測定値, ○: フィルター処理後)  
Fig. 3 An example of filtered  $\rho \sim a$  curve  
(●: measured value, ○: filtered value)

(Robinson et al, 1964), かれらが示した理論式にしたがってその特性を求めると図-2のようになる。数値モデル (d-6) から作成された5%のノイズを含んだ  $\rho \sim a$  曲線に、このフィルターを適用した場合の  $\rho \sim a$  曲線を対比して図-3に示す。この例に見られるように、フィルター処理後の曲線は、もとの曲線よりも滑らかになっており、ある程度のノイズ除去が行われたことがうかがわれる。

一方、解析法に関しては、さきに示した数値実験において5%程度のノイズが混入したデータの場合、通常の解析方法では、実際の構造と異なる結果が得られる場合が多いと推察されたので、層の厚さと比抵抗値の両者を未知量とする逆解析の代わりに、島ほか (1985) が二次元自動解析で試みているように、厚さが  $a$  ( $a$ は最小電極間隔) の薄層の多層構造に置換えて、それらの各薄層の比抵抗値だけを逆解析する方法を採用することにした。この方法では層の境界を明確に求めることはできない。しかしながら、比抵抗値が連続して漸移する形で求められるので、それらの値の累積表示 (寺田ほか, 1986) によって層境界と各層の比抵抗値を判定することにした。このような判定のための煩わしさは増えるけれども、大きな誤りを犯すことは避けられるであろう。

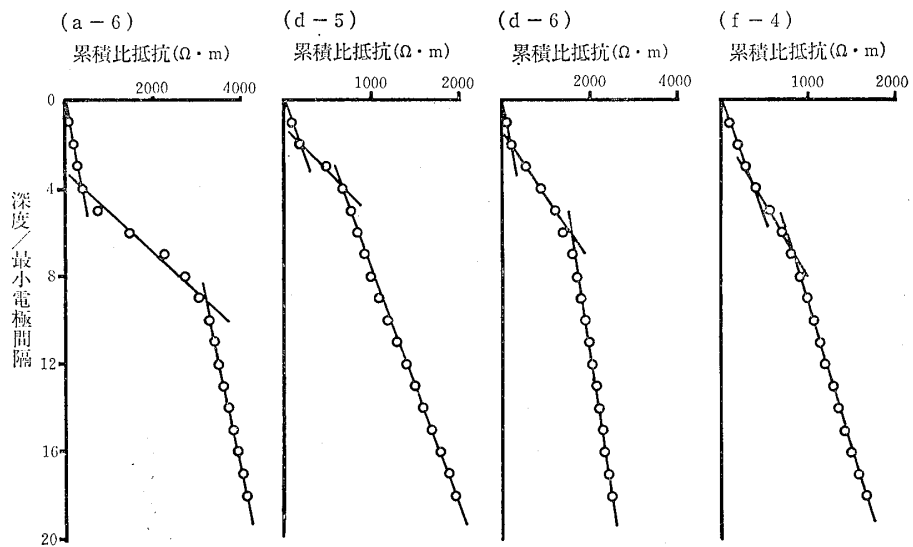
通常の方法によって解析を行った数値モデルのうち、解析結果が層境界、比抵抗値ともにモデルとよく合っているモデル (a-6), 三層構造を示してはいるが層境界位置がモデルとは全く異なり、また、第一層の値が水の比抵抗値を示さないモデル (d-5) と (d-6), 水の下に基盤岩が直接存在するような二層構造を示し、水深がモデルの三倍もある結果を示しているモデル (f-4) の4つのモデルについて、さきに述べたフィルター処理を行い、薄層に分割する逆解析を行った。その結果は図-4に示す通りである。これらの図において、左側はモデルを示し、右側の破線は通常の方法による結果、実線はここに提案した方法による結果を比較して示してある。薄層分割法の方が通常の方法よりもモデルに近い結果を示していると考えられる。

薄層分割法によって求められた各層の比抵抗値の累積曲線を作成すると図-5に示すようになる。いずれの場合も3本の直線によって表すことができる。すなわち、三層構造であり、直線の交点が示す深さが層の境界の深さを表すことになる。図-4の結果と図-5の結果を総合すると、図-6に示すような比抵抗構造であると判断され、原モデルと対比するとき、比較的妥当な結果となっている。特に、水深についてはモデルと全く同じであって、川床の変化状況調査という目的は一応達せられた



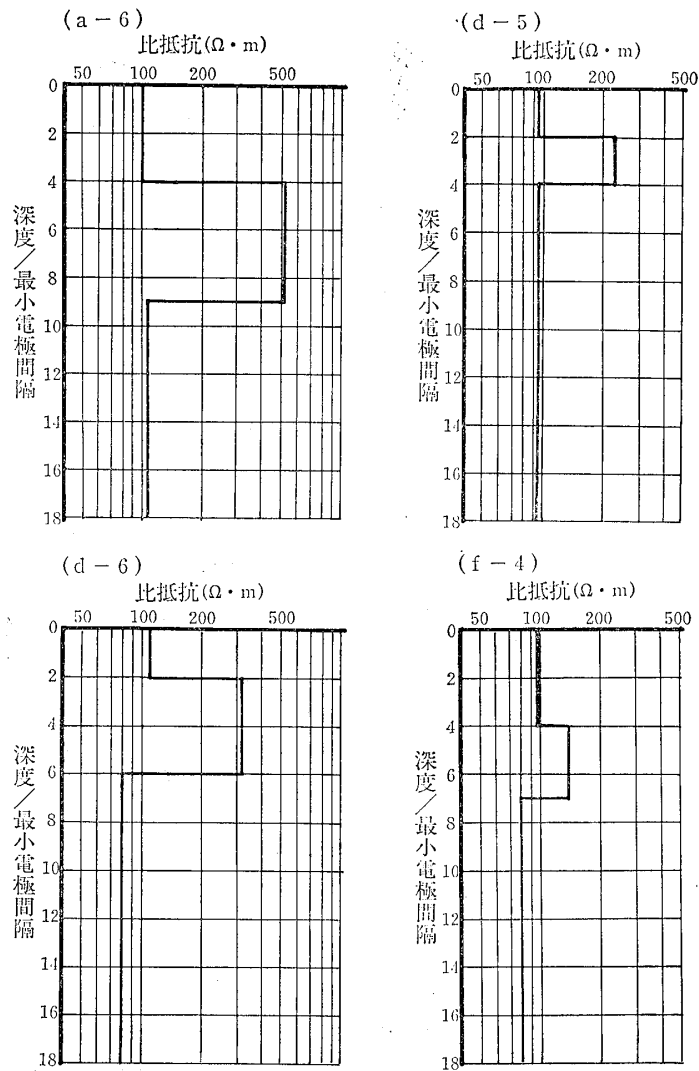
図一4 数値モデルと逆解析結果の比較

Fig. 4 Comparison between the simulation model and results from inversion analysis



図一5 比抵抗の累積

Fig. 5 Integration of resistivity



図一六 比抵抗累積曲線から求められた層構造

Fig. 6 Layered structures obtained from the integration curves of resistivity

ものといふことができる。

なお、実際に組込んだコンピュータソフトでは、最後の層区分の判断部分を除いて、測定されたデータを入力すれば、すべて自動的に処理され、逆解析結果は、比抵抗値に応じて色区分した柱状図としてディスプレイ画面に表示される。また、画面に表示された累積曲線についても、範囲を指定すれば、その間の直線を最小二乗法を用いて求め、各直線の傾き（その範囲の平均の比抵抗値）と直線の交点（層境界）の深度が出力されるようになってい

#### 4 測定装置の概要

測定装置は、電流を流し電位を測定する電気探査器、二極法用の浮遊型電極ケーブルおよび電極切換スイッチ

から構成される。

##### (1) 電気探査器

電気探査器本体としては、既製のものを用いることとし、応用地質特製の McOHM を選定した。この探査器にはメモリーが搭載されており、RS-232C を介してデータをパソコンに転送することができるので、解析時における能率上有利である。

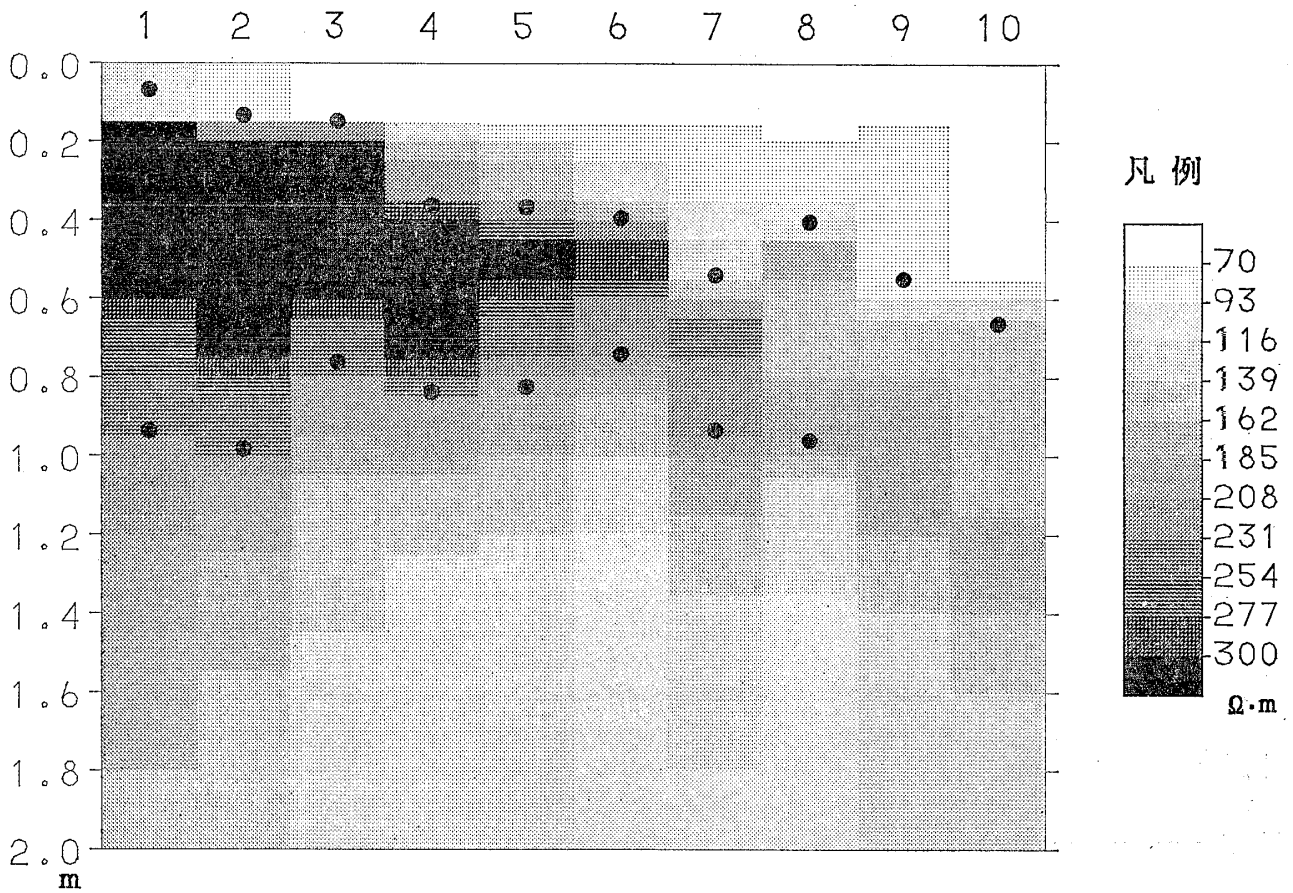
電源は 12V (24AH) の外部バッテリーを使用する。普通の河川水の場合には、20~50mA 程度の電流を流すことによって測定が可能である。

##### (2) 浮遊型電極ケーブル

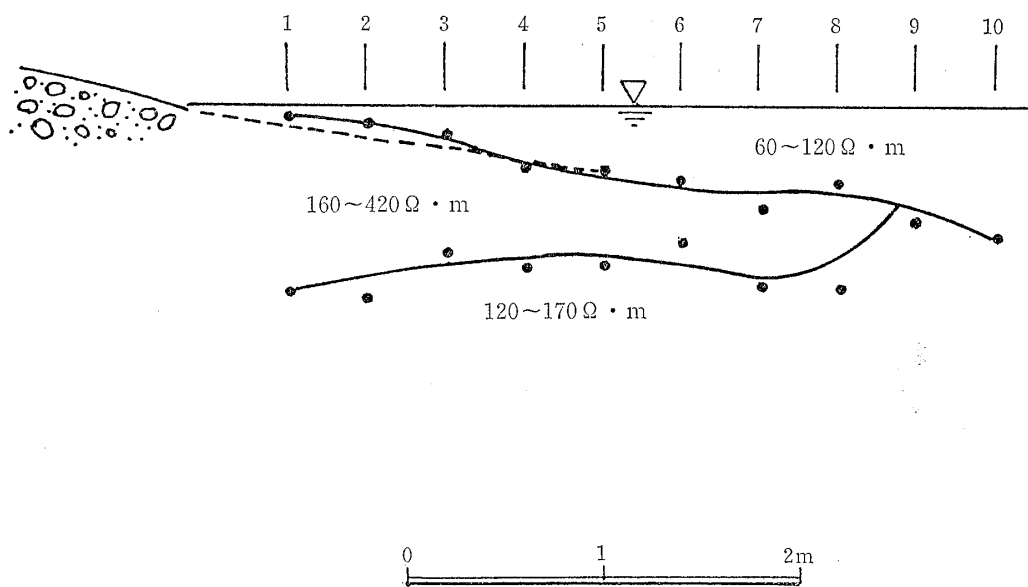
浮遊型電極ケーブルは、軟らかいプラスチックチューブ（外径 10mm, 内径 7mm）の中に多芯の細いホルマリ被覆線を通し、これに一定の間隔で電極を取付けた構造とした。



(a) 比抵抗柱状図

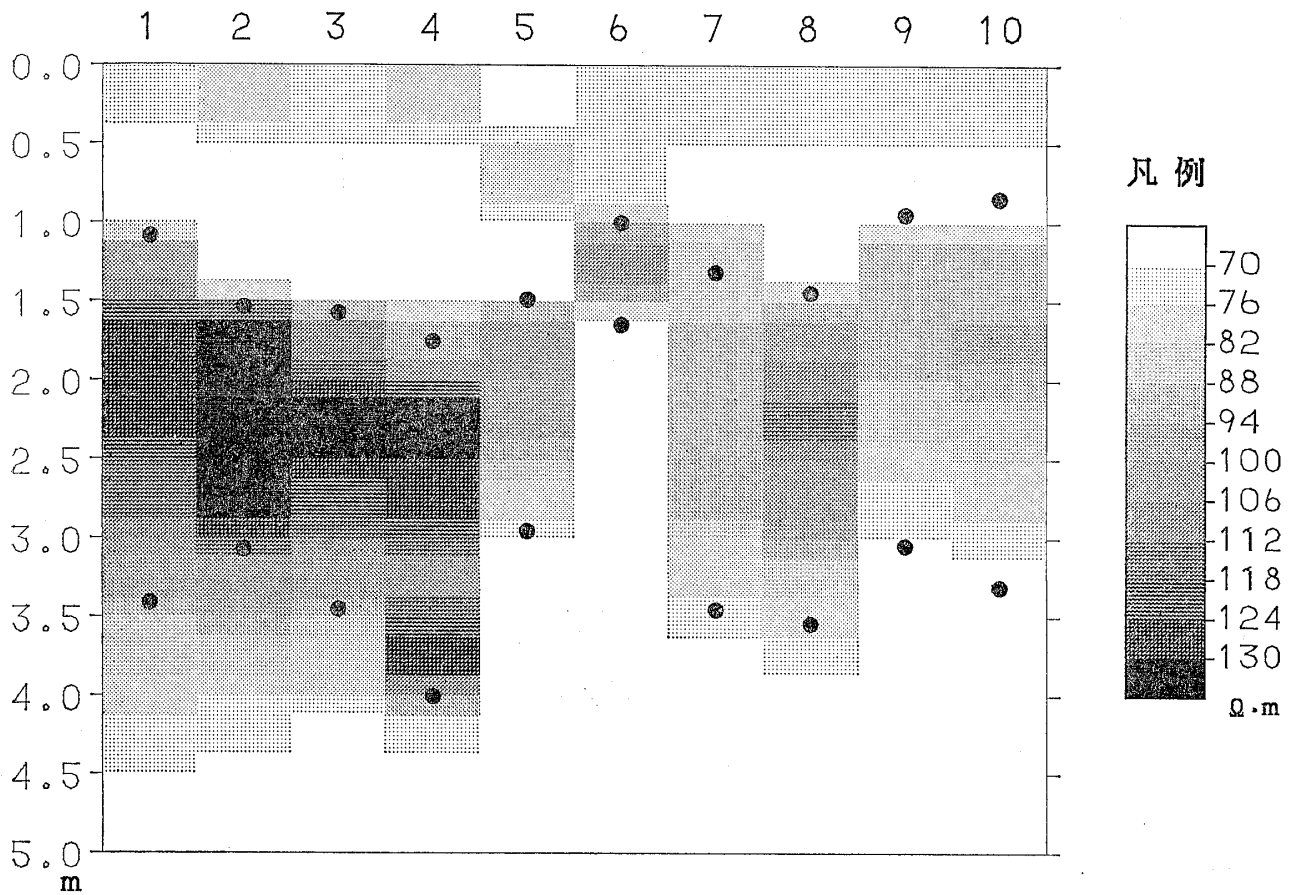


(b) 解析結果

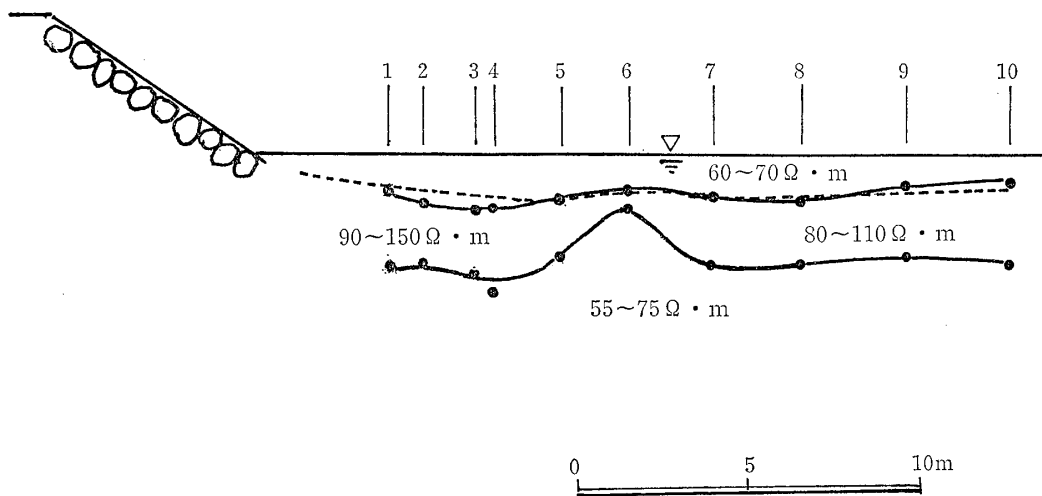


図一7 実験例 1. (a) 比抵抗柱状図, (b) 解析結果 (破線: 実測した水底)  
 Fig.7 Example 1. (a) resistivity columns, (b) result of interpretation  
 (broken line: direct measurement)

(a) 比抵抗柱状図



(b) 解析結果



図一9 実験例 2. (a) 比抵抗柱状図, (b) 解析結果 (破線: 音響測深による水底)  
 Fig.9 Example 2. (a) resistivity columns, (b) result of interpretation (broken line: bed from echo sounding)

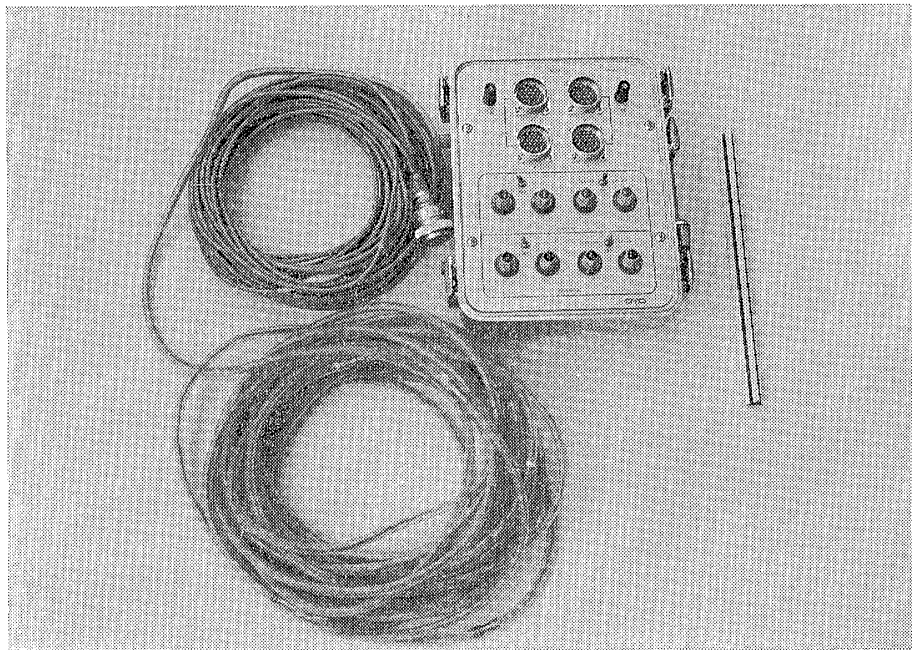


写真-2 電極切換器と浮遊型電極ケーブル

Photo 2 Electrode selector and floating electrode cable

最大探査深度を10m程度と設定したためにケーブル長が短いこと、また、さきに述べたように通電電流も20～50mA程度で大電流を流す必要がないので、線間容量を無視することができ、したがって、細い導線を採用することができた。ホルマリ被覆線の1本の直径は0.5mmであり、50cm間隔に21個の電極を取付けた全長10mのケーブルの場合、重量は約700gで全体の比重は約0.9であった。

### (3) 電極切換スイッチ

電極切換スイッチは、電位電極を選定するためのものでロータリースイッチを使用している。このスイッチを用いて電極間隔を $a$ ,  $2a$ ,  $3a$ ……のように切換えることができる。通常は、ケーブルの一端を電流電極として固定しているが、この切換スイッチでは、反対側を電流電極とした場合でも電位電極の切換ができるように、リバースモードの機能を付加してある。

写真-2は、試作した浮遊型電極ケーブルと電極切換スイッチの外観を示したものである（右端に30cmの三角スケールが置かれている）。

### (4) 遠電極について

二極法による測定であるので、遠電極の設置が必要である。しかし、電流が少ないことおよび水中に設置すればよいことなどのために、大きな電極を必要としない。筆者らは、長さ30cm、直径2cmのステンレス製の棒状電極を十分遠方の川岸の水辺に突き刺して使用したが、特に不都合はないようである。

## 5 現場実験例

以上に述べたように、二極法を用いることによって、水上電気探査が比較的容易に実施できる見通しが得られたので、浮遊型電極ケーブルと切換スイッチを試作し、実用化のための若干の現場実験を実施した。

### (1) 実験例1

これは、川幅が約8mで、最大水深が1m程度の流れがほとんどない小川で実施したものである。なお、小川の左岸には礫、右岸には粗い砂が露出している。

測定点は、左岸から右岸に向かって0.4m間隔で10点設定した（図-7参照）。測定点10は川の中央付近に位置している。浮遊型電極ケーブルを川を横断する方向に設置した。最小電極間隔 $a$ を0.2mとし、 $10a$ までの抵抗の測定を実施した。したがって、探査深度は2mである。

これらの10個の測定点のデータを逆解析して得られた比抵抗柱状図をディスプレイ画面上に並べて表示すると図-7(a)のようになる。この図の中に記されている丸印は、図-5に示した比抵抗値の累積による方法によって求めた層境界の深度を示している。

図-7(a)に示した解析結果に基づいて解釈すると、同図の(b)に示すような3層構造を想定することができる。すなわち、 $60\sim 120\Omega\cdot m$ の層は水の層に該当する。川底にある $160\sim 420\Omega\cdot m$ の層は左岸に見られる礫に対

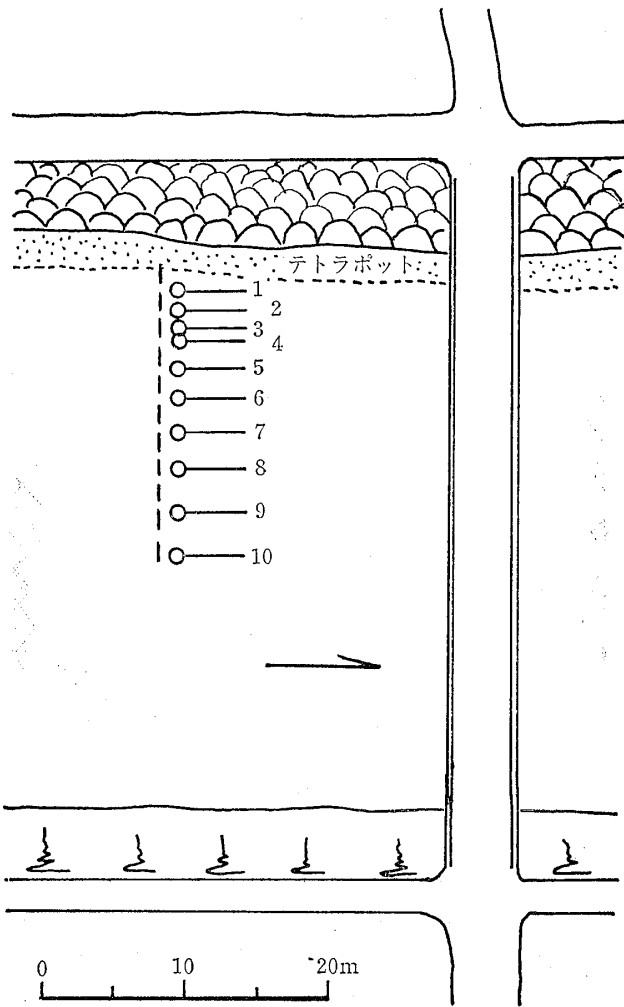


図-8 測定位置 (実線: 電極ケーブルの位置; 破線: 音響測深の測線)  
 Fig. 8 Location of sounding (full line: resistivity sounding; broken line: echo sounding)

応する層であり、左岸から測定点8付近までの間に舌状の形に分布している。この礫層の下の $120\sim 170\Omega\cdot m$ の層は、その比抵抗値から見ると、おそらく右岸に見られる粗い砂に相当するものと考えられる。

図中の破線は、測量用のスタッフを用いて実測した川底の位置を示したもので、電気探査の結果は実測と良く一致しているといえる。

(2) 実験例2

この実験は、荒川の中流域で行ったものである。ここでは、水深は1~2m程度であるが、流速は1m/s強く速く、実験例1の場合と異なり、浮遊型電極ケーブルを河川の横断方向に設置することはできなかった。したがって、電極ケーブルの設置に当っては、3・1に述べたように、電流電極側を測定点に固定し、他端を下流に垂れ流す方式を採用することにした。そのために、川を

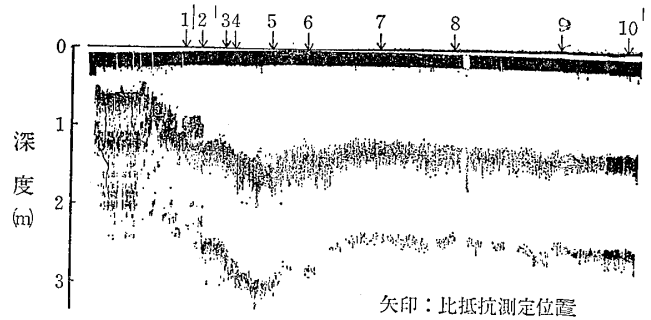


図-10 音響測深器の記録  
 Fig. 10 Chart of echo sounding

横断してロープを張り、このロープに電極ケーブルの固定端を滑車を介して取付け、横断方向に自由に移動できるようにした。ただし、測定中に固定端が移動しないようにした。このようにして、図-8に示す測定点において測定を実施した。この実験で用いた電極ケーブルの最小電極間隔は0.5m、最大5mで、その設置位置は図のとおりである。

また、川を横断して張ったロープ沿いに、音響測深器を用いて水深を測定した。

各測定点の比抵抗柱状図をディスプレイ画面上に並べて表示すると、図-9(a)のようになり、また、比抵抗値累積による方法によって求めた層境界の深度を丸印で示してある。ただし、求められた比抵抗値の範囲が実験例1の場合と異なるので、その区分は違っている。

この解析結果から、図-9(b)に示すような3層構造が推定される。すなわち、 $60\sim 70\Omega\cdot m$ の層は水の部分であり、川底の左岸寄りには $90\sim 150\Omega\cdot m$ の層が、中央部にはやや低い値を示す $80\sim 110\Omega\cdot m$ の層が存在している。また、これらの層の下には $55\sim 75\Omega\cdot m$ の層が存在しているが、それらの比抵抗値からいずれも砂層と考えられる。このような比抵抗値の相異は砂層の粒度構成の違いによるものと思われ、特に左岸寄りの上層は相対的に値が高く、その値から見て、一部礫を含んでいる可能性がある。

音響測深器による水深測定の記録を図-10に示す。この図に示す矢印は、電気探査の測定点の位置を示している。この水深測定の結果は図-9(b)に破線で記入してあるが、電気探査によって求められた水深と極めて良好な一致を示しており、電気探査による結果の信頼性を証したと思われる。

6 あとがき

まえがきにおいて述べたように、洪水時における川床の洗掘状況や洪水直後における土砂の堆積状況などの調

査を目的として、二極法による電気探査手法の開発について検討した結果、電極配置のためのケーブルおよび解析法とその自動化について、基本的には満足できる結果が得られたものと考えている。

しかしながら、試作した浮遊型電極ケーブルにはテンションメンバーが入っていないので、外径を細くし、比重を小さくすることができたが、強度的には不十分であって、今回程度の流況であっても実験中に断線することがあった。この点は早急に改良する必要がある。

測定時においては、電極ケーブルが直線になるように保持することが必要であるが、洪水時における流況がケーブルの直線保持にどのように作用するかについては、いまのところ判っていない。

また、電極切換スイッチによって電位電極を一点一点切換えて測定を行っており、この方法では、一ヶ所で10深度分のデータを取得するために約1分の時間を要する。もしも、この時間内に川の流れの向きが大きく変わるようであれば、電極ケーブルもそれにつれて向きを変えることになる。普通の河川状況のときには、位置が少々変わっても水深や川床の性質には大きな変化がないので無視することができるであろう。しかし、洪水時において、測定中に急速な洗掘が起こるようなことがあると、測定位置の不明確さは許されず、これを避けるためには、測定時間を短縮することが必要となるであろう。

解析法に関しても、さらに改良の余地があるであろう。その他にも多くの解決しなければならない問題があることと思われるが、一つ一つ解決していきたいと考えている。

## 参 考 文 献

- 今井常雄, 大友秀夫, 坂山利彦 (1988) : 新しい現地調査法 5, 物理探査, 土と基礎, Vol.36, No. 7.
- 加藤元彦 (1987) : 2次元フィルターの理論と重力・磁力分布の解析, ラテイス.
- Robinson, E. A. and Treitel, S. (1964) : Principles of Digital Filtering, Geophysics, Vol.29, No.3.
- Sakayama, T. and Shima, H. (1986) : High Resolution Two-Dimensional Resistivity Inversion Technique Using Alpha Centers, SEG 56th Annual International Meeting.
- Schrøder, N. and Bidstrup, T. (1987) : Resistivity at Sea : Inversion and Interpretation of Measurements, SEG 57th Annual International Meeting.
- 島 裕雅, 坂山利彦 (1985) : 電気探査におけるアルファセンター法を用いた2次元自動解析の試み, 物理探査学会昭和60年秋季講演会予稿集
- 島 裕雄, 坂山利彦 (1986) : 垂直電気探査における解析精度の向上に関する試み(2), 物理探査学会昭和61年春季講演会予稿集
- 志村 馨 (1965) : 電気探査法, 昭晃堂
- 寺田幸次, 今村杉夫 (1986) : 検層データの累積表示の試みについて, 物理探査学会昭和61年春季講演会予稿集
- 牛島恵輔, 水永秀樹, 加藤昭彦 (1987) : パソコンによる電気探査データの解析, 物理探査, Vol. 40, No.6.

