

電気探査ダイポール・ダイポール法による地下浅部探査

Dipole-dipole electric survey in near-surficial specific resistance

たけ　　うち　　むつ　　お
竹　　内　　睦　　雄*

1. はじめに

土木地質調査法の一つとして電気探査法は、地下水探査を目的とした基盤調査あるいは地すべり地の地下構造探査などに広く利用されてきた。近年、更に詳細な地下構造を解明する手法の確立が望まれている。

しかしながら、そのような探査目的に従来用いられてきた電気探査法をそのまま使用することは困難である。

ここでは、地下浅部の詳細な構造を解明する手法として電気探査ダイポール・ダイポール法に着目して、その探査方法と現地への適用例について報告する。

2. 探査方法

電流電極 C_1 , C_2 と電位電極 P_1 , P_2 とを図-1のように地表面の直線上に設置し、 C_1 , C_2 により 3 Hz のく形波の定電流を大地へ流すことによって生じる電位差を P_1 , P_2 により測定する。電流電極 C_1 , C_2 の外側に電位電極 P_1 , P_2 が配置されるために電位差は、小さい場合で $100 \mu V$ 程度になる。そのために、できるだけノイズを除去し、微少な電位差を計る必要があるため、受信器には各種のフィルターが取り付けられ、10回のスタッキングも行っている。送信器については、地下 50 cm 程度から測定する場合があるため、10 mA~1 A 程度の定電流 (I) が流せる必要がある。電源には、軽量の 2 サイクルの発電機を使用している。

測定された電位差から表-1 の見かけ比抵抗算出式により得られた値 (ρ) を図-1 のように直角二等辺三角形の頂点に表示し、擬似断面図を作成する。この見かけ比抵抗断面を、既にモデル実験およびモデル計算されている二次元

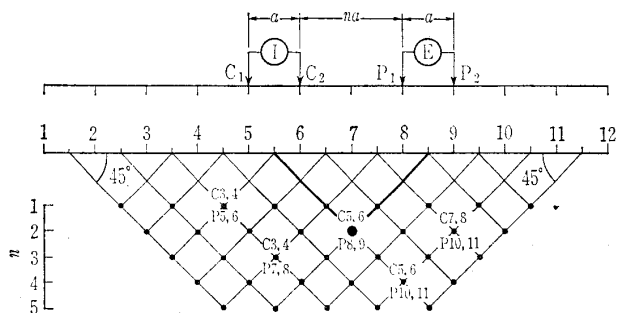


図-1 電極配置と測定値の表示方法

*農林水産省農業土木試験場造構第4研究室 研究員

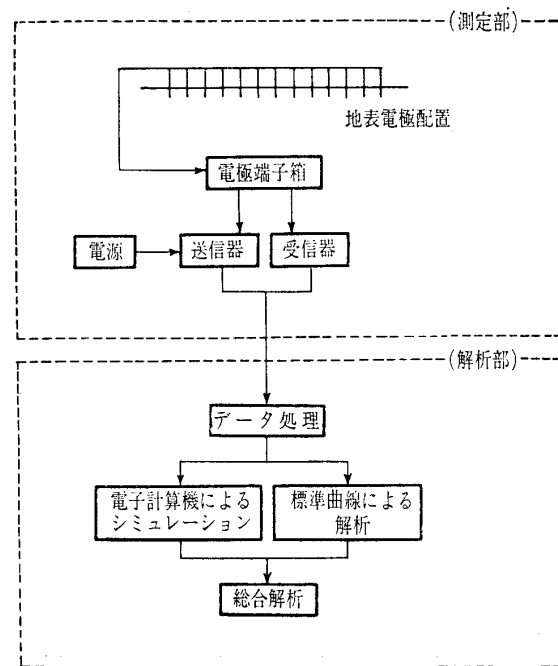


図-2 測定から解析に至るまでの系統図

および三次元の標準曲線^{1),2)}や、他の物理探査、地質柱状図および地表地質踏査などを参考にしながら地質断面におきかえる。場合によっては電子計算機により二次元のシミュレーションも行う。これらの作業の流れを示したものが図-2である。この探査方法は、高密度の連続データに基づいて擬似断面図を作成する点に特徴があるため、大量のデータを効率よく処理する必要があり、電子計算機の導入は不可欠である。

本手法の主な特徴としては、一般に用いられてきたウェンナー垂直探査法と比較して、ダイポール・ダイポール電極配置の採用および測定器の改良により分解能が向上し、更に擬似断面図表現法を用いているため地下構造の把握が容易である、などが挙げられる。

3. 現地への適用例

地下に分布する空洞の位置の解明を探査目的として、一般に使用されている電気探査ウェンナー法と今回採用したダイポール・ダイポール法との比較実験を行った結果について説明し、次にダイポール・ダイポール法による農業用フィルダムにおける堤体の劣化状況の探査および地すべり

地における地下構造探索を実施した結果について述べる。

3.1 空洞探索における電気探査ウェンナー法とダイポール・ダイポール法との比較³⁾

比抵抗値が約50Ωmの粘土層中、深度約4mから6mにかけて空洞が分布し、その長さは約19m、幅は約5mである。その空洞の直上で2種類の電極配置（表—1）について分解能に着目して比較検討した結果が図—3である。なお、ここで用いたウェンナー法の測定結果は、ダイポール・ダイポール法の測定結果と対比させるために擬似断面図法を使用して表現した。測定条件を表—2に示す。

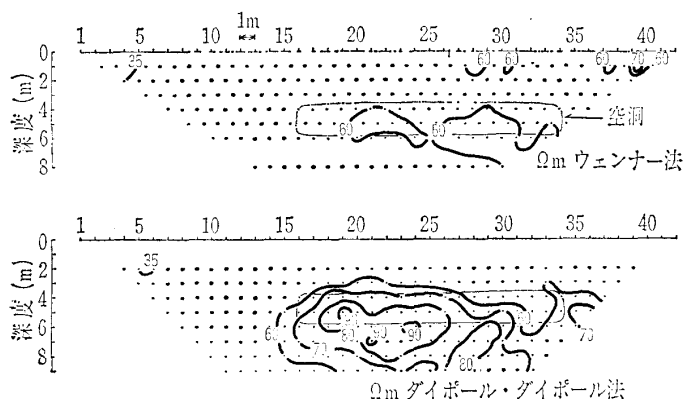
ウェンナー法では、空洞を中心にしてほぼ対称に60Ωmの曲線が分布しており、空洞に起因すると思われる見かけ比抵抗の最大値は64.6Ωmである。

ダイポール・ダイポール法では、空洞とほぼ対応した位置に60, 70, 80および90Ωmの曲線が分布しており、最大値は93.2Ωmである。

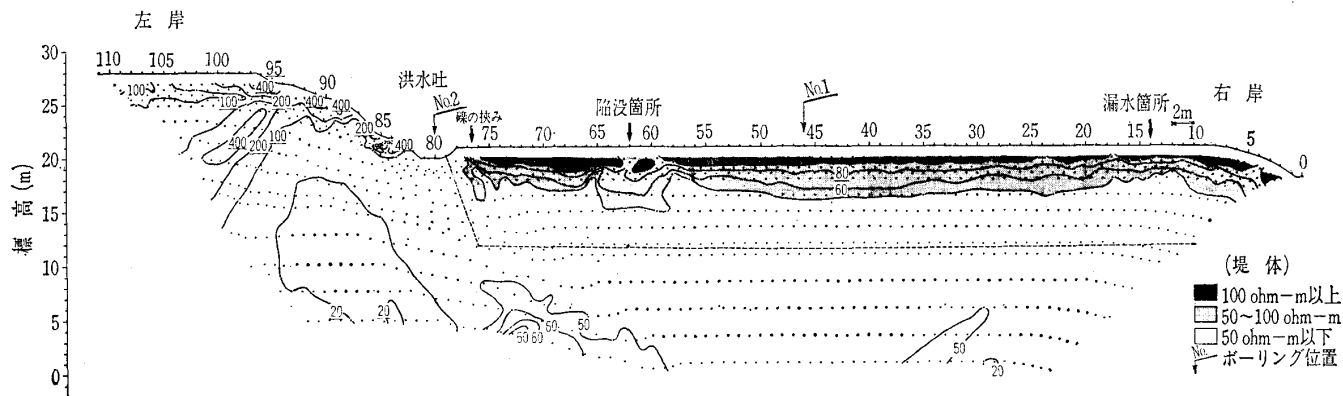
上記の実験結果を異常値の大小およびその分布形態と空洞との対応関係に着目して整理すると、ダイポール・ダイポール法は分解能が高く、その異常値の分布形態は空洞の位置をよく表現していると考えられる。

3.2 農業用フィルダムにおける堤体の劣化状況の調査⁴⁾

農業用フィルダムの堤体の一部が陥没し、それによる堤体の緩みの範囲と漏水箇所の検出を目的として本調査を実施した。



図—3 ウェンナーおよびダイポール・ダイポール法による等比抵抗曲線断面図



図—4 解析結果断面図

表—1 電極配置と見かけ比抵抗値の算出式

電極配置	電極配置と見かけ比抵抗値の表示点との関係*	見かけ比抵抗値(ρ)の算出式*
ウェンナー法		$\rho = 2\pi a \frac{E}{I}$
ダイポール・ダイポール法		$\rho = \pi a n(n+1)(n+2) \frac{E}{I}$

* C₁, C₂は電流電極, P₁, P₂は電位電極, aは電極間隔, nは隔離係数, EはP₁, P₂間の電位差, IはC₁, C₂間に流した電流

表—2 測定条件

電極配置	探査深度(m)	電極間隔a(m)	隔離係数n	電極の移動距離(m)
ウェンナー法	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8		1
ダイポール・ダイポール法	9	2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1

表—3 測定条件

測線長(m)	探査深度(m)	電極間隔a(m)	隔離係数n	電極の移動距離(m)
111	3	1	1, 2, 3, 4, 5	1
	9	3	2, 3, 4, 5	
	20	5	3, 4, 5, 6, 7	

施した。

農業用フィルダムは千葉県君津郡袖ヶ浦町に位置し、堤体の形状は「くの字」型で堤長110m、堤高6.5mである。測定条件を表—3に示す。

盛土の厚さは図—4に示したNo.1のボーリング結果によると堤体中央部付近で9.65mであり、堤体上部は細砂まじりのシルトで、下部はやや粘性のあるシルトおよびシルト質砂層からなっている。盛土の比抵抗値は約40Ωmである。堤体盛土部下方の沖積層は4.05mの厚さをもち、その下位は成田層（洪積層）からなっている。

図—4の解析結果断面図において、測点58から65にかけて陥没に起因する50Ωm以上の高比抵抗曲線が陥没箇所と対応した位置に現れている。これは他の盛土の状態と比

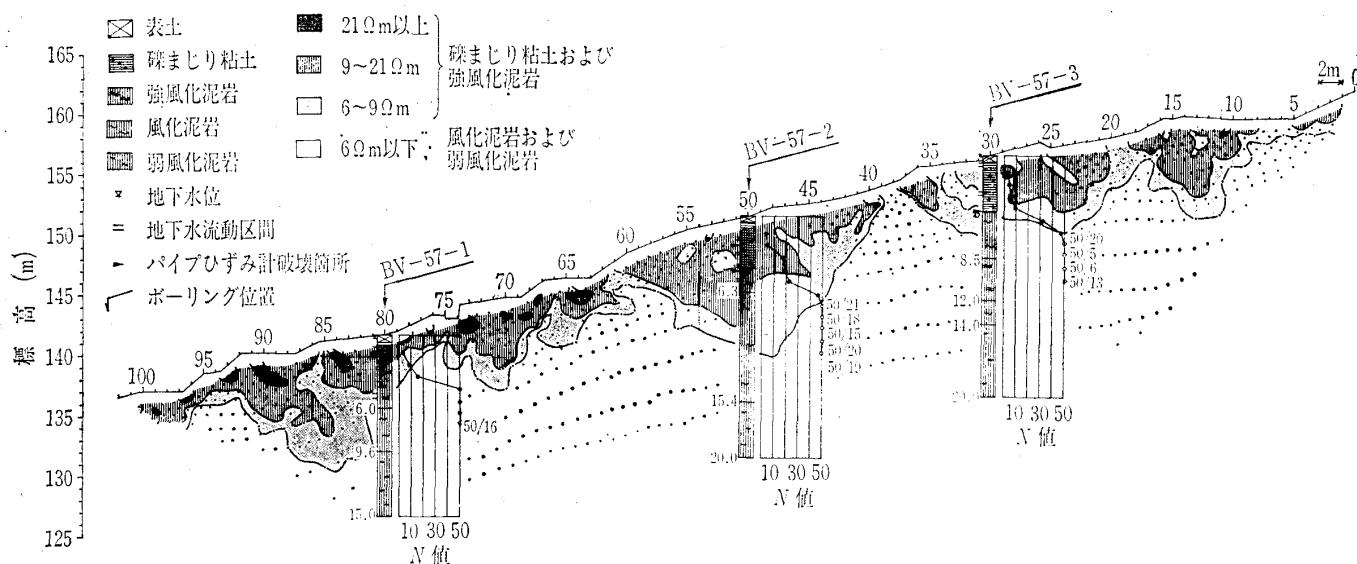


図-5 解析結果断面図

較して間隙が多いことを示していると思われる。

堤軸の屈曲点にあたる測点10から18にかけて漏水に起因すると思われる $50\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗帯が堤頂部付近まで分布しており、この付近は含水量が大きいと推定される。

堤体の取付け部付近の測点75から78にかけて $50\Omega\text{m}$ 以上の高比抵抗値が不規則に分布しているが、掘削した結果この箇所では礫の挟みが確認された。

上記の結果をまとめると次のようである。

ほぼ均一な材料で盛土を行っているため、堤頂部付近に薄く水平に分布する高比抵抗の礫および表土の影響を受けて盛土の上部で等比抵抗曲線は水平に分布し⁵⁾、盛土の下部では堤頂部付近の影響がなくなり比抵抗値はほぼ一定になると推定される。

しかし、陥没による堤体の緩みによる間隙の増加、漏水箇所における含水量の増大、また比抵抗値の高い礫などの存在によって比抵抗曲線に乱れが生じて、それが異常箇所として検出されたと考えられる。

一方、地山における等比抵抗曲線は盛土の場合と異なり、複雑な様相を呈していることから盛土の範囲をある程度限定することも可能と思われる。

3.3 地すべり地における地下構造探査⁶⁾

地すべりの発生機構の解明、またその対策工法の検討を行うためには地すべり地の詳細な地下構造を把握する必要がある。

吉住ら(1970)⁷⁾は凝灰岩および緑色片岩地帯の地すべり調査に擬似断面図表現法を用いた電気探査ウエナナー法を使用して、地すべり地における詳細な地下構造の解明を試みている。

ここでは、第三紀泥岩の風化による地すべりを対象にして、その風化層の分布状況を明らかにすることを目的に探査を実施した。

実験地域を千葉県安房郡和田町布野字黒岩に選定し、測

表-4 測定条件

測線長 (m)	探査深度 (m)	電極間隔 a (m)	隔離係数 n	電極の移動 距離 (m)
102	3	1	1, 2, 3, 4, 5	1
	6	2	3, 4, 5	
	15	5	2, 3, 4, 5	

定条件は表-4に示した。

地質柱状図およびボーリング孔を利用した各種調査（パイプひずみ計による観測、標準貫入試験、地下水検層）と電気探査結果とから地層の比抵抗値と地すべりの状況を推定すると、探査区域に分布する礫まじり粘土および強風化泥岩の比抵抗値は $6\Omega\text{m}$ 以上、風化泥岩および弱風化泥岩の比抵抗値は $6\Omega\text{m}$ 以下と大きく二つに区分される。地すべりは、この $6\Omega\text{m}$ 以上の礫まじり粘土および強風化泥岩中で発生しており、明りょうなすべり面は形成されていないと推定される。

図-5は解析結果断面図である。礫まじり粘土および強風化泥岩の分布は、大きく三つのブロックに分けられる。それら三つのブロックにおける強風化泥岩の分布状況は、それぞれ測点8から38にかけては深度7.5m付近まで、測点39から62にかけては深度11m付近まで、測点62から95にかけては深度10m付近まで分布していると考えられる。地すべりや侵食は、それらのブロックを結びつけるような形で発達している。このような風化層の分布形態、すなわち基盤面の細かい起伏は、地すべり対策工事が行われたときにほぼ確認された。

4. おわりに

従来、広く利用されてきた電気探査法の測定器、測定方法および解析方法などをあらためて検討することによって更に電気探査法の信頼性が高まるとともに、その適用範囲も広がるとと思われる。

ここでは、電気探査ダイポール・ダイポール法に着目して土木地質調査のような地下浅部の探査に適するように本手法の細部にわたって検討し、更にその現地への適用性を調べるために野外実験を行った。その結果、適用例は少ないが従来の方法と比較して探査精度は向上したと思われる。

今後、事例を蓄積するとともに、更に有効な解析法が確立されることにより、有力な土木地質調査法の一つになる可能性があると思われる。

本研究を進めるに当たり、農業土木試験場造構第4研究室中山康室長に有益なご助言を賜わった。同研究室川本治研究員には現地実験およびデータ解析において、ご協力を得た。また、現地実験および資料収集に関して千葉県耕地課、林務課、袖ヶ浦町農林商工課にご協力いただいた。関係者各位に謹んで感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 吉住永三郎・入江恒爾：アナログ計算機によるI.P.法の標準

曲線，物理探査，Vol. 19, No. 4, 5, pp. 133~145, 1966.

- 2) 遠藤源助・竹内睦雄・松坂総一郎：電気探査における三次元モデル地層の研究(三次元モデル計算結果との対比)，物理探査，Vol. 27, No. 3, pp. 95~102, 1974.
- 3) 竹内睦雄・金 喜俊・野口康二・遠藤源助：電気探査比抵抗法による地下浅部調査（電極配置の比較），物理探査，Vol. 36, No. 3, pp. 111~117, 1983.
- 4) 竹内睦雄・中山 康・川本 治：電気探査 Dipole-Dipole 法による老朽ため池調査，農業土木学会講演要旨集，pp. 90~91, 1984.
- 5) 遠藤源助・竹内睦雄・松坂総一郎：電気探査における三次元モデル地層の研究(装置および測定精度について)，物理探査，Vol. 26, No. 5, pp. 251~259, 1973.
- 6) 竹内睦雄・川本 治・中山 康：地すべり調査における電気探査比抵抗法の研究(嶺岡隆起帯の泥岩)，物理探査学会講演予稿集，pp. 13~14, 1983.
- 7) 吉住永三郎・菅野 強・佐藤忠五郎・谷本治重：地すべりの電気探査，第6回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要，pp. 1~5, 1970.

(原稿受理 1985.3.23)

書 籍 紹 介

粘土鉱物研究法

下田右著

Yong, R.N. and Warkentin, B.P. 著「Soil Properties and Behaviour」や Mitchell, J.K. 著「Fundamentals of Soil Behavior」などの成書をひもとくまでもなく、粘性土の力学的挙動を説明する上で、粘土鉱物それ自身の鉱物学的、化学的性質を理解する必要があることはよく知られている。近年、特に環境問題の処理等の問題に関連して、粘土鉱物に関する知識の必要性が増大している。そして土質工学を専門とする人の中にも、粘土鉱物についての分析や実験を手がけている、あるいはこれから手がけようとしている研究者・学生が数多くいるのではないだろうか。このような折、表記の「粘土鉱物研究法」が上し（梓）され、はからずも時宜を得たものとなった。

著者は、永らく東京教育大学、筑波大学において、続成作用や風化・熱水変質作用による粘土鉱物の変化、変質の研究を行ってきており、本書はそれらの成果の一端をまとめたものと思われる。本書は以下の8章から成っている。1. 粘土と粘土鉱物、2. 研究試料の作成、3. 化学分析、4. X線分析、5. 示差熱分析、6. 赤外線分析、7. 電子顕微鏡、8. 特に興味ある粘土鉱物。

内容を簡単に紹介すると、まず第1章と第2章では、粘土と粘土鉱物の定義、粘土鉱物の結晶構造、試料の作成法について述べられている。第3章から第7章までは、各種

の分析機器を用いた粘土鉱物の同定法が、試料の準備や前処理、分析機器の構造・原理、実際の分析方法、得られた測定結果からの粘土鉱物の判定の仕方などを通して詳しく述べられている。また、第8章では、特に「膨潤性緑泥石」、「イライト」、「混合層鉱物」の三つが取り上げられ、それぞれの鉱物の続成作用・風化作用による変化変質について詳しく論述されている。

上記の内容からも類推されるように、本書は、粘土鉱物の研究や仕事に従事しようとする学部・大学院の学生や研究者に対して、粘土鉱物の判定法・研究法を初歩から懇切丁寧に解説したものである。文章は平易で読みやすく、図表もシンプルで見やすい。電子顕微鏡写真も比較的シャープである。本書の特色を二、三あげる。(1)化学分析の手順やX線による粘土鉱物の判定の識別法がフローチャートや表にまとめられており、実験の際便利であろう。(2)著者の日頃の貴重な経験から生まれた実験分析上の創意工夫が随所に見られる。(3)具体的な分析例、研究例が豊富に示されている。

土質工学的立場からみると、多少、鉱物学の専門的すぎる記述もないわけではないが、分析機器の座右において実験実習書として利用する価値が極めて高いものといえる。粘性土あるいは粘土鉱物に興味をもっている会員諸氏に一読をお薦めする。

(松倉公憲)

A 5 判 243ページ 定価 3 200円

発行所 創造社 電話 03-294-0059