

9. 空中電磁法による徳島県馬路川沿いの中央構造線の比抵抗構造 Resistivity Structure of the Median Tectonic Line along the Umaji River, Tokushima Prefecture by Helicopter Electromagnetic Methods

○三谷浩二・大寺正宏（西日本高速道路エンジニアリング 四国）
細倉摂央・大川義明（大日本コンサルタント）
長谷川修一・野々村敦子（香川大学工学部）

1. はじめに

空中電磁法は、電気探査と同じく、土壌・岩石の比抵抗を求め、地質状況を判定する手法である。電気探査や空中電磁法で求められる比抵抗値は岩石の電氣的性質に関連した物理量で、岩質、風化・変質、間隙（亀裂）、粘土などの電導性鉱物及び地下水などの要因に関係する。電気・電磁探査は風化層や粘土化した熱水変質帯などの地質的脆弱部の探知に優れているほか、地下水に関する情報も得ることができる。

空中電磁法は、立ち入り制限を受けずに、広域の 3 次元の地質状況を把握するのに適した物理探査である。今回、徳島県馬路川沿いの中央構造線周辺地域において空中電磁法を適用した結果、中央構造線に沿う低比抵抗および大規模地すべり地形の基盤に広がる低比抵抗帯を把握することができたので、その概要と意義を報告する。

2. 調査地区の地形・地質

長谷川（1992, 1999）に基づき調査地区の地形と地質を概説する。

2.1 地形

2.1.1 地形の概要

調査地区は東へ細長く開く三角形の吉野川低地の西端部に位置している。ここでは、四国山地を南北方向に横断した吉野川が讃岐山脈に出合い、その流れを直角に変え、東流する馬路川と合流して東流している。馬路川および東流する吉野川は東西方向の谷を形成しており、その北側に讃岐山脈、その南側に四国山地の山裾が東西方向に連なっている。

2.1.2 活断層地形

中央構造線の新期活動を示す池田断層は馬路川および東流する吉野川の谷底の北縁部、すなわち讃岐山脈の山裾に沿って走っている。馬路川から吉野川下流沿いの段丘面および地すべり緩斜面には $N75^{\circ} E$ の走向で、断続するリニアメントがほぼ一直線に並んでいる。これらのリニアメントは中央構造線池田断層による断層運動による変位地形と考えられ、池田下位面と池田上位面との間に比高 20~30m、州津下位面と州津上位面との間に最大比高約 10m の断層崖を形成している（岡田,1968）。

2.1.3 地すべり地形

讃岐山脈の南麓斜面は比高 300~600m の急斜面となっており、中央構造線の開析された断層崖に相当する。馬路川沿いの讃岐山脈山麓には、井ノ久保、船戸等多くの地すべり地形が形成されている。

(1) 船戸地すべり

徳島県船戸の地すべり地形は、開析をほとんど受けていないため、完新世に形成されたと推定される。地すべり堆積物は角礫状に破碎された和泉層群の泥岩勝ち互層を主体にし、馬路川を越えて約 150m 南へ滑動した結果、その先端が対岸の山裾まで達し、三波川変成岩類と接している。地すべりによる堰止め湖堆積物中に埋没した木片の $14C$ 年代は、 7120 ± 260 ysBP である。したがって、この年代の少し前に地すべりが発生した可能性が高い。馬路川に南流する瀬戸谷の出口の右屈曲は、地すべり岩体が中央構造線池田断層によって、地すべり発生後約 30m 右横ずれ変位を受けた可能性を示している。

(2) 井ノ久保地すべり

井ノ久保の地すべり地形は、東西幅 1.5km、南北幅 1.0km と馬路川沿いで最大級の規模を持つ。地すべり堆積物は馬路川を越えて約 400m 南へ滑動した結果、その先端が対岸の山裾まで達して馬路川を閉塞させ、その後馬路川が地すべり岩体の先端を下刻して溪谷となっている。また、池田断層は井ノ久保地すべりを東西に分断し、井ノ久保地すべりを右横ずれ変位させている。

(3) シンヤマ地すべり

池田断層の南側に位置する池田町シンヤマの和泉層群は、讃岐山脈の和泉層群が岩盤すべりを発生し、山麓の土石流堆積物もろとも、古吉野川の河床礫を取り込みながら、約 500m 南へ滑動したと推定される。シンヤマの地すべり岩体は、中期更新世前半に形成された可能性が高い。また、地すべり岩体を地形、地質的に復元すると、地すべり岩体は滑動後池田断層によって 5~6km 右ずれ変位を受けていると推定される。

2.2 地質概要

2.2.1 基盤岩

(1) 和泉層群

讃岐山脈南部の和泉層群は主として砂岩優勢砂岩泥岩互層（砂岩勝ち互層）から構成され、西部の上浦付近、東部の洲津付近およびシンヤマでは泥岩優勢砂岩泥岩互層（泥岩勝ち互層）が多く挟まれる。

調査地内は中央構造線から北へ 1.2km の所に北へプランジする N75° E の方向の向斜軸の南翼に当たり、和泉層群は N40~50° W の走向で、北へ 30~50° 傾斜している。このため、南向き斜面は受け盤、東向き斜面は流れ盤となっている。

(2) 三波川変成岩類

馬路川の南側には、主として泥質片岩および砂質片岩が分布し、珪質片岩および塩基性片岩を伴っている。三波川変成岩類は、露頭では一般に ENE~WNW の走向で、北へ 30° ~60° 傾斜している。

(3) 中央構造線

本地区の中央構造線池田断層に沿っては、和泉層群と泥質片岩の高角度の断層面をもつ断層破碎帯が観察され、また泥質片岩破碎部は熱水変質によって著しく粘土化している。なお、和泉層群と土柱層との低角断層は、地すべりによる物質境界と推定される（岡田，1968；長谷川，1992；長谷川，1999）。馬路川沿いでは河床部に断層破碎を受けていない本岩が露出しているので、中央構造線の破碎幅は 100m前後と推定される。

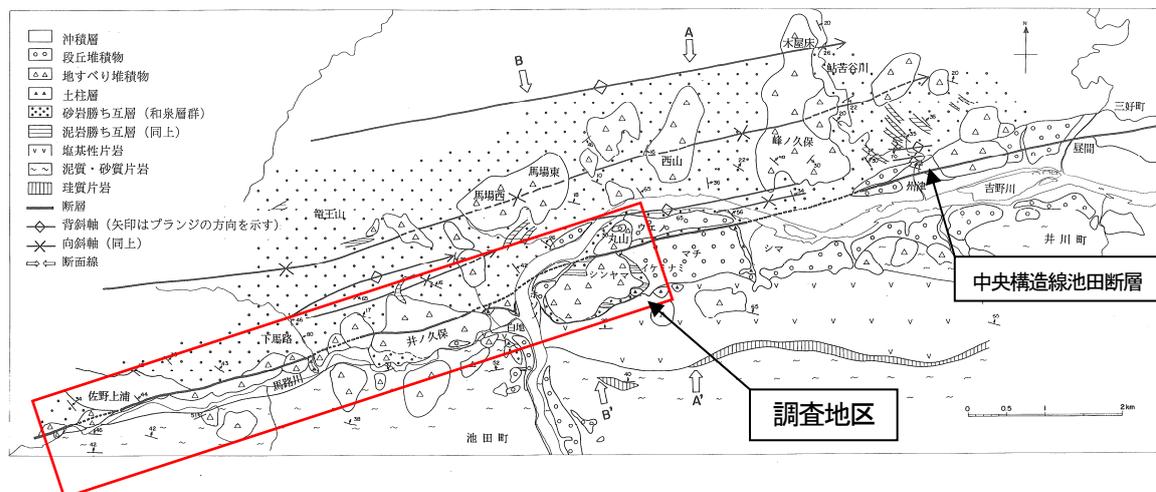


図1 調査地の地質（長谷川，1992 に加筆）

3. 空中電磁法による調査方法

3.1 探査原理

ヘリコプターを用いて上空数十mに配置した電磁コイル（送信・受信コイル対）のうち送信コイルに交流電流を通じると、コイルの周辺に交流磁場（1次磁場）が発生する。この交流磁場が地盤中を通過するときに、地盤中にこの磁場を打ち消すように渦電流が誘起され、これが別の交流磁場（2次磁場）を発生させる。2次磁場の強さは地盤の比抵抗と負の相関があるので、1次磁場に対する2次磁場の割合を受信コイルで測定することにより、磁場が透入した深度までの地盤の平均的な比抵抗が測定される（小西・塚田，2001）。

3.2 探査方法

調査地はほぼ全域が急斜面からなり、地すべりや斜面崩壊の多くは、斜面の最大傾斜角方向に崩れることが多いため、図1の探査範囲において飛行測線は斜面の傾斜方向を基本として設定した。探査の仕様を表1に示す。

表1 探査仕様

項目	内容等
飛行速度	30km/hr
測定高度	測定送受信機の対地高度：30～60m
航跡確認	GPS とビデオ画像観察
周波数	6周波数：140,000Hz, 31,000 Hz, 6,900 Hz, 3,300 Hz, 1,500 Hz, 340 Hz

3.3 解析方法

図2に比抵抗解析のフローを示す。

算出した比抵抗値は、同一周波数でも測定深度が様々で異なっている。そのため、空中電磁法では、航空レーザー測量などで得られている数値標高モデル（DEM）と空中電磁法による比抵抗値よりGISを利用して整理し、比抵抗3次元モデルを作成する。このモデルを基に、任意位置及び視点で比抵抗分布図を作成することができる。

3.4 地質解析

地山の比抵抗は、地山の粘土鉱物含有量及び体積含水率（間隙率×含水率）の状態を反映する。これら比抵抗値に影響を与える因子は、地山の岩種区分、構成粒子、風化・変質の程度、地下水の有無などによって変化する。この性質を利用することで、空中電磁法で取得した比抵抗構造から地山の地質・地下水状態を推定する。

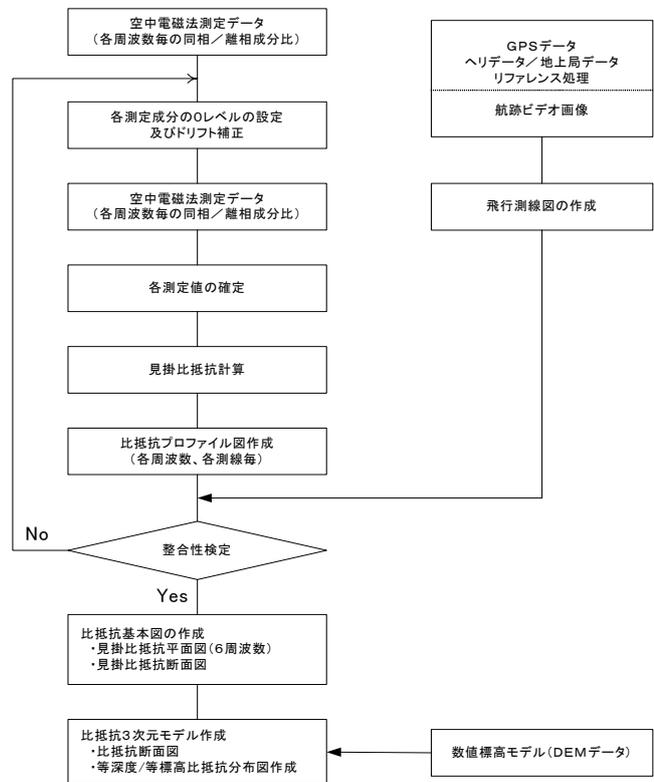


図2 解析フロー

4. 探査結果と解釈

4.1 比抵抗平面図と比抵抗水平断面図

調査地区の比抵抗平面図を図3に、標高150mの比抵抗水平断面図を図4に、標高200mの比抵抗水平断面図を図5に示す。

図3から馬路川および吉野川の河床部は著しい低比抵抗帯になっていることがわかる。また馬路川に沿う東西方向の低比抵抗帯は河床部だけでなく、井ノ久保地すべりの直下も連続し、その北限は池田断層とほぼ一致

している。和泉層群および三波川変成岩類からなる斜面は一般に高比抵抗であるが、井ノ久保地すべり、シンヤマ地すべりなどの大規模地すべりブロックは低比抵抗になっている。

図4および図5の比抵抗水平断面図から、馬路川に沿う低比抵抗帯は、河床堆積物や土柱層だけでなく基盤岩中まで明瞭に認められる。また、低比抵抗帯は、幅は膨縮が著しいので、池田断層に沿う熱水変質帯を示している可能性が高い。また、井ノ久保地すべり、シンヤマ地すべりでは、すべり面より下位の基盤岩も低比抵抗である。

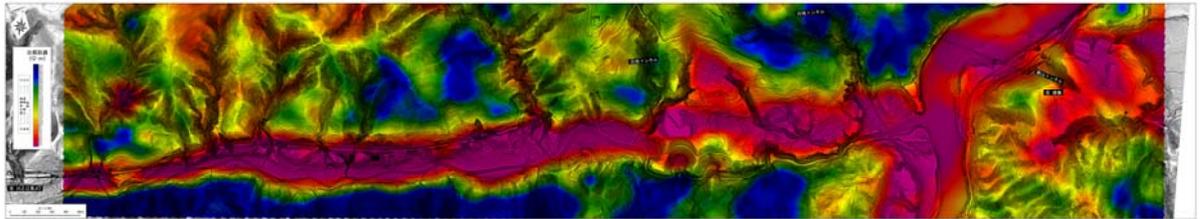


図3 比抵抗平面図（深度5m程度の面的な比抵抗構造）

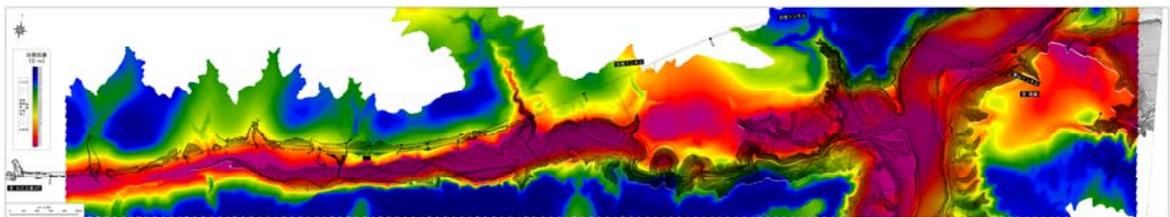


図4 比抵抗平面断面図（標高200m）

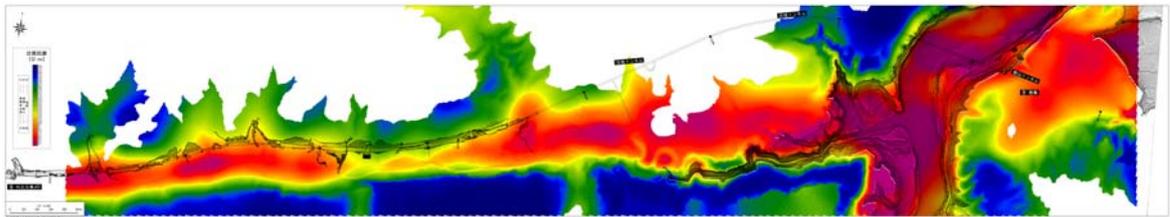


図5 比抵抗平面断面図（標高150m）

4.2 比抵抗断面図

図6に検討断面線を、図7から図12に比抵抗断面図を示す。

比抵抗構造から斜面が地下深部まで高比抵抗の場合には、堅岩から構成されていると推定できる。これに対して、地表付近の低比抵抗は風化帯、地表付近の高比抵抗帯は岩盤の緩みを反映していると推定される。なお、地すべり地形を構成する堆積物もしくは岩塊には低比抵抗の高比抵抗の2種類ある。これは、地すべり地形構成物が粘土分に富む崩積土か、岩塊に富むか、あるいは地下水位が高いか低いかを示しているため、地すべり地形の安定性を評価する資料になる。

池田断層に沿う低比抵抗帯はいずれの断面でも高角度であり、その北縁がほぼ池田断層に対応している。これは池田断層が北へ高角度で傾斜するという岡田（1968）、長谷川（1992、1999）の見解を支持している。

また、比抵抗帯の幅は膨縮が著しく、井ノ久保地すべりでは池田断層を越えて、大きく北へ張り出している。これは、池田断層の北側の讃岐山脈の地下に伏在する低比抵抗帯が大規模地すべりの素因として注目される。これに対して、船戸地すべりでは、すべり面より下位の基盤岩は高比抵抗であるため、大規模な地すべりが発生しなかったことを示している。

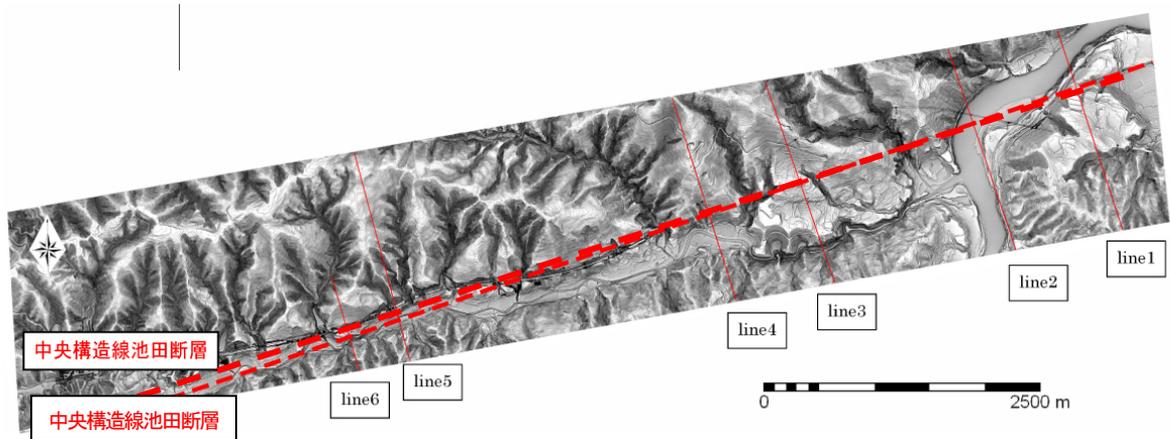


図6 比抵抗断面図の位置

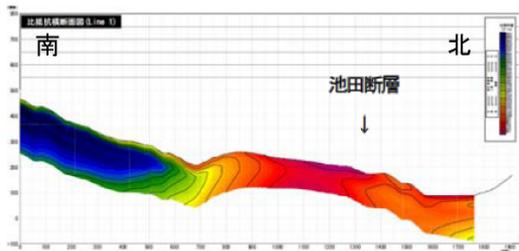


図7 比抵抗断面図 (Line1)

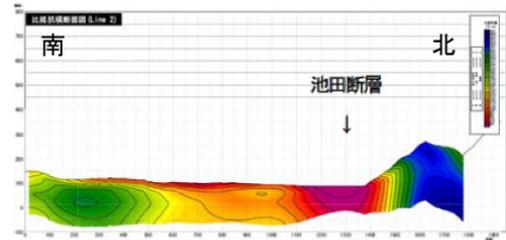


図8 比抵抗断面図 (Line2)

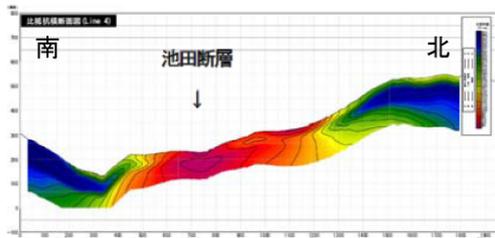


図9 比抵抗断面図 (Line3)

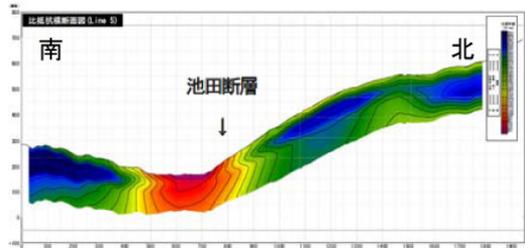


図10 比抵抗断面図 (Line4)

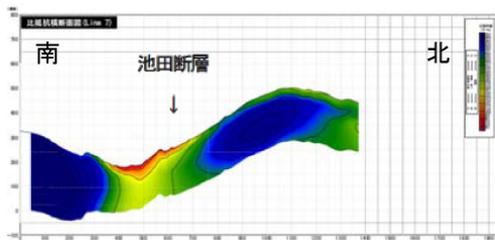


図11 比抵抗断面図 (Line5)

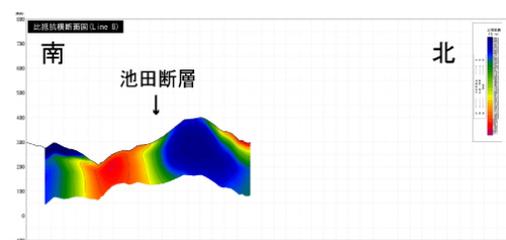


図12 比抵抗断面図 (Line6)

5. 成果のまとめ

徳島県馬路川沿いの中央構造線周辺地域において空中電磁法を適用した結果、中央構造線に沿う低比抵抗および大規模地すべり地形の基盤に広がる低比抵抗帯を把握することができた。本研究の成果は以下のとおりである。

(1) 中央構造線は地質境界断層に沿って幅広い低比抵抗帯を形成している。低比抵抗帯は、高角度で、主に三波川帯側に広がっている。これは、中央構造線に沿って熱水変質による粘土化が進行していることを示唆している。

(2) 比抵抗構造から中央構造線北側の和泉層群からなる斜面の岩盤状況を推定することができる。すなわち、堅岩からなる地山は高比抵抗であるが、地すべり堆積物は低比抵抗になることが多い。

(3) 井ノ久保の大規模地すべりでは、地すべり堆積物だけでなく、基盤岩まで低比抵抗である。大規模地すべりの発生には地下の低比抵抗帯、すなわち熱水変質帯が素因となっている可能性がある。

(4) 空中電磁法は、高比抵抗の斜面の下部に低角度で流れ目の低比抵抗帯が伏在するような斜面を大規模地すべり候補地として抽出するために有効な探査手法である。

【謝辞】

本調査は、西日本高速道路株によるのり面予防保全技術開発の一環として実施した。また、本研究の一部に日本学術振興会科学研究費補助金若手研究(B)を使用した。また、現地調査に当たっては、国土交通省四国地方整備局、三好市教育委員会のご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 長谷川修一(1992): 中央構造線沿いの大規模岩盤すべりと第四紀断層運動, 東京大学学位論文, 219p.
- 2) 長谷川修一(1999): 中央構造線沿いの大規模地すべり—その特徴と地盤工学上の問題点—土と基礎, Vol.47.No.2, pp.21-24, 1999.
- 3) 小西尚俊・塚田幸広(2001): 空中電磁法による地質評価への実際的検証, 土木学会論文集 No.680/Ⅲ-55, pp285-294.
- 4) 岡田篤正(1968): 阿波池田付近の中央構造線の新时期断層運動, 地理学評論, Vol.43, pp.1-20.