

電磁法による断層付近の不均質構造の把握 -淡路島北部を例にして-

高倉伸一
(地質調査所)

Electromagnetic study of inhomogeneous structure around faults
in the northern area of the Awaji Island, Japan

Shinichi Takakura
(Geological Survey of Japan)

1. はじめに

地質調査所では、兵庫県淡路島北部の活断層の周辺において、各種電気・電磁探査法による比抵抗構造調査を実施した。各調査の報告書およびデータについては高倉・中塚(1996)および高倉ほか(1996a)で公開し、ヘリコプター空中電磁法とアレイ式CSAMT法の調査から求められた比抵抗構造の解釈については高倉ほか(1996b)で報告した。今後、他の調査データに対する解析および解釈結果を順次報告する予定であるが、本報告では、高倉ほか(1996b)に基づき、比抵抗構造から把握される断層付近の不均質構造について示し、電磁法の断層調査への有効性について考察する。

2. 調査地域

調査地域は兵庫県淡路島の北部である。第1図に調査地域周辺の地質図(高橋ほか, 1992)を示す。調査地域の大部分は白亜紀の花崗岩類に覆われている。地質構造の大局的なトレンドは北東-南西方向であり、その方向に沿って野島断層、楠本断層、東浦断層などの顕著な活断層が発達している。

3. ヘリコプター空中電磁法

3.1 調査の概要

本調査はヘリコプターを使用して実施した。測定機器にはDIGHEM社のDIGHEM Vシステムを用い、5周波数(220, 1100, 5500, 27500, 137500Hz)の電磁探査データを取得した。調査地域は、第1図に示す淡路島北部の200km²(20km×10km)の範囲である。調査地域を一様に覆うように、北西-南東方向の主測線を150m間隔で134本配置した。また、主測線と直交する北東-南西方向の5本の補助測線と、送電線に沿う3本の補助測線を配置した。

3.2 調査結果の概要

全周波数の見掛比抵抗平面図を第2図に示す。地質図(第1図)と比較すると、200Ωm以上の高見掛比抵抗域は白亜紀の花崗岩類分布域に対応することがわかる。一方、10~100Ωm前後の低見掛比抵抗域は、新第三紀以降の神戸層群や大阪層群などの堆

積岩分布域に対応する。また、海域は $1\ \Omega\ m$ 以下の低見掛比抵抗を示す。このように当地域では、見掛比抵抗分布と地質分布とはよく対応する。

また、当該地域の断層の多くは比抵抗構造の境界に位置している。そのため、断層は比抵抗リニアメント(比抵抗の急変を示す線状構造)とよく対応する。花崗岩類の分布域を通る断層にも比抵抗リニアメントが認められることから、断層そのものが比抵抗異常の原因になっているとも判断できる。断層が確認されていない場所にも比抵抗リニアメントがみられることより、当該地域には未発見の潜在断層がいくつかあると予想される。

4. アレイ式CSAMT法

4.1 調査の概要

CSAMT法の調査は当該地域を北西-南東方向に横切る二つの測線を実施した(第1図)。A測線は北淡町野島平林地区と東浦町楠本地区を結ぶ長さ5 kmの測線である。B測線は北淡町野島常盤地区と東浦町山田原地区を結ぶ長さ2.8 kmの測線である。A測線の東側の一部の区間を除き、測点間隔は50 mである。

測定には米国のZONGE社のGDP-16システムを用いた。測定は3測点同時に行い、各測点で測線方向の電場を、3測点の中央で電場に直交する方向の磁場を測定した。電場センサーは50 mの接地ダイポールであり、隣接する測点と一方の電極を共有する。磁場センサーはインダクションコイルである。送信源(送信バイポール)はA測線の南方約7.5 kmの位置に設置した。バイポールは測線とほぼ平行であり、約2.4 kmの長さである。送信周波数は4~8192 Hzであり、送信電流値は0.8~15 Aである。

4.2 調査結果の概要

測線が地質構造に直交すると仮定して、各測線に沿って2次元解析を実施した。ここではA測線の解析結果を第3図に、B測線の解析結果は第4図に示す。

4.2.1 A測線の解析結果

第3図を見ると、野島断層は顕著な比抵抗構造の境界に位置することがわかる。すなわち、断層の西側(北西側)では $100\ \Omega\ m$ 以下の低比抵抗層が地表から深度約400 mまで続くのに対し、東側(南東側)では数 $100\sim 1000\ \Omega\ m$ 以上の高比抵抗層が地表付近から深部まで連続している。西側の低比抵抗層の下に現れている高比抵抗層を花崗岩類と考えると、野島断層は約400 mの鉛直変位をもつ逆断層と推定される。また、比抵抗構造の境界を断層面とすると、野島断層の傾斜角は $75^\circ\ E$ と見積もられる。この値は、すぐ近傍で掘削された坑井から推定されている傾斜角 $84^\circ\ E$ (伊藤ほか, 1996)とほぼ一致する。

野島断層から楠本断層までは、花崗岩類に対応する $300\sim 3000\ \Omega\ m$ 以上の高比抵抗層が表層付近から深部まで連続する。この高比抵抗層を部分的に数 $10\sim 100\ \Omega\ m$ 前後の薄い低比抵抗層が覆っているが、これらは花崗岩類の上に堆積した神戸層群あるいは花崗岩類の風化層を反映していると考えられる。また、深度 $400\sim 600\ m$ 前後にも、数 $100\ \Omega\ m$ 前後の比較的比抵抗を示す部分があるが、花崗岩類の中に堆積岩のような低比抵抗を示す岩体が存在するとは考えにくいので、これは破碎により含水率が高くなった部分を反映していると解釈する。深度 $700\sim 800\ m$ 以下では、比抵抗がほぼ全域にわたり $500\sim 1000\ \Omega\ m$ 以上を示すようになるので、浅部と深部とでは花崗岩類中の破碎の程度や含水率が異なると予想される。

楠本断層は野島断層と同様に比抵抗構造の境界に位置する。しかし、野島断層ほど顕著な比抵抗コントラストはなく、解析結果から断層の傾斜や変位を把握することは難しい。断層の東側も花崗岩類の分布域であるが、ここが低比抵抗を示すことから、断層の東側では西側より破砕が進んでいると推測される。

測線の東端では、西側に傾斜する数 $10\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗帯が現れている。この低比抵抗帯を延長すると、その位置は藤田・前田(1984)が推定している仮屋断層の位置とほぼ一致する。したがって、この低比抵抗帯はその断層に伴う破砕帯に対応すると考えられる。 $10\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗を示す部分があることから、海水が浸透していると予想される。

4.2.2 B測線の解析結果

第4図を見ると、中持断層(測点775付近)は高比抵抗層と低比抵抗層との境界にあることがわかる。地表地質によると、西側の低比抵抗層は神戸層群に、東側の高比抵抗層は花崗岩類に対応する。地表付近には、断層を中心とする逆三角形の低比抵抗構造が現れている。これは、断層活動で生成されたフラワー構造の反映と考えられる。したがって、断層周辺の地表付近の地下構造は複雑に破砕されていると予想できる。

楠本断層(測点2075付近)は花崗岩類の分布域にあるため、地表付近では顕著な比抵抗構造の境界は見られない。しかし、中持断層と同様に、ここでも断層を中心とする逆三角形の低比抵抗構造が現れており、地表付近の地下構造は複雑に破砕されていると推測される。また、深度200m以深で低比抵抗層と高比抵抗層との境界が認められる。

測点2525付近では、地表に低比抵抗層と高比抵抗層との境界が見られる。これも断層の存在を反映していると推察され、その南で確認されている東浦断層の延長と考えられる。高比抵抗層と低比抵抗層との境界を断層面とすると、この断層は地下では楠本断層と重なっていると判断できる。

測点375~475付近では、地表から深部に伸びる顕著な低比抵抗帯が解析されている。これに対応するような断層が地表では確認されていないので、現状ではこれを断層と断定することは難しい。しかし、この近傍では兵庫県南部地震により斜面崩壊(地すべり)が起こり、道路や橋が大きく崩されたあとが見られることから、この低比抵抗帯は少なくとも地盤強度の弱い領域を反映していると考えられる。

B測線でもA測線と同様に、深度400~500m前後で周辺より低比抵抗を示す部分が解析されている。花崗岩類中に割れ目があり、そこに地下水が滞留していると予想される。

5. 考察

当地域の断層の多くは高比抵抗を示す花崗岩類の分布域と低比抵抗を示す新第三紀以降の堆積岩類の分布域との境界に位置することから、また花崗岩類の分布域を通る断層はそれに伴う破砕帯が低比抵抗を示すことから、断層の分布がヘリコプター空中電磁法から把握された。また、断層の傾斜や断層付近の不均質構造がアレイ式CSAMT法により明瞭に把握された。このように、活断層調査法として電磁法は有用な手段になると判断できる。

しかし、電磁法が全ての活断層調査に有効とはいえない。たとえば、今回の調査では、野島断層は比抵抗のコントラストの大きい花崗岩類と神戸層群との境界として把

握されたのであり、決して断層(破碎帯)そのものが捉えられたわけではない。これは、低比抵抗を示すと予想される断層破碎帯と低比抵抗の神戸層群とが接しているため、両者を区別できなかつたからと考えられる。また、花崗岩類のような高比抵抗層と新第三紀以降の堆積岩類のような低比抵抗層は必ずしも断層によって区切られているわけではないので、把握された比抵抗構造の境界を安易に断層と結論するのは危険ともいえる。逆に断層付近が不均質構造を示すことが必ずしも比抵抗構造に反映されるわけではない。さらに、従来の断層調査では、「低比抵抗域=断層(破碎帯)」と考えられてきたきらいがあるが、新第三系堆積岩類の分布域のように比抵抗の低い地層が分布する地域では、天水などの浸透により断層が高比抵抗となる場合も十分考えられる。電磁法を断層調査に適用するためには、比抵抗構造から推定できることの限界を踏まえ、地質・地化学データや他の地球物理データを組み合わせることが肝要であろう。

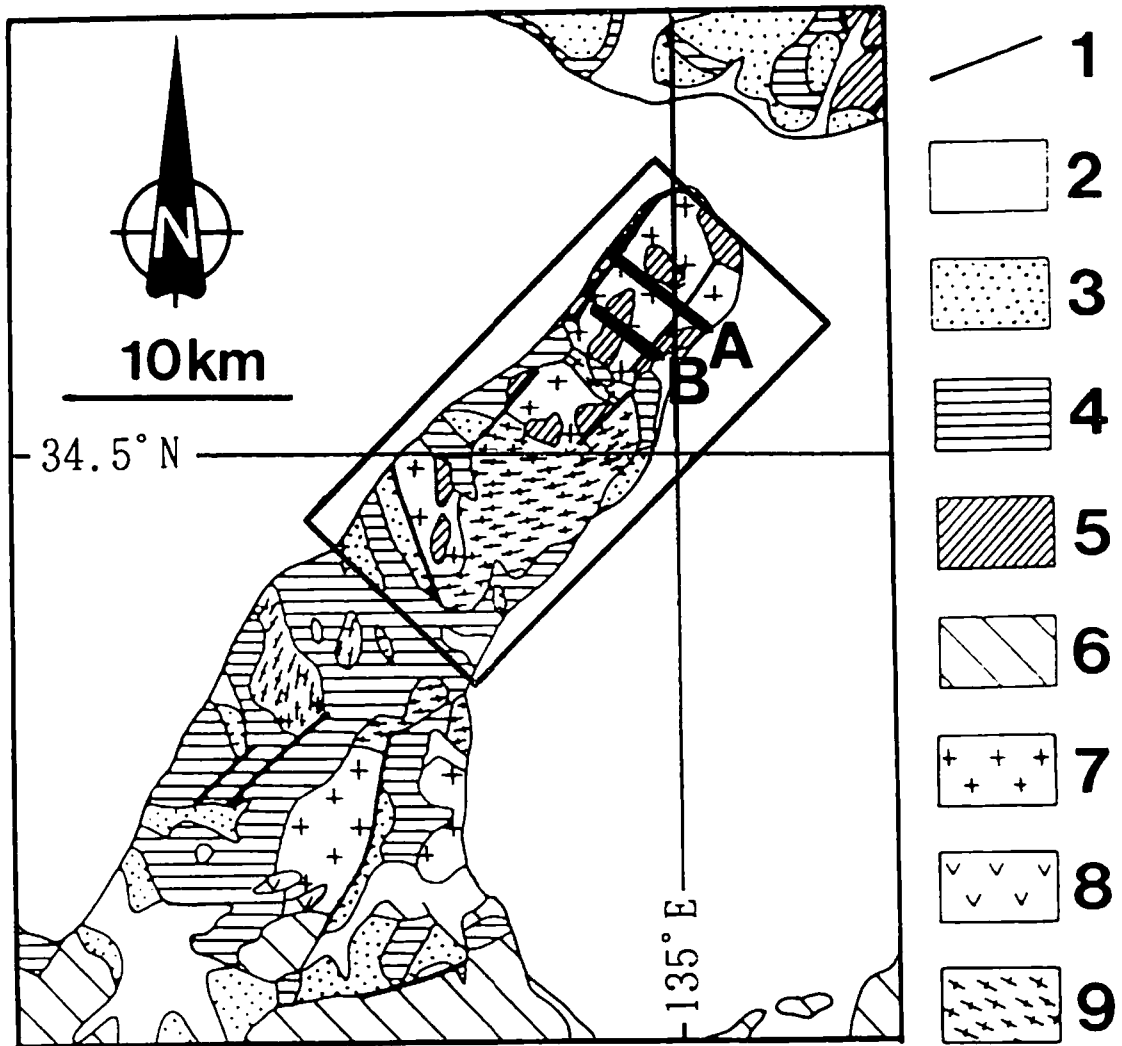
なお、今回の兵庫県南部地震の被害は新第三紀以降の堆積岩類の分布域に集中したが、そのほとんどが低比抵抗域にあることは注目すべきである。一般に孔隙率が高くなるほど、含水率が高くなるほど、あるいは変質が進むほど、岩盤(地盤)の強度も比抵抗も低下するので、岩盤強度の軟弱な地域と低比抵抗域とは一致すると考えられる。したがって、電磁法で求まる比抵抗構造より、岩盤強度の弱い場所の抽出(ゾーニング)ができると期待される。

6. おわりに

本報告では、高倉ほか(1996b)に基づき、比抵抗構造から把握される淡路島北部にある断層付近の不均質構造について示した。電磁法の断層調査への有効性を向上させるためには、断層およびその周辺の地下構造に対する比抵抗モデルを確立することが必要である。そのためには、電磁法の精度を高めることと、断層調査への電磁法の適用例を増やすことが望まれる。

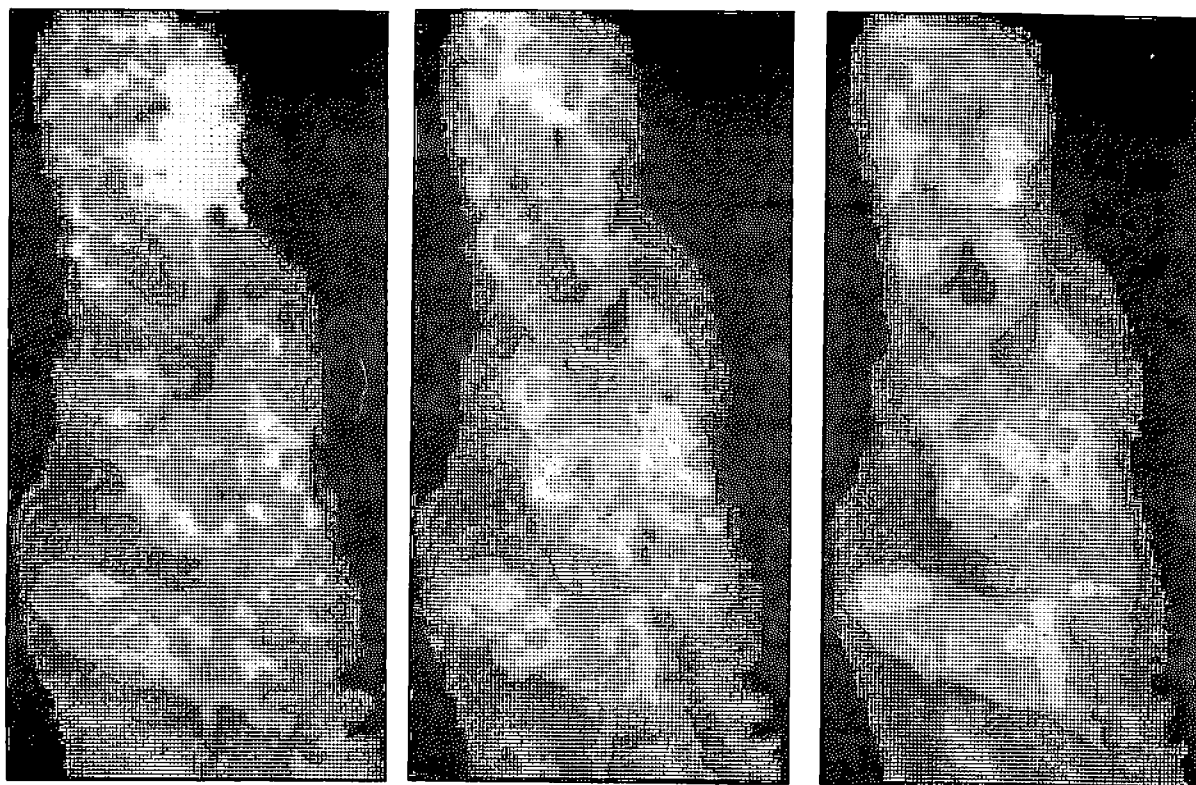
参考文献

- 伊藤久男・宮崎光旗・西澤修・桑原保人・木口努(1996):有馬・高槻断層系近傍における坑井調査, 物理探査学会第94回学術講演会講演論文集, 440-442.
- 藤田和夫・前田保夫(1984):須磨地域の地質, 地域地質研究報告, 地質調査所, 101p.
- 水野清秀・服部仁・寒川旭・高橋浩(1990) 明石地域の地質. 地域地質研究報告, 地質調査所, 90p.
- 高橋浩・寒川旭・水野清秀・服部仁(1992) 洲本地域の地質. 地域地質研究報告, 地質調査所, 107p.
- 高倉伸一・中塚正(1996): 兵庫県淡路島北部地域におけ空中電磁法および空中磁気法調査報告書, 地質調査所研究資料集 No.223, 46p.
- 高倉伸一・小川康雄・内田利弘・村上裕(1996a): 兵庫県淡路島北部地域におけCSAMT法およびIP法調査報告書, 地質調査所研究資料集 No.224, 41p.
- 高倉伸一・小西尚俊・中村直文・高橋直良・菊池晃(1996b): ヘリコプター空中電磁法とアレイ式CSAMT法による淡路島北部の活断層調査, 物理探査, 49, (印刷中).



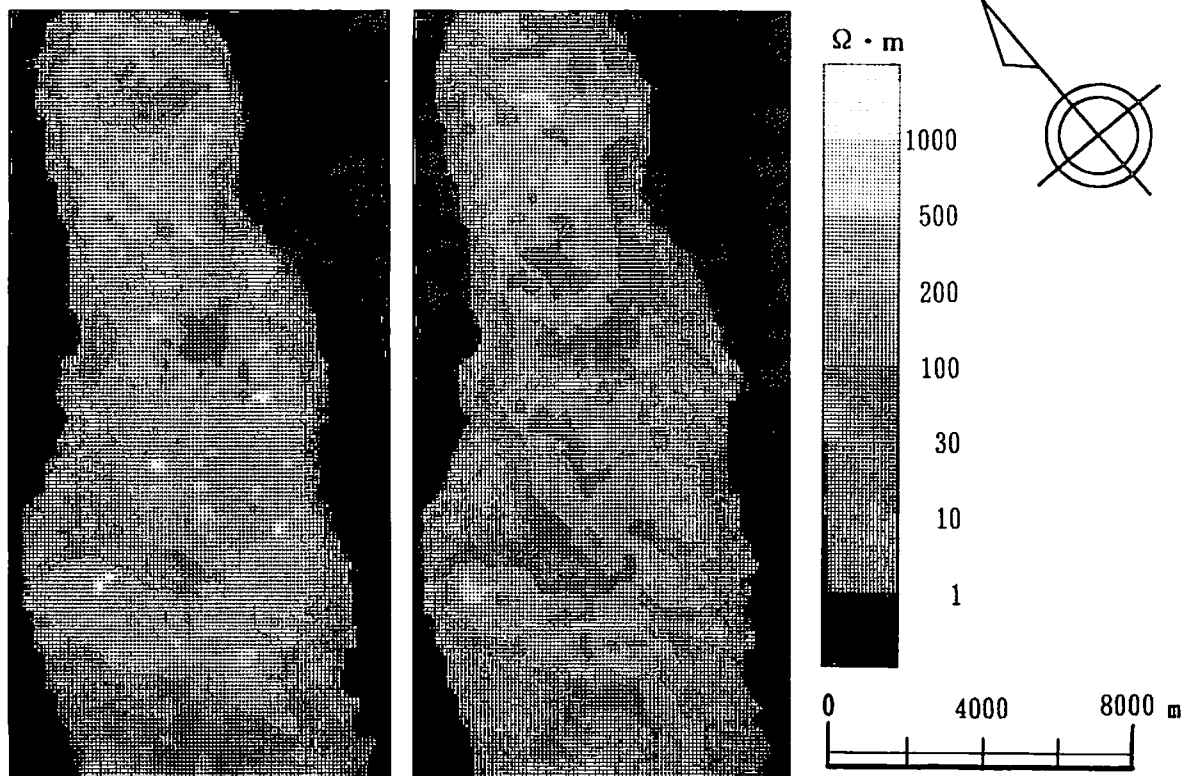
第1図 淡路島北部の地質。地質図は高橋ほか(1992)から抜粋して加筆した。地質凡例は、1:断層, 2:沖積層, 3:段丘堆積物, 4:大阪層群(鮮新-更新統), 5:神戸層群(始新-中新統), 6:和泉層群(上部白亜系), 7:塊状花崗岩類(白亜紀後期), 8:流紋岩類(白亜紀), 9:フォリエイションを有する花崗岩類(白亜紀)である。四角の範囲がヘリコプター空中電磁法の調査範囲を、太線(A、B)がアレイ式CSAMT法の測線を示す。

周波数:137,500Hz 周波数:27,500Hz 周波数:5,500Hz

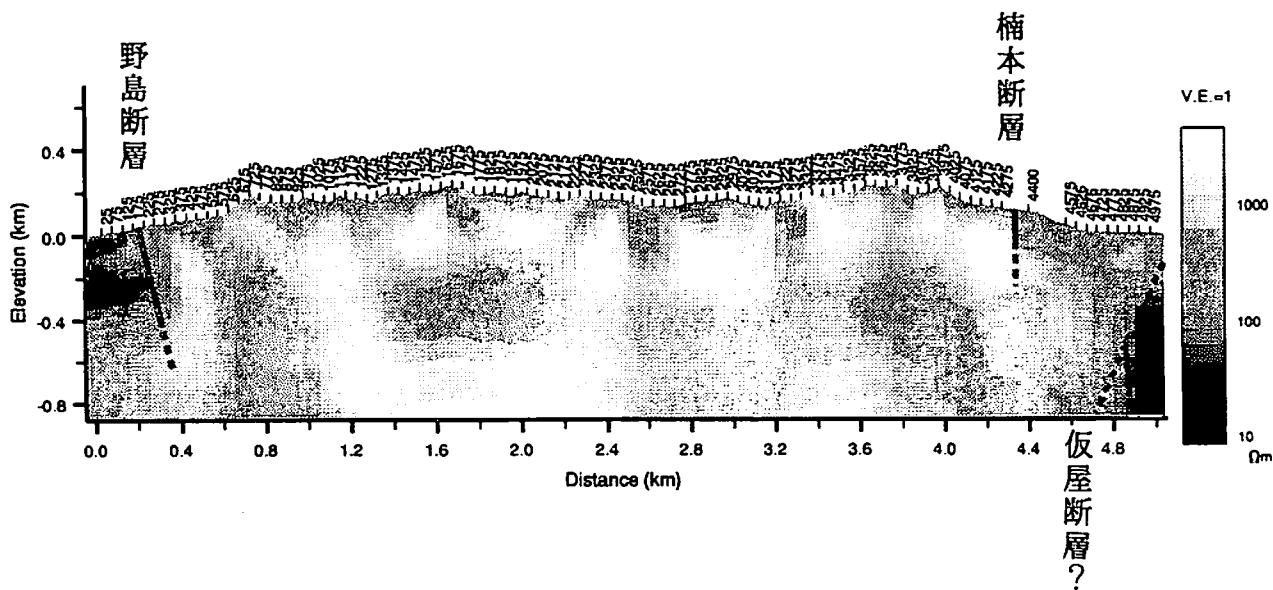


周波数:1,100Hz

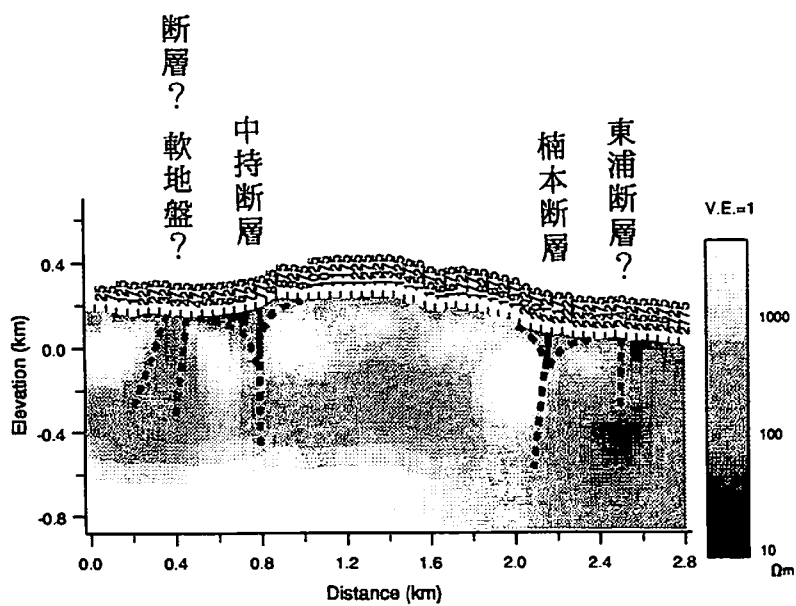
周波数:220Hz



第2図 ヘリコプター空中電磁法の見掛比抵抗平面図。
(137500Hz、27500Hz、5500Hz、1100Hz、220Hz)



第3図 A測線のアレイ式CSAMT法の2次元解析結果。



第4図 B測線のアレイ式CSAMT法の2次元解析結果。