

本資料は2000年 3 月 31 日付けで登録区分
変更する。

東濃地科学センター 【研究調整グループ】

商用周波数およびその高調波を利用した簡易電磁探査法の開発

(昭和62年度成果報告)

1988年11月

動力炉・核燃料開発事業団
中部事業所 環境地質課

本文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

Inquiries 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)
1988

~~この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。~~

~~This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.~~

本資料についての問い合わせは下記に願います。

~~〒107 東京都港区赤坂1-9-13~~

~~動力炉・核燃料開発事業所~~

~~技術協力部 技術管理室~~



目 次

1. はじめに	1
2. PLMT法の開発と経緯	1
3. PLMT法の原理および測定法と測定装置	1
4. 実証試験	2
5. 結論	4
6. 参考文献	5

商用周波数およびその高調波を利用した簡易電磁探査法の開発

1. はじめに

自然地震などのようにもともと天然に存在するもの又は人工的な何らかのショックが地下に与えられると、地下構造はその物理的な性質に従って応答する。その応答の違いで地下構造を推定する方法を物理探査法と呼ぶ。

物理探査法には数多くの手法があるが、電磁波を発信し、地下で誘導された電流が作る2次電磁場を測定し、比抵抗分布から地質構造を推定する場合を電磁探査法と呼ぶ。

中部事業所では、広域地下比抵抗分布調査のため61年度からPLMT法の機器開発の取り組んでいる。

PLMT法とはPower Line Magneto-Telluric Methodの略で、委託先である三井金属資源開発㈱と共同で開発した、商業用送電線を用いた地磁気地電流法である。

PLMT法では、送電線が作る電磁界が地下に発信される電磁界の源である。

62年度は、前年に試作された機器を用いてこの手法の有効性の実証試験が実施された。実証試験では基礎的データを得るため、福島県の1地域と鹿児島県串木野地区を対象に各種試験を行なった。

その結果、PLMT法は広域比抵抗調査法として、簡便で十分信頼できるデータを得ることができることが実証されたほか、調査の具体的手法についても指針を得ることができた。

今年度実施したPLMT法の実証試験結果について報告する。

2. PLMT法の開発と経緯

地下の比抵抗をマッピングする手法は種々ある。

古くは直流電流を用いたシュランベルジャー法や最近地熱資源探査のために自然又は人工的な電磁場を用いたMageto-Telluric法や時間領域電磁法(TDEM法)が用いられている。

これらの手法はすでに広く認められているが、広い地域(例えば10km*10km)や対象深度が大きいとき、測定装置が大掛かりになったり、何よりも経費が高くなる。

これら電気探査を行なう上で電力線が作る電磁場は大きなノイズ源と考えられてきた。これを避けるために、電力線からある程度以上離れて測定するとともに、フィルターにより商用周波数及びその高調波を除去している。しかしながら観点を変えると、このノイズと考えられたきた電力線が作る電磁場も信号源と考えることができる。

また表皮深度を基準とした探査深度は均質大地(100 ohm・m)のとき60Hzでは約650mとなり、深部地質構造の調査手段として適当である。一般に商用電線による電磁波は大きくかつ安定しており、大地の比抵抗を小型の測定装置で極めて短時間に測定することが可能になる。

こうした考えの下に、PLMT法の試作機が製作され、さらに実用化のための資料を得るために、本試験が実施された。

3. PLMT法の原理および測定法と測定装置

PLMT法の測定概念を第1図に示す。送電線には東日本では60Hz、西日本では50Hzの電流が流れているが、ある程度離れた(例えば1km)地点で送電線に平行に電場を測る電極(電場センサー)設置する。またこれに直角方向の磁界を測るためコイル(磁場センサー)を地上におく。

測定器は、測定する電場と磁場の両方を記録し測定後ただちにフーリエ変換し、商用周波数とその高調波成分を出力するプログラムが内蔵されている。

福島県で測定された周波数スペクトラムを第2図の示すが、この地区では50Hzのほか100Hz、150Hzのような高調波も含まれていることがわかる(第2図)。

送電線からある程度離れるとそれによる電磁場は平面波と考えられる。すなわち平面波では、電場と磁場の比から地下のインピーダンスを次式によって計算できる。

$$\xi_a = \frac{1}{\omega \mu} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで ξ_a : 見掛比抵抗

ω : 角周波数

μ : 透磁率

E_x : 電場

H_y : 磁場

従って、PLMT法では、各測点の電場と磁場を同時に測定することによって(1)式にもとずき周波数毎の見掛比抵抗を算出しているのである。各測点に対する測定必要時間は、例えば50Hzの場合1秒間測定すると50回スタックできることになり、S/N比向上から十分である。従って、測点に到着後5分から10分で測定を終了することができ、これまでのCSAMT法の40分から1時間を大幅に短縮することができる。

4. 実証試験

本試験は、開発された試作器を用いて、既に電気探査データのある2つの地域(商用周波数50Hzの福島県地域と、商用周波数60Kzの鹿児島県串木野周辺地域)において実証試験を実施し、PLMT法の実用化のための基礎的な資料を得ることを目的とされた。

(1) 実施試験項目

実施試験の項目を下記に示す。

- 他の物理探査データとの整合性
- 商用動力線から測定点までの距離が測定値に与える影響
- 複数の商用動力線が測定値に与える影響
- 測線近傍の低電圧電圧線や電話線が測定値に与える影響

(2) 他の物理探査データとの整合性

福島県と鹿児島県、ともに各種の物理探査が実施されており、それらの調査結果と比較することによって、PLMT法の妥当性を試験した。

福島県地域

ここではシュランベルジャー法及びELFMT法の調査結果があるが、シュランベルジャー法は一測線のみである。

① ELFMT法の調査結果との比較

ELFMT法は、シューマン共振周波数帯を使用したMT法で、シグナルも大きく、比較的迅速に測定が出来る探査方法である。周波数帯はPLMT法よりも低く、20.4Hz以下である。

2 km × 3 kmの地域で、P L M T法とE L F M T法の測定結果をそれぞれ第3図及び第4図に示す。P L M T法は50 H z、E L F M T法は20.4 H zの測定結果であるが、両者とも良く似た傾向が得られている。特に地域中央北部から南にかけての低比抵抗域、さらに南東部の高比抵抗域について良い一致が見られる。

② シュランベルジャー法の調査結果との比較。

シュランベルジャー法は一測線のみがある。P L M T法は、50 Hzの周波数における探査深度が数100 mと考えられ、シュランベルジャー法による見掛比抵抗 ($AB/2$ が50m及び250m)を第5図に示した。P L M T法の測線は、シュランベルジャー法の測線から最大100 m離れており、単純に比較はできないが、P L M T法は測線中央付近の低比抵抗域を良く捉えている。

鹿児島県 (串木野周辺地域)

第6図の四角で囲まれる3 km × 2 kmの区域について、P L M T法とC S A M T法の調査結果の比較を行った。第7図にP L M T法の、第6図中にC S A M T法の測定結果をそれぞれ示す。

周波数はそれぞれの60 Hz及び64 Hzである。区域の北東部が高比抵抗、南部が低比抵抗、さらに南西部が高比抵抗という傾向は両者とも一致している。

さらにP L M T法とC S A M T法の周波数と見掛比定数の関係を第8図に示す。口がP L M T法、*がC S A M T法の測定結果であるが、両者ともよく似た傾向になっている。

(3) 商用動力線から測定点までの距離が測定値に与える影響

P L M T法においては、M T法と同様に、電場と磁場を測定してフーリエ変換によって周波数スペクトルを求め、各周波数に対して、(1)式から見掛比抵抗を計算する。しかしながら、商用電力線からの距離が小さい場合には、電磁場が平面波であるという仮定が成り立たないため(1)式が成立せず、計算される見掛比抵抗は地下の比抵抗を反映しない。100 ohm · mの均質の大地において、送電線からの距離を500 mから20 kmまで変化させた場合の見掛比抵抗を、横軸を周波数、縦軸を見掛比抵抗にとって表したものを第9図に示す。

周波数が低くなってくると、見掛比抵抗は100 ohm · mから少し減少し、さらに周波数が下がると今度は逆に上昇していく。

この現象はN E A R F I E L D効果と呼ばれており、地下の比抵抗が高いほど影響が大きく、高比抵抗の地域においては、送電線からの距離を大きくする必要がある。第9図から、100 ohm · mの土地で50 HzでN E A R F I E L D効果が現れるのは送電線からの距離が2 ~ 3 km以下の時である。

串木野地域においても、送電線からの距離の影響を見るために、送電線からの距離と、電磁界の振幅の関係を第10図(Hy)と第11図(Ex)に示した。送電線から離れるに連れて電磁界は減少していくが、約3 km以上離れると減少の傾向ははっきりしなくなる。福島県の測定結果では、この距離は約1 kmであったが、串木野地域でこの距離が大きくなった理由としては、送電線が大規模であり、また比抵抗も福島県地域より一般的に高いためであると考えられる。さらに定量的に送電線からの距離の影響を調べるために、測定データについてC S A M T法の結果も考慮して検討を行った。測点5が送電線から400 m、測点60と12がそれぞれ送電線から800 mと1100 mである。

また第12図にはPLMT法の測定結果を示す。口が測点5.0が測点60、が測点12をそれぞれ表わしているが、測点12付近ではCSAMT法によるデータがあり示している。

測点5では60Hzの時に見掛比抵抗が約7000 ohm・mという高い値を取り、周波数が高くなると急激に小さくなっていく。また、測点60においても、やはり60Hzの時に約400 ohm・mという高い値を取っている。これらの測点5と60ではNearFieldの影響が出ているが、測点12においてはCSAMT法とほぼ同様の結果が得られている。

(4) 複数の商用電力線の影響

PLMT法の見掛比抵抗は(1)式で示されるように測定された電解と磁界の比の2乗に係数1を掛けて求められる。測定方向は、電解を測定する方向と送電線の方向が一致するように取られるが、現実には送電線が複数であったり曲がっていて電磁界の測定方法が決められない場合も多い。ここでは、電極や磁気センサーを回転させて測定をおこない、複数の商用電力線を試験した。

串木野地区の測点1の場合、2本の送電線が近くにあるが、両者ともほぼ平行しており、電界は送電線と平行な方向よりやや東向きで最大値を取り(第13図)磁界はやや北向きで最大値を取っている(第14図)。見掛比抵抗は第15図に示すが、電位の測定方向と送電線の方向が一致する110°~130°付近で見掛比抵抗はほぼ一定となっている。しかしながら、測定方向が90°ずれた時(電界の測定方向と送電線が直角)には異常に大きい見掛比抵抗がえられている。これは、得られた電界が、送電線と直角方向で大きな値を取っているために見掛比抵抗が大きくなったもので電位電極付近の異常が影響したのと思われる。

結論として、測定方向は電位電極の方向が送電線の方向と一致するように測定することが望ましい。測定する方向にあまり依存しないのは、低電圧電力線に流れる電流が小さいためと考えられる。

(5) 高調波を利用した垂直探査

測点12において、PLMT法の測定結果をMT法のインバージョンのプログラムによって解析した結果を第16図に示す。口が測定値であり、また曲線がインバージョンの結果から計算した見掛比抵抗曲線である。第1層が133 ohm・mと解析されている。120 Hzの見掛比抵抗が70 ohm・mと他の周波数と比較して小さい値が得られており、その結果第3層の見掛比抵抗が非常に高く解析されている。しかしながら60 Hzの表皮深度は比抵抗130 ohm・mで750m、比抵抗30 ohm・mでは360mであり、解析された第3層の深さや比抵抗値は、信頼できるとはいえない。

PLMT法は、現在のところ(1)式から見掛比抵抗を計算しているが、送電線までの距離がわかっている場合にはその値も考慮してインバージョンなどの解析を行なうようにすることによって、送電線までの距離がある程度まで小さくても解析が可能になってくるとと思われる。

5. 結論

新しく開発されたPLMT法の実用化を計るための基礎となる各種の試験が、試作器を用いて実施された。その結果をまとめて以下に示す。

- ①他の物理探査と整合性のあるデータから得られた。
- ②測定は非常に簡易で、数分間に1つの測定を終了できる。
- ③試作機は小型軽量で車でいけぬ地域でも容易に測定できる。

- ④道路脇の低電圧電力線・電話線から100m以上はなれて測定する必要がある。
- ⑤電位電極間隔は最低10m以上にする。
- ⑥測定の方法は、その地域の送電線と平行に電界を、それと直角に磁界を測定する。送電線が複数の場合は45程度の直角で回転させておおくの方向でデータを取ることが望ましいが、平均的な方向が決められるときには、その方向に電界を測定することも可能である。
- ⑦MT法のインバージョンプログラムによって、地下数100 mまでの垂直探査を行うことが可能である。
- ⑧道路脇の低電圧線によって測定データが影響を受けているかどうかを測定データから判断する方法として、現時点では磁場の垂直成分と水平成分の判断規準になると考えられるが、今後もさらに検討していく必要がある。

PLMT法は、測定シグナルも大きく、且つ安定しており、非常に簡易測定することができ、広い地域の地下数100mまでの比抵抗分布を知るのに適している。今後は試作機の改良を行ない実用化を図るべきである。

解析方法についても、現在はMT法の式を使用しているために、送電線から表皮深度の数倍はなれる必要があるが、送電線までの距離を与えることによって距離を離す必要をなくすことも可能と思われ、理論的に検討していく必要がある。

6. 参考文献

- (1) 坪田、則竹、大屋、斎藤(1987) : 商用周波数およびその高長波を使った簡易電磁探査法の開発(その1) . 物理探査学会昭和62年秋季講演論文集。
- (2) 金属鉱業事業団(1985) : 昭和59年度広域調査北陸・串木野地域仁田地区物理探査報告書。
- (3) Cagniard, L. (1953): Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting Geophysics vol 18, pp 605.
- (4) Strangway, D. W. et al. (1980): Audio-frequency magnetotelluric soundings at the Whiteshell Nuclear Research Establishment and Chaik River Nuclear Laboratories. Atomic Energy Limited, TR-1
- (5) McCollor, D. C. et al. (1983): An E. M method for Earth Resistivity Measurements using Power Line Harmonic Fields., J. Geomag. Geoelectr., vol. 35 pp221-244
- (6) 三井金属資源開発(株)(1988) : 広域比抵抗測定法実証試験。PNC S J 7187 88-001。

付図一覧

第1図

PLMT法概念図

第2図

奥会津測点56（送電線から1.3 km）の電場・磁場のスペクトル図

第3図

PLMT法見掛比抵抗分布図（paxy, 50 Hz）

第4図

ELFMT法見掛比抵抗分布図（20.4 Hz）

第5図

PLMT法とシュランペルジャー法との比較

第6図

測点位置図

第7図

PLMT法の測定結果（串木野60Hz）

第8図

PLMT法とCSAMT法の比較

第9図

均質大地に対する線電流源による見掛比抵抗値

第10図

送電線からの距離と磁界の振幅の関係（Hy）

第11図

送電線からの距離と電界の振幅の関係（Ex）

第12図

PLMT法及びCSAMT法の測定結果

第13図

測定方向による電界の変化（串木野 測点1）

第14図

測定方向による磁界の変化（串木野 測点1）

第15図

測定方向による見掛比抵抗の変化（串木野 測点1）

第16図

低電圧電力線からの距離と測定値との関係

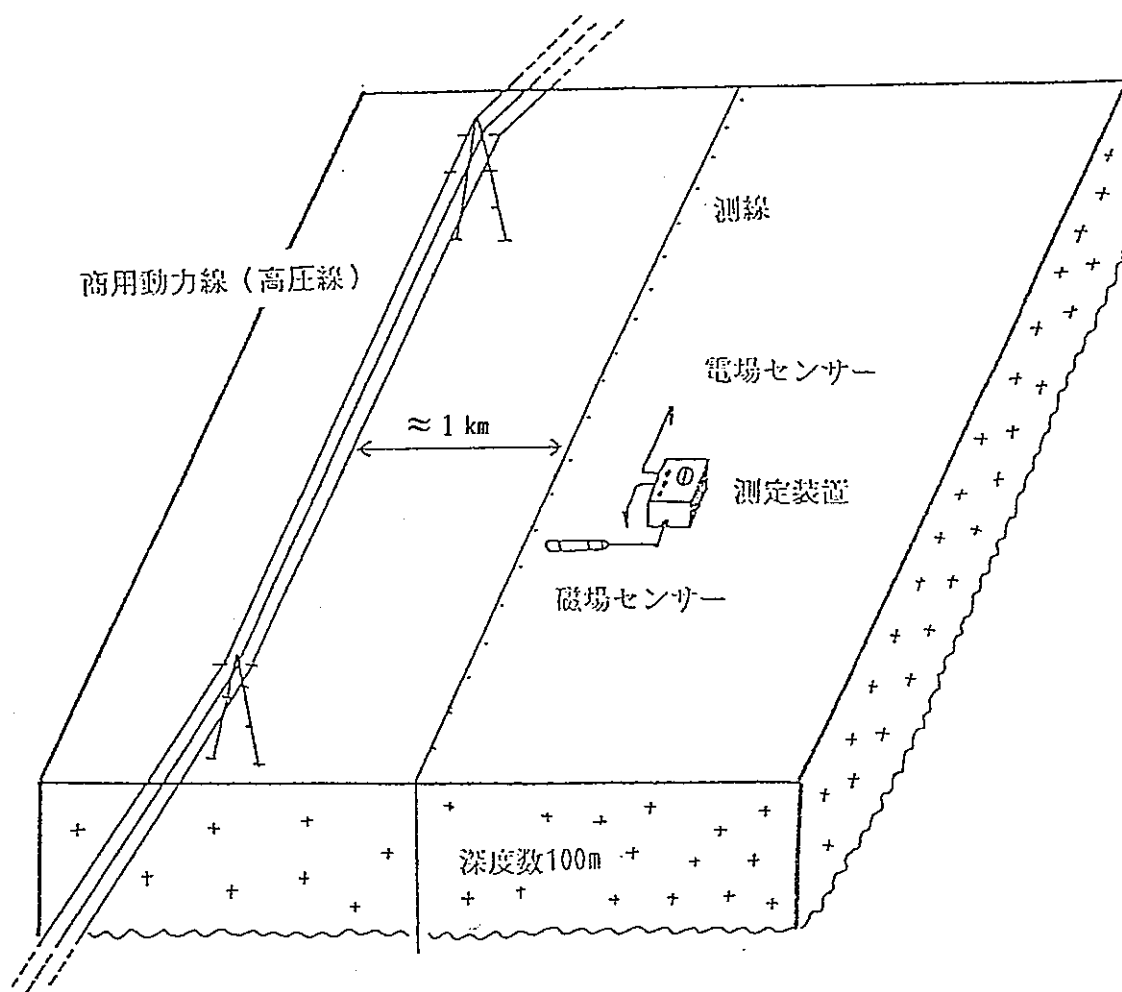
第17図

低電圧電力線からの距離と測定値との関係

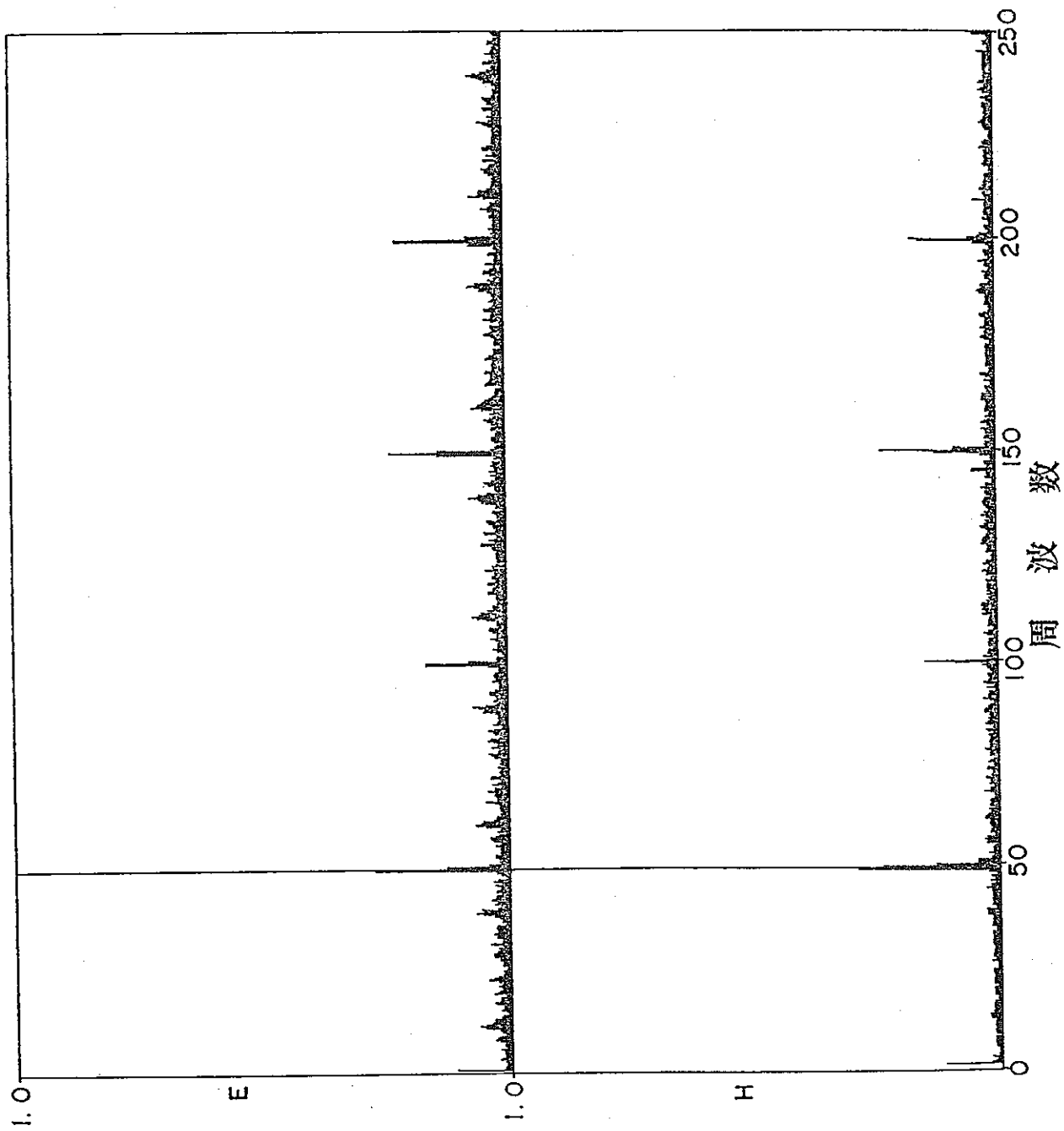
第18図

PLMT法インバージョン結果（測点12）

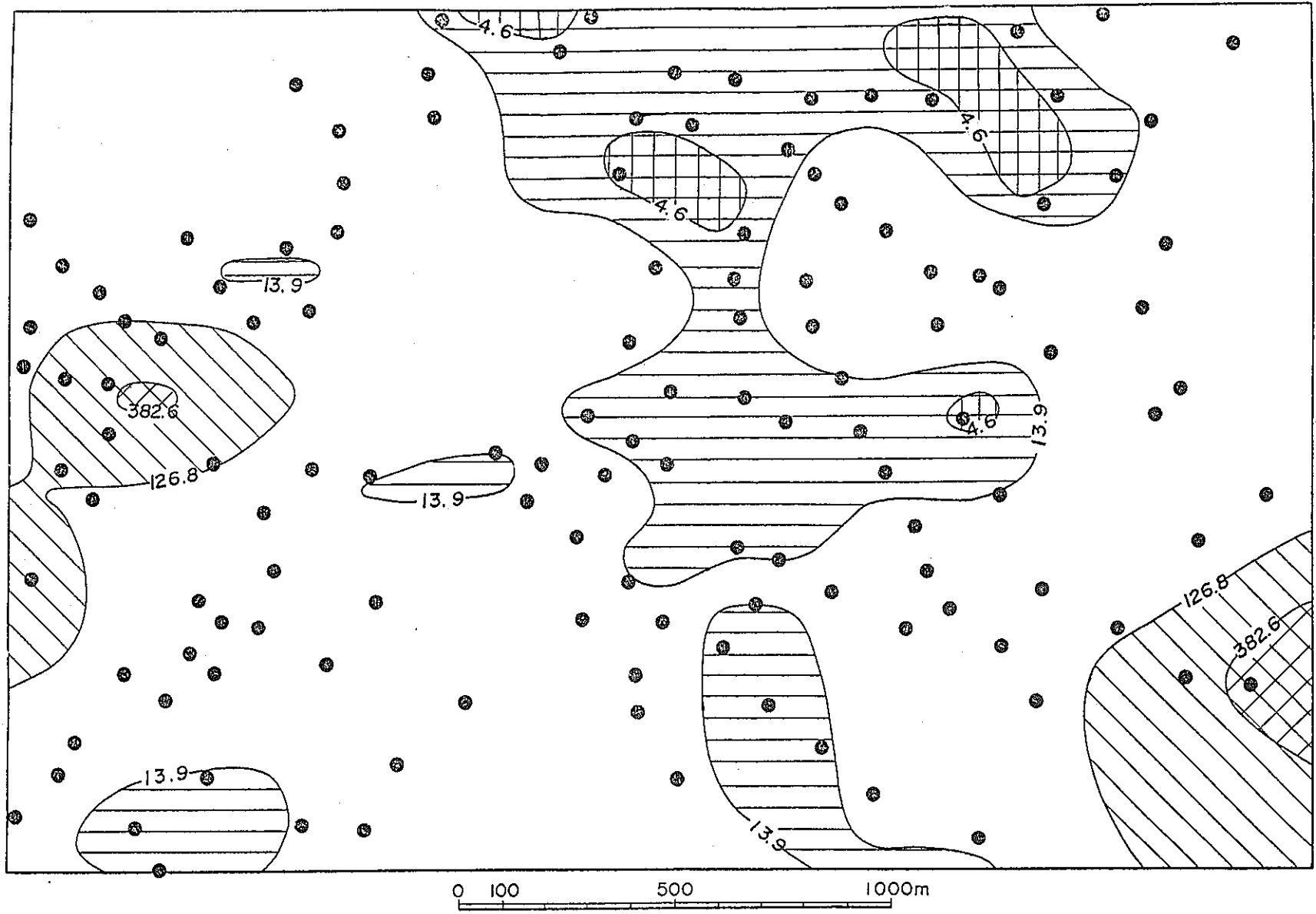
PLMT法概念図



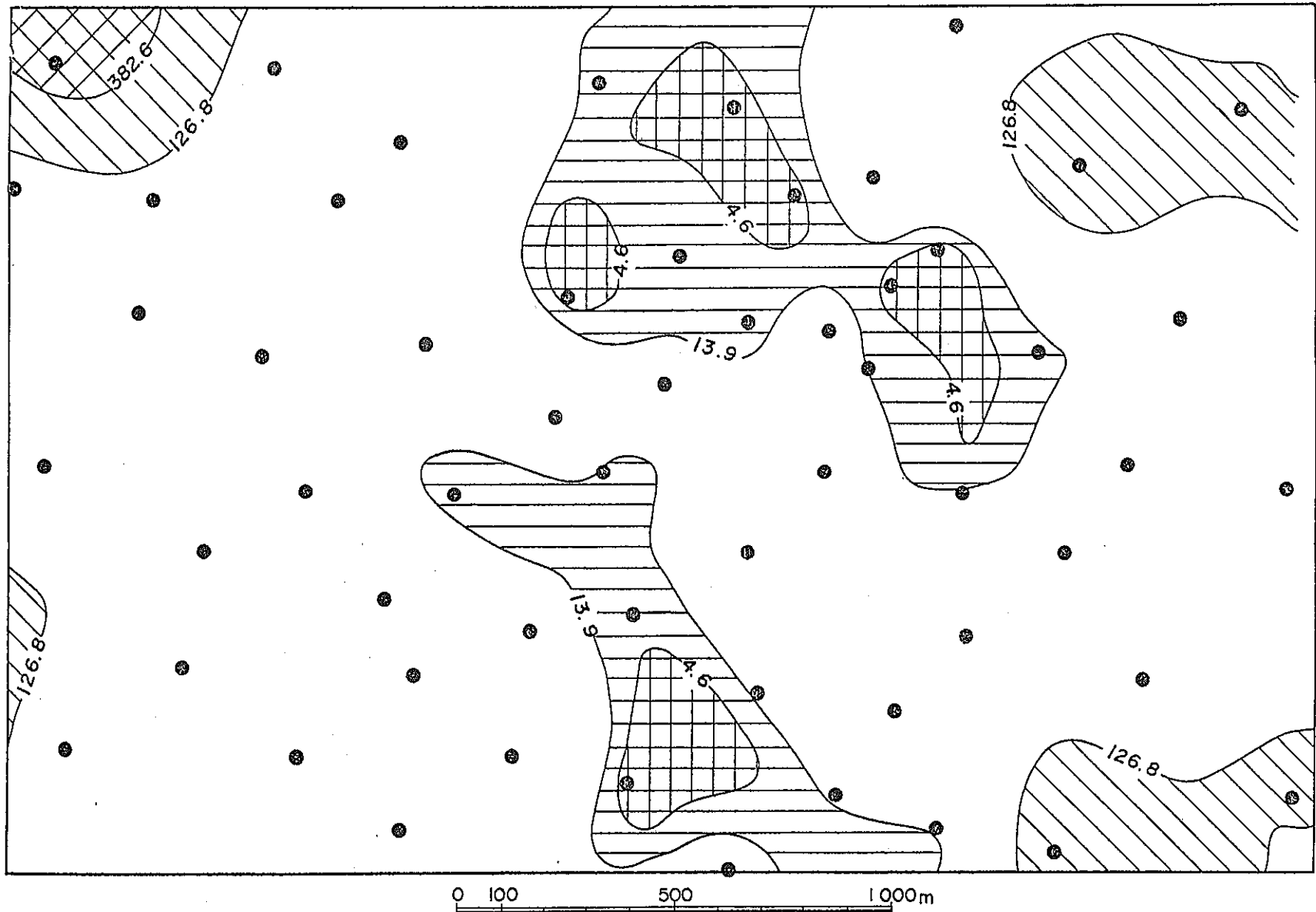
第1図



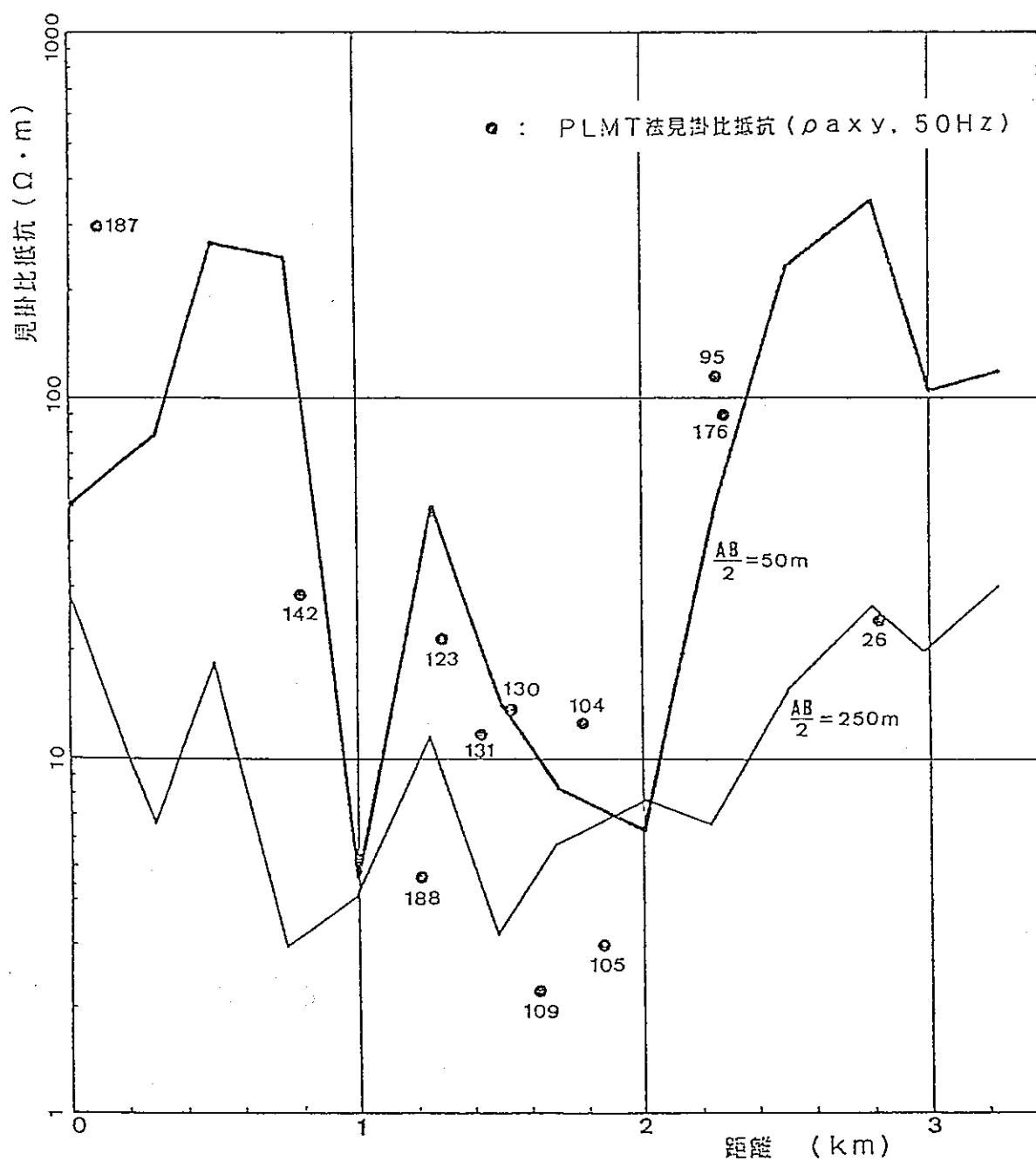
第2図 送電線から1.3 kmの電場・磁場のスペクトル解析



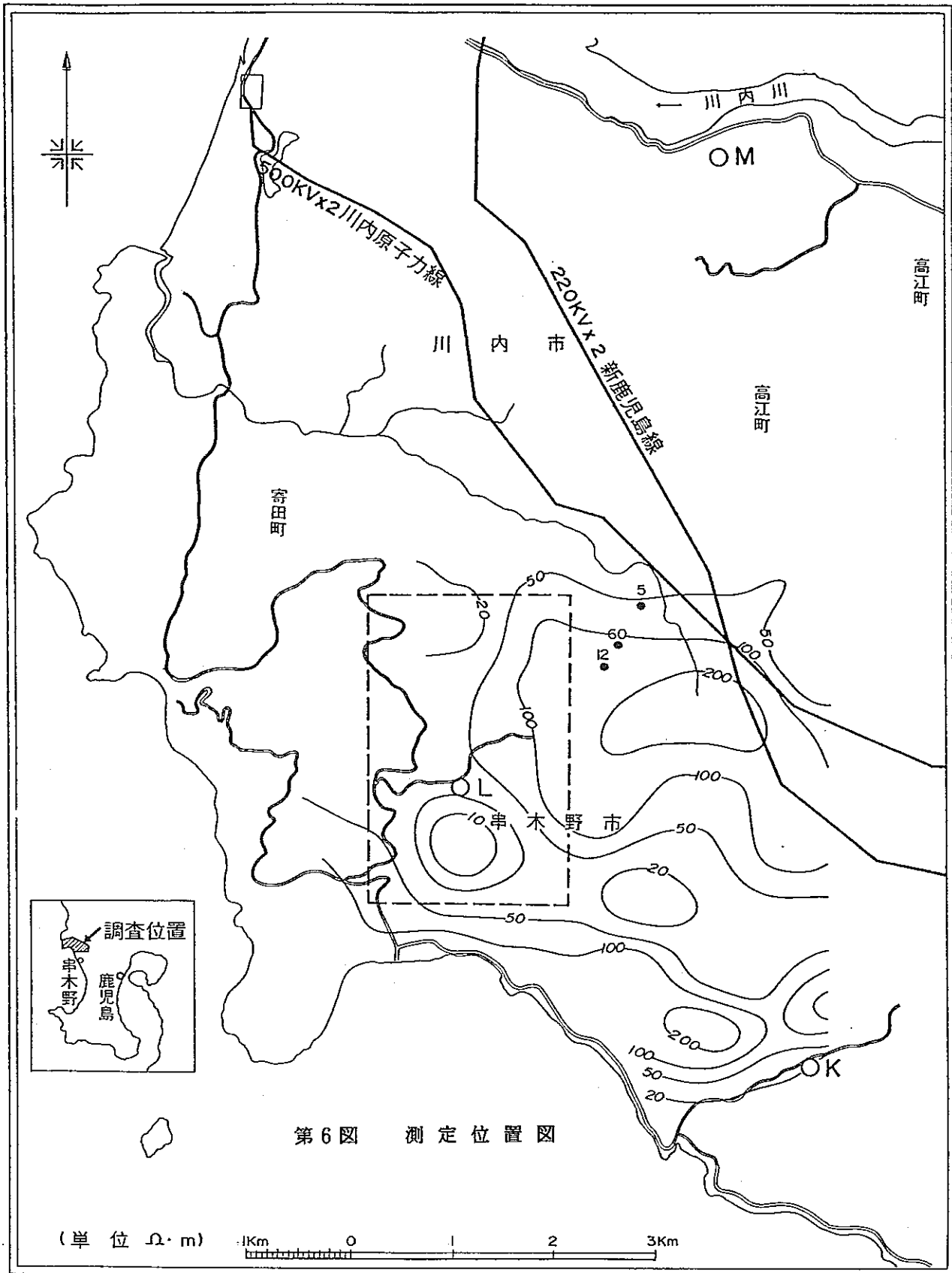
第 3 图 商用周波数電磁探査法見掛比抵抗分布図 (ρ_{axy} , 50Hz)



第4図 ELFMTマッピング法見掛比抵抗分布図 (20.4Hz)



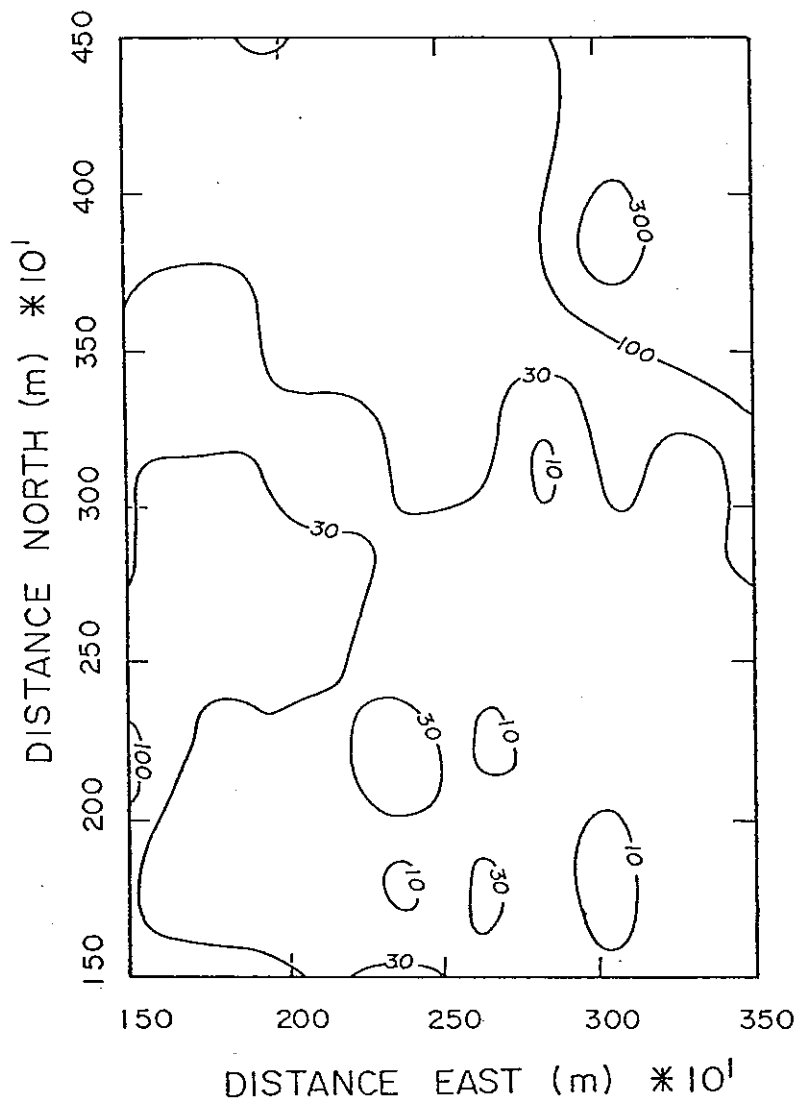
第5図 PLMT法とシュランベルジャー法との比較



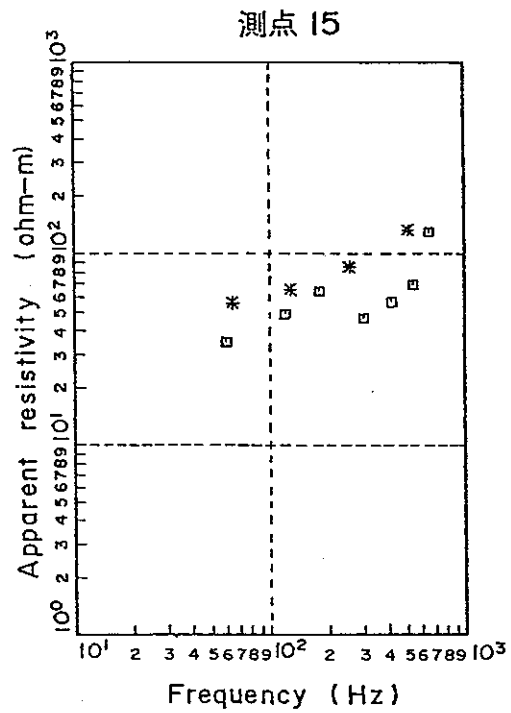
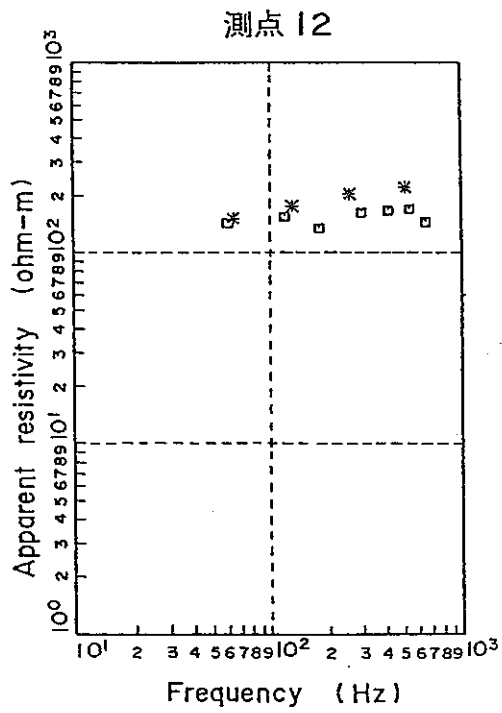
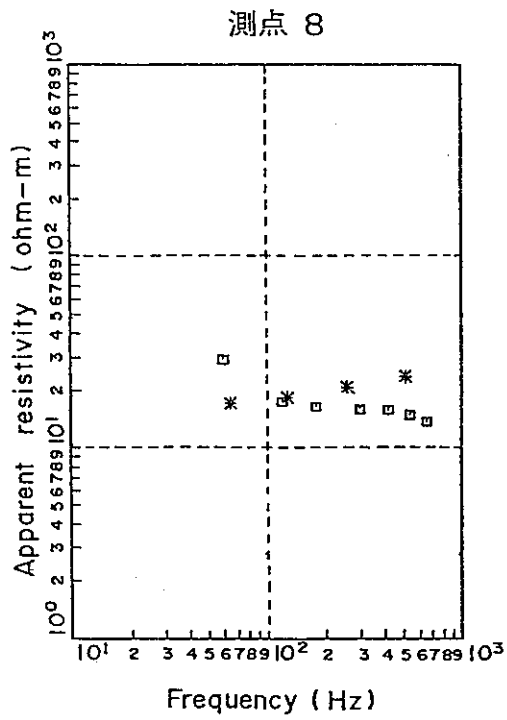
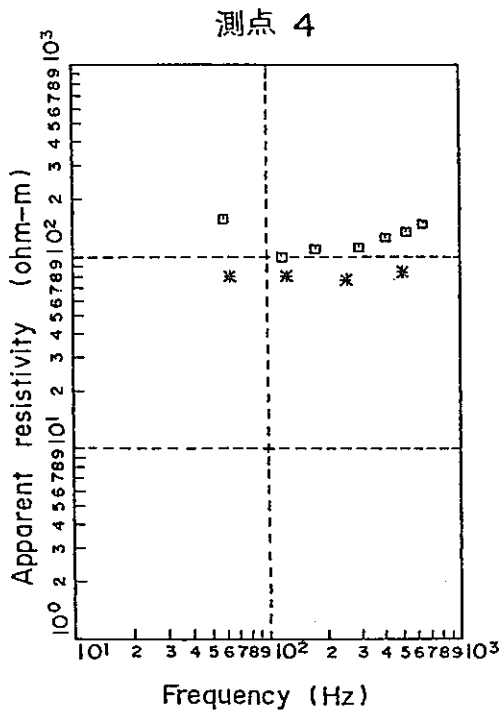
第6図 測定位置図

(単位 $\Omega \cdot m$)

0 1 2 3Km



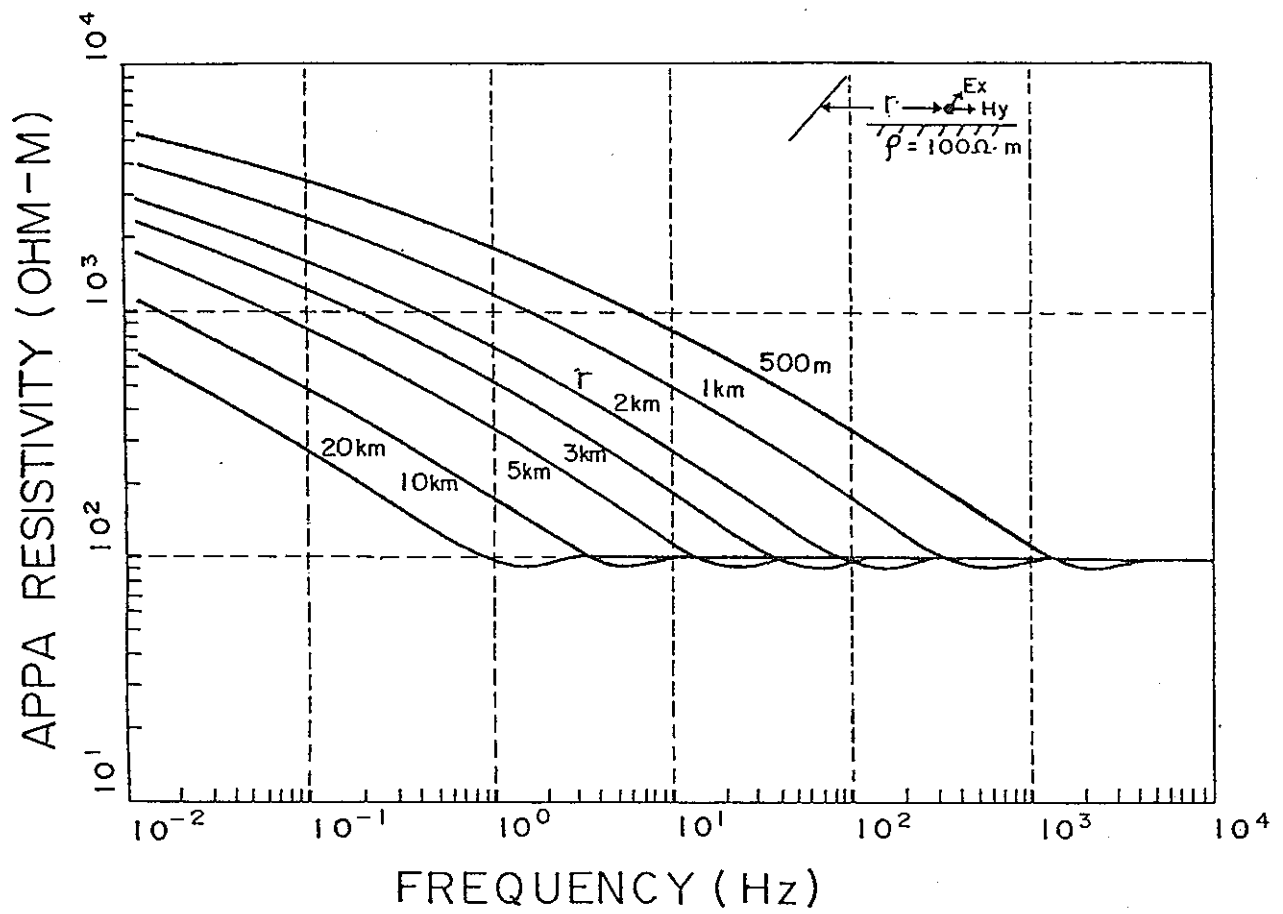
第7図 PLMT法の測定結果 (串木野60Hz)



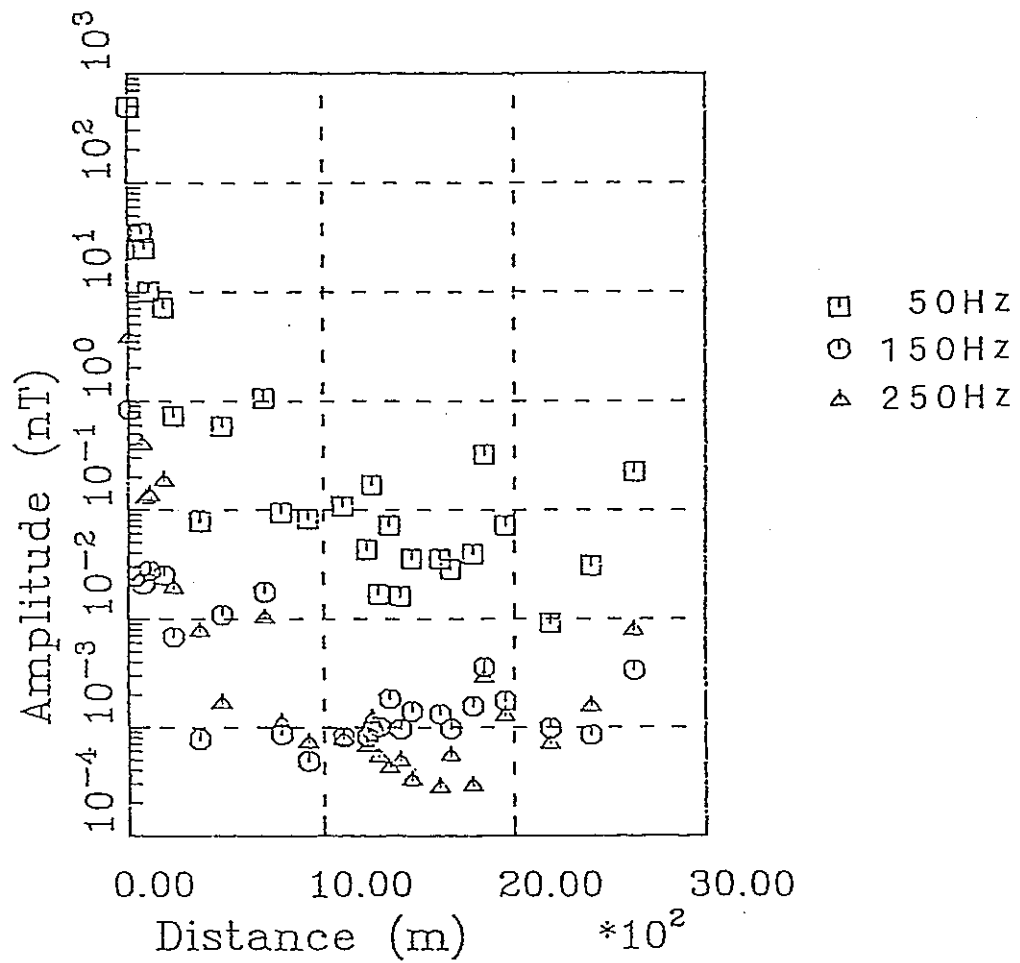
□ PLMT

* CSAMT

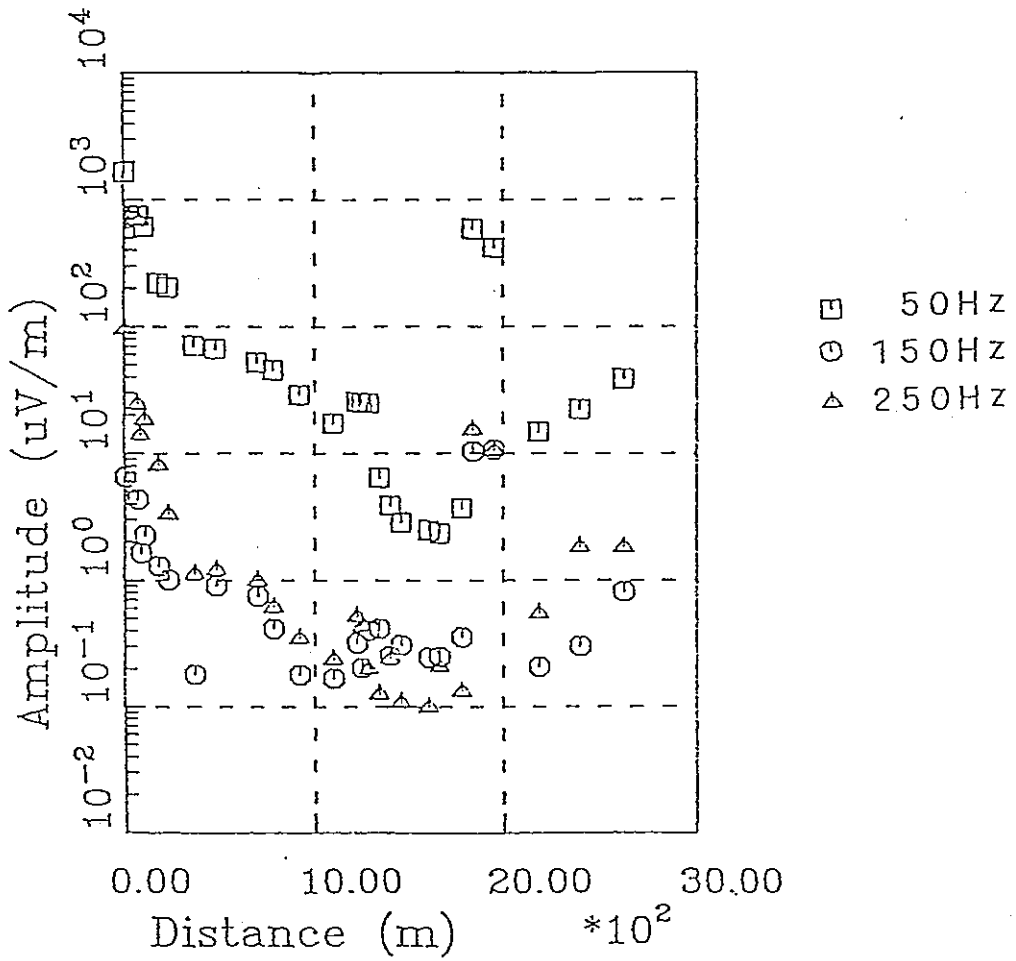
第 8 図 PLMT法とCSAMT法の比較



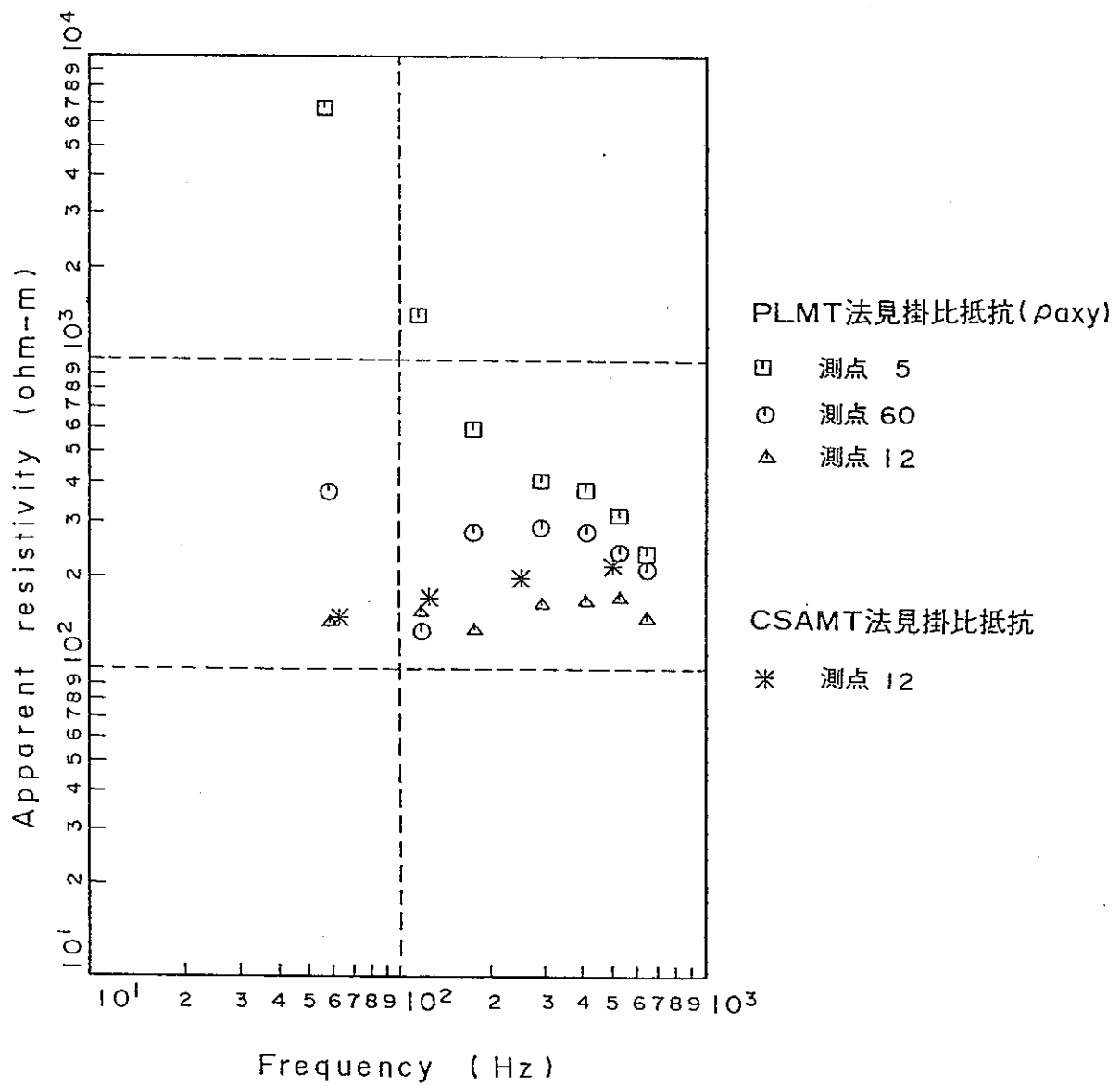
第9図 均質大地に対する線電流源による見掛比抵抗値



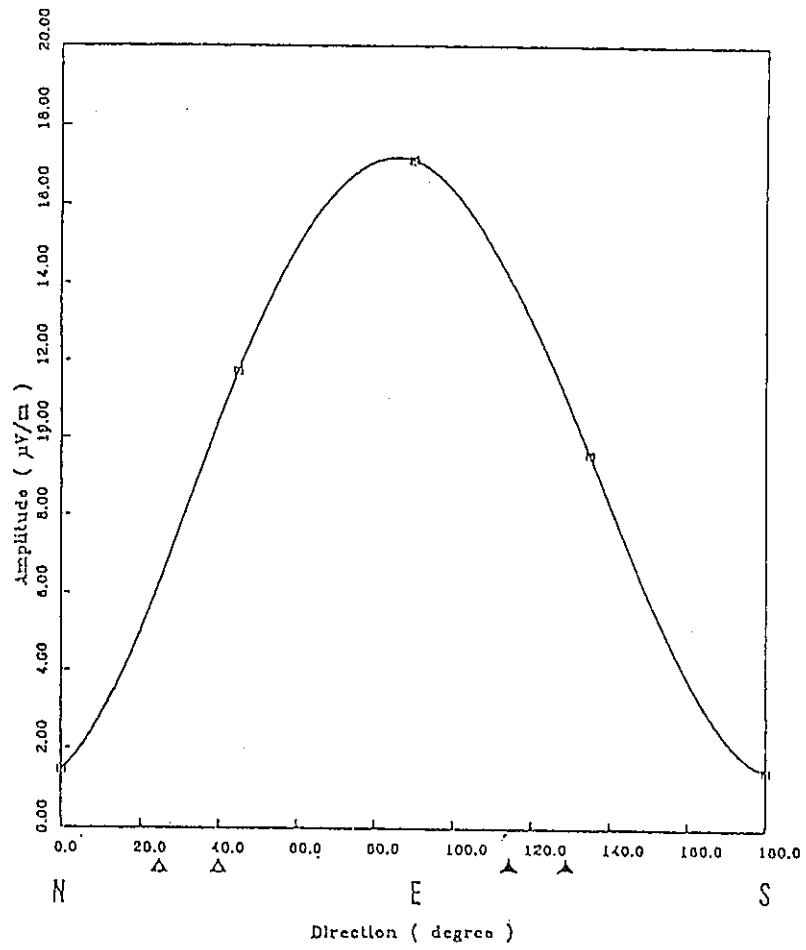
第10図 送電線からの距離と磁界の振幅の関係 (Hy)



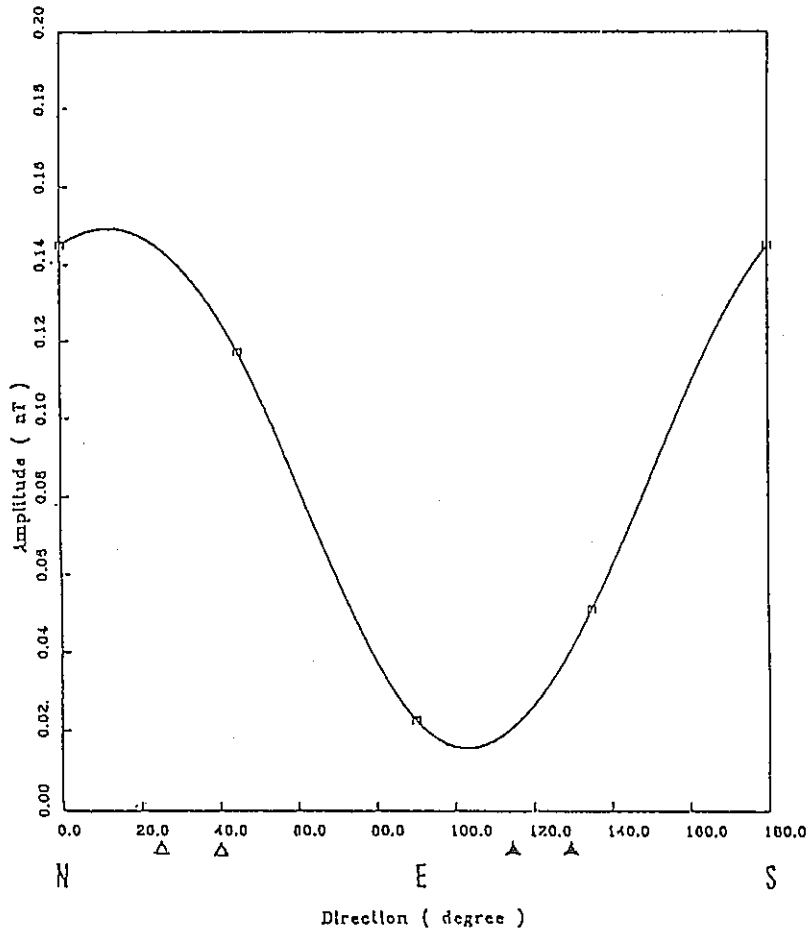
第11図 送電線からの距離と電界の振幅の関係 (E x)



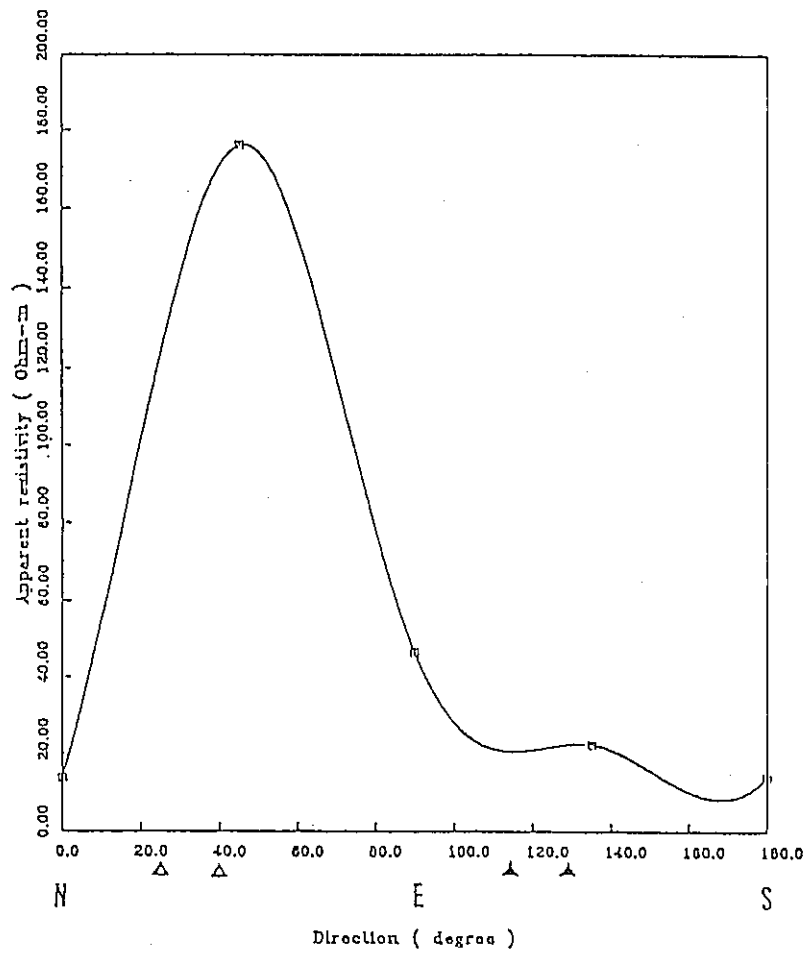
第12図 PLMT法及びCAMT法の測定結果



第13図 測定方向による電界の変化 (串木野 測点1)



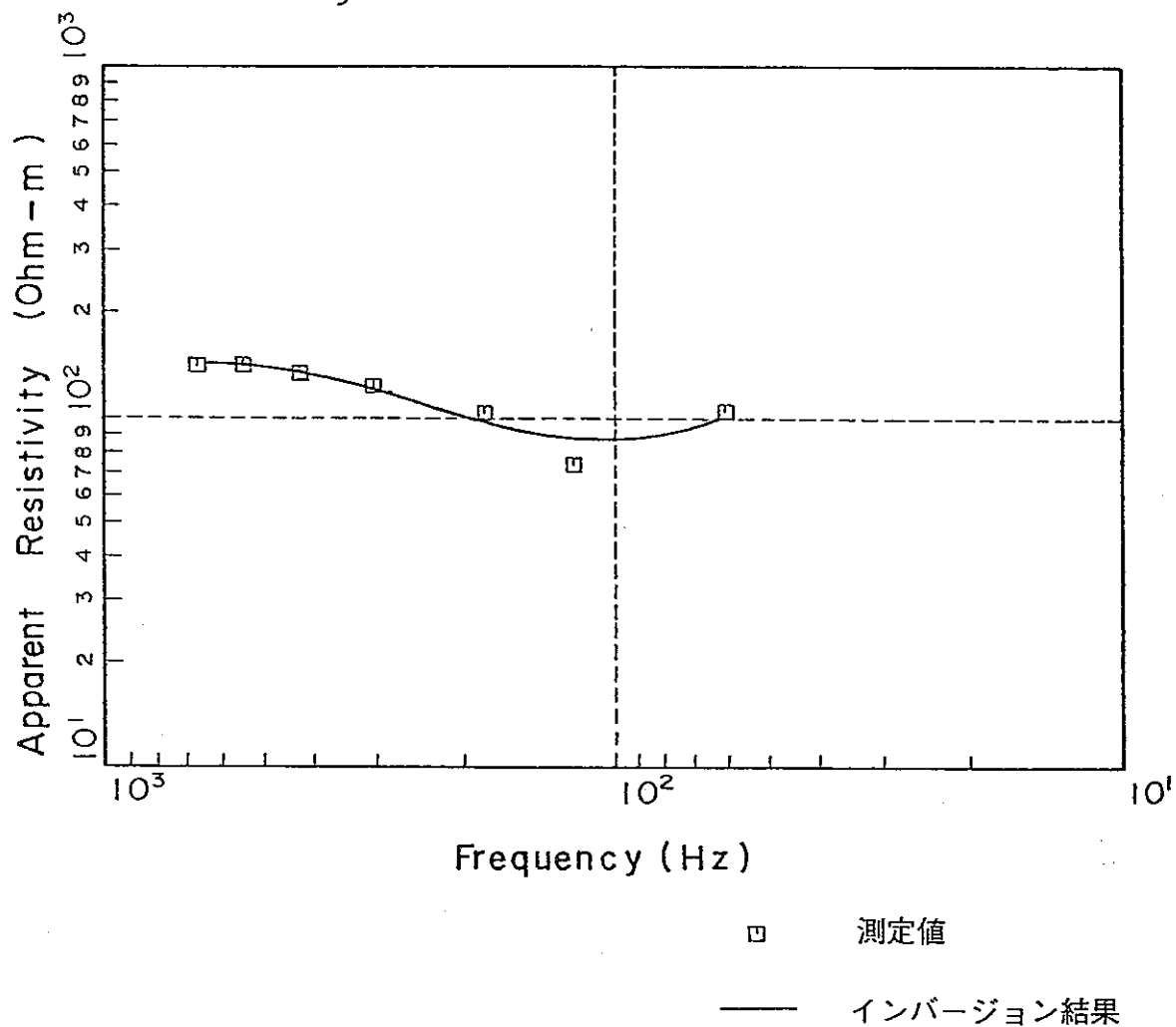
第14図 測定方向による磁界の変化 (串木野 測点1)



第15図 測定方向による見掛け抵抗の変化（串木野 測点1）

LAYERED MODEL

	RESISTIVITY (Ωm)	DEPTH (m)
ρ_1	133	327
ρ_2	27	406
ρ_3	∞	



第16図 PLMT法インバージョン結果 (測点12)