

鳥取県西部地震震源域の深部比抵抗構造調査

塩崎一郎 1*・大志万直人 2*・足立英二 1*・宇都智文 1*・平井理華子 1*・前田和彦 1*・吉村令慧 2*・村上英記 3*・山口寛 4*・西山浩史 1*・松山和也 5*・野口竜也 1*・矢部征 2*
1*鳥取大工 2*京都大防災研 3*高知大理 4*神戸大理 5*鳥取大教育

1. はじめに

2000年10月6日13時30分に鳥取県西部地震(M=7.3)が発生した。本稿では、地震発生直後に震源域において行った、広帯域MT法を用いた地殻深部比抵抗構造調査の概要を報告する。

この鳥取県西部地域を含む西南日本の日本海側周辺の地震活動に関しては、明治以降、M7前後の浜田、鳥取、但馬、北丹後の大地震が発生しているが、顕著な活断層はほとんどないことが知られている(例えば、松田,1989)。すなわち、山陰地方では、顕著な活断層を伴わない場所で、内陸の大地震が発生するという特徴があり、今回の鳥取県西部地震でも、この特徴が示されたことになる。上述の大地震の原因については、アムール・プレートの東進によるshear zone形成の可能性が示されている(例えば、三雲・石川,1987)が、では、何故、日本海沿岸部に線上に内陸型の大地震が発生するかという問いに対して、答えを用意する必要がある。

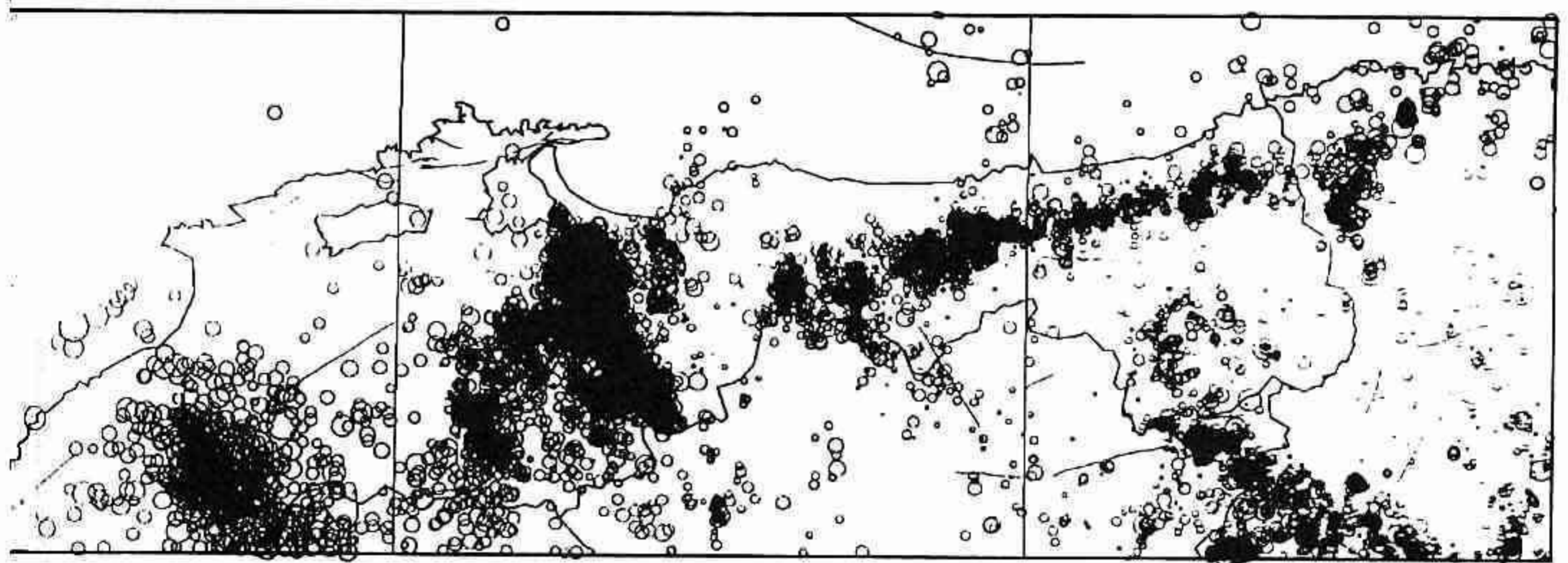
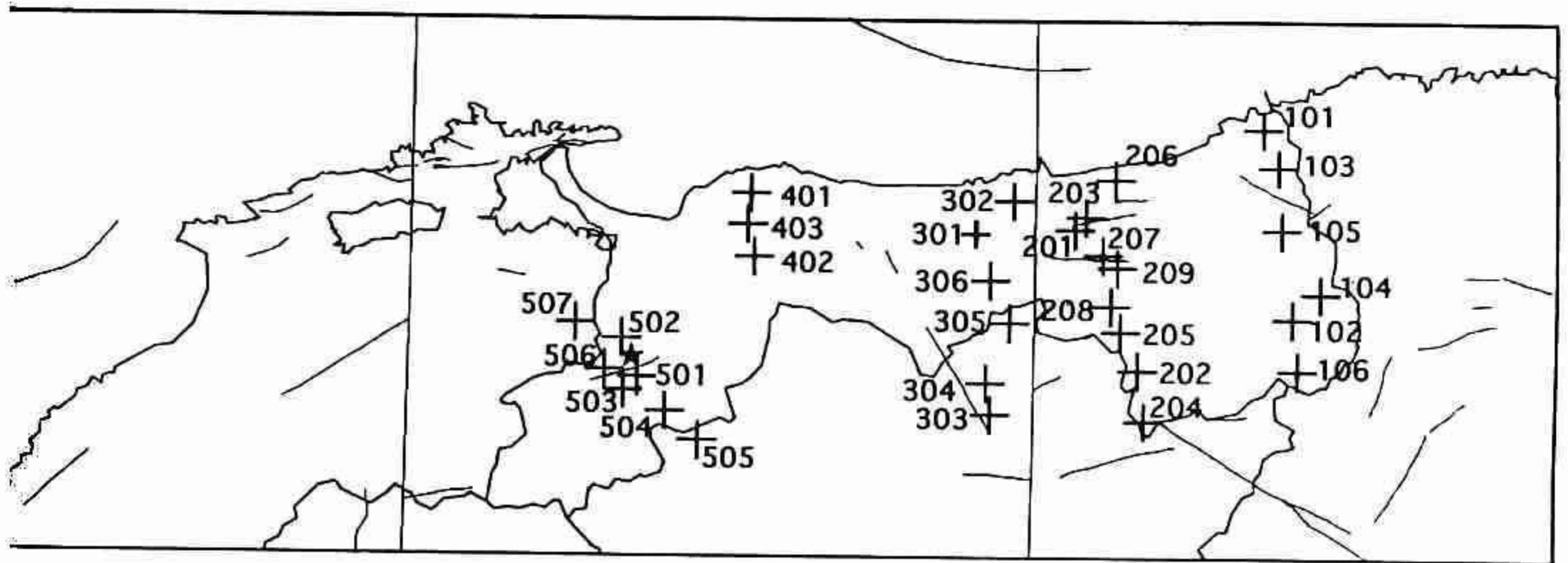
本研究では、この地震の原因に関して、「山陰地方には地殻深部流体が存在し、その流体が鳥取県西部地震をはじめとする大地震を引き起こすとともに、この地方にみられる線状配列を成す微小地震活動の原因となっている。」という作業仮説を考え、これの妥当性を検証することを目標とした。この仮説は、深部比抵抗構造(特に、活断層下の地殻深部流体に関連する)についての研究(例えば、Miyakoshi and Suzuki,1978; Yukutake,1985; 塩崎・大志万,2000)や内陸地震の発生機構を理解する上で、その重要性に関する提言(例えば、笹井・吉野,1996; 大志万,1997)に基づいている。

なお、特に、今回の研究対象である鳥取県西部地域は、電磁探査法のノイズとなる電気鉄道からの漏洩電流の影響を受けやすい場所であるため、良質なデータの取得が見込まれる太陽の黒点活動が活発なこの1、2年が、最適な観測期間であると考えられる。

2. 観測の概要

鳥取県西部地震震源域における広帯域MT観測を、地震発生直後から12月上旬にかけて、3次にわたり行った(図1に観測点の位置を示す。観測地点数は震源域で7地点である)。第1次観測(501,502,503)は、2000年10/7~14に実施し、10/22~11/2, 11/25~12/4に、それぞれ2次(504,505,506,507)、3次(501,503)の観測を行った。(なお、505に関してはデータ取得の際の計測システムに問題が発生しており、現時点ではデータ処理は完了していない。)

この観測地域は、北側および東側に山陰本線ならびに伯備線の直流電化区間が存在する場所にあた



MAGNITUDE ○ 5.0 ○ 4.0 ○ 3.0 ○ 2.0 ○ 1.0	START TIME= 770101 0000	Total = 17424	Param.F= dprimap.com
	END TIME= 010110 2359	Sorted= 0	
	Xmin= -200.00 (132.3092E)		olat= 35.000
	Xmax= 30.00 (134.8286E)		olong= 134.500
	Ymin= 0.00 (35.0001N)		
	Ymax= 80.00 (35.7211N)		
Zmin= 0.00km	Zmax= 30.00km		
Mmin= 0.00	Mmax= 9.00		

図 1. 山陰地方東部の広帯域 MT 法探査の観測点位置図 (上) および鳥取県周辺の微小地震の震央分布 (下) (1977 年 1 月 1 日~2001 年 1 月 10 日, 深さ 30km 以浅): 本稿では, 鳥取県西部地震 (本震の位置を★印で示す) の震源域の観測点 501~507 の 7 地点, および, 磁場参照点として設置した大山北麓の観測点 401~403 の 3 地点の計 10 地点について記述する. (山陰地方東部における既存の観測点分布も参考までに示す. 鳥取県東部では 15 地点 (101~106, 201~209), 中部では 6 地点 (301~306) である.)

り、自然電磁場変動を信号として用いる MT 法を用いた深部比抵抗構造調査では、ノイズの影響を軽減するための対策を行う必要がある。すなわち、直流電車からの漏洩電流や、都市部や変電所へ伸びる高圧送電線に起因する電磁場などが自然の信号の強度に比して高いために、near field 効果をはじめとして、人工ノイズに起因する問題が発生する。このため、第 1 次、2 次観測では、観測地域の北東約 40km の大山北麓に、リモート・リファレンス処理(Gamble et al.,1979)のための参照点(401 および 402,403)を設けて、リファレンス磁場の観測を実施した。

第 1 次観測では、伯備線の一部区間が不通になったことを受けて観測が行われたが、不通区間が一部の範囲にとどまっていた上、地磁気活動が低調であり、構造解析に使用できる記録を得ることはできなかった。また、第 2 次観測では、夜間の 0 時過ぎから早朝 5 時までの電車が運行されない時間帯に地磁気擾乱現象を捉えることを目標として、観測を行った。しかし、大山北麓の磁場参照点を用いたリモート・リファレンス処理法では、第 1 次と同様に、深部比抵抗構造解析に使用できる記録を得ることはできなかった。

第 3 次観測では、震央付近の地点(501,503)で再観測を行った。ここでは、第 1,2 次観測の結果をふまえて、人工ノイズの影響のほとんどない四国地方西南部の高知県宿毛市山田に磁場参照点をあらたに設置した。地磁気擾乱現象を捉えたこともあり、おおむね良好な記録を得ることができた。次節では、以上の観測で得られた結果を示すが、震央付近の地点(501,503)についてはこの第 3 次観測の結果を示す。

観測の概要の最後に、今回の観測では、地震によりかなり広い範囲にわたって斜面崩壊・落石などにより道路に不通箇所があったため、観測点の選定作業を十分行うことができなかったことを付記しておきたい。

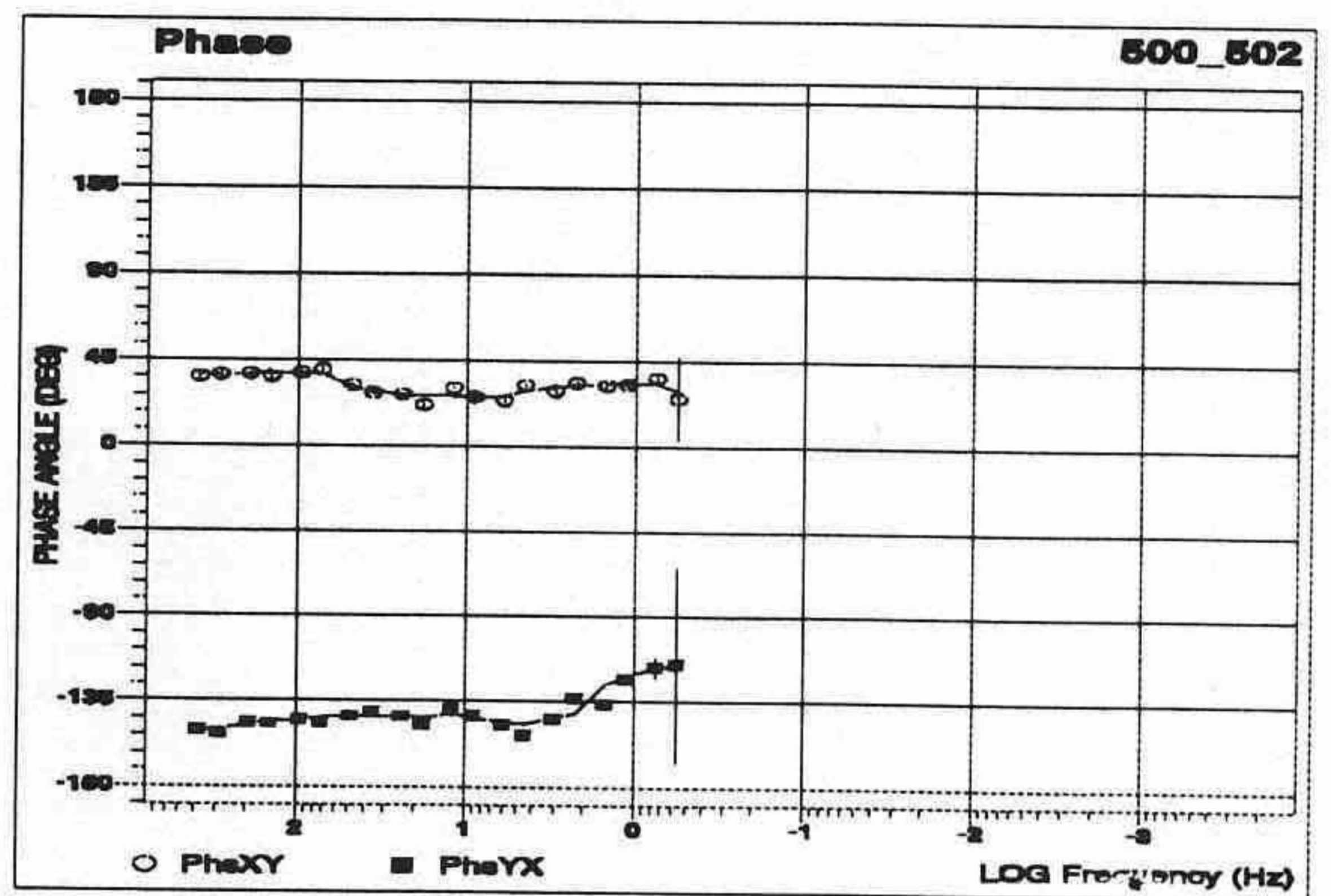
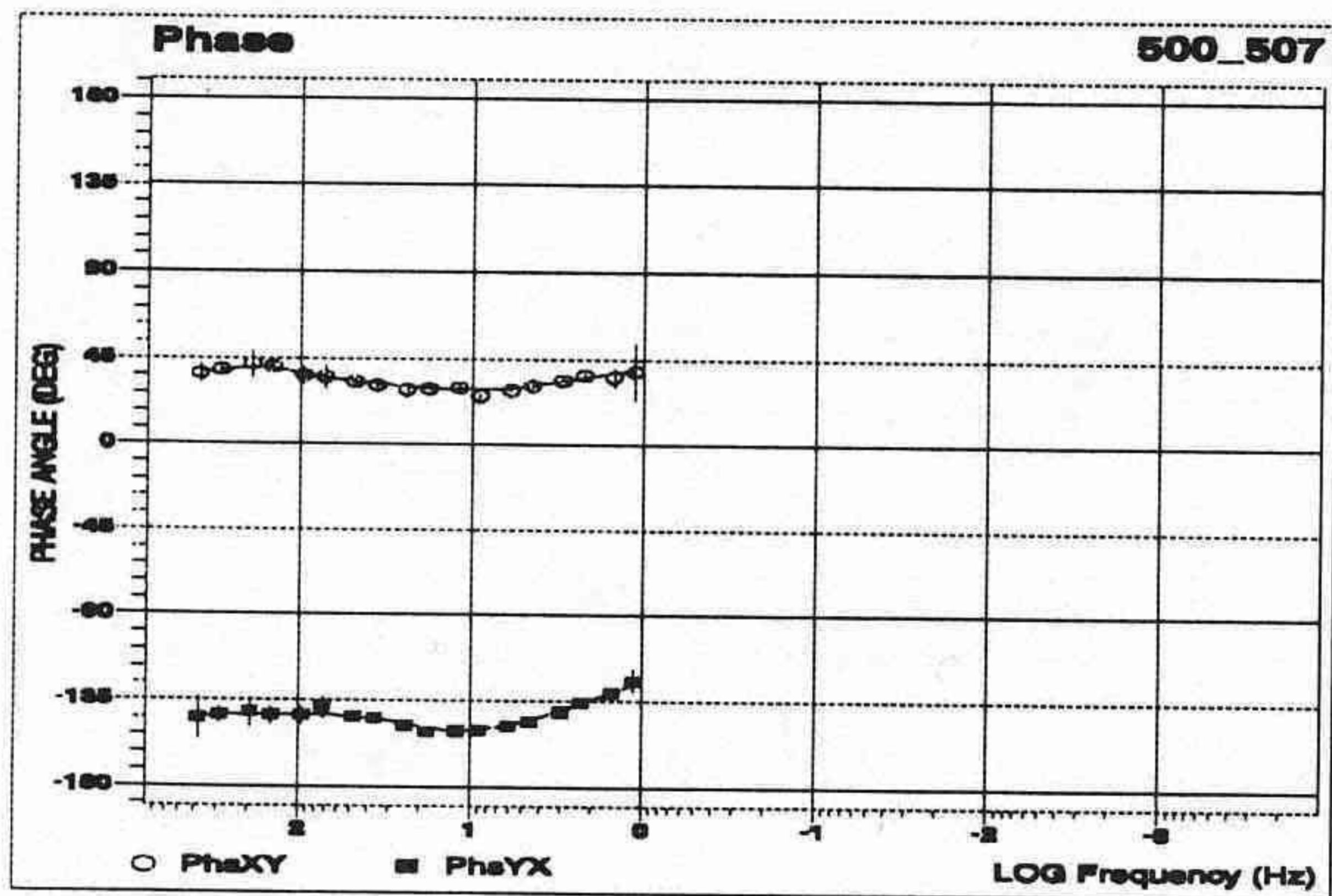
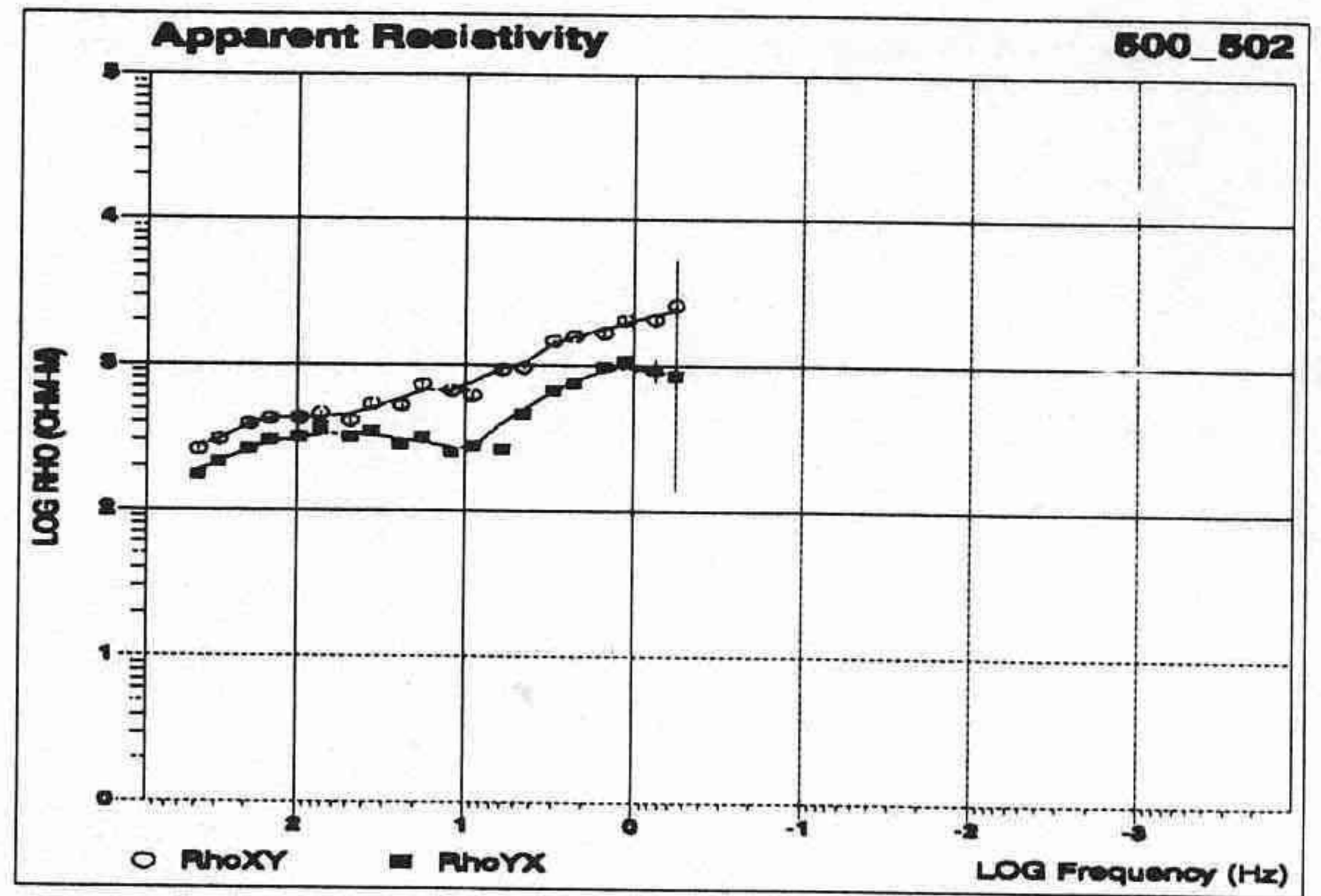
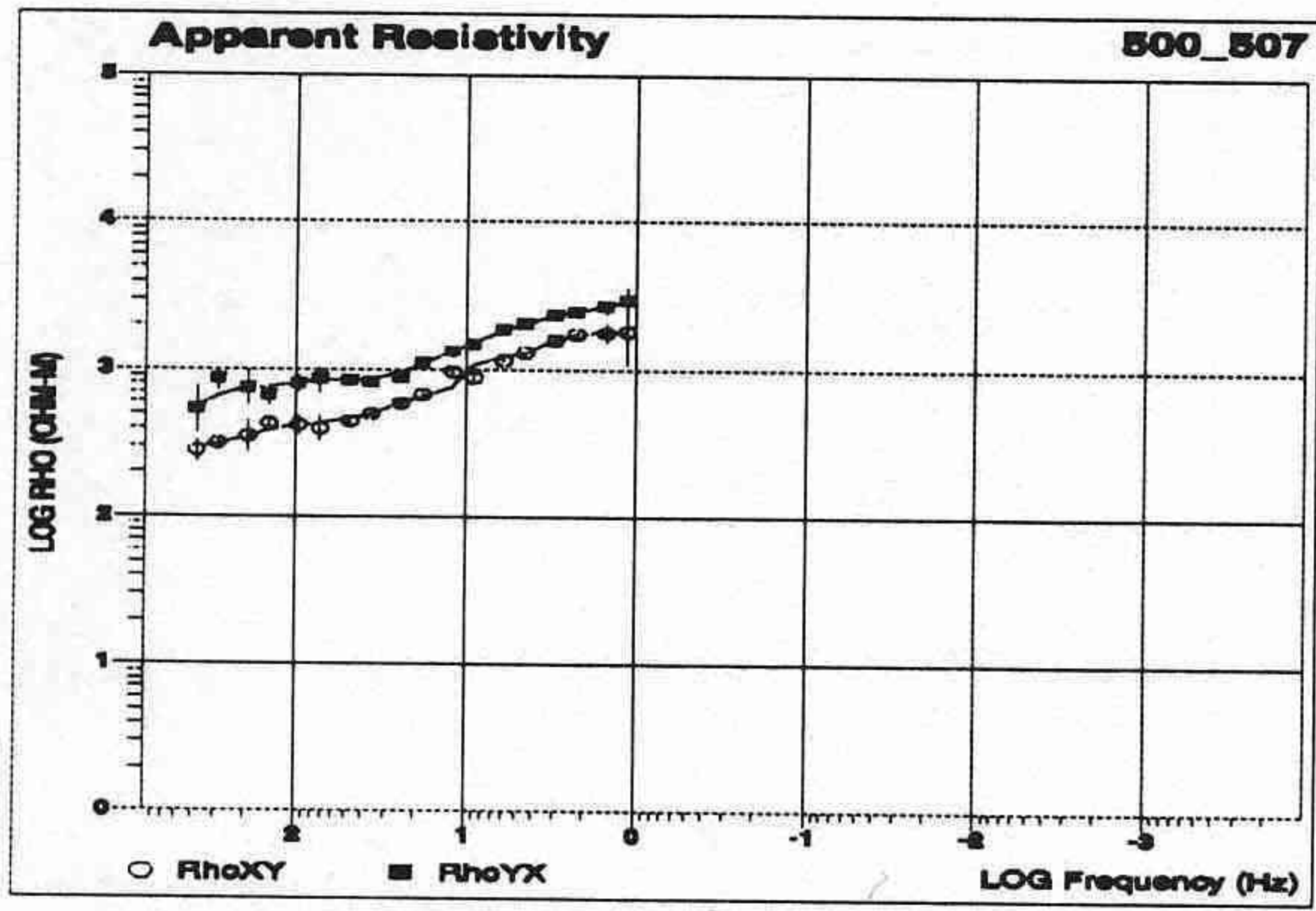
3. みかけ比抵抗および位相差

観測で得られたみかけ比抵抗および位相差曲線を北からの順番でならべたものを図 2 に示す。白丸は xy 成分（南北方向の電場変化と東西方向の磁場変化に対応する成分）、黒四角は yx 成分（東西方向の電場変化と南北方向の磁場変化に対応する成分）を示す。全般的な特徴として、(1)xy 成分の推定誤差の方が yx 成分のそれより大きくなっていること、(2)観測点 501 と 503 では、100 秒程度までの周期帯にわたりデータを得ることができたが、(3)それ以外の場合は、1 秒以上の長周期側のデータは今回の観測から得られなかったこと、が示される。

長周期帯にわたりデータの連続性がみられる 501 と 503 の探査曲線は、数秒から数十秒にかけて、みかけ比抵抗 xy 成分が減少し、かつ位相差 xy 成分が 10 秒前後に 45 度を超える値を示している。このことは地下深部の低比抵抗領域の存在を示唆する。この位相差 xy に関する傾向は、他の観測点でも、数 Hz 以上 1 秒あたりにかけてのわずかながらの上昇にみられ、もし、1 秒以上の周期のデータが取得されていたなら、上述の 501 と 503 の特徴が得られることが予想される。

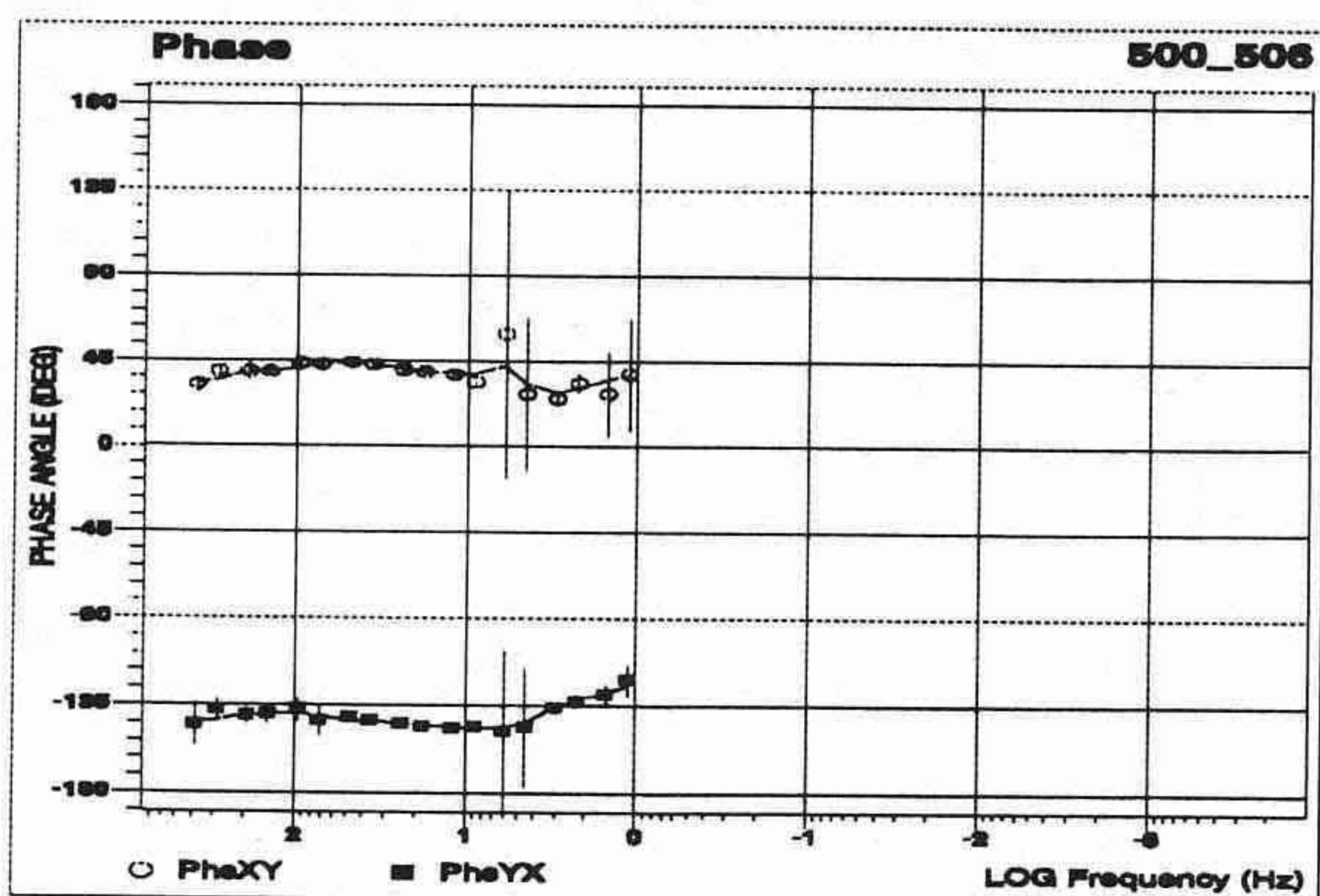
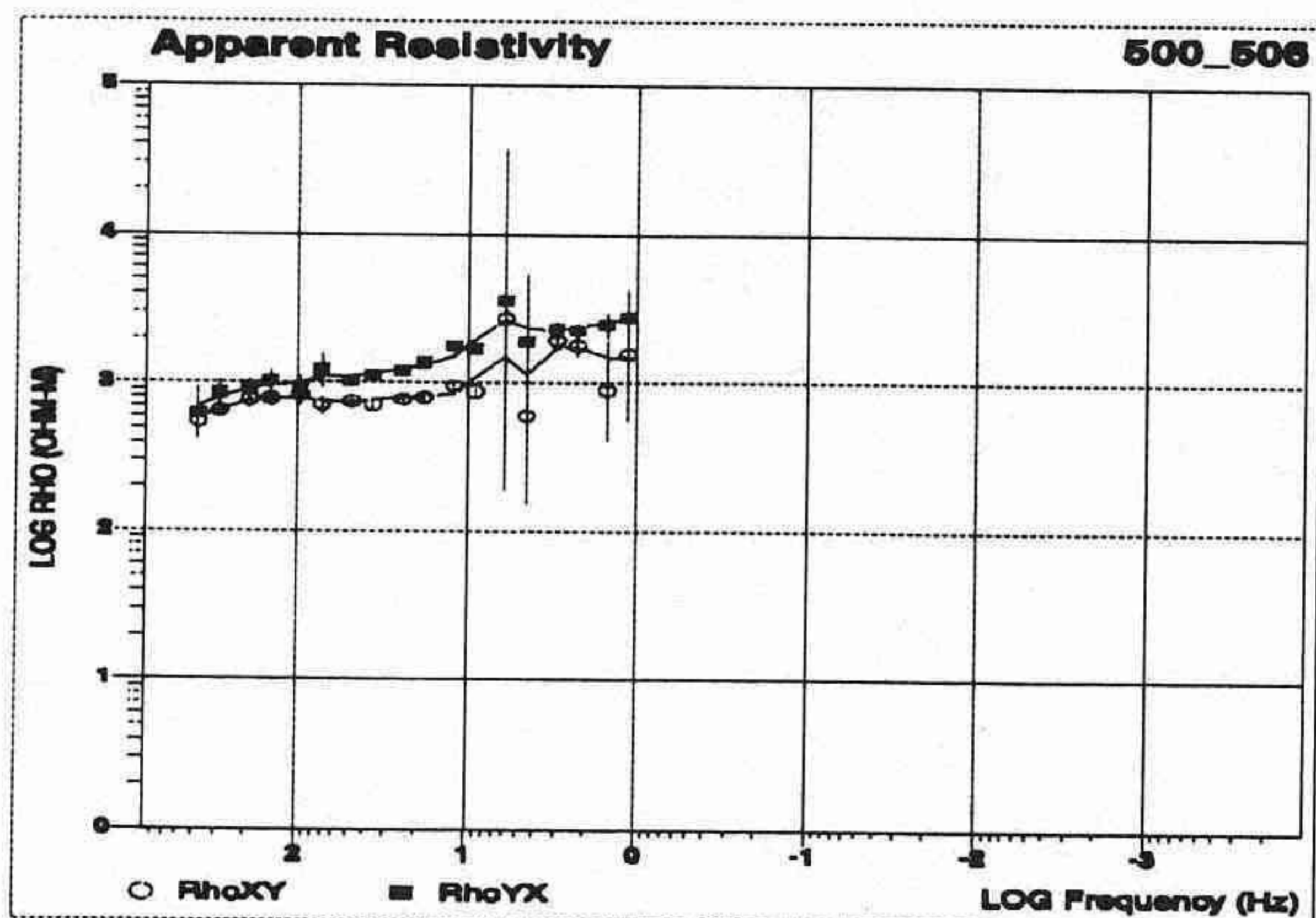
一方、yx 成分データにも、xy 成分にみられる見かけ比抵抗や位相差に関する上述の傾向が、明瞭な形で見られる。しかしながら、この地域の北部には、東西方向の走行をもつ海岸線が存在するので、この yx 成分のデータについては、海岸線効果の影響を受けた部分を除去した上で解釈する必要がある。

なお、磁場参照点 401 および 403 では、夜間の記録を用いたシングル・サイトのデータ処理結果から、これらの地点では構造解析に使用できる記録を得たことが確認された。このことは、第 2 次観測



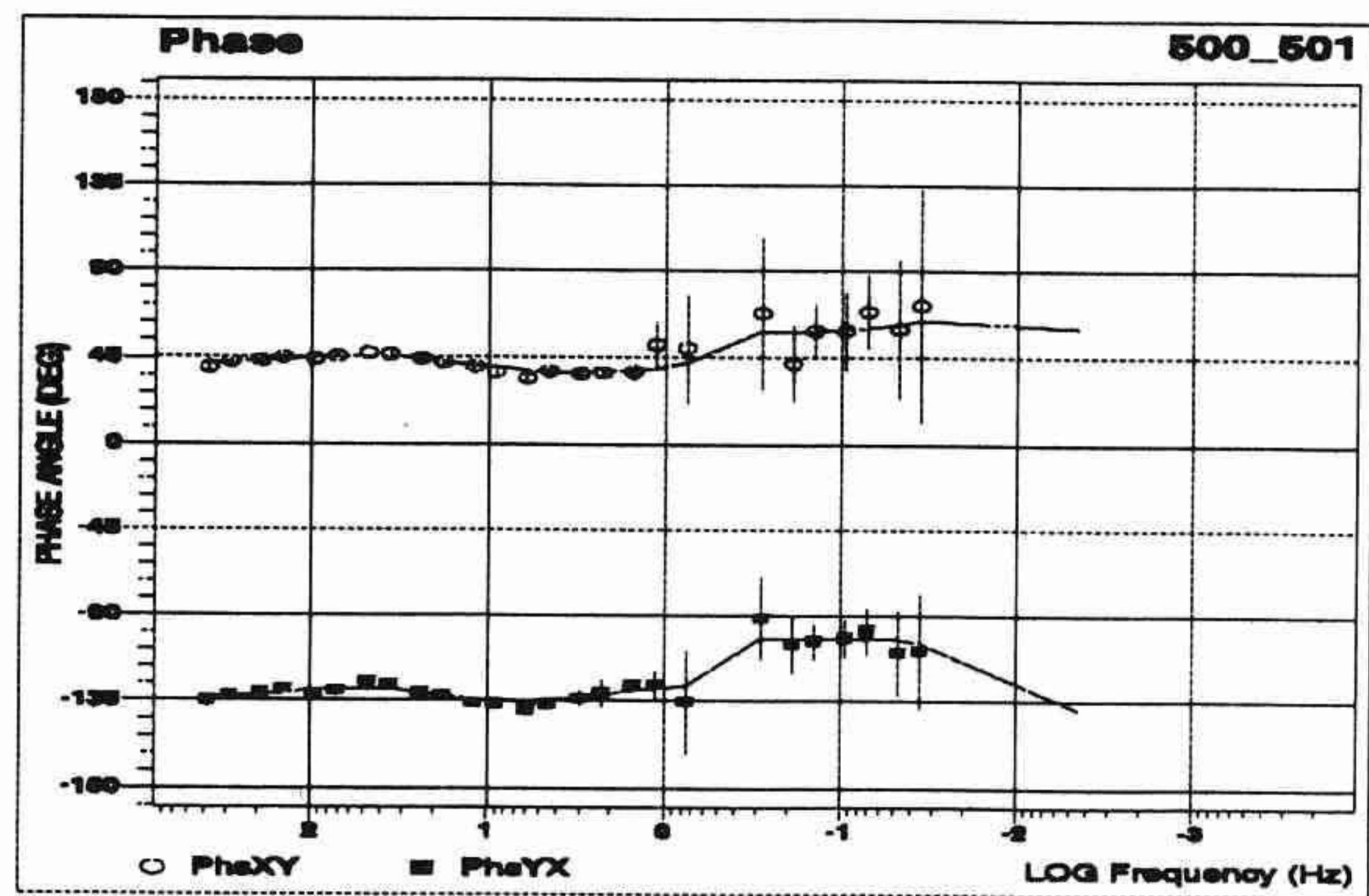
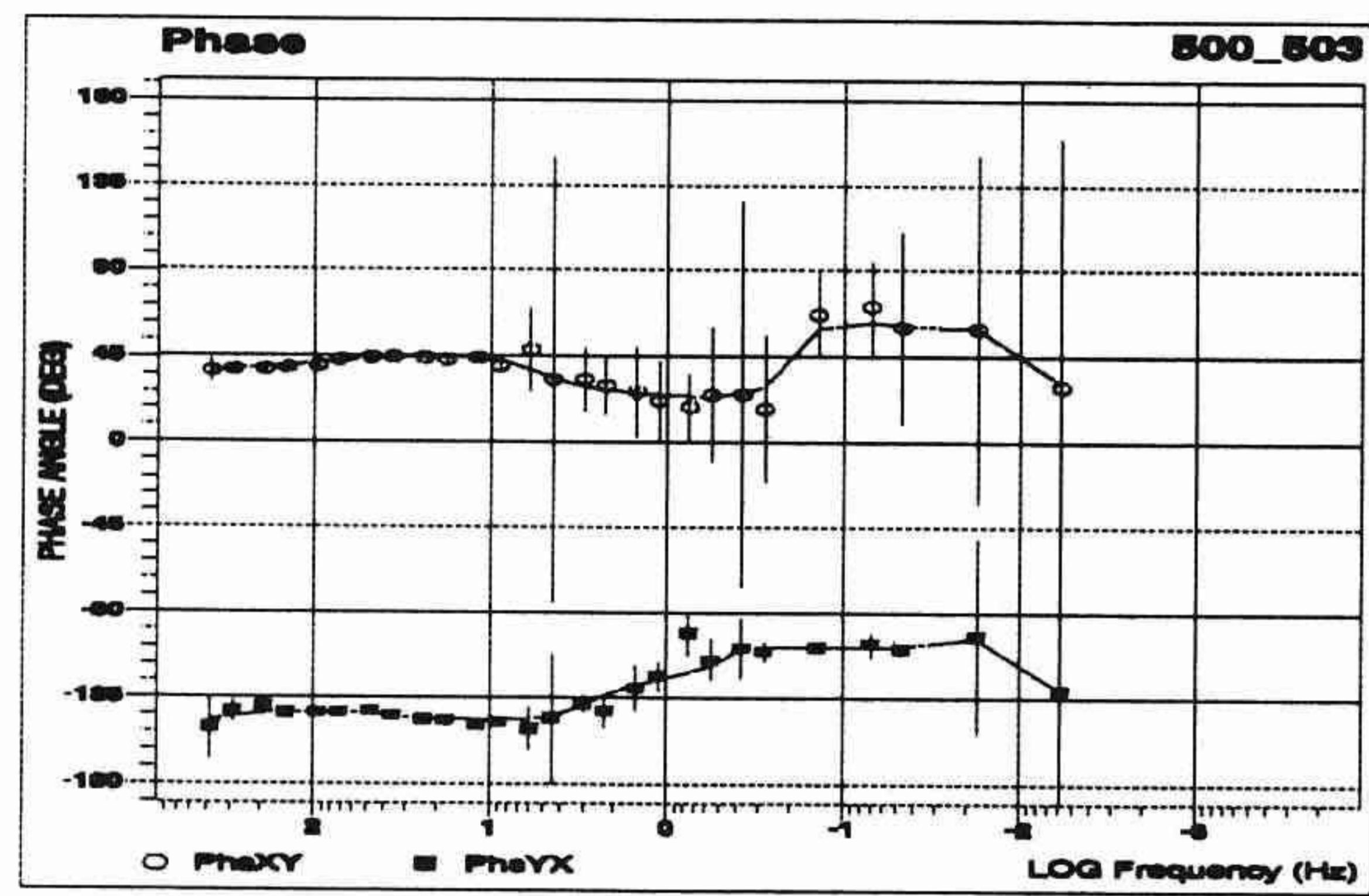
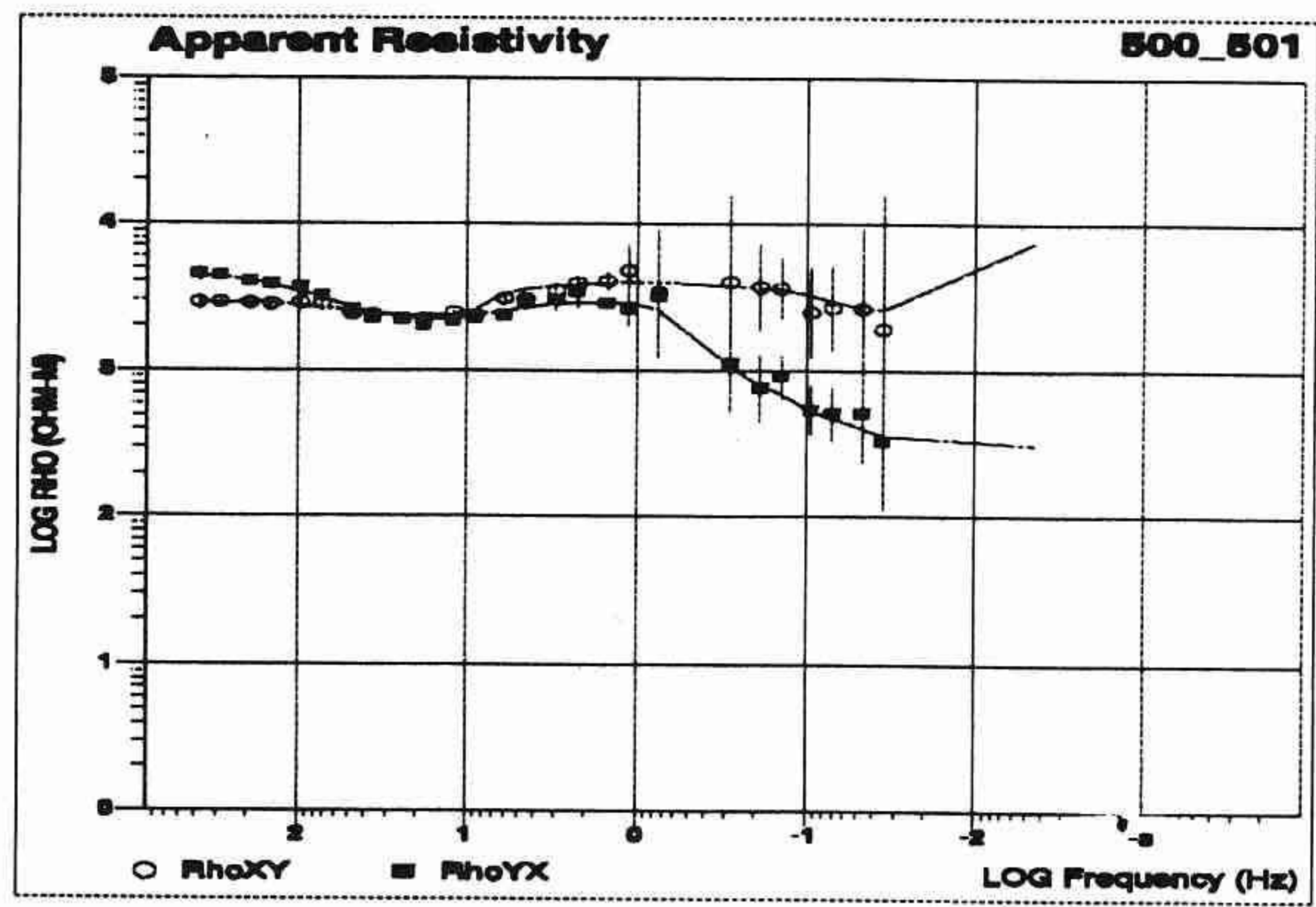
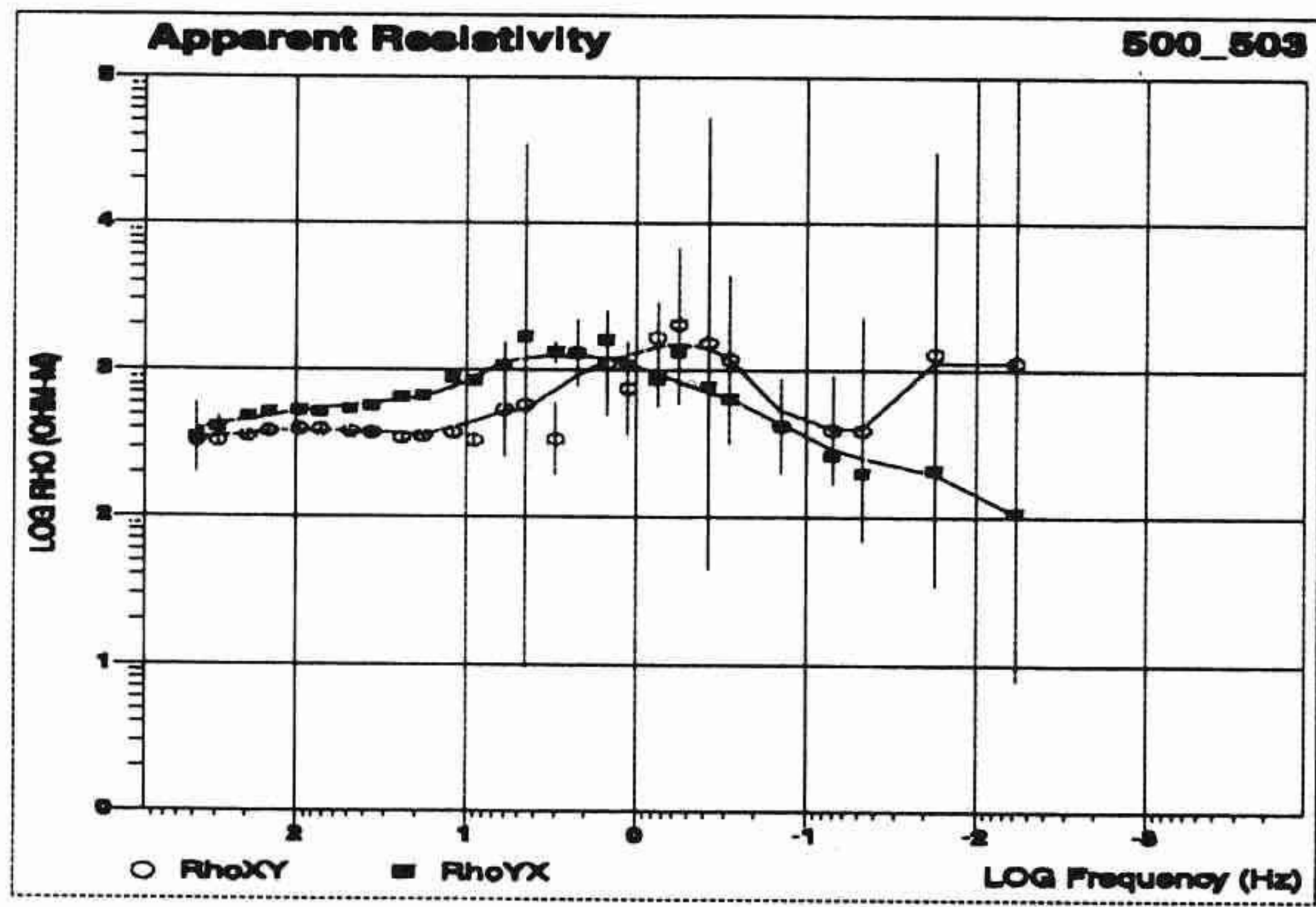
507

502



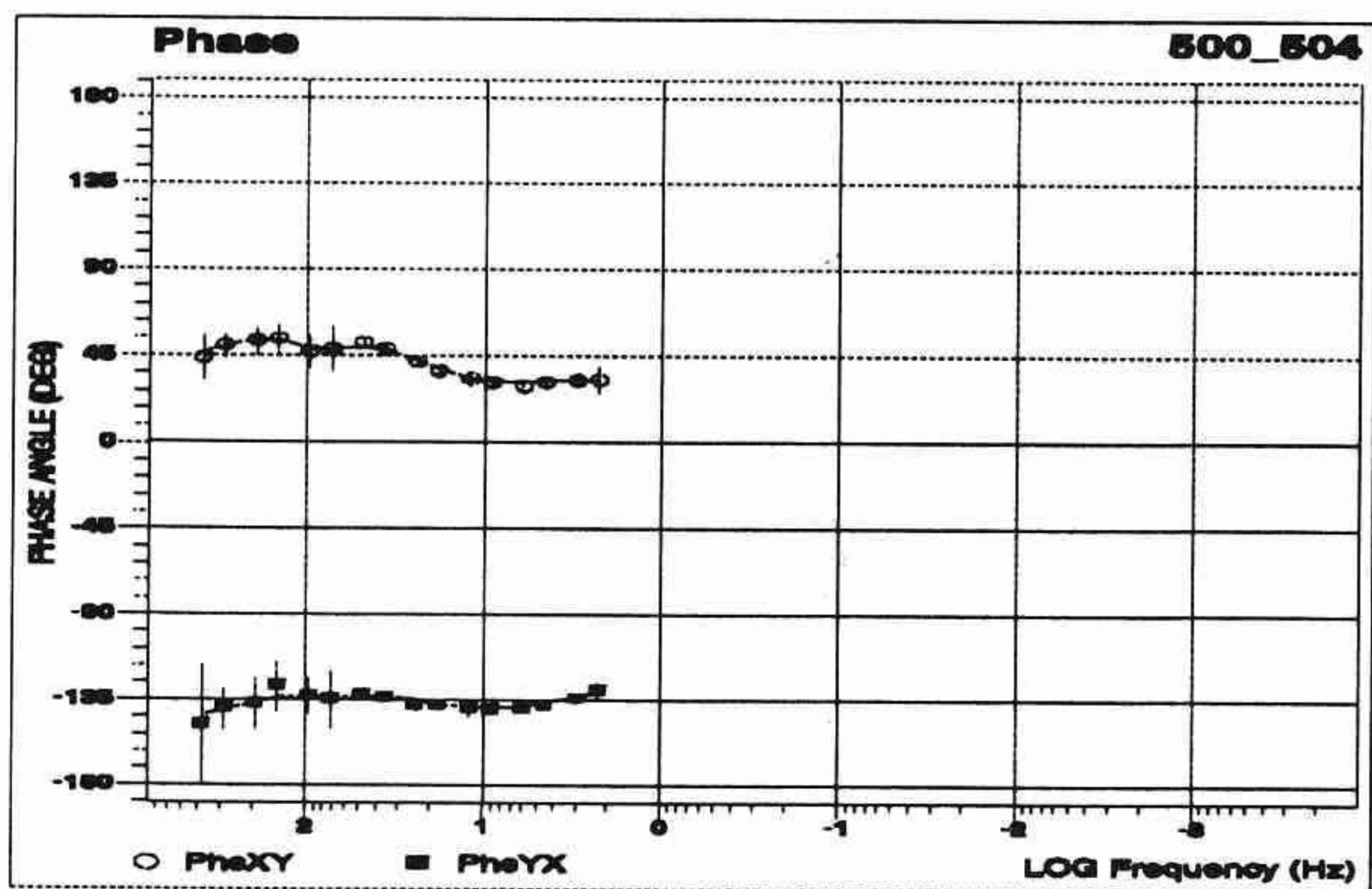
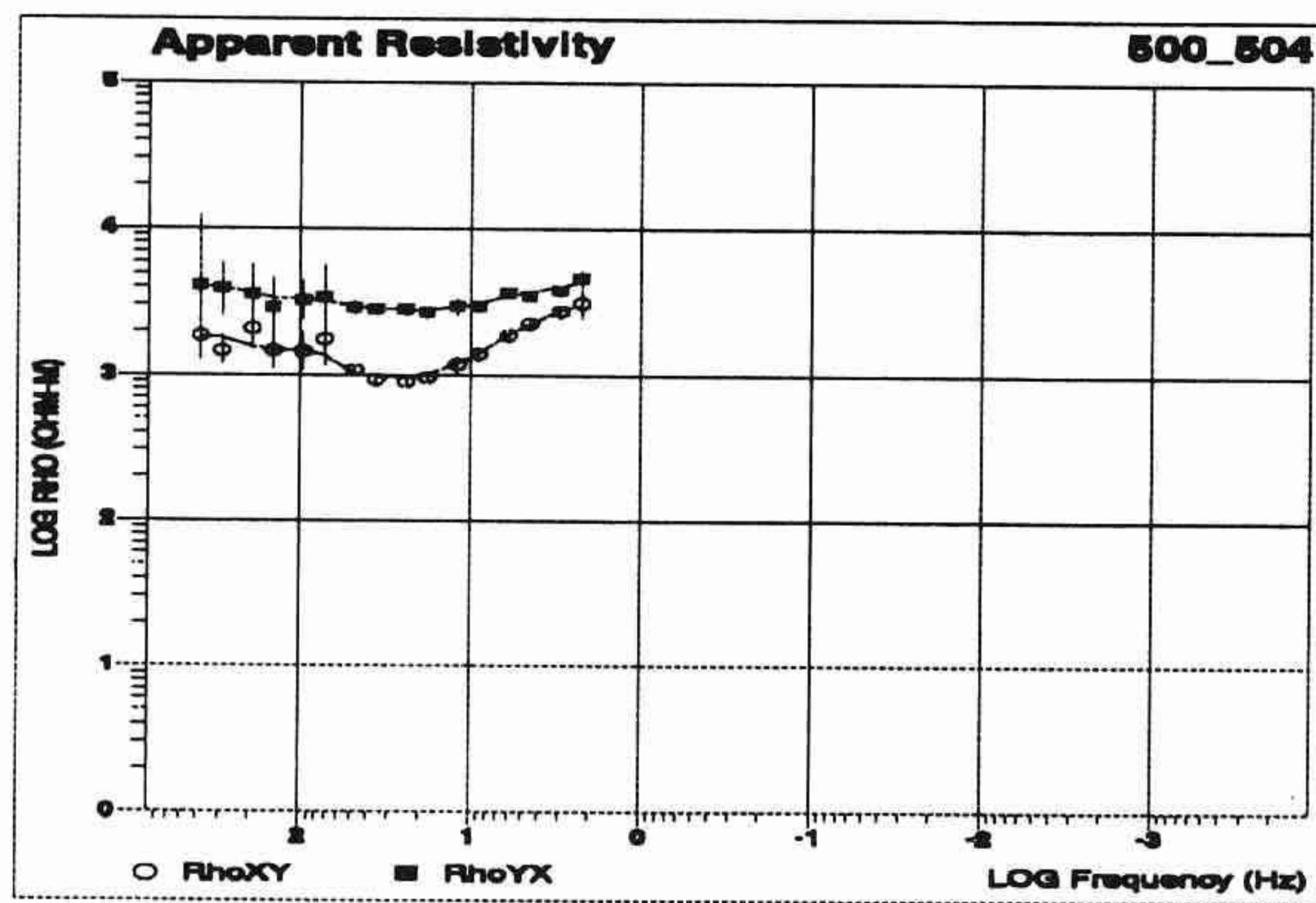
506

図 2. みかけ比抵抗および位相差曲線（観測点 507, 502, 506）：○印は，xy 成分（南北方向の電場変化と東西方向の磁場変化に対応する成分），■印は，yx 成分（東西方向の電場変化と南北方向の磁場変化に対応する成分）を示す。



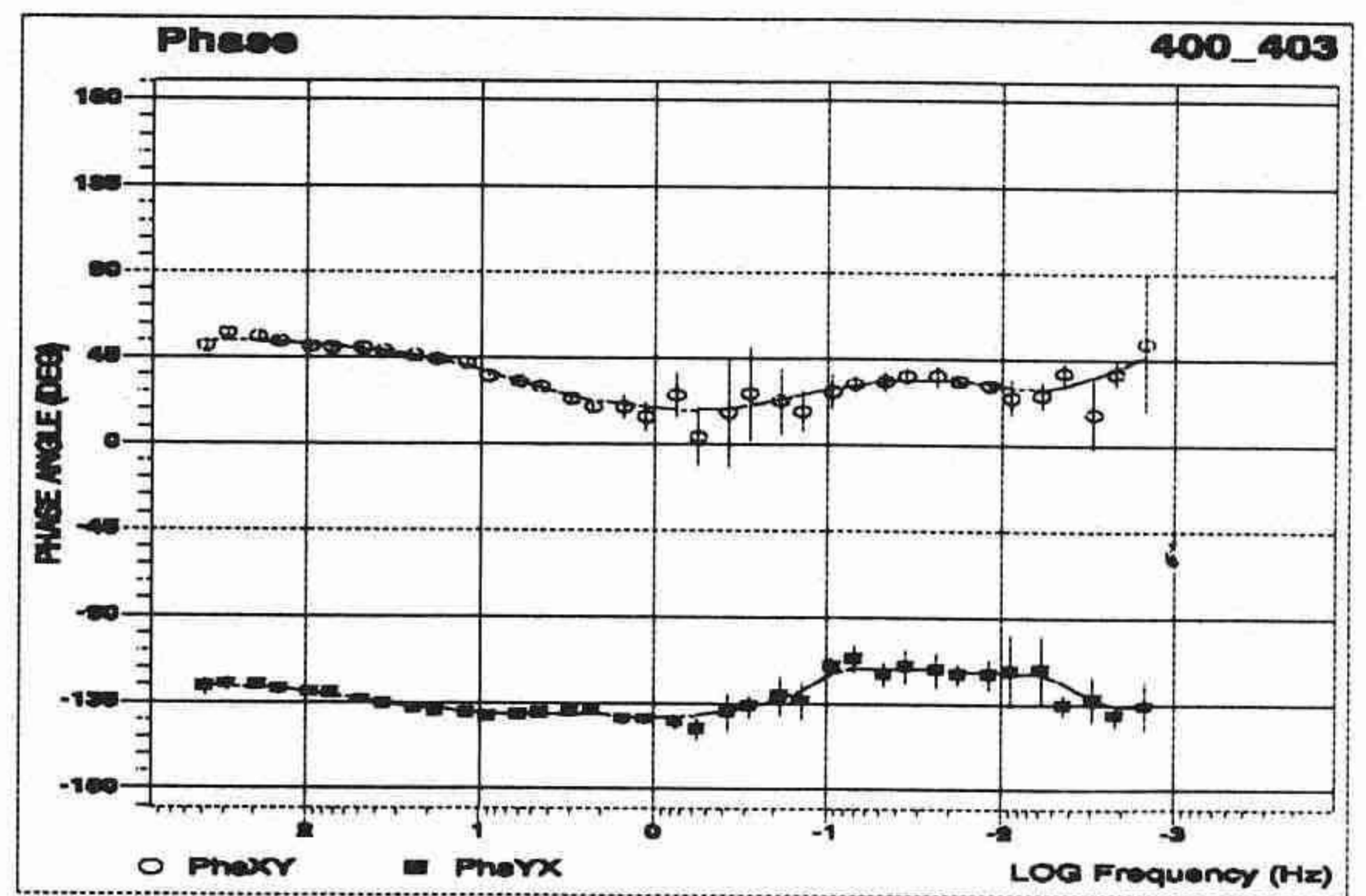
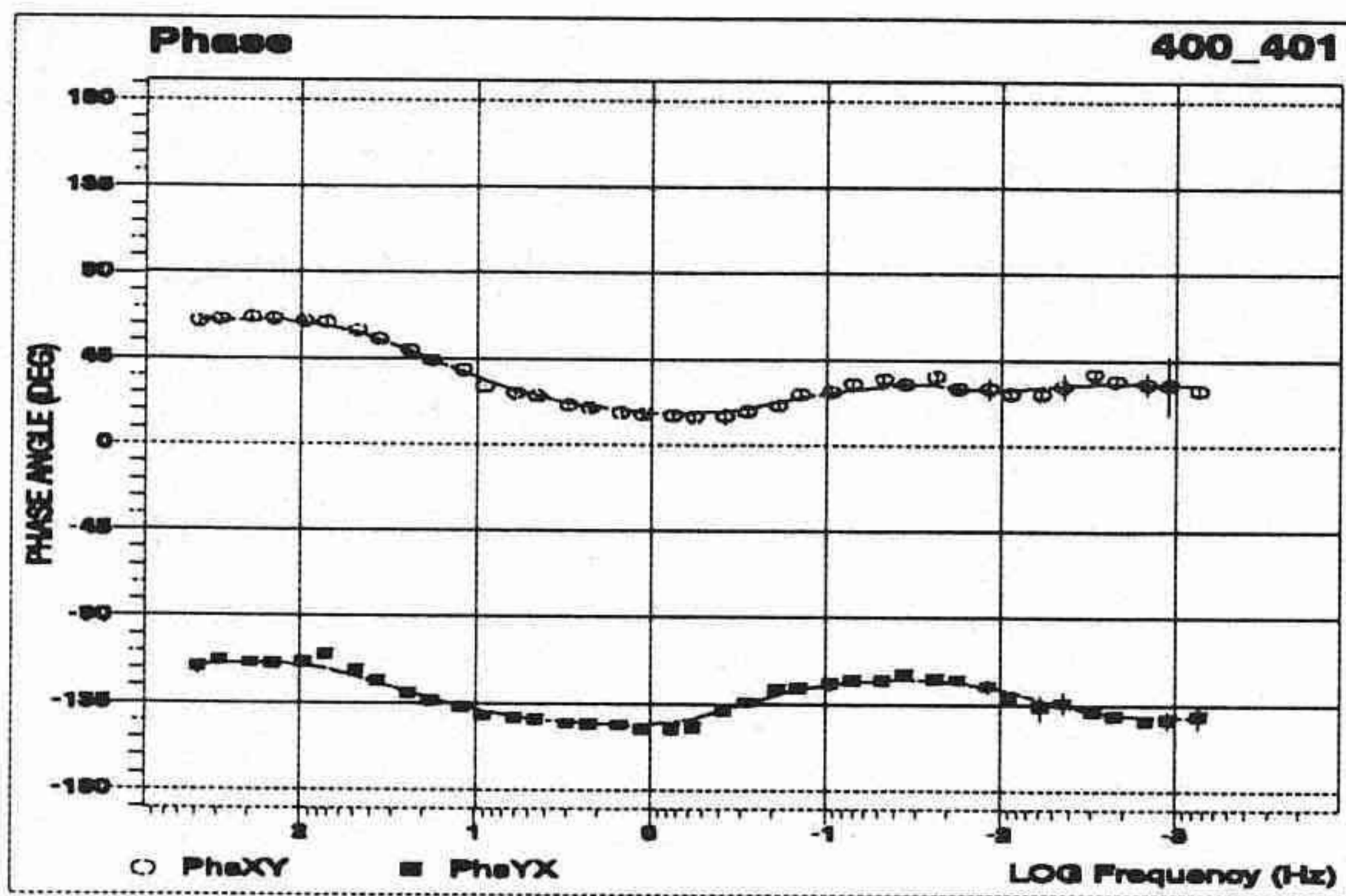
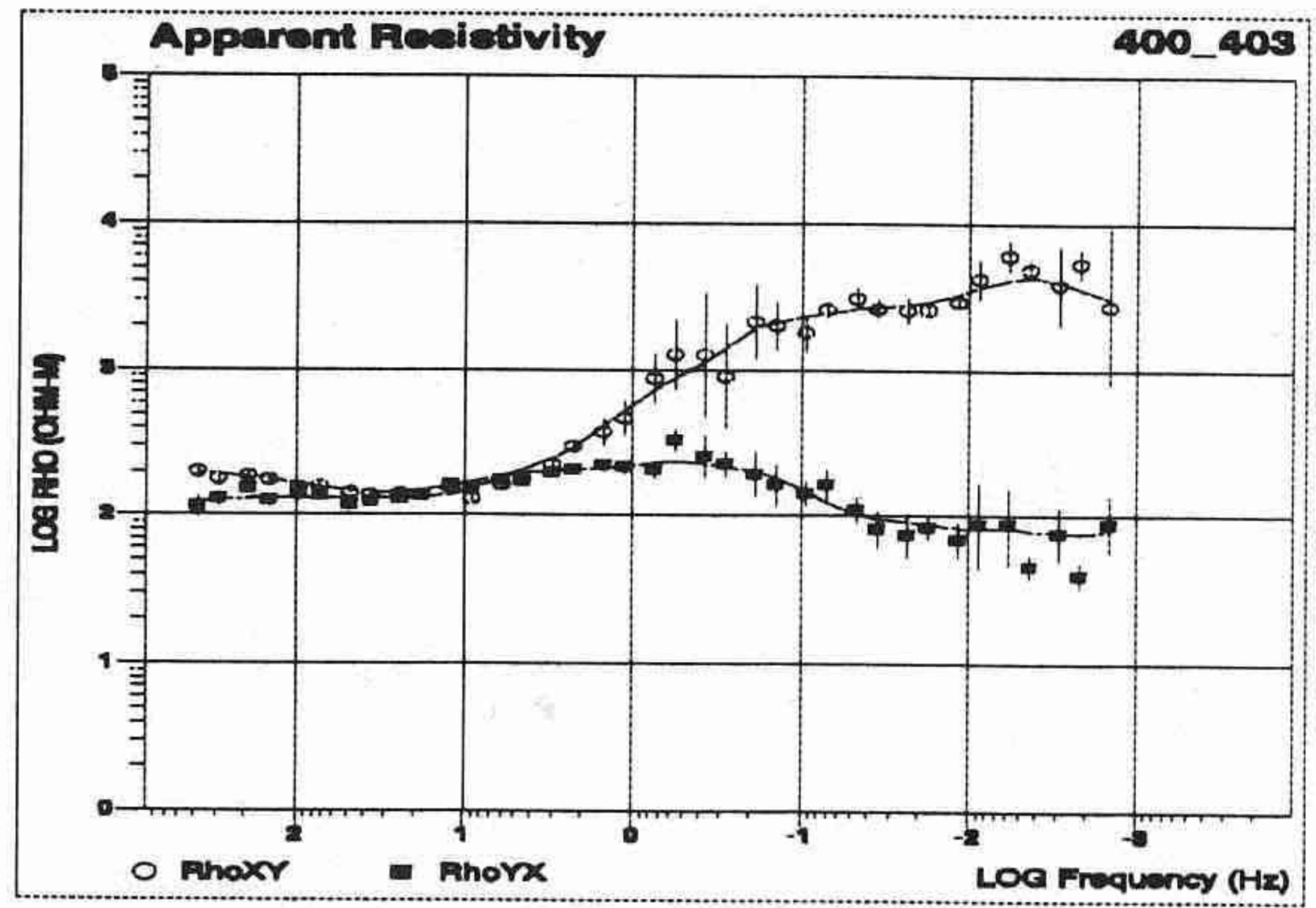
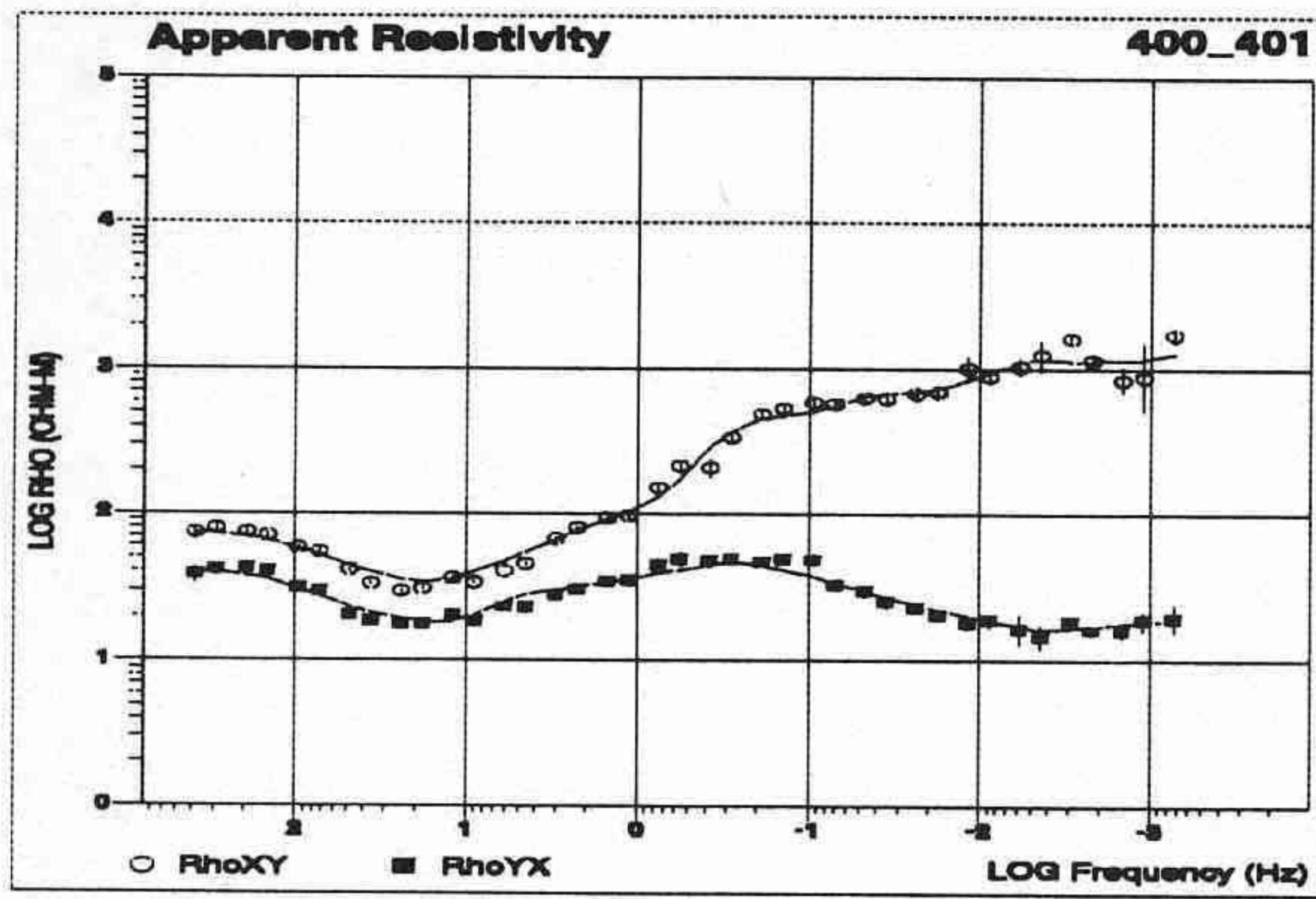
503

501



504

図 2. (続) みかけ比抵抗および位相差曲線 (観測点 503, 501, 504) : ○印は, xy 成分 (南北方向の電場変化と東西方向の磁場変化に対応する成分), ■印は, yx 成分 (東西方向の電場変化と南北方向の磁場変化に対応する成分) を示す.



401

403

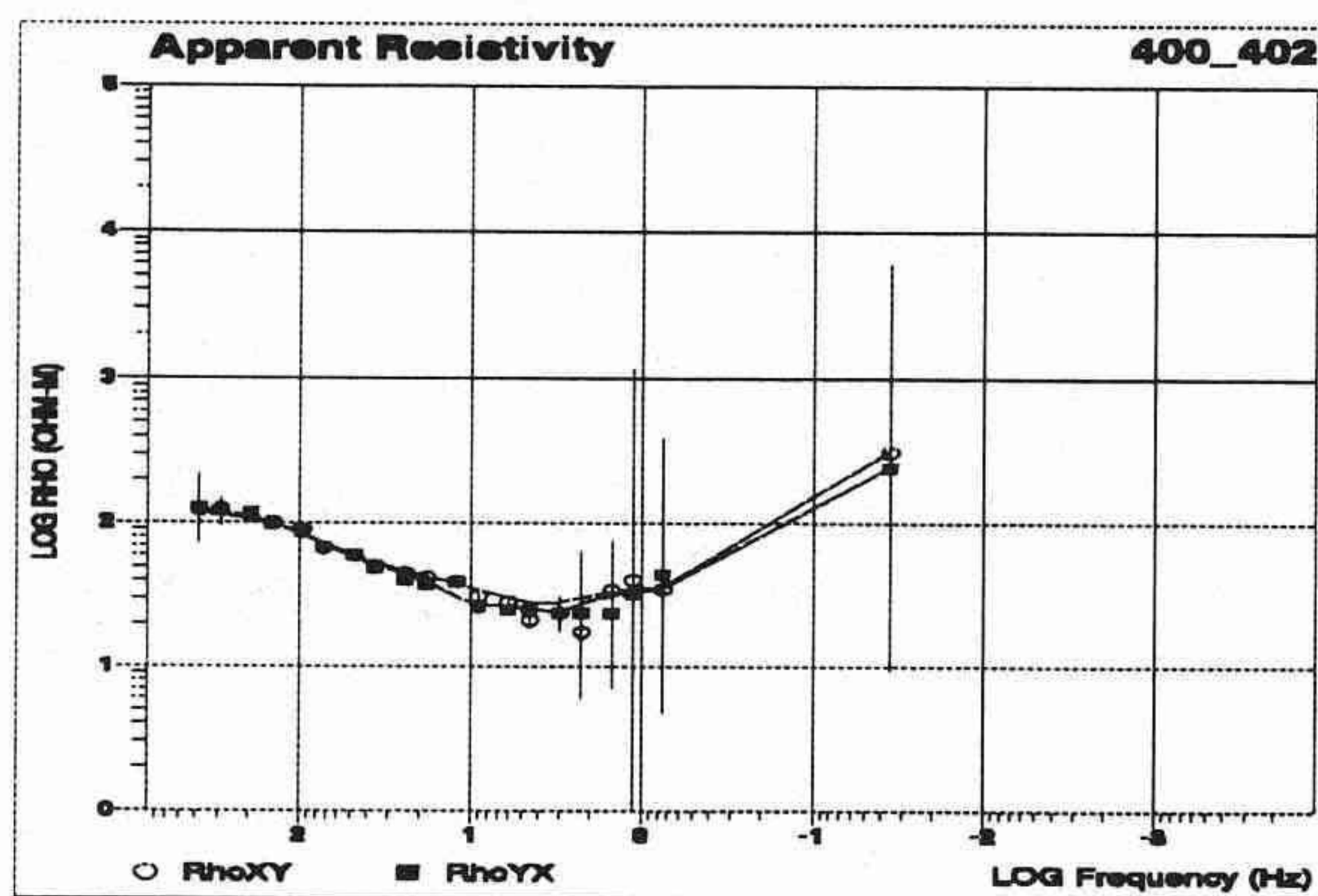
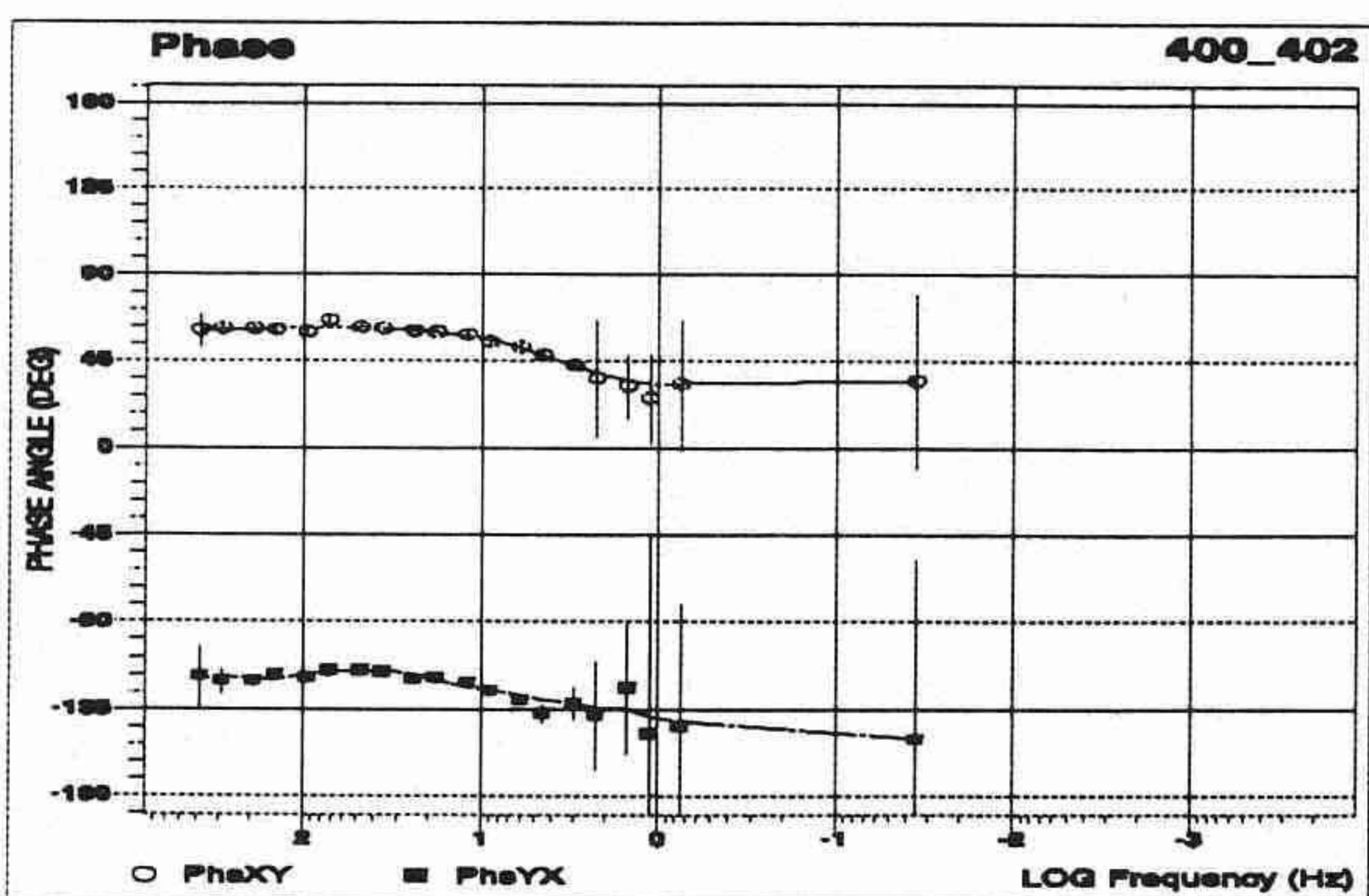


図2. (続) みかけ比抵抗および位相差曲線 (観測点 401, 403, 402): ○印は, xy 成分 (南北方向の電場変化と東西方向の磁場変化に対応する成分), ■印は, yx 成分 (東西方向の電場変化と南北方向の磁場変化に対応する成分) を示す.



402

の地点では、電車の運行以外に関係する人工ノイズのレベルが夜間でも高い状態で維持される可能性を示し、今後の同地域での観測には十分注意を払う必要があると考えられる。

このように今回の観測では、多くの地点で、地殻深部構造を反映すると考えられる周期 1 秒以上のデータを得ることができなかった。しかしながら、震央直南の 2 観測点 501 と 503 については、比較的長周期側までデータが取得された。そこで、震央直下の比抵抗構造を推定する第 1 段階として、インヴァリヤント・インピーダンスを用いた 1 次元比抵抗構造解析を行った。その結果、501 と 503 いずれの地点でも、地殻下部に低比抵抗層が存在する構造が得られた (図 3)。

この地域周辺では 1989 年以降、鳥取-島根県境付近の地震 (1989 年 M=5.3, 5.4, 1990 年 M5.2, 5.1, 5.0), 島根県東部で M=5.9 (1991 年) の地震が発生しており、地殻深部の流体を示唆するものとして、地震波の反射面が、鳥取-島根県境付近に深さ約 15km に存在することが、既に、報告されている (梅田他,1994)。この研究成果は、今回の我々の結果と調和的である。これら両者の関連、すなわち、上で述べた西部地震震央直南の 501 と 503 の地殻下部に推定された低比抵抗層と鳥取-島根県境付近深さ約 15km に指摘された反射波をもたらした構造との関連について早急に解明する必要があると考えられる。

4. まとめ

今回の観測調査から、以下の点が明らかになった。

- (1) 鳥取県西部地震の震央の直南の観測点 501 と 503 で得られた見かけ比抵抗および位相差探索曲線、予察的に推定された 1 次元比抵抗構造、いずれの情報も、震央直下の地殻深部に低比抵抗層が存在することを示す。
- (2) この観測地域には、北側および東側に山陰本線ならびに伯備線の直流電化区間が存在し、自然電磁場変動を信号源とする MT 法探査を実施する上で、人工ノイズの処理方法が問題となる。今回の観測結果は、ノイズの影響のほとんどない場所 (例えば、四国地方西南部) に磁場参照点を設置し、同時に、地磁気擾乱現象を捉えることにより、このような地域でも本手法が適用できる可能性を示したものと考えられる。

5. 謝辞

本観測調査には、東京工業大学が所有する合計 5 台の MT 探査装置 MTU5 を使用させて頂きました。また、防災研究所鳥取観測所の中尾節郎氏には鳥取県周辺での微小地震の震央・震源分布図を作成して頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

松田時彦：第 3 章地質構造から見た歴史地震，続古地震—実像と虚像 (萩原尊禮編)，東京大学出版会，pp.434(1989)。

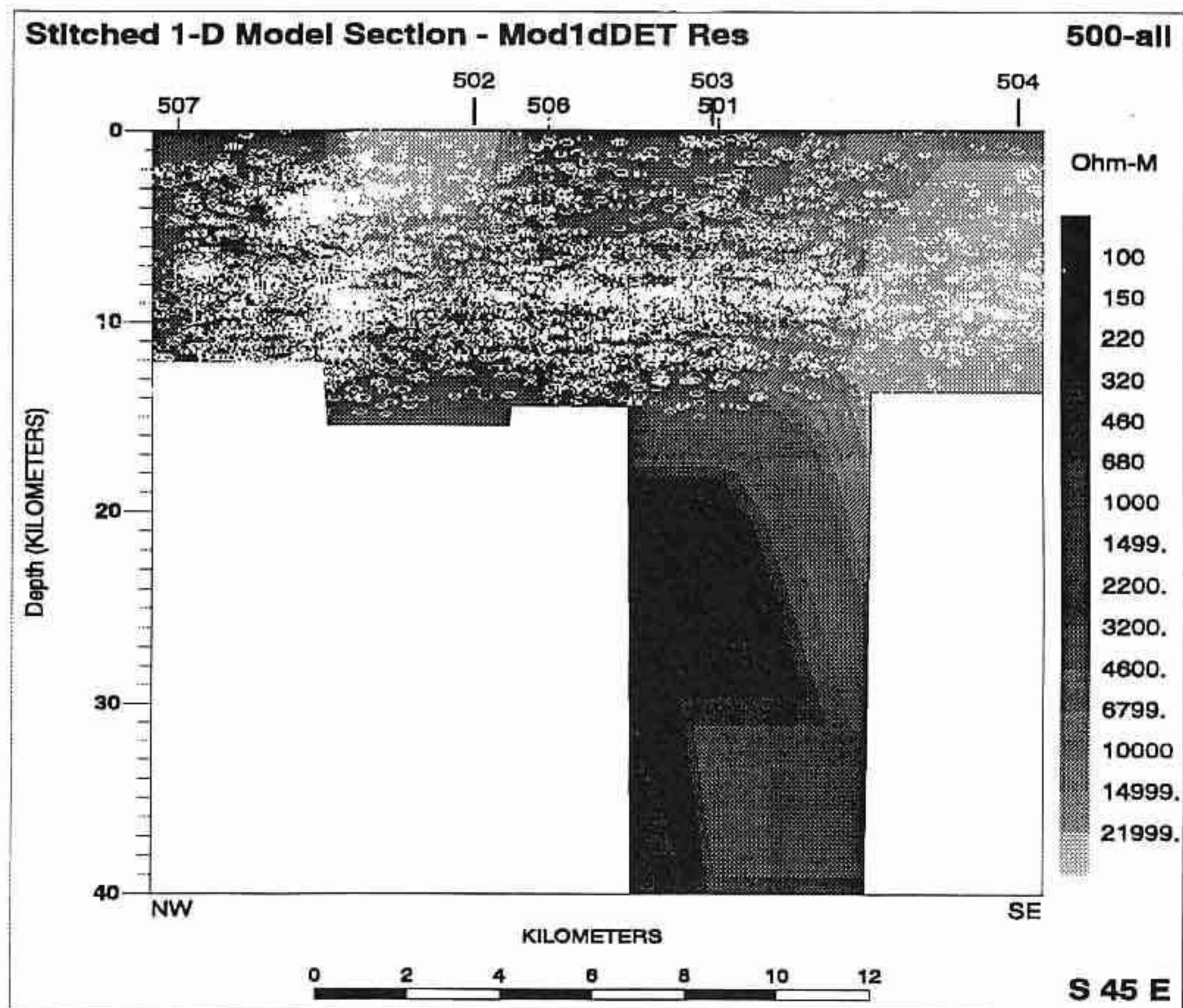
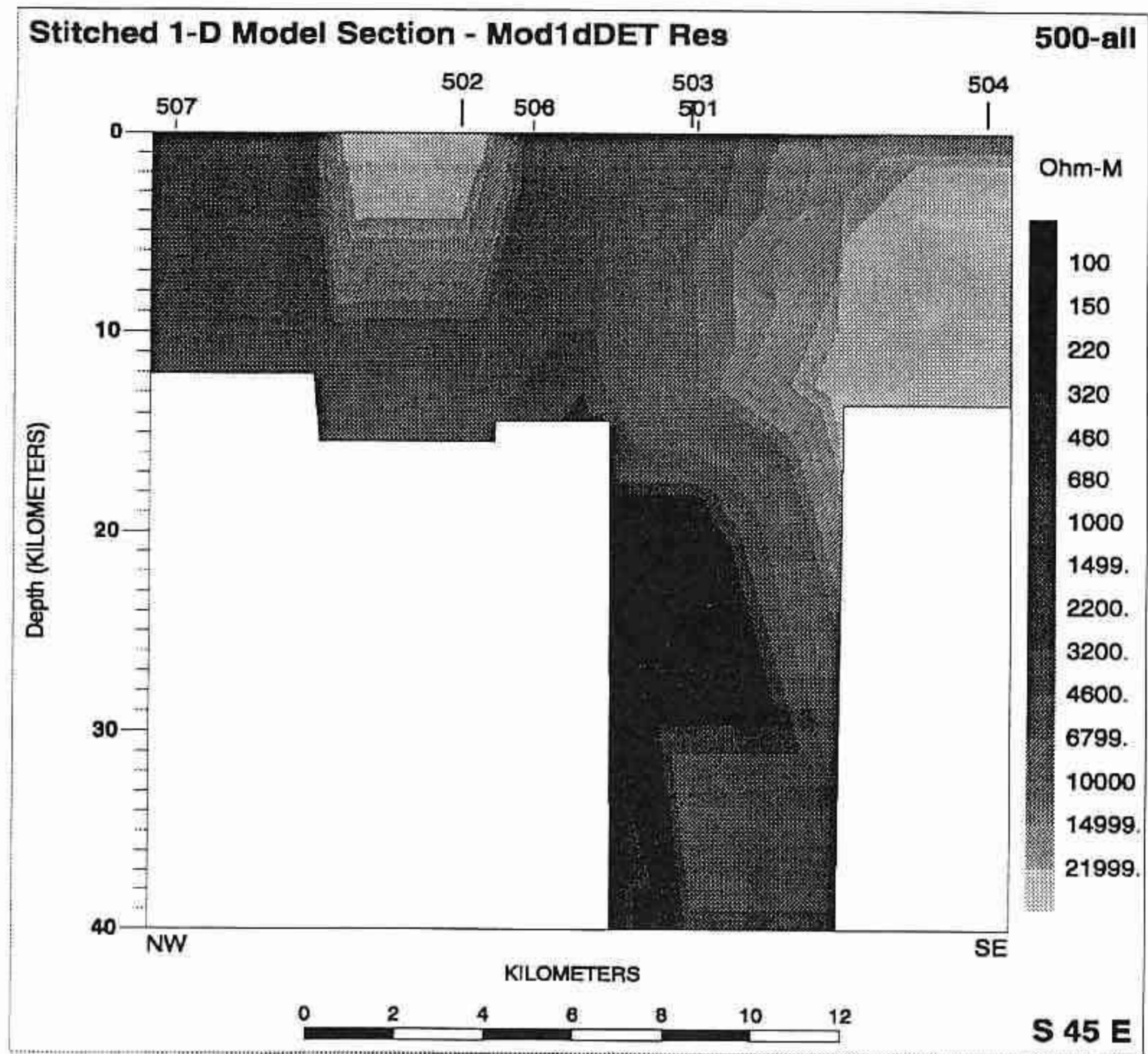


図 3. インヴァリant・インピーダンスを用いたモデル解析から推定された 1 次元比抵抗構造 (上) とその構造に震源分布 (1990 年 1 月 1 日~2001 年 12 月 31 日) を重ねたもの (下) : 比抵抗構造については, 黒っぽい色は低比抵抗を示し, 白っぽい色は高比抵抗を示す. 501 と 503 以外の観測点では, 周期 10 秒以上の周期帯のデータが得られなかったため, 地殻深部構造は示されていない.

三雲 健, 石川有三: 日本海沿岸の地震と広域テクトニクス及び長期的地震予知, 地震予知研究シンポジウム, 259-269(1987).

Miyakoshi J. and A.Suzuki,: Geomagnetic induction study of the seismically active fault along the southwestern coast of the Sea of Japan, J. Geomag. Geoelectr., 30, 549-560(1978).

Yukutake T. : A review of studies on the electrical resistivity structure of the crust in Japan, Earthq. Predict. Res., 3, 345-364 (1985).

塩崎一郎・大志万直人: 山陰地方東部の深部比抵抗構造探査の意義, 月刊地球, Vol22, No.1, 22-28, (2000).

笹井洋一・吉野登志男: 新潟・松代地震から伊豆・東海, そして油壺, 月刊地球, 号外 No.17, 175-179, (1997).

大志万直人: 電磁気からの提言, 地震予知研究シンポジウム, 61-66 (1997).

Gamble, T.D., W.M. Goubau, and J. Clarke: Magnetotellurics with a remote magnetic reference, Geophys., 44, 53-68(1979).

梅田康弘・中尾節郎・伊藤潔・西田良平・森 健彦: 鳥取一島根県境付近の地震活動と反射波, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 274-274(1994)