

甲府盆地の反射法測線における常時微動測定

年縄巧¹・井上真哉²・米山直樹³

¹明星大学理工学部土木工学科 助教授 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)

E-mail:tosinawa@ce.meisei-u.ac.jp

²明星大学理工学部土木工学科 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)

E-mail:99t5019@stu.meisei-u.ac.jp

³明星大学理工学部土木工学科 (〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1)

E-mail:99t5155@stu.meisei-u.ac.jp

甲府盆地において、微動測定によって深部及び浅部地下構造を推定することが可能か否かを確認するため、反射法が行われた南北と東西の測線上で微動測定を行い、H/V スペクトル比を求めた。各点で得られたスペクトル比を基に、横軸を位置、縦軸を周期の軸にして、ランニングスペクトルの要領で、スペクトル比の空間的な変化を調べた。長周期帯域のピーク周期は、東西断面ではピーク周期がほとんど変化しないのに対し、南北断面ではピーク周期が北側で短く、南に向かうに従って長くなっていく傾向があった。この傾向は、反射法によって推定された深い堆積地盤の厚さの変化、ブーゲー異常の空間分布とよく対応していた。また、短周期帯域のピーク周期の空間変化は上部礫層の厚さ分布とよく対応していた。

Key Words: *Seismic reflection test, Kofu Basin, Microtremor, H/V spectral ratio, Predominant period, Depth of Pleistocene deposits, Depth of Holocene deposits*

1. はじめに

甲府盆地では、1854年安政東海地震や1923年関東地震など、過去の大地震において盆地内に大きな被害が生じている¹⁾。これらの2大地震では、被害を大きく受けた地域が異なっており、この原因として盆地や震源との位置関係によって地震動が増幅された地域が異なった可能性が挙げられる。このような仮説を確かめるには、堆積盆地の3次元的な地下構造を調査し、それに基づく数値モデルを作成し、地震動の応答解析を行って検討する事が有効である。このため第一著者等は、盆地内で長周期微動アレイ観測によって盆地内の4箇所での地震基盤までのS波速度構造を調べたり、盆地内で短周期微動を測定することによって表層地盤の厚さの分布を調べたりして、盆地の地下構造を調査してきた²⁾。その結果、全体的な傾向として、甲府盆地の堆積層は北部で浅く、南部で厚くなること、浅部地盤構造の深さの変化の傾向は深部地盤構造の深さの変化と類似していることなどがわかった。しかしながら、これまでの結果を反射法地震探査のようなより信頼性のある地

下構造調査の結果と比較したわけではないので、この地域における微動による地下構造調査の信頼性を一度確認しておく必要がある。

山梨県では、文部科学省の地震関係基礎調査交付金を受けて、平成13年度より3年間の計画で、地震基盤までの地下構造を解明し、地震防災対策に必要な基礎資料を得るために、東西1測線、南北1測線の合計2測線において反射法による地下構造探査を行った^{3),4)}。そこで著者等は、この反射法2測線において常時微動の高密度観測を行い、ピーク周期の分布を調べて、反射法の結果やブーゲー異常、ボーリングによって推定された浅部地盤の堆積厚さ分布と比較し、この地域において、微動測定によって地下構造の深さが十分な精度で推定可能であるか否かを確認することにした。

2. 地形・地質

図-1, 2 に甲府盆地及びその周辺の地形図、表層地質図^{5),6)}を示す。これらの図からわかるように、

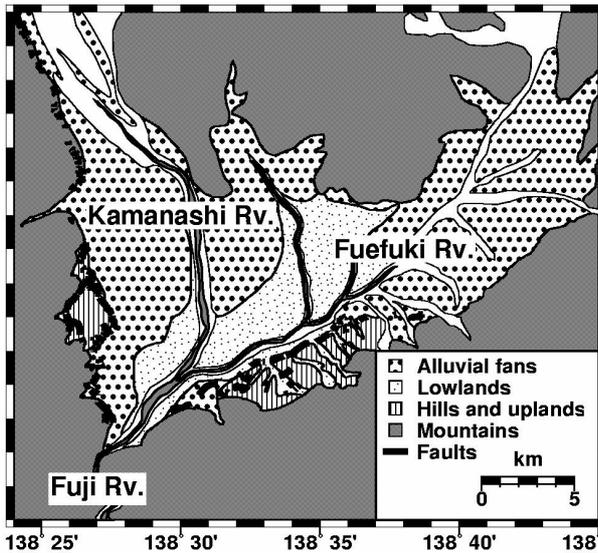


図-1 地形図^{5),6)}

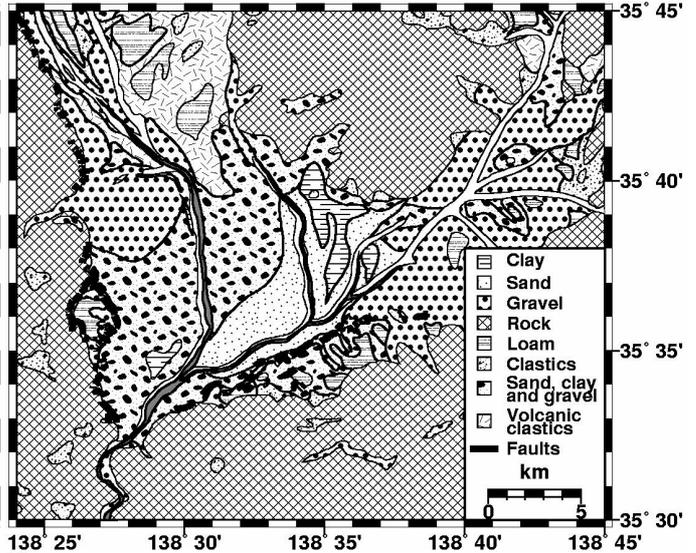


図-2 表層地質図^{5),6)}

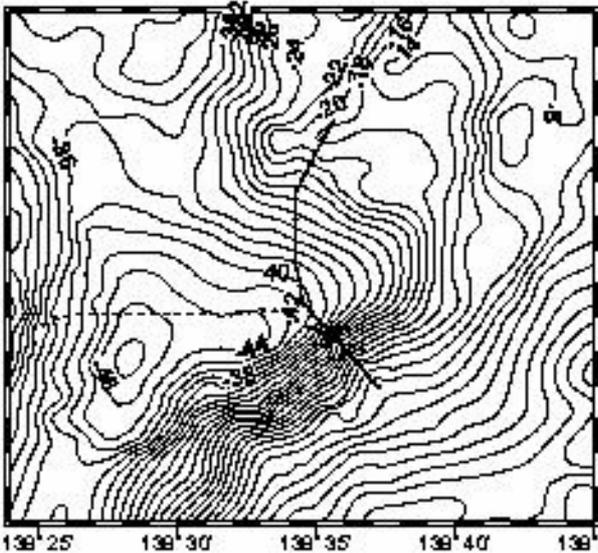


図-3 ブーゲー異常図⁸⁾

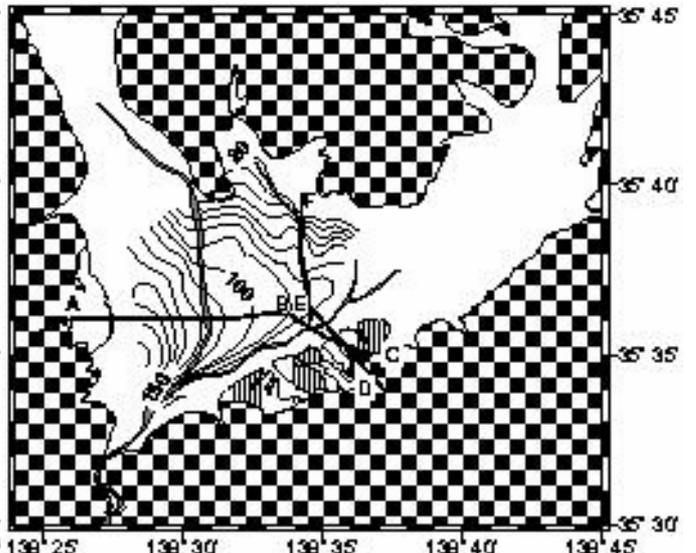


図-4 上部礫層の等層厚線図⁹⁾

甲府盆地は東西 20km, 南北 15km の逆三角形をしており, 四方を山地で囲まれた閉じた内陸盆地である。盆地内の堆積物は, 北西部からの釜無川, 東部からの笛吹川によって供給され, これらの土砂供給河川は, 盆地南西部で合流し, 富士川となって南部へ流出している。堆積過程と平行して周辺山地は隆起し, 盆地南部や西部に見られるような丘陵・台地が形成され, この付近にいくつかの活断層が生じた⁷⁾。このため, 盆地南部・西部では堆積層の深さが急激に変化していることが推定される。実際, この地域のブーゲー異常の分布⁸⁾(図-3)を見ると, 盆地南西部に密度が軽い層が厚く堆積していること, 盆地南東部及び西部の盆地境界部では地層の厚さが急激に変化することが推察される。

浅部地下構造に目を移してみると, この地域の更

新世堆積物は, 新しいものから順に上部礫層, 葦崎岩屑流, 中部礫層, 黒富士火砕流, 下部礫層と呼ばれ, 最上層の上部礫層は, 盆地内に広く分布している⁹⁾。上部礫層の厚さ分布⁹⁾を図-4に示す。上部礫層の厚さは, 盆地西部では 150m を超え, 東部に向かうに従って徐々に浅くなっていき, 北部に向かって更に浅くなっていくことがわかる。上部礫層から下部礫層までの更新世堆積物は, 盆地南西隅で最大となり, その全層厚は 300m を超すと推定されている⁹⁾。更新世堆積物上の山地あるいは丘陵地・台地の前面には扇状地が形成され, 特に盆地西部の釜無川沿い及び盆地東部の笛吹川沿いには, 広大な扇状地が発達している。盆地中心部には完新世に形成された平野が広がり, 砂, 泥, 礫によって覆われている。この更新世堆積物の厚さ分布はブーゲー異常の

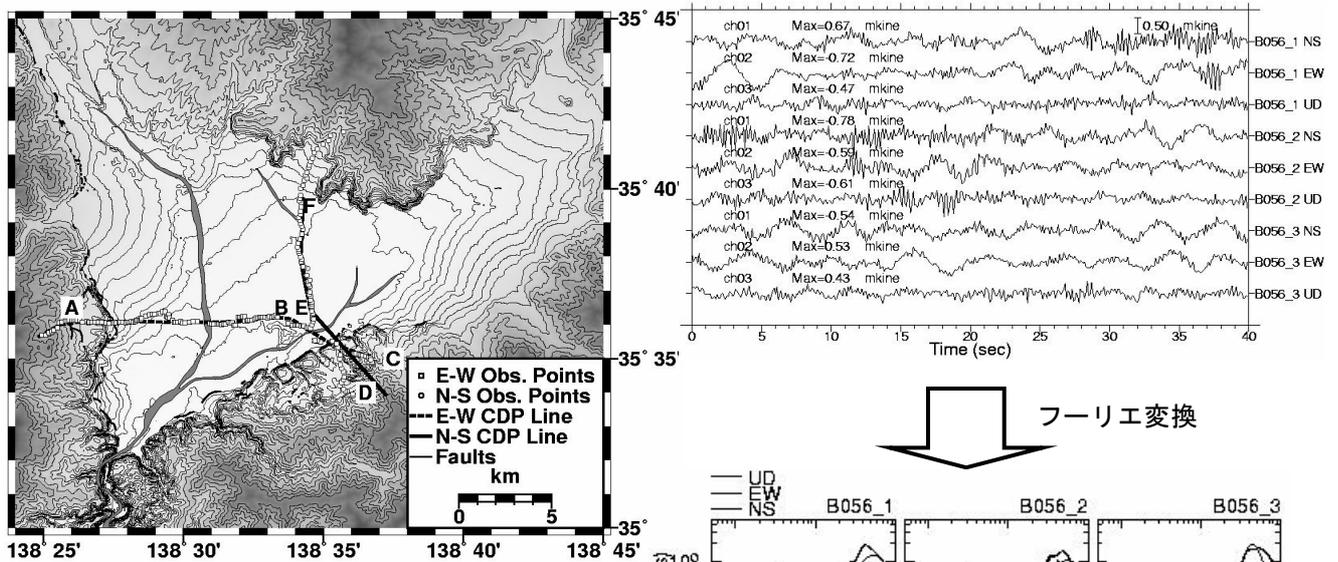


図-5 反射法測線と微動観測点

分布と同様であり、浅い地下構造の変化は深い地下構造の変化と大局的には同様であることを示している。

3. 測定の概要

(1) 反射法探査の概要

図-5 に山梨県が行った反射法（バイプロサイス震源：P波反射法）の測線を示す。平成13年度に東西22km、平成14年度に南北13kmの測線において反射法が行われた。主な測定仕様は、バイプレータ3台、発信点間隔100m、受信点間隔25mであり、共通反射点(CDP)重合法によって、各種データ処理を行い、CDP測線上の2-way時間、及び、基盤深度分布が求められた^{3),4)}。

(2) 微動測定の概要

反射法測線に沿って微動測定点を設けた。図-5に2002年度に行った測定点を示す。□で示す点が東西測線上の測点、○で示す点が南北測線上の測定点であり、測定点間隔は50~100m程度、測定点総数は230である。測定は、観測点直近の交通振動などによる直接の外乱振動を拾わないように、主に深夜や早朝に行った。測定に用いた微動計はサーボ型加速度計であり、サンプリング周波数100Hzとして南北、東西、上下の3成分の速度波形を測定した。測定データ長は、40.96秒のデータを3回測定した。尚、堆積層が深いと予想される東西測線においては、長周期成分を効果的に検出するために、2003年度に55点において固有周期5秒の速度計を用いて1点あたり300秒×3回の追加測定を行った。

(3) 微動記録の解析

解析は、2002年度の測定データについては、長周期領域における周期間隔が粗くなるのを避けるため、この測定データに後続のゼロをつけて80.96秒間のデータとしてフーリエ変換を行った。東西測線の2003年度のデータについては、163.84秒間のデータ

図-6 微動記録の解析の流れ

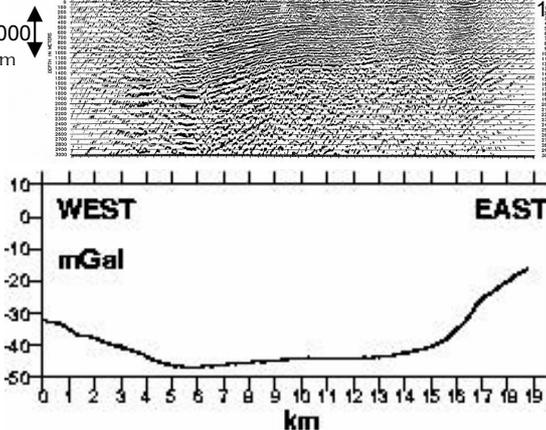
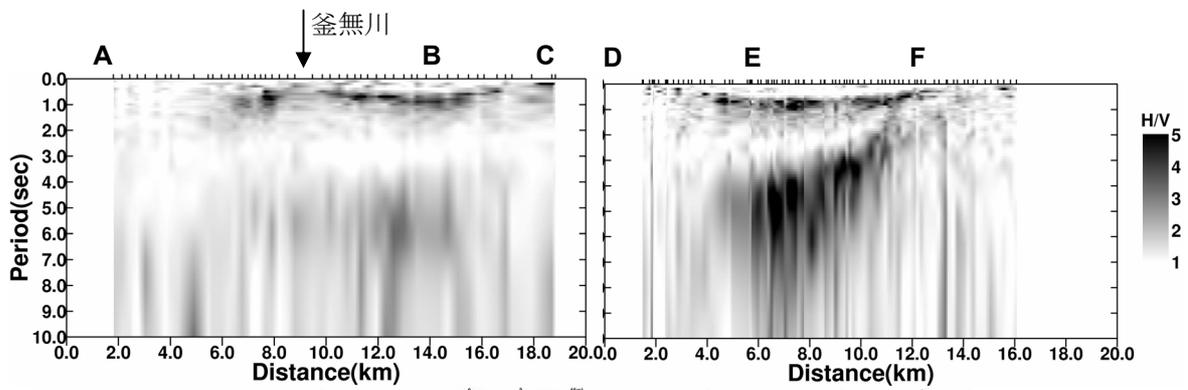


図-7 東西測線の比較
 上段：長周期帯域のスペクトル比の空間分布
 中段：反射法地震探査深度断面図
 下段：ブーゲー異常

図-8 南北測線の比較
 上段：長周期帯域のスペクトル比の空間分布
 中段：反射法地震探査深度断面図
 下段：ブーゲー異常

についてフーリエ変換を行った。スペクトルのスムージングは、いずれの場合も 0.1Hz の Parzen ウィンドウを用いた。このスペクトルを、南北方向、東西方向それぞれについて上下成分で除し、3 つのスペクトル比を算術平均してそれぞれの方向のスペクトル比を求めた (H/V スペクトル比)。図-6 に一測点を例にしてこの解析の流れを示す。この例では、周期 5 秒付近と 1 秒弱付近にピークが見られる。このように、ほとんどの観測点において長周期帯域と短周期帯域にピークが見られた。

4. 長周期帯域のピーク周期の分布と反射法地震探査深度断面図、ブーゲー異常図との比較

各点で求められた H/V スペクトル比を測線毎に並べてスペクトル比振幅の形状の変化を調べ、反射法地震探査深度断面図、及びブーゲー異常図と比較した。図-7, 8 はそれぞれ、東西測線、南北測線の比較であり、各図とも、上からスペクトル比の空間分布、反射法地震探査深度断面図、及びブーゲー異常図を示している。H/V スペクトル比は、各点におい

て南北方向と東西方向について求められるが、通常はどちらも大差はない。しかし、測点によっては長周期帯域においてスペクトル比が不安定になることがあるので、分布図作成においては、長周期帯域においてスペクトル比が安定している成分を各点において採用した。尚、東西測線については、2003 年度の追加測定の結果が示されている。

スペクトル比の空間分布は振幅の大小をモノクロの濃淡で示している。また、周期軸を最大で 10 秒としているので、周期数秒の長周期帯域のピーク周期の分布が見やすい図となっている。尚、スペクトル比の分布図に示す A~F の記号は、図-4, 5 中に示す測線上の点に対応している。

(1) 東西測線

図-7 の東西測線のピーク周期の空間分布を見ると、長周期帯域では、鋭いピークではないものの、周期 5, 6 秒程度に振幅の大きいピークが 9~14km の区間で見られる。これらのピークは西に向かうに従ってピーク値は小さくなっていくものの、ピーク周期は徐々に長くなっていく傾向があり、6km 付近で認められなくなる。また、16km 付近以東でも顕著

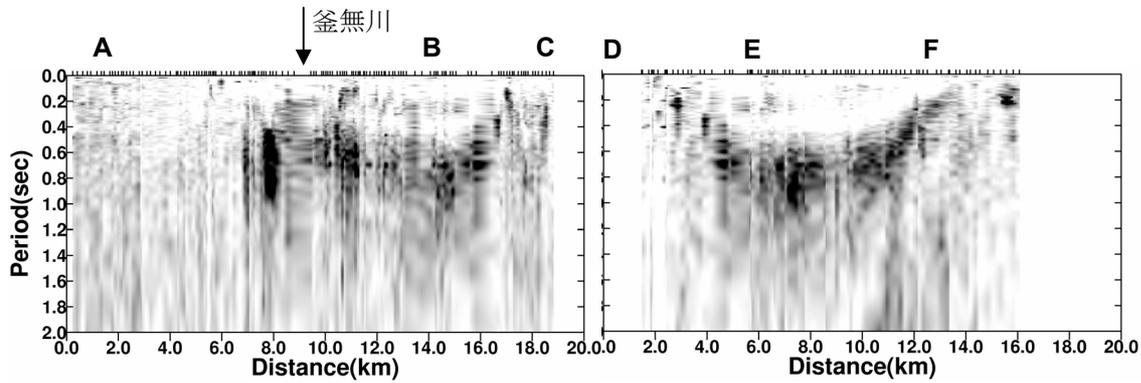


図-9 東西測線の短周期帯域のスペクトル比の空間分布

図-10 南北測線の短周期帯域のスペクトル比の空間分布

なピークは認められない。周期1秒程度以下の短周期帯域を見ると、7~17kmの地域で連続したピークの帯が見られる。

反射法地震探査深度断面図を見ると、10~15kmでは堆積層の厚さがほぼ2kmと一定であり、15km付近より西に向かっていくと徐々に厚くなっていき、7km付近で最も深く3km程度となり、それより西では基盤がオーバーハングするような形で露頭してくる。また、16km付近以東でも基盤がオーバーハングしているように見える。

ブーゲー異常の分布を見ると、15km付近以東ではブーゲー異常値が比較的高く、15km付近から西に向かうに従って徐々に低くなっていき、5km付近以西では再び大きくなっていく。この測線西端では、岩盤が露頭しているはずであるが、この地域のブーゲー異常値は直下に岩盤があるにしては小さい。これはこの地点は露頭岩盤の下に密度の軽い層が存在している可能性を示すものであり、反射法探査の結果推定されたオーバーハングした岩盤を仮定すれば、このブーゲー異常の分布を説明することができる。このように、ブーゲー異常の分布は基盤の形状をそのまま表しているわけではないので、微動測定の結果とブーゲー異常の比較は、変化の傾向を比較する程度に留めておく。

以上の比較から、独立に求めたそれぞれの結果は調和的であり、東西測線の東端、西端は基盤の傾斜が急激になって露頭し、盆地内の堆積層の厚さはほぼ平坦であるが、西側に向かうに従って徐々に厚くなっていく傾向がある。

(2) 南北測線

図-8の南北測線のピーク周期の空間分布を見ると、比較的是っきりとしたピークが認められ、長周期帯域では、12km地点で2秒程度であったピーク周期が、南に向かうに従って長くなり、6km付近では5、6秒程度で最長となり、5km付近以南では長周期

帯域のピークは認められなくなる。また、12km付近より北側でも長周期帯域のピークは認められない。周期1秒程度以下の短周期帯域では、3~14kmの地域で連続したピークの帯が見られる。

反射法地震探査深度断面図を見ると、12km付近では基盤がほぼ地表近くに来ているのに対し、南に向かうに従って堆積層が厚くなっていき、6km付近では2km程度になり、それより南になると基盤の傾斜が急になり露頭する形となる。

ブーゲー異常の分布を見ると、5~8km付近でブーゲー異常値が最も低く、その両側では値が高くなっていく。特に南側へは値が急激に高くなっていく。

これらの図の比較から、独立に求めたそれぞれの結果は調和的であり、南北測線の北端、南端には基盤があり、特に南端では基盤の傾斜が急激になって露頭し、盆地内の堆積層の厚さは北から南に行くに従って厚くなっていく傾向がある。

5. 短周期帯域のピーク周期の分布と表層地盤の厚さ分布との比較

図-7、8で見たように、盆地内には周期1秒以下に連続したピーク周期がある。これらのピーク周期の空間分布を詳しく見るために、周期軸の最大値を2秒にして描いたものが図-9、10である。尚、短周期帯域の図については、東西測線は2002年度の測定の結果を用いている。

(1) 東西測線

図-9を見ると、東西測線の短周期帯域のピーク周期は、測線東端では急激に変化し、15km付近から17km付近にかけて周期が0.8秒から0.2秒まで変化している。この付近は基盤の傾斜が東に向かって急激に変化していく地域であり、表層地盤の厚さもこれに合わせて急激な変化をしているものと推察され

る。7~14kmの地域ではピーク値の変化は比較的少なく、0.8~0.6秒であるが、釜無川に近い8~11kmの地域はピーク周期が若干短くなり、0.6秒程度である。また、7km付近より西では短周期帯域にピークは認められなくなる。

(2) 南北測線

図-10を見ると、南北測線の短周期帯域のピーク周期は、測線全域に鋭いピークがあり、そのピーク周期は7~14kmの地域では、北から南に向かうに従って長くなり、7km付近で1秒程度と最も長くなり、3~7kmの地域では、南に向かうと急激に周期が短くなっていく。この傾向はこの測線の長周期帯域のピーク周期の変化の傾向とよく似ている。

(3) 上部礫層の厚さ分布との比較

(1)、(2)で見た傾向を、図-4で示した上部礫層の厚さ分布と比較する。ここでいう上部礫層の層厚とは、礫層とその上の粘土・シルト質で構成された表層地盤を含めた厚さであるので、短周期微動に表れる軟弱な表層地盤そのものの厚さに関するピーク周期とは厳密には比較できないことには留意しておく必要がある。しかし、表層地盤を含む上部礫層の厚さの変化は表層地盤そのものの厚さの変化と定性的には対応していると考えてよいであろう。

図-4を見ると、上部礫層の層厚は、東西測線では、西に向かうに従って徐々に厚くなって行き、釜無川より西では急激に厚さを増している。南北測線上では、F付近では20m程度と薄かったものが、南に向かうに従って厚くなっていき、E付近で最大80m程度になり、それより南では薄くなる傾向がある。(2)の南北測線の短周期帯域のピーク周期の変化はこの層厚の変化によく対応している。

東西測線では、釜無川より東では盆地内でのピーク周期の変化があまり認められないということと、上部礫層の層厚が徐々に変化している点は矛盾しないが、釜無川より西では上部礫層が急激に厚くなっていくのに対し、微動の結果ではピーク周期が認められなくなるという点は一致しない。おそらくこれは、釜無川より西では、地形的には扇状地に属し(図-1参照)、表層地質が砂礫で覆われてくるため(図-2参照)、短周期微動に表れるようなその下の礫層との速度コントラストが高い表層地盤が形成されなかったためであろう。

6. おわりに

山梨県が行った反射法地震探査測線に沿って常時微動測定を行い、その解析結果を反射法地震探査深度断面図やブーゲー異常図、及び更新世堆積物の最上層である上部礫層の厚さと比較を行った。その結果、微動のH/Vスペクトル比の長周期帯域のピーク周期の変化は反射法地震探査深度断面図による深部地下構造やブーゲー異常図とよく対応していることがわかった。また、微動のH/Vスペクトル比の短周期帯域のピーク周期の変化は、釜無川以西の扇状地上を除いて上部礫層の厚さの分布によく対応していることがわかった。

これらの結果から、甲府盆地において、深部、浅部の地下構造の推定が微動測定によって可能であることが確認できた。今後は反射法測線以外でも同様な測定を実施し、盆地内の3次元的な地下構造を推定する予定である。

謝辞： 反射法地震探査深度断面図は、甲府盆地地下構造調査委員会(委員長：瀬尾和大東工大教授)の資料3),4)を使用させていただいた。ブーゲー異常図は、西南日本重力データベースを使用させていただいた。関係各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 宇佐美龍夫: 新編日本被害地震総覧増補改訂版, 東京大学出版会, 1996.
- 2) 年縄 巧, 小池一之, 山口 亮, 山中浩明, 栗田勝美: 1923年関東地震の際甲府盆地において生じた被害分布の原因の一解釈, 土木学会論文集 No.626/I-48 pp. 69-78, 1999.
- 3) 山梨県: 平成13年度地震関係基礎調査交付金甲府盆地地下構造調査業務成果報告書(概要版), 2002.
- 4) 山梨県: 平成14年度地震関係基礎調査交付金甲府盆地地下構造調査業務成果報告書(概要版), 2003.
- 5) 山梨県地質図編纂委員会: 山梨県地質図, 1970.
- 6) 経済企画庁総合開発局: 土地分類図 山梨県, 1973.
- 7) 澤 祥: 甲府盆地西縁・南縁の活断層, 地理学評論, 第54巻, 9号, pp.473-492, 1981.
- 8) Gravity Research Group in Southwest Japan: Gravity Data CD-ROM in Southwest Japan, *Bulletin of the Nagoya University Museum Special Report*, No.9, 2001.
- 9) 海野芳聖: 山梨県甲府盆地の埋積過程—地下地質からみた更新世以降の特徴—, 地団研専報, 38号, pp.19-25, 1991.

MICROTREMOR OBSERAVTIONS ALONG THE SEISMIC-REFELECTION TEST LINES IN KOFU BASIN

Takumi TOSHINAWA, Masaya INOUE and Naoki YONEYAMA

Microrotremors were conducted along the seismic reflection test lines in Kofu Basin. From the records, horizontal to vertical spectral ratios were obtained. The spectral ratios are depicted like a running-spectrum diagram manner, the horizontal axis of the diagram is an observation line and the vertical one is period. The spectral-ratio diagrams are consistent to the seismic-reflection profiles and bouguer gravity anomalies in the long-period range, and to the thickness of the upper gravel in the short-period range. The result suggests that microtremor can be used to detect deep and shallow underground structures in this region.