

都城盆地の常時微動特性に及ぼす堆積盆地構造の影響

中村真貴¹⁾・原田隆典²⁾・亀井健史²⁾・亀川優太³⁾

Effect of Sedimentary Basin on Microtremor in Miyakonojyo Basin

Masaki NAKAMURA, Takanori HARADA, Takeshi KAMEI, Yuta KAMEGAWA

Abstract

This paper describes an effects of sedimentary basin on microtremor characteristics in Miyakonojyo basin. Field observations were made of microtremors at 16 sites widely distributed in Miyakonojyo city, to investigate the dynamic properties of sedimentary basin. The microtremor measurements were carried out using a servo type pick in the present study. Analysis of the Fourier spectrum was also made to investigate the spectral ratios between horizontal and vertical components and the predominant period of the ground. The relationship between the ground conditions and dynamic properties of sedimentary basin in Miyakonojyo basin was investigated quantitatively, based on the results of the microtremor observation. The predominant periods of the ground depend on the strength characteristics of surface soil layers. Finally, use of the microtremor makes such determinations relatively quick and inexpensive and is recommended to gain a better understanding of earthquake damage and evaluation of the ground. The potential use of microtremor can be refined with further research.

Keywords: Microtremor, H/V spectral Ratio, Predominant period, Sedimentary basin

1. はじめに

1995年に発生した阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）では、「震災の帯」と呼ばれる甚大な被害領域が形成された。その原因として、神戸市中心部直下に存在する盆地地盤境界の近傍における地震動増幅が指摘され、その地震動増幅に関する研究は、深部地盤構造を考慮した数値計算として、多くの研究がなされている^{例えば 1),2),3)}。このことから盆地構造の様な場所では工学基盤よりも深い地盤構造を考慮し、地震動特性を評価する必要があると考えられる。

そこで、この深部地盤構造を推定する方法として、常時微動を用いた研究が行われている⁴⁾。常時微動と地下構造との関係に関する研究としては、微動のアレー観測から位相速度を推定し、S波速度の地下構造モデルをインバージョン法より求める、いわゆる F-K 法と呼ばれる方法により、京都盆地南部の地下構造を推定した Horike⁵⁾や、F-K 法より探査可能深度が深く、観測、データ処理・解析が簡便な空間自己相関法により地下構造を推定した岡田ら⁶⁾がある。

また、田守ら⁷⁾は諏訪盆地において常時微動の1点観測を行い、H/V スペクトル比（水平成分と上下成分のスペク

トル比）から地盤の卓越周期を求め、それとボーリングデータから得られる S 波速度との関係を検討した。常時微動の H/V スペクトル比に関する研究としては、常時微動が主に実体波によって構成されているという中村ら^{8), 9)}や、微動の主たる成分は表面波であるとする時松ら¹⁰⁾がある。

常時微動を利用する上ではまだまだ多くの研究が必要と考えられるが、H/V スペクトル比よりその地点の地盤情報を得ることができることは既往の研究から明らかである。また、常時微動の H/V スペクトル比は時間帯に関係なく安定的な結果を得ることができ、常時微動の1点観測は容易に計測することができ、アレー観測の様な長時間の計測を必要としないという利点がある。

都城市の地域防災計画¹¹⁾では、想定地震として M7.5 の日向灘南部地震（海溝型）と M6.5 のえびの一小林地地震（直下型）の2つが想定されており、日向灘地震では震度5強から6弱、えびの一小林地地震では震度5弱から6強以上の揺れが起ると考えられている。そこで、本研究では、常時微動の1点観測を都城盆地を対象に行い、常時微動の H/V スペクトル比と地盤構造の関係を検討する。常時微動から地震動特性を推定することで、簡便で安価な地震動の被害推定が可能となる。また、盆地構造での特異な震動特性の評価法として、常時微動が利用できるかという点についても検討を行う。

1) 資源環境科学専攻大学院生

2) 土木環境工学科教授

3) 土木環境工学科学部生

2. 常時微動計測

2.1 都城盆地の地盤特性と常時微動計測地点

都城盆地は地形的には宮崎平野と分かれているが、これは都城盆地と宮崎平野の間に存在している鰐塚山地の北端が隆起し、両者が分離されて別の地形として発達したため、地帯的に宮崎平野から続く低地帯とみなされている。

都城盆地の西部から北西部にかけての境界は小林盆地との分水界および霧島山山麓であり、高千穂峰からならかなスロープを描きシラス台地をへて盆地底に下っている。小林盆地との分水界のある旧高崎町あたりのシラス台地はあまり高度が高くないが、この台地面より僅かに高い部分に第三紀層の四万十層群が現れていて、九州山地の最南端部の地層が高度を下げて存在している。これと同時に、霧島山の初期に形成された基盤である火山岩の露出がみられているところもある。

鹿児島県曾於市財部町～末吉町を含む西部から南部の都城盆地の境界は、一連の大きく広がったシラス台地面である。これは、約2万年前に始良カルデラ（鹿児島湾最奥部）より発生した火砕流（入戸火砕流）によるものと推定されている。この部分に着目すると、西部の始良カルデラ壁は四万十層群であり南の高隈山地に連なる地層の一部である。南部では東の鰐塚山地を構成する日南層群が高度を下げながら南西に伸び、志布志湾との分水界となっている。都城盆地の中央部は低位段丘が広く占め、大淀川とその支流沿いでは氾濫原が形成されている。低位段丘は、前述した入戸火砕流の堆積直後に都城盆地が湖を形成した際に土砂などが堆積したもので、浅く平らな湖底や湖岸の汀線を示すと考えられている。

都城盆地の東部では、鰐塚山地がかなり急な斜面で落ち込んでいる。また、複雑な過程を経て形成されているため

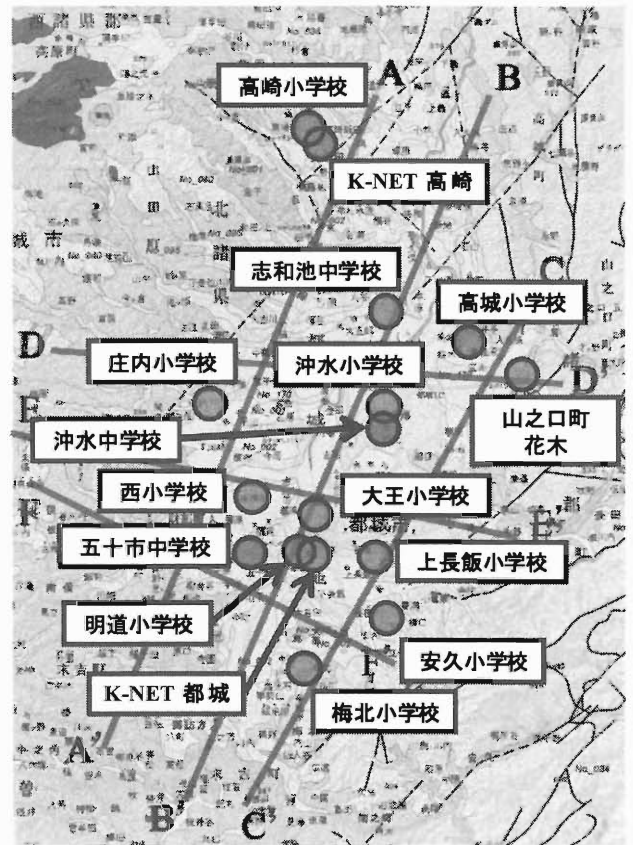


図-2 常時微動の計測地点.

地質の走行自体は同じ向きではない。地層は極めて複雑に入り組んでいて褶曲や断層活動が激しく行われたことを示している。

本研究では図-1 に示す都城盆地を対象に、宮崎県および都城市水道局、都城市教育委員会が管理しているボーリングデータと図-3の地質断面図¹²⁾をもとに、図-2に示す常時微動計測地点の選定を行った。図-3は、図-2の断面A-A'、B-B'、C-C'、D-D'、E-E'、F-F'の6つの地質断面図を示している。都城盆地は、火山灰砂質土や火山灰粘性土、砂礫、ボラなどが10m程度と薄く堆積しており、その下にシラス層が広く分布している。そして、シラス層の下には入戸火砕流が70m程度堆積し、さらに深部には都城層や小林火砕流が堆積しており、最も深部に末吉層が存在する。図-3の地質断面図より、都城盆地の地下構造は非常に複雑な構造となっていることが分かる。

2.2 解析方法

本研究の常時微動計測は、微動計としてサーボ型速度計を用いて行い、微動計で得られた速度波形をコンピュータに記録する。今回の計測では、40.96秒の速度波形3成分（水平がNS成分とEW成分の2成分、上下1成分）を5回計測した。計測した常時微動波形は、3成分それぞれについて波形ごとにフーリエスペクトルを求め、バンド幅0.1HzのParzen Windowにより平滑化処理を行った後に、



図-1 都城盆地と常時微動計測地点.

水平 2 成分のフーリエスペクトルの二乗和平方根を計算し、それと上下成分フーリエスペクトルの比をとり、式(1)より H/V スペクトル比を算出する。

$$H/V = \frac{\sqrt{H_{NS}^2 + H_{EW}^2}}{V} \quad (1)$$

ここで、H/V は常時微動の H/V スペクトル比、 H_{NS} は NS 成分のフーリエスペクトル、 H_{EW} は EW 成分のフーリエスペクトル、V は上下成分のフーリエスペクトルである。そして、式(1)より求めた 5 つの常時微動 H/V スペクトル比の平均をとり、それをその地点の常時微動 H/V スペクトル比とする。

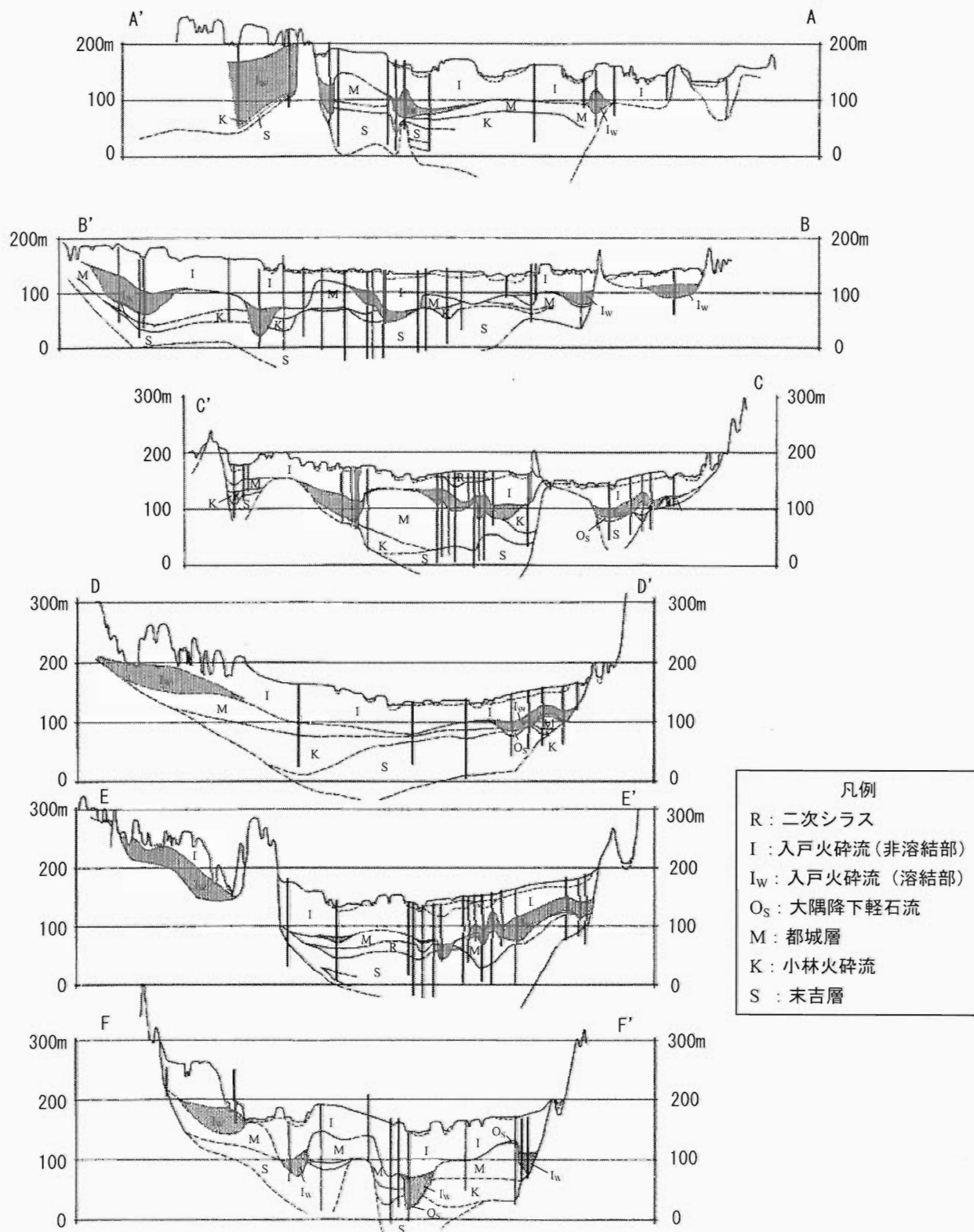


図-3 地質断面図 (断面の位置は図-2 参照)。

2.3 地震動と常時微動の H/V スペクトル比

地震動から求められる H/V スペクトル比と常時微動から求められる H/V スペクトル比の卓越周期は、高い正の相関をもっていることは、多くの既往の研究から明らかである。そして、本研究の常時微動計測の対象地域では防災科学科学技術研究所の強震ネットワーク K-NET の観測点が 2 か所設置されている (図-2 参照)。そこで、その強震観測点で観測された 10 個の地震動観測記録から求めた H/V スペクトル比と、本研究で計測した常時微動から求めた H/V スペクトル比の比較を図-4 に示す。地震動の H/V スペクトル比についても、常時微動と同様に式 (1)より算出し、バンド幅 0.1Hz の Parzen Window により平滑化処理を行った。黒実線は K-NET で観測された地震動記録から求めた H/V スペクトル比を、灰実線は計測した

常時微動から求めた H/V スペクトル比を表している。K-NET 高崎 (図-4 左) では、地震動の H/V スペクトル比の卓越周期は 0.4~0.5 秒程度となり、常時微動の H/V

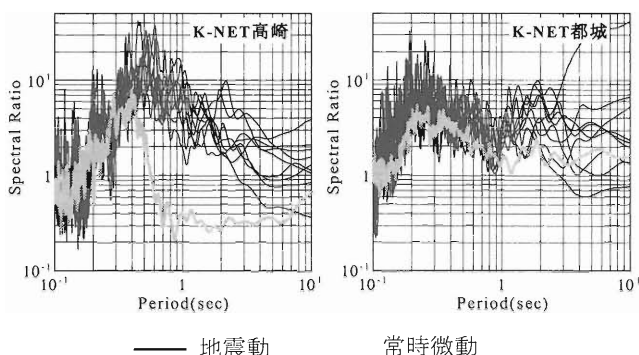


図-4 地震動と常時微動の H/V スペクトル比の比較.

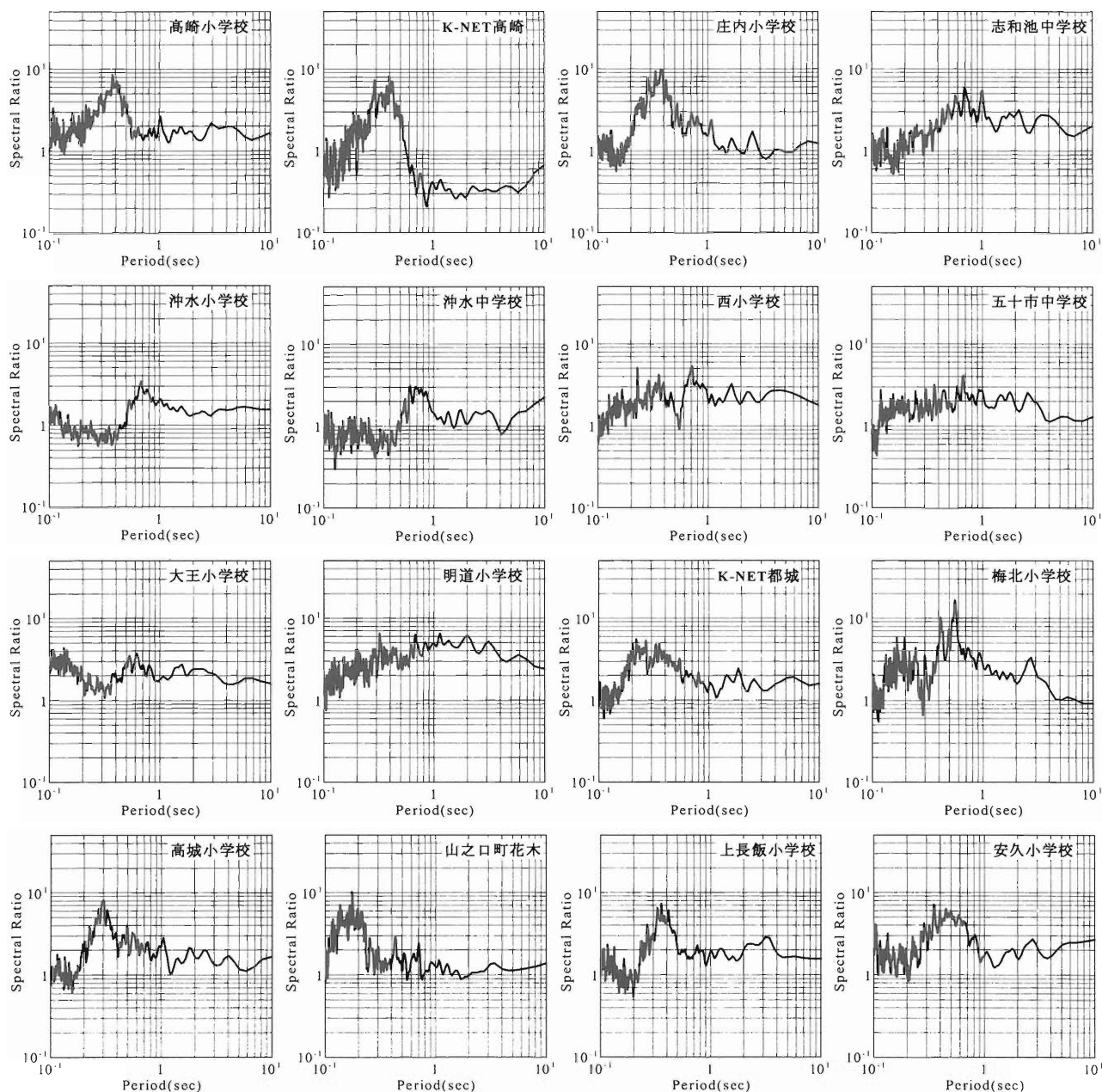


図-5 常時微動から求めた H/V スペクトル比.

スペクトル比の卓越周期も0.4秒程度となっている。また、K-NET 都城（図4-右）についても同様に地震動のH/Vスペクトル比の卓越周期は0.2~0.3秒程度となり、常時微動のH/Vスペクトル比の卓越周期も0.2秒程度となっている。

2.4 計測結果

H/Vスペクトル比の値が最も大きくなる周期が、その常時微動波形が最も多く含んでいる周期となり、その時の周期を卓越周期と呼ぶ。常時微動H/Vスペクトル比の一般的な周期特性として、岩盤のような硬質地盤では、H/Vスペクトル比の形状がフラットで卓越周期が見えにくく卓越周期の値も小さい。逆に、厚い堆積層をもつ軟弱地盤では、H/Vスペクトル比の卓越周期が顕著に見え、また卓越周期も長周期になる傾向がある。

図-5は、常時微動計測点（図-2参照）で得られた常時微動波形から式(1)より算出した、それぞれの計測点の常時微動H/Vスペクトル比を示す。表-1に各計測点の常時微動H/Vスペクトル比の卓越周期をまとめる。道路橋示方書¹³⁾によると、地盤の固有周期が0.2以下となる地盤は岩盤などの硬質地盤となり、0.6以上となる地盤は軟弱地盤となる。地盤の固有周期と常時微動H/Vスペクトル比の卓越周期はよく一致することは多くの研究で明らかになっている⁴⁾。また、H/Vスペクトル比の卓越周期は地盤の強度（N値やS波速度）に依存する。よって、卓越周期の値が小さい大王小学校やK-NET都城、山之口町花木などは硬質地盤となる。これら3つの計測点のボーリングデータをみると、大王小学校はN値が30以上になるシラス層が10mから現れ、K-NET都城は9mからS波速度が

400m/s以上となり、山之口町花木では10mでN値が50以上となる基盤が現れる。また、卓越周期の値が大きい志和池中学校や沖水小学校、沖水中学校、西小学校などは軟弱地盤となる。これらの計測点のボーリングデータはN値が50以上となる基盤までの深部データがないために正確なデータはわからないが、図-3の地質断面図をみると、これらの軟弱地盤となる計測点の地盤構造は厚い堆積層を構成していると考えられる。

3. 常時微動と盆地構造の関係

田守ら⁷⁾は、常時微動のH/Vスペクトル比の卓越周期が長周期になるほど、地盤のS波速度 $V_s=300\text{m/s}$ の地層の位置が深いとしている。本研究で行なった常時微動計測点においては、深部までのボーリングデータがないため、図-3に示した地質断面図とボーリングデータから、常時微動と盆地の地盤構造の関係について検討する。

盆地の端部は堆積層が浅く、N値が50以上となるような基盤までの深さは浅くなり、盆地の中央部では堆積層が厚く、基盤までの深さは深くなることは図-3の土質断面図からも明らかである。前述したように常時微動から得られるH/Vスペクトル比の卓越周期と基盤までの深さには高い相関がある。そこで常時微動計測点が都城盆地のどの位置にあるのかを「盆地端部」と「盆地中央部」の2つに分けて、盆地構造がH/Vスペクトル比の卓越周期に与える影響を検討する。

表-2は計測点の「盆地端部」と「盆地中央部」の分類を示す。括弧内は常時微動H/Vスペクトル比の卓越周期となっている。「盆地端部」では卓越周期は比較的短周期を示しているが、梅北小学校は卓越周期が0.55とほかの計測点より長周期となっている。また、「盆地中央部」では、卓越周期が長周期となる計測点と、短周期となる計測点が混在している。「盆地中央部」に分類される計測点でのH/Vスペクトル比の卓越周期が短周期となる原因としては、堆積している土層材料の強度が高いものであることが考えられる。前述したように、大王小学校やK-NET都城の堆積層はN値やS波速度が大きく、明道小学校や

表-1 常時微動の計測点とその地点の常時微動H/Vスペクトル比の卓越周期.

常時微動計測点	常時微動のH/Vスペクトル比の卓越周期(sec)
高崎小学校	0.4
K-NET高崎	0.4
庄内小学校	0.4
志和池中学校	0.7
沖水小学校	0.7
沖水中学校	0.7
西小学校	0.7
五十市中学校	0.6
大王小学校	0.15
明道小学校	0.3
K-NET都城	0.2
梅北小学校	0.55
高城小学校	0.3
山之口町花木	0.2
上長飯小学校	0.35
安久小学校	0.35

表-2 常時微動計測点の位置による分類（括弧内は常時微動H/Vスペクトル比の卓越周期）.

盆地端部	盆地中央部
高崎小学校 (0.4)	志和池中学校 (0.7)
K-NET高崎 (0.4)	沖水小学校 (0.7)
庄内小学校 (0.4)	沖水中学校 (0.7)
梅北小学校 (0.55)	西小学校 (0.7)
高城小学校 (0.3)	五十市中学校 (0.6)
山之口町花木 (0.2)	大王小学校 (0.15)
安久小学校 (0.35)	明道小学校 (0.3)
	K-NET都城 (0.2)
	上長飯小学校 (0.35)

上長飯小学校のボーリングデータをみても、N値が30以上になるシラス層が10mから現れる。これらのことから、常時微動 H/V スペクトル比の卓越周期から盆地構造の地震動特性を評価する場合は、「盆地端部」、「盆地中央部」などの地理的条件に加えて、その地点の土層構成も合わせて検討する必要がある。

4. まとめ

本研究で得られた主要な結論を以下に列記する。

- 1) 常時微動のH/Vスペクトル比と地震動のH/Vスペクトル比の比較を行い、その2つの卓越周期はよく一致していることを実証し、盆地の様な複雑な地盤構造の地域においても、常時微動特性を地盤の地震動特性の評価法として利用できる可能性を示唆した。
- 2) 常時微動H/Vスペクトル比の卓越周期から盆地構造の地震動特性を評価する場合は、地形条件に加えて、その地点の土層構成の両者を検討する必要性のあることを明らかにした。

地盤構造が、平野などと比べてより複雑となる盆地構造では、地震動や常時微動において長周期成分が含まれる可能性がある。このことから、今後は詳細な地盤データから地盤の常時微動特性を評価することを考えている。

参考文献

- 1) 入倉孝次郎：兵庫県南部地震の強震動と被害の特徴，京大防災研究所年報，第35号A，53-67，1995.
- 2) 川瀬博，松島信一：三次元盆地構造を考慮した1995年兵庫県南部地震の神戸地域における強震動シミュレーション，日本建築学会構造系論文集，第514号，111-118，1998.
- 3) 永野正行，山田有孝：3次元盆地端部構造の境界近傍における地震動増幅特性，日本建築学会構造系論文集，第560号，51-58，2002.
- 4) 物理探査学会：物理探査ハンドブック手法編，193-225，1998.
- 5) Horike, M. : Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S-wave-velocity structure down to the basement in urbanized areas, J. Phys. Earth., 33, 59-96, 1985.
- 6) 岡田廣，松島健，森谷武男，笹谷努：広域・深層地盤探査のための長周期微動探査法，物理探査，43，6，402-417，1990.
- 7) 田守伸一郎，松尾聡：諏訪盆地における常時微動観測—地盤の卓越周期とボーリングデータより得られる地盤構造との関係—，日本建築学会北陸支部研究報告書，第46号，17-20，2003.
- 8) 中村豊，上野真：地表面震動の上下成分と水平成分を利用した表層地盤特性の試み，第7回日本地震工学シンポジウム，256-270，1986.
- 9) 中村豊：常時微動に基づく地震動特性の推定，鉄道総研報告，vol.2，18-27，1988.
- 10) 時松孝次，宮寺泰生：短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係，日本建築学会構造系論文報告集，第439号，81-87，1992.
- 11) 都城市：都城市地域防災計画 第3編 地震災害対策編，2006.
http://www.city.miyakonojo.miyazaki.jp/kurashi/bousai/kihonkeikaku01_2_2_2.jsp
- 12) 環境省：硝酸性窒素による地下水汚染対策事例集 4 地方公共団体における対策事例（宮崎県），2004.
http://www.env.go.jp/water/chikasui/no3_taisaku/pdf/mat06_1.pdf
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，2002.