

大阪盆地北東部の脈動による地盤震動特性と 重力基盤構造との関係について

赤松純平・中村佳重郎・西村敬一*・駒澤正夫**

*岡山理科大学総合情報学部

**産業技術総合研究所地質情報部門

要 旨

大阪盆地北東部において脈動を観測し、上下動-水平動スペクトル比(H/V)による震動特性と重力基盤構造との整合性を検討した。H/Vの形状、卓越周期(T_p)、それらの異方性などの分析から、震動特性は概ね直下の基盤の深さを反映するが、基盤の尾根部直上では周囲の深い基盤構造の影響を受けて複雑な震動モードを形成していることが推測された。マイクロゾーニングの資料とするために、重力基盤構造による波線の集中を3次元スネルの法則により計算して地震動増幅域のマッピングを行った。この結果、盆地縁辺部の有馬-高槻構造線、交野断層および京都盆地西縁断層のみならず枚方断層(撓曲)に関係する基盤構造にも関係して震動増幅域のあることが示された。

キーワード：重力基盤、脈動震動特性、基盤岩断層構造、波線集中、マイクロゾーニング

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震において、震源断層に近い神戸・阪神間に「震災の帯」と称された震度7域が現れたり、震源から離れた大阪府下では上町断層に沿って被害が集中したりしたため、基盤岩の3次元構造が堆積盆地におけるマイクロゾーニングの問題として改めて強く認識された。近畿圏の大都市の立地する大阪盆地、京都盆地、奈良盆地は、いずれも厚い大阪層群を堆積しており、盆地の境界付近の基盤岩は急傾斜であって活断層の認定されている場合が多い。筆者らは、これらの盆地の基盤構造、活構造との関係、盆地基盤相互の繋がりなどを明らかにするために脈動観測と重力探査とを実施してきた(赤松・駒澤, 2003; 赤松ら, 2004a)。本稿では、「大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)」で明らかにされた大阪盆地北東部の3次元重力基盤構造(赤松ら, 2007)と同地域で観測される脈動の震動性状との

関係を吟味する。具体的には、脈動の上下動-水平動スペクトル比(H/V)の卓越周期や方位特性と基盤の3次元構造、特に盆地内の基盤の尾根状隆起構造との関係、および地表地質構造との関係などを検討して、重力基盤構造が波動場の説明に有効であることを示す。さらに、重力基盤構造による波線の集中を3次元スネルの法則により計算して地震動増幅域のマッピングを行い、同地域のマイクロゾーニングにおける問題点を指摘する。

2. 地質構造

調査対象地域は、国土地理院2万5千分の1地形図の、高槻、淀、吹田、枚方図幅に対応する範囲(東経135度30分~45分、北緯34度55分~45分)のおおよそ東西22.8km、南北18.5kmである。この範囲の地質構造図をFig.1に示す。市原ら(1991)の地質図に、岡田・東郷(2000)による活断層を加えたもので

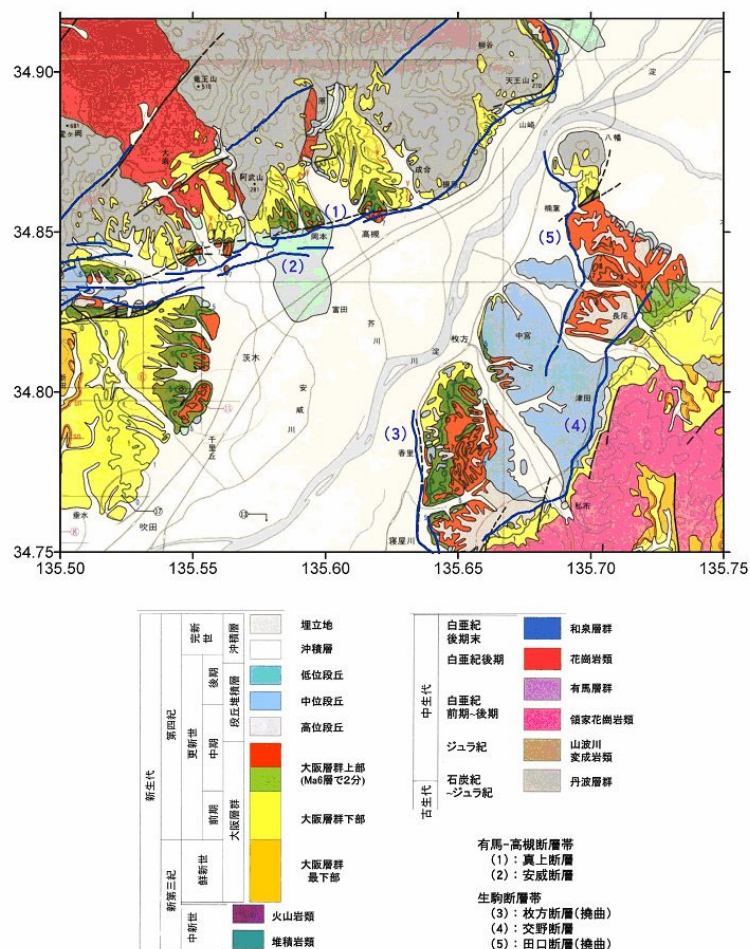


Fig.1 Geologic setting in the study area (after Itohara et al., 1991).

ある。図中、大阪盆地は、北部の北摂山地と南東部の生駒山系に挟まれた地域であり、北東から南西に京都盆地から淀川が流れ、淀川右岸の西部には千里丘陵が、左岸の南部には枚方丘陵が発達している。また男山と生駒山系北端部との間には八幡丘陵があり、その北部が洞ヶ峠と称されている。これらの丘陵には大阪盆地に厚く堆積している大阪層群中部～下部層が広く(一部に最下部層も)露出している。北部の北摂山地は、主に丹波層群、部分的に白亜紀後期の花崗岩類で構成されている。南東部の生駒山系は領家花崗岩類である。これらの基盤岩類が盆地の基盤を形成していると考えられる。

北摂山地との境界には有馬-高槻構造線が西南西-東北東に走っている。茨木市内ではこの断層系を構成する真上断層と安威断層とが併走しているが、安威断層は高槻市内で東へのトレースが消えている。真上断層の東方では、島本町から大山崎町にかけて断層線は天王山に沿うように屈曲している。天王山とは淀川を挟んだ対岸に位置する男山は、天王山と同じく丹波層群に属していることが注目される。

枚方丘陵の西側には生駒断層帯の北への延長であ

る枚方断層(撓曲)がある。枚方丘陵と生駒山系との間には、生駒断層帯が北東に分岐した北東-南西走向の交野断層があり、さらに、男山の西には南北走向の田口断層(撓曲)がある。

なお図には示されていないが、千里丘陵の西側には上町断層帯から北に延びる佛念寺山断層がある。

3. 重力基盤

Fig.2 に重力基盤図を示す。コンターは標高を表示している。また、重力基盤構造モデルの全体を俯瞰するために、Fig.3 に鳥瞰図を地形図と比較して示した。地形図は 50m メッシュ数値地図(国土地理院, 2000)による。これらの図から、重力基盤構造の特徴および地形・地質との関係を以下のように指摘できる。

(1) 有馬-高槻構造線付近で基盤は急峻に 700m 程度沈降する。この崖状構造は東に延びて男山の南麓を通る。ここでの標高は 400m 程度である。一方、西部の千里丘陵ではグラーベン状の陥没地形を形成している。

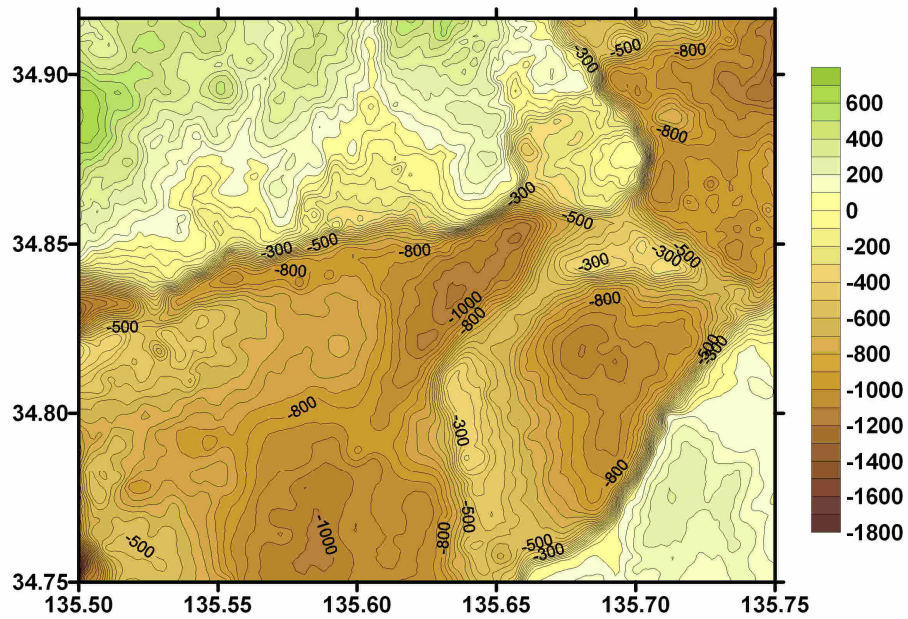


Fig.2 Gravity basement shown in altitude. Contour interval is 50m.

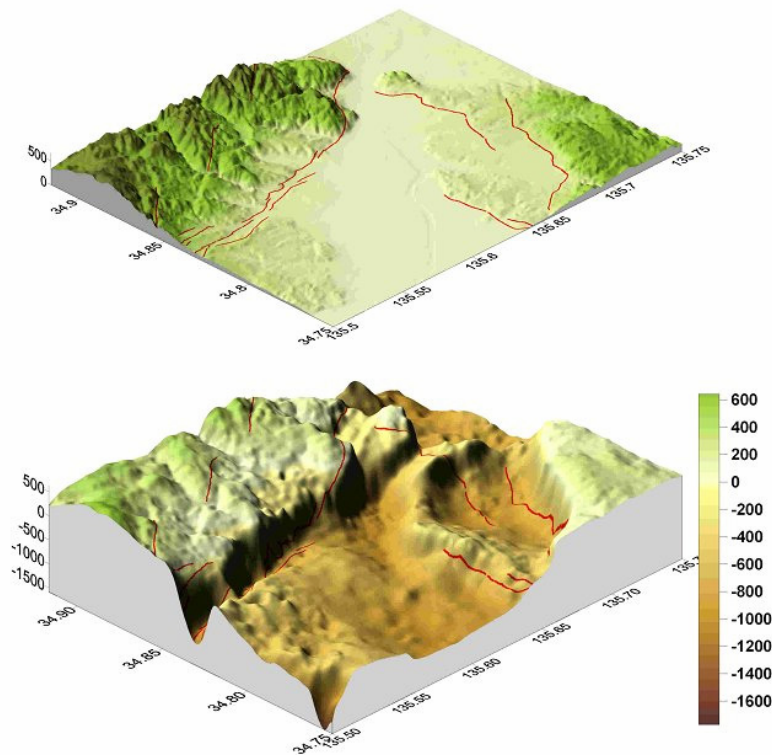


Fig.3 Bird's-eye view of surface topography and gravity basement seen from southwest.

Red lines show active faults.

(2) 枚方丘陵の西外縁から北外縁に沿うように湾曲して基盤が帯状に隆起しており、この隆起帯はさらに北東方向、男山の南の洞ヶ峠付近にまで延びている。枚方断層はこの隆起帯の西側斜面に対応する。隆起帯は枚方大橋付近で最も高く、標高は

-200~-250mである。この隆起帯の北西~西側で基盤は急峻に-1,000mまで沈降する。この沈降域は、高槻市、茨木市、摂津市、寝屋川市を含んでおり、西側の千里丘陵に向けて徐々に隆起している。

(3) 男山と生駒山系北端部を結ぶ八幡丘陵の下で基

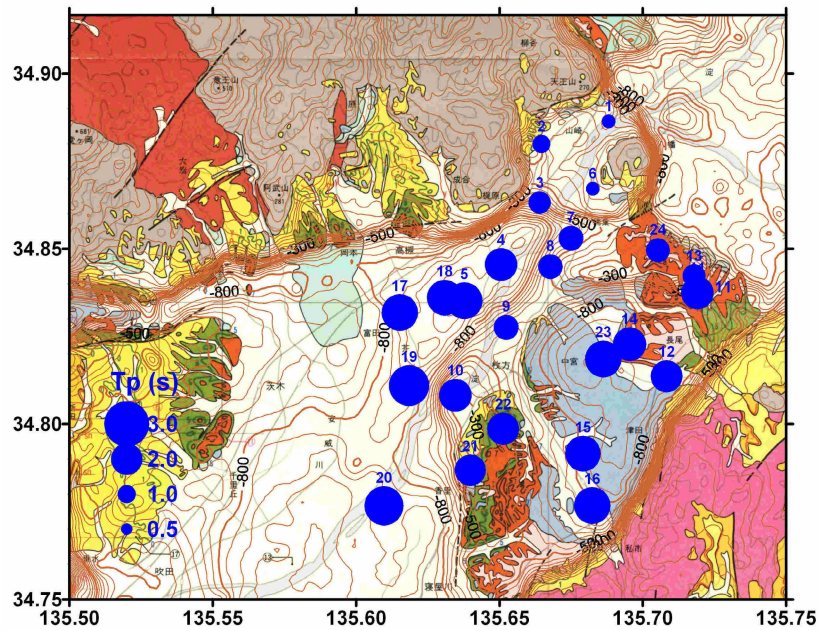


Fig.4 Location of observation sites of microseisms. Size of circle is proportional to peak period of H/V.
Contours show altitude of gravity basement.

盤は帯状に隆起している。洞ヶ峠付近で最も高く標高は約200mであるが、男山南麓では約400mまで、また生駒山系北麓付近では約600mまで沈降している。既に述べたように、男山南麓の沈降域は有馬一高槻構造線に沿う基盤沈降の東への延長である。また洞ヶ峠付近の隆起域は、枚方丘陵下の隆起帯の東への延長に連なっているように見える。さらに、洞ヶ峠付近から南西方向に基盤の支尾根が延びており、その西側斜面に田口断層が対応している。

(4) 南東部の交野断層に沿って基盤は急峻に沈降している。沈降域は枚方市南部~交野市に広がり、最深部は1,000mに達する。しかしこの基盤沈降域は(3)で述べた南西走向の隆起支尾根により2つに分かたれている。基盤は枚方丘陵下の隆起帯に向け北西方向に徐々に隆起している。

なおここで示した基盤図は、2006年11月までに測定された重力値に基づいてモデル化されたものである。基盤標高データは100m格子点で1cmの分解能で与えられている。

4. 脈動の観測と解析

Fig.4に脈動観測点の位置を示す。観測点は表層地質(沖積地/丘陵地)および重力基盤の位置(尾根部/基底部)や深さ、傾斜などの違いを考慮して選択した24地点である。各観測点では1秒速度型換振器を用い、交通機関など人為的な短周期のノイズを除去するために遮断周波数1Hzまたは3Hzのハイカットフィル

ターを介して、100Hzのサンプリングで約10分間記録した。観測は全て昼間である(交通ノイズは夜間の方が大きい場所が多い)。記録直後に現地でスペクトル解析を行い、交通機関や風の影響が大きいと判断される場合は再測した。

脈動の震動特性は上下動-水平動スペクトル比(H/V)のピーク周期(T_p)で評価する。H/Vは約80秒間の記録からF.F.T.により7枚のスペクトルを求め、水平各2成分およびそれらのベクトル和と上下動成分との比の平均値による。スペクトル計算区間は機械的に85秒ずつ移動して得ている。Fig.5にスペクトルとH/Vの例を示す。スペクトルは各観測点で計測した換振器の周期と減衰定数を用いて計器補正を施して得た地動速度スペクトルである。

5. 脈動の震動特性

基盤形状が横方向に不均質である場合、脈動の震動特性に異方性のあることが知られている。例えば、上高地盆地のような狭隘な構造では、構造の走行に平行な震動成分が励起されやすい(赤松ら, 2004b)。Fig.6は、水平2成分の座標軸を15度きざみで回転させて得たH/Vの T_p の方位分布である。数地点(Nos. 6, 11, 12 & 22)で、いびつな方位特性を示しているが、これらは計測時の風の影響と考えられる。その他にも弱い方位特性を示す点(Nos. 5, 9, 13, 14, & 15など)があるが、基盤傾斜の方向と系統的な関係はないようである。これらのことから、ここでは水平2成分

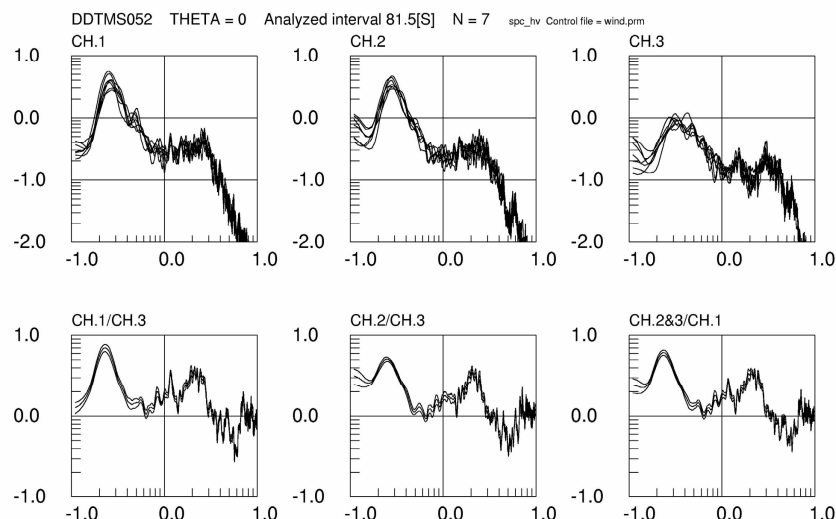


Fig.5 An example of spectral density of microseisms(upper panels) and horizontal-to-vertical spectral ratio(H/V) (lower panels) (Site No.19). CH.1, CH.2 and CH.3 are NS, EW and UD components, respectively. 7 spectra of about 80s intervals and their mean H/V with 1SD are shown.

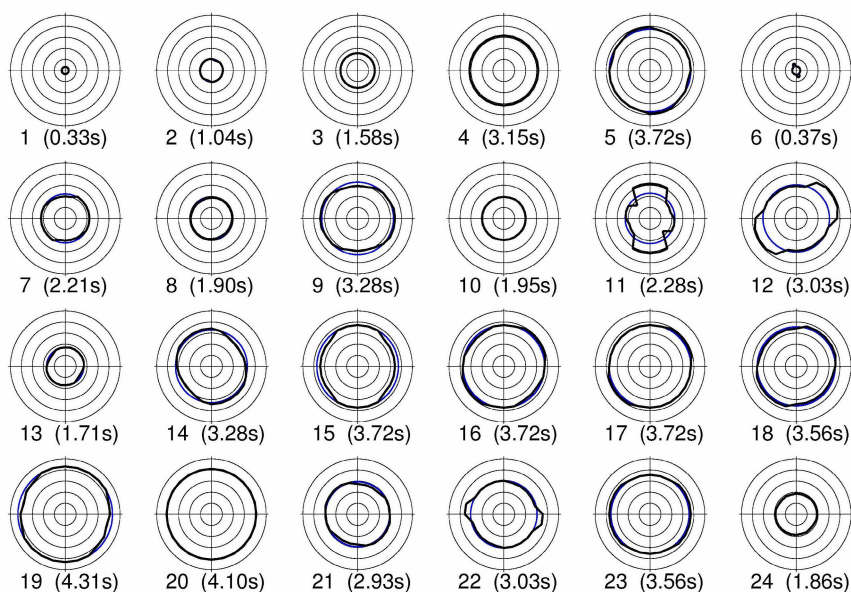


Fig.6 Azimuth deviation of peak period of H/V (bold black line). Blue circle shows mean of Tp. Mean Tp value is shown in parenthesis.

のベクトル和による H/V により T_p を求めた。

このようにして求めた T_p は、Fig.4 に各観測点の位置に○印の大きさで示されている。概ね基盤が深いほど T_p は長周期である。Fig.7 に基盤の深さと T_p との関係を示す。深さは半径 100m 以内の基盤の深さの平均値であり、深さの誤差棒は半径 300m 以内の最大と最小の基盤深である。また周期の誤差棒はピーク値の 70%の値の周期範囲を示す。概ね T_p は

基盤深と直線的関係を示すが、全体の傾向に比べ No.10 や No.21 などのように深さに比べ T_p が大きくなる地点がある。この原因として表層地質や基盤形状などが考えられる。Fig.7 では、これらを印の形と色とで区別して示してある。すなわち、沖積地の観測点は○印で、丘陵地の観測点は●印で、また、基盤の基底部は黒、尾根部は赤色、斜面上は青色で示してある。表層地質についてみると、沖積地(○)

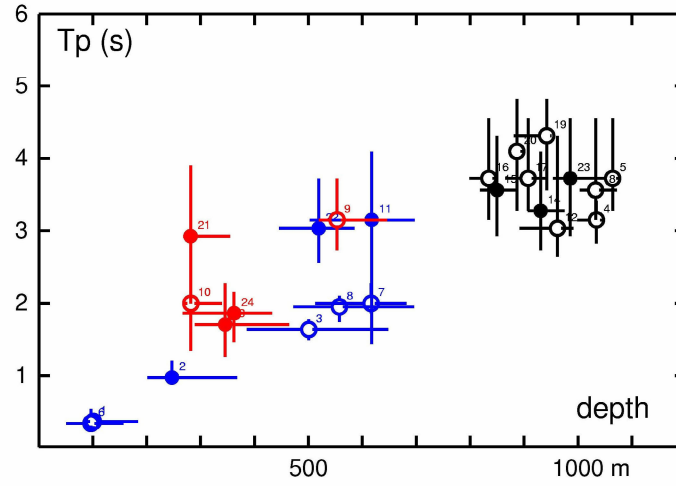


Fig.7 Relation between peak period of H/V and depth to gravity basement. Error bar shows depth range in an area within 300m and period range of 70% of peak value. Open circle: alluvial site; dot: terrace site. Black: site above bottom area of basement; red: site above narrow ridge of basement, blue: site above slope of basement and others.

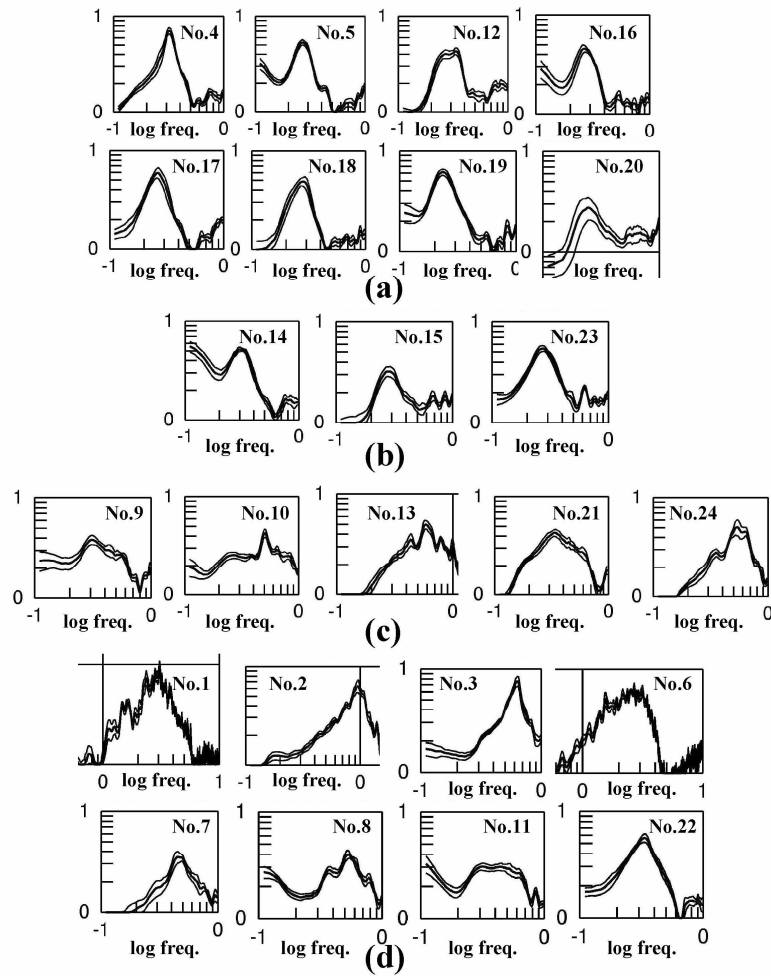


Fig.8 Grouping of H/V by condition of gravity basement under the observation sites:
(a) bottom area and alluvial site, (b) bottom area and terrace site, (c) narrow ridge, (d) slope area and others.

と丘陵地(●)の分布に偏りはない。むしろ基盤の尾根部分の観測点(赤印)が全体の傾向に比べ長周期であることが顕著である。すなわち、尾根部分では T_p は周囲の深い構造の影響を受けていることを示している。

このことを子細に検討するために、 H/V の形状を観測点の立地条件によってグループに分けて Fig.8 に示した。図の(a)は基盤の基底部で沖積地(主に淀川流域と寝屋川市)、(b)は基盤基底部で丘陵地、(c)は基盤尾根部、また(d)はその他の基盤の鞍部または斜面上である。基盤の基底部((a)と(b))では、沖積地と丘陵地の表層地質の違いに関係なく H/V は帯域幅の狭い単一のピークを形成している。基盤尾根部の(c)グループには沖積地(Nos.9&10)と丘陵地(Nos.13, 21&24)とが含まれるが、表層地質に依らずピークの幅は広く複雑な形状を呈している。(a)グループのNo.12 は、このグループの中では例外的にやや複雑なピーク形状を示しているが、形は(c)グループとは明らかに異なっている。(d)グループの H/V の形状はいろいろである。しかしこの中で特に幅広の形を示す No.11 の位置は、基盤の斜面上ではあるが尾根筋に近い。このため(c)グループに似た形を示したものと考えられる。(c)グループの H/V の複雑な形状は、基盤の尾根部の上では基底部に比べ波動が単一の震

動モードを形成し難いことを示すものと解される。なお、0.2Hz 以下の低周波数域で H/V の値が増加している地点があるが、これはトラックなどの車両の通過や風の影響などを受けたものである。

以上の解析結果は、地震波速度構造に規制される脈動の震動特性が密度分布を反映する重力基盤構造により解釈できることを示している。

6. 基盤構造による地震動増幅域

前節で重力基盤により波動場が議論できることが確認されたので、基盤構造による波線集中を3次元スネルの法則(Spirtus, 1978)を用いて計算し地震動増幅域をマッピングする。計算では波線が入射する境界面の最大傾斜の方位と傾斜角とが必要である。これらは半径 300m 以内の基盤標高で回帰される平面で与えた。Fig.9 に境界面傾斜角の分布を示す。盆地境界付近での最大傾斜は 60° 以上である。枚方大橋付近の直下では 40° に達する。

重力基盤構造は基盤と堆積層1層とでモデル化されているので、これに対応する地震波伝播速度を Table 1 のように与えた。Fig.10 に震源域として山崎断層帯(方位 270°)、琵琶湖西岸断層帯(30°)、南海道地震(180°)、奈良盆地東縁断層帯(135°)を想定し

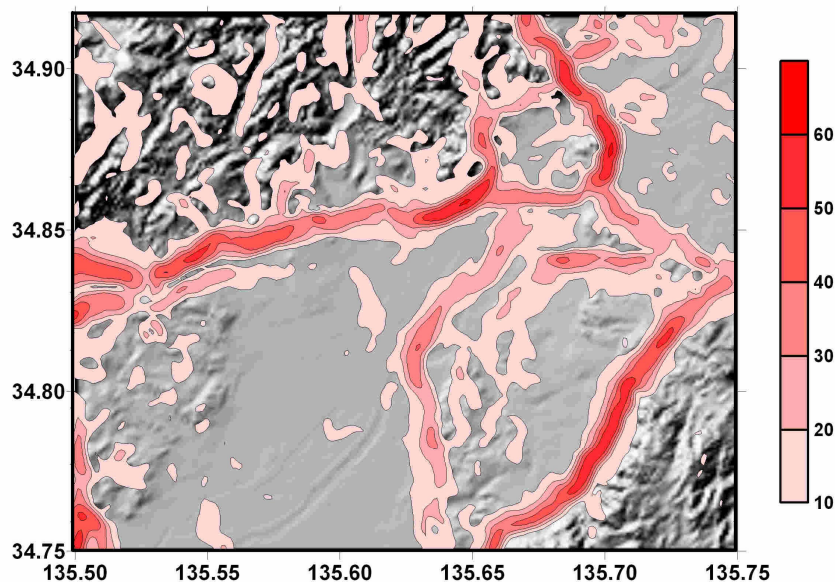


Fig.9 Dip angle of surface of gravity basement.

Table 1 Velocity model for 3D Snell's law

	Vp(m/s)	Vs(m/s)
Sediment	2000	1000
Basement	4500	2400

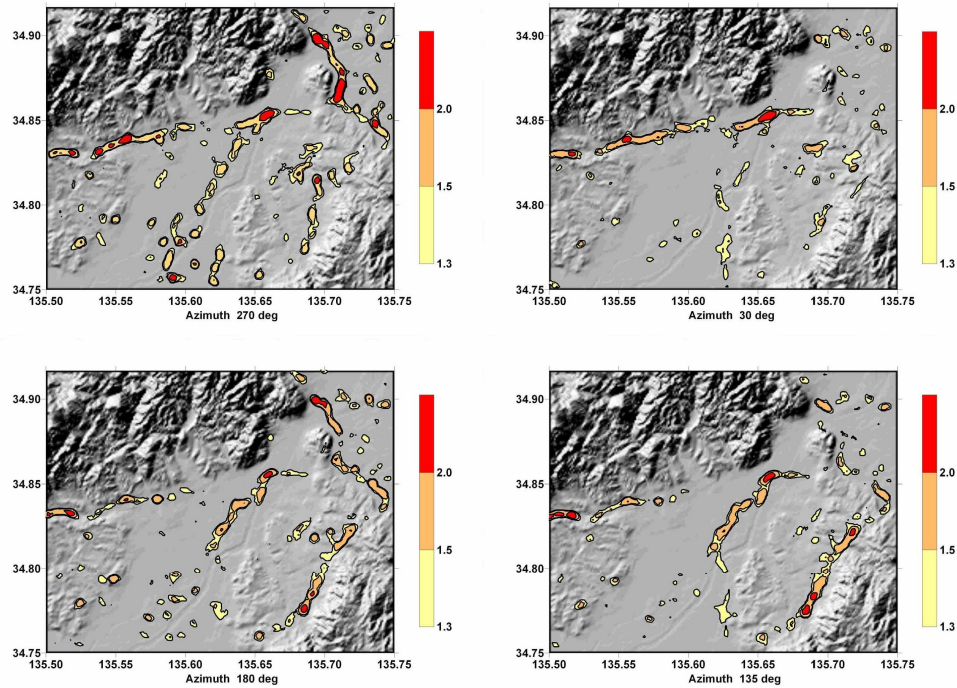


Fig.10 Distribution of ray density of refracted S waves for plane S wave incidence with various back azimuths.

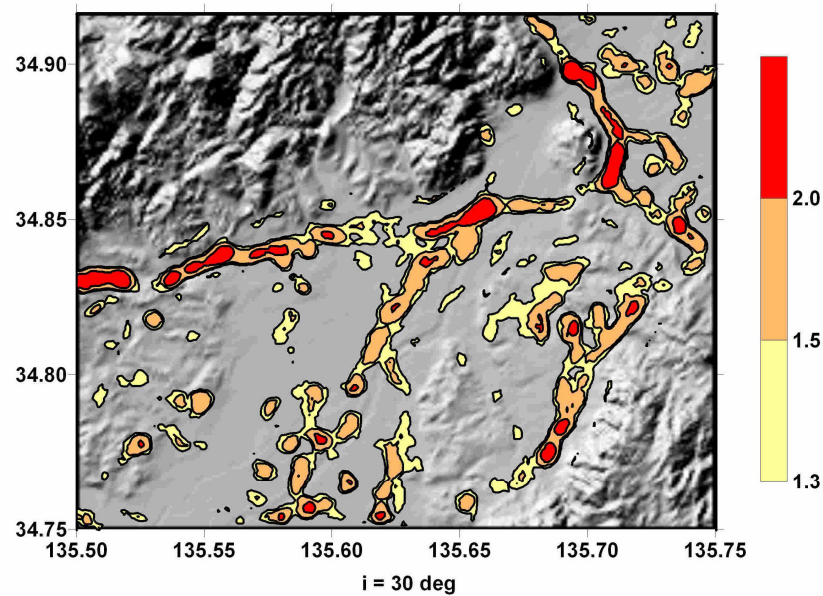


Fig.11 Risky zone of strong motions (overlap of various back azimuths in Fig.10).

て得られた波線の密度分布を示す。平面 S 波が鉛直に対する入射角 30° で入射したとして、地表面での屈折 S 波の波線密度を表す。入射波線を 100m メッシュで与え、屈折波の密度を地表面における半径 300m 以内の波線数から換算した(波線集中が生じない場合の密度 = 1.0)。波線密度の最大値は入射方位により若干異なり、2.5(方位 135°)~3.3(方位 270°)である。波線集中域の分布は、屈折方位が 3 次元構

造に支配されるため、波の入射方位によって違っているが、有馬-高槻構造線、交野断層、枚方断層、京都盆地西縁断層帯などに平行して、概ね入射波の進行方向に対して基盤の沈降側に波線集中が起きている。ただし、有馬-高槻構造線に沿う地域の西部と東部とでは、基盤が湾曲したグラーベン状の凹地を形成しているため、いずれの方位の地震に対しても波線密度が大きい。

Fig.11 に上記 4 つの波線密度分布の最大値を示した。この図はいろいろな方位で起こる地震を想定し、基盤構造による地震動増幅域をマッピングするものである。ここでの計算は波の位相による干渉などを考慮していない波線密度分布だけであるので、強震動生成の必要条件—すなわち、基盤による強震動生成の危険性(可能性)—を示すものである。被害予測の観点からは、Fig.11 に示された基盤構造による強震動生成危険域の中でも、沖積層の厚く堆積する地域（淀川右岸など）は特に注意すべき地域と考えられる。また、基盤構造に起因する強震動生成を検証するための地震動観測が必要であろう。

7. まとめ

大阪盆地北東部で脈動観測を行い、その震動特性が重力基盤構造と整合性を有するか検討した。脈動の上下動-水平動スペクトル比(H/V)による震動特性は以下のである。

(1) H/V の卓越周期(T_p)には基盤岩の 3 次元構造に係する異方性はほとんど認められない。

(2) T_p は概ね直下の基盤の深さに依存する。 T_p と深さとはほぼ直線的な関係を示すが、基盤の基底部と尾根部とでは系統的に異なる。すなわち、基盤の尾根部の T_p は周囲の深い基盤構造を反映して長周期に移行する。

(3) 基盤基底部直上の H/V の形は急峻な単一のピークを有するが、尾根直上ではピークの幅は広く複雑な形を呈する。尾根直上では単一の震動モードが形成され難いと推測される。

(4) H/V の形や T_p において、沖積地と丘陵地の表層地質の違いによる系統的な違いは顕著にはみられない。

以上の結果から、大阪盆地北東部においては脈動の震動特性が密度分布を反映する重力基盤構造により解釈できることが確認された。このことは重力基盤構造が地震動予測の資料として活用できることを示している。

次に、重力基盤構造の波動場計算への適用の例として、種々の方位から伝播する平面 S 波入射について、基盤境界屈折 S 波の地表面における波線密度の地域分布図を 3D スネルの法則を用いて計算し、地震動増幅域のマッピングを行った。これは、地震の震源域を想定し強震動生成の必要条件—すなわち、基盤による強震動生成の危険性—を示すものである。

この結果、

(5) 想定した地震の位置により強さの違いはあるが、有馬-高槻構造線、交野断層、枚方断層、京都盆地西縁断層帯などに平行して帯状の震動増幅域が生成する。

(6) 有馬-高槻構造線に沿う地域の西部および東部は、基盤が湾曲したグラベン状の凹地を形成しているため、いずれの方位の地震に対しても震動増幅域になる。

(7) 枚方断層に係する基盤構造に起因する震動増幅域は淀川右岸に沿っており、厚い沖積層と相俟って特に強震動が生成される可能性がある。

基盤構造によるこのような強震動生成域の存在を地震観測記録に基づいて検証する必要がある。

参考文献

赤松純平・駒澤正夫(2003)：京都盆地の地盤震動特性と重力基盤，京都大学防災研究所年報，46-B，929-936.

赤松純平・駒澤正夫・中村佳重郎・西村敬一(2004a)：京都・奈良盆地系の重力基盤構造について，京都大学防災研究所年報，47-B，871-876.

赤松純平・諏訪 浩・市川信夫・駒澤正夫(2004b)：重力異常と脈動の震動特性からみた上高地盆地焼岳山麓の基盤構造，京都大学防災研究所年報，47-B，877-882.

赤松純平・中村佳重郎・西村敬一・駒澤正夫(2007)：重力データを用いた地殻密度構造，大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 18 年度成果報告書，641-648.

市原実・吉川周作・三田村宗樹・林隆夫(1991)：12 万 5 千分の 1 「大阪とその周辺の第四紀地質図」，アーバンクボタ，30.

岡田篤正・東郷雅美(編)(2000)：近畿の活断層，東京大学出版会.

国土地理院(2000)：数値地図 50m メッシュ(標高)CD-ROM 版.

SPIRTUS, V. B.(1978): On calculation of the free surface displacement due to P wave, incident from below on an inclined layer boundary (in Rus), Geophys. Sbornik AN UKSSR, 83, 72-78.

On the Relation between Ground Vibration Characteristics Inferred from Microseisms and Gravity Basement Structure in the Northeast Part of Osaka Basin

Junpei AKAMATSU, Kajurou NAKAMURA, Keiichi NISHIMURA* and Masao KOMAZAWA**

* Okayama University of Science, Faculty of Informatics

** Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation

Synopsis

We constructed 3D-basement model of one soil-layer over bedrock of half-space using newly obtained Bouguer gravity anomaly in the northeast part of Osaka basin. The structure is characterized by steep subsidence of bedrock along not only well-known Arima-Takatsuki Tectonic Line and Katano Fault (a branch of Ikoma Faults), but also buried Hirakata Fault as well. The depth to basement reaches up to 1,000m in the area. Vibration characteristics of ground inferred from microseisms were discussed with the model. We obtained roughly a linear relation between the depth to gravity basement and the peak period of H/V (horizontal-to-vertical spectral ratio) of microseisms. However, peak period shifts longer and spectral shape of H/V becomes complicated at sites above the narrow ridge of basement, reflecting deeper structure around the ridge sites. It is considered from the analysis that, a wave field in the area can generally be discussed with the gravity basement model. For microzoning issue, we mapped risky zone based on 3D-focusing of seismic rays due to relief of basement. Possible strong motion zones lie along the basin edges and the buried ridge of basement along the Hirakata Fault. Special attention is necessary to the zones with thick soft alluvial along the Yodo River.

Keywords: 3D Gravity basement, H/V of microseisms, fault related bedrock structure, focusing of seismic rays, seismic microzoning