

ESTIMATION OF QUATERNARY STRUCTURE  
OF FUKUI PLAIN BASED ON MICROTREMOR  
OBSERVATION

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2009-10-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小嶋, 啓介, 山中, 浩明, KOJIMA, Keisuke, YAMANAKA, Hiroaki メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10098/2180">http://hdl.handle.net/10098/2180</a>

# 常時微動観測に基づく福井平野の 第四紀層構造の推定

小嶋 啓介<sup>1</sup>・山中 浩明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 福井大学助教授 工学部建築建設工学科 (〒910-8507 福井市文京3-9-1)

E-mail:kcisuke@anc.anc-d.fukui-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 東京工業大学助教授 大学院総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田4259)

本研究では、常時微動観測に基づいて、福井平野の沖積層および洪積層厚さを推定し、既存情報との比較、検証を行っている。福井平野周辺を覆う1分間隔のグリッドごとに、地表の3成分常時微動測定を行い、フーリエおよびH/Vスペクトルから、観測点ごとの卓越周期ならびにH/V倍率を特定した。平野部における常時微動は、沖積層最下面に起因する短周期側の卓越周期と、第四紀層最下面に起因する長周期側の卓越周期が存在することを確認した。微動観測から求められた卓越周期と、仮定したS波速度構造により、沖積層および洪積層の厚さを推定し、福井平野の第四紀層構造モデルを提案した。提案した構造と、ボーリング、重力異常および強震観測などに基づく地盤構造を比較し、微動観測に基づく地盤構造推定の可能性を検討した。

**Key Words :** *microtremor, H/V-spectra, Fukui plain, Quaternary system, microtopography*

## 1. まえがき

戦災復興期の1948年6月28日に発生した福井地震(M=7.1)では、福井平野周辺の多くの集落で、家屋の倒壊率が100%近い未曾有の被害に見舞われた。福井地震は気象庁震度階7が制定される契機となったことで有名であるが、地震被害と土質・地形との密接な関係が初めて定量的に示された地震として学術的に重要である。北陸震災調査特別委員会による家屋の倒壊率の調査<sup>1)</sup>によれば、倒壊率50%以上の範囲と沖積平野がほぼ対応していること、倒壊率60%以上の福井市の市街地周辺において、基盤岩が露頭している足羽山周辺では例外的に被害が見られないなど、地盤特性と地震被害との密接な関係を象徴的に示す事例を多数あげることができる<sup>2), 3)</sup>。

兵庫県南部地震以来、各地で地震被害予測が精力的に実施されているが、福井県についても、福井地震断層と敦賀断層の活動を想定した地震被害予測を実施している<sup>4)</sup>。地震被害予測に際しては、地震断層の想定とともに、予測地域の動的地盤構造の的確な評価は最重要項目の一つであり、対象領域の個別

層ごとのS波速度、Q値、層厚、密度および構成特性の非線形性などが的確に評価できるかどうかによって、地震被害予測の精度が決定付けられるといっても過言ではない。しかしながら福井平野では、局所的な弾性波探査<sup>5), 6)</sup>以外に、平野全体の3次元構造の解明を目的とした組織的な探査は実施されておらず、地震被害予測<sup>4)</sup>に際して利用された地盤モデルも、削井工事情報、ボーリングデータ、微地形ならびに表層地質などを基に推定されたものであり、地盤構造として信頼性が高いとは言い難い。近年、福井平野の地盤構造探査資料として、福井平野東側断層帯調査<sup>7), 8)</sup>の際に実施されたP波およびS波反射法探査が加わったが、福井平野全体の地盤構造の解明にはほど遠いといわざるを得ない。

一方、福井平野周辺でも、重力異常、強震観測、常時微動のアレイ観測などに基づいて地盤構造を推定する逆解析的手法の適用事例が蓄積されつつある。小林ら<sup>9)</sup>は、福井平野北部で高密度重力異常測定を行い、2次元タルワ二法によって地下構造の推定を行っており、山中ら<sup>10)</sup>は、Rayleigh波の位相速度を評価関数とするインヴァージョンから、福井平野の

地震基盤までのS波速度構造を検討している。筆者ら<sup>1)</sup>も、福井大学の強震鉛直アレイと、福井平野に展開した数箇所の表層での観測情報に基づいて、観測点直下のS波速度、Q値ならびに層厚を推定する方法を提案し、福井平野の東西断面の地盤構造の推定を試みている。しかしながら、広範な領域の高密度観測は、限られた予算と人員では多くの困難を伴うと考えられる。これに対し、常時微動の地表面3成分観測は、1人でも短時間に実行できる機動性を有していること、Nakamura<sup>12)</sup>による鉛直水平スペクトル比(H/Vスペクトル)の導入により、地震増幅特性の概要が容易に推定できるとされることから、多くの適用例が報告されている(例えば13)。

本研究では福井平野を対象とし、平野全体を覆うグリッドごとに、地表の3成分常時微動測定を行い、収集されたスペクトル特性およびH/Vスペクトルから、観測点ごとの固有周期ならびにH/V倍率を特定するとともに、判読された固有周期に4分の1波長則を適用し、沖積層および洪積層の厚さを推定し、福井平野周辺の第四紀構造モデルを提案する。求められた第四紀構造を、弾性波探査に基づく反射面、ボーリングデータ、重力異常結果などと比較検討し、福井平野周辺の地盤構造推定の可能性を検討する。

## 2. 常時微動測定および解析

図-1は、福井平野周辺の表層地質図である<sup>4)</sup>。福井平野は、西部の丹生山地と東部の加越・越前中央山地の間で、南北約25km、東西約10kmの広がりを持ち、日野川、足羽川を支流とする九頭竜川水系が形成した典型的な沖積平野である。平野の外側は新第三系の堆積・火山岩類(Tr)が取囲み、一部沖積礫質土(g)および砂質土(s)が見られるが、平野表層の大部分は沖積粘性土(m)で覆われていることがわかる。また、図中の・20などの数値は、沖積層最下面の標高を示しており、九頭竜川水系の下流に向かって低くなり、福井市市街地付近では20~30m、河口付近では50m以深の深さに達している。図-1に示した四角の枠は、地盤構造の推定範囲(常時微動の観測範囲)のうち南部の一部を除いた領域を示している。観測領域を一分ごとに、南北を約1,850m間隔のA~Wの23区間、東西を約1,500m間隔のa~jの10区間の、合計230のグリッドに分割し、グリッドごとに常時微動観測を行った。常時微動計測には、3成分地震計(Akashi: JEP6A3)と地震観測用データロガー(白山工業: LS8000-SH)を組み合わせて用いた。NS、EWの水平2方向と上下方向

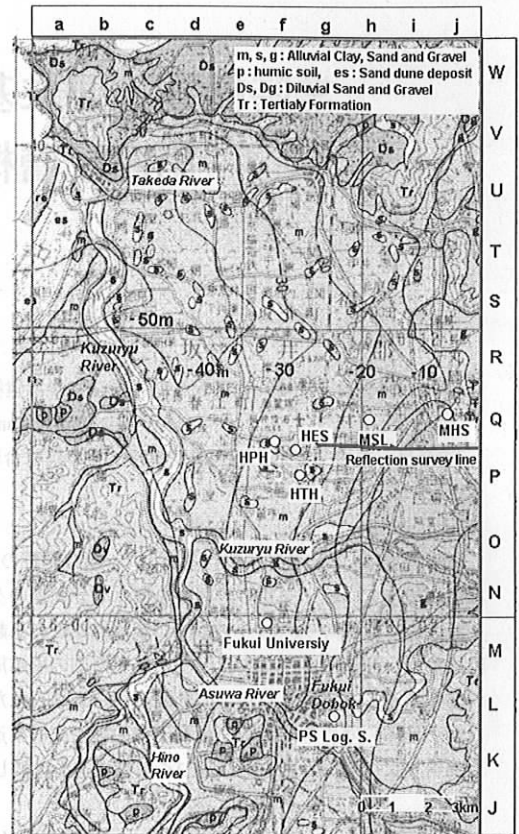


図-1 福井平野の表層地質ならびに  
微動観測範囲(福井県<sup>4)</sup>に加筆)

の3成分について、サンプリング周波数100Hzで、約340秒間の微動を収録した。測定データからノイズの少ない40.96秒の区間を5セット抽出し、フーリエ分析を行い、1Hz以下で0.1Hz、1Hz以上で0.3Hzのバンド幅のParzenウィンドウ処理を行った。H/Vスペクトルは、NSおよびEW成分の相乗平均をUD成分で除して求めた。

図-2は図-1に示した強震観測点 HPH, MSL および MHS で2001年度に観測された気象庁マグニチュード3.3~6.4、震源距離16~360kmの15地震のH/Vスペクトルの平均と分散を示している。一方、図-3は、上記強震観測点を含むグリッドである Pf, Qh および Qi で観測された常時微動のフーリエスペクトルおよびH/Vスペクトルを示している。強震と常時微動のH/Vスペクトルを比較すると、倍率の絶対値では微動の方が小さく、短周期側の傾向はやや異なるが、比較的似かよった形状を有しており、明確なピーク周期は両者で共通に認められ、例えば HPH と Pf を比較すると、強震では0.6と1.9秒に、微動では0.6と2秒付近にピークが確認できる。Qh および Qi では平野境界部に近く第四紀層も薄くなるため、0.2秒以下の短周期成分が増加する

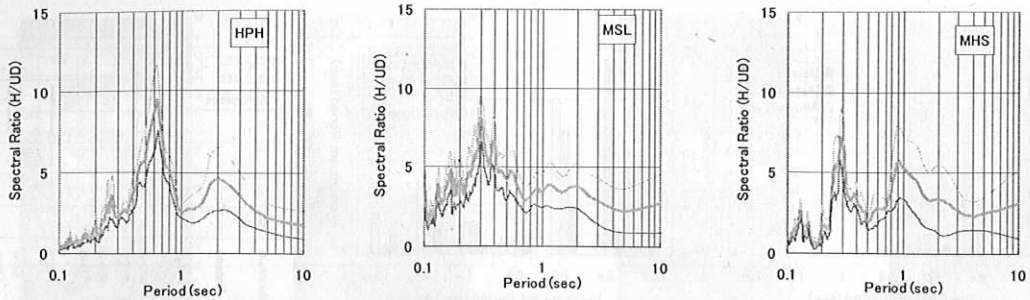


図-2 強震観測点において2001年度中に観測された強震動のH/Vスペクトルの平均と分散

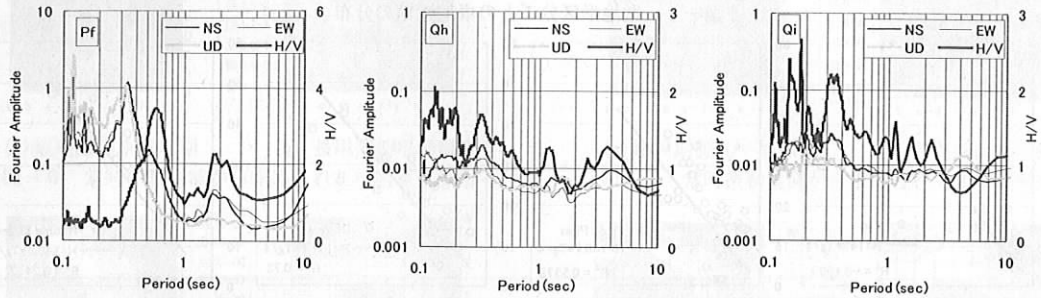


図-3 強震観測点近傍の常時微動のフーリエスペクトルおよびH/Vスペクトル

が、強震で見られる0.3および1秒付近のピークを読み取ることができる。これらと同様に、平野部に対応する大部分の観測点では、Pfの0.6秒と1.9秒で見られたように、短周期側と長周期側で、比較的明瞭な2つのピークが判読された。以上から、福井平野における観測についても、常時微動のH/Vスペクトルは、強震動のそれと同様の特性を有しており、H/Vが地盤の増幅特性を近似していることを認めれば、微動観測から観測地点の卓越周期を読み取れる可能性があることがわかる。

図-1に示したグリッドごとの観測点の卓越周期の判定に際しては、今岡<sup>1,3)</sup>が愛知県周辺の微動観測に適用した事例を参考に、水平動およびH/Vスペクトルの両者が近接して卓越していることを確認して、H/Vスペクトルのピーク周期を読み取ることを基本とした。近接した卓越周期が見出せない場合には、H/Vのピーク周期を優先して判読した。H/Vスペクトルに明瞭なピークが存在しない場合には、水平動のピークに対応するH/Vの極大値から、地形区分および周辺グリッドの卓越周期も考慮して判定したが、そのような点は全体の1割以下であった。

### 3. 福井平野の地盤構造の推定

#### (1) 常時微動の卓越周期分布

観測地点の微地形区分は、北陸農政局による広域農業開発基本調査報告<sup>1,4)</sup>と、国土庁国土調査課に

よる地形分類図<sup>5)</sup>から、観測地点が各微地形区域内に存在するか否かで判読した。地形区分ごとの観測点数は、山地：51、台地：24、扇状地：25、自然堤防：15、氾濫原：60、三角州：53、砂丘：2である。福井県地震被害予測調査報告書<sup>4)</sup>には、上記資料の情報に、県が収集したボーリングデータを加えて作成した沖積層および洪積層最下面深度が掲載されている。使用されたボーリングデータは、全県で約2,200箇所であるが、市街地および幹線道路周辺に偏在しており、農地等が広がる地域の信頼性は低い。さらに100mを超えるボーリングは全体の1割以下で、特に平野部で第三紀層に達するデータは極端に少なく、洪積層についての情報は十分とはいえない。しかしながら以下では、福井県による沖積層ならびに第四紀層厚さを、便宜上「ボーリングデータに基づく」沖積層、第四紀層厚さと呼ぶ。

図-4は、微地形分類ごとの短周期側の卓越周期の頻度を示している。図(a)は台地などの硬質と思われる地形、図(b)は氾濫原、三角州などの軟弱と思われる地形区分ごとの出現頻度を示している。山地および台地では0.2秒までに集中しているのに対し、扇状地、氾濫原、三角州と下流側に向かうに従い、微動の卓越周期は徐々に長周期側にシフトし、広範囲に分布するようになることが確認できる。図(c)は、微地形ごとの固有周期の平均値と標準偏差を示している。自然堤防については氾濫原に比較して卓越周期がやや長くばらつきも大きい。これは自然堤防地域が、氾濫原や三角州内に隣接した狭く湾曲した

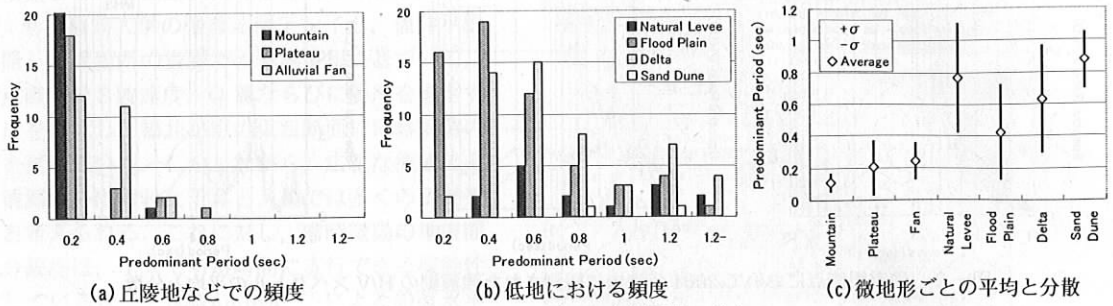


図-4 微地形区分ごとの卓越周期の分布

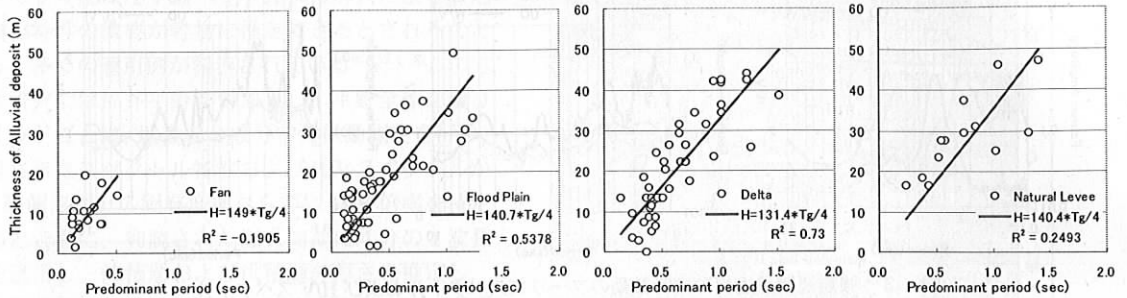


図-5 微地形区分ごとの卓越周期とボーリングデータに基づく沖積層厚との関係

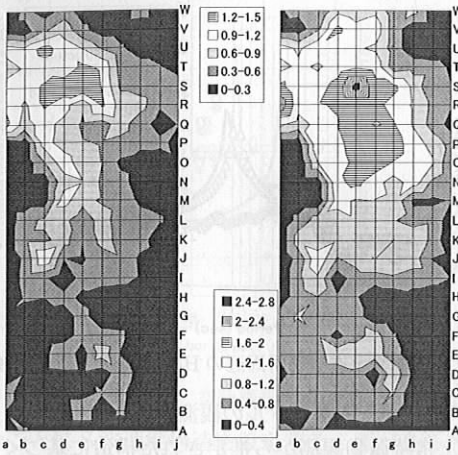
小領域として散在しているため、隣接する地形の効果が観測結果に混在した可能性があること、自然堤防と区分された観測点が15箇所と少ないことなどの影響が現れたことによるものと思われる。図-1に示されているように、福井平野周辺についても、九頭竜川水系の下流に向かって、台地、扇状地、氾濫原、三角州の順に位置しており、この順に地質は軟弱となり、堆積層は厚くなり、ひいては卓越周期も長くなる傾向にあると考えられ、図-4の観測結果はこの傾向に対応したものとなっている。

図-5は、常時微動から観測された短周期側の卓越周期と、ボーリングデータに基づく沖積層厚さを、微地形区分ごとに示したものである。山地、台地については、沖積層が存在しない領域が多いこと、砂丘についてはデータが少ないことから示していない。扇状地ではややばらつきが大きい。氾濫原、三角州地域では、卓越周期と沖積層厚に明瞭な相関が認められる。図に示す式は、地形ごとの沖積層が、平均的なS波速度を持つ単一層からなると仮定し、4分の1波長則を適用して、層厚Hと卓越周期 $T_g$ との相関を表したものである。図に示すように、回帰分析から求められた平均S波速度は、三角州、氾濫原および扇状地で、それぞれ131, 140, 149m/secであり、上流側に向かって大きくなる傾向が認められる。なお、沖積層が存在する全観測点の平均S波速度は、139.0m/secという値が得られた。図-4および5に示した結果から、微動から求められた卓越周

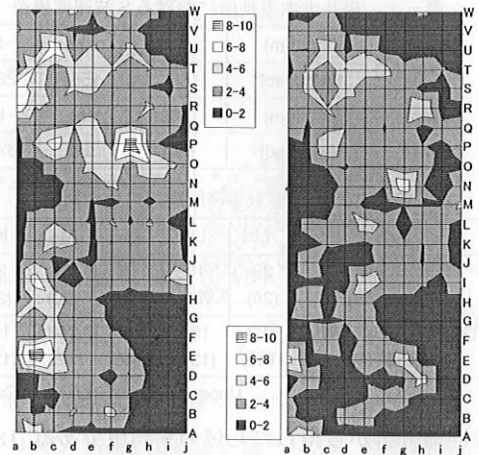
期は、地形区分、層厚などを的確に反映しており、微動から堆積層厚が推定できる可能性を示唆しているものと考えられる。

## (2)卓越周期に基づく堆積層厚さの推定

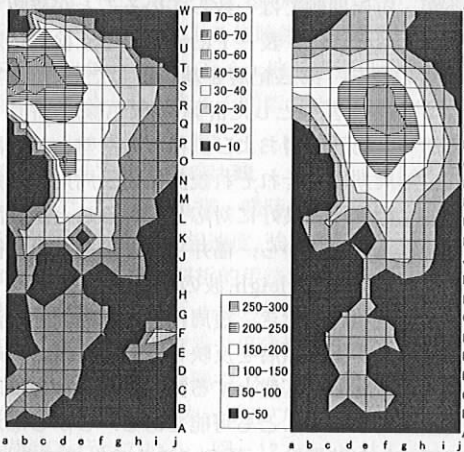
前章の図-3で示したように、平野部に位置する観測点では、短周期側と長周期側で比較的明瞭な2つのピークが読み取れた。図-6は、短周期側と長周期側で読み取られた卓越周期の観測領域全体の分布である。図-7は、短周期側と長周期側の卓越周期に対応するH/V倍率の分布を示している。短周期側のH/V倍率は、図-1に示した九頭竜川、日野川および竹田川の河道周辺で大きめではあるが、卓越周期との間には明確な傾向が読み取れない。長周期側についても、山地・台地部分と平野部分との境界は明瞭に現れているが、卓越周期や微地形との関係は不明確である。一方図-8は、福井県によるボーリングデータに基づく地盤構造であり、図(a)は沖積層、図(b)は第四紀層全体の厚さを示している。図-6(a)に示した短周期側の卓越周期は、沖積層厚と極めて類似した分布形状を示しており、図-1で示した山地部では短く、平野部で0.3秒以上となり、平野北部では1.5秒前後と、九頭竜川の下流に向かって長くなる傾向が認められる。一方、長周期側の卓越周期と第四紀層厚さの分布にも類似した形状が見られ、最大値は短周期側より東の平野中央部よりに見出され、そこに向かって一様に大きくなるような



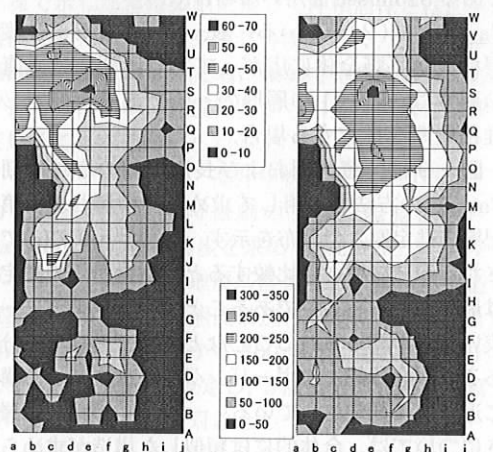
(a) 短周期側卓越周期 (b) 長周期側卓越周期  
 図-6 常時微動観測から求められた卓越周期分布



(a) 短周期側 H/V 比率 (b) 長周期側 H/V 比率  
 図-7 常時微動観測から求められた H/V 比率分布



(a) 沖積層厚さ (b) 第四紀層厚さ  
 図-8 ボーリングデータに基づく層厚分布(福井県<sup>4)</sup>より)



(a) 沖積層厚さ (b) 第四紀層厚さ  
 図-9 常時微動の卓越周期から推定した層厚分布

傾向が認められる。以上から、短周期側の卓越周期は、図-4、5で示したように微地形、ならびに上述の沖積層厚さと相関が深いように思われ、長周期側の卓越周期は第四紀層厚と関連しているように判断できる。本研究では、短周期側は沖積層最下面、長周期側は第四紀層最下面に起因する卓越周期と仮定し、次の2式から層厚の推定を試みる。

$$T_g^O = 4 \frac{\alpha \sum H_i^R}{\sum_{i=1}^n (V_{S_i}^R \cdot H_i^R)} = 4 \frac{H^O}{V_S^*} \quad (1)$$

$$T_g^O = 4 \sum_{i=1}^n \frac{\alpha H_i^R}{V_{S_i}^R} \rightarrow H^O = \alpha H^R = \frac{T_g^O}{T_g^R} H^R \quad (2)$$

ここに、 $T_g$ ：微動観測地点の短、長周期側の卓越周期、 $H_i$ 、 $V_{S_i}$ ：層*i*の層厚とS波速度、 $n$ ：層数、 $H$ ：

沖積層厚さあるいは第四紀層厚さ、 $O$ 、 $R$ ：観測点およびS波速度構造が明らかな参照地点を表す添え字をそれぞれ示す。式(1)は、厚さを重みとする平均S波速度 $V_S^*$ と全層厚から卓越周期を求める方法であり、式(2)はS波の通過時間に基づく道路橋示方書による方法である。式(1)あるいは(2)を用いて層厚を推定するためには、観測地点のS波速度と層構成を仮定する必要がある。しかしながら福井平野周辺では、P S検層が数ヶ所しか行われておらず、特に第三紀層基盤に到達しているのは、福井県による福井土木事務所(図-1参照)で行われた探査(表-1)のみである。ここでは、研究の第1段階として、次のようにして層厚の推定を試みた。

Case-1：式(1)を用いる。沖積層厚を求める際の平均S波速度 $V_S^*$ としては、前節で示した微地形ごと

表-1 福井土木事務所におけるS波速度構造

Alluvial Deposit	Depth(m)	~4	~16	~24
	Vs(m/sec)	80	155	225
Delvial Deposit	Depth(m)	~32	~55	~150
	Vs(m/sec)	590	290	670

表-2 福井土木事務所周辺の推定層厚

Grid	Lf	Lg	Lh	Mg	Kg
Depth of Alluvial deposit (m)	29 (28)	19 (18)	18 (17)	21 (20)	21 (20)
Depth of Quaternary Deposit (m)	163 (140)	154 (132)	167 (143)	146 (125)	159 (136)

Upper : Case 1, Lower : Case 2

の回帰分析から得られた値の平均値である 139.0 m/sec を用い、第四紀層厚を求める場合には、表-1 で示したPS 検層結果の洪積層のS波速度の平均である 525m/sec を用いる場合。

Case-2 : 式(2)を用いる。表-1 で示すS波速度の層構成が平野全体に広がっており、観測地点直下の層厚は、表-1 の層厚の $\alpha$ 倍であると仮定して堆積層厚を推定する場合。

図-9 は、短周期および長周期側の卓越周期に Case-1 の方法を適用して求めた沖積層および第四紀層の推定厚さの分布を示す。図-8 と9の(a)で示される沖積層深さを比較すると、微動からの推定値は最深部が内陸よりであること、平野中央部に一部浅い凸部が認められることなど細部で異なる部分もあるが、全体的にはボーリングデータに基づく構造に近い値に推定されている。一方図(b)の第四紀層深さについては、全体的には類似した構造が求められているが、50~100m の範囲が平野南部に広く分布していることに代表されるように、微動に基づく推定値の方が、全体的にやや厚めに推定されている。平野北部の第四紀層の最深部に着目すると、図-8 (b)では基盤岩に達するボーリングデータが少ないこともあり、比較的単純な1つの谷状に推定されているのに対し、図-9 (b)では、凹部が2箇所推定されている。

表-2 は福井土木事務所が属するグリッド Lg とその周辺のグリッドの推定沖積層および第四紀層厚さを示している。上段に示した Case-1 による推定結果は、表-1 に示した同地点の実測値である 24 および 150m に比較的近いが、沖積層がやや浅めに、第四紀層はやや厚めに推定されている。一方 Case-2 では、過小評価する傾向が認められ、図-9 と同様の整理をしても、全体的にボーリングデータを過小評価する傾向がみられた。

図-10 は福井土木事務所が属するグリッド Lg に

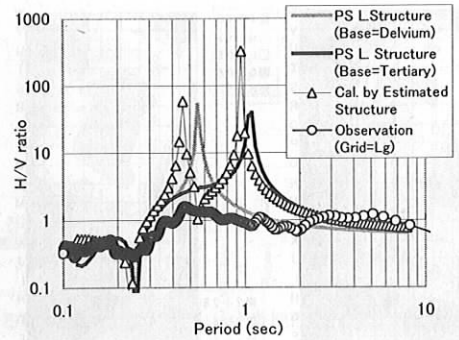


図-10 福井土木事務所周辺の H/V スペクトルの比較

における、H/V スペクトルの観測値(O)と、表-2 に示した常時微動観測から推定された構造に基づく、Rayleigh 波の理論 H/V スペクトル( $\Delta$ )の比較である。観測値と計算値の卓越周期は、長周期側で若干ずれているが、短周期側では一致していることが確認できる。また同図には、表-1 に示した PS 検層に基づく構造のうち、第三紀層を基盤とした計算値(実線)と、洪積層を基盤とした計算値(灰色線)も併せて示してある。第三紀層および洪積層を基盤とした計算値の卓越周期は、それぞれ観測値の長周期側と短周期側の卓越周期と良好に対応していることが確認できる。以上の結果から、福井平野で観測された微動の卓越周期は、Rayleigh 波の理論 H/V スペクトルによって概ね説明でき、短周期側の卓越周期は洪積層を基盤とする沖積層を反映し、長周期側の卓越周期は、第三紀層を基盤とする第四紀層全体に反映したものと解釈することも可能である。しかしながらここで示した結果は、一観測点のみのものであり、福井平野全体の微動観測結果を説明できるとは限らず、今後同様の検討を蓄積して議論する必要があると考えられる。

図-11 は、山地を除いた領域全体の、微動とボーリングデータに基づく沖積層、洪積層および第四紀層厚の比較である。同図の $\blacklozenge$ は Case-1、 $\circ$ は Case-2 による推定値を示している。沖積層厚については、20m 以下の浅い部分でややばらつきはあるものの、どちらの方法によっても概ねボーリングデータによる厚さに近い値が得られている。洪積層厚および第四紀層全厚さでは、厚くなるにつれて両ケースの隔たりが大きくなるようである。Case-1 ではやや過大な推定値も数点認められるが、全体的にはボーリングに基づく厚さに近いのに対し、Case-2 ではばらつきは比較的小さいものの、特に厚い部分で過小評価となる傾向が認められる。以上の傾向は、Case-1 および 2 で設定したS波速度によるところが大きく、さらなる議論を行うためには、少なくとも微地形区

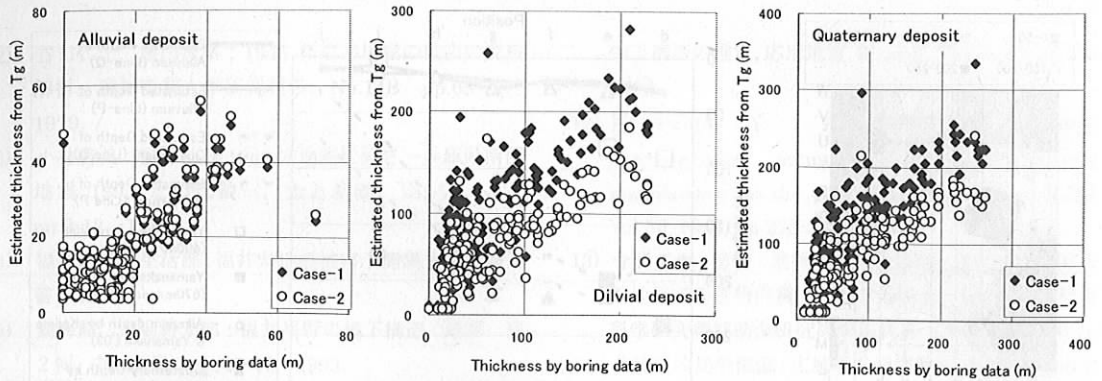


図-11 常時微動の卓越周期から推定された層厚とボーリングデータに基づく層厚との比較

分ごとにS波速度構造を設定する必要がある考えられる。100m以上のボーリングデータが極端に少なく、ボーリングデータに基づく洪積層厚の信頼性が十分でないことに注意する必要があるが、数地点を除いて、Case-1による常時微動からの推定層厚は、ボーリングデータに近く、地盤構造推定の第1近似解としては十分であると判断できる。

### (3) 既存推定結果との比較

ここでは、重力異常、常時微動のアレイ観測によるRayleigh波の位相速度、強震観測による増幅率などに基づいた逆解析的手法から推定された地盤構造との比較を行う。小林ら<sup>9)</sup>は、今回の測定範囲の北側において高密度重力異常測定を行い、密度を第四紀層で2.1、第三紀層で2.4、それより下位で2.67 g/cm<sup>3</sup>に設定し、2次元タルワニ法によって地下構造の推定を行っている。図-12は、小林らによる重力異常測定と、本研究の微動計測領域がオーバーラップする範囲について、重力異常から推定された第四紀層厚の分布を示したものである。図-9に示した微動に基づく厚さと比較すると、重力異常に基づく構造では、150m以上の厚さを示す範囲が若干狭く、最深部もやや西側に位置しているものの、150m以上の範囲が2箇所存在する点は一致しており、150mより浅い領域の分布形状も良好に対応しているように見える。

図-1に示した計測領域のうち、PおよびQの東西軸のdより東側の範囲では、いくつかの方法で地盤構造の評価が行われている。筆者ら<sup>11)</sup>は、図-1に示す強震観測点 HPH, HES, HTH, MSL および MHS の観測地震動の、福井大学観測点の基盤入力動に対する増幅率を評価関数とし、S波の重複反射を仮定した理論値の最適化により、沖積層および洪積層の厚さの推定を行っている。なお福井大学観測点の地盤構造は、大局的には福井土木事務所のそれに近く、沖積層および第四紀層厚さは、それぞれ

24 および 175m である。図-13は、強震観測点における推定地盤構造と、常時微動に基づく推定結果をPおよびQの東西断面上に示したものである。灰色線で示した常時微動に基づく沖積層深さは、強震観測に基づく推定結果△に非常に近く、黒線で示す第四紀層深さについても、東側でやや浅いものの、平野中央部では、強震観測からの推定値▲に一致していることが確かめられる。

一方山中ら<sup>10)</sup>は、福井平野周辺の5地点で上下動を対象とした常時微動のアレイ観測を行い、Rayleigh波の位相速度を求めるとともに、そのインバージョンから、地震基盤までのS波速度構造を検討している。S波速度構造の推定に際しては4層構造を仮定し、上層から300~600, 670, 1,800 および 3,200m/secと仮定し、3層までの各層厚と第1層のS波速度を推定対象としている。インバージョン結果から、第1層のS波速度は360~400m/secに推定され、第1および第2層底面は、図-13の□と■で示す深さに推定されている。なお、dに示した山中らの観測は、Q軸の1km程度北側で観測されている。インバージョンによる第2層は、e付近では近いが、dおよびiではやや深くなっている。山中らは、第四紀層を沖積と洪積という区分ではなく、S波速度で約380m/secの上位層と、670m/secの下位層に分割していることから、本研究の推定構造と直接比較することが難しい面もあるが、東から西に向かって深くなる傾向には共通点が認められる。

図-14のプロットは、福井県による福井平野東縁断層帯の調査<sup>7)</sup>(図-1参照)に際して実施されたP波弾性波探査から求められた反射面の位置を示す。反射面IからIVは、P波速度でそれぞれ1,600, 2,050, 2,200 および 2,960/secを持つ層境界に対応している。微動計測点のなかには、P波測線から数百m離れた地点もあり厳密な比較ではないが、同図より常時微動から推定された沖積層は反射面Iに、



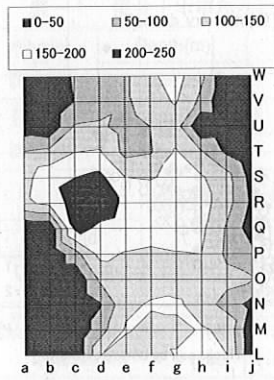


図-12 重力異常に基づく地盤構造

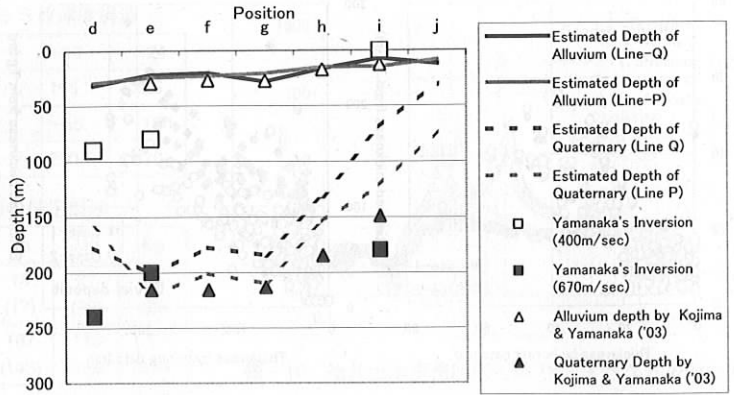


図-13 微動と既往の逆解析手法に基づく推定層厚の比較

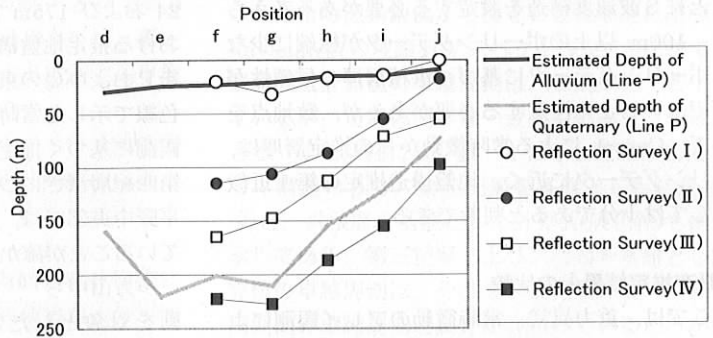


図-14 微動に基づく推定層厚とP波反射断面の比較

第四紀層は概ねIVに対応しており、推定地盤構造は弾性波探査結果とも調和的であることが確認できた。

#### 4. あとがき

福井地震の際に甚大な被害を受けた福井平野周辺を対象とし、東西、南北ともに1分間隔のグリッドごとに、地表の3成分常時微動観測を実施した。収集された微動のフーリエスペクトルおよびH/Vスペクトルから、観測点ごとの卓越周期を判読した。S波速度構造を仮定して、判読された固有周期に4分の1波長則を適用し、沖積層および洪積層の厚さを推定し、福井平野周辺の第四紀層構造モデルを提案した。本研究を通して得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 常時微動のH/Vスペクトルおよびフーリエスペクトルから、平野部のほとんどの観測点において、短周期と長周期側の2つの卓越周期が判読された。
- 2) 短周期側の卓越周期は、微地形ごとの沖積層厚さと明瞭な線形相関が認められ、ボーリングデータに基づく沖積層厚さ分布とも良好に対応しており、短周期側卓越周期は、沖積層最下面に起因する一次固有周期である可能性が高いと判断された。

- 3) 微動観測から求められた卓越周期から、4分の1波長則とS波速度構造を仮定することにより、沖積層および洪積層の厚さを推定し、福井平野の第四紀層構造モデルを提案した。

- 4) 微動から推定した地盤構造と、ボーリングデータ、重力異常、微動のアレイ観測に基づくRayleigh波の位相速度、観測地震動の伝達関数などに基づいて同定された地盤構造を比較し、いずれに対しても矛盾のない構造であることを確認した。

本研究で求められた地盤構造は、少数のPS検層に基づく限定的なS波速度構造を仮定して算出されたものであり、地盤構造推定の精度および向上の為には、信頼性の高いS波速度構造の収集が不可欠であり、福井平野周辺で多くの地震探査ならびにPS検層が実施されることが期待される。

謝辞: 本研究は平成13~14年度科学研究費補助金(基礎研究C(13650518))の補助を受けて行われたものであり、ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 北陸震災調査特別委員会: 昭和23年福井地震震害調査報告Ⅱ 建築部門, 1951.

- 2) 谷口仁士, 飯田波事: 1948年福井地震の被害の資料解析, 愛知工業大学研究報告, No.14B, pp.63-73, 1979.
- 3) 小林啓美: 福井地震1948の地震動強さー兵庫県南部地震1995との比較ー, 土と基礎, Vol.44, No.3, pp.9-12, 1996.
- 4) 福井県県民生活部: 福井県地震被害予測調査総合報告書, 1989.
- 5) 鳥海勲, 大場新太郎: 福井平野の地下構造, 地震, 第2輯, 第46巻, pp.45-47, 1993.
- 6) 井上直人, 中川康一, 宇田英雄, 横田裕: 福井地震断層における反射法地震探査と重力探査概要, 日本応用地質学会関西支部平成8年度研究発表会概要集, pp.23-26, 1996.
- 7) 福井県: 福井平野東縁断層帯に関する調査成果報告書, 1998.
- 8) 衣笠善博, 荒井克彦, 鳥海勲, 山本博文, 安藤雅孝, 平野憲雄: 福井平野の活断層について(序報), 地震, 第2輯, 第52巻, pp.171-176, 1999.
- 9) 小林直哉, 平松良浩, 河野芳輝, 竹内文明: 重力異常による福井平野の3次元基盤構造の推定ー福井地震およびその周辺の活断層との関係ー, 地震, 第2輯, 第54巻, pp.1-8, 2001.
- 10) 山中浩明, 栗田勝実, 瀬尾和夫, 小嶋啓介, 佐藤浩章, 宮腰研, 赤澤隆士: 微動アレイ観測による福井平野のS波速度構造の推定, 地震, 第2輯, 第53巻, pp.37-43, 2000.
- 11) 小嶋啓介, 山中浩明: 観測地震動に基づく福井平野の地下構造の推定, 応用地質, 第44巻, 第2号, pp.94-103, 2003.
- 12) Nakamura, Y.: A method for dynamic characteristics estimation of surface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, Vol.30, No.1, pp.273-281, 1989.
- 13) 今岡克也: 建物・地盤系の微動特性に基づく愛知県東部地震での建物内震度に関する研究, 平成11,12年度科学研究費補助金研究成果報告書, 2001.
- 14) 北陸農政局計画部: 広域農業開発基本調査九頭竜川水系地区報告集(坂井平野の微地形区分), 1982.
- 15) 国土庁土地局国土調査課: 土地分類図(福井県), 1974.
- 16) 福井県: 福井県地震被害予測調査報告書付図, 1997.
- 17) 天池文男, 竹内文明, 春日茂, 古川信雄, 平野憲雄: 地震探査により推定された福井地震断層とその地震学的考察, 地震, 第2輯, 第37巻, pp.441-452, 1984.
- 18) 古川信雄, 春日茂, 竹内文明, 天池文男: やや長周期微動の群列観測による福井地震断層探査, 地震, 第2輯, 第37巻, pp.207-215, 1984.
- 19) 岡本拓夫, 天池文男, 安藤雅孝, 竹内文明, 前澤廣道, 義江修二, 中田高: 福井地震断層周辺でのボーリング調査, 月刊地球, Vol.11, No.1, pp.26-30, 1989.
- 20) 紺野克昭, 片岡俊一: レイリー波の位相速度から地盤の平均S波速度を直接推定する方法の提案, 土木学会論文集, No.647/I-51, pp.415-423, 2000.

(2003.4.17 受付)

## ESTIMATION OF QUATERNARY STRUCTURE OF FUKUI PLAIN BASED ON MICROTREMOR OBSERVATION

Keisuke KOJIMA and Hiroaki YAMANAKA

Quaternary structure around Fukui plain was explored based on the microtremor observation. The observations were carried out every small grid that covered the Fukui plain. We could evaluate two kinds of predominant period from collected Fourier and H/V spectra of microtremor observed on the alluvial plain. It was confirmed that those predominant periods were originated by the basement of alluvium and diluvium respectively. By assuming S wave velocity structures, the thickness of Quaternary system of the sites were estimated based on the predominant periods. By comparing with kinds of inversion analysis results and boring data, the validity of the estimated structure was examined.