

# 常時微動に基づく岩手県・雫石盆地の地盤構造推定

## ESTIMATION OF UNDERGROUND STRUCTURE IN SHIZUKUISHI BASIN BASED ON THE MICROTREMOR MEASUREMENTS AND ANALYSIS

大角恒雄\*・中村 晋\*\*

Tsuneo OHSUMI and Susumu NAKAMURA

The Northern Iwate Prefecture earthquake happened at September 3, 1998 and has a similar characteristics with The 1999 CHI-CHI earthquake, Taiwan. First of all, the damages such as slope failures around epicentral region and the failure of underground structures due to the vertical dislocation of ground caused by the fault movement are described. Furthermore, the strong motion records were observed around the epicentral region. The maximum acceleration is more than 700gal. The characteristics of the seismic records were influenced by the fault mechanism as dip slip. Hereby, in this work, estimation of underground structure based on the microtremor measurements and analysis were conducted in Shizukuishi basin so as to examine the effectiveness of approach.

**Key Words:** 1998 Northern Iwate Prefecture earthquake, seismic damages, seismic records, SPAC method, kinematic source model

### 1. はじめに

1998年9月3日に発生した岩手県北部地震は、極震源域近傍で震度6弱を記録し、1999年9月21日に台湾で発生した集集地震と同様に低角逆断層を震源機構とし、地表面に断層の影響と考えられる段差の発生<sup>1)</sup>等の特徴を有している。台湾・集集地震では断層近傍での強震記録に表面波の影響と考えられる長周期成分の卓越が認められ、断層より20km程度離れた台中港における糖蜜タンクのスロッシングによる被害をもたらしたと推定されている<sup>2)</sup>。岩手県北部地震においても、震源より約10km離れた雫石盆地内での観測記録に表面波の影響と推定される波群が認められている。この様に、岩手県北部地震は地震規模は異なるものの集集地震と類似の特徴を有している。このことから、雫石盆地においてその様な波動の発生・伝播機構を把握することは、今後震源断層近傍における各種構造物の耐震設計を行うために必要な入力地震動を評価する上で重要であると考えられる。一方、雫石盆地で観測された地震記録の発生・伝播機構を把握するためには、観測地点を含む雫石盆地の地盤構造が必要となるが、特に深層地盤構造の詳細なデータは得られていない。

ここでは、雫石盆地における深層地盤を把握するため、常時微動観測を実施し、その結果に基づき推定した地盤構造について報告を行う。地盤構造は2点同時観測により求めた空間自己相関関数に基づく位相速度特性より推定した。併

わせて、雫石盆地の東西方向の地盤構造を把握するため、1点観測を12点で実施した。

### 2. 雫石盆地における地震動特性

震源近傍の Nagayama(JMA)、Shizukuishi(JMA)、さらに K-net による震源西方の田沢湖 Tazawako(K-net)、震源東南方向の盛岡市 Morioka(K-net)の4地点で観測された強震記録の水平2成分より求めたベクトルフーリエスペクトル<sup>2)</sup>の比較を図-1に示す。これより、震源近傍の Nagayama(JMA)では3.4Hz、1.7Hzに卓越周波数が認められるが、一方、Shizukuishi(JMA)では0.4Hz近傍で低周波数帯域に卓越周波数がみられ、この周波数帯域のスペクト

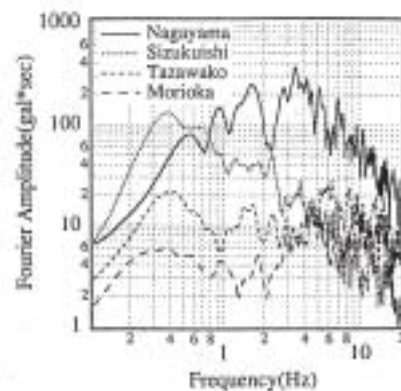


図-1 ベクトルフーリエスペクトルの比較

\* 中央研究所 総合技術開発部

\*\* 日本大学 工学部 土木工学科

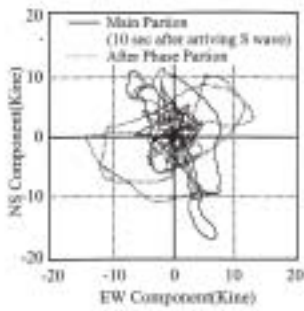


図-2 地震動の水平面内の速度オービット

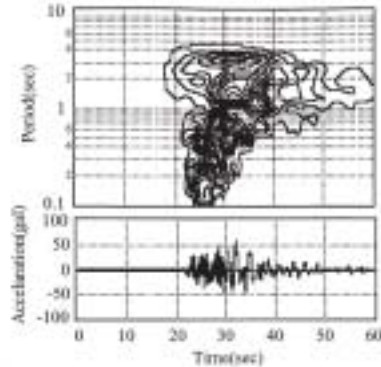


図-3 非定常スペクトル(EW成分)

ル振幅は震源近傍より大きな値となっている。次に、雫石盆地内の **Shizukuishi(JMA)**で観測された記録を数値積分することにより得られた速度成分の水平面内のオービットを図-2に示す。これより、地震波到達後の10秒(図中破線)以降の震動方向は東西方向に卓越する傾向(図中波線)が認められる。その **Shizukuishi(JMA)**における低周波数帯域の地震動特性を把握するため、EW成分に関する非定常スペクトルを図-3に示す。これより、地震波の到達より10秒周辺以降、周期1秒以上の成分には分散性波動、すなわち表面波成分の特性が顕著に現れている。その特性は周期1.1-1.2秒周辺にて最も顕著であるが、周期3秒近傍にもその影響が認められる。図-1に示したフーリエスペクトルより、震源近傍にも0.5Hzに比較的優勢な成分が見られることから、周期3秒近傍の成分は震源の影響を受けているものと推定される。いずれにしても、**Sizukuishi(JMA)**で観測された地震動の長周期成分は表面波成分であろうと推定される。

### 3. 微動観測の概要

深部地下構造を把握するためのアレー観測と雫石盆地のほぼ中央における東西方向の地層構造を把握するための単点観測を1999年11月5日から6日にかけて実施した。各観測の測定位置は図-4に示したとおりである。

アレー観測は盆地内の強震観測点近傍の深部地下構造を推定するため、雫石総合運動場で実施した。深部地盤構造の推定は、**Aki**<sup>3)</sup>により提案されて最近よく用いられるようになっている同一円周上の2点での上下動成分の同時観測記録に基づく空間自己相関関数法(**SPAC法**)<sup>4,5)</sup>によって表面波の位相速度を算出し、観測・理論位相速度特性が整合するように、地盤構造を試行錯誤的に求めるという流れ<sup>6)</sup>で実施した。測定に際して、アレー半径150mとし、円周上の5点を移動させて測定した。

単点観測は図-4に示す雫石盆地のほぼ中央の東西測線に沿った12地点で実施した。測定はサーボ型の速度計(東京測振製:**VSE-15D**)を用い、サンプリング周波数100HzにてAD変換されたデジタルデータを直接PCで記録する装置(**SPC-35N**)を用いて実施した。また、いずれの地点でも速度成分を対象とし、3分間の測定を実施した。各観測点では



図-4 雫石盆地における微動観測点の配置

水平2成分(NS、EW)および上下動成分の3成分を対象とした。各点で得られた水平2成分より算出したベクトルスペクトルと上下動成分のスペクトル比(**H/V**スペクトル)の卓越周期に基づき、東西方向の地層構造について検討を行った。

### 4. 空間自己相関関数法(SPAC法)による地盤構造の推定

#### (1) 位相速度の推定

円形アレー上および中心点の2点X、Y観測された記録にもとづき円振動数 $\omega$ ごとに空間自己相関関数 $\rho(\omega)$ を次式により算出する。空間自己相関関数 $\rho(\omega)$ は、円形アレー上の*i*点と中心点間の空間自己相関関数は2点で測定された記録のコヒーレンスの実数部として得られる空間自己相関関数を中心点から円形アレー上の各測点に対する方位平均することで算出した。ここで、 $S_{X_i}(\omega, \theta)$ は円周上の測点*i*と中心点間のクロススペクトル、 $S_{X_i}(\omega, \theta)$ 、 $S_{Y_i}(\omega)$ は円周上の測点*i*と中心点におけるパワースペクトルを示している。

$$\rho = (2\pi)^{-1} \int_0^{2\pi} \frac{Re\{al[S_{xy,i}(\omega, \theta)]\}}{[S_{x,i}(\omega, \theta)S_{y,i}(\omega)]^{1/2}} d\theta \quad (1)$$

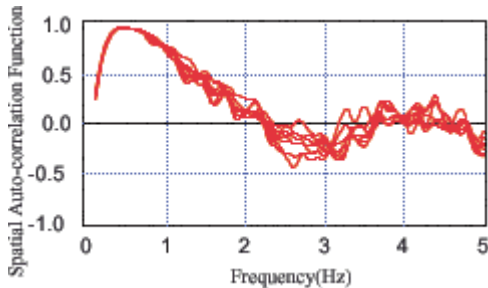


図-5 空間自己相関関数

この空間自己相関関数  $\rho(\omega)$  は、測定記録より抽出した 81.92 秒区間について、抽出開始時刻を 5 秒づつずらしながら 8 区間について算出した。その際、各スペクトルは 0.2Hz のバンド幅を有する Parzen Window により平滑化処理を行うことにより算出した。ここで得られた周波数と空間自己相関関数の関係を図-5 に示す。

式(1)の右辺に示す 2 点間の空間自己相関関数は、2 点で測定された微動に 2 点間を伝播する Rayleigh 波の基本モードが優勢に含まれているとの仮定の基で、第 1 種 0 次のベッセル関数の定義より次式のように表すことができる。

$$\rho(\omega) = J_0(rk) = J_0\left(\frac{\omega \cdot r}{c(f)}\right) \quad (2)$$

ここで、 $r$  はアレー半径、 $c(f)$  は周波数  $f$  に対する位相速度を表す。位相速度は、図-5 に示した空間自己相関関数に対応する第 1 種 0 次のベッセル関数のアーギュメント(= $\omega r/c(f)$ )と位相速度の関係より算出した。その際、図-5 より周波数 0.5Hz(2.0sec)から約 2.5Hz(0.4sec)の間を有効周波数帯とした。ここで得られた位相速度と周期の関係を図-6 に示す。図中には、8 区間について算出した空間自己相関関数により求めた位相速度の平均値(図中○印)とその  $\pm \sigma$  区間も合わせて破線で示した。また 0.7 秒から 0.4 秒まではばらつきが大きいことから図のように 0.7 秒より短周期側はカットした。図に示す様に、位相速度は約 1300m/s から 800m/s の間で変化している。

(2) 地盤構造の推定

地盤構造は、得られた位相速度の分散曲線に基づいて推定を行う。ここで、雫石盆地における東西方向の地質構造はおおむね図-7<sup>8)</sup> に示すとおりである。図中に示すように表層には第 4 紀の堆積層が存在し、それ以深には鮮新世以前の比較的堅い岩質層のうち鮮新世層が西側から東側に向かっ

て薄くなる傾向にあることが分かる。

図-6 に示した位相速度の平均分散曲線に着目すれば周期 1.5 秒より 1.2 秒にかけて位相速度の低下が大きいことが分かる。このことから、最深部の地層(超苦鉄質岩層)の S 波速度は、図-6 における周期 1.7 秒から 2.0 秒までほぼ一定傾向を示す位相速度の値より早い速度、2000m/s と仮定した。また、図-6 より最表層(鮮新世層)の S 波速度は短周期側の位相速度特性に基づき 800m/s と仮定した。図-7 より表層と最深部の層との間に中新世層と漸新世層の 2 層が存在しているが、ここでは、表層と最深部の層の平均的な 1400m/s を両層の S 波速度と仮定した。さらに、それぞれの層の質量密度は表-1 の様に仮定した。それらの仮定の基づいて、各層の層厚さを変化させながら、Rayleigh 波の理論位相速度を算出し、観測により得られた位相速度の分散曲線との比較を行った。表-1 には、両者が最も整合する際の層厚を示し、図-6 にはその際の位相速度および群速度の理論分散曲線も合わせて示す。図-6 に示す様に周期 1.5 秒から 0.8 秒にかけて、両者の位相速度の分散曲線はよく一致していることが分かる。

微動のアレー観測では、アレー半径として 150m の 1 種類の測定であったため、表-1 に示す地盤構造モデルのうち速度構造については仮定の検証を行っていない。

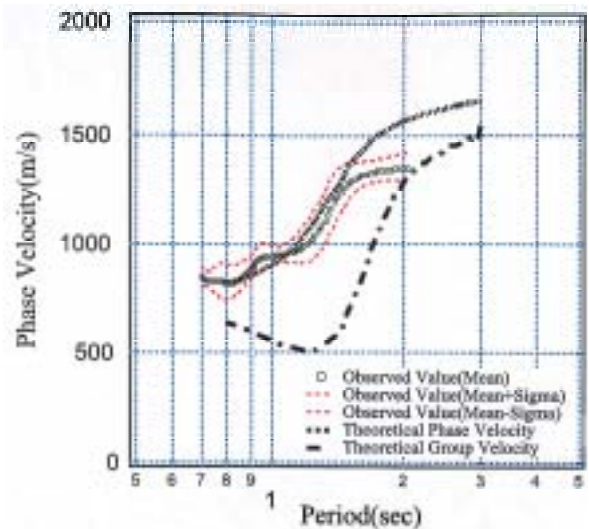


図-6 観測・理論位相速度特性



表-1 推定した地盤構造モデル

層数	層厚(m)	S波速度(m/s)	質量密度(t/m <sup>3</sup> )
1	400	800	2.0
2	400	1400	2.3
3		2000	2.5



図-7 雫石盆地の地質構造モデル

5. H/V スペクトル比の特性

ここでは、図-4 中の雫石盆地の中央部における東西測線に沿った 12 地点の微動観測記録を用いて算出した水平成分と鉛直成分のフーリエスペクトル比(H/V スペクトル)より得られる卓越周期に基づき、各地点における地盤の固有周期の推定を実施した。ここで、水平成分は水平 2 成分(NS, EW)のベクトルスペクトル<sup>2)</sup>として算出した。また、H/V スペクトルは、測定記録より抽出した 81.92 秒区間について、抽出開始時刻を 5 秒づつずらしながら 8 区間について、0.2Hz のバンド幅を有する Parzen Window により平滑化処理を行うことにより算出した。各地点における 8 区間の H/V スペクトルを図-8 に波線で示す。図には、それらの平均 H/V スペクトル(実線)も合わせて示す。さらに、その平均 H/V スペクトルより読み

取った長周期側(図中●)と短周期側(図中○)の卓越周期と測点 1 よりの水平距離との関係を図-9 に示す。図-9 より、長周期側の卓越する周期は雫石盆地の西側から東側に向かって低下する傾向が認められ、おおむね図-7の地質縦断構造から推測するS破速度構造と調和している。また、アレー観測点に近い測点 5、6 では、不安定ではあるが周期 3.0 秒付近にも卓越周期が認められる。その微動の卓越周期は、表-1に示した地盤構造モデルに基づくS波の鉛直入射に対する1次固有周期約3.0秒とおおむね対応している。さらに、測点1から測点9におけるH/Vスペクトルには1.2秒近傍にもわずかに卓越が認められる。これらの特性の有意性および波動伝播特性との関係を明らかにするため、今後地震波の伝播解析などを行う必要がある。

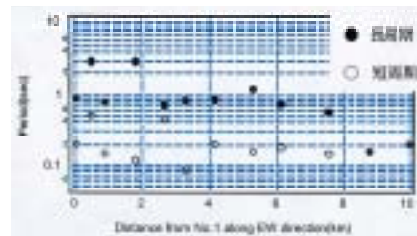


図-9 卓越周期と観測地点の関係

6. あとがき

岩手県北部地震による雫石盆地で観測された地震動の特性を明らかにするために必要な地盤構造を、常時微動の特性に基づき推定した。しかし、アレー観測にてアレーサイズの異なる測定を実施していないため、深層・浅層地盤構造については、今後適切なアレーサイズによる測定を実施し、検証と評価を行う予定である。

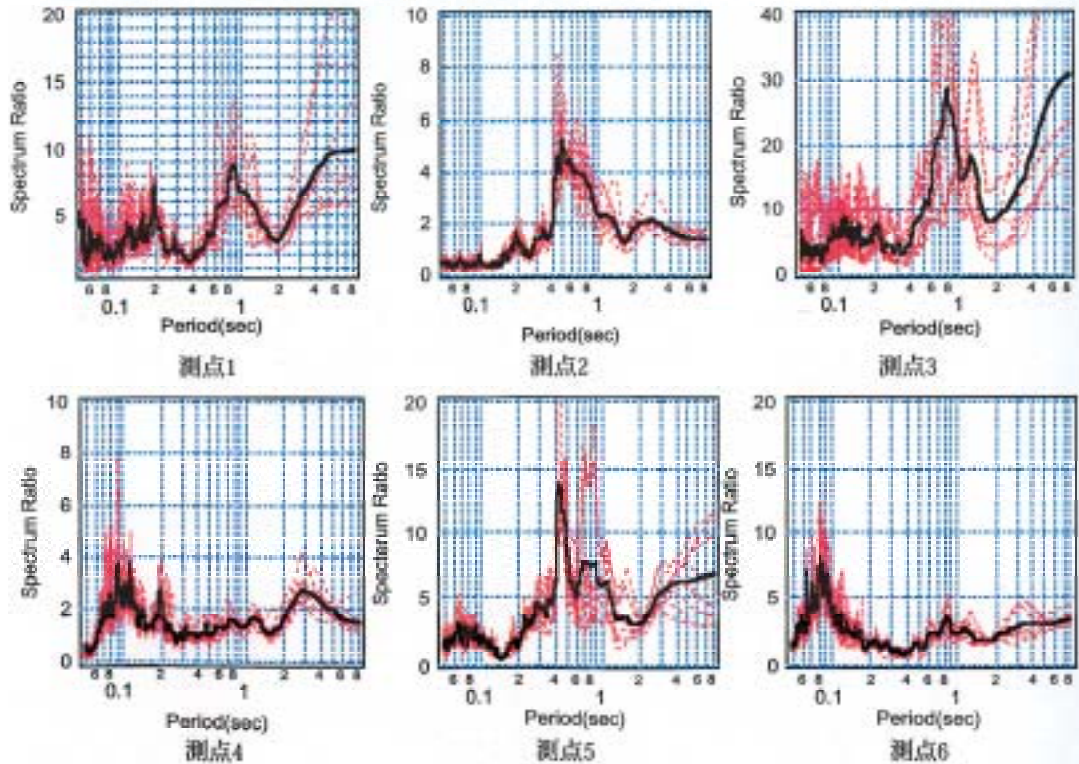


図-8a 各地点におけるH/Vスペクトル

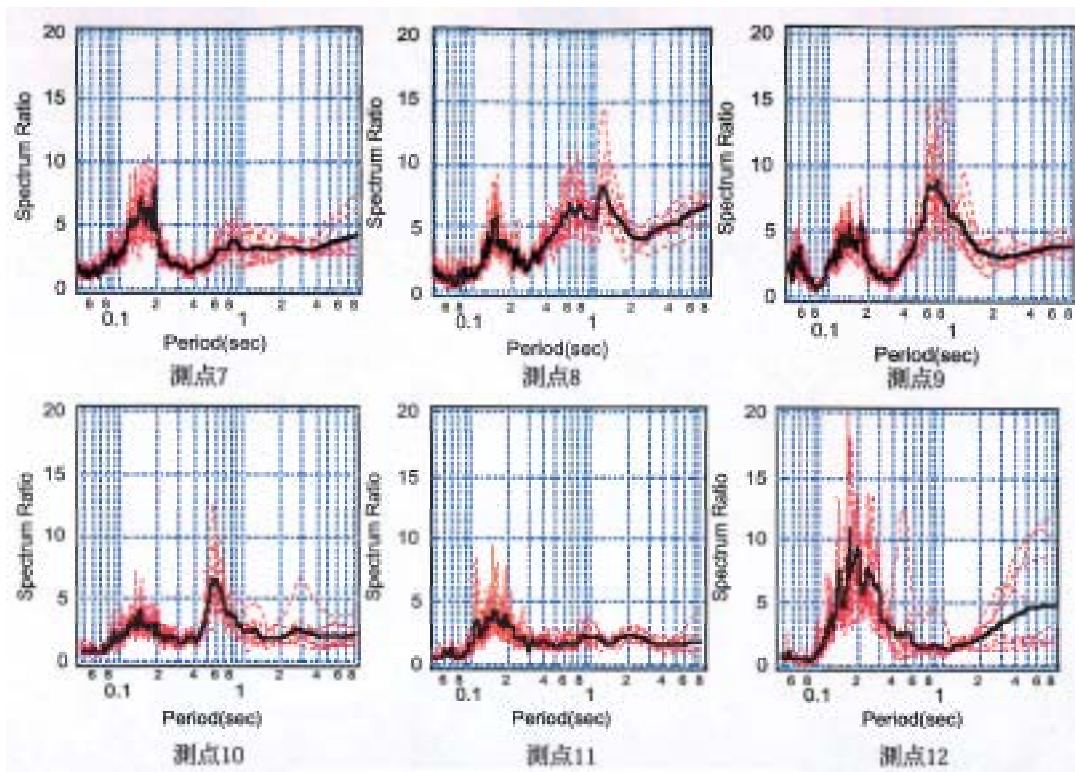


図-8b 各地点におけるH/Vスペクトル

## 参考文献

- 1) 中村 晋、風間基樹、小林晃、大角恒雄(1999)、:岩手県北部地震(1998.9.3)による被害と地震動特性、No.35、東北地域災害科学研究、pp.87-92
- 2) 土木学会編(1999)、THE 1999 JI-JI EARTHQUAKE, TAIWAN -Investigation into Damage to Civil Engineering Structures-
- 3) 中村 晋:ベクトルスペクトルによる地震動の増幅特性評価、土木学会論文集、No.519、pp161-173、1995.3
- 4) Aki,K,S(1957),Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Specific Reference to Microtremors, Bull. Earth. Res. Inst.,35,415-456.
- 5) 松岡 達郎、梅沢 夏美、巻島 秀夫、地下構造推定のための空間自己相関法の適用性に関する検討、物理探査、第 49 巻、第1号 pp26-41、1996
- 6) Morikawa,H, S.Sawada,K., Toki,J., Akamatsu,D., Nakajima,J., Ejiri and K., Miyakoshi(1999), Estimation of Phase velocities from Microtremors observed at two sites, Proc. 2nd Int. Conf. Earthquake Geotechnical Engineering, 119-124.
- 7) 戸越逸人、宮坂英志、源栄正人、柴田明德(1999)、アレー微動観測に基づく仙台地域の深部地下構造の推定-2点 SPAC 法に基づく長町地区の構造-、東北地域災害科学研究、35、39-42
- 8) 工業技術院地質調査所監修(1996)、理科年表読本、コンピュータグラフィック日本列島の地質、丸善(株)