

雑微動の長期安定性について

古沢 保・尾上 謙介

ON THE TEMPORAL STABILITY OF SPECTRA OF MICRO-TREMORS

By *Tamotsu FURUZAWA and Kensuke ONOUE*

Synopsis

In order to examine the temporal stability of the source effect of micro-tremors, the observations of micro-tremors during long periods were carried out at the Amagase Observatory on the consolidated rock and at the Kamenose landslide area. From the analysis of spectra of micro-tremors it is resulted that the smoothed spectra obtained from averaging each spectrum for the period of 30 days are considered to be stable with time. Then it may be said that such smoothed spectra show a more reliable ground characteristic of the site.

1. はじめに

雑微動の観測波形の解析より、地盤の振動特性を求めようとする方法は、数多く報告されており、lateral 方向に相当大きな dimension で一様とみなし得る堆積平野等の地盤構造に於て、特に有効であると考えられる。この場合、広い範囲の地域での地盤の振動特性を比較するため、観測点を次々に移動しながら測定していく方法が適用されるのが普通である。

一方、地すべり地域のように、地盤が crack 群により lateral 方向に分断されている場合、crack 群の存在と微動の振動特性との関係を考慮して、雑微動観測より crack 群を推定する試みもなされている¹⁾。この場合、crack 群の成長による地盤の振動特性の時間的変化を求めることが重要な問題となる。

しかしながら、同一地点で異なる時刻に観測される微動は必ずしも同一ではなく、天候等の自然条件、昼夜の区別等によって異なる。これは微動の発生源が時間的に一定でなく、変化することによって考えられる。したがって、空間的及び時間的に異なって観測された微動を比較する場合には、何らかの形で、微動の発生源を共通するとみなし得るようにする必要がある。このため同一地点での観測回数を多くして、source 特性を平均化することによって、その地点の代表的な地盤の振動特性を得る方法が提唱されている²⁾。

ここでは、天ヶ瀬地殻変動観測室の抗道内の岩盤上で得られた微動の長期観測のデータについて、微動の source 特性の安定性が、平均化によって、どの程度得られるかを調べた。又、大阪府柏原市の亀の瀬地すべり地での地盤の振動特性の時間的変化を求めるために行っている、微動の定点観測のデータについても検討する。

2. 観測及びデータ処理

天ヶ瀬地殻変動観測室周辺の地質は、古生層の主として粘板岩で構成されていて³⁾ 安定した岩盤と考えられる。したがってここで観測される微動は、その source 特性について検討するのに適していると考えられる。天ヶ瀬観測室には固有周期 1 秒の 3 成分地震計による短周期地震観測システムが設置され、公社回線使用の有線テレメーターによって約 5km 離れた防災研究所へ PCM デジタル送信され、トリガー方式の

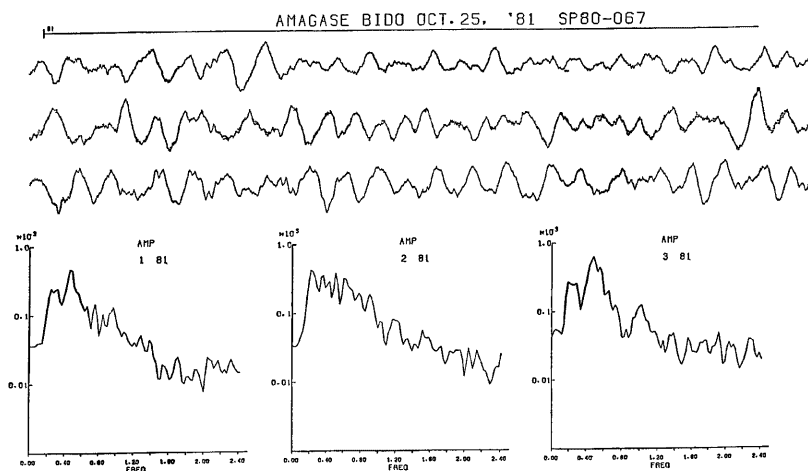


Fig. 1 Example of seismograms and spectra of micro-tremors of three components observed at Amagase Observatory.

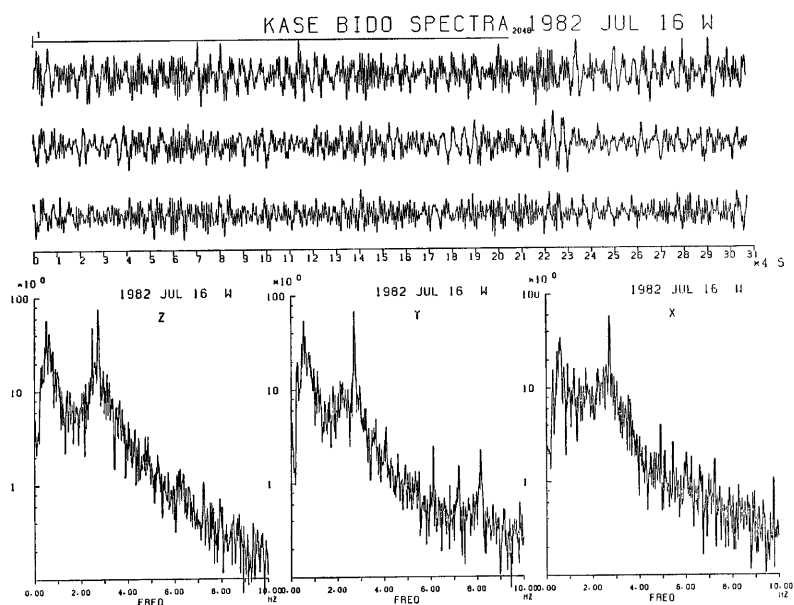


Fig. 2 Example of seismograms and spectra of micro-tremors of three components observed at Kamenose landslide area.

直接デジタル集録が行われている⁴⁾。増幅器の倍率は常時微動の振幅が最小ビット附近になるように 100 倍に設定してある。集録は 0.1~30Hz のバンドパス・フィルターを通して 1/100 秒のサンプリング間隔で MT に行われる。このシステムを利用して毎日一定時刻に増幅器の倍率を自動的に 5000 倍に上げ信号レベルを上げることによってトリガーさせて微動の観測を行った。観測期間は 1981 年 10 月から 1982 年 1 月の 4 ヶ月間で、変動が大きい交通機関等の人為的振動を避けるため午前 2 時より約 80 秒間記録した。

解析は 10 月 3 日から 1 月 7 日の期間について約 41 秒間の 4096 個のデータの FFT により求めたフーリエ・スペクトルにより行った。計算されたスペクトルには非常に多数の細い山谷が存在するが、微細構造を除いた大きな山谷の構造を比較するため求めたスペクトルに対して 11 個の移動平均をとり、さらに 5 個おきの値をとった。解析された微動の波形と得られた平均スペクトルの例を Fig. 1 に示す。

一方、亀の瀬地すべり地では地盤の振動特性の時間的変化を調べる目的で、定点での雑微動の長期観測を行っている。観測点は地表下約 40m の地すべり防止用排水隧道内の約 150m 離れた 2 点である。この地域の地盤構造は地すべりの発生にともなって crack 群が広く発達しており、地質構造も非常に複雑で 2 点での地盤構造もかなり異なると考えられる。微動観測は固有周期 1 秒の地震計 3 成分を用い、出力は 5000 倍増幅され、25Hz ローパスフィルターを通してデータレコーダーに集録される。集録は 1 日 1 回、午前 2 時より約 3 分間タイマー起動により行われる。

解析期間は 1982 年 5 月から 8 月にかけての約 3 ヶ月間である。データレコーダーに集録されたデータは 10Hz ローパス・フィルターを通し、AD 変換器 (DATAC 2000T) を用いて 25Hz のサンプリングでデジタル化された。このうち約 82 秒、2048 個のデータについてフーリエ・スペクトルを求めた。Fig. 2 に微動

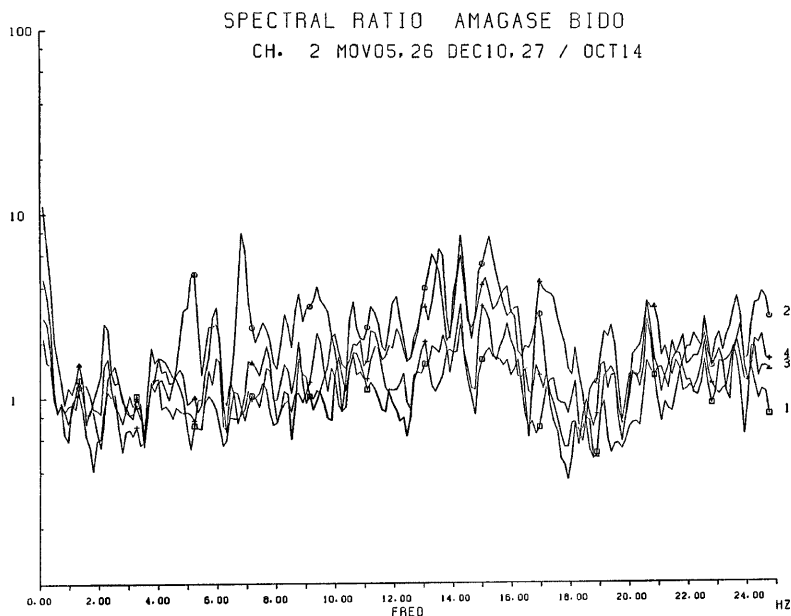


Fig. 3 Spectral ratios of micro-tremors of Nov. 5, 26, Dec. 10 and 27 to that of Oct. 14. Numbers of the right hand side show the order of the observed micro-tremors. CH2 shows NS component.

の波形とスペクトルの一例を示す。図のスペクトルは平滑化される前のもので、非常に微細な山谷が小さな周波数間隔で現れる。解析には天ヶ瀬の場合と同様の平滑化を行った平均スペクトルを用いた。

3. 解析結果と議論

日時が異なる微動のスペクトル分布の比較を行うため、或る基準日のスペクトルに対する他の日のスペクトルの比を求めた。**Fig. 3** に10月14日の天ヶ瀬で観測された微動のスペクトルに対する11月5日, 26日, 12月10日, 27日のスペクトルの比を示す。図の右端の番号は観測された日付の順番を示す。微動の source が時間的に変化しないとすると、スペクトル比は周波数に依らず、1.0になるべきである。**Fig. 3** では殆どの周波数でスペクトルが異なり、ピークの位置が相互に異って現われる。このように時間的に微動のスペクトルは変化している。天ヶ瀬では岩盤の物性は変化しないと考えられる故、微動の周波数特性の時間的変化は発生源が変化することに依ると考えられる。このように個々にサンプリングされた場合に異なる微動をどの程度の期間（観測回数）をとって平均化すれば、天ヶ瀬に於る安定した微動として代表させ得るかを調べるため、連続する20日間と30日間のスペクトルの平均を求め検討した。**Fig. 4** に解析期間の最初の20日間の平均スペクトルを基準にして、順次継続する20日間の平均スペクトルの比をとったものを示す。また **Fig. 5** に同様にして求めた30日間の平均スペクトルの比を示す。30日平均の区間は解析期間が約3ヶ月なので、順次15日ずつずらしてとってある。

Fig. 4 と **Fig. 3** を比較すると、20日間の平均をとっても尚スペクトル比に山、谷が見られるが、その現れ方はかなり系統的にまとまった形になっている。特に 5Hz 以下の低周波領域では比の値が1.0 付近にまとまり、時間的変化が少ないことを示している。**Fig. 5** の30日間の平均スペクトルの比では山と谷の位置が

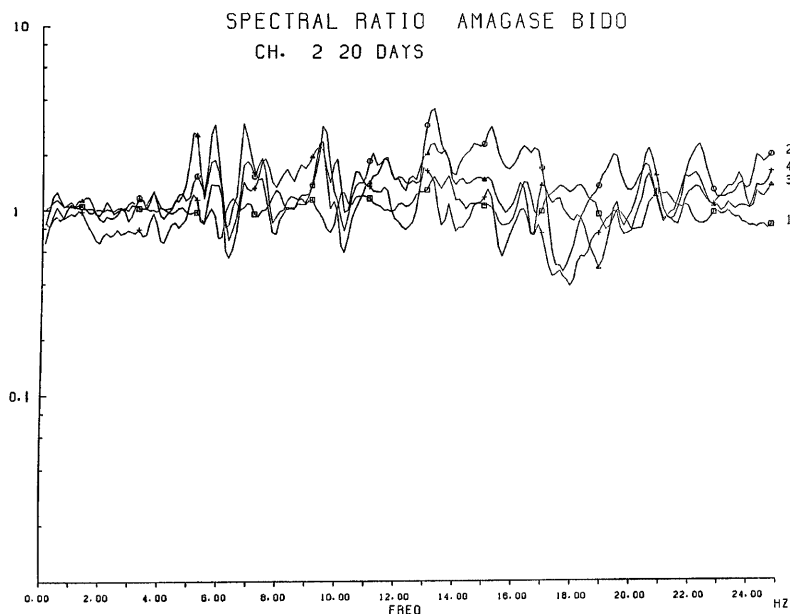
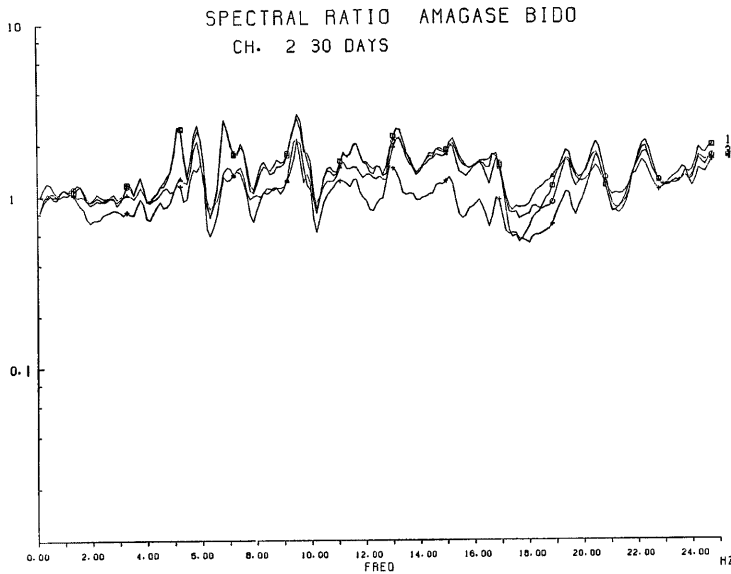


Fig. 4 Comparison of ratios of spectra averaged for the period of 20 days to that of first interval.



g. 5 Comparison of ratios of spectra averaged for the period of 30 days to that of first interval.

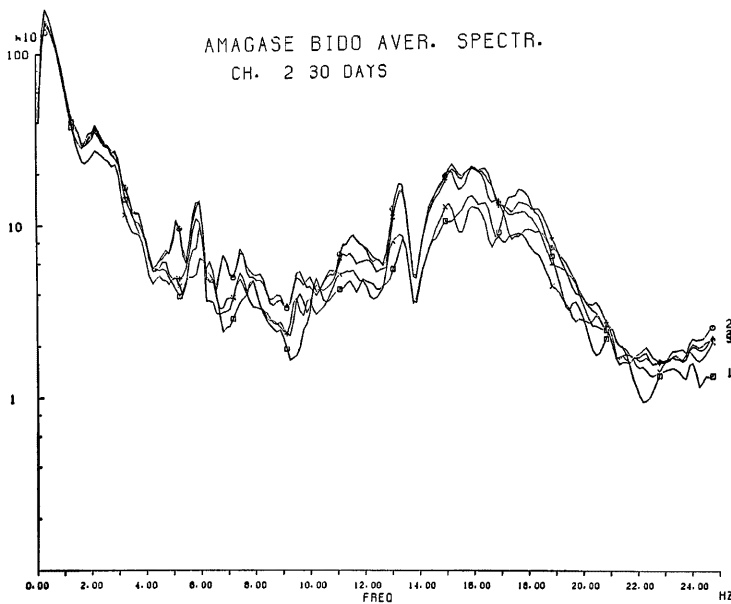


Fig. 6 Comparison of spectra averaged for the period of 30 days.

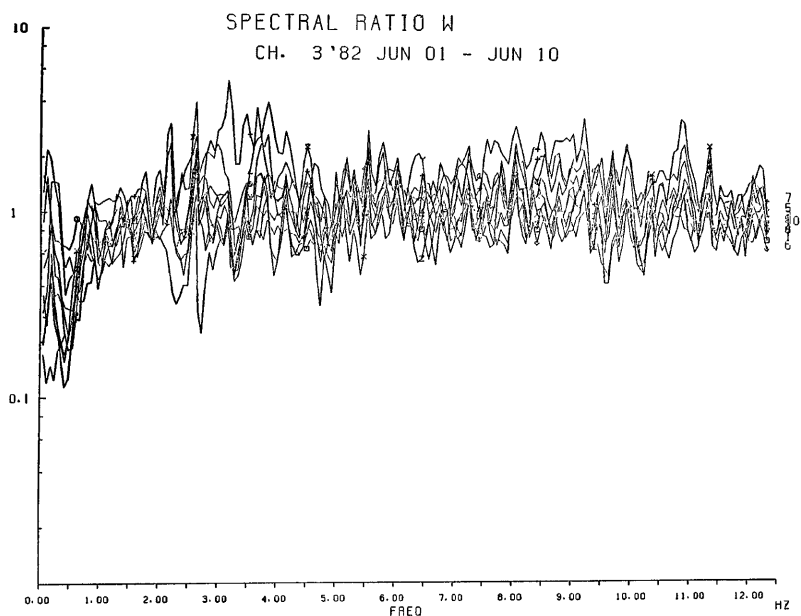


Fig. 7 Spectral ratios of micro-tremors for Jun. 2-10 to that of Jun. 1. CH.3 shows the horizontal component.

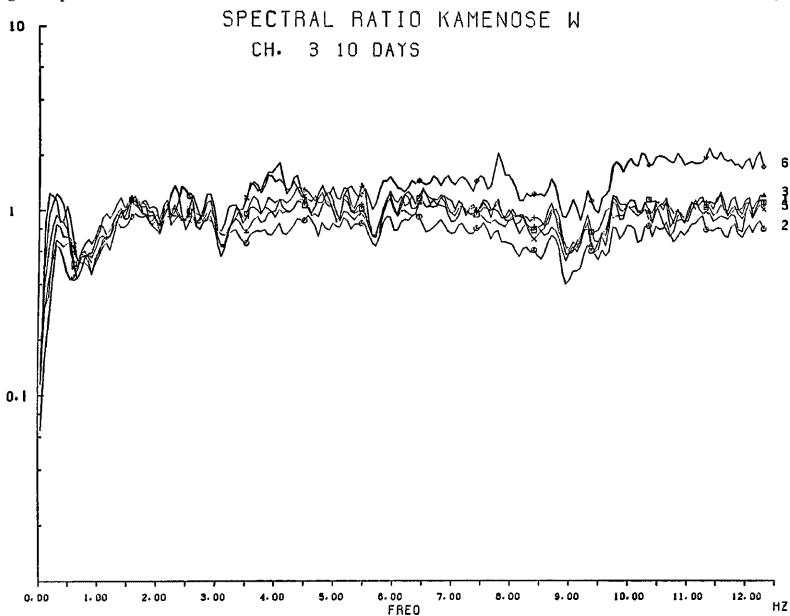


Fig. 8 Comparison of ratios of spectra averaged for the period of 10 days to that of first interval.

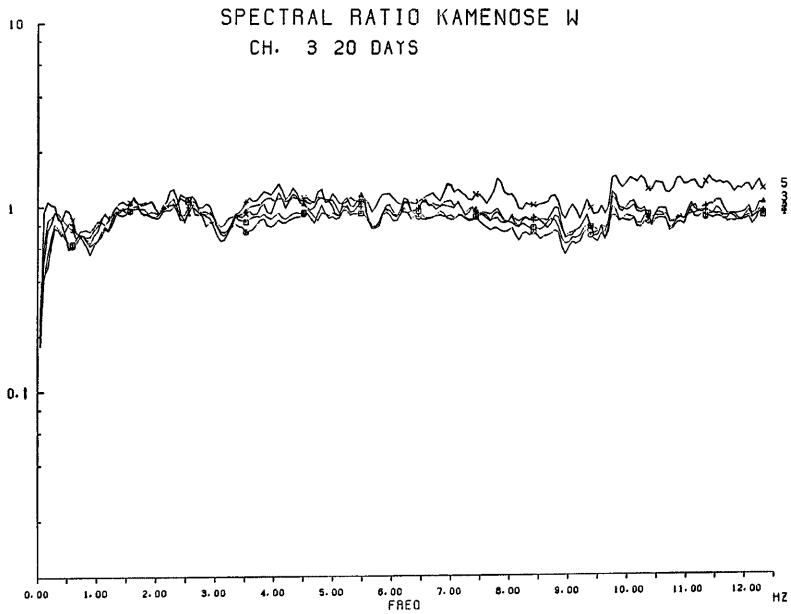


Fig. 9 Comparison of ratios of spectra averaged for the period of 20 days to that of first interval.

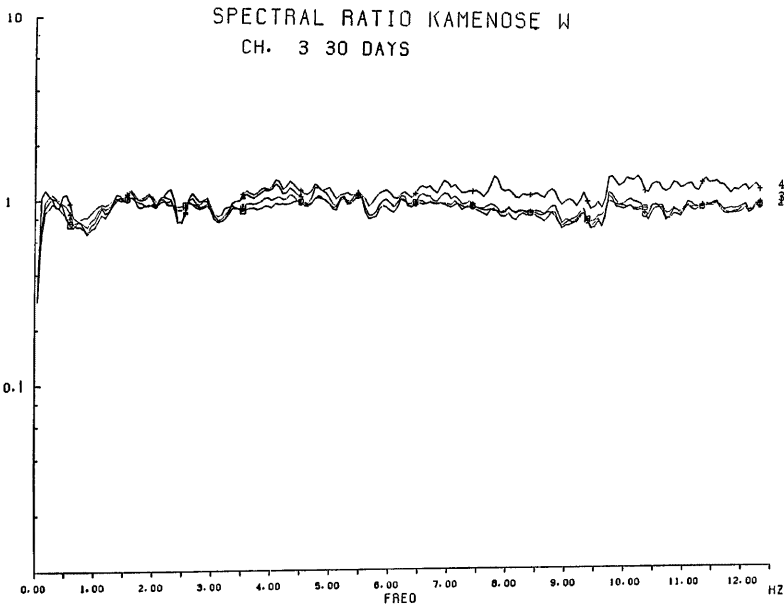


Fig. 10 Comparison of ratios of spectra averaged for the period of 30 days to that of first interval.

区間に関係なく同じ周波数の位置になり、同一の形をもつ上、その値の変動も小さくなっている。特に5Hz以下の低周波領域は殆ど変化しない。図に於て十印で示される区間のずれが他に比べ大きいのは、この区間が年末・年始を含んでおり、この期間の微動が工場の休業等を反映して非常に低レベルとなり、特異な形を示していることに因る。スペクトル比の山と谷が区間に依らず同一位置に現れるということは、基準に用いた最初の区間の微動の source が異なる特性を有していたと考え得る。以上の結果、30日間の平均をとることにより、時間的に安定な微動のスペクトルが得られると考えられる。天ヶ瀬での平均的な微動の特徴を見るため Fig. 6 に30日平均のスペクトル分布を示す。最大振幅は 1Hz 以下の脈動領域にあり、これより高い周波数成分は非常に小さくなる。特に 4Hz から 12Hz の成分は低レベルとなっている。しかしながら、高い周波数領域のスペクトルの形が単純でなく多くの明瞭なピークが存在し、特に 16Hz 近傍に幅広いピークを有する。これはかなり近くに特定の振動源が存在することを示唆する。脈動領域の振動は天候による変動が著しいため日によって非常に異なるが、30日の平均では殆ど一致しているのは気象変化の周期性に關係すると考えられる。

亀の瀬地すべり地では長期の定点微動観測により、地盤の振動特性の時間的変化を検知することを試みている。したがって微動の発生源の時間的変化の問題は特に重要である。このため天ヶ瀬と同様に平均化による微動の安定性の比較を行った。Fig. 7 は 6 月 1 日を基準にした 6 月 2 日～11 日の10日間の毎日の微動スペクトルの比を示すが、連続する10日間でも微動が毎日変化していることがわかる。Fig. 8～10 は各々10日間、20日間、30日間の平均したスペクトルの最初の区間に対する比を示す。10日間平均の場合スペクトル比を求めた区間は相互に重ならない独立の区間であるが、20日平均の区間は順次10日間ずつ重なり、30日の場合は

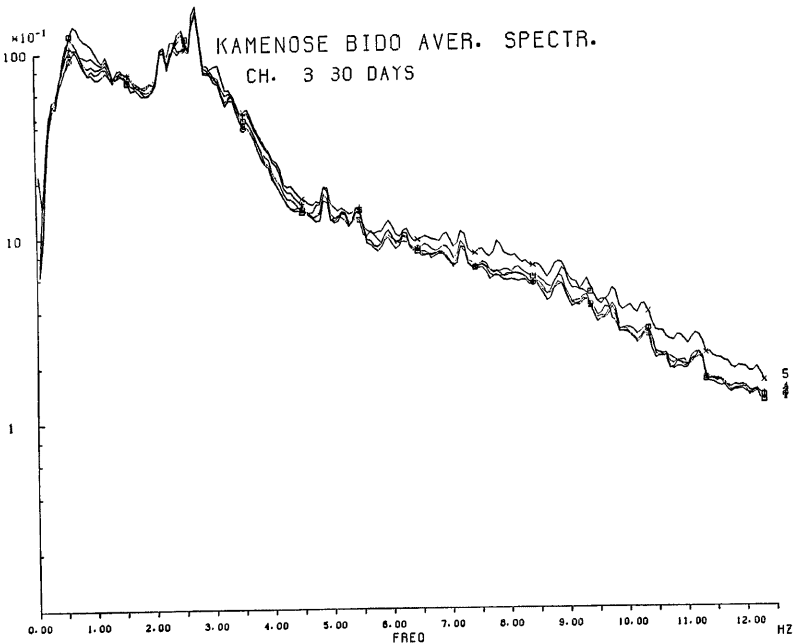


Fig. 11 Comparison of spectra averaged for the period of 30 days.

区間を10日ずつずらしてとってある。平均をとる期間を長くするに従いスペクトル比のばらつきが小さくなり30日平均の場合全周波数範囲でほぼ1の値に収束していることがわかる。亀の瀬地すべり地では地すべりに関係する地盤の振動特性は数 Hz 附近の周波数領域と考えられているため、図に示されるスペクトルは天ヶ瀬の場合と異り 12Hz 以下の周波数領域となっている。**Fig.11** に30日間の平均スペクトルを示す。天ヶ瀬の場合と比較して 2~3Hz に脈動領域より大振幅のピークを有するのが特徴的である。この周波数領域のピークの存在が地すべり地の crack 群を有する地盤構造と関係すると考えられている¹⁾。4Hz より高い周波数領域の振幅が小さくなるのは天ヶ瀬と同様であるが、亀の瀬ではピークを持たずになだらかに減少している。

次に微動観測により地盤の振動特性の空間的分布を求める場合の例として、亀の瀬の2点での定点観測の結果を比較する。**Fig.12** に2点のスペクトルの比を10日間重ねて示す。図の上部は同じ日に観測された微

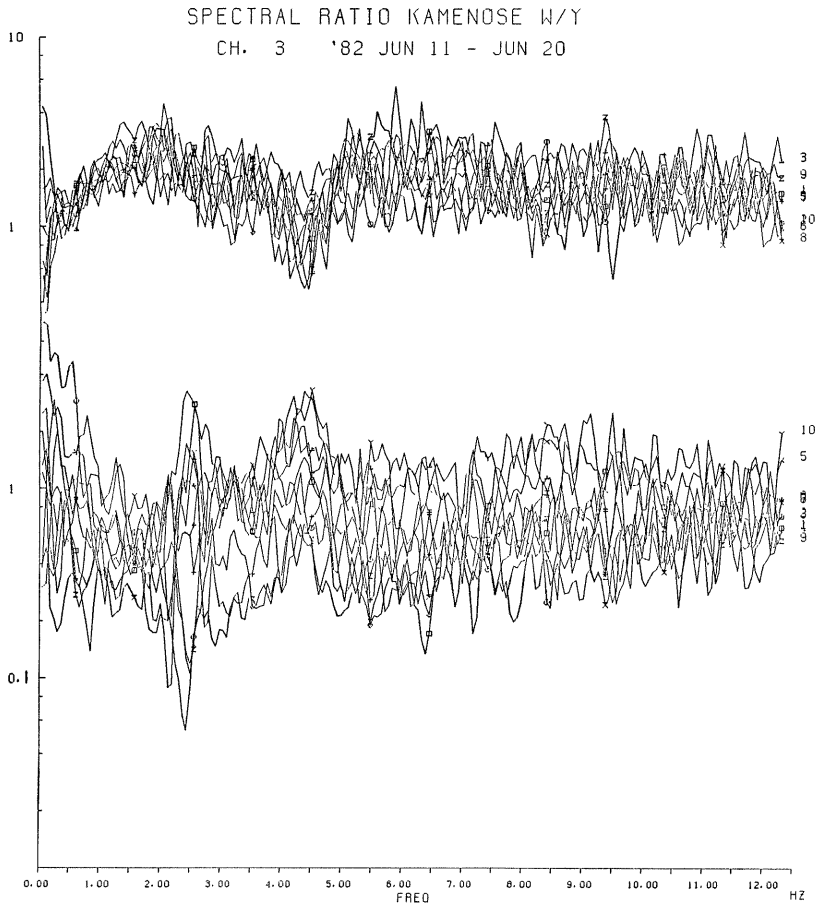


Fig. 12 Comparison of ratios of spectra of micro-tremors observed at Y and W in Kamenose landslide area at the same time (upper) and with a time lag of one day (lower).

動のスペクトル比を、下部は1日ずらして比をとった場合を表す。図から明らかなように、観測日時の異なる2点でのスペクトルの比較は非常にばらつきが大きく、有意とは言えない。一方同一時刻の2点でのスペクトル比は時間的に個々の山、谷に関しては変化しているが、例えばY点に対しW点では2Hz附近の振幅が大きくなっているという程度の比較を行うには十分使用できると考えられる。したがって微動の測定により地盤の振動特性を空間的に比較しようとする場合、少くとも或る基準点を設定して、同時観測を行う必要があるであろう。

4. ま と め

天ヶ瀬地殻変動観測室と亀の瀬地すべり地で行った長期間の雑微動の観測より次のことが得られた。

- 1) 異なる日時に観測される微動は一定の振動特性を示さず、時間的に変化する。これは微動の発生源が定常でないことに因る。
- 2) 天ヶ瀬及び亀の瀬に於て時間的に安定した微動として代表させ得る振動特性を得るには、毎日定時に観測した場合30日間の平均をとることが必要になる。
- 3) 空間的な地盤の振動特性の比較を微動観測によって行う場合、少くとも基準点を設定して同一発生源によると考えられる微動を同時に測定する必要がある。

終りに終始御指導下さった京都大学理学部和田卓彦助教授に深く感謝の意を表します。また観測を手伝っていただいた藤田安良技官及び広野秋男氏に厚くお礼申し上げます。なおデータ処理には防災研究所資料センターの FACOM M-140 を使用した。

参 考 文 献

- 1) 和田卓彦・加茂幸介・古沢 保・尾上謙介：地すべり地の Crack 群の雑微動に対する影響，地震第2輯，第26巻，1973，pp. 316-325.
- 2) Hattori, S and N. Nakajima: Stability of Spectra of Micro-tremors, Bull. Inter. Inst. Seism. and Earthq. Engi., Vol. 16, 1978, pp. 89-103.
- 3) 高田理夫・尾上謙介・小林年夫・山田 勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（序報），京都大学防災研究所年報，第11号A，昭43. 3，pp. 213-220.
- 4) 古沢 保・赤松純平：局所地震の P～S 間に見られる顕著な Phase について，京都大学防災研究所年報，第21号 B-1，昭53. 4，pp. 97-106.