

松代における常時微動*

山 岸 登**

550.341

An Investigation of Microtremors at Matsushiro

N. Yamagishi

(Matsushiro Seismological Observatory)

Accuracy of seismic observation depends mainly upon background noise level near seismological observatory. In this paper, microtremors showing the shortest period wave in background noise are investigated using Benioff short-period seismograph having $T_0=1.0$ and $T_g=0.2$ (sec). Such short period microtremors are chiefly due to artificial disturbance such as traffic, industrial machines and so on.

Predominant periods of microtremors recorded by the three components of the seismograph have a slight difference in period ranging from 0.1 sec to 0.8 sec. And 0.4 sec wave averaging the mean-period of two horizontal components is decided as representative wave of microtremors at this place. Thus, amplitude levels of noise were derived from double amplitudes of 0.4 sec wave on each seismogram.

In general, period of maximum amplitude wave having a period less than 1.0 sec on this seismogram shows 0.5–0.7 sec in the daytime and about 0.9 sec at night, but the powers caused by these waves have less influence upon the amplitude of microtremors from 0.4 sec wave.

On the other hand, it was found that the predominant period of microtremors is almost in accord with the predominant period of P and S wave from small earthquake. And in this connection, Kanai et al have already reported the same results from several observations.

The activity of microtremors shows remarkable daily variation, but there is no seasonal and annual variation so far as present investigation is concerned.

Also, it can be seen that the largest noise amplitude appears at 08 and 03 (EW), 04 (NS) a.m. and the lowest value in the daytime appears at 12 hour, respectively.

The mean noise levels of NS and EW component in the daytime, nighttime, and a day are 5.4, 2.1, 3.7 and 3.6, 1.5, 2.5 (μ kine) respectively, and the ratio of daytime to midnight is 2.6 (NS) and 2.4 (EW) times.

In case of the most conspicuous activity, it is counted about 1.4 times of ordinary level in the daytime and the least level through a year appears on 2nd of January.

§1. はしがき

近年、科学技術のめざましい進歩、発展に伴って、人間の社会活動も著しく活発になってきた。この傾向は将来ますます顕著の度を増すものと思われ、交通機関や工場などを振動源とする雑微振動も漸増の一途をたどると予想される。一方、地震観測の分野では、最近特に社会的に地震予知の問題が要請されるためあって、かなり

微少な地震までもが高精度で観測されるひっ迫性が生じてきた。雑微振動は地震の規模が小さい時程支障度を増し、信号対雑音比(S/N比)の低下をもたらすから、今後の微小地震観測に対する良策が望まれる。一般に、常時雑微振動と考えられるものには、人工的振動源に起因する短周期雑微動のほかに、風や海水などのような自然的振動源によって誘発される常時脈動の二つの場合がある(火山性の雑微動は考慮に入れない)。地震計の記録にはこれら両者が重複、混合して出現する。常時脈動は常時雑微振動に比べ、概して周期がやや長く、しかも

* Received July 27, 1975

** 地震観測所

その名の示すように常に記録上に現れている（以下この種のものを脈動という）。これに反し、ここで取り扱う常時雑微振動は波の周期も短く、振幅の大きさには明りょうな日変化が見られ、全くわれわれの日常生活に直結したような消長を示すので、前者との判別は比較的容易に行える（以下常時微動という）。

当所の観測測器は別所層と呼ばれる堅い黒色頁岩の大岩盤上で、しかも交通量のかなり少ない場所に設置されているものの、上記のような常時微動が記録上に混入していないわけではない。最近、当観測所近傍を高速自動車道および国鉄新幹線通過の計画がほぼ確定したので、それらに誘起される雑微振動も現在のレベルにプラスされ、background noise の増加に伴い地震験測の基準線は、これまでのレベルを維持できなくなる憂いも考えられなくはない。そこで、基本的な問題として、現状における当所の常時微動のレベルおよびその消長状態の把握を主目的とした、いわば半定量的な調査を行った。常時微動の振動源、波の本質、地盤構造などに関するものは対象外とした。新幹線による雑微振動は既に測定や解析がなされ、当所の常時微動の平均的レベルは其中に報告されている（浜田、勝又、泉、斎藤、1973）。なお、常時微動に関する研究はこれまで数多くあるが（例えば金井、田中、長田らの一連の研究、1957）、振動工学の面から主として卓越周期や平均周期などの測定に重点をおいたものが比較的多いようである。

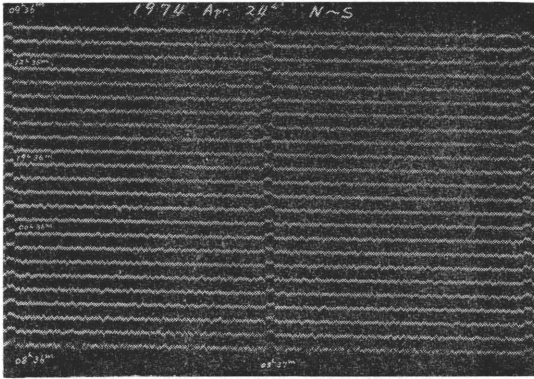
§2. 調査方法

通常、常時微動を精度良く測定、解析するには、例えば、常時微動計や周期頻度解析器などを用いる。この調査では、ルーチン業務として毎日作動している当所の現用測器から得られた記録を読み取ったもので、特別な測器を用い、期間を定めた特種観測を行ったわけではない。資料は、1973年7月から1974年6月までの Benioff short-period 地震計（フィルム記録で、地震計および電流計の固有周期はそれぞれ $T_0 = 1.0$ 秒、 $T_0 = 0.2$ 秒、以下 BS と略す）の 3 成分記録で、もとの記録では 1 分の送り 15mm のものを 180mm に拡大し、倍率も最高約 55 万倍に高めて測定した。この場合、読み取り誤差は周期で 0.03 秒、振幅で約 $2 \times 10^{-4} \mu$ 程度となる。波の周期は山と山との時間間隔、振幅は全振幅を基準とした。いずれの記録も常時微動が単独に明りょうな卓越を示すものは稀で、脈動の勢力が圧倒的に強い。周期 0.7 秒前後の短周期脈動の時は常時微動との判定にやや明確さを欠くが、この地震計による験測上の経験では、脈動の周期

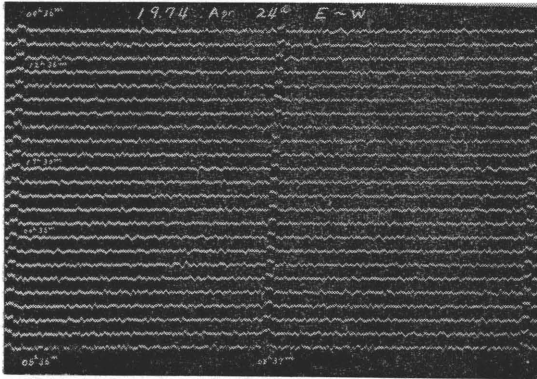
は約 0.9 秒以上のものが多いから、周期の読み取りはそれ程困難ではない。まず、1973年7月、同10月および1974年1月、同4月の4か月を限定し、それぞれの月で最も良い記録を示す常時微動の日を目視によって1日選り出し、さらにその中で最も顕著に出現している時間帯（多くの場合、08時-10時）に着目し、そこにおける2分間での波の周期ひん度を求めた。そして、ひん度の極大を常時微動の卓越周期と見なした。3成分での卓越周期はやや相違するので、常に振幅の小さい上下成分を除いた水平成2分での平均周期の平均値 0.4 秒をもって当所における常時微動の代表周期と定めた。従って、振幅の測定は常時微動のレベルを決定する立場から画一性に重点を置いて、代表周期の波（以下 0.4 秒波と呼ぶ）の最大値を読みとった。ただし、1日分の資料だけでその月のレベルを算出するのは正確な統計値といえないので、測定に際しては、各月で最も顕著な日と、ほぼ平均状態にあると推定される日の記録をも加えた、計2日間の資料を用いた。

§3. 常時微動の記録例

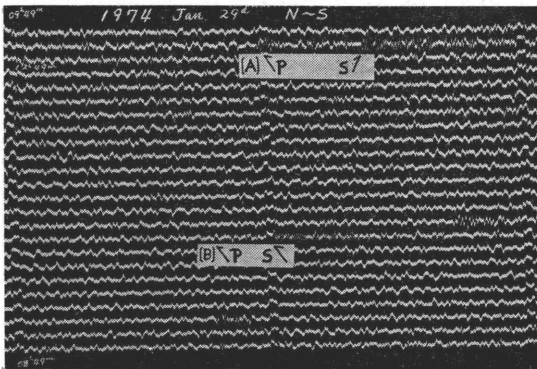
ここでは常時微動測定のために最適の測器を用いていないので、一応その記録を以下に示す。BS のフィルムを拡大した2分間のものを Photo. 1 (a, b, c, d, e, f) に掲げた。(a)および(b)は、1974年4月24日の南北および東西成分で（ドラム回転は1時間1回）、一見して明らかのように両者とも09時36分から19時36分（それぞれの時刻は2分間を代表する。以下同様）までは脈動をりょうがした常時微動が卓越し、その後やや周期の長い脈動が06時36分ごろまでつづき、再び常時微動が強くなり、08時36分では24時間中最も顕著な出現を示す。なお、両成分共、(i)12時36分で振幅が減少し、13時36分ではまた元のレベル近く戻っている、(ii)総体的に、南北成分の振幅が優勢である、(iii)08時36分に注目すれば、その周期は南北成分がわずかに大きい、などもわかる。これらの消長状態は1年を通じてほぼ類似し、地震計の常数は3成分共ほとんど一定に保たれている点を考慮に置けば、当所での常時微動は地殻変動観測から得られた情報と同じく、地形や横穴の影響を多分に受けるような暗示を受ける。(c)および(d)は1974年1月29日の南北および上下成分で、冬季のため脈動は全般的にやや多く、南北成分では(a)の記録ほど卓越した常時微動は見られない。しかし、(a)で示された時間の推移に伴う消長状態はここでも同様に現われている。(d)の短周期常時微動は極めて劣勢で、記録全体は脈動で占めら



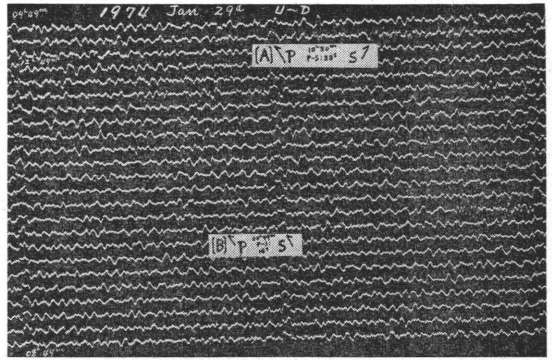
(a): NS component



(b): EW component

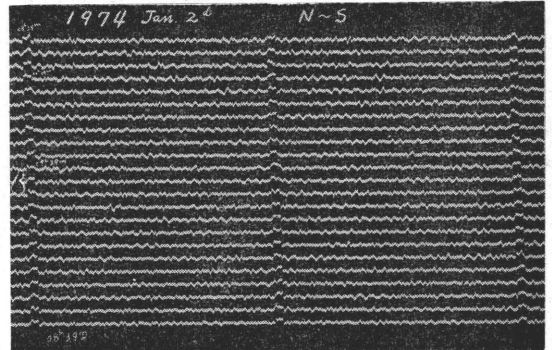


(c): NS component

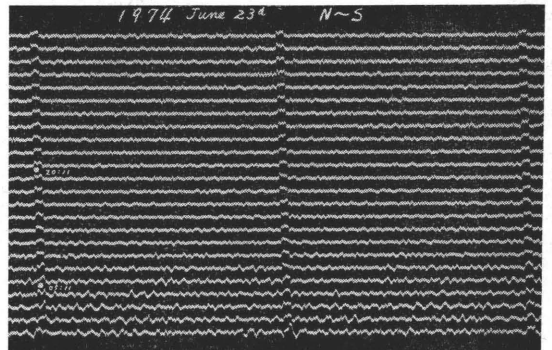


(d): UD component

Seismogram of Benioff short-period on Jan. 29, 1974. (A) and (B) are small earthquake having ($S-P$) time of 23 sec and 14 sec, respectively.



(e): NS seismogram of Benioff short-period on 2 Jan. 1974. Short-period microseisms show all over the record.



(f): NS seismogram of Benioff short-period on June 23, 1974. Rainfall of 20 mm was measured from 20 p.m. to 05 a.m.

Photo. 1. Representative records of microtremors from Benioff short-period seismograph at MATSUSHIRO on Apr. 24, 1974.

れ、08時36分にだけ微弱な出現がある。この記録から周期と振幅とを正確に測定できないが、このような傾向もまた、1年を通じ似通っている。上記のことから、当所の常時微動のレベルは、南北—東西—上下の順に減ずるものと概念的に察知される。(e)は1974年1月2日の南北成分で、09時39分から19時39分の間、および08時39分にわずかに認められる。冬季の気象的要因による強い刺激がないため、安定した短周期の脈動が全般的に記録され、3成分中最も卓越を示す当所の南北成分としては常時微動のかなり少ない例にあげられる。1月2日といえは1年を通じ、われわれの生活中まず個人的にも社会的にも、あらゆる分野で最も活動度の低い日で、このような現象を逆に考えれば、常時微動は人為的な要因に基づく1次的な応答結果にはほぼ近いといえる。(f)は同年6月23日の南北成分で当日の天気図によれば日本海に低気圧があり、当所の自記雨量計では20時ごろから雨がみられ、翌朝05時ごろまでに約20ミリの降雨があった。この間、各時間帯ではほぼ同量の降雨が記録され、特別に強雨の時間帯もなく、この調査期間中では最多量の雨が連続的に降った日に当る。(f)による常時微動は、時間の推移に対し前掲(a)とはほぼ似た消長を示し、20時から翌朝05時の間で特に振幅は増加していない。いいかえれば、1時間当たり2、3ミリ程度の降雨は常時微動の強さに全く影響をおよぼさない。

§4. 微小地震および常時微動の卓越周期

Photo. 1の(c)および(d)の中にマークした[A]および[B]の二つの微小地震から得られた、P波とS波からの同期頻度分布をFig. 1(a, b)に示した。両図による4例から、周期0.9秒以上のものは記象型からして脈動と考えられるが、頻度曲線はいずれも鋭い一つのピークをもつ単純な分布を示し、(S-P)時間23秒以下の微小地震ではP波とS波の卓越周期は南北成分で0.4-0.5(秒)、上下成分では両者とも0.3-0.4(秒)の間に存在するのが見られる(各点は、読取り誤差を考慮して0.1秒単位とし、周期の中心にかいてある、以下同様。また読み取りはPやS波の存在が認められるところまでとした)。他方、常時微動の周期ひん度分布をFig. 2およびFig. 3に示した。Fig. 2は1974年1月30日08時49分から50分の2分間の測定で、比較のため全く同じ時間帯の国際標準地震計短周期成分($T_0=1.0$ 秒, $T_9=0.75$ 秒, WWSと略す)のものも上部に掲げた。BSのものは東西と上下成分で0.3-0.4(秒)、南北成分では0.4-0.5(秒)の間にそれぞれのピークがあり、分布の型は微

小地震のものと良く相似している。WWSでは東西がやや周期の延びを示し、南北と上下成分とがBSのものにそれぞれ合致している。金井ら(1961)は、普通地震および一部の被害地震の卓越周期は、ここで得られた微小地震の場合と同じく、常時微動のものにはほぼ一致すると述べている。もともと、常時微動はその場所に特有な現れかたをするから時間に関係なく、いつ測定しても周期ひん度はおよそ変わらない。試みに、4か月分(1973年7月、10月および1974年1月、4月)の総合値を示すとFig. 3が得られる。資料は3か月分ではあるが年間を代表するものと見なされ、卓越周期はFig. 2のBSに一致しているのが確かめられる(上下成分の常時微動は常に極めて小さいため資料は1か月に限った)。また、得られた周期の範囲は0.1-0.9秒で、このうち0.9秒のものは脈動の混入と考えられるから、その出現範囲も全く

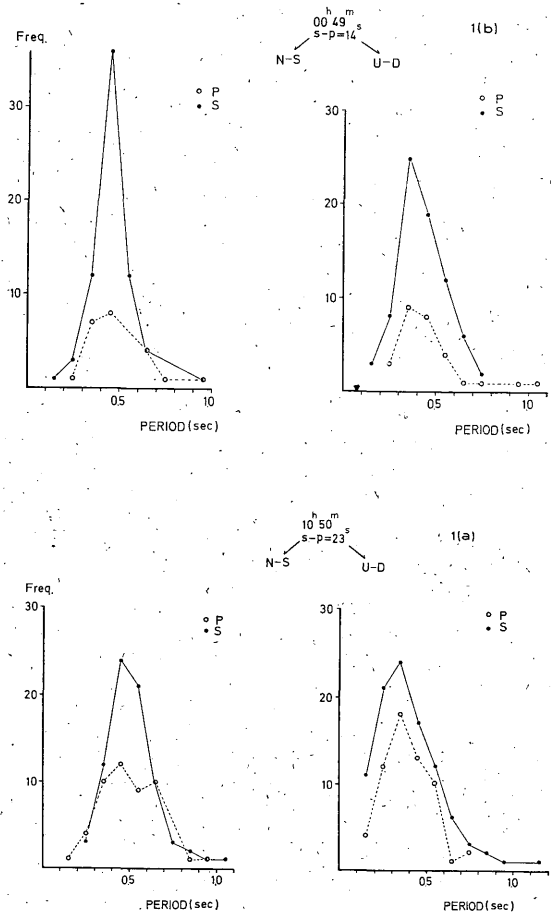


Fig. 1 (a, b). Period distribution curves of two small earthquakes.

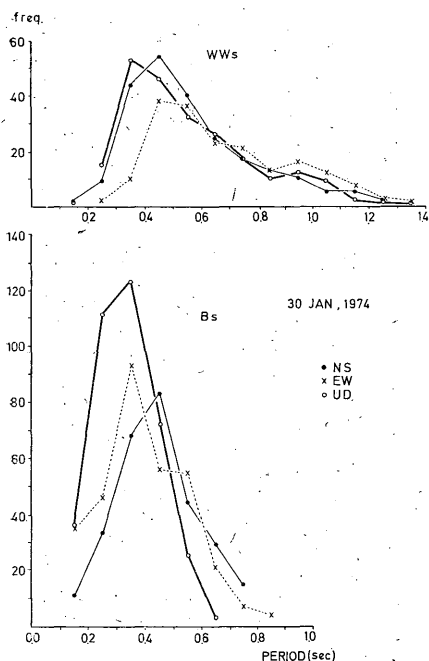


Fig. 2. Period distribution curves of microtremors on Jan. 30, 1974.
upper: world-wide seismogram.
lower: Benioff short-period seismogram at the same time.

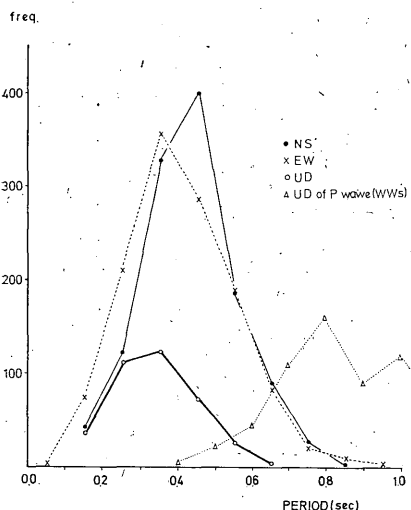


Fig. 3. Representative patterns of period distribution curves of microtremors for three components from Benioff short-period seismograms at MATSUSHIRO. Triangle marks show the period of maximum amplitude wave of vertical P wave.

微小地震のものに一致する。これら3成分での曲線はそれぞれ約0.40秒(南北), 約0.38秒(東西), 約0.31秒(上下)を平均周期とする, わずかに歪を示すほぼ正規分布に近い分布を現わしている。Fig. 3中の(△)印はWWS地震計による, この1年間に検測されたP波群中の最大波(上下動成分)の周期ひん度である(周期1.0秒以上での数は少ないので割愛した)。地震は震央距離5°以上で, 比較的マグニチュードの大きいものを対象にしたとはいえ, その極大は0.8秒にあって, 0.4秒付近のひん度は最も少ない。これらのことから, 常時微動の卓越する場合は地震, 特に微小地震の検測を困難にし, 時にはその精度を相当低下させる。しかし規模の比較的大きいものや遠地地震などでは, さほど障害はないことが知れる。

§5. 常時微動のレベル

(i) 通常レベルの日の消長

おのおの月で, たとえ2分間でも毎日の値を測定し, それらの平均値を求めたならば, 各日または各月の真の平均レベルが決定されるであろう。ただし, ここでは目視により, 各月で通常レベルにあると推定される日を選んだ。Fig. 4(a, b, c)に, そのような選定による日の日変化グラフを示す。

測定値は0.4秒波の全振幅で, それぞれの図には南北と東西成分が描かれ, 縦軸を変位で記してある。0.4秒波の振幅は卓越周期波のものと異なるから, 得られた値は卓越周期波のものに比べ各時刻でいくらか増減があるかもしれない。しかし, 両成分について各時刻での比較を容易にするため, および与えられた記録をコンパレータで読みとる方法にはあまり高精度の測定を望めない, などから0.4秒波に統一した測定の方がむしろ妥当性があると思われる。各月毎での日変化グラフはおのおの型を異にするが, 両成分での消長はほぼ平行した活動を示し, おおかたの時刻および月毎では南北の方が優勢で, 特に日中(07時—18時の12時間)はこの傾向が著しい。一般に, 午前6時ごろから振幅の急増がみられ, 2—3の例を除き最高値は08時から10時の間に出現する。12時では必ず日中での最低を示し, 13時には再び活発となり, 20時以降では振幅が減少する。南北は $6.3-0.5(10^{-8}\mu)$, 東西では $5.6-0.3(10^{-8}\mu)$ の間を変動するが, おおのおの6.0および $5.0(10^{-8}\mu)$ を越すことは数少ない。年間を通して日中, 夜間, 1日の平均値を求めると南北の, 3.8, 2.4, 3.1, 東西の2.7, 1.2, 1.9, ($10^{-8}\mu$)がそれぞれ通常レベルの日の値となる。

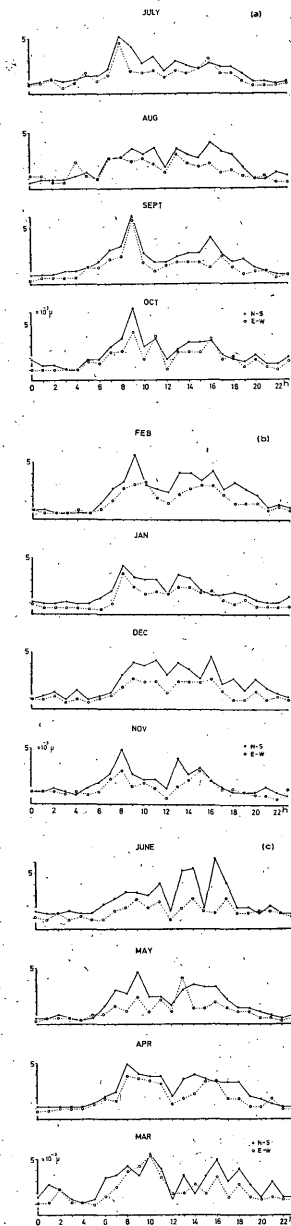


Fig. 4 (a, b, c). Amplitude variation of 0.4 sec wave for a 24 hour period at each month.

(ii) 常時微動の顕著な日との比較

前と同じく各月毎に記録を目視によって判断し、最も顕著に出現していると推定される日を選び出し、通常レベルの日との比較を行なった。Fig. 5 (a, b)はその例で、測定値は同じく0.4秒波の全振幅とした。二者の比較において、両成分とも夜間での差は小さく、日中では

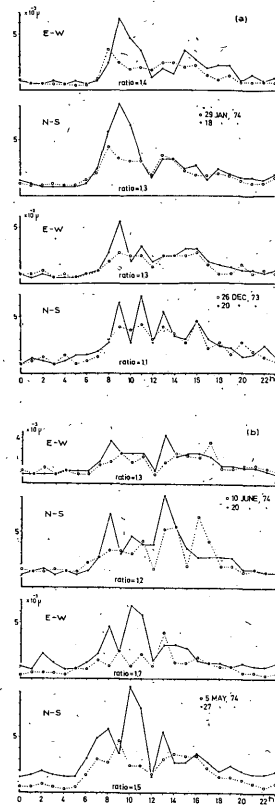


Fig. 5 (a, b). Daily variation in noise amplitudes on the most remarkable day and mean level deriving from 0.4 sec wave.

時として数倍もの差が見られることもある。このことは常時微動が人為的なものであることを現象的に示しているに外ならない。図中に記した比率は、日中だけに限った場合の両者の振幅比で、すべて東西成分の比率が大きい。4例の平均から東西で1.4倍、南北で1.3倍となり最高と通常日とでは日中において、約40%の相違を生ずることになる。

(iii) 常時微動の日および年度比

(i)で見られたように、時間の推移に伴う常時微動の消長は各月でそれぞれ異なる型を示すが、概観すればほぼ似た傾向をたどるものが多い。常時微動が全く人為的なものなら脈動と違って、その場所に特有の日変化が存在し、都市ではそのレベルもかなり高いと予測される。Fig. 6は最近の当所における常時微動の標準的日変化と見なされるもので、調査期間1年間での平均に基づいている。(ここでは計算式より換算した速度振幅とした)。なお各月では、通常レベルと最高レベル日との平

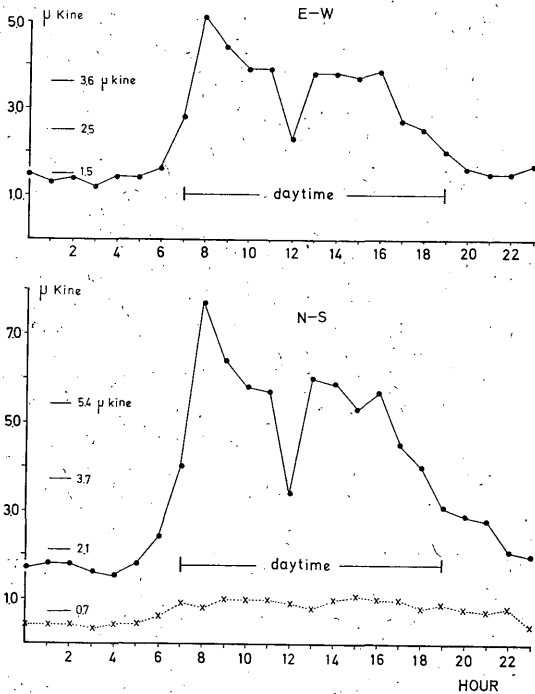


Fig. 6. Daily variation curves of microtremors and their levels in the daytime, nighttime, a day and 2nd of January, respectively.

均値を用いてあるから、真の意味の平均値でない、しかし、測定誤差および卓越周期波の振幅を用いてない、などのおそれも考慮して、一応、日変化の標準型とした。図によれば、その消長は南北と東西成分ではほぼ平行し、両成分共1日の極大は08時、日中での最低は12時で、13時には再び増加し、19時を過ぎると日中の最低値以下に減る。03時(東西)、04時(南北)に1日の極小が見られ、その後06時ごろから急激に増加を始め極大に達する。これらの中で最も注目すべき挙動は、両成分に共通した12時での最低点で、金井ら(1961)の測定による東京大学地震研究所構内の測定でも同じ現象が目につく。南北の較差は東西成分より大きく、極大値(それぞれ7.7, 5.1: μ kine)および極小値(それぞれ1.5, 1.2: μ kine)とも南北成分の方が大きい。日中、夜間、1日での平均値は図中の左側に記したように、南北および東西成分でおの5.4, 2.1, 3.7および3.6, 1.5, 2.5, (μ kine)となり、日中の夜間に対する割合はそれぞれ2.6倍, 2.4倍である。これらの平均値は代表周期波による、いわゆるノイズレベル値に相当する。浜田らが以前に得たものは6 μ kineで、今回の日平均値を多少上まわるが、使用地震計はWWS、波は1秒前後のものを選んだなどの点を考

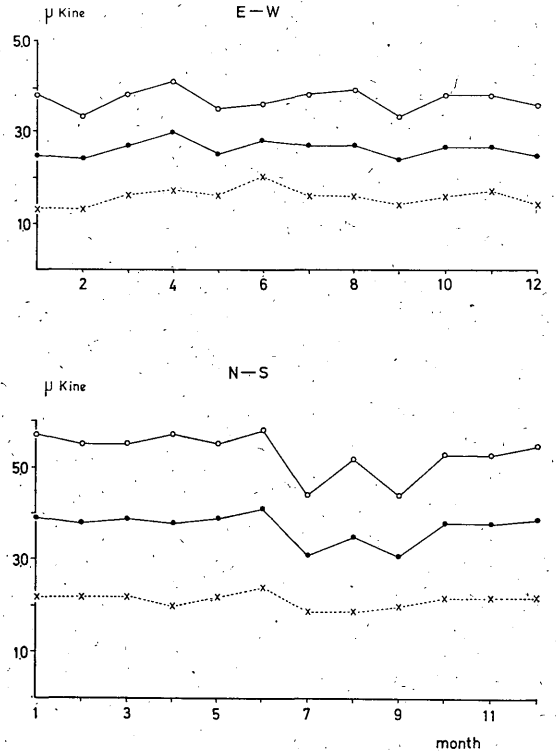


Fig. 7. Seasonal and annual variation curves of microtremors for two horizontal components.

慮に入れた上で、日中の卓越する時間帯だけに注目すると、両者の測定値に矛盾は感じられない。なお、NS成分に示した(\times)印は、1年中で最も低レベルと推定される1月2日のもので、比較のために記入した(詳細は次章参照)。Fig. 7は日中、夜間、日平均の値を月別に示したグラフで、この図だけでは常時微動の季節および年変化は認められない。常時微動源が人為的なものなら、季節や年変化に関連する活動も出現の可能性は十分考えられる。これは、選定した資料によるらしく、このような変化を探求するには労力を要するが、やはり毎日の記録を丹念に測定するのが最良の方法だろう。

§6. 最大振幅波とその周期

BS地震計では一般に、周期0.9秒以上の波は明らかに脈動と認められるが、周期0.7秒前後では脈動とも常時微動とも判別しにくい場合がある。しかもその波が時には優勢な出現を示すから、もし常時微動に属するものであれば、0.4秒波から得られたレベル値は過小に算出している危険性がある。そこで、同じ資料の各時間帯における2分間の中から、周期1.0秒以下での最大振幅の波

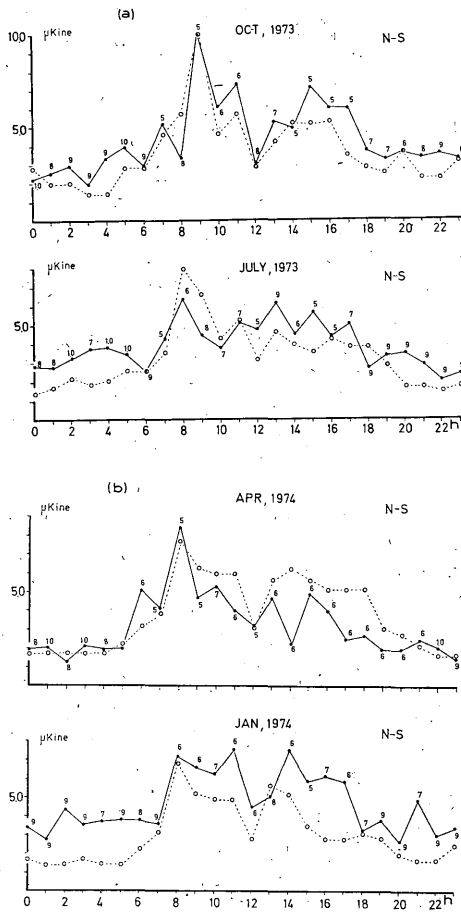


Fig. 8 (a, b). Comparisons of period and amplitude between maximum amplitude waves(•) and 0.4 sec wave(○).

(以下最大波と呼ぶ)の周期と振幅とを測定し、比較、検討を行った。Fig. 8(a, b)は南北成分を対象として、0.4秒および最大波の値とを時刻毎にプロットしたもので、各点に付した数字は最大波の周期である(周期1.0秒以下は小数位だけ記入)。常時微動の場合と同じく、最大波の日中での振幅は夜間のものより大きく数えられ、概して日中では0.5-0.7(秒)、夜間では0.9秒前後の波が最大波に相当する。1974年1月の日中では最大波の振幅は0.4秒波のレベルをかなり上まわすが、1973年7月と1974年4月のように、0.4秒波のほうにむしろ高いレベルも見られることから、日中だけをならしたおよそのレベルは0.4秒波のもので、ほぼ代表させることができる。これに反し、夜間のレベルは両者の間で大差があるものの、そこでの最大波の大部分は波の周期や象型か

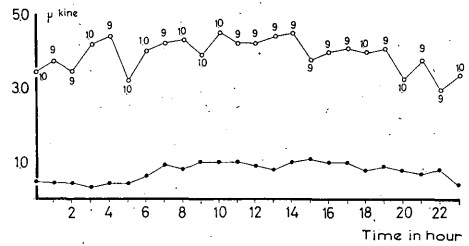


Fig. 9. Microtremors on 2nd of January showing the lowest level.

upper: Period and amplitude of maximum amplitude wave.

lower: Amplitude of 0.4 sec wave.

らして明りょうに脈動と認められ、従って0.4秒波の測定値に変動を及ぼさない。もう一つの例として、1971-1974年の4か年にわたる、1月2日だけを対象にした南北成分の結果をFig. 9に示した。前掲の記録にもあるように、この日の常時微動はおそらく1年中で最も平静を保っている。脈動の方は、1972年と1973年がやや卓越を示すが、ほかの2か年は通常のレベルにあった(1974年以外は記録を掲げていない)。いずれの時刻でも両者間の相違は大きく、時として10倍以上もの開きを示す。しかし、最大波の大部分は周期0.9-1.0(秒)の完全な脈動で、やはり0.4秒波の測定値に影響を与えない。これら2例から、厳密なスペクトル解析を行ったものではないが、代表周期波についての前記測定値は最近のレベルを最も良く表わし、日変化のパターンは当所の標準的なものと見せる。

§7. ま と め

当所の現状における background noise levelを知るため、常用BS地震計の記録から常時微動の調査を行った。考察を含め、得られた結果を列記するとおよそ次のようになる。

(i) 常時微動の卓越周期は3成分でやや異なるが一般に、卓越周期は平均周期に似た値を示すことが多いから、得られた周期ひん度曲線もさらに資料を増せば正規分布に近づくものと考え、水平2成分の平均周期の平均から代表周期として0.4秒を決めた。これは、この付近の極く表層における地盤の動的特性をほぼ代表する値と考えられ、金井ら(1966)の観測から得られた北信地域での卓越周期0.4秒±0.02秒とも良く一致する。ただし、最大振幅を示す波の周期は日中で0.5-0.7(秒)、夜間で0.9は秒前後のものが多い。もっとも、これらの波は代

表周期波による振幅の測定値に変動を及ぼすものではない。一方、微小地震からのP波およびS波の周波数帯域は常時微動のものとはほぼ等しく、周期のひん度分布も相似している。特に卓越周期はほとんど一致を示すから、顕著な常時微動の場合はS/N比を低下させ、微小地震の検測に障害を与える。しかし、比較的規模の大きいものや遠地地震ではほとんどその影響を無視できる。

(ii) 当所におけるレベルは南北—東西—上下成分の順に減じ、代表周期波から得られた南北および東西成分での日中、夜間、1日の平均値はそれぞれ5.4, 2.1, 3.7および3.6, 1.5, 2.5(μ kine), 最も卓越する場合は通常レベルに対し約1.4倍に増大する。また、1年を通じての最低レベルは1月2日頃、その日平均レベルは標準値の約5分の1(0.7 μ kine)に過ぎない。ノイズレベルの値から、ある観測所の検知能力の上限を推定できるのはもちろんのこと、将来、設置を予定される地震計の可能作動感度も必然的に制限されるので、少なくとも現用測器による各観測所毎のレベルは、脈動帯をも含めて知っておく必要があろう。

(iii) 常時微動の日変化を概観すれば、およそ人為的な活動度に直結した消長が見られる。すなわち、極大は08時、極小は03時(東西)—04時(南北)に出現し、この間12時には、日中での最低値が認められる。しかし、今回の調査では季節や年に関連する変化は現われなかった。経験によれば、人為的雑微動でも振動源が極く近く、しかもただ1つの場合は短周期の規則性のある一定した振動が連続して記録され、日変化は認められない。ここで

示されたような振幅の日変化をもち、周波数帯域もやや広い場合は、振動源も複数でまた距離的にも遠近のものが含まれていることを示唆している。

(iv) 短周期の振動でも時としては風や雨などの気象的要因による著しい影響を受けるが、常時微動では3mm/h程の降雨に対する振幅の変動は全く現われない。

参 考 文 献

- 赤松 敬 (1956) : 微動について、地震, 9, 21~39.
 赤松 敬 (1958) : 微動について、地震, 11, 40~48.
 浜田 信生, 勝又 護, 泉 末雄, 齊藤 進 : 新幹線による振動の調査報告, 験震時報, 38, 23~29.
 Kanai, K. and T. Tanaka (1961) : On Microtremors, VIII, Bull. Earth. Res. Inst, 39, 97~114.
 Kanai, K., K. Hirano, S. Yoshizawa and T. Asada (1966) : Observation of Strong Earthquake Motion in Matsushiro Area. Part I. (Empirical Formula of Strong Earthquake Motion), Bull. Earth. Res. Inst, 46, 1269~1296.
 Kanai K., T. Tanaka, T. Morishita and K. Osada (1966) : Observation of Microtremors, XI, (Matsushiro Earthquake Swarm Area), Bull. Earth. Res. Inst, 44, 1297~1333.
 野越 三雄, 五十嵐 享 (1970) : 微動の振幅特性 (その1), 地震, 23, 281~303.
 嶋 悦三, 柳沢 馬住, 工藤 一嘉 (1970) : 列車によって起こされた波動の減衰, 地震, 23, 332~334.
 田中 卓二, 長田甲斐男 (1968) : 八戸市内の各種地盤上における十勝沖地震の余震および常時微動の観測結果, Bull. Earth. Res. Inst, 46, 1461~1478.
 渡辺 貢 (1968) : 微動の消長と地震活動, 験震時報, 31, 89~93.