

(60) 常時微動と地盤特性の関係

東京大学大学院

布施光啓

東京大学生産技術研究所

山崎文雄 永田 茂

1. はじめに

常時微動は、地盤の何らかの情報を含んでいるはずとの観点から、わが国では盛んに観測が行なわれており、その手軽さから現在ではサイスミック・マイクロゾーニングの有力な手段ともなっている。周期約1秒以上のやや長周期微動に対しては、アレー観測等からレイリー波やラブ波の表面波が優勢であることが認められているが、周期約1秒以下の短周期微動の波動的性質については、現在まで未解明の部分が多い。短周期微動がS波の重複反射によるものとする説¹⁾や、レーリー波が卓越しているものとする説²⁾など、その本質については、定説が確立されていないのが現状である。本研究では、東京大学生産技術研究所千葉実験所構内において一昼夜にわたる微動アレー観測を行い、短周期微動の波動的性質と地盤構造の関係について検討した。

2. 常時微動観測

微動観測は、地震動のアレー観測サイトの千葉実験所構内で、1993年3月15・16日にかけて一昼夜にわたって行った。天候は曇で小雨が一時ぱらついた。風は弱風であたった。観測アレーは、千葉アレーのボーリング孔C0を中心とした1辺約52m及び26mの大小2つの三角形アレーを組み(図1)、外側のアレーでは、水平1方向(NS)及び鉛直方向(UD)の2成分、内側のアレーでは、鉛直方向の1成分をそれぞれの観測点に配置した。観測は1時間ごとに行い、それぞれの観測点で2分間同時に速度を記録した。観測計器は東京測振の携帯用振動計SPC-35Tである。図2に成分1(UD)及び成分2(NS)の観測波形例を示す。

成分1及び成分2について、時間領域の微動データをフーリエ変換し、バンド幅0.4HzのParzenウィンドーで平滑化を施した。観測記録24時間分のうち4時間ごとの水平動と鉛直動スペクトルを6時点について図3、図4に示す。両成分とも周期約0.2秒より長い帯域では、0.5秒付近でピークになり、日変化なく安定しているが、これより短い帯域ではピークがでる時間とでない時間があるなど日変化が認められる。全体的な傾向は概ね一致する結果となった。

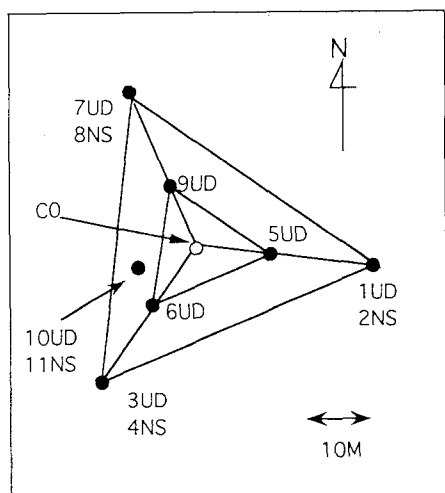


図-1 常時微動の観測点

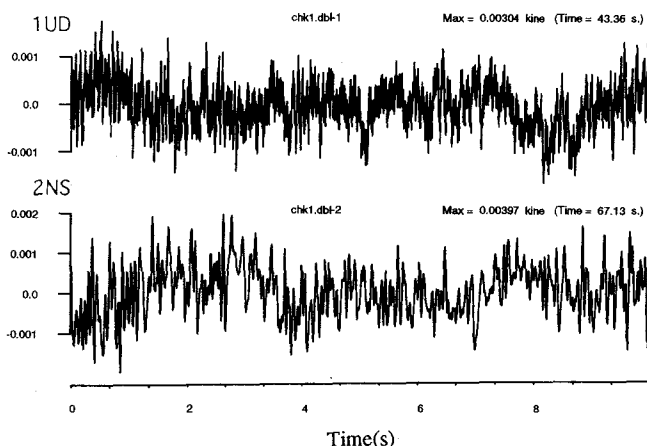


図-2 観測微動波形(6hr)

次に、これら6時点における水平動と鉛直動のフーリエスペクトルの振幅比(NS/UD)を計算し、図5に示す。微動の水平鉛直振幅比の周期特性は測定時間に関係なく安定しており、0.2秒付近に明確なピークが見られる。この水平鉛直振幅比は1方向成分より震動源の影響が少なく、地盤特性を強く反映していると考えられる。この現象の原因として、長周期微動に対しては表面波が卓越していると認められているが、短周期微動に対しては、中村がS波の増幅特性と関連づけて説明しているのに対し、時松は短周期微動においてもレイリー波が卓越しているためと説明している。観測点の地盤構造から表1に示すモデル化を行い、Lysmerの方法³⁾によりレイリー波基本モードの水平鉛直振幅比を求め、図5に合わせて示す。これによると理論振幅比と観測による振幅比の周期特性は、ピークの位置がやや異なるが、全体の形状としてはよく類似しているといえる。ピークの位置が異なる理由としては、地盤の物性値の精度や仮定した成層地盤モデルの妥当性の問題が考えられる。また、図6に観測点の各振動数帯域における鉛直成分と水平成分の速度軌跡を示す。軌跡を描く際には、その振動数帯域でバンド幅1.0Hzのcosine フィルターをかけて得られた波を用いた。どの周波数帯域においても楕円に近い軌跡を描いているのがわかる。また、フーリエスペクトルの水平鉛直振幅比の変化に伴い、軌跡の水平・上下の振幅が変化しており、これは図5に示すレイリー波基本モードの振幅比の傾向とよく一致している。

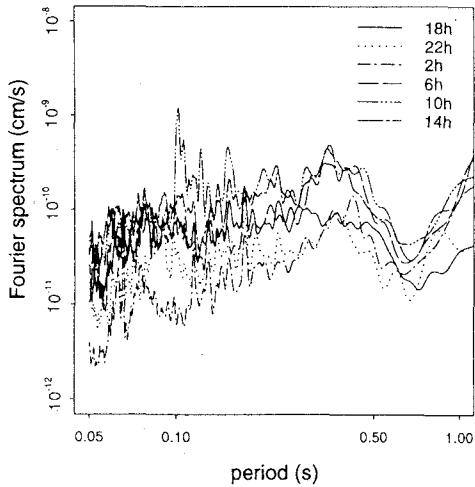


図-3 フーリエスペクトル (水平)

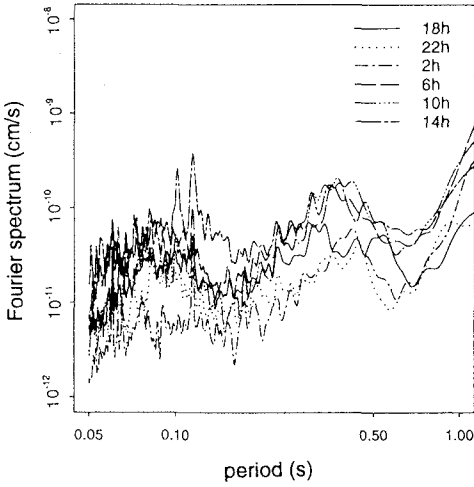


図-4 フーリエスペクトル (鉛直)

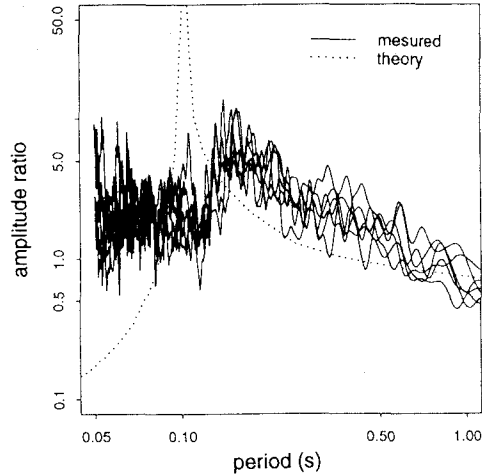


図-5 フーリエ振幅比 (水平/鉛直)

DEPTH (km)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ρ (g/cm ³)	ν	E (kg/m ²)
0.005	320	140	1.15	0.382	0.0623
0.010	550	320	1.50	0.244	0.3822
0.015	550	320	1.95	0.244	0.4969
0.024	1670	320	1.95	0.481	0.5914
0.040	1670	420	2.00	0.466	1.0356
0.500	2100	500	2.10	0.470	1.5400
1.000	2150	820	2.20	0.415	4.1660
2.500	2550	1525	2.40	0.219	13.1630
10.000	5600	3000	2.60	0.299	60.7800
35.000	6700	3900	2.70	0.244	102.1600
90.000	7500	4300	2.90	0.255	134.6000

表-1 観測点の地盤モデル

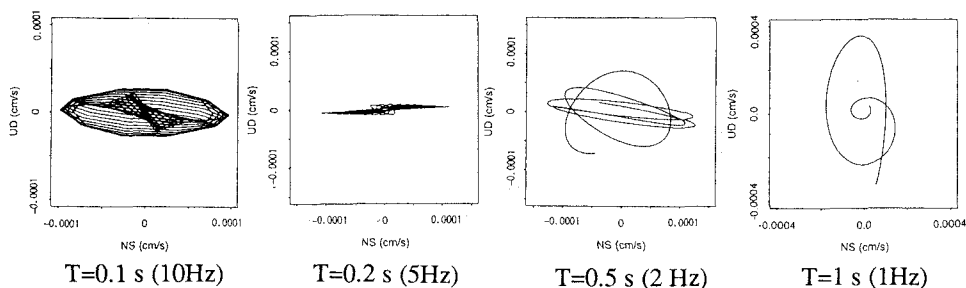


図-6 常時微動の速度軌跡 (1UD vs 2NS, 14hr)

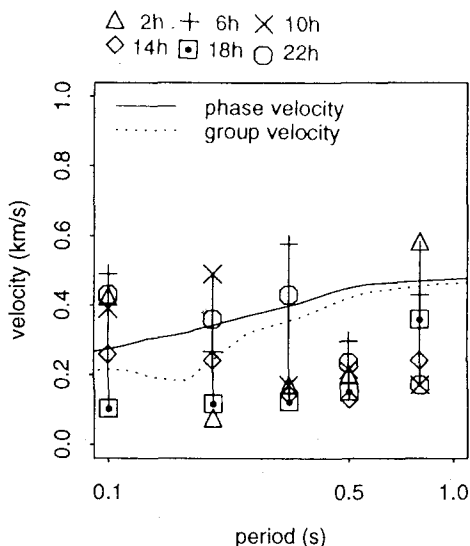


図-7 鉛直微動の見かけの伝播速度とレーリー波の位相速度

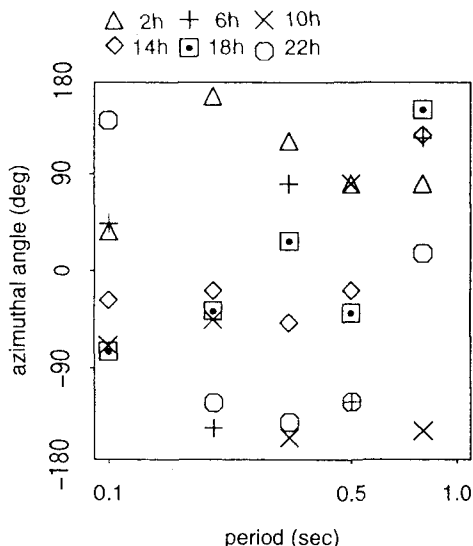


図-8 トリパタイト法による鉛直微動の到来方向

3. 微動の伝播特性

外側の三角アレーの鉛直3成分に対し、トリパタイト法で微動の伝播特性を調べた。観測点間の時間遅れはその振動数帯域のフィルター波から相互相関関数によって求めた。図7に4時間おきの6時点における見かけの伝播速度をレイリー波基本モードの分散曲線と対比して示す。これによると各周期帯域において見かけの速度はかなりばらついているが、全体的に周期が長くなる程速度が大きくなる傾向が見られる。これだけではレイリー波の分散特性に近いとはいえないが、最表層の実体波速度(表1)を考えると、見かけの速度はオーダー的にそれらの速度に近く、波の入射方向が鉛直下方からではないことがわかる。ちなみに、千葉アレーの地震波動の解析結果⁴⁾によれば、上下動の見かけの速度は、10km/s程度、水平動のそれは4-6km/s程度であった。したがって、短周期微動は、実体波より表面波の影響を強く受けているものと考えられる。次に波の到来方向の日変化を図8に示す。ここで到来方向は真北から反時計回りに計った角度で表している。14hと18hに着目すると、周期0.5秒以下の波の到来方向がほぼ北を示しており、この方向にある程度パワーを持った震動源があると考えられる。その他の時間帯は、波の到来方向はまちまちであった。また、各周波数帯については、時間ごとに波の到来方向はばらついていた。

4. 微動の空間変動特性

水平方向に20m及び40m離れた2点間のコヒーレンス関数を鉛直成分及び水平成分について計算し、その結果

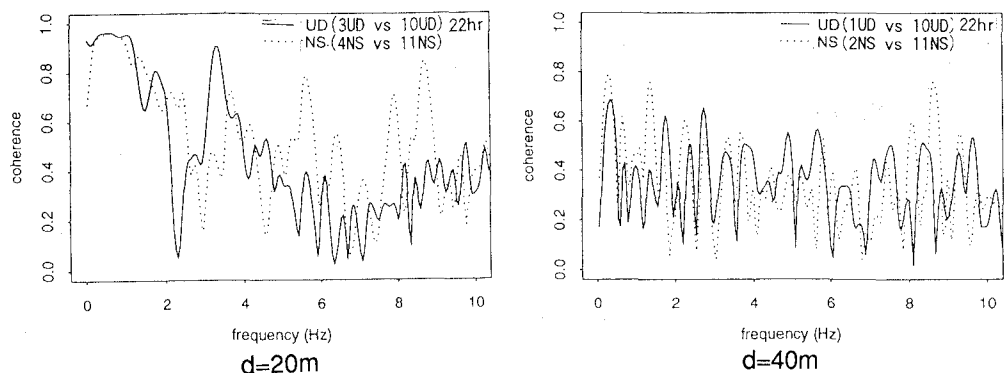


図-9 常時微動の2地点間のコヒーレンス関係の比較

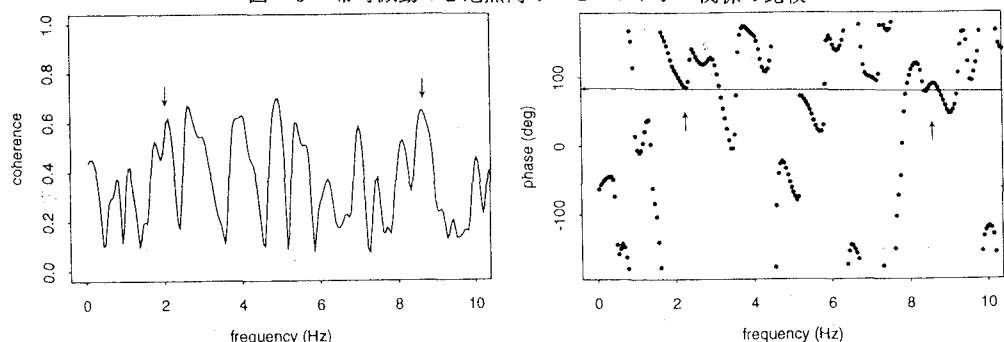


図-10 常時微動の水平動と鉛直動のコヒーレンス関数(左)と位相差(右)(1UD vs 2NS, 6hr)

を図9に示す。両成分とも、距離20mにおいては、特に鉛直成分は4Hz付近及び1 Hz以下で1に近く、非常に波形間の相関が高くなっていることがわかる。距離40mにおいてはかなり相関が低下しており、微動の空間的な相関特性が現われている。最後に同一地点のUD成分及びNS成分についてコヒーレンス及び位相差を計算した結果を図10に示す。これによるとコヒーレンスのピークと位相の90°付近ピークがほぼ対応している。このことから短周期微動にレイリー波が含まれる可能性が示唆される。

4. まとめ

東京大学生産技術研究所千葉実験所構内において一昼夜にわたる常時微動の三角形アレー観測を行い、短周期微動の基本的特性に関して以下のことを確認した。

- 1) 短周期微動の水平鉛直振幅比は、周期特性及びその比が最大となる周期は、日変化がなく安定してしており、レイリー波の理論水平鉛直振幅比の周期特性と類似している。
- 2) 短周期微動の鉛直動からトリバタイト法により求めた分散特性より短周期微動は実体波より表面波の影響を強く受けていると考えられる。

参考文献

- 1) 中村 豊：常時微動計測に基づく地震動特性の推定，鉄道総研報告Vol. 2, pp18 - 27, 1988
- 2) 時末孝次，宮寺泰生：短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係，日本建築学会構造系論文報告集，第439号，pp81 - 87, 1992
- 3) J. Lysmer：Lumped mass method for Rayleigh waves, Bulltin of the Seismological Society of America, Vol. 60, no. 1, pp89 - 104, 1970
- 4) F. Yamazaki and T. Turker：Spatial variation study on earthquake ground motion observed by Chiba array, Proceedings of the tenth World Conference on Earthquake Engineering, pp651 - 656, 1992
- 5) L. Lu, F. Yamazaki and T. Katayama：Soil amplification based on sesmometer array and microtremor observations in chiba, Japan, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 21, pp95 - 108, 1992