やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (5)

——卓越周期の安定性の検討と観測の定式化への提案——

八戸工業大学 坂 尻 直 巳
北海道大学工学部 太田 裕・後藤典俊・鏡味洋史・塩野計司・岡田成幸
東京大学地震研究所 工 藤 一 嘉
愛知教育大学 成 瀬 聖 慈
京都大学理学部 久 保 寺 章
京都大学防災研究所 竹 内 文 朗
福岡教育大学 三 波 俊 夫

(昭和 53 年 6 月 5 日受理)

Observation of 1-to 5-sec Microtremors and Their Application to Earthquake Engineering. Part V

Stability of the Predominant Period and Standardized Observation Scheme

Naomi SAKAJIRI
Hachinohe Institute of Technology
Yutaka OHTA, Noritoshi GOTO, Hiroshi KAGAMI, Keishi SHIONO, and
Shigeyuki OKADA
Faculty of Engineering, Hokkaido University
Kazuyoshi KUDO
Earthquake Research Institute, University of Tokyo
Seiji NARUSE
Aichi University of Education
Akira KUBOTERA
Faculty of Science, Kyoto University
Fumiaki TAKEUCHI
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
Toshio MITSUNAMI
Fukuoka University of Education
(Received June 5, 1973)

Continued to the previous studies an experimental research on the long-period microtremors as an effective tool for elucidating dynamic ground characteristics during an earthquake is extended.

A stressed point in this paper is on examination of the stability of the predominant period by means of the simultaneous and long-termed microtremors observations on base-

mental rock and deep soil deposit. This clarified that the predominating period on the basemental rock changes as times elapse, while on the soil deposit it is stable regardless of the surrounding meteorological conditions.

Another point is on a proposal of a standardized microtremors observation scheme as a summary of the previous results. This describes instruments, spacial and temporal observation procedure, data processing, and interpretation we should introduce, for arriving at a better success.

§1. はじめに

周期1秒から5秒程度までの、やや長周期の微動観測とその解析を行い、その結果を地震工学、とくに地震時の深い地盤の震動性状解明に資する目的で1973~1976年に青森県八戸市・青森市あるいは岩手県宮古市を実験場として研究を続けてきた。その結果は第1~4報として既に報告してある。第1~3報においては微動の、とくにスペクトル解析を通じての振動性状解明に力を注ぎ、地盤の深さと卓越周期との関係、地盤構成と微動・強震地動にみられる卓越周期の関係について報告されており、第4報では微動の波動的性質のうちとくにその伝播性解明に注目して小規模 Array 観測を行つた結果が報告されている。これらによつて深い地盤（数100 m）の存在とやや長周期の微動の卓越性との関係が相当程度まで解明され地震工学への適用可能性が格段に進んできたものと考えられる。

しかし、このように地震工学への適用が具体性を帯びてくるといままでのように単に事例研究的な観測例を提示するのみでは不十分であつて、さらに一般性ある結果に到達しうる観測のあり方について提案される必要があろう。

ところで、一般にある地点の微動観測から卓越周期（らしき）値を求め得たとき、その値が特定の観測からの偶然量ではないという保障をどのようにしてとりつけることができるであろうか。多数回の観測以外に方法はないであろうか。これとは逆に、できるだけ数少い観測によつて地盤の動特性を調べるにはどのような配慮が必要とならうか。いままでは、これらについて深く立ち入る余裕がなかつた。今回は、これらの問題、すなわち卓越周期の信頼性・安定性そして正しい卓越周期を見出すための微動観測のあり方、についていままでの結果を見直すことも含めて詳しく考えてみた。このための観測からの手掛りとして基盤と見なされる地点と既知の地盤構成をもつ地点、の2地点の同時観測を基本とする実験を行つた。

この報告では、最初に観測結果について述べ、次に観測の定式化についての1つの提案を行つている。

§2. 観 測

1976年8月5日~10日までの約1週間、基盤・地盤上の代表的な2地点においてやや長周

期微動の同時観測を継続して行い、これによつて微動振幅の消長・卓越周期の時間変動性について詳しい調査を試みた。

まず観測点の設定について基盤上の測点としては、第1報において、微動のスペクトルが「基盤型」に分類される地域にある八戸工業大学構内が選ばれ、換振器は鉄筋3階建校舎の1階実験室石机上に設置した*。次に地盤上の測点としては三菱製紙 K・K 八戸工場体育館 (第2報で B10 の地点) が選ばれた。換振器は倉庫内のコンクリート床上に設置された。この測点は古生層からなる基盤までの深さが約 400m あり、いままでの観測から微動の顕著な卓越周期として 2.8 秒が知られている。なお、両地点間は直線距離で約 13 km ある。Fig. 1 はこれらの観測点の位置を示している。

観測に用いた計器のブロックダイアグラムおよび総合特性を Fig. 2 に示す。換振器として今回は小型長周期地震計 (固有周期を 6 秒に調整) を用いておりこれ以外は第 1~4 報における測定系と大きな違いはない。

観測は上記の 2 地点の同時観測**を 4 時間毎に 15 分間づつ行えるようタイムスイッチでセットした無人観測とし、また 1 日 1 回のカセットテープの交換で済むよう 1 地点に 2 台の同性能データレコーダ (テアック製を用意 R-70A) を用意した。なお、両地点共に地震計は 3 成分を 1 組として構成した。

Fig. 1. Location of the simultaneous points on basemental rock and deposit.

Fig. 2. Block diagram and overall response of the observation system.

* この地点は実際は基盤をなす石灰岩の地層は地下 20m 程にある。

** 同時観測といつても共通刻時マークをもつ訳ではなく、ほぼ同じ時刻の観測という意味である。

§ 3. 結果と考察

基盤・地盤におけるやや長周期微動の同時観測の記録にいままでと同様のフーリエ解析を行った。すなわち、記録をまず 0.8 Hz (cut off) の Low pass filter に通したのち 0.3 秒間隔で約 5 分間 (1024 個/ch) のサンプリングを行い数値化した (Mark Rand 製 IMP-16)。次にこれらの記録のフーリエスペクトルを求め若干の加重移動平均を行って平滑化したものを最終のスペクトルと見なし、振幅 (スペクトル) およびみかけ卓越周期を読み取って以下の議論を進めた。

Fig. 3. All the spectra during the observation period.

(1) 振幅・周期の変化

まず観測期間中の微動変化の大勢を知るために基盤・地盤において同時に得られた記録の全てについてのスペクトルを書きならべてみた (Fig. 3). これによれば、基盤・地盤の両者で対応するスペクトルおよび時間変化に著しい特徴があることが判る. すなわち基盤ではスペクトルの形 (振幅, みかけ卓越周期など) が時間と共に次第に変っている様子が明瞭にうかがえる. しかし地盤では振幅について同様な変化をみられなくはないが, 周期はある幅の中でのみ変動しているようにみえる. このことは振動方向にかかわらず一般に成り立っているようにみえる. 次に上下動・水平動の間では基盤・地盤共にスペクトルの違いが明らかにみられるが, 水平2成分間 (NS, EW) には

さしたる相違はみられない. 強いていえば基盤における観測において両者の間でやや違いが大きいようにもみえる.

Fig. 4 は以上の微動の消長の様子をさらに詳しくみる目的で, 基盤・地盤両地点のスペクトル振幅の最大値を観測時刻でプロットしたものである (但し水平動については NS, EW 成分が類似していることから NS 成分で代表させた: 第2報参照). これからまず地盤上の振幅が基盤のそれの10倍以上大きいこと, そして振幅の変化は基盤上ではたかだか3倍程度であるのに対して地盤上では6~7倍にも達していること, それにもかかわらず振幅の消長 (増大しやがて減少するという) そのものは時間的にもかなりよく対応していること, などがはつきりと判る. これは上下・水平いずれの成分についてもいえる. なお, このように振幅の消長関係が両観測点でよく対応しているという事実は, 直線距離で13km離

Fig. 4. Temporal variation of the microtremors in terms of max. spectral amplitude.

Fig. 5. Variation of the spectral amplitudes in different periods.

(a) Vertical comp. (b) Horizontal comp.

れた両地点での微動が大局的には同一の外的要因で励起されていることを示唆するものとして、きわめて重要である。Fig. 4 の下半分には微動の励起に關係するであろう外的要因のうち、風速（八戸測候所）・波浪振幅（第二港湾建設局八戸港工事事務所：蕪島沖 2 km にて観測）の資料を併記してある。これで見限り微動振幅の増減は波浪のそれの方によく対応しているように思われる。これをさらに周期毎に詳しく調べてみるとまた事情が違ってくる。Fig. 5 (a), (b) は周期 1~7 秒の間で各周期で最大値を与えるスペクトル振幅の時間変化を上下・水平 (NS) 成分についてプロットしたものである。これらの図からまず基盤・地盤共に短周期の微動程時間変動性の著しいことが判る。これに対し長い周期の振幅は観測期間中ほとんど変化していない。この周期の境い目は 4 秒前後であろうか。なお、短周期での振幅変化は地盤上の微動において烈しくなっており Fig. 4 でみた最大振幅の地盤上での消長の主な原因となっているものと考えられる。微動振幅の消長と期待される外的要因の変化とを Fig. 4, 5 を比較しながら対応させてみると

微動振幅 { 短周期側——風速
長周期側——波浪

Fig. 6. Temporal variation of apparent predominant periods and their frequency diagrams.

の関係が想定できなくもない。しかし、これらの関係の成立を結論するためには微動——気象変動（波浪）の丹念な観測を必要とすることはいうまでもない。

(2) 卓越周期の安定性

さて、次にこれらスペクトルの最大振幅に対応する周期——みかけ卓越周期——に注目して

それが地盤の動特性を反映したものか、もしそうならばそれらの信頼性・安定性について、検討を行つていきたい。

Fig. 6 はこのみかけ卓越周期を観測時間と共に上下・水平 (NS) 成分についてプロットしたものである。また、この図の右端にこの見かけ周期の頻度分布を示しておいた。

基盤上では、この期間中に周期が 2 秒から 3 秒、そして 4 秒へと時間と共に次第に長くなり、これに対応して周期頻度も 2~5 秒に広がった分布となつており、したがつて特定の周期に集中するという様子は全然みられない。これは上・下水平成分の如何を問わない。もちろん、短周期から長周期への卓越周期の時間変化は期間中にたまたまそうなつたという偶然のものであつてこの傾向そのものに意味がある訳ではない。この傾向をもたらししたものについての原因は本論とは別に考えなくてはならない。ここで重要な点は、基盤上では微動生成の原因となる外的要因の変化に伴つて、場合によつては如何なる周期もみかけ上卓越しうることを示唆していることである。すなわち基盤上では卓越周期はあくまでもみかけのものであつて、その地点に固有の卓越周期を与えるものではない。それぞれ基盤上にある八戸測候所(第1報)、宮古測候所(第3報)での観測で微動の卓越周期として 4 秒を得ていたにもかかわらずそれらを地盤の動特性に関わる周期としなかつたことの理由がここに至つてさらに明確になつたともいえる。これらの事は、逆に、やや長周期の微動とそれをもたらす外的要因との関係を調べるためには基盤上での観測がより直接的であることを暗示している。

一方、地盤上でのみかけ卓越周期は基盤のそれとは全く違つたといつてもよい様子を示している。期間中、振幅は大きく変つているにもかかわらず、みかけ卓越周期はむしろほとんど一定とみてもよい程に安定している。すなわち上下動では 1.5 秒付近に集中し、水平 (NS) 成分についても図にみるように周期 2~3 秒の間に 1 つの山を作る頻度分布をなしており、その平均値は 2.7 秒と計算できる。このように偶然量とは思えない安定した卓越周期が得られてみると、これを観測点の地盤に固有の値と考えるのも自然であろう。

ところで、基盤・地盤におけるこのような特性の違いはどう説明されるであろうか。1 つの解釈として次のように考えてみることもできる。当面われわれが問題としているやや長周期の微動を励起する要因が何かについてはそれ自体 1 つの研究課題ではあるが、過去の IGY (1960) を始めとする脈動起源に関する研究を参照するならば、これを周辺気象——とくに波浪——変化に求めるのはさほど無理ではない。基盤での微動は、この外的要因の時間的変化が、波浪から地動へのエネルギー授受はあるものの、そのままに振幅あるいは周期の変化として観測されたものとして理解する。一方、地盤においてはこれが地盤といういわばある種のフィルター作用を持つ媒質を経て観測されるため外的要因の時間変化にもかかわらず微動は一定の卓越周期

をもつものとして観測される。今回の観測は基盤・地盤の違いが最も典型的に現われる実例を与えた。したがって、地盤において観測されるであろう卓越周期の安定性あるいはゆらぎの程度は外的要因の変動如何に依存することはいうまでもないが、それ以上に地盤のもつフィルターとしての特性、共振の程度（ピークの鋭さ）によつて影響されるところが大きい。後者については観測地点の地盤とその直下の基盤との速度比如何によると言い換えるととも簡単にはできる。すなわち速度コントラストの大きいほど、共振性が高くなりしたがって観測に基づく卓越周期も安定し信頼性の高い値が得られ易くなるが、これがさほど大きくない場合には得られる周期も観測毎に大きくゆらぐ可能性を否定できなくなる。少数回の観測から卓越周期を安易に算出することの危険性がここにひそんでいるといえる。Fig. 7 は基盤へ垂直に入射する SH 波という仮定で、基盤・地盤の速度比を変えながら、地表での周波数レスポンスを計算したものである。このような単純な計算によつても地盤の特定の波に対する卓越性が媒質の構成に大きく関係していることが判る。

ところで、水平成分については NS, EW の両成分のスペクトルがよく似ていることから NS 成分でこれを代表させてきたが、ここで若干詳しく調べておく。まず NS, EW 両成分のスペクトルについては、既に Fig. 3 においてみたように観測点・観測時間にかかわらず両者は細部に至るまで、相当よく一致している。この事を端的に示しているのが Fig. 8 である。これは NS, EW 両成分のスペクトル曲線の類似の程度を同一時間毎に相関係数で評価しかつ

Fig. 7. Dependency of the amplification characteristic upon the velocity contrast of base-mental rock to deposit.

Fig. 8. Spectral correlation between NS and EW components.

Fig. 9. Consistency of predominant period between NS and EW components.

卓越周期が観測毎に広く分散していること、一方地盤では特定の周期に集中して現われるという性質の違いが明瞭に理解できる。

(3) 水平動と上下動

いままでの議論からも判るように微動は上・下水平成分共にきわめてよく似た変動をしている。振幅の大きさもほとんど一致している。ただ1つの明瞭な違いは地盤における卓越周期の絶対値である。すなわち水平線動で2.7秒であるのに対して上下動では1.5秒と2倍に近い違

その度数分布をとつたものである。地盤においてはほとんどが0.95以上、基盤でも0.90以上となつておりスペクトルの全体をみる限り水平動については1成分観測で事が足りるように思われる。次にスペクトルの特性値の1つであり、ここで問題にしている最大振幅を与える周期について、NS・EW成分の関係を調べてみたものがFig. 9である。NS成分での卓越周期を横軸に、EW成分のそれを縦軸にとつて基盤・地盤についてプロットしてある。独立に得られる卓越周期が両成分で一致するならば、これは45°の直線にのる筈である。Fig. 8をみる限り基盤・地盤共にほとんどの値がこの直線に近い位置はありこのことからNS・EW成分が卓越周期についてもよく揃っていると結論できる。なお、この図からも基盤では

いとなつている。但し、卓越周期のそれぞれの値への集中の程度は両者共に非常によい。この限りにおいては地盤の卓越周期としてそのいずれを採用してもよいと、考えられなくもない。事実、上下動1成分のみから地盤の卓越周期を求め、地盤の概成を推定する立場に立つた研究も報告されている(野越他, 1975 など)。われわれは今迄の研究(第1~3報)では微動を水平動地震計で観測する事に力を注いできた。この理由は既に第3報で詳細に述べてあるが、要は地震時の強震地動に及ぼすであろう深い地盤の影響を微動という代替観測を通じて知ることにある。このためには水平成分が最も適していると考えているからである。事実、再々述べているように、1968年十勝沖地震の際の強震記録には、微動の水平成分観測から得られる地盤の卓越周期に対応したピークがスペクトル上に顕著に現われている。すなわち経験的に、水平成分観測を重視することの有利性を認める立場をとつてゐる訳である。しかし、さらに進んで両成分の成果を総合して地盤の動特性を把握していく方法もある筈である。この点については、微動そのものの本性に深く立ち入つた考察を前提とするところであり、第4報においてもまたように現象そのものが相当に複雑でもあることから実現にはもう少し時間がかかる。

§4. 観測の定式化への提案

以上の結果および第1~4報での成果をもとに、やや深い地盤の地震時の動特性を見出すための微動観測のあり方について、現時点での一応のとりまとめをしておくことは、実用上はもとよりさらに今後の研究の進展のためにも有意義となるに違いない。ここでは観測から解析に至る一連の作業について、その定式化への具体的提案を行つておきたい。なお、これは従来よく知られた周期1秒までのいわゆる常時微動観測とは種々の点で違つた配慮を必要としている。

(1) 観 測

i. 計 器

周期1~5秒程度までを充分カバーできる観測システムを基本とする。そのためには換振器は長い固有周期をもつものが望ましい。われわれは研究の初期は固有周期1秒の換振器を用い出力をコンデンサーと抵抗でシャントしてみかけの周期を延ばす方法〔長谷川・鈴木(1970)〕を用いていたが、現在は小型長周期地震計〔固有周期を15秒まで調整可能、地震研プロジェクトチーム(1974)〕を用いることによつて、必要に応じてさらに長い周期まで観測できるようにしている。換振器は3成分を1組とすることが望ましいが、簡単のために水平動1成分に限定することもありうる。これに短周期の微動をおさえるための積分回路を通し、直流増幅器を経て小型カセットデータレコーダ収録する方式が簡単で判り易い。なお、換振器の感度が1~3 volt/kine 程度のとき、 10^4 倍程度の利得をもつた増幅器があれば充分である。野外観測

を主体としていることから DC 電源による駆動を原測とすることはいうまでもない。

ii. 観測点

観測点の選定は観測の成否を左右する重要な意味をもつ。選定に充立つて既存の資料（地質構造・ボーリングデータ、弾性波探査の結果……）を検討すべきことはいうまでもないが、他方や長周期の微動が気象等の外的要因の変動と共にそのスペクトル構成を大きく変えることからこれへの配慮を忘れてはならない。このため、単一の測点のみによることは望ましくなく、所望の地点を含む適当な測線を設けこれに沿った一連の観測が必要となる。測線は地質構造、弾性波探査による構造の変化にみあつた方向に設定すべきであり、とくに基盤から地盤に至る測線に沿う多点観測は有用である。もしさらに測候所（気象庁）ほかの既存の地震観測点を通る測線を設定しうらば理想的である。測点間隔は地下構造（基盤に至る深度）の変化・期待される卓越周期（短周期ほど間隔を狭くとる）に応じて定めることになろうが1つの目安として「期待される卓越周期」と「地盤の平均 S 波速度」との積、すなわち微動を進行波とみたときの1波長を越えない範囲で計画するとよい。

iii. 観測の実施

観測は多点同時観測が理想ではあるが、止むをえない場合には1点ないしは何点かを固定点——基準観測点——とし、他を移動点とする同時観測を進めることもありうる。この場合にも全観測点を短時間のうちに行なうことが望ましい。一般には4～6時間以内で1ラウンドを済ますように心がける方がよい。地盤特性を反映する卓越周期を正しく見出すためには期間を変えて繰り返し観測を行うことが重要である。もし観測が台風（顕著な低気圧）の通過の時期を含んで行われるならば、刻々変化する卓越周期——外的条件、安定した卓越周期——地盤特性の関係が明瞭に識別できることがある。

1回の観測に要する時間は、対象とする波の周期が長いことから当然長い時間が必要である。解析可能な記録をを5分以上うするためには15～20分の連続観測が必要となろう。

交通機関・工場等による擾乱を避けるためには夜間観測の方がよいが、周りの擾乱が少なければ、あるいは適当な Hi-cutfilter を用意することによつて日中の観測も可能となる。

(2) 解 析

i. スペクトル解析

観測された記録を再生し、人工的なノイズの有無を確かめて解析区間を決定する。解析する長さは状況にもよるが少なくとも5分程度（みかけの波数として100～300位）は必要である。スペクトル解析としてはフーリエスペクトルあるいはパワースペクトルのいずれを求めてもよい。また計算には記録を数値化した上で通常の電子計算機による方法とアナログデータを直接

スペクトルアナライザーにかける方法のいずれかとなる。いずれの場合にもエイリアシング効果などスペクトルに望ましくない影響が混入しないよう、事前の処理 (Hi-cut-filter の利用) とかサンプリングインターバルの適正指定などデータ処理一般に通ずる注意が必要なことは当然である。

1 地点で多数回の観測がある場合にはこれらの平均スペクトル、多点観測ならば基準観測点に対するスペクトル比を求めておくことも時に大切となる。

ii. 卓越周期の推定

以上のような方法で計算されたスペクトルにはいくつかのピークが現われることが普通であり、観測スペクトルにおけるピーク即地盤の卓越周期という単純な解釈が危険であることは再々述べてきたところである。これらのピークから地盤特性を直接反映するものと然らざるものとの注意深い識別が必要である。もし測線が地盤構造の変化に応じて設けてあるならば、基準観測点における観測期間中のスペクトル (振幅, 周期) 変化に注意しながら、測線に沿って系統的に変化するピークを見出すことはさほど困難ではない。しかし、この場合でも測点間隔があまりに大きいとピークの対応をみあやまる心配もあり細心の注意が必要である。周期 3~5 秒のあたりに多くの観測点に共通のピークがしばしば見出されることがある。このピークが基盤観測点のそれとよく似ているときには地盤に関係する卓越周期とみるよりは入力波そのものの特性にかかわるピークとみた方がよい。疑わしい場合には期間を変えて観測を繰り返してみるのが最善の道である。

このようにして測点毎に卓越周期の概略の値が判つたとき、これを確定するには次のように処理すればよい。すなわち、同一地点での繰り返し観測から得られるみかけの卓越周期の頻度分布を描くなどしてその出現確率を評価し、これの最大に対応する値を当該地点の卓越周期の (最確値) と推定する方法である。なおこの時、頻度分布の形そのものも——分布が鋭いほど共振性が著しい——という意味で地下構造 (地盤と基盤との速度コントラストなど) を知るための情報となりうることを指摘しておきたい。

iii. 吟味

このような手続きによつて地盤 (によると思われる) の卓越周期が所望の地点および測線に沿つてえられたならばそれらを既存の資料と比較する必要がある。測線に沿つた基盤深度の変化を与える地質断面が知られているならばそれは十分に活用されるべきである。例えば基盤の深・浅と卓越周期の長・短とは少くとも傾向としては一致すべきであろう。基盤に至る深度、卓越周期とから $1/4$ 波長則によつて地盤の平均 S 波速度を求めて既知の速度・地盤種別の関係式 [太田・後藤 (1976)] を参考にしながらその妥当性を検討してみるのもよい。弾性波探査の

結果を直接参考にできればさらによい。測線の近くに測候所その他の観測所、あるいは SMAC 観測点があればこれらからの資料とのつき合わせは当然行われるべきであろう。

これらの吟味によつて、微動観測からの地盤の卓越周期が正しく推定されていることが結論される。

§5. おわりに

この報告では、地盤の卓越周期の安定性の検討を基盤・地盤上での同時観測を通じて行うと共に、これに第 1~4 報までの結果を加味して微動観測の定式化についての提案を行つた。これは観測の簡単化のためにあつて水平動 1 成分のみからの情報によつて卓越周期を見出すことを念頭においた実行可能性の高い提案となつている。

しかし、上下動成分も水平動成分とは違つた、地下構造に対する独自の情報をもつており両成分を同時に使つて地盤の動特性を調べていく方法もあるに違いない。同様の事は振幅についてもいえる訳で、ここではスペクトルにおいてピークを示す周期にのみ注目した扱いとなつているが、さらにその大きさに注意した解析が可能となる筈である。この事は他方、微動そのものを振動論的にみる方向から、波動論的になおすことでもある。これらの点については既に第 4 報で多少の議論をしたところではあるが決して充分ではない。今後の課題としていく必要がある。

最後に、今回の研究に関して観測のための場所をお借りした八戸工業大学・三菱製紙八戸工場、観測期間中の気象資料の提供をいただいた八戸測候所を始めとする機関・関係の方々に厚くお礼申し上げる。資料の整理・図面の作成・清書には八戸工業大学高橋悦子嬢、北海道大学工学部建築工学教室耐震工学研究室津川りゆう子嬢によるところが大きい。研究費 1 部は文部省自然災害計画研究課番号 002011 (代表者 小林啓美) および建設省「新耐震設計法の開発」に関するプロジェクト研究によつていることを付記する。計算は北海道大学大型計算機 (課題番号 1001 FC 0267) によつた。

文 献

- 鏡味洋史・太田 裕・後藤典俊・塩野計司・工藤一嘉・坂尻直巳・成瀬聖慈・出原孝示・竹内文朗, 1976, やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (3) —1968 年十勝沖地震の SMAC 型強震記録との比較—, 地震 2, 29, 147-158.
- 工藤一嘉・太田 裕・後藤典俊・鏡味洋史・塩野計司・坂尻直巳・成瀬聖慈・出原孝示・竹内文朗, やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (4) —Array 観測による微動伝播性の検討—, 地震 2, 29, 323-337.
- 太田 裕, 1975, 地震工学への最適化の適用. 1, 八戸港湾 SMAC 設置点の地下構造推定, 建築学会論文報告集, 229, 35-41.

- 太田 裕・後藤典俊, 1976, S波速度を他の土質的諸指標から推定する試み, 物理探鉱, **29**, 31-41.
- 成瀬聖慈・出原孝示・竹内文朗・太田 裕・鏡味洋史・後藤典俊・塩野計司・工藤一嘉・坂尻直巳, 1976, やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (2)―微動の卓越周期と地下構造の関係―, 地震², **29**, 25-32.
- 野越三雄・乗富一雄, 1975, 長・短周期微動と地下構造について, 昭 49 総合技術開発プロジェクト報告, 建築研究所, 114-130.
- 坂尻直巳・成瀬聖慈・竹内文朗・吉川賢一・後藤典俊・太田 裕, 1974, やや長周期の微動観測と地震工学への適用 (1)―八戸市における予備観測―, 地震², **27**, 338-351.
- 坂尻直巳, 1977, やや長周期微動の基盤・地盤における同時観測, 自然災害科害総合シンポジウム講演論文集, 351-354.
- 三東哲夫, 1960, 波浪はどこで脈動に変わるか?, 地震², **13**, 150-162.
- 鈴木次郎・長谷川武司, 1970, コンデンサーでシャントされた地震計の動きについて, 地震, **23**, 198-204.
- 震研プロジェクトチーム, 1974, 小型可搬長周期地震計の開発 (その1), 震研速報, **13**, 17-22.
- 地震探鉱実験グループ, 1976, 地震波の生成・伝搬に関する実験.