

第 17 号 目 次

特集 震災予防研究 (その6)

編集者のことば 防災研究の理念	中野 尊正..... 1
常時微動が示す二・三の情報に関する研究	国井 隆弘..... 3
dam-break wave と管渠内段波 (その2) ——任意断面一様管渠への拡張——	丸井 信雄・安川 浩・新井 邦夫・宇井 正和.....15
地震水害の危険度	新井 邦夫・丸井 信雄.....23
地盤との連成効果を考慮した RC 造建物の震害に関する研究	望月 利男・松田 磐余・荏本 孝久・宮野 道雄・小泉 敏一.....31
地震時における地域別延焼危険度の推移	小谷 正行.....47
シンポジウム討議記録——地震時における地域別延焼危険度の推移.....	57
機械設備の地震時破壊特性の推定について	青木 繁・鈴木 浩平.....69
比較的最近の地震による人的被害の実態 ——とくに負傷者について——	望月 利男・宮野 道雄・松田 磐余.....77
地震による負傷者について ——1982年浦河沖地震を例とした予備的研究・その1——	小坂 俊吉・塩野 計司.....85
都市施設・構造物のサイズミック・リスク・アナリシス (地震時損傷状態の評価法について)	鈴木 浩平... 109
災害と社会変動 ——災害の長期的影響に関する研究の動向——	山本 康正... 117
シンポジウム討議記録——災害と社会変動.....	131

常時微動が示す二・三の情報に関する研究

国井隆弘*

要 約

表層地盤の振動特性は地震時における地表面での地震動の強さと深く関連している。したがって表層地盤の振動特性を適確に把握して、各種都市施設のための入力地震動の強さを知り、それらの耐震性能の検討を進めたり耐震性診断のための資料を得ることが望まれている。

表層地盤の振動特性を知るための手段は各種考えられ得るが、より簡易な方法であればそれだけ広範囲の地域に対して適用し易くなりマイクロゾーニングのためには有用な手段となる。本研究はこの1つの方法になり得ると考えられる常時微動に注目したものである。常時微動はその発振源からして不確定な要素を多く含み、これまで表層地盤の振動特性を明快に説明するものとして評価されてきてはいない。しかしながら、特にマイクロゾーニングの目的に照合させる時、やや不確かなながらもある程度の精度を示すような簡易な方法が意味を持たない物として無視されるのが惜しまれる。

本研究は以上の観点により、常時微動が有している問題点について、それを利用しようとする立場からとらえ再評価するとともに、その論拠となるべく二、三の検討をおこなったものである。すなわち、表層地盤が土質柱状図等により明らかにされており、かつ周辺地形、発振源等について理想的と考えられる地点を選び、微動観測を実施し解析検討することにより、卓越振動数に関する二、三の問題および道路交通が微動に及ぼす影響とその対処の考え方、等に基礎的な立場から論及し、常時微動の有用性に対して情報を提供しようとするものである。

1. ま え が き

強い地震動を受けたために住家等の都市施設が崩壊したり損傷を被る、と言ういわゆる1次災害は、都市施設をより広く解釈すれば家等の人工的な施設のみならず、地盤、斜面等の非人工的な施設に対しても検討される必要がある。この場合に災害に関連するもっとも強い要因の1つは振動現象であろう。一般に、施設の振動は地震源で発生し、減衰、増幅されながら伝播して来た地盤の振動を入力とした応答現象と見ることが出来る。もっとも地震断層による直接的な強制変位を受けて災害を被る例外的な場合もある(東京都立大学地震研究グループ、1976)。したがって1次災害の検討はこの振動に対する安全性、すなわち都市施設の耐震性能の把握を重要な目的の1つとする。

都市の各種施設の耐震性能を検討する方法は、現在では次の2種からなると分類を試みる。その1つは、工学の分野で扱われる耐震設計あるいは動的解析である。こ

こでは地盤に襲来すると予測される地震動を設定し(震源モデルを用いた計算も広い意味では地震動の設定と考えられる)、施設を応答計算の可能なモデルに置換し計算を実行することから、施設に用いられる材料強度にもとづいて、あるいは移動・転倒等に対して耐震性能が求められる。この方法が現在における耐震性能判断の主たる方法であり、破壊現象の解明、入力地震動の取り扱い方等に残された課題が少なくはないが、最近での研究成果にみられる進展は大きいものがある。

他の1つは、前者と対等に分類することに異論が多いと思われるが、強震計(大半は加速度計)を各種施設に設置する方法である。地震時の実際の振動が記録されることに大きな意義があるわけであるが、この記録があくまで前者の方法の是非の検証に利用されるにすぎないのが現状である。しかしながら、前者の方法で残された課題に対する有用な情報が強震計による観測から得られる可能性が強いと考えられる。現在日本には千台を越す台数の強震計が各所に設置されている。しかしながら、その多くは都市部に集中しており、したがって最近の地震

* 東京都立大学都市研究センター・工学部

での震源に近い強い地震動の記録が極めて少ない。さらに大部分の強震計は比較的大規模で重要な施設に設置されているため施設の影響を受けない地表、地中の強震計の記録が少ない。また地方自治体、公団公社等では、強震計記録の公表を実施しない場合が多い（私有物のビル等でも同様）。そして残念なことに強震計はかなり高価であるため、大学等が研究目的のために安易には購入できない。以上の現状にあるため、前述した第1の方法の残された研究課題にとって必ずしも十分な強震計観測体制にあるとは言えない。また強震計が設置されたビル等の施設が崩壊にいたる様な大きな地震が数多く襲来しないであろう事も、いわゆる地震待ち、という宿命を有している。

しかしながら、これまでの強震計記録によって得られた有益な情報を提供したり、あるいは意義が認められる強震計の設置を試みている例も少なくない（たとえば、家村，1974，片山，他，1978，土田，他，1981）。

強震計は数～数百ガルの加速度を記録できるようになっている。一方、常時微動（以後は微動と略す）は各種都市施設および地盤で観測できる振動で、この振動は常に発生しているものである。震源は地震ではなく、道路、鉄道での交通車、風、工場の各種振動等であると考えられている。振幅は強震計の場合と安易に比較できないが数万分の1程度のオーダーになると言える。微動の観測波形と強震計の波形との関連性については古くから多くの検討がなされてきているが、明快な解答が得られているとは言えない。しかしながら、微動は常に得られるものであり、また観測も簡易で計器も地震計に比べれば安価である。さらに実際に発生している振動を測定するわけであるから、微小な振動であるにしても何らかの物理的な量、質を表現しているはずである。もし強震計から得られる情報の1部でも微動から得られるのであれば、微動観測の意義は小さくない。本研究は以上の観点から地表面での微動が有している基礎的な特性について二・三の検討を試みたものである。

2. 微動に対する考え方

本研究は前述した如く地表面での微動に対して基礎的な検討をおこなうものである。都市施設の中でも地盤に密接せず、やや大きな振幅の振動（微動の数～数百倍の場合もある）を常時発生する施設に関する振動観測および解析は既に多くの研究成果を示している（たとえば、小坪，他，1977，国井，他，1982）。ところが施設が周辺の支持地盤と一体となって振動する微動に関する研究は地盤の影響によりそれだけ複雑な挙動をおこなうためか、いくつかの問題点を残す場合が多く感じられる（たとえば、斎藤，他，1980，西橋，他，1981）。

以上述べた研究は施設の耐震性能に着目するものであると言えるが、主として施設への地震入力の問題、あるいは斜面を有する盛土地盤の問題のために何らかの情報を提供する目的で、地盤表面、地盤中で微動が観測される場合も多い（たとえば、飯田，他，1980，荏本，国井，1982）。地表面の微動の観測は、金井，他（1957）に始まり、現在まで多くの検討がなされている。しかしながら、一般には「地球物理学」の概念で取り扱われる場合が多く「工学」のための理解しやすい研究成果として工学に関係する技術者の評価が得られて来たとは思えない。この理由は多岐にわたるのであろうが、本研究では、微動観測手法の問題および微動波形解析手法の問題に関連すると考える。言い換えれば、「もっともらしい波形も得られるが、理解しかねる波形も含まれる。職人的エキスパートの観測にはかなわない。等々」の言葉が気になるところである。このような問題は、いつでも安易に観測できると言う微動観測の利点をそこなうことであり、地表面の地震動の強さに関するマイクロゾーニングのために可能であると思われる微動観測に不安を残す。本研究はごく基本的な知識に対する検証を試みることにより、上述した問題点の再検討を実施したい。

地表面で観測される微動が、白色雑音で発振する基盤面の方から鉛直に上昇し、反射屈折しながら鉛直上下方に重複反射をくり返すことによって生じ、その微動は全てせん断波からなるものと仮定すれば、地表面の微動は下方基盤までの地盤の土質を含めた物理的量を明確に示すものと考えられる。しかしながら、この理想状態が保たれる現地地盤はむしろ例外的であり、以下に列記する要因による波形のゆがみが生じる可能性が強い。

- 1) 基盤位置の設定および基盤から発振される微動波形の問題。たとえば、微動の振幅がかなり小さく表層地盤での増幅性が明確に確認できないと思われる例がある（たとえば、服部，1980）。
- 2) 表面波の影響
- 3) 近くに発振源がある場合（道路等）
- 4) 風および風で揺れる近くの物（木等を含む）の影響
- 5) 海、河川等の波の影響
- 6) 大きな施設の固有振動が地盤を伝播してくる場合
- 7) 基盤面が地表面と平行でない場合の問題
- 8) 地表面の加工（たとえば舗装等）の影響

この他にも色々な要因は考えられよう。問題となるのは注意したり気が付いたりして避けられる要因（たとえば3) 4) 5) 6) 8))ではなく、主として基盤にかかわる要因および表面波であると考えられる。

本研究はこの様な観点に立ち、基本的な例として、前述したほぼ理想的な現地地盤での微動の特性（信頼性）および道路交通が微動に与える影響についてとり上げ以

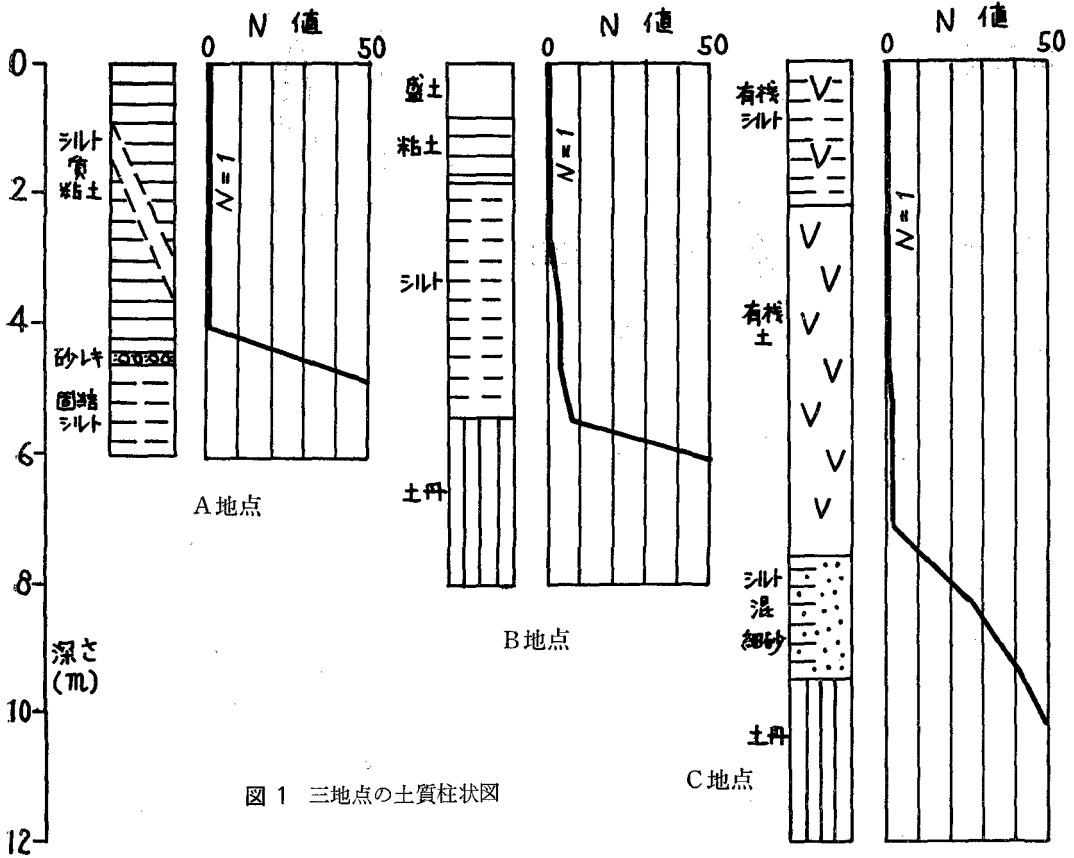


図1 三地点の土質柱状図

下に検討する。

3. 理想的な地盤（三例）

3-1 観測地点，観測方法

横浜市に関して地盤のゾーニングを目的とした土質柱状図の収集が田治米，荏本（1981）によっておこなわれている。柱状図の数は全部で数千におよぶ大量なものであるが，本研究は横浜市の北西部の鶴見川が形成する沖積低地に着目した。この地区は北西から南東に続くほぼ帯状で長さ約 5 km，幅約 1 km 弱であるが，田畑を中心とする中に学校その他の施設が散在し，得られている柱状図も数十にいたる。したがって市街地で発振される微動は比較的少なく，沖積低地の形成状況をほぼ立体的に把握できる良好な条件にあると言える。すなわち，基盤（ここでは表層地盤のN値を勘案して $N > 50$ とした）はほぼ水平で，地表もほぼこれに平行し，少なくとも $1 \times 1 \text{ km}^2$ の広さがこの状態にある。上流側から選定した微動観測点A，B，Cの各地点付近の代表的な土質柱状

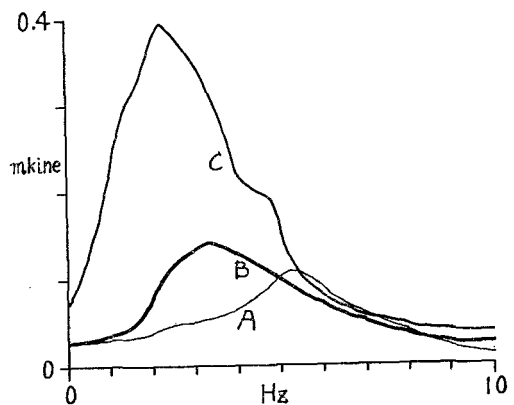


図2 A B C三地点の微動の平均的フーリエ振幅スペクトル（縦軸：速度振幅，横軸：振動数）

図を図1に示す。図は下流にいくに従って沖積層の厚さが増すことを示し，沖積層がA，B地点では主としてシルトおよび粘土からなるのに対しC地点では主として有

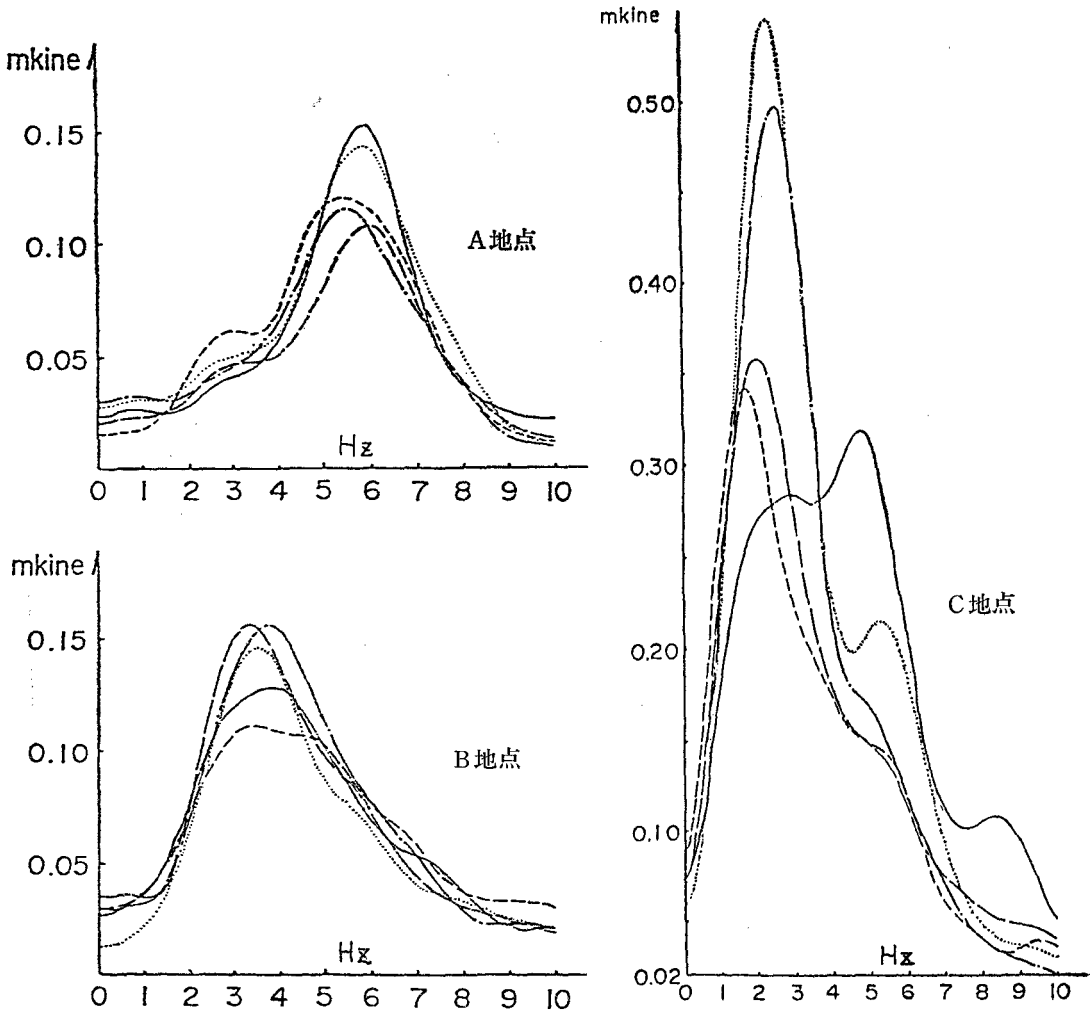


図3 ABC三地点のフーリエ振幅スペクトル
(それぞれ約10秒間の5サンプル)

機土からなることを示している。また沖積層と基盤との境界がかなり明確で(C地点はやや不明確)、N値も急変している。したがって沖積地盤は単純な1層あるいはせいぜい2層の表層地盤にモデル化ができると考えられる。この地区では鶴見川に沿った道路が主要地方道となっているが、交通量はそれ程多いわけではなく、交通車の影響が無視できると思われる数分間を選んで観測をおこなうことが可能であった。

観測は固有周期1秒の動コイル型振子による換振器および増幅器を用いておこなわれた。測定は速度波形を選び、15 Hzでハイカットしている。前述の如く数分間の経続した波形の中で振幅が小さくほぼ定常的な状態をモニターにより見出し、数箇所をピックアップした。これ

らのデータはAD変換器により0.01秒の時間間隔でFFT解析のために1つが1024にAD変換される。

観測は水平二方向に直交する速度成分に対しておこなわれるが、前述のように川に沿った帯状の地区であることを考えて、川に平行する方向および直交する方向に注目しておこなわれた。以後に示す解析は、このうち川に平行した方向の微動によるものである。本研究では現想条件での微動特性を求めるわけであるから、晴天で、ほぼ無風の日に観測がおこなわれたことは言うまでもない。

3-2 スペクトル解析

表層地盤上での卓越振動数およびフーリエ振幅を得る

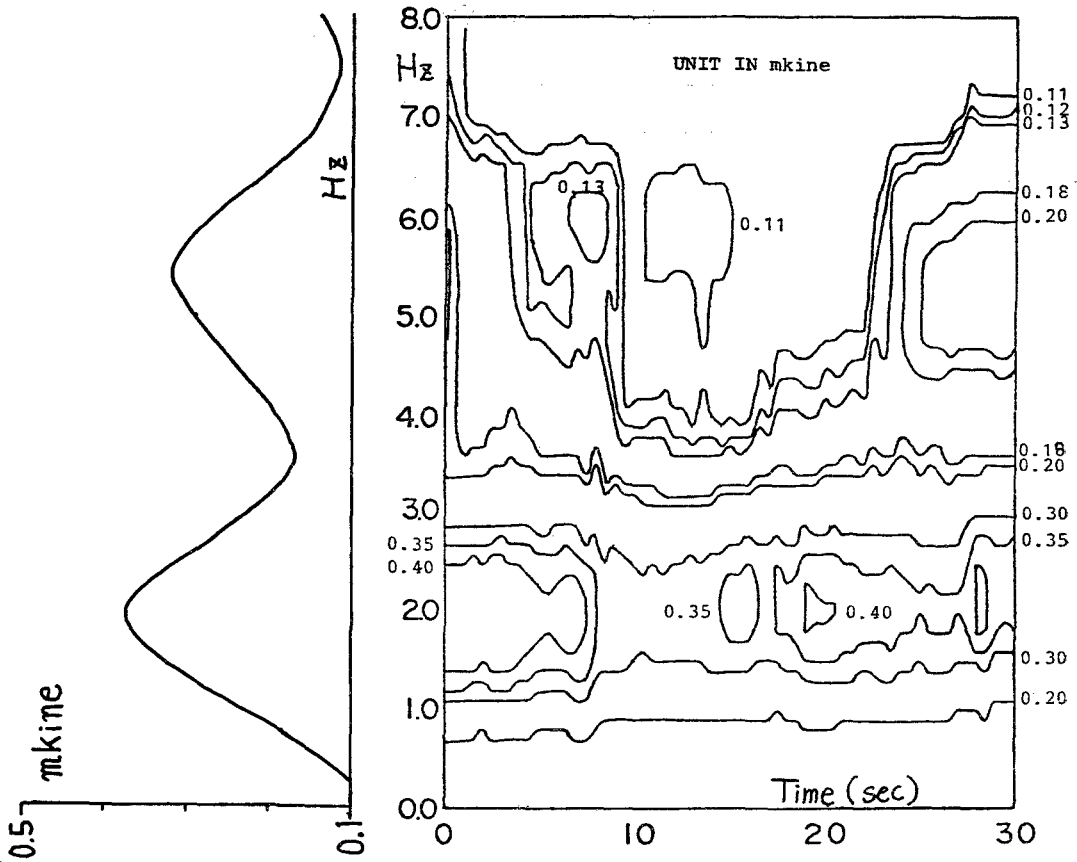


図4 C地点での2次卓越振動数の変動

目的でFFTによるスペクトル解析を実施した。スムージングはパーゼンウィンドウを用いバンド幅は試行錯誤の後2Hzと決定した。A, B, Cの各地点での微動波形からそれぞれ数個所約10秒サンプリングしてスペクトルを求め、それを平均して振幅を示したのが図2である。図1の土質柱状図と図2の振幅の大きさおよび最大振幅を示す卓越振動数がうまく調和していることが理解できる。すなわち、各地点とも表層地盤ではN値が1に近いため、表層地盤の厚さが注目されるが、A→B→Cの順に厚くなっている表層地盤に対応して、A→B→Cの順に卓越振動数が小さくなっている。また同じ順でフリー振幅も大きくなる傾向を持っている。しかしながら、C地点は周辺が地区の中心的な所で交通量も比較的多くいくつかの信号により車が常に走行している。このため、A, B両地点よりもかなり大きい振幅を示しているとも考えられるが、一方、C地点の表層地盤はA, B両地点と土質が異なり有機土からなっているために表層地盤内でのせん断波の増幅性が大きいのかかもしれない。

3-3 微動波形の安定性

微動の特性が測定する度に変化する、いわゆる時間の経過にもなる微動特性の変動は古くからその存在が知られている。気象条件、発振源の条件、表面波等がこの理由の主たるものだと考えられるが、この現象に関する検討も少なくない(たとえば、森, 1981, 服部, 1981b)。

しかしながら、微動が表層地盤の特性を表現している1つの現象であるならば、たとえば長時間の測定波のスペクトルの合成等により、常に生じる特性を強調させることもできるはずである。本研究で扱われた地盤は理想的な地盤であると考えられるが、微動のスペクトルの多小の変動のみが確認される。図3はこの様子を示すものである。この図では数分間の微動のうち定常的な振幅の所を5回サンプリング(約10秒間, 0.01秒間隔)して、そのスペクトルを異なる曲線(実線~点線)にて示している。各地点ともC地点の1つの例を除けば卓越振動数に関する変動は大きくない。前に示した図2が図3の平均したものであるが、平均的卓越振動数(2.2~5.8Hz)

表 1 卓越振動数に関する検討

地点	観測値	方法—1	方法—2	方法—3	方法—4	
		$V_s=104N^{0.32}$ を用いる				左式を用いない
		せん断波	Love波	Rayleigh波	せん断波	
A	5.4~6.0 (5.8)	5.8	6.3	10.0	5.2~5.7	
B	3.3~3.8 (3.5)	5.5	6.0	9.4	4.8	
C	1.7~2.9 (2.2)	3.9	4.2	6.6	2.3	

数字は振動数 (Hz), () 内は平均値

に対する5個のサンプルの標準偏差は0.2 Hz程度である。しかしながら振幅に関する変動は振幅数のそれより大きく、標準偏差は0.13~0.39 m/kineの平均値に対して0.02~0.1 m/kineとなる。

図3のC地点における実線からなる曲線は他の曲線群とかなり相異なる形状となっている。本報告では1例を例示するにとどまったが、C地点のデータを注意深く検討するとこの形状が必ずしも異状でないことに気づく。図4はこのことを説明しようとするものである。図4の右側の図は横軸に微動の継続時間をとり、縦軸に振動数とったもので、フーリエ振幅スペクトルの振幅をもとに適当なコンターで結んだものである。解析の波形は前述と同じく約10秒間であるが、この10秒間の区間を5秒ずつ移動してスペクトルを求め区間の中央に振幅をとった重複5秒間の移動平均となっている。左側の図は縦軸を同じく振動数で共通とし、右図の30秒間(実際には両側に5秒間ずつ加わった40秒間)の平均的なフーリエ振幅スペクトルであり、図2、図3と同様な図を反時計まわりに90度回転したものである。

2 Hz前後の卓越周期(図2, 3のピークと同じ)は右側の図で継続して見られることが理解できる。一方左側の第二のピークとなる5~6 Hzの振動数は第2次の卓越振動数であると思われるが(本報告で詳細は略するが、せん断波の重複反射理論を地盤モデルに適用して、2次の卓越振動数であると大体確認できている)、右側の図では継続して出現していない。横軸時間の最初の10秒間にやや小さな、そして最後の10秒間にかかなり大きな振幅が出現しているものの、中間の10秒間では全く卓越していない。すなわち1次モード(基本モード)は常に微動として発生しているが、2次モードは発生したり消滅したりするものと理解できる。AおよびB地点でこの様な現象がみられなかったのは、C地点に比べて表層地盤厚さが小さく(図1参照)2次モードが発生しにくいからか、あるいは発生していても観測計器の測定周波数の上限(約15 Hz)を越えていたためか、または、入力振動数が関連したためかと思われる。今後の検討すべ

き課題の1つとなろう。

3-4 微動特性と表層地盤の定数との関係

ここで論じている三地点は表層地盤が持つせん断波速度等の定数を求めるために理想的であることは前述した。そして観測された微動に関する性質についても検討を加えて来た。したがって、表層地盤が持つ定数と微動特性とはかなり強い関連性を有しているものと期待される。ここでは卓越振動数に注目してこの関連性について検討を進める。

観測された微動のスペクトル解析から求める卓越振動数については図2, 3に示したもので表1にまとめられる。図1の土質柱状図にもとづいて卓越振動数を計算する方法を4種類考えた。方法1~3はそれぞれせん断波速度 V_s と N 値の関係式

$$V_s=104 N^{0.32}$$

を用いるものである。この式は田治米, 望月, 松田(1977)が提案したもので関東地方の資料を主とした V_s の推定式である。方法—1はせん断波の重複反射理論をそのまま用いており、方法—2, 3はP波速度 $V_p=\sqrt{3}V_s$ とし、土の密度を 1.8 g/cm^3 としたときの、表面波の極小群速度を用いて求めた基本モードの分散曲線によっている。方法—4は前述した田治米ら(1978)が別に提案する式で、地層を形成する土質の種類および地表面からの深さを考慮して N 値から V_s を計算するがこの式を用いている。方法—4では、A地点において範囲を持つ振動数が与えられているが、これはシルト質粘土の評価をシルトと粘土に分けて考えたためである。またC地点は有機土を含むが(図1参照)、田治米ら(1978)の提案式には有機土が扱われていないため、藤原(1976)を参考としている。

方法—2, 3は表面波で、方法—1, 4は実体波であるが、観測値と比較して表面波の方が値が大きめにはなれている。特に Rayleigh 波は全般に観測値の2~3倍の振動数を示している。Love 波はせん断波より少し大きめの振動数を示すようであるが、前述の Rayleigh

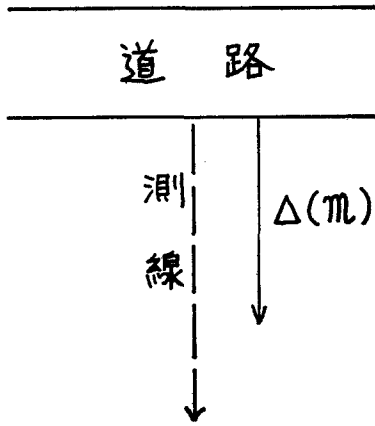


図5 測線方向および道路からの距離 Δ

波の場合と共にこれらの傾向は今回の観測地だけに見られるものと決めるのは早計なのであろう。A地点では方法一1, 4のせん断波による値が観測値をよく説明している。B地点はせん断波による値が観測値の上まわり1.5倍前後の値である。A地点での良好な両者の一致から考えるとこの現象は非常に疑問となる。しかしながら、B地点の周辺はかなり広域に（高校および周辺で1×0.5 km程度）盛り土がおこなわれている。図1の柱状図が作られた場所は校舍となっており微動観測地点と約100m隣れており、盛土工事の実態が不明であることが上述の疑問と結びつかなくもない。仮りに、図1にみられる上部盛土があと2 m厚の場合、方法一4の計算では3.6Hzの振動数を得て観測値とよい一致をみる。盛土地盤での微動観測は十分に注意が必要で、特に盛土工事関係者あるいは周辺住人への問い合わせが必要となる場合も考えられる。

C地点は鶴見川が下流部に入り始める所と言える。観測の際、農業者と話し合う機会を得たが、40~50年前は長いあしが生えた泥地（現在は田になっている）だったそうで、図1に示される有機土が理解できる。方法一1では有機土を考慮せずにN値だけから振動数を求めている（実質的に有機土をシルトあるいは粘土とみなしている）ため観測値とは値が合致していない。方法一4が観測値に比較的近い値を示すことから考えれば、表1の式は有機土の場合には書き換えられるべきであろう。

4. 道路交通が常時微動に与える影響

4-1 目的および方法

道路交通が微動の振動源になり得ることは前述したが、測定点が道路に近くしかも交通がはげしい場合には、

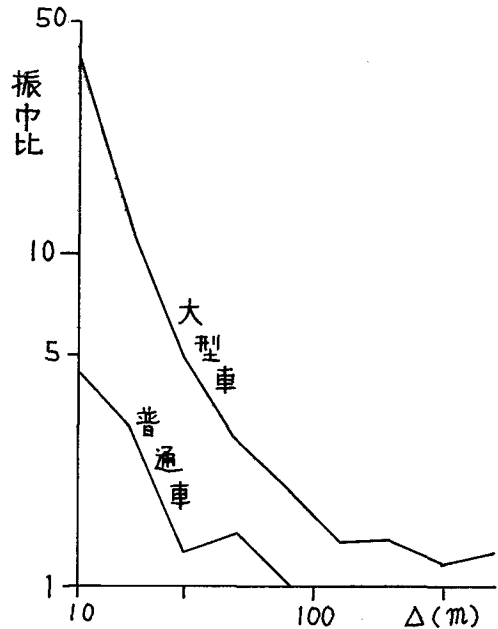


図6 波形観察による距離減衰
(縦軸：車両走行時振幅/車なし微動の振幅)

交通の発振する固有の振動数が卓越したり、振動のレベルが交通によって支配されたりして得たい地盤の卓越振動数が十分に検討できない条件となる。すなわち、道路交通の振動が微動観測の障害となる。しかしながら、微動観測の目的によっては道路近くに測定点を設定する場合もあり得るため（たとえば、国井・荻本b, 1981）、このような障害はできるだけ避けたい。

道路交通の振動に関しては振動公害としての研究がこれまで多くなされてきている。したがって、振動の対象となる大きさは微動よりはるかに大きく、また振動のレベルだけが注目される場合が多く振動数特性をも含んだ検討は少ないようである。

ここでは以上の観点から、微動の観測をおこなうことによって振動数特性を含んだ交通振動の解析をおこなない、本来の微動観測のための障害の程度について基礎的な試みをおこなう。観測地点は前述のA地点の近くである。地盤の条件は図1に示したものとほぼ変わらないと考えられる。

図5が測定方法を示すものである。測線は道路と直交する方向にとり、この測線上に測点を20m間隔にとる（道路にもっとも近い点は道路端から10m）。道路端から測点までの距離を Δ とし、最大の Δ は170mとした。測定は地表における微動の上下1, 水平2の三成分でおこなわれたが、ここでは測線方向（道路線に直交する方向）の微動の水平成分についてのみ検討する。対象とし

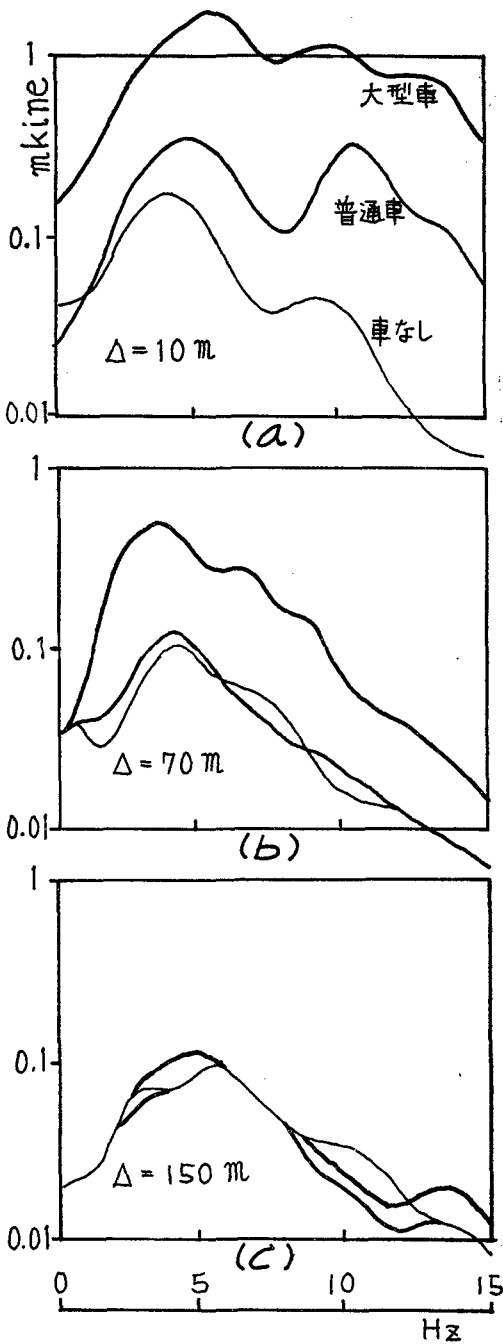


図7 フーリエ振幅スペクトルの一例
(Δ は道路端から測点までの距離)

た自動車を多種に分類し速度についても検討を加えたが、もっとも影響が大きい高速(40~60 km/h)トラック(バス)と普通乗用車(速度の影響は小さい)の二種に限って検討することとした。なお交通車は1台だけの走行時の測定をめざした。

4-2 微動波形の観察による検討

測定地点(A地点)は比較の見通しがよくきき、測線から道路の左右両側約500mの車の位置を確認できる。したがって微動の継続観測をおこなうことによって、車のない時(以後「車なし微動」と名付ける)から車が通過する時までの波形を得ることができる。この波形を前述二種の車両についてそれぞれ数回得て、ペンレコーダーでトレースさせた波形上に定規をあてるだけで概略の振幅を読み取って、車なし微動の振幅に対する車の走行時の振幅の比を平均して求めたのが図6である。道路からの距離の増加にともなう道路交通の影響の減少が、このような簡略な解析法からも明らかに認められる。普通乗用車(以後、普通車と名付ける)では道路わきから約100mで微動に対する影響が無くなるが、大型トラック(以後、大型車と名付ける)の場合100m以上の距離でもわずかな影響(車なし微動の約20~30%増)が残り、距離が170m越えてもこれが減少していかないような感を図から受ける。この事に関しては詳しく検討して後述したい。

4-3 スペクトルによる解析

微動の波形を観察するだけで、車両走行の影響がある程度判断できることは前述した。これによると大型車が通常で走行する場合、道路から170mも隣れているにもかかわらずその影響が無視できないという障害が認められた。ここではスペクトル解析をおこない振動数と振幅スペクトル値の両面からこの障害の内容を確かめる。

図7は距離 Δ が三種類の大型車、普通車の通過時および車なしの状態での観測波形のフーリエ振幅スペクトルである。(a)(b)(c)の順に道路から遠くなるわけであるが、車なしの振幅は形状に多少の変化がある(それぞれ測定時、地点が異なるための他に、前述した微動特性の変動のためと考えられる)が、大体5Hz近くにピークを有し、図2のAと当然ながら類似している。そして振幅もほぼ最大0.1 m/kineとなっている。道路に近い(a)では走行車両の影響を強く受けて車なしを大きく上まわる(大型車で約10倍、普通車で数倍)が、(b)の $\Delta=70$ mでは大型車で数倍に低下し、普通車は車なしとはほぼ同程度の振幅となる。さらに(c)の $\Delta=150$ mでは三者こ差がほとんどみられない。このような振幅の大体の距離による減少は図7から観察できるが、図7は数回の測定

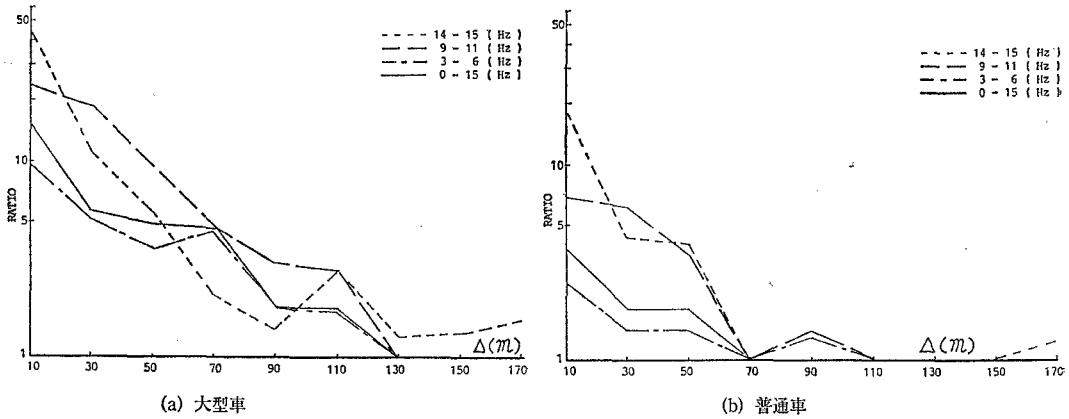


図8 フリー振振幅スペクトルから求まる距離減衰
(縦軸：車両走行時振幅/車なし微動の振幅)

中の一例であることから、より定量的な検討が必要であろう。なお、車両走行時の微動振幅が車なしの状態から増幅する時間は数〜約10秒であるが、フーリエ解析では時間間隔0.01秒の約10秒間の波形を取り扱っている。

図8がやや定量的な解析を試みたものである。数回の測定において図7に示したようなフーリエ振幅スペクトルを求め、これを前述した8個所の測定点について実行する。つまり各測定点ごとに大型車、普通車、車なしの三種の振幅スペクトルが数個得られることになる。このデータに対し試行錯誤しながら振動数を三帯域に分け、この帯域ごとに平均して求めた値をその測定点にプロットして直線で結んだものが図8となる。図8では、車なしの値に対する倍率を縦軸に示してある。三帯域は、地盤の卓越振動数付近以下として3〜6 Hz、走行車が発振すると考えられる高い振動数として14〜15 Hz (15 Hzでのハイカット観測システムのため上限は15 Hzとなった)、およびこの両者の中間的な帯域として9〜11 Hz、からなっている。全帯域(0〜15 Hz)の場合もあわせて図中に入れてある。

大型車においては普通車に比べて当然ながら全体的に大きな倍率を示している。0〜50mの Δ では高い振動数がやや大きめの倍率を示すが、全体的にはどの帯域においてもほぼ同様な距離減衰を示す。ところで、14〜15の高帯域を除けば $\Delta=130$ mまでが1より大きい倍率を示し、この距離以上では微動への影響が無いものとみなせる。このことは全帯域の場合も同じであるから、前述した図6における波形観察の結果とやや異なるが、スペクトル解析が定量的には安定した値を示すものと評価されよう。高帯域の影響は $\Delta=130$ m以上でも継続していることは注目に値する。このことは、乗用車の場合にも同様にわずかに図に示されている。この結果から単純に考

えればこの地盤の高帯域の微動測定は車両の走行に十分注意する必要があることとなるが、乗用車の場合の如く、 $\Delta=70\sim 150$ mで一度減衰してから $\Delta>150$ mに遠に出現する例を考えると、道路から発振された波の表層地盤および基盤を含めたより複雑な伝播問題を検討する必要がある。普通車では高い振動数の距離減衰が著しい。このため、 $\Delta>150$ mでの例外を除けば、 $\Delta=70$ m以上での車両走行の影響はほとんど見られず、 $\Delta=110$ m以上で全く影響がなくなることが理解できる。

図8は図6と比較すると、大型車では高い振動数が、乗用車では全帯域および卓越振動数以下の帯域において、両者が定量的にもほぼ類似している。また定性的にはほぼ同様であると言える。このことは、走行車両の影響に対して、予想される卓越振動数をもとにした適当なフィルターを用いることによって何らかの対処が可能となり得て、障害を最小限に食い止める手法があり得ることを暗示していると考えられる。また、微動測定において、モニターを用いることにより波形を観察して走行車両の影響の有無を判断することが有用であることを実証していると言える。さらにまた、大型車で $\Delta=130$ m、乗用車で $\Delta=110$ mが1つの目安になり、この距離以上での微動観測であれば走行車両の影響は無いと言える。しかしながら、これらの定量的な解析結果は、あくまで本研究を実施した地点あるいは類似した地盤の場所について適用できることは言うまでもない。

5. むすび

表層の地盤の振動特性が地震時における地表面での地震動の強さ、すなわち都市施設の安全性と強くかかわると考えられるが、本研究では、表層地盤の特性を知るた

め的手段として、現在では、もっとも簡易な方法になり得ると考えられる常時微動をとり上げた。この方法が十分に利用できることが明らかになれば、各種施設の耐震性能の診断において、および地盤にもとづくマイクロゾーニングにおいて、多種大量な施設および広範囲な地域での検討を可能とする大きな意義を有していると考えられる。また一方で、各種施設の耐震性能の診断および地盤にもとづくマイクロゾーニングが数量化理論あるいは解析理論で取り扱われている現状に対して、実際に発生している物理現象としての微動をからませて論じていくことにもより多角的に議論をおこなう意義が感じられる。

本研究は、現在における常時微動に対する評価を限られた側面からではあるが程度認識し、そこにこれまでよりもより基本的な検討が多く残されていると考える立場から、表層地盤を微動によって十分に説明し得ると思われる地点を選び、微動観測をおこなって二・三の基礎的な資料を得た。1つは卓越振動数に関するものであり、またその変動に対する考え方である。他の1つは道路交通が微動に対する影響の程度およびその対処の考え方である。これらの結論は、選択された1地点あるいは数地点に関する限られた情報であり、今後さらに異種地盤に対して議論が必要となる。同時に、微動によっては十分に説明し得ないような地盤を無視して進めてよいわけではない。1例として基盤面が地表面と平行でない地点あるいは地表層に何らかの拘束がある場合等があげられる。最後に検討したい。

最後となるが、微動測定および波形処理そして貴重な意見交換をしていただいた、塩野計司博士、荏本孝久氏(神奈川大学)に深く感謝するとともに、中心的となって研究をまとめられた橋 義規氏(院生)、土屋徳寿氏(当時卒研、現在日本国土開発(株))に心から感謝いたします。

文 献 一 覧

飯田汲事, 他

- 1980 「常時微動の基礎的研究(地盤内微動の周期・振幅特性)」『土木学会第35回年次学術講演会』pp. 360~362。

家村浩和

- 1974 「強震記録を利用したRC建築物の劣化履歴復元力解析」『土木学会論文報告集』No. 230, pp. 33~43。

金井 清・田中貞二・長田甲斐男

- 1957 「常時微動の測定結果; 第2報」『東大震研彙報』35, pp. 109~133。

片山恒雄, 他

- 1978 「地震動加速度応答スペクトルの統計解析」

『土木学会論文報告集』No. 275, pp. 29~39。

国井隆弘・森川誠司

- 1982 「常時微動による建造物の振動解析について」『土木学会第9回関東支部年次研究発表会』pp. 45~46。

国井隆弘・荏本孝久

- 1982 a 「地震動の強さと微動特性」『土木学第9回関東支部年次研究発表会』pp. 9~11。

- 1981 b 「1978年宮城県沖地震における墓石調査による推定最大加速度と微動特性の関係」『総合都市研究』第14号, pp. 109~119。

小坪清真・烏野 清・園田敏夫

- 1977 「曲線けた橋の振動性状解析に対する常時微動測定法の適用」『土木学会論文報告集』No. 259, pp. 123~135。

斎藤二郎・菊地敏男

- 1980 「強震観測から推定される井筒基礎橋脚の動特性」『大林組技術研究所報』No. 20, pp. 34~39。

田治米辰雄・荏本孝夫

- 1981 「横浜市における表層地盤特性に関するマイクロゾーニング」『第18回災害科学総合シンポジウム』p. 63。

田治米辰雄・望月利男・松田啓余

- 1977 「地盤と震害—地域防災研究からのアプローチ—」『槇書店』pp. 41~51。

土田 筆, 他

- 1981 「地震動の多点同時観測に基づくパイプラインの応力の検討」『運輸省港湾技術研究所報告』第20巻, 第4号, pp. 3~40。

東京都立大学地震研究グループ

- 1976 「最近の内陸直下型地震の調査報告」環境科学研究会

西橋秀一, 他

- 1981 「円筒形貯水タンクの地震時挙動」『土木学会第36回年次学術講演会』pp. 602~603。

服部秀人

- 1980 a 「長野盆地の地盤の振動特性」『長野工業高等専門学校紀要』第11号, pp. 61~71。

- 1981 b 「扇状地における常時微動の24時間変動」『長野工業高等専門学校紀要』第12号, pp. 25~32。

藤原俊郎

- 1976 「鉄道盛土地点軟弱地盤のS波速度の測定」『地震波の生成・伝播に関する実験』地震探査実験グループ, pp. 61~69。

森 芳信

- 1981 「地盤の常時微動特性と工学的利用」『土木学会論文報告集』No. 313, pp. 55~64。

ON THE SEVERAL INFORMATION OF THE MICROTREMORS
ON THE DEFINED SURFACE LAYERS

Takahiro Kunii

Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

Comprehensive Urban Studies, No. 17, 1982, pp. 3-13

Amplitude of ground motion during an earthquake is the most important factor in evaluation of aseismicity of various urban facilities. It has been suggested that the ground motion severity is remarkably affected by dynamic characteristics of shallow underground conditions (surface layer structure).

Effectiveness of microtremors as a tool for estimation of dynamic characteristics of surface layers was examined. Several field tests (microtremor observation) were carried out in three sites. Underground structures of the sites were estimated by means of geologic and sounding data, and they are of different type. Predominant frequencies of the sites were compared each other.

Effects of motor traffic on microtremor amplitude and frequency were also examined. Transducers were arranged on an observation line perpendicular to a road near the site.

Results of the tests were discussed as to the usefulness of microtremors for estimating the vibrational characteristics of surface layers.