

## 常時微動が示す二・三の情報 に関する研究 (その2)

国井 隆弘\* 広中 了\*\* 和田 信博\*\*

### 要 約

表層地盤の振動特性が都市施設への地震入力と強い関係があることが知られている。本研究は、マイクロゾーニングに注目する立場から、この振動特性を常時微動観測によって把握するための手法を開発しようとするもので、常時微動から得られる情報に対応する考え方について論じたものである。

すでに同じ題で報告しており、本報告はそれに続くものである。常時微動からもっとも確からしい情報が得られる様な現地地盤を見い出して、前報告よりやや厚い表層地盤(約20m, 卓越周期1~1.5秒)を対象に微動特性を検討した。またこれより浅い表層地盤において、舗装道路面が常時微動に及ぼす影響について測線観測を試みることにより検討した。

### 1 まえがき

都市施設の耐震安全性を検討するとき、施設への入力地震動に関連する表層地盤特性の把握が着目すべき1つの課題となる。そしてこれを地域の特性をも含めて検討しようとする、いわゆるマイクロゾーニングを可能とするためには、広範にわたる多様な地盤特性を対象としなければならない。本研究は、このような背景のもとに、常時微動の有用性を確める目的で幾つかの検討をおこなうものである。

表層地盤の特性を調べるための方法はこれまで多く提案されており、またその実証的な研究成果も少なくない。しかしながら前述したマイクロゾーニングの実施の立場においては、その大半の方法は、多大な労力・時間を要するという理由か

ら非常に困難な方法であると判定せざるを得ない。これを可能としているのは、筆者等の知る限りでは、1つは多数の土質柱状図の集積および地形図等による地理学に基づく方法(田治米, 望月, 松田, 1977), あるいは被害地震における被災施設等の検討による方法(たとえば, 望月, 松田, 宮野, 1980)がある。

本研究では、これらの方法に加わる可能性を求めて、しかもより簡易な手段である常時微動に注目し、常時微動が表層地盤の特性に関してどれだけの情報を提供し得るものかを明らかにしたい。

都市施設の耐震性能に関連して、強震計の意義およびこれと常時微動との関係について、前報告(国井, 1982)に述べている。前報告では、また、工学的な立場から常時微動の評価の実態そして問題点および本研究での解釈に論及し、これらに対する検討の方向を示している。すなわち、常時微

\*東京都立大学都市研究センター・工学部

\*\*東京都立大学大学院工学研究科

動によって表層の地盤特性を推定するための理想的な地盤構成と考えられる現地地盤を見出し、重複反射するせん断波および進行方向が不明の表面波を観測する。この波の解析結果と地盤柱状図とから、せん断波であるとした常時微動の信頼性を明らかにすることが出発点である。この条件がもっとも高い信頼性を示すものと考えているわけである。本研究では、この条件を次第に緩める方向へと進む予定である。前報告では、数~10mの表層地盤を持つ三地点について前述の信頼性を確認した。また、道路交通の微動に及ぼす影響について検討しある程度の結論を得た。本報告では、さらに厚い表層地盤に着目するとともに、アスファルト舗装面からなる道路の微動に及ぼす影響の解析結果を示す。なお、観測の方法・条件等は前報告の場合と全く同じであり、微動は地表面の水平方向が観測の対象となっている。

## 2 やや厚い表層地盤

本研究では地表面から数十m以浅の表層地盤を対象に考える。地表で観測される地震動が、これよりさらに深い地盤構成の特性を含んでいることは十分に考えられるところであるが、常時微動がはたしてその様な特性を反映し得るかについて疑問が持たれる。また観測装置が固有周期1秒の動コイル型振子の換振器および15 Hzのハイカット増幅器からなり、速度波形を選んで解析しており、このシステムを変更することなく観測を実施したい。すなわち、1~10 Hz程度の振動数範囲をとらえようとするごく標準的な観測手法の実行がまた1つの目的となっているからである。

前報告(国井, 1982)に示した微動観測地点は、横浜市北西部に位置する鶴見川上流域の帯状の沖積平地にあった。この三地点では近くの土質柱状図が得られている。これによると、三地点ともに表層地盤はほぼ一層からなると仮定でき、その下方に地表面と平行にかなり明確な境界面をとまって固い層があり、これを表層の基盤として評価することが可能であった。三地点の表層地盤におけるN値は0~数の値であり、その層の厚さは

それぞれ、4.5, 6.0, 9.0m前後である。そして微動が示す卓越振動数が5.8, 3.5, 2.2 Hz前後であった。これらが示す結果はせん断波の重複反射現象をかなりの精度で説明できるもので、表面波の存在はほぼ無視できた。さらに、この三地点のうちもっとも層の厚い(9.0m)地点では、二次の卓越振動数と思われる5~6 Hzの微動波が継続的ではないがしばしば一次とともに卓越して現われた。

本報告は、この様な前報告の結果をとともに更に厚い表層地盤での微動の特性を明らかにしようとするものである。微動の観測地点は、前述した三地点の鶴見川の下流方向にあり、ほぼ川の中流部に位置すると考えられる。川に沿った帯状の沖積平地の幅は急に拡った所となり約1.5kmである。周囲の大半は田畑地からなり、約500m離れた位置に高速道路の高架橋が連続している。前報告で述べた検討結果により、この距離であれば普通の乗用車の走向が微動に及ぼす影響は無視し得ると考えられる。したがって観測では気象条件が良好な時が選ばれ、微動波形の振幅が小さくかつ定常的な場合にサンプリングがおこなわれた。

この観測地点の付近の土質柱状図は残念ながら入手できていない。そこで周辺の数地点の柱状図をもとに表層地盤の特性を推定することのみが可能である。これによれば、地表面から15m程度まで有機土でありその下に約5mのシルトが基本的な土質構成であろうと考えられる。基盤はこれらの下にあり土丹からなる。したがって、せん断波の重複反射から一次の卓越振動数を予想すれば1.0~1.5 Hzの範囲となる。しかしながら、これらのより厳密な検討のためには観測地点の土質柱状図の入手が課題として残される。本報告では、このため、このような比較的軟弱な表層地盤がやや厚い場合における地表の常時微動の特性を明らかにすることを主題とする。

図1は微動波形のフーリエ振幅スペクトルである。波形は0.01秒間隔でサンプリングされている。サンプリングは断続的に5回おこなわれたが、1回につき約10秒間である。図1のNo.1~No.5が各サンプリングを示す。さらにこれらの平均が図

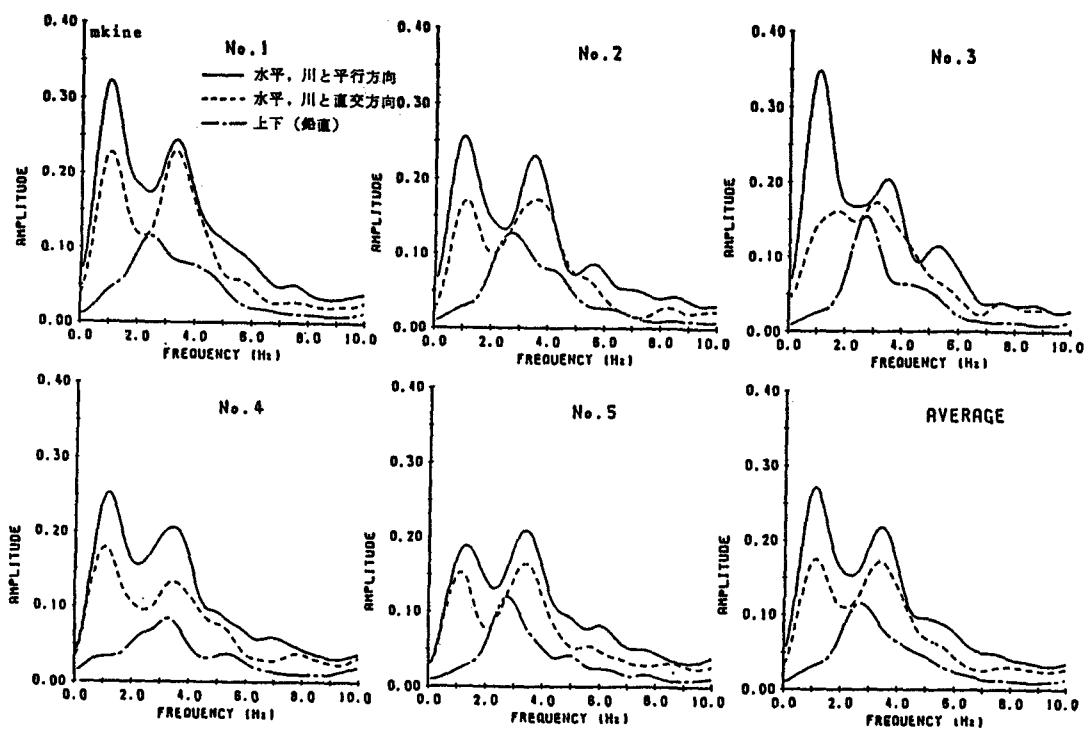


図1 やや厚い軟弱表層地盤地表でのフーリエスペクトルの一例

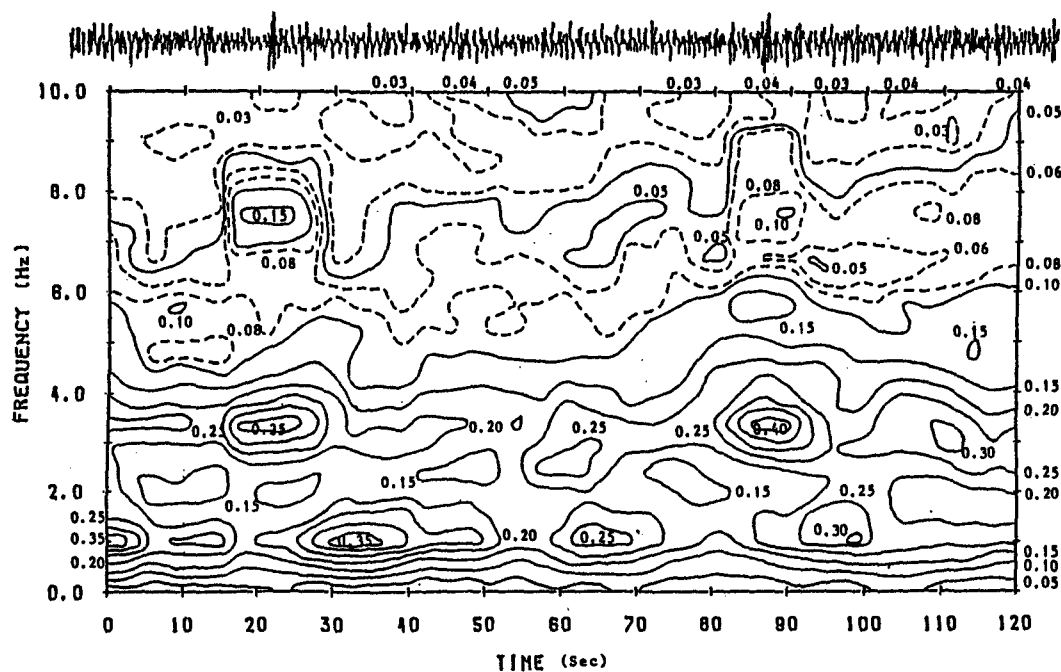


図2 ランニングフーリエスペクトルの一例  
(場所は図1の地点の川と平行方向)

1の右下のAVERAGEである。図中の実線は川と平行方向のそして破線はこれと直交する方向の水平方向の微動であり、一点鎖線は上下（鉛直）方向の微動である。

図2は川と平行方向の水平方向の微動についてのランニングフーリエスペクトルである。図中の上部の波形が対象とした微動波形である。

これらの図から以下に述べる微動の特性が情報として得られたと考えられる。

① 両水平方向は一次および二次の明確な卓越振動を有している。これらの図1におけるピーク大きさは時間の変化に応じて変動が少なくないが、ピークが示す卓越振動数の変動は少ない。川と平行方向では、1.07および3.42 Hzであり、川と直交方向では1.07および3.32 Hzとなり両者の差異は小さい。この様に二次のピークが明確なことは前報告では見られなかった現象であり、やや厚い表層地盤に起因するものと考えられる。

② さらに、図1の1部（実線でNo. 2とNo. 3、破線ではやや不明確だがNo. 1とNo. 5）には三次の卓越振動が見出せる。この振動数は約5.57 Hzである。前述した一次（1.07 Hz）、二次（3.32～3.42 Hz）と比較した場合、単一の表層地盤で計算されるせん断波の重複反射の理論による値で検討をおこなうとかなりよい傾向を持つ。これらの卓越振動数の微動波形への現われ方を説明するのが図2である。一・二次に比べて三次はあまり顕著ではないが明らかに見出されるとともに、さらに7.5 Hz前後にも四次振動を予想させるピークが出現している。

③ 図1において両者の水平方向の振幅を比較した場合常にとってよい程であるが、実線が破線を上まわる。これは、川に沿った方向がこれと直交する方向に比べて大きな振幅を持つことを意味している。この理由の断定はできないが、1つは地形によるもの、他の1つに表面波が考えられる。前者は観測地点が川に沿った帯状の沖積平地であるため、帯状平地の川に沿った両側の台地が何らかの拘束性を持つと想像することにある。後者は次に述べるレーリー波を考える場合である。しかしながら両者とも今後に残された課題であろう。

④ 図1の一点鎖線は上下微動のスペクトルである。卓越するピークは2.73 Hzを平均値とする1つである場合が多く、図中でNo. 4だけが例外的に3 Hzを上まわっている。この2.73 Hzは水平方向の微動の一次と二次のほぼ中間にあり、水平と上下とが無関係に卓越していると考えられる。前述したが、観測点から約500m下流側に川を直交する形で高速道路の高架橋が連続する。したがって、この橋の橋台を通して走行車による振動が観測点へと伝播して来ることが十分に予想される。橋げたの上下方向の固有振動数が3 Hz前後であることが多いので、図1のピークがこれを振源とするレーリー波によるものと考え得る。しかしながら、その判断はたとえば多点同時観測等により確められるべきであろう。

### 3 道路舗装面が微動に及ぼす影響

常時微動を、特に都市部において観測する際に、道路舗装面上あるいはコンクリート面上等地表面を覆う何らかの物質面の上に換振器を設置する必要がある場合が多い。この場合、その物質が表層地盤より大きい剛性からなると、それだけ何らかの拘束力が微動に作用するものと考えられる。この拘束力は物質の種類、平面の形状、厚さそして周囲の施設との結合性等により微動に多種多様な影響を及ぼすことになる。本研究は、この場合の考えられ得るもっとも単純で影響力も小さい状況を出発点とする。すなわち、何の拘束もない地表面上に一本の舗装道路面がある場合を選ぶ。しかも道路幅員は二車線用と広くはなくかつ舗装面がかなり薄いと考えられる非幹線道路を対象とする。

このような条件を満たす観測地点は前報告(国井, 1982)の三地点の1つ(B地点)の近くに見出された。したがって周囲および地盤の条件は微動観測にとって理想的な所と言える。道路は鶴見川とはほぼ平行に通っている。微動観測は道路上に自動車が見られない(観測点から両側に見渡せる約数百m付近に自動車がない)条件下でおこなわれた。

図3は観測地点での測点の配置を示すものであ

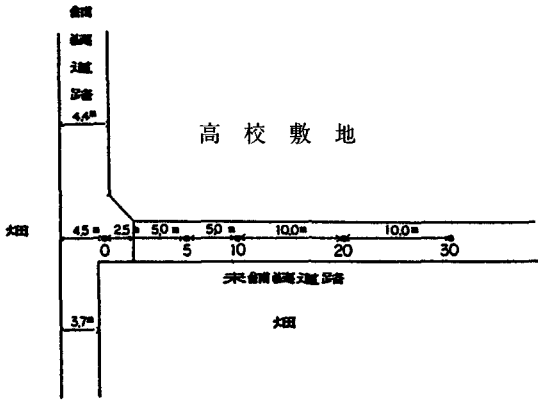


図3 測点の配置及び測点名

る。測線は舗装道路に直交する未舗装道路上にとった。未舗装道路は隣接する畑のためのもので全長は数十mからなり先端は行き止まりとなる。測点は舗装面上、舗装端から5m間隔に2点、さらに10m間隔に2点の計5点である。図3のように、これらの測点にそれぞれ、0、5、10、20、30と名付け数字が舗装面からの距離を意味することとしている。微動の測定は水平二方向とした。すなわち舗装道路軸に直交する水平動および舗装道路軸と平行な方向の水平動である。微動波形は0.01秒間隔でサンプリングされ解析されるが、サンプリング時間は約10秒間、サンプリング回数は各測点で二方向ともそれぞれ3回である。

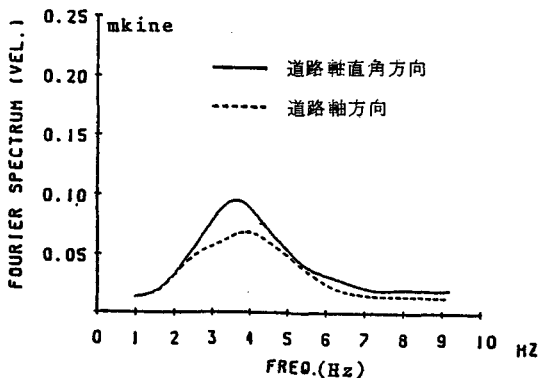


図4 舗装道路面上での水平微動  
フーリエスペクトルの1例 (測点0)

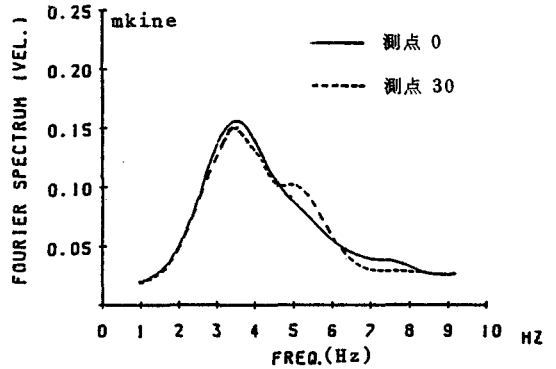


図5 道路軸直交方向の水平微動の  
フーリエスペクトルの1例

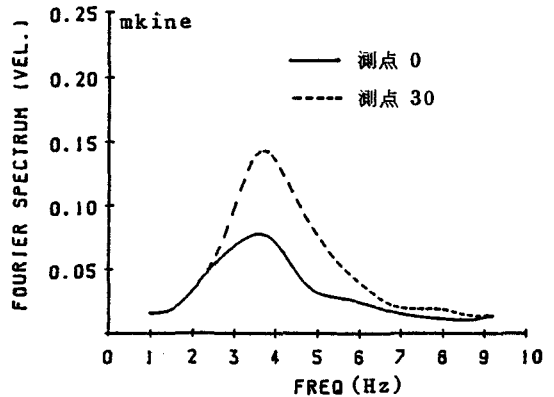


図6 道路軸方向の水平微動の  
フーリエスペクトルの1例

図4は舗装道路面上の道路軸方向および軸直交方向の微動のフーリエ振幅スペクトルである。両者の間には、振幅の大きさおよびピークが示す卓越振動数において幾分差異が見られる。

図5は道路軸直交方向の微動について、測点0（舗装道路上）と測点30でのスペクトルの比較をおこなったものである。

図6は道路軸方向の微動について図5と同様に示したものである。

測点30は舗装道路から最遠にあり（図3参照）、舗装の影響をもっとも受けにくいと考えられる。したがって、図5、図6の両図での測点30のスペ

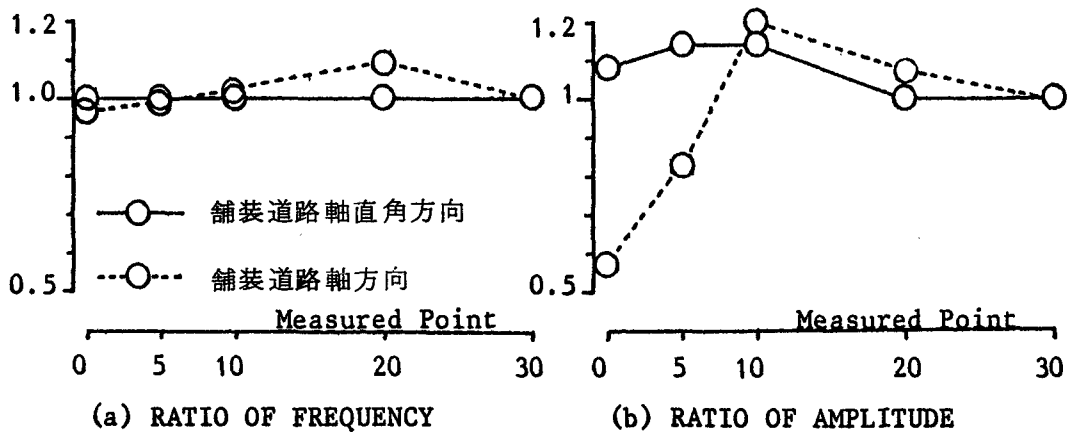


図-7 フーリエスペクトルのピークの値の変化状態  
(測点30が基準)

クトルは類似するものと予想されたが、振幅、振動数ともに幾分差異が見られる。そして、この差異の傾向は図4における舗装道路面上で示されるものと必ずしも同じではない。すなわち、道路軸直角方向では道路軸方向に比べて、卓越振動数がやや小さい点では同じ傾向であるが、振幅においては測点30ではほぼ同じか軸直角方向がわずかに小さいのに対して舗装道路面では軸直角方向が軸方向を大きく上まわっている。これらをまとめれば、表層地盤上と道路舗装面上とでは、振動数に大差は見られないが振幅において前者より後者がかなり下まわる微動であると言えよう。次に視点を交えて図5と図6に注目すれば、両図が示す傾向の違いが明らかである。やはり道路軸方向において舗装面の影響が大きく、振幅をかなり低下させている。

次に前述した特徴を図3の測線に沿って検討し、舗装道路からの距離にとまなう特徴の変化を調べる。

図7は卓越振動数とスペクトルのピークの振幅について測線上での変化の様子を示したものである。(a)、(b)両図の横軸はともに測点番号を示すが、この番号が舗装道路面からの距離(m)を意味する。縦軸は測点30を基準としたときの振動数の比および振幅の比である。これらによると、卓越振

動数の測点間の差は小さく特に道路軸直交方向ではほとんど見られない。道路軸方向でも差は最大で10%程度以下である。しかしながら、振幅の差異は大きい。道路軸直交方向はそれ程でもなく、十数%程度であるが舗装道路面に近づくに従って振幅が大きくなる。これに対して道路軸方向の振幅の変動は大きく、道路に近づくに従って20%程度増加するが、道路の近くから急に減少して舗装道路面では50%程度の値に低下する。

この様に舗装道路の微動に対する影響は複雑であるが、特に振幅において、そして道路軸に沿った方向の振動に強く反映することが明らかである。これらの傾向は、あくまで観測地点に固有の特徴であるとも考えられるが、微動観測のために1つの情報を与えるものと思われる。今後、各種の表層地盤特性、道路構造等について検討を進め、多くの資料を集積し統計的に処理する研究が課題として残される。

#### 4 む す び

地盤の微動観測については、すでに新しい知見を得ることができない程検討されてきているとする意見もあるが、一方では、多くの研究を積み経験豊かなごく一部の研究者のみが取り扱える分野

であると考えの方も少なくない。たしかにある程度の技術が必要であることは筆者等も異論のない所であるが、できるだけ多くの研究者、技術者に対し解り易い情報を提供する事も重要と考えられる。さらにまた、研究、調査の目的が新しい事項へと変化する中で、既存の観測手法と異なる考え方が必要になることは必須であると考えられる。常時微動は、とらえ方を誤ると、とかく情報過多になり思わぬ誤りをおかしかねないが、地震、振動という現象の中でまぎれもなく物体が振動している事象である。明快な観測のための理念およびシステムの機構化は困難な事であるが、暗中の間際で出来る限りの努力をしてみたい。諸兄のご意見ご批判をいただきたい。

末尾ながら、観測そして討論にご助力いただいた荏本孝久氏（神奈川大学）、石原哲哉氏（日本国土開発、当時研修生）そして橋 義規氏（オリエンタルコンサルタンツ、当時大学院生）、大竹

省吾氏（玉野総合コンサルタント、当時卒研学生）に感謝いたします。

## 文 献 一 覧

国井隆弘

1982 「常時微動が示す二・三の情報に関する研究」『総合都市研究』第17号, pp. 1~12。

田治米辰男・望月利男・松田磐余

1977 「地盤と震害—地域防災研究からのアプローチ」『横書店』。

望月利男・松田磐余・宮野道雄

1980 「サイズミック・マイクロゾーニングにおける震度分布の評価手法について—その3, 関東地震における震度と震源距離・方向性・地形の関係—」『総合都市研究』第11号, pp. 127~139。

INFORMATION OF MICROTREMORS ON DEFINED  
SURFACE LAYERS (PART-2)

Takahiro Kunii\*, Ryo Hironaka\*\* and Nobuhiro Wada\*\*

\*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

\*\*Graduate Student of Engineering, Tokyo Metropolitan University  
*Comprehensive Urban Studies*, No.23, 1984, pp. 69-76.

For estimation of the surface ground layer conditions, microtremors may be recognized one of the effective analytical phenomenon. This report attempts this observation in the place both having soft thicker surface layers and no dynamic properties. Secondly this report contains an estimation of the effect of the pavement to microtremor characteristics.