

都市域軟弱地盤上の常時微動測定 に関する二・三の問題

Some Problems for Observation of Microtremor on the Soft Ground in Urban Area

特殊公害科 松岡 達郎 小林 良夫* 白石 英孝

要 旨

都市域軟弱地盤の振動特性を常時微動測定によって推定する際の問題点について、実測を主体に検討した。

その結果、3Hz前後の卓越成分には、地盤の固有の性質より周辺の幹線道路振動の性質が含まれている可能性が強いことが明らかになった。

また、よく測定地盤に選ばれる学校等の敷地は盛土地盤であることが多く、このような場所のスペクトラムは、近傍の自然地盤の性質を反映しづらいことが種々の盛土条件のもとに確認された。

1 はじめに

常時微動とは風や波などの自然現象、交通機関や産業機械などの人工現象に起因する不特定の振動源によって発生するといわれている、微小な地盤振動である。

その存在は微小地震観測時のバックグラウンドノイズとして知られ、主に理学的な立場から多くの議論がなされてきた。

一方、工学的な利用については、ある地盤の常時微動のスペクトラムの中に地震時の地盤の挙動が含まれる場合があることが明らかになって以来、地盤の振動特性を表わすものとして注目されてきた¹⁾。

このような目的に常時微動を利用する場合、対象地盤近傍の特定振動源の影響を避けるために、通常、深夜に測定されることになっている。しかしながら、近年、都市域では、深夜においても幹線道路の大型車交通量が激減しないなどの理由により、振動源の不特定性という測定地盤の振動特性を表わすための必要条件が得られづらくなっている可能性がある。

また、測定場所についても、都市域の軟弱地盤では土地利用の拡大から自然地盤が減少し、盛土による改変を受けた地盤での測定が余儀なくされる場合がでてきている。このような場所では常時微動のスペクトラムに盛土層の物性による影響が現われ易く、自然地盤

の振動特性の推定を困難にするなどの心配がある。

以上のように、都市域の軟弱地盤では、常時微動から地盤の振動特性を推定する場合、そのスペクトラムを解釈する上で測定条件に係わる重要な問題が存在している。

当公害センターでは昭和58年度から、県内表層地盤の振動特性を把握するために常時微動測定を主とした地盤調査を行っているが、今回、前述のような測定上の問題について、いくつかの実験的な検討を行ったので報告する。

2 実験方法

2・1 概 要

県南の沖積軟弱地盤を対象に、一定規模（厚さ1m以上、面積10000m²以上）の盛土をした地盤（以下、盛土地盤）とその近傍の自然状態の地盤（以下、自然地盤）で、常時微動の同時測定と表層のS波速度測定等を実施し、自然地盤のスペクトラムへの特定振動源（幹線道路）の影響及び盛土による物性変化の影響を調べる。

2・2 実験地盤

実験地盤の位置を図1に、名称や表層地質等を表1

* 昭和59年10月1日 大気保全課へ転出

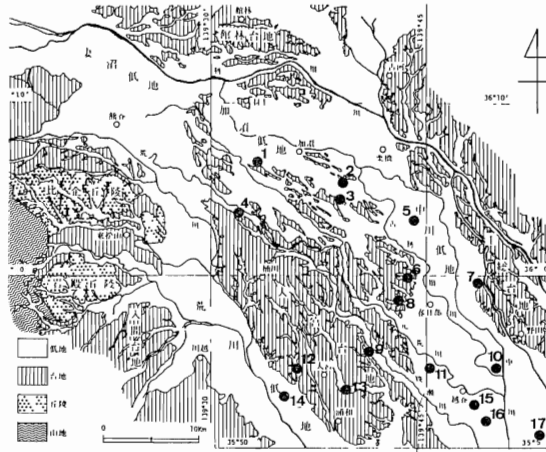


図1 実験地盤の位置

堀口万吉：関東平野中央部における考古遺跡の埋没と地殻変動，地質学論集，〔20〕，1981，P 80
第1図「関東平野中央部の地形区分と名称」より

表1 実験地盤の名称と表層地質

地点番号	名 称	自然地盤の表層地質
1	県立騎西高等学校	粘 土
2	鷺宮駅前住宅建設予定地	シルト
3	県立鷺宮高等学校	粘 土
4	鴻巣東団地建設予定地	粘 土
5	県立幸手高等学校	シルト
6	県立宮代高等学校	腐植土
7	県立庄和高等学校	腐植土
8	県立岩槻北陵高等学校	腐植土
9	県立大宮東高等学校	腐植土
10	県立越谷高等学校	腐植土
11	県立越谷西高等学校	シルト
12	大宮三橋団地建設予定地	腐植土
13	障害福祉会館建設予定地	腐植土
14	県立大宮南高等学校	粘 土
15	越谷産業団地建設予定地	粘 土
16	県立草加東高等学校	粘 土
17	県立三郷北高等学校	シルト

に示す。

これらはいずれも、中川、荒川、加須低地の氾濫原と大宮台地末端部の沖積谷上に位置し、いわゆる軟弱地盤と呼ばれる場所である。

また、ほとんどが県立高校を主とした公共施設の敷地や住宅団地の建設予定地であって、市街地及びその周辺地域に属している。

2・3 常時微動及びS波速度の測定

常時微動は、一般に非定常性の弱まる深夜に5分間程度測定し、そのうちの振幅が定常的であると思われる部分（連続した2分ほどの時間）を分析対象としている。しかしながら、前述したように、都市域では深夜でも地盤の擾乱が十分小さくなるとは限らないため、5分ほどの測定時間では分析に適する記録が得られない危険性がある。

そこで今回は、周辺環境が最も静かになる時間帯（午前0時～3時）のみを選んで、波形をペンオシログラフでモニターしながら十分に非定常性の弱まった記録が得られるまで測定を続けることにした。これにより、多くの場所で良好な記録が得られたが、1測定当り1～1.5時間を要した。

図2に測定及び分析のシステムを示す。

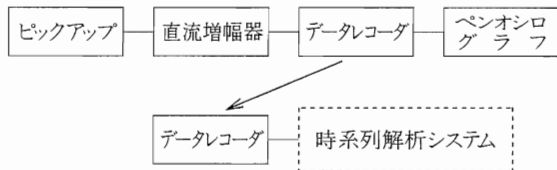


図2 測定・分析システム

ピックアップは速度型（保坂振動製 MTKV, MTKH ……固有周期1秒）を使用し、自然地盤、盛土地盤ともに水平NS方向、EW方向及び上下方向に設置した。ピックアップからの出力は直流増幅器（三栄測器製 WI-21）により調整され、データレコーダ（ティアック製 MR-30）に収録された。測定時の総合周波数特性は、直流増幅器のローパスフィルタを使用して1～16Hzで平坦とした。

分析は時系列信号処理システム（Gen Rad製 GR2510他）により、最高分析周波数（ f_{max} ）20Hz、分解能 $f_{max}/400$ 、アベレージ数32で1/8フレームサイズごとのオーバーラップ分析により、時間長約100秒間における実効値振幅スペクトラムを得た。

一方、自然地盤と盛土地盤の物性比較のためのS波速度測定は、各々の表層の速度を正確に求めることを目的として、ピックアップ間隔0.5～1mの板タキ振源による屈折法とした。

3 スペクトラムに現われる幹線道路振動の影響

今回、沖積軟弱地盤で得られた常時微動のスペクトラムは、ほとんど0～5Hzの周波数領域に卓越成分が存

在する。各測定地盤のスペクトラムのパターンを軟弱層の厚さや層構成などに関連づけて類型化することは容易ではないが、卓越成分の出現傾向は比較的簡単に分類できる。すなわち、ほとんどの地盤は0~1Hz(以下、領域A)、1~2Hz(同B)及び2~5Hz(主に2.5~3.5Hz……同C)の各周波数領域に出現する卓越成分の組合せとなっている。例えば、図3(a)はA、B、Cのそ

ろったもの、(b)はB、C、(c)はA、Cの組合せである。もちろん他の組合せ(AとB)や単独の領域のみに卓越成分が現われる場所もあるが、数は少なく、唯一Cの領域に強く現われる場所が例外的に多い。以上により、実は領域Cの成分はほとんどすべての測定地盤に見られることになる。

このように、どの地盤にも存在する周波数成分は、各々の地盤に固有な振動特性に関連づけるより、どこにでもあり得る振動源の特性を反映したものと解するほうが自然である。一方、筆者らは、かつて公害センター敷地内における常時微動の多点測定からその伝播性を調べた際に、2.8Hzの卓越成分が測定点の東方約2km先の新大宮バイパス方向から伝わってきていることを明らかにしたことがあるが²⁾、今回各地盤に現われた領域Cの卓越成分も測定点に最も近い幹線道路の影響を受けているものと推定し、その依存性を確めた。

図4は、各地盤のスペクトラムのうち、領域Cの卓越成分の振幅を最寄りの幹線道路からの距離に応じて示したものである。図から、一部の特定な伝播条件にあると思われる場合を除いて、測定値が明瞭に距離減衰傾向を示していることがわかる。これは、図5に示したように、領域AやBの卓越成分が全くその傾向を持たないこととは対照的である。

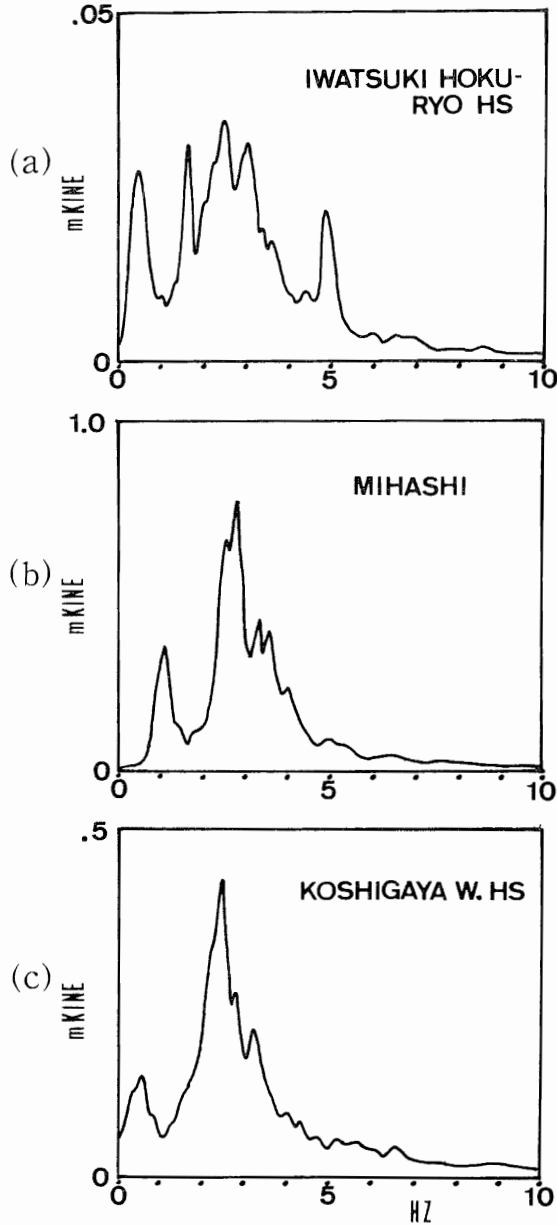


図3 卓越周波数の出現傾向

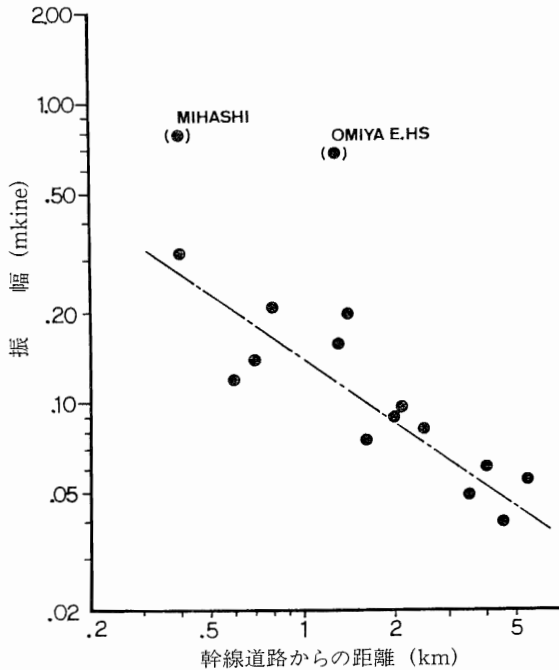


図4 領域C(2~5Hz)の距離減衰
(●)は、腐植土層が道路から連続している場所

間
れ
て
深
め、
しな

(午
ラフ
なが
り、
し〜

ロフ

KH
とも
こ。
WI
ク製
は、
で平

2510
max/
オー
実効

S波
とを
キ振

影響

クト
が存

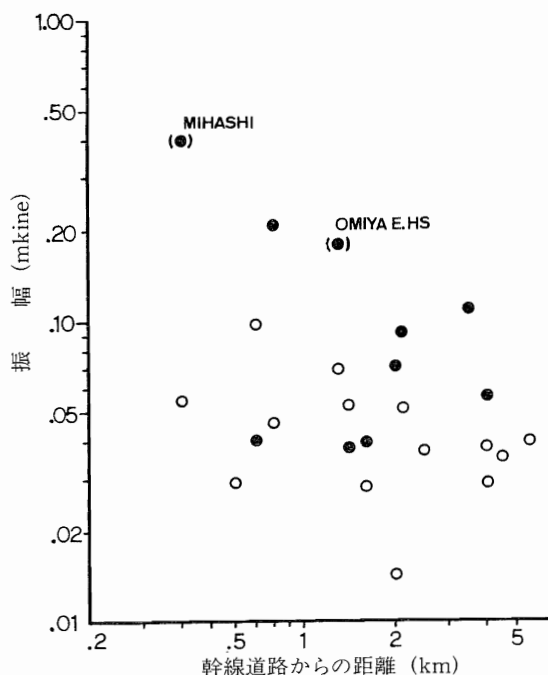


図5 領域A(0~1Hz…○), B(1~2Hz…●)の距離減衰

図4について、振幅(V)に対する距離(r)のべき乗回帰を求めると、

$$V = 0.14(1/r)^{0.70} \quad (\gamma = 0.87)$$

となり、指数0.7は粘性の影響を受けない表面波の減衰定数0.5よりわずかに大きい。しかし5kmに及ぶ伝播距離を考えれば、地盤の粘性による内部減衰は無視できないため、みかけ上この程度の値はとり得る。

このように、道路の規模(同じ幹線道路でも交通量が2~3倍異なる)や測定地盤までの地質条件(途中に洪積台地が介在するか否かなど)を無視して作成した距離減衰曲線が、表面波に近い傾向を示すことは極めて重要であって、領域Cの卓越成分が測定地盤の振動特性よりは振動源の共通な性質を伝えている可能性が高いことを示唆している。

この振動源の性質については今後の検討を待たなければならないが、領域Cの中でも特に2.5~3.5Hzの間に卓越する傾向があることや過去に行われた極めて軟弱な地盤の道路近傍の振動測定結果から、大型車両と道路の舗装版との連成振動に起因していることも考えられる。

いずれにせよ、この影響が幹線道路から5kmほど離れた場所に及んでいることを考えれば、市街地やその

周辺における常時微動の3Hz前後の卓越成分の解釈には、十分な注意が必要である。

4 盛土地盤上における測定の問題点

4・1 盛土地盤と自然地盤のスペクトラム比較

常時微動は一般に表層の影響を受けやすい。それは、常時微動の主たる波動の種類が表面波であれば、当然地下浅所にエネルギーが集中する結果であり、いわゆる重複反射を起こしているS波であっても、結局表層の物性に大きく支配されるためである。しかしながら、地盤種別の推定などの工学的な利用を目的とした常時微動の測定では、ピックアップ設置の便宜のためか、沖積地ではほとんど盛土造成される学校のグラウンド等が測定場所となる場合が多い。これは、おそらくは、盛土の影響が漠然と高い周波数にのみ及んでいるものとみなされているためであろうが、実際に多くの場所で確認されたわけではない。

そこで、全17か所の隣りあう盛土地盤と自然地盤で得られた常時微動の同時記録から、スペクトラムの比較を行い、盛土による影響について検討した。その結果、やはり多くの場合、盛土地盤のスペクトラムは自然地盤のそれと異なっていたが、影響の現われかたには特定の傾向が見られ、ほぼ3通りに分類できることが分かった。図6にそれらの代表例のいくつかを示す。すなわち、(a)はスペクトラムの形状が異なり、すべての測定周波数で盛土の振幅がかなり小さくなるもの(これをI型と呼ぶ)、(b)は形状・振幅がほぼ等しいもの(II型)、(c)は形状が異なり一部の周波数で盛土の振幅が大きくなるもの(III型)、である。そして17か所中、I型は5か所、II型は7か所、III型は5か所であった。

一方、影響の及ぶ周波数範囲もほとんどが1Hz前後からと予想以上に低く、軟弱地盤の振動特性を議論する周波数領域の全般にわたっていることが確認された。

このように、盛土の影響がかなり問題になることが明らかになったが、次に影響の出現形態を地質条件や地盤の物性比較により検討した。

4・2 スペクトラムに影響を与える盛土条件

図7は、全測定地盤の表層付近の地質柱状図とS波速度測定結果を、前述したI~III型の各類型ごとに示したものである。図から明らかに、1例(SHOWA HS)を除き、各類型に応じた共通の地質や物性の組合せになっていることが分かる。すなわち、I型は腐植土と

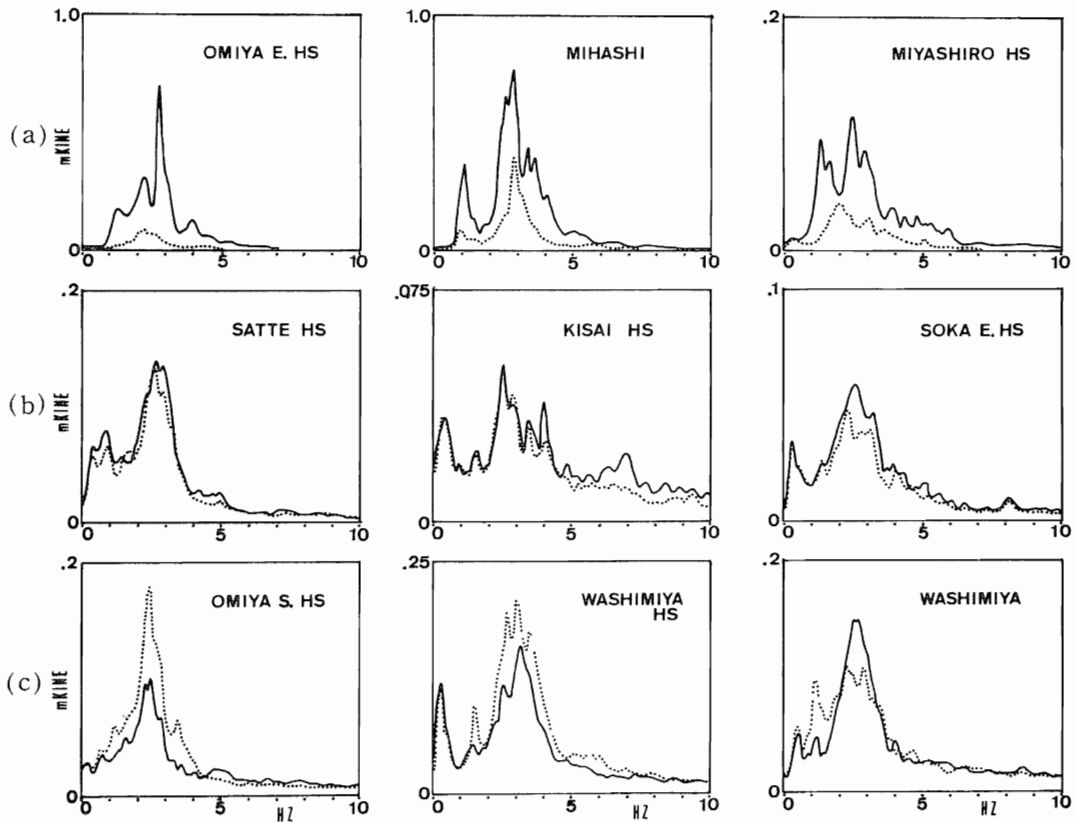


図6 自然地盤(実線)と盛土地盤(点線)のスペクトラム比較例

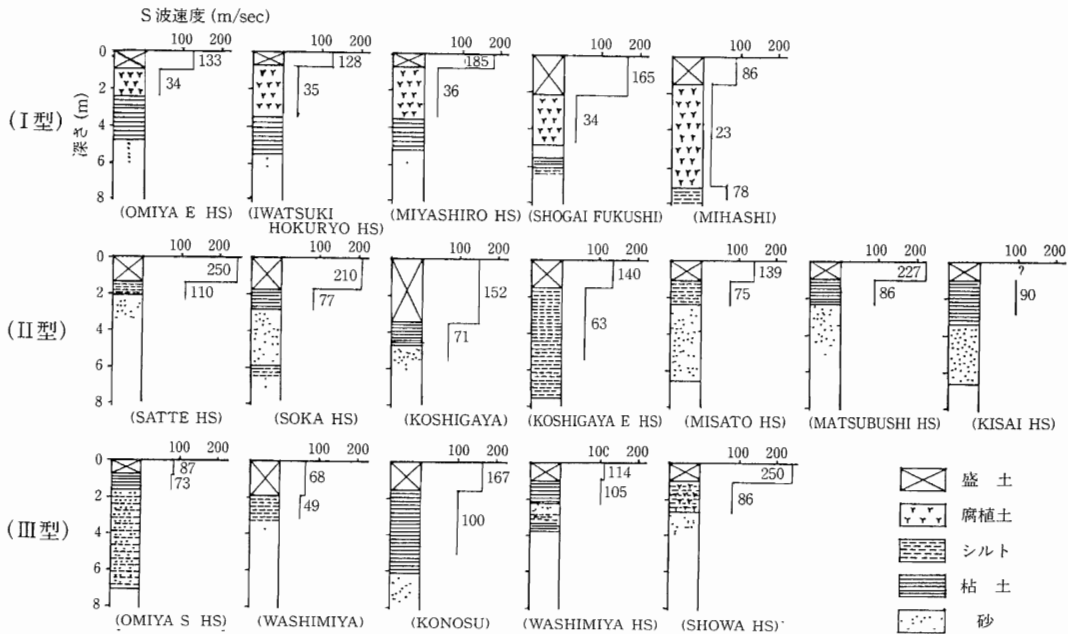


図7 測定場所の表層地質柱状図とS波速度

いう極めて軟弱な表層に盛土した場所で、その表層に対する盛土層のS波速度比が3~5倍と大きい場合、II型・III型はいずれもシルト・粘土等通常の軟弱層に盛土した場合であるが、II型はS波速度比が2~3倍、III型はS波速度比がほぼ1に等しい場合である。(SHOWA HSの場合、I型に対応する条件を備えながらIII型の傾向となる原因は測定条件にあるものと推定される。すなわち、この現場は幹線道路に近く、盛土自体が道路直近から続いており、盛土上の測定点が自然地盤上より道路側に100mほど近かったことから、媒質の連続性や距離減衰が強く現われたものであろう。)

この結果によれば、物性の大きく異なる材料があるいは逆にほとんど物性の変わらない材料で盛土した場合に、盛土上のスペクトラムは自然地盤のそれを反映しづらくなるといえよう。このうち前者の条件は、理論的にも波動がインピーダンス(密度×S波速度)の大きい層へ透過しづらいことや、自然地盤に比べて十分に硬い盛土地盤が剛体のように振舞い、固有のモードで振動する可能性があることなどから、十分首肯し得るものである。しかしながら、後者の条件については、インピーダンスの変わらない媒質間での波動の伝達率が1に等しくなるはずで、理論的には測定結果のようなことにはならない。これは、例えばS波速度測定の誤差や盛土の圧密が不十分で密度が相当低いなどの仮定を設けて盛土のインピーダンスが実際は小さかったとすれば、重複反射による増幅としてある程度の説明が可能だが、今回の調査ではこのような仮定を証明する資料は得られていない。

いずれにせよ、測定事実からは、沖積谷などを埋立てたりした場所(もとの表層が腐植土である場合が多い)での常時微動の測定は避けるべきであり、一般の広い沖積低地(シルトや粘土質が多い)でも可能な限り自然状態の地盤を選ぶべきことが分かる。

5 あとがき

都市域軟弱地盤において常時微動から地盤の振動特性を推定する際の問題点のうち、幹線道路振動の影響と盛土地盤での測定の可否について実測を主体に検討した結果、

- ① どの測定地盤のスペクトラムにも現われる3Hz前後を中心とした領域の成分は、幹線道路という特定の振動源の性質を表わしている可能性があること。

- ② 多くの盛土地盤のスペクトラムがその近傍の自然地盤の振動特性を十分に反映しないことが確認されたが、この傾向は自然地盤が腐植土である場合や盛土材料が自然地盤の土質とあまり相違しない場合に顕著であること。

などが明らかになった。

②については、測定地盤の選定に配慮すれば避けられることであるが、①は都市域では解決し難い問題といえる。ただ、この領域の成分は特定の方向性を持ち易い波群であると推定されるので、測定・解析上の技法改良によって解決される可能性もあるが、現実には極めて困難を伴うものと思われる。

最後に、本調査を行うに当たって多数の大規模な盛土地盤を必要としたが、測定場所の提供やボーリング資料の貸与を快諾していただいた教育局財務課、各県立高校当局、企業局宅地造成課、埼玉県土地開発公社業務課及び埼玉県住宅供給公社造成課に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 金井清：地震工学，P.99~P.108，共立出版(1972)
- 2) 松岡達郎：関連技術とアナログテープレコーダの応用—振動公害における実際例一，エレクトロニクスダイジェスト，[193]，P.21~P.24(1974)
- 3) 松岡達郎：地盤の特性と道路交通振動について，騒音制御，3(2)，P.20~P.23(1979)