

マイクロゾーニングにおける微動活用法の検討 —その2 地形・地質条件からのアプローチ—

Investigation on Practical Use of Microtremor Observations for Microzoning Part 2 : Approach from Historical Development of Landforms and Soils

山本俊雄¹、松田磐余²、上野直洋³、栗山利男⁴、荏本孝久¹
Toshio YAMAMOTO¹, Iware MATSUDA², Naohiro UENO³,
Toshio KURIYAMA⁴ and Takahisa ENOMOTO¹

¹ 神奈川県工学部

Faculty of Engineering, Kanagawa University

² 関東学院大学名誉教授

Emeritus Professor, Kanto Gakuin University

³ 神奈川県大学院工学研究科

Engineering Course of Graduate School, Kanagawa University

⁴ 構造計画研究所

Kozo Keikaku Engineering Inc.

H/V spectral ratios of microtremors were obtained in the Tamagawa, Tsurumigawa and Kanazawa lowlands. Relationship between their predominant periods and the total thickness of the latest Pleistocene and Holocene deposits was explained by the equation $Y=A*X+B$. X and Y mean the total thickness and the predominant period, respectively. The values of A and B as well as the correlation coefficients reflect historical development of landforms and soils. This result brings us that more effective use of microtremor observations is possible for seismic microzoning.

Keywords : seismic microzoning, micro tremors, historical development of landforms and soils

1. はじめに

最近の地震被害想定では地下 30m までの地盤の平均 S 波速度である AVS30 が利用され、それに基づいて地表面での加速度や速度が求められている。また、AVS30 を同一の精度で密に測定するには膨大な費用がかかるので、標高や河川までの距離などで補正されるが、手に入れやすい微地形ごとに求められている¹⁾。しかし、AVS30 を微地形ごとに決めることには大きな欠点がある。

都市に普遍的に存在する建造物を対象とするサイスミック・マイクロゾーニングでは、いわゆる工学的基盤上の堆積物が対象になる。これらの堆積物は、丘陵地、台地、低地の地形を構成している。これらの地形の形成史は、気候変動とそれともなう氷河性海面変動による海面高度の昇降、ならびに、地殻変動による隆起と沈降の影響を強く受けている。すなわち、これらの外的条件に、地形を造ってきた河川がどう反応したかにより、地盤条件は異なってくる。具体的には、各河川の土砂運搬能力に対応して堆積物の種類やその分布、すなわち地盤の分布が決められる。したがって、サイスミック・マイクロゾーニングは、各河川が形成した平野ごとになされる必要があり、微地形

を単位として、異なる平野間を同一に扱うには無理がある。また、同一の平野内でも微地形は地下 30m までの堆積物を代表していない。微地形は地表面を構成している地形で、それは地形発達史の最後の段階を表現しているに過ぎず、地下 30m までの地盤（堆積物）の状況を反映している訳ではない。

筆者らは、サイスミック・マイクロゾーニングに常時微動を活用することを検討してきた。ここでは、地形発達史を考慮すれば、常時微動をより一層有効に活用できることを示し、常時微動がサイスミック・マイクロゾーニングに有力な資料であることを示す。なお、多摩川低地と金沢低地の常時微動の資料は、関東学院大学工学部の精木研究室による測定結果²⁾を使用させていただいたことを明記し感謝したい。

2. 沖積層厚と卓越周期

常時微動は、地震計を設置して地震観測を行うのとは異なり、任意の場所で任意の時間に計測できるので、空間的に密なデータを大量に得られる。都市に普遍的に存在する低層・中層の建物の地震被害に重要となる 2 秒程度以下の卓越周期の場合

には、卓越周期は表層部の堆積物の性質（おもに岩相と硬さ）と厚さに依存すると考えられる。そこで、沖積層厚を X (m)、常時微動の卓越周期を Y (秒) として、

$$X = A * Y + B$$

の回帰式で、両者を関係づける。Aは沖積層1mあたりの卓越周期への寄与率を示し、沖積層のS波速度に逆比例する。また、 $B = 0$ ならば、沖積層の平均S波速度は $4/A$ になる。Bは沖積層よりも下位の堆積物の卓越周期への寄与を示す。

図1は首都高速道路横浜・羽田線の建設の際に行われたボーリング資料を使用して作成した多摩川低地下流部の地質横断面である³⁾。縦線がボーリングの位置を示し、それに番号を振っている。番号が飛んでいるのはすべての資料を記入すると図が煩雑になるので間引いたためである。また、水平の縮尺と垂直の縮尺が異なるので、傾斜が強調されているので注意して欲しい。番号74（以下では番号を省略する）から87にかけて-47~-53mに頂面を持つ砂礫層が沖積層基底礫層である。底面は-60mに達しているようである。この深い谷を古多摩川谷と命名した。108から132にかけては、縄文海進時に形成された埋没波食台で、沖積層が薄く、基盤である上総層群を中・後期更新統（中間層と呼ぶ）が厚く覆っている。図1からは、サイスミック・マイクロゾーニングの対象となる地盤は、基盤、中間層、沖積層に3分される。

図2は、古多摩川谷沿いの地質縦断面で、扇状地性低地から三角州末端部までの地盤の変化が読みとれる。古多摩川谷は、最終氷期極相期までに深く侵食されているので、この断面には中間層は分布しない。図3は、鶴見川低地の地質横断面である。泥層が厚く、最表層部近くには腐植土層が分布するのが特徴で、中間層は分布しない。図4は、横浜市南端部に位置する小さな谷底低地である金沢低地の地質縦断面である。湾口を砂州で塞がれ、泥層が厚く分布する。泥層は陸成の下部層と海成の上部層に分けられるが、中間層は分布しない。

図5に古多摩川谷左岸の中間層が厚い地域で観測された常時微動の卓越周期と沖積層厚の関係を示した。卓越周期は、 H/V スペクトル比のピークが最大になる周期をとっている。図6~8には、それぞれ中間層のない古多摩川谷上、鶴見川低地、金沢低地で得られた同じ関係を示した。直線回帰された式と相関係数 (R) は以下の通りである。

多摩川低地

中間層あり $Y = 0.017X + 0.543$ $R = 0.62$

中間層なし $Y = 0.012X + 0.190$ $R = 0.86$

鶴見川低地 $Y = 0.026X + 0.209$ $R = 0.75$

金沢低地 $Y = 0.021X + 0.052$ $R = 0.80$

図9、10には沖積低地と比較するために、横浜市内の下末吉台地上と相模野台地上で得られた同様な結果を示した。海成台地である下末吉台地については、N値50を越える層を基盤とし、その上

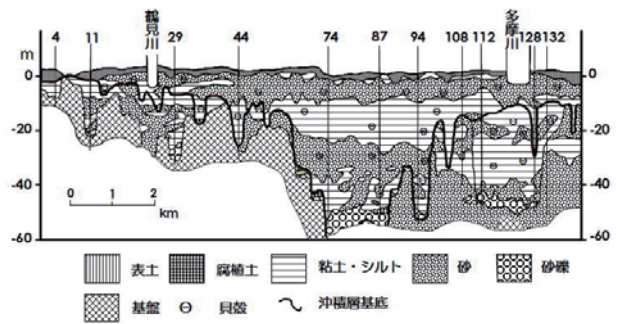


図1 多摩川低地下流部地質横断面

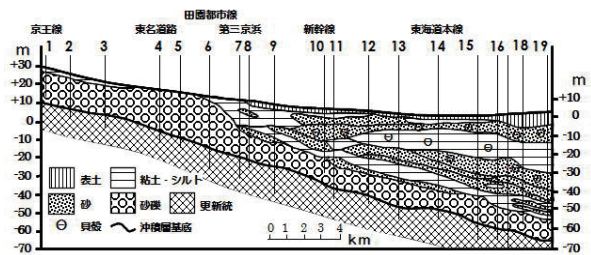


図2 古多摩川谷沿いの地質縦断面

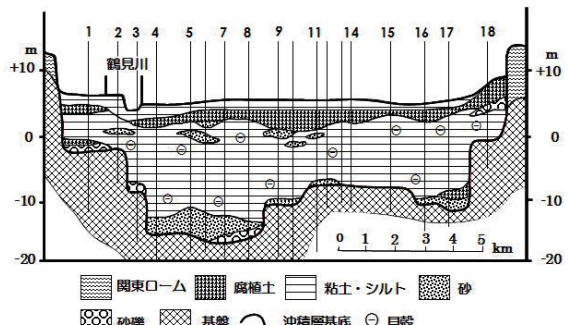


図3 鶴見川低地地質横断面

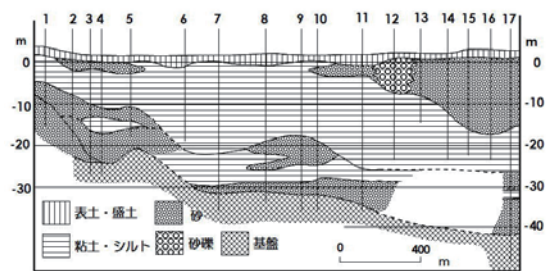


図4 金沢低地地質縦断面

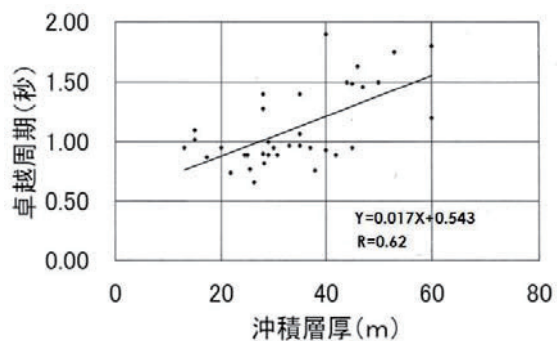


図5 多摩川低地 中間層あり

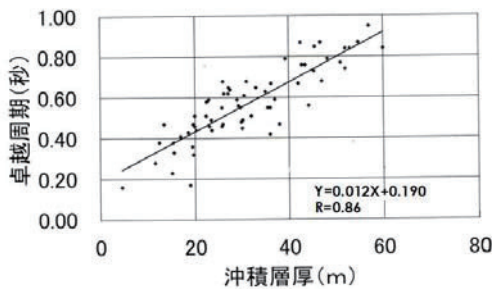


図6 多摩川低地 中間層なし

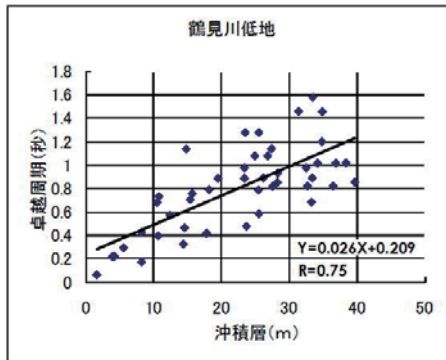


図7 鶴見川低地 中間層なし

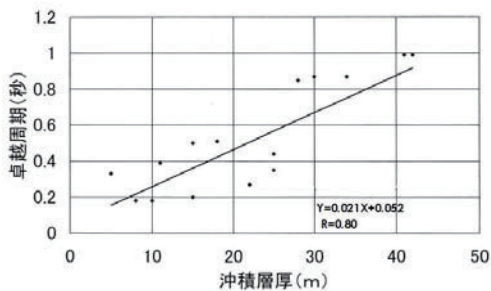


図8 金沢低地 中間層なし

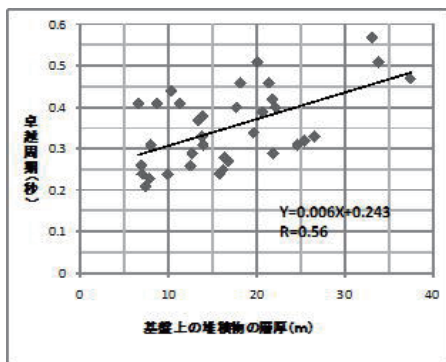


図9 下末吉台地 海成段丘

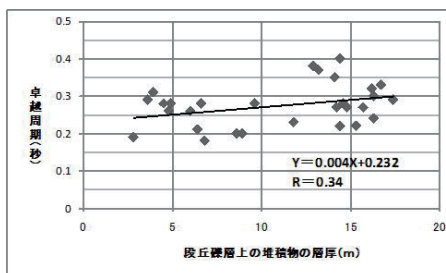


図10 相模野台地 河岸段丘

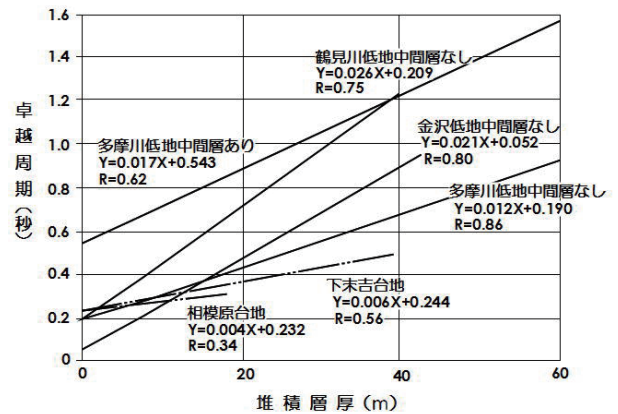


図11 堆積層厚と卓越周期の関係

低地は沖積層厚、台地はN値50までの堆積物

を覆う堆積物（おもに下末吉層と関東ローム層）の厚さと卓越周期の関係を、河岸段丘の相模野台地については、段丘礫層を覆う関東ローム層の厚さと卓越周期の関係を求めた。得られた結果は、

下末吉台地 $Y=0.006X+0.244$ $R=0.56$

相模野台地 $Y=0.004X+0.232$ $R=0.34$

であった。図11に以上の結果をまとめた。図11からは以下のことが読みとれる。

1. 低地で中間層がない場合には、相関係数が高く、Bの値が小さい。中間層がある場合には、相関係数が小さく、Bの値が大きい。これには、中間層の影響が顕著に現れている。

2. 金沢低地と鶴見川低地でのAの値が多摩川低地より大きいのは、両低地では沖積層の平均S波速度が多摩川低地より遅いことを示す。すなわち、沖積層が軟弱である。

3. 金沢低地のBの値が、多摩川低地の中間層がない場合と鶴見川低地より小さいのは、卓越周期は金沢低地の方がより沖積層に依存していることを示す。すなわち、金沢低地では、基盤と沖積層間のコントラストが大きい。この結果は、金沢低地の基盤の方がより古い堆積物からなることと調和する。

4. 台地ではAの値が小さい。これは、台地表層部の堆積物は、沖積低地のものより固結が進んでいることと調和する。

5. 台地では相関係数が小さい。台地表層部の堆積物が一様でないことを現している。

3. 地形発達史と卓越周期の関係のモデル化

前節で得られた結果から、事例が少ないので今後データを積み重ねる必要はあるが、卓越周期と地盤厚の関係をモデル化すると、図12になる。横軸は地盤厚（基盤までの深さ）で、沖積層のみの層厚ではない。また、地盤厚や地盤の構成層には、氷河性海面変動への河川の反応や、その地域が地殻変動の隆起地域なのか沈降地域なのかによる影響も大きいので、図13～15には地盤の状況を理解しやすいように、低地と周辺部の地質断面の模式

図を示した。

1) Aが大、Bが小

地盤の性質が、常時微動のデータにもっとも効果的に反映される。スペクトル比が大きく、卓越周期が明瞭で、H/Vスペクトルは単峰型になる。相関係数も大きい。隆起地域の小さな谷底低地が典型で、中間層がなく、基盤と地盤のコントラストが大きい(図14)。隆起地域ならば、大河川の下流部低地でも同様になるが(図13の低地)、基盤と地盤のコントラストが小さくなるので、Aの値が少し小さくなる。

2) Aが小、Bも小

卓越周期は明瞭で、H/Vスペクトルは単峰型であるが、スペクトル比は小さい。基盤と地盤のコントラストが大きくはないが、地盤構成が単純な地域である。段丘堆積物が露出している河岸段丘や海岸段丘が典型例で、砂礫の卓越する扇状地や盆地でも同様であると予想される。

3) Bが大

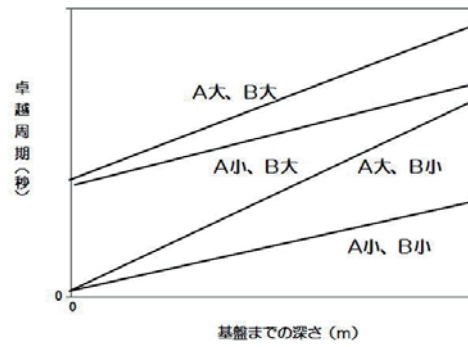
卓越周期は地盤厚にあまり依存せず、Rが小さくなる。地盤構成が複雑で、固さ(S波速度)や層厚が異なる堆積物から構成される。また、各堆積物の面的分布が不均一である。H/Vスペクトルは多峰型になることが予想される。沈降地域の低地(図15)が典型で、地殻変動量が大きくなく、氷河性海面変動の影響が残されやすい大河川の下流部平野でも見られる(図1, 5)。厚い火山灰や性質の異なる堆積物から構成される海成台地や河岸段丘でも、Bの値が比較的大きくなり、Rが小さくなる(図9, 10)。地盤全体が軟弱であればAの値が大きくなり、固結がすすんでいけば小さくなる。

4. むすび

常時微動の卓越周期には、地盤と基盤の性質が反映されるので、サイスミック・マイクロゾーニングのためには地盤と地形の形成史の解析が不可欠である。たとえば、ゾーニングの手順は、次のようになろう。空中写真の判読や現地調査により地形分類図を作成し、可能ならば、ボーリング資料を収集して地質断面図を作成する。次に、それらを参照して、地形発達史を編む。その結果に基づいて、堆積物を分類し、その組み合わせから地域区分するための単位を設定する。さらに、常時微動を測定し、その卓越周期の分布との整合性を確かめて、地域区分する。地域区分された各単位について応答計算を行い、各地区の地震動特性が付与される。

参考文献

1) 松岡昌志ほか「日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均S波速度分布の推定」、『土木学会論文集』第794号、2005年、239-251頁。



$$Y(\text{卓越周期}) = A * X(\text{基盤までの深さ}) + B$$

図12 地盤厚と卓越周期の関係の模式図

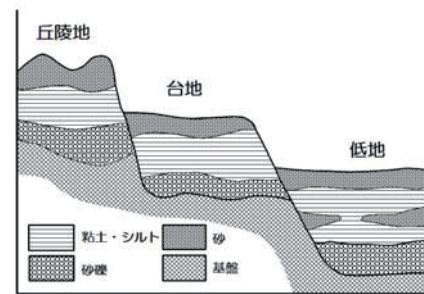


図13 隆起地域の大河川沿いの地質横断面(模式図)

3サイクルの氷河性海面変動が記録されている例。

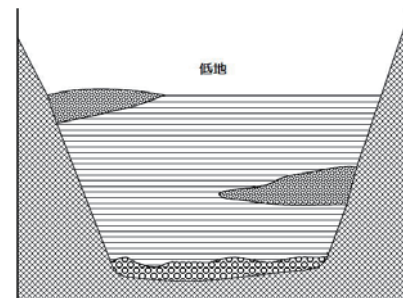


図14 隆起地域の小谷底の地質横断面(模式図)

1サイクルのみの氷河性海面変動による堆積物しか見られない例。堆積物は軟弱である。

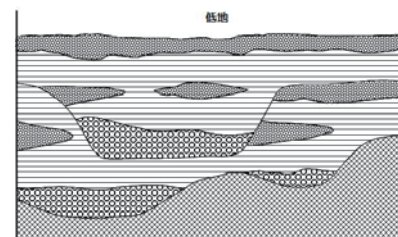


図15 沈降地域の大河川下流部低地地質横断面(模式図)

2サイクルの氷河性海面変動が重なっている例。

2) 石村大典ほか「川崎市を対象としたサイスミックマイクロゾーニングに関する研究—その1、常時微動に基づく地盤震動特性—」、『日本建築学会大会学術講演梗概集』、2005年、279-280頁。

3) 松田磐余「多摩川低地の沖積層と埋没地形」、『地理学評論』第46巻5号、1973年、339-356頁。