

### 3. 常時微動観測

#### 3.1 常時微動の基本特性

##### 3.1.1 常時微動研究の概観<sup>1)~15)</sup>

わが国の常時微動研究には、例えば Kanai and Tanaka<sup>1)</sup>や金井清<sup>3)</sup>に代表されるように古い伝統があり、それ以降も多くの研究者によって研究が引き継がれてきた。その後、1985年のメキシコ地震に際して常時微動がメキシコ盆地のような軟弱地盤のサイト特性を把握するのに極めて有用であったことから、常時微動の工学的利用に関する研究は一挙に世界中に広まった。とりわけ中村ら<sup>4), 6)</sup>による、微動の上下成分に対する水平成分のスペクトル比(以下ではH/Vスペクトルと呼ぶ)のピーク周期は地盤の卓越周期を、そのピーク値は地盤増幅率を与えるという、いわゆる中村メソッドは非常に多くの研究者・技術者によって支持されている。しかし一方において、常時微動の主成分は表面波(レイリー波を主とし、ラブ波が混在する場合もある)であって、H/Vスペクトルはレイリー波の性質そのものを示しているとする時松ら<sup>11), 14)</sup>の研究もよく知られるところとなっている。これらの二種類の解釈は相互に相容れないはずのものであり、常時微動の基本特性には未だに未解明の部分があることを示唆している。本報告ではこの未だ曖昧になっている常時微動の基本特性について2、3の考察を加えようとしている。

##### 3.1.2 常時微動と地盤の卓越周期

金井の常時微動研究によれば、柔らかい表層地盤とコントラストの明瞭な基盤から成る地盤条件のもとでは、常時微動の水平成分には必ず表層地盤の基本周期に対応する卓越周期が認められるはずである。ここで留意しなければならない点は、金井らの一連の微動測定<sup>1)</sup>地は、水平成分の換振器のみを使用して行われていて上下成分は使用されていないことである。恐らくその当時、上下成分の換振器は常時微動測定用には開発されていなかったものと推察される。よって金井らは周辺の交通振動によって地盤の卓越周期の出現を妨げ

られないように、常時微動の測定時には入念な配慮をしていたことと推察される。

最近では、常時微動の測定は上下成分を含めた3成分で行うのが通例であるため、地盤の卓越周期と交通振動によるノイズとを分別することは容易になっている。すなわち上下成分と水平成分に共通に現れる周期成分は交通振動として除外し、水平成分のみに現れるピークが地盤の卓越周期と考えてはば間違いないと判断される。従って H/V スペクトルによって自動的に交通振動や脈動(どちらもレイリー波が優勢であるため水平・上下両成分とも同じ周期にピークが現われる)を除去してしまう中村メソッドは極めて合理的であるとされる。このような典型的な常時微動の測定例は図 3.1-1 に見られるごとくである。

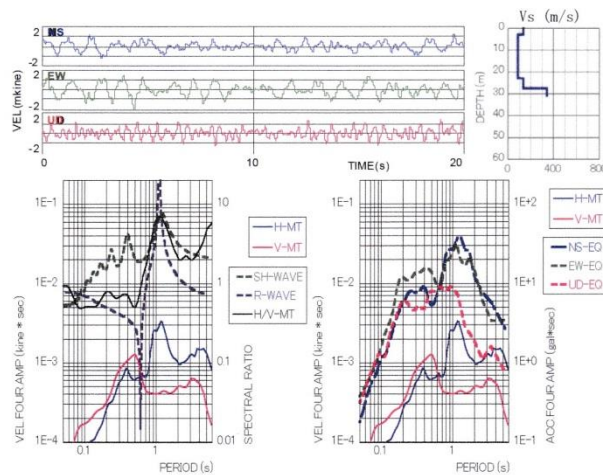


図 3.1-1 横浜市港北区新吉田小学校。典型的な軟弱地盤上の観測点。図上の測定波形からは水平成分と上分とで含まれる周期成分が異なることが一目瞭然。図左下の微動スペクトルにも水平成分のみに卓越周期が現れ、それは H/V スペクトルにも認められる。それらのピークは地盤データから計算される SH 波の伝達関数イリー波の H/V 振幅比(ハスケルのマトリックス法による)ともよく一致する。図右下は地震動記録(2005 年 23 日の千葉県北西部の地震, M6.0, 震源深さ 73km)と前出の微動とを比較したものであるが、水平成分のピークは共通である。つまり全く問題を生じない非常に理解しやすい地盤条件であることを示している。

ところがごく稀には、水平成分に地盤の卓越周期が現れず、H/V スペクトルにのみ地盤の卓越周期に対応するピーク周期が現れると云う場合が存在する。図 3.1-2 に示した埼玉県八潮市がその顕著な例である。前述の横浜の事例と比較しながら、なぜこのような顕著な違いが現れるのかを明らかにしておく必要がある。現在までに確認できているところでは、

表層地盤が軟らかく  $V_s=100\text{m/s}$  程度であるところは共通しているが、横浜の場合には表層地盤と基盤とのコントラストが明瞭であるのに対して、八潮の場合にはコントラストがそれほど明瞭でないこと、横浜の場合は測定点が閑静な住宅街の中に位置しているが、八潮の場合は交通量の多い道路に近接しているなど、いくつかの相違点が指摘されている。

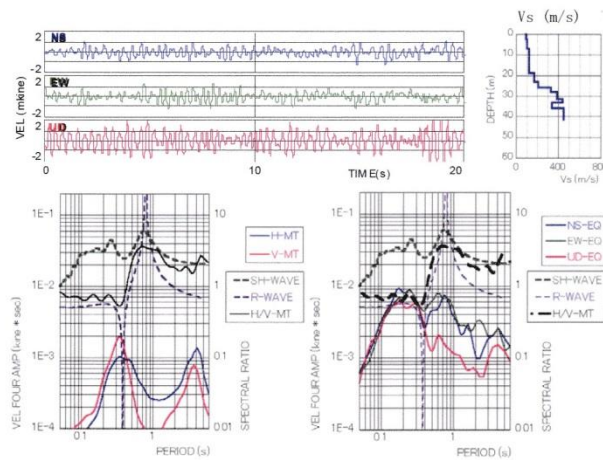


図 3.1-2 埼玉県八潮市。典型的な軟弱地盤上の観測点。但し図上の測定波形からは水平成分と上下成分とに同一の周期成分が現れ、上下成分の振幅が非常に大きいため地盤の卓越周期を示しているとは考えられない。図左下の微動スペクトルにも水平成分と上下成分に共通のピークが見られ、それは H/V スペクトルの形状とは全く異なる。H/V スペクトルのピークは地盤データから計算される SH 波の伝達関数やレイリー波の H/V 振幅比(ハスケルのマトリックス法による)とよく一致する。図右下は地震動記録(2010 年 1 月 4 日の茨城県南部の地震、M3.6、震源深さ 44km)と前出の微動とを比較したものであるが、地震動には水平成分に顕著なピークが現れる。すなわち地震動と常時微動が異なる特性を有する要注意の地盤条件であることを示している。

### 3.1.3 常時微動の特性に与える交通振動の影響

前述の図 3.1-2 の常時微動スペクトルが、交通振動に支配され水平成分に本来現れるべき地盤の卓越周期がマスクされてしまったのではないかと疑念から、まず埼玉県八潮市で確認を行ってみた。可能な限り交通振動が少ない時の常時微動を測定したいとの思いから年末・年始(2009.12.29~2010.1.4)にも常時微動の連続観測を実施してみたが、微動の振幅レベルはせいぜい 1/2 程度にしか小さくならず、スペクトル特性には殆ど変化は認められな

った。しかし図 3.1-3 に示したように、その期間中に小地震を 1 つ観測でき、例え小さな地震であっても、水平成分に表層地盤の S 波速度構造を反映した卓越周期が確認できたのは大変な収穫であった。

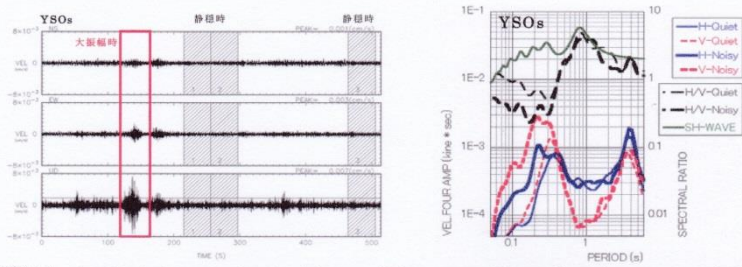


図 3.1-3 埼玉県八潮市における交通量の多寡による微動スペクトル特性の比較。前述の図 1.2-2 の常時微動スペクトルが、交通振動に支配され水平成分に本来現れるべき地盤の卓越周期がマスクされてしまったのではないかの疑念から、交通量の多寡による微動スペクトル特性の比較を行ってみた。この観測点の場合、近くを大型車両が通過した時の影響は 0.2~0.3 秒の短周期域に現れ、水平・上下成分ともにスペクトル振幅の増大が認められる。しかし H/V スペクトルには殆ど変化がなく、地盤の卓越周期である 0.8 秒付近の特性にも全く問題は生じていないことが確認できた。

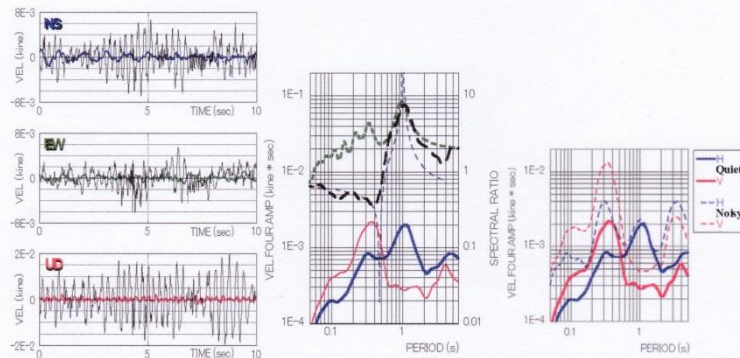


図 3.1-4 横浜市金沢区金沢消防署における交通量の多寡による微動スペクトル特性の比較。交通量の多寡による微動スペクトル特性の変化が非常に判り易い事例としてここに掲載した。中央の図は静穏時の微動特性を、また右図は静穏時と交通量の多い時との微動特性の比較であり、微動の振幅レベルの違いは左図に重ねがきされている。図 1.2-1 の横浜市港北区新吉田小学校もこの事例に近いと推察されるが、周辺の交通量が少ないため、本例のような比較はできなかった。この観測点の場合、近くを大型車両が通過した時の影響は 0.3~0.4 秒と 3~4 秒の 2 つの周期帯域に現れ、水平・上下成分ともにスペクトル振幅の増大が認められる。しかし地盤の卓越周期である 1 秒付近には全く問題は生じていない。

図 3.1-4 に示した横浜市金沢区の場合には、図 3.1-1 と同様に、常時微動の基本特性としての金井微動の性質がよく現れていた。すなわち、水平成分と上下成分に共通に現れるピークは交通振動に起因するレイリー波であると考えられ、それらの振幅の大きさは交通量

の多寡に敏感に反応する。一方、水平成分にのみ現れるピークは上下成分を伴わないことから主成分はラブ波もしくは S 波であり、その振幅の大きさは交通量の多寡に殆ど影響されない。このような微動成分は金井によって定義された、直近の交通振動よりも広範囲の人間活動に伴う無数の振動源の集合体によって励起される常時微動であると考えられる。