

第III部門 地盤の震動特性を用いた木造家屋の耐震性能判定

立命館大学理工学部	学生員	○経種健司
立命館大学理工学部	正会員	早川 清
(株)日建設シビル	正会員	本田周二
(株)旭化成建材	正会員	長谷川央

1. 研究目的

日本は特徴ある地理的条件を背景に、独自の家屋建築技法を発展させてきた。そのため、地震発生時には木造家屋に関連した被害が大きくなる傾向がある。日本家屋の脆弱性が露呈した兵庫県南部地震（1995. 1）を契機として、現在までに様々な家屋の耐震化技術が創出されてきた。また、家屋だけでなく地盤の面からも様々な調査が実施され、その成果がハザードマップとして広く活用され始めている。しかしながら両者の関連性はいまだ希薄であり、それらの技術・情報は、実効ある木造家屋の耐震化に十分に役立てられていない現状にある。

本研究では常時微動を用い、木造家屋が立地している地盤が震動した際、家屋がどの程度の耐震性能を有するかを検証する。検証結果は情報の共有性・視覚性に優れたGISを用いてまとめる。家屋の震動特性と地盤の地震時挙動から総合的かつ複合的に耐震性能を評価することで、早急な耐震化の優先順位を効果的かつ視覚的に明示することが目的である。昨年度は、本研究を進めるにあたって重要となる、木造家屋（寺院）および地盤の震動特性把握における常時微動の適正評価、1/20 模型実験による木造家屋の地震時挙動把握手法の確立という3つの基礎的研究について追究した。本論では特に、地盤の震動特性把握における常時微動の適正評価について論じた。

2. 研究方針

本研究では常時微動の伝播過程に注目し、「常時微動が地中構造を調べる上で適しているかどうか」を明らかにすることを目指した。具体的には、土質柱状図から算出される対象地盤の理論上の固有周期と、当該地盤に実際に発生している常時微動から導出される固有周期とを比較し、常時微動が地中構造を知る上で有効な手段であるかどうかを調査した。さらに本調査では、常時微動のサンプリング周波数を変えることにより地中構造を知る上で最適な測定方法を確立する狙いもある。

3. 研究方法

(1) 常時微動測定

本調査を実施した草津市においては工学的基盤が平均して地下約 40m の地点に存在していることから、深度 40m 以上のボーリングデータを有する地点を測点とし、常時微動測定を行った。周期 1 秒以下、振幅 10 ミクロン程度の波を記録・解析の対象とし、比較的外乱の少ない時刻・場所で、NS・EW・UD の 3 成分を、サンプリング周波数を変えて（20Hz, 50Hz, 100Hz, 200Hz）、10 分間ずつ採取した。

(2) 理論値と測定値との比較

測点でのボーリング調査をもとに作成された土質柱状図を使用し、N 値が大きく変動している場所でそれぞれ層分けを実施した。（Fig. 1）その後、各層の構成成分に基づき層ごとの平均 S 波速度を算出（式①または式②）し、深度ごとの卓越周期（理論値）を求めた。（式③、④）

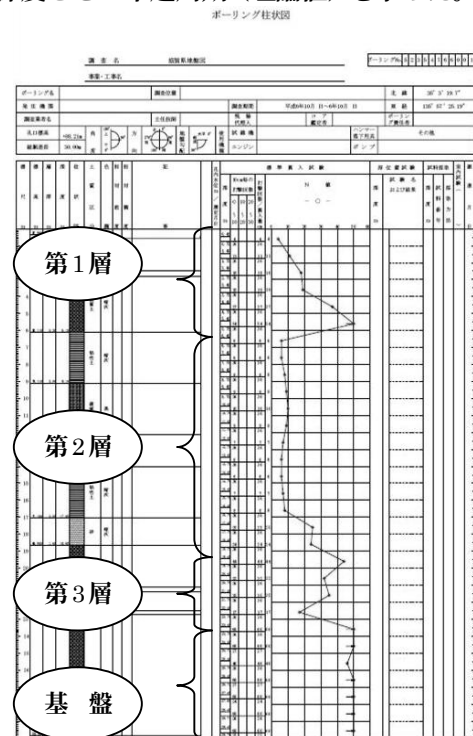


Fig. 1：層分けの例（滋賀県草津市芦浦町芦浦観音寺前）

$$\textcircled{1} V_s \text{砂質} = 80 \cdot N^{\frac{1}{3}} \quad \textcircled{2} V_s \text{粘土} = 100 \cdot N^{\frac{1}{3}} \quad \textcircled{3} T_G = \frac{4H}{V_s}$$

$$\textcircled{4} n \text{ 次ピーク} = T_G[\text{第 1 層}] + \cdots + T_G[\text{第 } n \text{ 層}]$$

〔※H：層厚さ（m）、N：各層の平均N値（回）〕

4. 結果と考察

(1) サンプリング周波数別測定結果

滋賀県草津市矢橋帰帆島（埋立地）における常時微動解析結果（NS 成分）を Fig. 2 に示した。

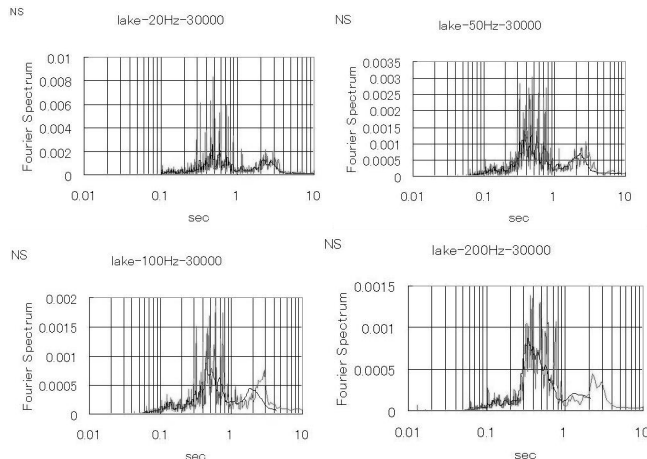


Fig. 2 サンプリング周波数を変えての測定解析結果

（左上：20Hz、右上：50Hz、左下：100Hz、右下：200Hz）

図より、測定周波数が 200Hz に近づくほど 0.3～0.4 秒付近に大きなピークが現れていることが分かる。一般に交通振動の固有周期は 0.3 秒付近にあると言われている。このことから、サンプリング周波数を 200Hz に近づけるほど測定波形に占める交通振動の割合が高くなり、結果として地中を伝播してくる微震動を主たる測定対象とすることが困難になると考えられる。一方、20～50Hz のグラフでは 0.3 秒以外のピークをもはっきりと確認することができる。このことから、50Hz 程度まで測定精度を下げると交通振動が測定波形の中で支配力を失い、より明確に地中を伝播してくる微震動の周期を捉えることができると考えられる。

(2) 常時微動測定結果と理論値との比較

滋賀県草津市芦浦町芦浦観音寺前で実施した常時微動測定結果を Fig. 3 に、当該地点における土質柱状図（Fig. 1 にて例示）から導出された計算結果を Table. 1 および Table. 2 に示した。

Table. 1 層個別の卓越周期算出結果

層番号	地盤種別	層厚 (m)	平均N値 (回)	S波速度 (m/s)	層別卓越周期 (S)
1	砂れき質土	6	12	183	0.13
2	粘性土	12	3	144	0.33
3	砂れき質土	4	10	172	0.09

Table. 2 対象地盤の各ピーク値

	理論上の卓越周期 (S)
一次ピーク	0.13
二次ピーク	0.46
三次ピーク	0.56

Table. 3 実地盤の常時微動測定結果（50Hz）から読み取った卓越周期と理論値との比較（単位：秒）

	理論値	読み取り値
一次ピーク	0.13	0.11
二次ピーク	0.46	0.45
三次ピーク	0.56	0.58

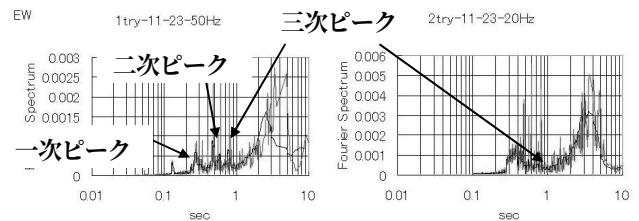


Fig. 3 実地盤の常時微動解析結果

（測定サンプリング周波数、左：50Hz、右：20Hz）

Table. 3 で示した比較結果から、理論値と極めて近い周期を持つピークが測定波形に現れていることが確認できる。この傾向は多くの測定結果に共通して見られ、50Hz および 20Hz での常時微動測定は共に、測点における地盤の震動特性を卓越周期として数値化する上で適した方法であると言える。しかしながら、両者の解析結果を比較すると、20Hz では 1 次および 2 次ピークをほとんど視認することができない。このことから、地中構造を測定波形により強く反映させるという意味では、50Hz での測定が望ましいと考えられる。ただし 50Hz での常時微動測定によっても、地中構造の微細な変化（例えば砂質土からシルトへの変化など、N 値の大きな変動を伴わないような地中構造の変化）までは捉えることができなかった。

地中構造を常時微動解析によってどこまで数値化することができるのかについては、今後も引き続き研究を進めていく必要があると言える。

5. 結論

- ① サンプリング周波数を 50Hz に設定することにより、交通振動などの直接波の影響を抑えることができる。
- ② 50Hz での常時微動測定によって地中構造を各ピーク値から大まかに推定することが可能である。

今後は、卓越周期を当該地盤の震動特性として直接用いるだけでなく、測定した微動から得た H/V スペクトルを利用し、地盤における震動の増幅率という観点から、地盤の震動特性を考察することを検討している。