

在来鉄道を震動源とする木造住宅の振動応答に関する一考察

藤野 栄一

職業能力開発総合大学校 基盤ものづくり系

1 はじめに

建物の振動に関する苦情の多くは、工場や建設作業現場、および、鉄道や道路交通などの震動源が建物の近くに存在することにより発生することが一般的である。特に、後者は震動源の存在を建物建築前に特定することが容易であることから、震動源によって建物に生じる振動レベルを建物を建築する前に把握できれば、振動障害の事前防止に大いに役立つ。建物の環境振動(人為的な環境によって生じる人体に影響を及ぼす振動: 工事の振動、交通振動、鉄道振動などが震動源)の評価方法については、「日本建築学会: 建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」で、応答加速度と振動数の関係として性能評価曲線(鉛直方向: V-10 ~ V90, 水平方向: H10 ~ H90)が示されている。しかしながら、これらの性能評価は、建物の振動を居住者などが感じた場合に、その振動レベルを実測により評価するための指針であり、建物の建築前における振動レベルの評価方法が示されているわけではない。

一方、居住性能の観点から木質系住宅の振動応答性状を捉えた研究^(例えば1), 2)はあまり多くなく、木造住宅の振動障害を防止するための振動応答の予測方法は確立されていないのが現状である。

本報告は、在来鉄道に近接する木造住宅について、列車通過時の鉄道を震動源とした振動応答の測定結果についての考察および、実測の伝達関数を用いた振動応答予測を試みた結果について述べたものである。

2 測定対象住宅

振動測定の対象とした住宅は、在来軸組工法による2階建ての木造住宅で、東京都青梅市の中央線沿線に建てられたものである。図1に、住宅の平面図および鉄道との位置関係、写真1に建物外観とベランダから見た鉄道の様子が示してある。在来鉄道の線路から道路と隣地を隔てた位置に測定対象建物は配置されている。在来鉄道(単線)の線路中心から建物外壁面までの距離は約15mである。



図1 建物平面図および鉄道との位置関係

写真1 建物外観とベランダから見た鉄道

木造住宅の主な壁の仕上げの仕様は、外壁はラスモルタル吹き付け仕上げ、内装はせっこうボードクロス仕上げである。建物規模は、1階床面積が58.8m²、2階が42.3m²で、壁長(壁倍率1として長さ)は、X方向1階19.57m(2階:14.56m)、Y方向1階10.92m(2階:13.65m)である。

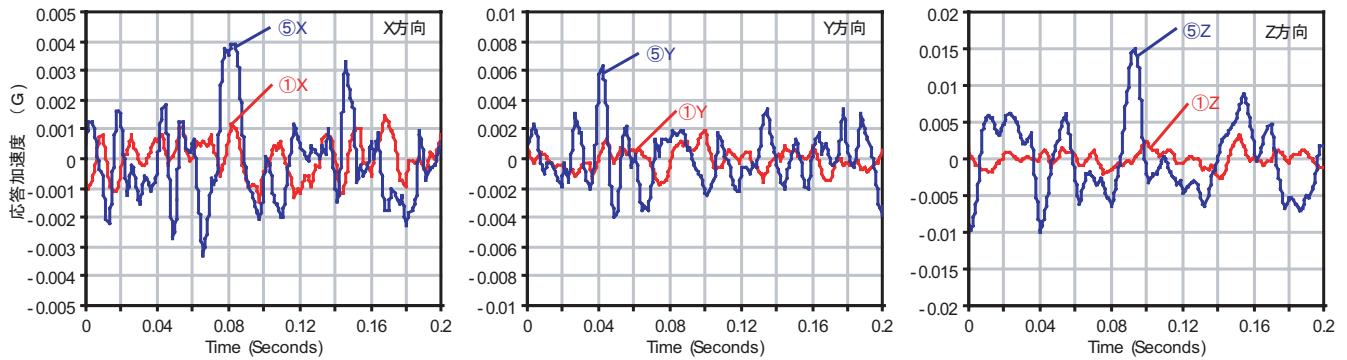


図2 地盤の加速度時刻歴波形（玄関土間①，道路の際⑤）

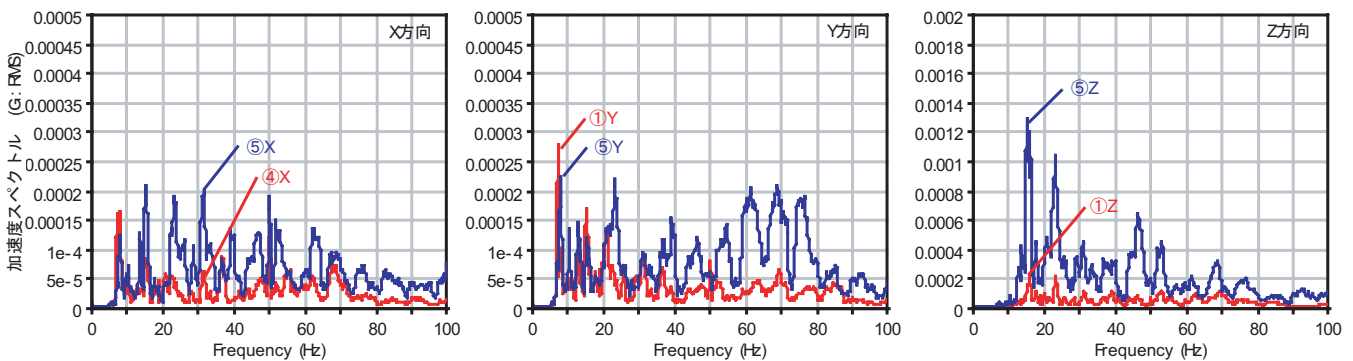


図3 地盤の加速度スペクトル（玄関土間①，道路の際⑤）

3 振動測定の方法

図1中の①～⑥の位置において、サーボ型加速度計（容量：5G）を用いて、水平方向X、Yおよび鉛直方向Zの3方向の加速度を測定した。同時測定は、3方向（3ch）2箇所の合計6chであり、基本的には、玄関土間①の3方向の加速度データを基準として、別の1点（3方向）を②～⑥の位置で移動させて計測を行った。データのサンプリング周波数は512Hz、データ数は2048個として、時刻歴波形と伝達関数（入力建物の地盤の入力①とした）の測定を行った。伝達関数については、周波数領域のピークホールドによる平均化処理（20回：時間領域で87.5%のオーバーラップ）を行った。計測時間は、約20秒となる。FFT処理においては、ハニングウインドを適用した。なお、車両の通過に要する時間は約20秒で、約15分おきに車両が通過する。

4 試験結果とその考察

(1) 車両通過時の地盤の振動

図2には、線路中心より6.7m離れた道路の際⑤と敷地の玄関土間①（線路中心より20.2m）における加速度時刻歴波形を例示している。同図より、X方向およびY方向の水平方向の加速度について、線路中心より約20m離れた玄関土間①の応答加速度は、道路の際⑤に対してかなり低

い値を示していることがわかる。道路の際⑤の加速度振幅の最大値は0.006Gであるのに対して、玄関土間①は0.002Gであり、概ね1/3のレベルを示していることがわかる。

図3には、道路の際⑤および玄関土間①における地盤の加速度スペクトルが示してある。道路の際⑤のスペクトルの水平方向成分に着目すると、車両通過により発生する地盤の水平振動の卓越振動数は8Hzであることが読み取れる。この8Hzの卓越振動数は、地盤の卓越振動数である2～5Hz（後述の図4参照）よりも高い値である。また、線路と平行方向のX方向については、15Hz、23Hzなどに卓越振動数8Hzの倍周波成分を看取できるとともに、20Hz以上の周波数帯域においても多くのピークが存在していることがわかる。これに対して、玄関土間①のスペクトル（水平方向成分）については、8Hzについて道路の際⑤と同じ加速度レベルのスペクトルピークを読みとることができるものの、それより上の周波数帯域におけるスペクトルレベルについては、道路の際⑤に対してかなり低い値を示していることがわかる。

一方、鉛直方向（Z方向）については、道路の際⑤の最大加速度が0.015Gであり、水平成分の約2.5倍の振幅を示している。しかしながら、玄関土間①においては0.002Gで、道路の際⑤に対して約1/8の値を示しており、この

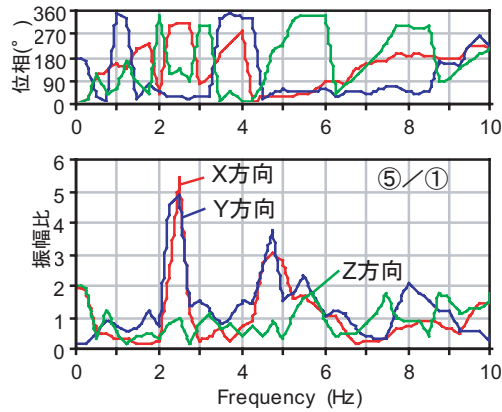


図4 地盤の伝達関数 (加速度⑤/加速度①)

値は水平成分と同じ加速度レベルである。また、加速度スペクトルに着目すると、道路の際⑤における卓越振動数は15Hzと23Hzであることが読み取れるが、道路の際⑤に対する玄関土間①のスペクトルレベルは、両ピークについて約1/5に低下していることが看取できる。なお、スペクトルレベルについては、周波数帯域に関わらず、大きく低下していることがわかる。

地盤の加速度波形およびそのスペクトルより、線路に近い道路の際⑤について、地盤の加速度レベルは、水平方向よりも鉛直方向の方が2.5倍程度大きいものの、玄関土間①における加速度レベルは水平方向と鉛直方向で概ね同レベルであることがわかる。このことは、震動源の鉛直方向の加速度レベルは水平方向より大きいものの、鉛直方向については地盤の減衰作用が大きいことから、玄関土間①について、鉛直方向の加速度レベルと水平方向の加速度レベルは同レベルであったと考えられる。

図4には、玄関土間①の加速度に対する道路の際⑤の加速度について、地盤の伝達関数をボード線図として示している。水平方向については、地盤の固有振動数が2.5Hzおよび5Hzであり、振幅比はそれぞれ5倍、3倍程度の倍

率を示している。これに対して、鉛直方向については0～10Hzの周波数帯域において明確な固有振動数を見出すことは困難であるものの、5Hz以上で振幅比が約2倍を示していることがわかる。

(2) 地盤に対する2階床の応答性状

図5には、玄関土間①（地盤）に対する建物2階床③についての伝達関数が示してある。同図より、X方向の1次固有振動数は7.5Hzで応答倍率が約5倍、Y方向の1次固有振動数は5Hzで応答倍率が約16倍を示していることが読み取れる。X方向の応答倍率（5倍）の値は文献1)の値と近いが、Y方向の応答倍率（16倍）はこれより若干大きい。地震に対する建物の応答については一般的に伝達倍率が2～3倍程度であることから、水平方向について、鉄道の振動源に対しての建物の振動応答は、地震に対する振動応答よりもかなり大きな応答倍率を示すことが窺い知れる。これに対して鉛直方向（Z方向）は、5～10Hzの範囲で応答倍率が1.7～2.8を、10～30Hzの範囲で約3倍を示しており、地盤に対して建物の応答は水平レベルよりも増幅されていないことがわかる。

5 実測の伝達関数を用いた建物の応答予測

図5に示す加速度の伝達関数は、玄関土間①（地盤）と建物2階床③の加速度の伝搬特性を示しており、概念的には式(1)を意味する（実験において伝達関数は応答（：建物2階床③の加速度）に対する入力（：玄関土間①の加速度）のクロススペクトルを入力のパワースペクトルで除して算出した）。

$$\frac{\text{2階床の加速度：} f_{2F}(\omega)}{\text{玄関土間の加速度：} f_{\text{地盤}}(\omega)} = \text{伝達関数：} H(\omega) \quad \text{—— 式(1)}$$

(周波数領域)

式(1)より、周波数領域において、2階床③の加速度は玄関土間①の加速度に実験より得られた伝達関数を乗

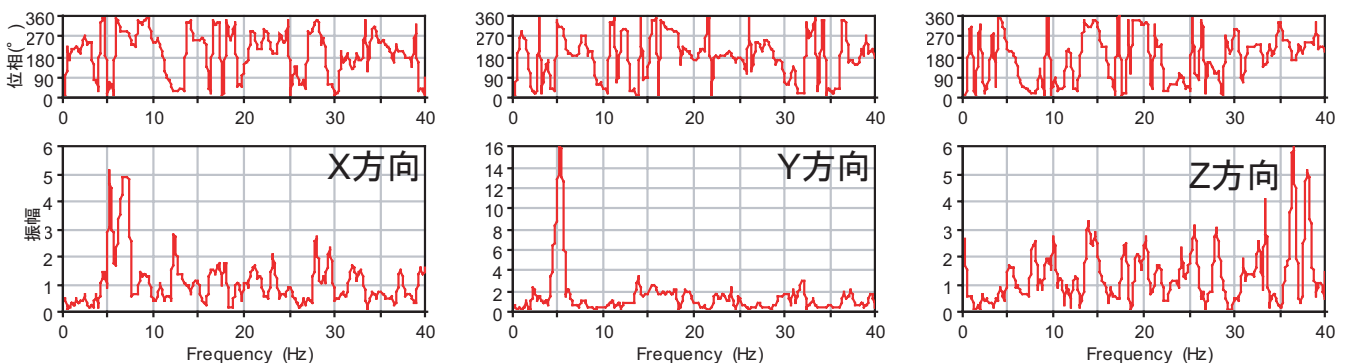


図5 地盤に対する建物2階床の伝達関数 (加速度③/加速度①)

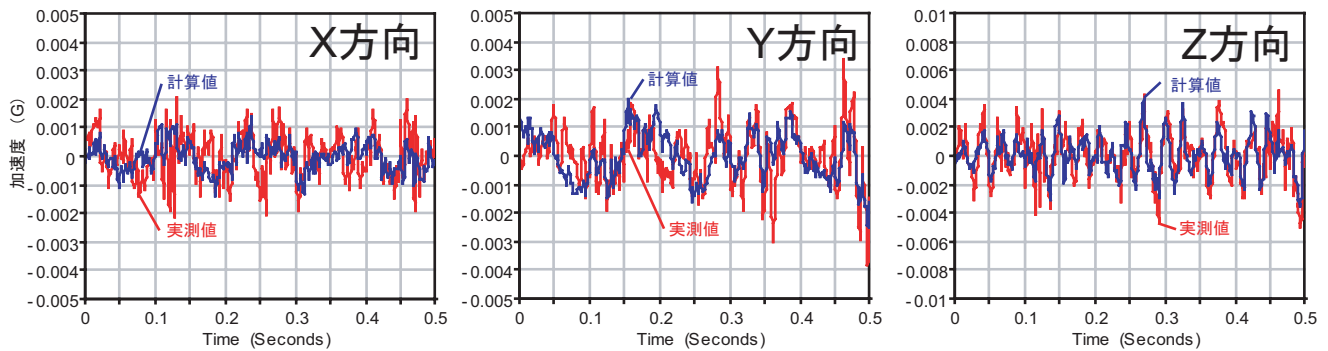


図 6 加速度応答波形についての実測値と計算値の比較 (位置③)

じることにより求めることができる。

具体的には、次の (a) ～ (c) の手順で地盤 (玄関土間①) の加速度から建物 2 階床③の加速度を求めた。

- (a) 玄関土間①の加速度波形 ($f_{\text{地盤}}(t)$) を FFT 処理。
→ 玄関土間①のスペクトル ($f_{\text{地盤}}(\omega)$) が得られる。
- (b) 玄関土間①のスペクトル ($f_{\text{地盤}}(\omega)$) に伝達関数 $H(\omega)$ を乗じる。
→ $f_{\text{地盤}}(\omega) \times H(\omega) = f_{2F}(\omega)$ より 2 階床③の加速度スペクトルが得られる。
- (c) 2 階床③の加速度 ($f_{2F}(\omega)$) を逆 FFT 処理。
→ 建物 2 階床③の加速度波形 ($f_{2F}(t)$) が求まる。

図 6 には、建物 2 階床③について、加速度波形の実測値と計算値が示してある。X, Y, Z の 3 方向について、伝達関数を用いて算出した加速度波形の振幅は、実測波形の振幅に近い値を示し、大観すれば実測値を再現していると言えよう。

6 まとめおよび今後の課題

本報告では、列車通過時の鉄道を震動源とした木造住宅の振動応答の測定結果について考察を行うとともに、伝達関数を用いた周波数領域での演算により、地盤の入力加速度から建物の応答加速度を求める手法を提示した。この手法を用いて建物の振動応答を予測し、居住性の観点から振動レベルを評価する場合、次の課題が残る。

- (1) 設計での評価を行う上では、耐震設計に用いる入力地震動のような、鉄道の標準的な振動源特性を明らかにする。
- (2) 地盤表層の振動伝播特性を明らかにする。
- (3) 建物の構造種別や仕上げなどの影響を加味した建物の振動応答特性 (伝達関数) のデータを蓄積し、建物の仕様から伝達関数を導き出す手法を構築する。

<参考文献>

- 1) 関敏宏, 入江康隆: 交通振動が在来軸組工法木造住宅の振動特性に与える影響, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2, 構造 II, p959-960, 2003. 7
- 2) 入江康隆, 野俣善則: 線路沿線住宅の振動障害軽減化対策 (構造), 日本建築学会技術報告集 (23), p. 87-90, 2006. 6