

道路交通振動における2・3階家屋の動特性*

Dynamic Characteristics of 2 to 3 Story-Houses in Terms of Road Traffic Vibration *

徳永法夫** 西村昂*** 日野泰雄****

By Norio TOKUNAGA ** Takashi NISHIMURA *** Yasuo HINO ****

1. はじめに

振動規制法によれば、道路交通振動は、道路敷地境界の地表における鉛直振動レベルVL(L₁₀)で評価することになっている。しかし、住民が振動を感じるのは家屋内の生活空間であり、地表に対する家屋の振動増幅⁽¹⁾が住民感覚に大きく寄与することがわかっている。

本文は、地下鉄一体構造の都市高速道路沿道において、耐震壁切断工事前後の家屋内振動を実測・分析し、家屋における振動増幅特性を明らかにするとともに、加えて平面道路から30～50m離れた最新のモデルハウスにおいて計測した振動特性を比較することにより、防振対策による振動低減効果を考察したものである。

2. 分析の着目点

環境庁の調査⁽²⁾によれば、108件のうち約1/3の家屋で、家屋2階における水平(XY)方向振動レベルが、鉛直(Z)方向より大きいことが示されている。この調査時点よりも都市部では過密化が進み、家屋(木造・鉄骨造・SRC造)の高層化、あるいは1階部分の車庫利用や広い間取りによる耐震壁の偏りが増えている。これに伴って家屋上層階(木造では2, 3階)の水平振動は、道路交通振動に限らず増幅量が増える傾向にある。

このように家屋の水平振動増幅量が大きくなると、家屋内における振動レベルは鉛直方向よりも水平方向が大きくなるケースがさらに増えてくると想定される。そこで、本文では地表の振動に対する家屋の振動増幅のうち、特に水平方向に着目して、同一地点で構造が異なる家屋の振動特性を分析した。

なお、家屋の鉛直方向振動増幅が問題になる場合については、JRの研究⁽³⁾に基づけば、床組剛性向上などの防振対策によりある程度の低減効果が得られることがわかっている。

3. 振動計測

図-1に示す建築後約30年の木造2階建てアパートの2階床(測点A)および木造増築部分2階床(測点B)と地表測点で振動計測を行った。計測には耐震壁撤去工事前後(約10日後)の2回、それぞれ夜間一般車走行時について振動レベル計を用いた。

計測結果を用いて地表面に対する家屋内での振動レベル増幅量や、地表と家屋内の振動周波数分析を行った結果、以下のことがわかった。

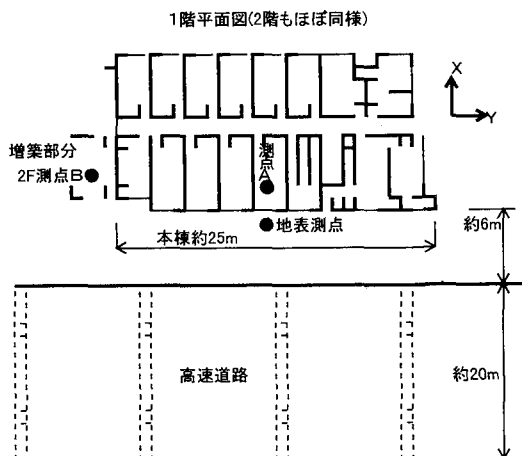


図-1 振動計測を実施した木造2階建て家屋平面図

(1)家屋の固有振動数

本地点は洪積層の堅い地盤であることから、地表測点における振動卓越振動数は10～20Hzの衝撃的な振動成分が大きい。しかし水平方向振動に関して、このよ

* キーワード:交通公害, 道路交通振動

** 正員、阪神高速道路公団神戸第二管理部
(神戸市中央区東川崎町1丁目3-3 TEL078-360-8141 FAX360-8158)

*** 正員、工博、大阪市立大学工学部土木工学科
(大阪市住吉区杉本3丁目3-138 TEL(FAX)06-605-2731)

****正員、工博、大阪市立大学工学部土木工学科
(大阪市住吉区杉本3丁目3-138 TEL(FAX)06-605-2731)

うな高い振動数の振動は、一般に地表から家屋に伝播する際に減衰されてしまうことから、家屋における振動増幅の問題にはならない。このため以下の分析は10Hz以下の低い振動数に着目している。

図-2に示すとおり、地表測点において10Hz以下では低い振動数に目立った卓越はみられない。しかし図-3の伝達関数でわかるように、家屋2階の測点Bでは特定の振動数において振動加速度が大きく増幅する。これは家屋の水平方向固有振動数付近において、家屋が地表と共振現象を起こしていることを示している。また、耐震壁撤去工事により、測点BにおけるX(橋軸直角)方向の固有振動数は、6.0Hz→5.7Hz、Y(橋軸)方向は3.7Hz→2.7Hzにそれぞれ変化していることが、図-3の伝達関数の変化からわかる。

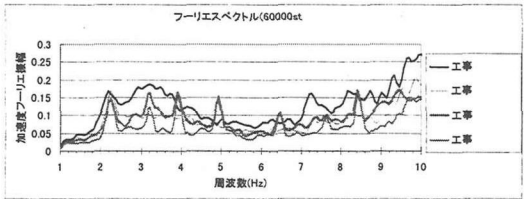


図-2 地表振動加速度の周波数分析結果

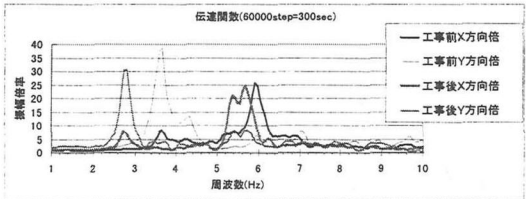


図-3 地表に対する測点Bの水平方向伝達関数

(2)家屋の減衰定数

図-3固有振動数による共振現象の最大倍率は、25～38倍に達しており、一質点系の共振とみなして、(1)式⁽⁴⁾から逆算すると減衰定数が0.02～0.013と非常に小さな値が得られる。測点Bの耐震壁は筋交い材むき出しの構造であることから、構造減衰が小さいといえる。

$$\text{振動倍率}_{\max} = \frac{1}{2h\sqrt{1-h^2}} \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$$h = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_2 + \omega_1} \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

図-3の伝達関数から図-4および(2)式のハーフパワー法⁽⁴⁾を用いて減衰定数を求めると、0.025～0.045とな

り、(1)式から求めた場合より大きな値となる。これは家屋が純粋な一質点系でなく、立体構造物であることや、振動発振も数多くあり、地盤における振動伝播方向も複雑であることなどに起因すると考えられる。

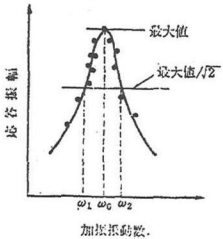


図-4 ハーフパワー法

(3)水平方向振動レベル増幅量の工事前後比較

測点A(本棟)における地表面に対する水平方向振動レベル増幅量(地表測点と家屋内測点の振動レベル差瞬間値)は、工事前後も3～6dB程度と小さく、耐震壁撤去工事による変化はほとんどみられなかった。理由として測点Aは古い木造家屋であるが、減衰性が大きな土壁などの耐震壁を多く有する家屋構造であることから、工事前後も共振現象が小さいためと考えられる。

これに対して、1階部分の壁が非常に少ない測点B(増築部分)では、耐震壁撤去工事前から5～16dB程度の大きな振動レベルの増幅がみられていた。これは測点Bが増築部分で壁構造などの減衰が小さいことによって、家屋の固有振動数における共振倍率が大きいためと考えられる。

この増築部分の1階耐震壁(筋交い)を全て切断する大規模な構造変更を行ったことによって、水平固有振動数が、X方向6.0→5.7Hz、Y方向3.7→2.7Hzと変化したにもかかわらず、地表に対する2階床の振動レベル増幅量には変化はみられなかった。これは、筋交いの有無が水平方向の剛性には寄与しているものの、構造減衰の面ではほとんど寄与していないことを示している。

(4)振動増幅の時間的推移

図-5、図-6は地表測点を基準とした測点AおよびBにおける伝達関数を連続300秒間10秒ごとに表現したものである。測点Aは測点Bに比べて、最大倍率が小さいこと、また測点Aでは測定する時間帯によって卓越する振動数が異なっていることがわかる。これに対して、測点Bでは、増幅倍率には変化があるものの、卓越振動数にはほとんど変化が見られず、固有振動数の2.7Hz付近における共振現象がいずれの瞬間でも明瞭に現れている。

測点Aにおいて、卓越振動数が安定しない理由とし

て、①家屋の高さに比べて平面積が大きいため、平面振動モードが複雑である、②減衰定数が大きく共振現象が目立たない、③地盤振動の卓越振動数に時間的な変動があること、などが考えられる。

測点Aのような場合は、数秒間だけの周波数分析では固有振動数を誤って判定してしまうため、時間的な変動に着目する必要がある。道路交通振動における家屋構造物の振動増幅量あるいは卓越振動数を計測する場合、振動レベルが最大値を示す時間(振動源となる通過車両が走行する前後数秒間)のみに着目するのではなく、他の時間帯にも観測しておくべきといえる。

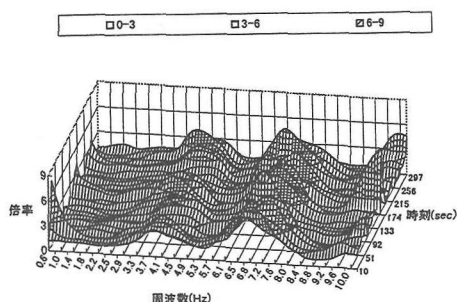


図-5 測点A工事後Y方向のランニング伝達関数

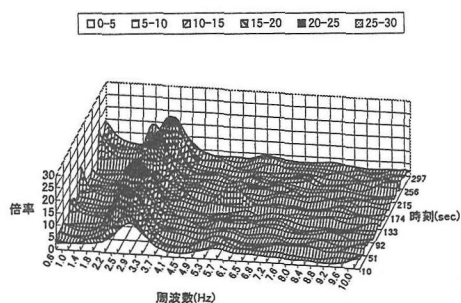


図-6 測点B工事後Y方向のランニング伝達関数

4. モデルハウスにおける計測

(1)モデルハウスの振動数分析

図-7、図-8は、住宅展示場モデルハウス(C棟:鉄骨造3階建ての3階床、D棟:木造2階建ての2階床)において、それぞれ家屋脇地表面と家屋内測点における伝達関数を300秒間に渡って計測したものである。当該箇所

の地盤振動は軟弱地盤であることから、3~4Hzに明確な卓越振動数が見られている。また、これらのモデルハウスにおいて、別途実施した加振器による試験によって、水平方向固有振動数はそれぞれ6.0Hz、6.6Hzと推定されている。

モデルハウスC棟の伝達関数(図-7)を見ると、加振器で測定した固有振動数6.0Hzよりもやや小さい振動数に山が見られており、地表の卓越振動数3~4Hzに引きずられて明確な共振現象が読みとりづらい瞬間が多い。モデルハウスD棟(図-8)では、同じ理由に加えて2階建てであることから増幅倍率が小さく、さらに共振現象が読みとりづらい。

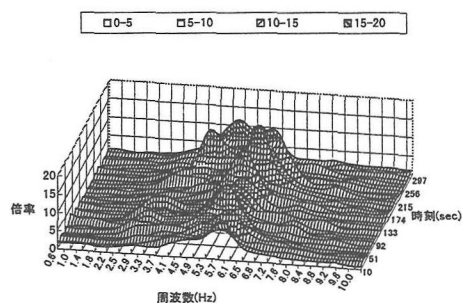


図-7 モデルハウスC棟水平方向のランニング伝達関数

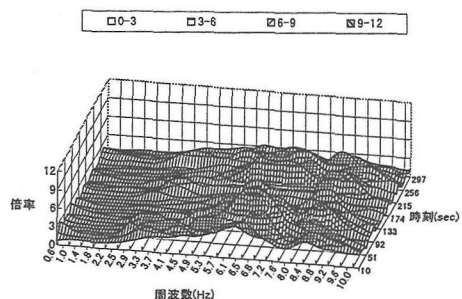


図-8 モデルハウスD棟水平方向のランニング伝達関数

(2)モデルハウスの振動レベル

モデルハウスでは室内各階においてそれぞれ10分間ずつの振動レベル計測を実施した。図-9には水平方向の振動レベル(L10、Lmax)を地表ならびに家屋内の測点で示している。水平方向振動レベルは地表(L10平均34dB、Lmax平均40dB)に比べて、2階で10dB程度、3

階では15dB程度増幅していることがわかる。

また、図-10は鉛直方向を同様に示しているが、地表の振動レベルと各階の振動レベルの差は1dB程度しか見られない。

このように最新の建築基準法に則った家屋でも水平方向の振動増幅量は大きいために、地表面の振動レベルは鉛直方向が水平方向より11dB程度大きいにも係わらず、3階では鉛直方向振動レベルを上回っている。

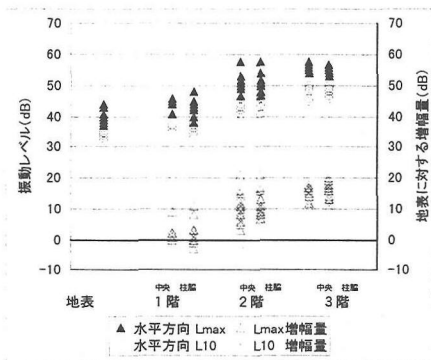


図-9 水平方向振動レベル(モデルハウス)

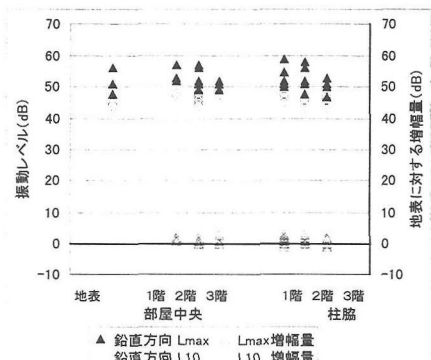


図-10 鉛直方向振動レベル(モデルハウス)

5. 家屋防振対策に関する考察

道路交通振動に対する水平方向の家屋防振対策として考えられるのは、①水平方向の剛性増加、②減衰性の向上、③TMDなどの設置による減衰付加などである。これらを今回の分析結果から考察してみる。

測点Bの振動レベル増幅量が測点Aより10dBも大きいことが、上記①、②の防振対策効果を現していると考えられる。つまり、今回の木造2階建てアパート(測点A)

は、増築部分(測点B)に比べて耐震壁が多く水平剛性が高いこと、また測点Aでは、土壁が材料的に減衰性能を高くしていることなどが考えられる。

また、測点Bの耐震壁切断工事前後の比較では、水平方向の剛性変化は、固有振動数の変化で確認できたものの、振幅倍率には大きな変化が見られない。すなわち、卓越振動数が変化するだけで振動レベル増幅量は変わらないものとなった。これらは、地盤振動に目立った卓越周波数が見られない場合には、防振対策として水平方向の剛性増加だけでは、効果が少ないことを示している。なお、TMDなどの設置による減衰効果については、今回実験はできなかったが、実施例⁽⁵⁾で効果が確認されている。

6. おわりに

本文では、築30年以上の都市内高速道路沿道木造アパートと最新モデルハウスそれぞれの地表と家屋2階における振動周波数分析と振動レベル増幅量と比較することによって、道路交通振動に対する家屋水平方向防振対策の方向性として、減衰性能の向上が重要であり、水平方向の剛性増加だけでは振動低減効果が少ない場合があることを示した。

また、同じ場所でも家屋の構造によって全く異なった振動増幅をしていることなど、今後、道路交通振動を家屋内の振動レベルで評価して行く際には、家屋における振動増幅特性を把握する必要があるといえる。

参考文献)

- (1)徳永法夫・西村昂・谷口与史也・宮原哲: 道路交通に起因する家屋振動増幅に関する一考察、土木学会第52回年次学術講演会講演概要集、1997年9月
- (2)倉内公嘉(環境庁大気保全局特殊公害課): 公害振動の新評価法に関する研究成果、騒音制御 Vol.14, No.4、1990年
- (3)大熊勝壽: 新幹線沿線木造住宅における振動対策、音響技術、No39 / aug.1982
- (4)土木学会: 土木技術者のための振動便覧、1985年、Page4～5
- (5)金治英貞他: 高架橋からの交通振動を受ける実建物のTMDによる制振、平成5年9月、土木学会第48回年次学術講演会概要集