

## 木造住宅における振動の実態と検証

～常時微動測定と「wallstat」を用いたシミュレーション～

森と木のクリエイター科 木造建築専攻 河村 尚幸

### 1. 研究背景と目的

私の過ごしてきた実家では隣接道路を大型車が通過する場合等だけではなく、日常的に振動を感じるがあった。また、木造マンションの計画・竣工が報道された際、音や振動に対するネガティブな反応が散見された。一方で、建物にどのような振動波が入力されており、建物がどのように振動しているのかといった測定や研究の事例は少ないようであった。そこで、常時微動測定を実施し、その結果を用いてシミュレーションを行うことを研究の目的とした。

### 2. 「wallstat」とは

「wallstat」は、京大生存圏研究所の中川貴文准教授を中心に開発された木造軸組構法住宅を対象とする数値解析ソフトである。wallstat は一般公開されたフリーソフトであり、建物全体の大地震による損害状況や倒壊過程をシミュレーションすることが可能である。そして最大の特徴は、視覚的に倒壊過程を確認できる点である。wallstat は地震波に対するシミュレーションソフトであるが、地震波と常時微動波はともに振動波であるため、常時微動測定の結果から常時微動波を作成し、シミュレーションすることが可能ではないかと考えた。尚、本研究では wallstat ver.5.0.7.0 を使用している。

### 3. wallstat で検証を行うまでの流れ

wallstat で検証を行うまでの流れを紹介する。第一に対象物件とその周辺の状況を確認する。周辺に幹線道路や高速道路、鉄道線路など、振動の発生源として大きな割合を占めていると考えられる場所があるか否かを地図より確認する。地盤情報については、「J-SHIS 地震ハザードステーション」や国土交通省が運営する「ハザードマップポータルサイト」などから収集する。竣工時期、構法については図面を確認した上で、現地調査の際に再確認する。

第二に現地調査を行う。現地調査では、「建物状況の確認」、「聞き取り調査」、「常時微動測定」を行う。建物状況の確認では、建物の変形や劣化、構法、構造壁の種類など、集められるだけの情報を収集し、記録する。聞き取り調査では、振動に関する事柄以外にも、対象物件の情報や周辺状況、過去に災害の被害にあっていないかなど、様々な情報を収集する。

常時微動とは、風などの自然現象や交通振動といっ

た人工的な要因によって常に発生している極めて小さな振動のことである。今回の常時微動測定では、株式会社東京測振製の携帯用振動測定機（SPC-51）とサーボ型速度計（VSE-15D）を使用し、振動を加速度で測定した。速度計は最上階と地上に配置し、建物と地上の振動を同時に測定した。同時に測定することで、建物への入力波とその入力波による振動の実態を調査することができた。

第三に wallstat の設定を行う。地震波を使ったシミュレーションとは異なり、現地調査で行った常時微動測定結果から振動波（以後、常時微動波）を作成する。今回は wallstat に入力する振動波を変位としたため、常時微動測定の際に加速度で記録した X 軸(ew)方向、Y 軸(ns)方向、Z 軸(ud)方向それぞれのデータを立命館大学理工学部環境都市工学科防災システム研究室ホームページにて公開されている

「integral.xlsm(ver.2.0)」を使用し、変位に変換した。

表 1 常時微動測定結果

データ	階高(mm)	方向	変位(mm)	加速度(cm/s <sup>2</sup> )	速度(cm/s)	振動加速度レベル(dB)
A物件 2022年6月13日 13時52分実測	0	X(ew)	0.00404	0.24415	0.01091	47.75306
		Y(ns)	0.00479	0.24415	0.00755	47.75306
	2800	X(ew)	0.00358	0.24415	0.00558	47.75306
		Y(ns)	0.00369	0.36622	0.01123	51.27489
	5600	X(ew)	0.00570	0.30519	0.00981	49.69126
		Y(ns)	0.00791	0.54933	0.01867	54.79671
備考						
・階高2800mmのみ2022年6月13日13時13分実測(同時に測定可能な地点が5つのため)						
・55-65dB：屋内で静かにしている人の中には、揺れを僅かに感じる人がいる程度						

### 4. 常時微動波によるシミュレーションを行う工夫

wallstat にて地震波を使用する場合と同じ手順で常時微動波によるシミュレーションを行った結果、常時微動測定結果とシミュレーション結果に大きな差が生じた。通常 wallstat で使用する振動波は地震波であり、常時微動波のような小さな入力に対応させるためには工夫が必要であると考えられた。

wallstat の開発者である京大生存圏研究所の中川貴文准教授にご質問したところ、計算開始と同時に 980gal (=1G) の力が上下方向(ud)に入力されていることが判明した。今回作成した常時微動波の加速度は約 0.24gal であるため、常時微動波の約 4100 倍の力が入力されていたことになる。そこで、計算開始時に入力された 980gal による応答を安定させるため、100秒間の入力を 0gal とし、100.01 秒時点から常時微動

波の入力を行うこととした。

表2 常時微動測定結果とシミュレーション結果比較

データ	階高 (mm)	方向	実測	工夫前	工夫後
			変位(mm)	変位(mm)	変位(mm)
			絶対値	絶対値	絶対値
A物件 常時微動波	8400	X		1.0629	-0.0126
		Y		-3.6991	-0.0264
	5600	X	0.0057	-0.4227	-0.0125
		Y	0.0079	-4.0557	-0.0219
	2800	X	0.0036	1.3197	-0.0059
		Y	0.0037	-1.9669	-0.0124
	0	X	0.0040		
		Y	0.0048		

## 5. wallstat での検証モデルと波形について

常時微動測定を実施した木質系組立構造3階建て住宅(以後、A物件)と偏心率0の3階建てモデル(以後箱モデル)をシミュレーションの対象とした。波形は作成した常時微動波に加え、稀地震波でもシミュレーションを行い、それぞれの結果を比較した。



図1 A物件

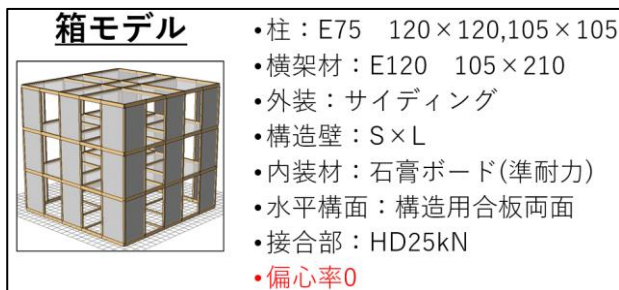


図2 箱モデル

## 6. 検証結果(耐震等級による変位の比較)

耐震等級による変位の変化を比較した。耐震等級3をデフォルトの壁構面パラメータ仕様とし、耐震等級2は耐震等級3の壁構面パラメータを1/1.25、耐震等級1は耐震等級3の壁構面パラメータを1/1.5に変更することで、それぞれの耐震等級をモデル化した。

### ・常時微動波でのシミュレーション結果(図3)

A物件、箱モデル共に、耐震等級が上がるほど変位は小さくなると思われたが、耐震等級3の変位が一番大きくなった。耐震等級3の変位が一番大きくなった理由の一つとして、今回使用した常時微動波の周期特性が、剛性の高い建物ほど振動しやすい波形であった

可能性があげられる。

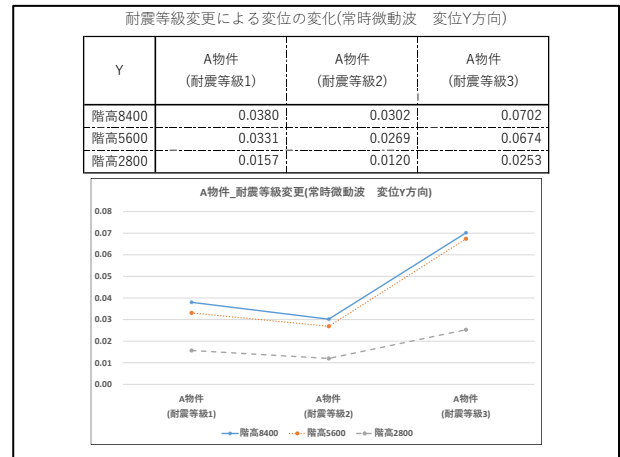


図3 シミュレーション結果 (A物件)

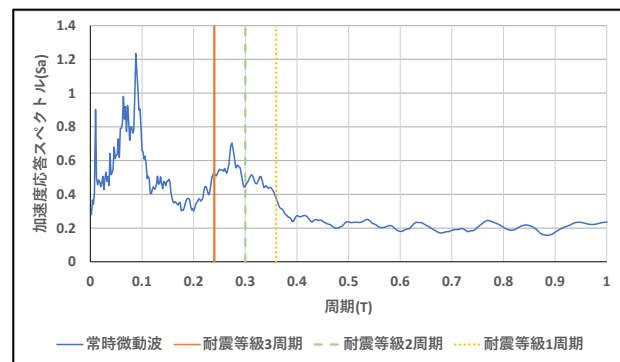


図4 加速度応答スペクトル (A物件)

### ・稀地震でのシミュレーション結果

X方向の稀地震でのX方向の変位は、耐震等級が上がるほど変位は小さくなった。一方で、Y方向の稀地震でのY方向の変位は、耐震等級2の変位が一番小さく、耐震等級1と耐震等級3の変位が同程度となった。偏心率0の箱モデルでは、耐震等級が上がるほど変位は小さくなったことから、3階建て住宅ではねじれが発生したと考えられる。

## 8. おわりに

シミュレーションを行う中で、常時微動波によるシミュレーション結果をどう評価するのかといった問題に直面した。常時微動波のシミュレーション結果の値は極めて小さく、結果を比較する際に、大きな変化といえるのか、それとも誤差の範囲なのかといった判断が難しかった。振動に関する法令である「振動規制法」の振動の評価と規制の対象は、敷地の境界線における鉛直方向の振動であり、建物そのものの振動に対する規制基準などは2023年時点で存在していない。常時微動と建物の振動に対する研究、理解が進み、振動の大きさを設計段階で容易に知ることができるようになれば、振動に配慮した設計をすることが可能となり、より快適でストレスを感じることはない住宅が増加していくのではないと思う。