

常時微動計測・強制加振実験に基づく3階建て木造戸建免震住宅の振動特性に関する研究

名古屋大学工学部社会環境工学科
建築学コース飛田研究室 山口隆

1. 研究の背景と目的

一般的に、3階建て住宅は狭小な敷地に建てられることが多く、狭小間口になりやすい。その結果、奥行に対して間口方向の耐力要素が不足しやすく、2階建て住宅に比べて耐震性や環境振動が問題になることが多い。近年では3階建て住宅等の小規模建築物における振動問題への意識が高まっており、住宅建築の振動特性研究の重要性が増している。

また、一般的な戸建住宅に比べ、基礎免震建物の振動性状は特殊と考えられるが、3階建て戸建免震住宅は棟数自体が少なく、詳細な振動性状に関する研究は少ない。

以上より、本研究では建物内部の振動源による環境振動が問題となっている3階建て木造戸建免震住宅を対象として微動計測・強制加振実験を行うことで、振動特性を詳細に明らかにし、その結果に基づいて建物内の振動源（洗濯機の稼働等）による環境振動問題を生じるメカニズムを調べて対策につなげることを目的としている。

2. 対象建造物の概要

実験対象建物は3階建ての木造戸建免震住宅で、基礎免震構造である。免震部材は、支承材にすべり支承を、復元材に天然ゴム系積層ゴムを使用している。対象建物は全体的に壁量が多いが、1階の偏心率が高く、ねじれ振動が卓越する可能性がある。

3. 振動実験の内容

基本的な振動特性の把握を目的に、常時微動計測・起振機を用いたスイープ加振実験・自由振動実験・洗濯機稼働時の振動計測の計4種類（表1参照）を行った。観測体制は図1に示すように、3ch微動計を各階と免震ピットの中央と南端、さらに地面に1地点の合計9地点設置した。また、起振機の加速度は起振機可動部に設置したサーボ型加速度計で計測した。以上で合計29成分となった。

常時微動計測では30分間の計測を2回行った。スイープ加振実験ではアップ・ダウンの両方を行った。掃引速度は0.2oct/minとし、2~15Hzの振動数帯域で加振した。また、自由振動実験では中加振と大加振の2ケースを実施した。洗濯機稼働時の振動計測は、洗濯機振動により建物上層階の水平振動が卓越するという居住者からのヒアリング結果に基づいて行った。また、洗濯機の加速度は、洗濯機上部に設置した動歪型加速度計により計測した。

4. 分析結果

4.1. 常時微動記録に基づく建物の固有振動数と減衰定数の推定

図2には速度フーリエスペクトルを示し、図3には地面・基礎・1階に対する3階の伝達関数を示す。これらの曲線のピーク位置を読み取り、固有振動数として評価した。また、RD法により算出したRD波形からは、固有振動数だけでなく減衰定数の評価も行った。

表2に示した各種分析における固有振動数の値より、地盤を含む建物全体系の固有振動数は、EW・NS方向ともに3.9Hz前後である。

また、伝達関数は(3F/免震層)に対して(3F/1F)のピーク振動数の位置が高振動数側にあり、4.7Hz付近となる。これが免震層を含めない上部構造物だけの固有振動数と考えられる。

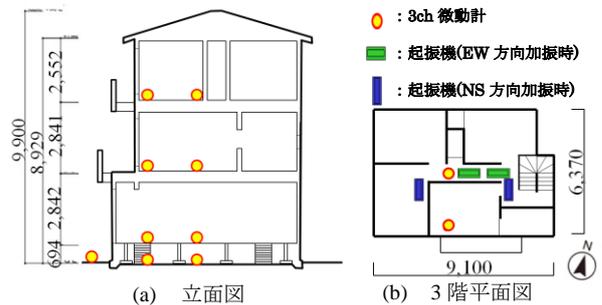


図1 観測体制配置図

表1 実施した計測内容と順序

計測種類	詳細
常時微動計測	1800sec×2回
アップスイープ加振実験	EW方向 0.2oct/min 2Hz→15Hz
ダウンスイープ加振実験	EW方向 0.2oct/min 15Hz→2Hz
自由振動実験	EW方向 3.81Hzで加振
アップスイープ加振	NS方向 0.2oct/min 2Hz→15Hz
洗濯機稼働時の振動計測	
ダウンスイープ加振	NS方向 0.2oct/min 15Hz→2Hz
自由振動実験	NS方向 3.85Hzで加振

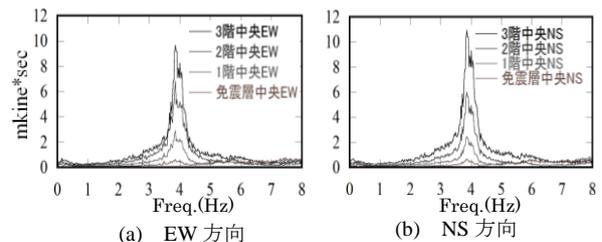


図2 速度フーリエスペクトル

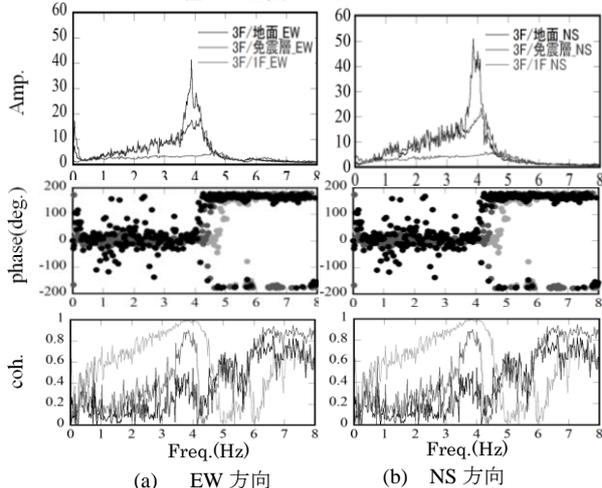


図3 伝達関数

表2 微動時の固有振動数・減衰定数

分析種類	固有振動数 (Hz)		減衰定数 (%)	
	EW	NS	EW	NS
速度フーリエスペクトル	3.86	3.86	—	—
伝達関数 3F/GL	3.88	3.86	—	—
伝達関数 3F/基礎	3.88	4.13	—	—
伝達関数 3F/1F	4.7	4.7	—	—
RD法	3.93	3.96	3.9	4.0

表3 加振時の固有振動数・減衰定数

分析種類	固有振動数 (Hz)		減衰定数 (%)	
	EW	NS	EW	NS
EW 中加振	3.77	—	5.4	—
EW 大加振	3.76	—	6.4	—
NS 中加振	—	3.83	—	5.9
NS 大加振	—	3.86	—	5.9

4.2. 自由振動実験に基づく建物の固有振動数と減衰定数の推定

自由振動実験で得られた波形の一例と、そこから算出した一周期毎の固有振動数と減衰定数を図4に示す。これらの値は、図中の点線で囲われた区間の平均で評価した。表3に示した結果から、微動時に比べて減衰定数は増大し、固有振動数は低下する傾向があり、振幅依存性の影響が見られる。

4.3. 周波数スイープ加振時の振動特性の分析

図5には、EW方向のアップスイープ加振時における3F中央でのEW・NS両方向の速度記録と起振機の加振振動数の変化、及びそれに伴うオービットの変遷を示す。EW方向の速度が最大となるB点(加振振動数3.77Hz時)では、振動軸が北東-南西方向へ傾き、NS方向の速度が最大となるC点(加振振動数3.83Hz)では、正円に近い振動を示す。EW方向の速度波形における振幅レベルが落ち始めるD点(3.96Hz)では、振動軸が北西-南東方向へ傾いている。

このように振動軸が傾く現象は、全4ケースのスイープ加振実験の全てで共通して確認した。したがって、対象建物はその長辺・短辺方向に対して単純な振動をするのではなく、振動数ごとで揺れやすい方向性を持ちながら、その振動数変化に伴って振動性状が変化していることが分かる。

4.4. 洗濯機稼働時の振動分析

図6に、洗濯機稼働時に建物応答が大きかった時間帯における加速度波形と非正常スペクトルを示す。図6(a)の洗濯機の振動を見ると、振動数の上昇とともに加速度波形の振幅が増大し、6Hz付近で最大となっている。それに対し、3階中央は、洗濯機振動が大きくなりきる前の4.0Hz付近で振幅が最大に達し、洗濯機の加速度振幅が最大になる時間帯では振幅が再び小さくなっている。このことから、建物の1次固有振動数付近において建物が洗濯機による振動と対象建物が共振現象を起こしたことが分かる。

4.5. 各実験におけるモード形状の分析

EW・NSの各方向における微動時・洗濯機稼働時・強制加振時の振幅レベルの概算を表3に示し、モード形を図7に示す。振幅レベルによるモード形状の差異が小さく、地震時のように免震層の変位が卓越する振動モードはないことが分かる。ただし、免震層における層間変形角が他の階に比べて大きいことから、一般的な基礎構造の住宅と比べると、基礎に対する1階の相対変位は大きくなると考えられる。

5. 結論と今後の展望

本実験によって、対象建物の基本的な振動特性を把握することができた。また、洗濯機稼働時の振動計測より、振動問題の主因は内部震源に起因する建物の共振現象と考えられる。

また、建物全体が回転運動をすることによる変位量の増大は、振動問題を助長させる要因の一つになっている。さらに、対象建物が基礎免震構造であることで、一般的な基礎構造の住宅に比べて免震層の変形に伴う上部構造物の地面に対する相対変位が大きくなると考えられ、それも振動問題を悪化させる要因の一つになっている。

今後は、対象建物における環境振動への対策法を考えていく必要がある。そのためには、振動障害の主たる要因となっている一次固有振動数付近における共振現象を低減できるような対策法が有効と考えられる。

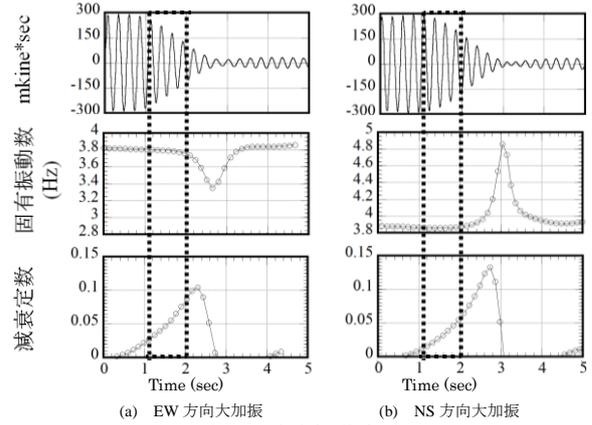


図4 自由振動波形

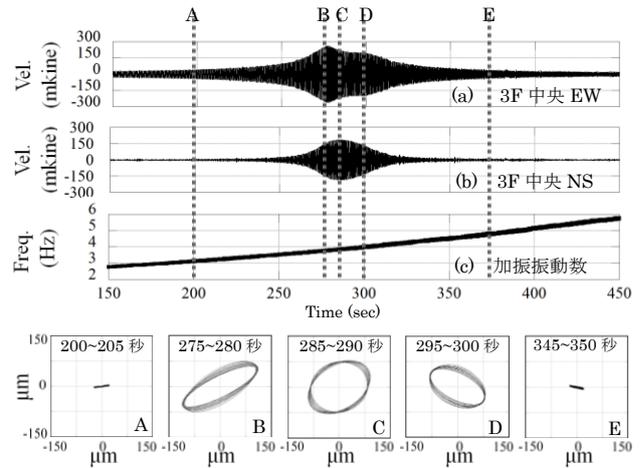


図5 EW方向アップスイープ加振実験

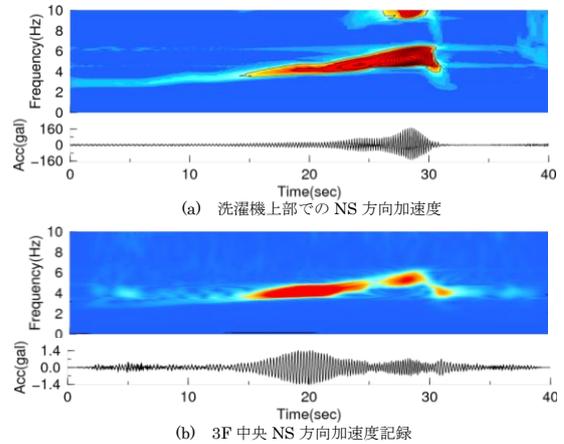


図6 洗濯機振動が増幅する時間帯の非正常スペクトル

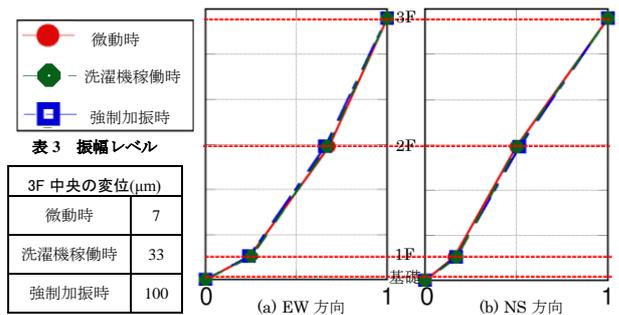


図7 各実験におけるモード形

表3 振幅レベル

3F中央の変位(μm)	
微動時	7
洗濯機稼働時	33
強制加振時	100