

振動実験と強震観測に基づく鉄骨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 福和研究室 西畑尚

1. 研究の背景と目的

近年、大都市圏での土地不足から軟弱地盤に戸建住宅が建設される例が多く、交通振動などの環境振動外乱による振動障害が多数報告されている。

また、1995年の兵庫県南部地震以降、地震被害の経験から、より耐震性能の高い建築物を入手しようとする動きが出、鉄骨プレハブ住宅の需要が急増した。しかし、建築物の振動問題は、従来、重要構造物が主たる研究対象となってきたため、住宅建築の振動特性に関する研究は不十分である。

さらに、1998年の建築基準法改正により性能規定が導入され、2000年には品確法(住宅の品質確保に関する法律)の施行により、住宅の「住宅性能表示」が義務化された。そのため、住宅の振動特性を正確に把握し、耐震安全性や振動居住性を確保することが重要となってきてきた。

また、環境振動問題において、非構造部材による剛性寄与が大きいと指摘されている。地震時においても、非構造部材が強度増大に寄与すると考えられている。しかし、非構造部材の多用は、振動特性を解析的に解明することを困難にする。このため、住宅の振動性状を実証的に評価し、非構造部材の影響を、微小な振幅から大振幅までの広範囲にわたって検討する必要がある。

そこで本論では、愛知県に建設された実際の鉄骨住宅を利用して建設段階毎に振動実験を行い、それに基づいて鉄骨住宅の振動性状の把握を試みる。また、非構造部材が振動性状に与える影響についても検討する。さらに、竣工後、強震観測を行うことによって、地震時における鉄骨住宅の振動特性についても検討する。

2. 建物及び振動実験の概要

図1に本実験対象建物の平面図を示し、併せて、微動計の設置位置も示す。実験対象建物は、2階建ての戸建専用住宅である。基礎構造は鉄筋コンクリートの連続布基礎である。上部構造は防錆処理された角柱とH型鋼で構成されており、耐震フレームが各所に設置されている。また、基礎と上部構造はアンカーボルトにより固定されている。さらに、外壁・床にはALC版、内装壁には石膏ボードが用いられている。振動実験は非構造部材が建物の固有振動特性に与える影響について検討するため、4回の建設段階に分けて実験を行った。表1に各建設段階の状況を示す。計測内容は常時微動計測、起振機を用いた周波数スイープ加振実験、自由振動実験であり、動コイル微動計とサーボ型加速度計を用いて記録した。これらの実験結果に基づき固有振動数・減衰定数を評価

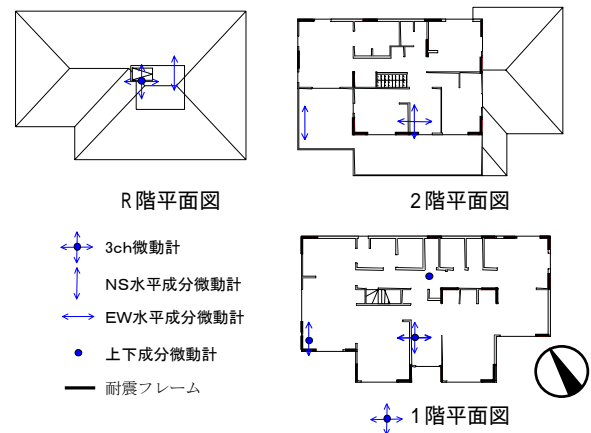


図1 実験対象建物の平面図及びセンサー配置図

し振動特性の把握を試みた。本論では、スイープ加振実験及び自由振動実験の結果に基づき、建設段階毎の振動特性の推移を検討する。

3. 建設段階ごとの振動特性の変化

図2に、周波数スイープ加振実験から求めた各建設段階毎の共振曲線を1自由度振動システムの理論解を用いてカーブフィッティングした曲線の推移を各方向ごとに示す。図2に着目すると、各建設段階で振動性状が大きく変化したことが確認できる。まず、振幅レベルについて述べると、NS方向は第二建設段階で振幅が増加し、第三、第四建設段階と振幅が減少していることがわかる。それに対して、EW方向は建設段階が進むにつれて振幅が減少している。次に固有振動数に着目すると、各方向とも第二建設段階で減少する以外は増加している。この原因は、第二建設段階において、外壁ALC版が上部のみピン接合され、シーリングもされていなかったため、ほとんど剛性には寄与せず、重量増加に影響を与えたためと考えられる。このことは式1を考えればすぐに分かる。また、式2を考えるとフィッティング曲線のy切片は1/kであるので、y切片に着目すると、第二建設段階では各方向とも剛性が殆ど変化せず、第三、第四建設段階と剛性が増加していくのが見て分かる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

$$\frac{A}{F} = \frac{1}{\sqrt{\{k - (p/\omega)^2\}^2 + 4h^2(p/\omega)^2}} \cdot \frac{1}{k} \quad (2)$$

また、図3には、周波数スイープ加振実験に基づいて求めたカーブフィット曲線のピーク振動数と、上部構造の重量から簡易的に求めた、各建設段階毎の第一建設段階に対する剛性の推移を示した。さらに、各建設段階毎の重量比、固有振動数および減衰定数の推移を示した。図3に着目すると、両方向とも第四建設段階には鉄骨フレーム時と比較して剛性が6倍程度増加しており、内外装の非構造部材が建物全体の剛性に対して大きな影響を与えたと考えられる。

表1 建設段階の推移

建設段階	建物概要	総重量	備考
1	鉄骨フレーム+床板	18.1	
2	外壁取り付け後	27.7	R階のみ床モル、外壁目地シーリング前
3	屋根設置後	34.4	床モルタル充填完了、一部外壁シーリング
4	内装中	57.7	
	竣工後	62.4	積載荷重を含む 単位(tf)

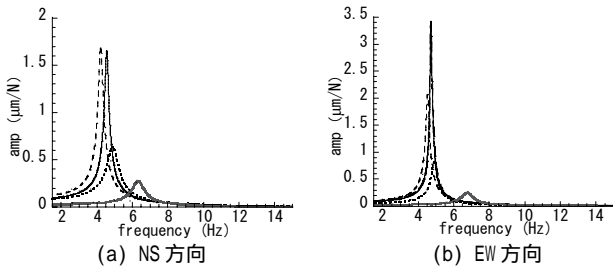


図2 カーブフィット曲線の推移

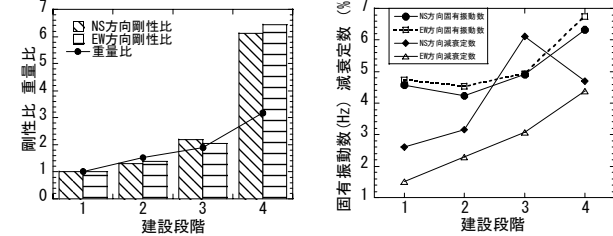


図3 建設段階毎の剛性比・重量比・固有振動数・減衰定数

4. 固有振動特性の振幅依存性

固有振動特性の振幅依存性を検討するために、自由振動実験のR階中央において収録された自由振動波形の3波区間毎の移動平均法によって求めた固有振動数と減衰定数を図4に示す。また、第四建設段階には、竣工後の強震観測において観測された10個の地震記録を用いて、2F/1Fの伝達関数にカーブフィットさせて求めた固有振動数と減衰定数も併せて示す。図4より、固有振動数に関しては自由振動実験時と強震時とも、大振幅になるに従って減少する。一方、減衰定数は振幅レベルによって大きく変動し、大振幅になるに従って増加する傾向があるが、微小振幅レベルでは減衰が急激に減少したり、増加する現象が起こっている。この考察は5である。また、強震観測に基づく減衰定数は、自由振動実験に基づく評価値と差があるものと無いものがあるが、差があるものについては、フィッティングの精度が悪かったものである。以上より建物の振動性状には振幅依存性が存在するため、固有振動数・減衰定数の評価には振幅レベルを考慮する必要がある。また、参考として、図5に愛知県西部地震(2000.9.5)、鳥取県西部地震(2000.10.6)のEW方向の2Fと1Fの加速度記録及び計8個の地震より求めた、

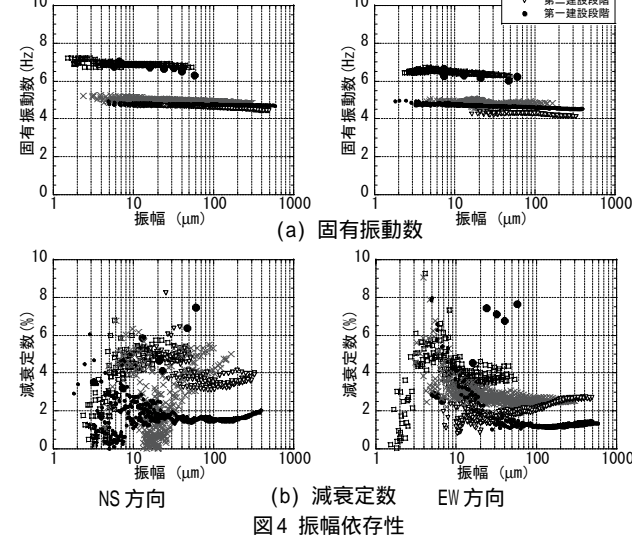


図4 振幅依存性

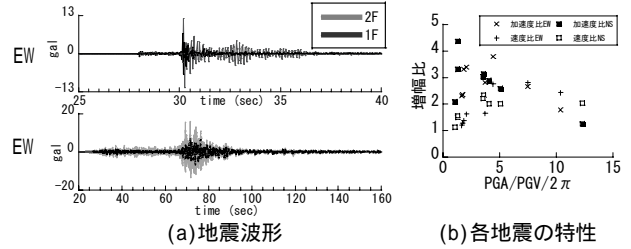


図5 強震観測結果

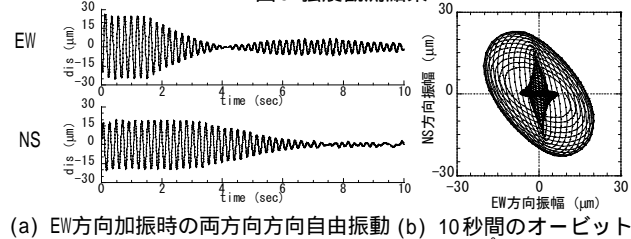
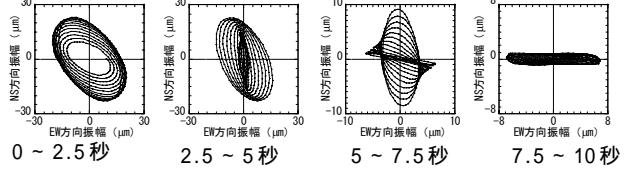


図6(a) EW方向加振時の両方向方向自由振動 (b) 10秒間のオービット



(c) 各秒ごとのオービット

図6 第一建設段階の自由振動実験時のうなり

5. うなりが振幅依存性に与える影響

図4で示したように、第一、第三建設段階における減衰定数の振幅依存性は他の建設段階とは異なる性状を示した。本項では、異なる形状の振幅依存性を示した原因を建物のうなり・ねじれに関連させて考察する。

図6の(a)、(b)には、第一建設段階における微小加振時の自由振動波形と4.6Hz~4.9Hzのコサインテーパ付きバンドパスフィルターをかけた10秒間のR階中央の水平面内オービットを示す。また、図6の(c)には建物挙動を詳しく見るために、2.5秒間隔に区切ったオービットを示す。第一建設段階と第三建設段階では、図6のように、振幅レベルが大きい時の建物挙動と振幅レベルが小さい時の建物挙動では全く異なっており、微小振幅レベルでは、NS、EW方向に交互に振動しているのがわかる。このうなり現象は、図4を見ると分かるように、各方向の固有振動数が非常に近接している時に生じることが分かる。よって、微小振幅レベルにおけるうなり現象によりEW、NS間でエネルギーのやり取りがあり、減衰定数の過大評価につながったと考えられる。詳細については今後の検討課題とし、今後うなりの生ずる1質点3自由度系のモデルを作り解析し、うなり現象が起こる時の正確な減衰評価法を定める必要がある。

6. まとめ

本論文では、鉄骨プレハブ住宅の建設段階毎の振動特性の推移に関して検討を行った、それにより、非構造部材が建物の全体剛性に非常に影響を与えることが分かった。また、固有振動数・減衰定数は振幅依存性があるため、それらの評価を行う際には、振幅レベルを考慮に入れる必要があることも分かった。さらに、微小振幅レベルでは、固有振動数がEW、NS方向間で近接している時にうなり現象が起こりうるので、正確な減衰評価が必要である。