

実大振動実験に基づく免震住宅の振動性状に関する研究

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 080150772 山本 健史

1. はじめに

ここ数年の間に、免震構造を採用した建築は急増した。法律の改正もあり、免震構造の建築が容易になったが、仕様設計によるずさんな計画は危険であるという指摘があがっている。免震構造は、建物の振動系全体としての固有周期を伸ばすことによって共振を避け、入力地震波の卓越周期が長く、免震建物の振動系全体としての固有周期に近い場合には、共振を起こして変位応答振幅が増幅され、免震装置の許容変位量を超えてしまう危険性がある。エネルギーが大きく、震源から遠い地震では、長周期の入力地震動となることが予想され、免震構造の建築にとって危険であるといえる。

にもかかわらず、これまでの免震構造の実験では長周期成分の卓越した地震波形を入力した実験はあまり報告されていない。というのも、長周期成分の卓越した地震動は振動台の性能により再現が困難なことが多いからである。

本研究の振動台による加振実験では、短周期の卓越した地震波から長周期の卓越した地震波までの数種類の波形を、制御方法を変えて加振し、計測を行った。また、共通の免震装置で上部構造物の階数を変えての加振実験、共通の上部構造物で免震装置を変えての加振実験も行った。

2. 実験について

2.1 試験体

(a) 上部構造物

本研究では、実大スケールの試験体を振動台で加振する実験を行った。試験体は鉄骨造 3 階建て、1×1 スパンの純ラーメン構造で、各柱の下に免震支承が配置されている。基礎は鉄骨製の基礎を振動台に固定した。上部構造の総重量は約 27t である。試験体の、規準階（1 階）平面図を図 1 に、断面図を図 2 に示す。

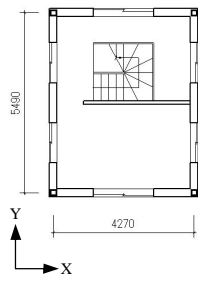


図 1 基準階平面図

(b) 免震装置

本実験では免震支承として、PTFE 素材を使用したすべり支承と、ボールベアリングを使用した転がり支承を使用し、これらの免震支承を差し替えることで比較実験を行った。免震支承と免震層に復元力、減衰力を持たせるための装置の組み合わせを表 1 に、装置配置図 3 に示す。また、使用した試験体の免震層には過大变位時に免震装置破損などの危険の無いよう、ワイヤー製のストッパーを 5 点に設けた。

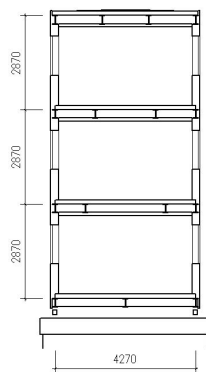

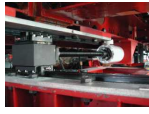


図 2 x 軸断面図

表 1 装置組み合わせ

免震支承材	平面すべり支承	直動転がり支承
復元装置	天然ゴム系積層ゴム	
減衰装置	支承の摩擦による履歴減衰	オイルダンパー (減衰コマ)
装置写真	 平面すべり支承	 直動転がり支承と オイルダンパー

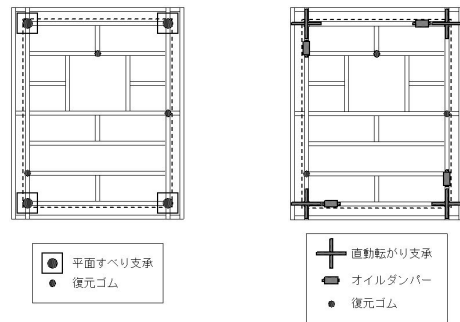


図 3 免震装置配置図

2.2 振動台と入力地震波

使用した振動台では最大加速度で 3000gal、最大速度で 200kine、最大変位で 60cm の加振が行える。この振動台には試験体として、50t まで載荷することが可能である。本報に示す実験での加振の基本は 1 軸加振とし、方向は図 1 に示している x 方向での加振を行った。

実験で入力した地震動波形一覧を表 2 に示す。実験で使用した振動台では、性能の都合上波形を完全に再現することができないため、本実験では制御方法を変えて、各波形の入力ごとに加速度制御と変位制御の 2 種類の加振実験を行った。

地震波形の再現性にはばらつきがあり、制御方法によって大きく差が出ている。次頁図 4 に再現波形の応答スペクトルを示す。加速度制御と変位制御では、再現性のよい周波数域が異なり、免震のような長周期での振動によって大きな影響を与える可能性のある実験では、長周期領域で再現性のよい変位制御による加振実験が好ましいという結果となった。

表 1 入力地震波一覧

入力波形	加震レベル	備考
ランダム波	30gal	伝達関数確認
インパルス入力	600gal	
正弦波 0.33Hz	±50,100,150,200mm	免震層動的荷重変位特性確認
正弦波 0.67Hz	±50,100,150,200mm	
El Centro NS	Vmax=15.0cm	El Centro 1940 NS v=15cm/s 標準化
Kobe NS	Amax=813.9cm/s ²	JMA Kobe 1995 原波
Kobe 3D	Amax=889.7cm/s ²	
苫小牧 強軸	Amax=365.6cm/s ²	十勝沖地震 2003
小千谷 3D	Amax=1495.8cm/s ²	新潟中越地震 2004/10/23
模擬波	ySa075	Amax=436.5cm/s ² ピーク周期0.75秒 Taft位相模擬波
	ySa100	Amax=367.7cm/s ² ピーク周期1.00秒 Taft位相模擬波
想定東海地震	三の丸 2D	Amax=220.5cm/s ²
	三の丸 強軸	Amax=203.7cm/s ²
	静岡 強軸	Amax=443.0cm/s ²

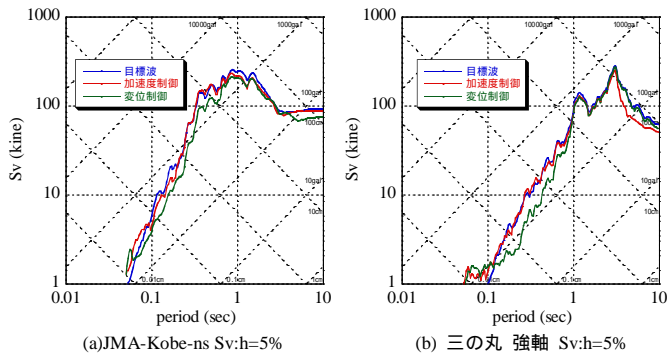


図4 応答スペクトル

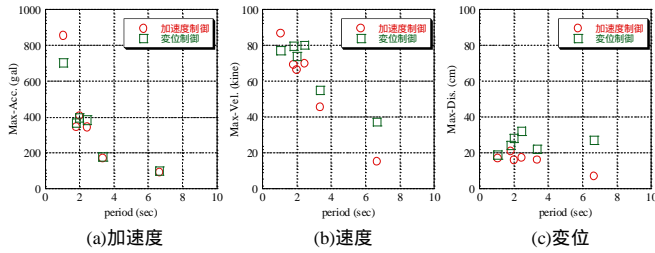


図5 地震波卓越周期と再現最大値

3. 地震応答

図6に加振のケースごとの応答最大値とフーリエスペクトルを示す。地震応答では、すべての加振において免震層で加速度が低減されており、免震の効果が得られている。また、免震層より上の階の最大応答変位はほぼ等しく、上部構造物は概ね剛的に動いていることがわかる。

3.1 入力波形と応答

免震層変位の最大値は、長周期で強い振幅もつ地震波を入力したときに、応答が増幅するという結果となった。免震層等価剛性から求めた免震層の固有周期はどちらの装置も約2.5秒ほどであり、地震動が周期2.5秒付近で大きな振幅を持つ場合、共振を起こし増幅する可能性がある。本実験で使用した長周期地震波の想定新東海地震三の丸波では卓越周期がほぼ3秒であり、これに近い。この波形では100%の入力を行ってもなお、免震装置の変形限界に達することはなかったが、実地震動でもし、周期2.5秒付近にこの波形以上の力を持つ地震波が入力された場合には、免震装置の変形限界をこえる危険性がある。また、応答最大値からも見られるとおり、加速度制御入力と変位制御入力には大きく差が生じている。この結果より、長周期地震動入力において、通常の振動大実験で用いられる加速度制御入力を用いることは、危険側の検討となることが確認される。この点からも適確な実験が重要であるといえる。

3.2 免震装置と応答

免震の効果を装置別で比較した場合、上部構造物が同じとした場合にはそれほど大きな差は見られなかった。どちらの装置も加速度を十分に低減し、変位も小さく抑えられるという結果であり、免震層の剛性の低さと減衰の大きさが適度にバランスしているといえる。2階建てと3対建ての比較では、本報に扱った入力波形では、加速度の低減効果の差はあまり出ていないが、変位の最大値では、はっきりとその差が出ている。これらは上部構造物の重量の差によるものと推定される。等価剛性から求めた

すべり支承の免震層固有周期は3階建てで2.62秒であるのに対し、2階建てでは2.42秒である。地震波の周波数がこれよりもはるかに短い兵庫県南部地震 JMA 神戸波の入力では免震装置は共振することなく、加速度、速度、変位のすべてを低減できる。この波形の入力において、装置ごとと比較すると、免震層の固有周期に対する地震動の周期の近い2階建て状態での応答結果が多少大きく出ている。同様に三の丸波で考慮すると、卓越振動数が固有周期に近く、応答は大きい。また、3階建て状態での免震層の固有周期が、より地震波の卓越周期に近く、大きく変位するという結果となった。

4. まとめ

免震構造が長周期地震動に弱いということは実験をもって確認され、応答変位を抑えるための減衰の重要性も再確認された。実験で得られたデータは多く、ほかにも様々な分析や検討が可能である。今後、さらに詳細な分析を進め、免震住宅の振動性状を説明することを目指す。

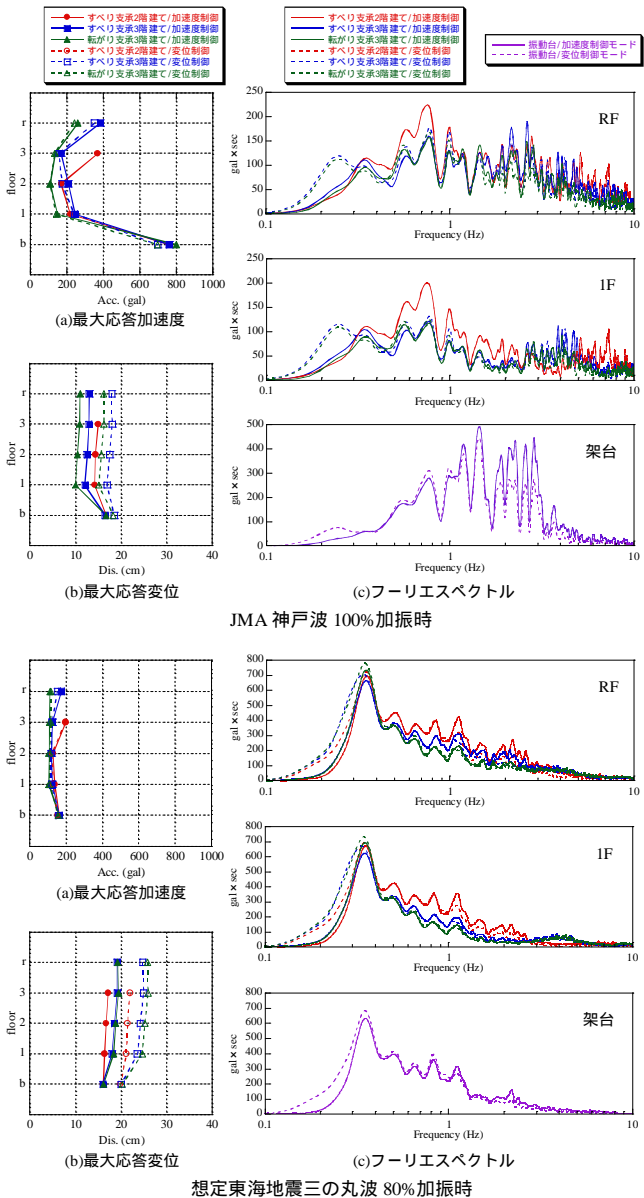


図6 最大応答地とフーリエスペクトル