

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

三山 剛史

本論文は、「免震構造に与える積層ゴムの二次的力学特性の影響に関する研究」と題し、積層ゴムを利用した免震構造において、大きな軸力及び軸力変動ならびに大きな水平変位・回転が積層ゴムの力学特性に及ぼす影響について考察したもので、全7章からなっている。

1章ではこの研究の目的を示している。免震構造が耐震設計の目標を容易に達成できる安全性の高い技術のひとつで、これからの適用の拡大が期待されることを論じ、これから適用の機会が多くなると予想される高層建物、中間階免震を対象を選び、その技術的課題について検討している。高層建物に免震構造を適用する場合の問題点として、高軸力化、大きな軸力変動、免震層の水平変位の増大、積層ゴムに生じる引張りの問題を挙げ、また中間階免震では、積層ゴムに加わる回転の問題が生じることを指摘している。積層ゴムに加わる軸力やその変動量の増大、水平変位の増大、回転変位の発生により積層ゴムのせん断剛性、曲げ剛性、軸剛性が影響を受けることを指摘し、また剛性だけではなく、変形能力や鉛直変位も影響を受けることも指摘し、これを「二次的力学特性」と呼称している。また従来の積層ゴムを利用した免震構造では、基本的には「二次的力学特性」が無視できる範囲で適用を進めてきているが、今後適用拡大を行うために、これらの問題点の影響を明確にする必要性を指摘し、その解明を本論文の目的としている。

2章では、「二次的力学特性」を扱うための既往の研究について概観し、それに基づき理論的な提案を行っている。まず二次的力学特性の評価を行うために、積層ゴスを剛棒とばねを用いて表現する簡単な解析モデルの提案を行っている。このモデルでは、せん断剛性、曲げ剛性、軸力が分離して表されているが、弾性範囲内では積層ゴムの幾何学非線形性を考慮したせん断剛性の理論値として知られる Haringx 理論に一致することを確認している。さらに、せん断剛性や曲げ剛性のせん断変位依存性、軸力依存性等の二次的力学特性や、材料の非線形性を考慮することも可能であり、積層ゴムの水平変位だけでなく回転変位も含んだ表現となっている。このモデルの提案の過程では、曲げ剛性の軸力依存性の理論式も示しており、また、積層ゴムの上下面に回転と水平変位が加わる場合の鉛直変位の理論式とその簡略式、さらに積層ゴムの曲げ剛性に関して引張剛性の影響をふまえた評価式についても考察している。全般的に設計プロセスにおいて取扱いの容易な解析モデルとなっていることが評価できる。

3章では、2章で提案した剛棒とばねを用いた解析モデルによる理論値の確認、二次的力学特性や非線形性に関する実証的なデータの取得を目的に、積層ゴムに対する静的載荷実験を実施した結果を報告している。積層ゴムの水平剛性や曲げ剛性の軸力依存性について理論値とほぼ一致することを確認しており、さらに水平剛性や曲げ剛性の水平変位依存性に関する実験データの取得を行っている。積層ゴムに加わる軸力や回転角が水平変位に伴って変化する場合の変形性状を、2章で提案した解析モデルで十分妥当に表現できることを確認し、鉛直変位量に関しても理論値

が実験値にほぼ一致することを確認している。また積層ゴムの上下面に回転が加わった場合の変形能力は、その曲げ剛性が水平変位依存性の影響を受けて小さくなるため、回転の無い場合の変形能力とほぼ同等となることも実験により確認している。従来実験例が比較的少ない二次的力学特性に関して貴重な载荷実験データを提供している。

4章では、大きな軸力変動の建物地震応答への影響を実証的に調べ、積層ゴムに引張が生じた場合の地震応答性状、および着座後の振動応答性状を調べる目的で、アスペクト比を5とした縮尺1/12の建物模型を用いて振動台実験を行った結果を報告している。この実験結果からせん断剛性の軸力依存性の確認、軸剛性の水平変位依存性の確認を行っている。さらに積層ゴムに引張を生じた後、着座してからの振動応答性状について検討し、着座後に積層ゴムに生じる最大軸力の簡便な予測方法を示し、振動台実験結果を妥当に予測できることも確認している。積層ゴムの力学特性が建物全体の地震応答性状に及ぼす影響を、振動台実験という実証的な研究手段で解明しているところが評価できる。

5章では、2章で示した理論と3章と4章の実験結果を用いて二次的力学特性を考慮した時刻歴地震応答解析を行い、振動台実験から得られた二次的力学特性に関する地震応答性状が妥当にシミュレートできることを示している。この応答解析では、二次的力学特性と材料非線形性が、提案解析モデルにおける、せん断ばね、回転ばね、軸ばねに考慮されており、応答計算において必要となる収斂計算方法についても明らかにしている。

6章では、前章までに示した理論と実験結果をふまえて、二次的力学特性が免震建物の設計に及ぼす影響を解析的に検討している。地震入力エネルギーから免震層の変位や応答加速度を求めており、個々の地震動特性の変動による影響を除外した包括的な地震応答性状について考察しているところが特徴的である。せん断剛性の水平変位依存性、面圧依存性、積層ゴムに加わる回転は免震層の水平変位を少し大きくする一方で免震層に生じるせん断力係数は小さくなるため、建物部分の設計検討においては安全側の結果が得られることを示し、さらにアスペクト比が大きい場合の免震建物の転倒と、積層ゴムの引張・せん断破断に関して検討を行い、建物の耐震余裕度についても考察している。また積層ゴムに加わる軸力の変動により生じるねじれの検討を行い、現実的には影響が少ないことを確認している。いずれも免震建物の構造設計において参考となる有益な知見を導出している。

7章では、前章までの成果の要約と結論を示し、今後の研究課題について展望している。

以上のように、本論文では、積層ゴムを利用した免震構造において、高軸力、高軸力変動、大きな水平変位・回転が、積層ゴムの力学特性に及ぼす影響について実験的・解析的に解明し、この種の免震建物の構造設計に有益な知見と解析モデルを提供している。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。