

別紙 4

報告番号	※ 第 号
------	-------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 大規模地震に備えた
戸建免震住宅の耐震安全性向上に関する研究

氏 名 高橋武宏

論 文 内 容 の 要 旨

地震多発国である我が国では、大正5年(1920年)に建築物の耐震規定が初めて整備され、関東地震(1923年)の翌年には「震度法」が盛り込まれるなど、その後幾多の地震被害を教訓として改訂されてきた。しかし、耐震規定が目指したのはあくまでも「強靱にして倒壊させないこと」であった。

兵庫県南部地震(1995年)では、古い木造軸組構法による住宅の下敷きによって多くの死者が出たが、ピロティー構造を除き、新耐震設計法を遵守していた建物の倒壊は少なかった。しかし、倒壊を免れた建物でも、建物内部ではガラスや家具の飛散転倒によって多くの負傷者が発生し、構造躯体や設備類の損傷によって建替えを余儀なくされたものも多い。このように兵庫県南部地震は、建物を倒壊させないだけでは居住者の生活と財産を守り切れないことを我々に警告した。

このような社会的背景から兵庫県南部地震後に免震建物が急増した。多くの免震建物は積層ゴムアイソレータによって上部構造の固有周期を伸ばし、通常地震動の卓越周期から隔離することで応答加速度を低減する。このため建物内部の安全性が高まり、居住者を強い揺れから解放する。さらに建物躯体の損傷低減によって震災後も建物を継続的に使用することが可能で、免震建物は居住者の生活と財産を保護する有力な構造形式と考えられるようになり、数多くの免震建物が建設されてきた。

2011年東北地方太平洋沖地震(以後、3.11)の発生当時、規格化された共通の免震システムを有する木造戸建免震住宅(以後、免震住宅)が国内に約4000棟建築されていた。震災後の調査によって多くの免震住宅は高い免震効果を発揮したことが明らかになったが、数棟で設計時の想定を超える過大な免震層変形が生じた。これに伴いストップ

一装置が作動し、更には免震装置の可動範囲から逸脱する事態が生じるなど、免震住宅は想定と異なる特性の地震動に対しては非免震住宅に比べて冗長性の少ないことが認識された。

3.11発生後、南海トラフ地震の想定地震規模が見直されたが、断層破壊の連動の仕方によっては3.11以上に免震建物の免震層変形が増大する可能性がある。このため、今後より深刻な被害が発生することが懸念される。しかし、具体的な対策法に関する研究は今まで行われてこなかった。

そこで本研究では、国内の免震建物の約6割を占める免震住宅の耐震安全性能向上のため、局所的に大きな免震層変形が生じた原因の究明と、過大な免震層変形を抑制する付加減衰装置(免震層変形抑制装置)の研究開発を行った。

本論文は7章より構成されている。第1章「序論」では、研究の背景や目的を述べ、既往の研究成果を俯瞰して本研究の位置づけを明確にするともに、本論文の構成を示している。

第2章「免震構造の歴史と戸建免震住宅の現状」では、免震構造の歴史と戸建免震住宅に関する研究について現状を整理し、戸建免震住宅の開発思想と、開発経緯を概観した。特に、すべり支承と積層ゴムを併用した免震住宅の免震性能や事業化に関して様々な角度から検討した。つぎに、3.11後に実施した一次被害調査で回収した854棟に及ぶ免震住宅の罫書き記録を詳細に分析し、神奈川県と宮城県の一部で過大な免震層変形が生じた地域があったことを特定した。

なお、本章で分析した免震層最大変形の分布は、同一の大規模地震に対する共通の長周期建築物の広域での応答変動を明らかにした初の研究成果である。

第3章「2011年東北地方太平洋沖地震における戸建免震住宅の免震層変形と足柄平野の地盤震動特性との関係」では、戸建免震住宅の免震層変形と神奈川県足柄平野の地盤震動特性との関係について検討した。その結果、建設敷地の常時微動 H/V スペクトルのピーク周期と免震住宅周期が近接した場合に免震層変形が増大する傾向が明確に見られ、深部地盤の一次固有周期の影響が大きいことを示した。

このため、今後免震住宅の計画時には、通常あまり実施されていない建設敷地内での常時微動観測などによって、深部地盤構造に起因する長周期地盤震動特性を考慮することが重要となる。

また、平野内の地震観測記録を用いた実大免震建物の震動台実験により、地震動の卓越周期と免震周期が近接した場合に地震動数波で共振が大きく育つことを検証し、実現象が理論式と調和的であることを確認した。

第4章「2011年東北地方太平洋沖地震における宮城県内に建設された戸建免震住宅の免震層変形と地盤震動特性との関係」では、宮城県内に建設された戸建免震住宅の免震層変形と地盤震動特性との関係を検討した。その結果、常時微動 H/V スペクトルのピーク周期と免震住宅周期、最大変形との相関は認められないが、周期1秒～2秒のパ

ルスを含む強震記録の PGV（地動最大速度）と最大変形との相関が高いことを確認した。

また、建設地の地表から深さ30mまでの平均せん断波速度 AVS30および、強震動パルス生成域からの距離減衰を考慮して算出した最大速度増幅率 AFPVG と最大変形には良い対応が見られることを検証した。ただし、飽和砂質土地盤は液状化現象のため対応が悪く、最大変形が著しく増大する傾向があるために注意を要することを示した。

さらに、模擬パルス波による剛塑性応答解析を実施し、免震住宅の最大変形はパルス周期やパルス形状に大きく影響されることを確認した。また一例ではあるが、大規模パルス性地震動に対してはすべり支承の摩擦力や積層ゴムによる履歴型減衰よりも、速度比例型油圧ダンパの方が免震層変形抑制効果の高いことを示した。

第5章「実大震動台実験に基づく戸建免震住宅の免震層変形抑制効果の把握」では、実大免震住宅の震動台実験を繰り返し行い、免震住宅の居住者の安全・安心感を考慮した免震層変形抑制装置の研究開発を行った。

擁壁などに衝突させて免震層変形を拘束する方法は長周期地震動に対して有効であるが、パルス性地震動に対しては衝突速度が速いために衝撃力が大きく、その時に生じる大加速度によって住宅内部の危険性が増すことを確認した。

一方、本研究で新規開発した減衰力が免震層応答速度の2乗に比例して変化するオイルダンパ(以後、ダンパ)は、大規模な長周期地震動およびパルス性地震動の何れに対しても室内に大きな衝撃力を発生させることなく、免震層の最大変形を実用的な大きさに抑制することができた。

また、建物におけるダンパ配置と地震動の到来方向の関係によって最大変形が変化することを確認し、1m角のすべり支承が理想的な大きさとなることを明らかにした。

第6章「性能可変ダンパを設置した戸建免震住宅の変形抑制に関する解析的研究」では、上記オイルダンパをはじめ様々な性能可変ダンパについてダンパの減衰力特性を類型化し、単純な減衰力モデルを設定して免震住宅の地震応答特性を比較することで、上記ダンパの有効性と優位性を示した。

一方、実ダンパの減衰特性は各種の依存性を有しているため、単体加振試験で得られた減衰力特性を関数化する手法を構築し、この手法による依存性を考慮した減衰力モデルを用いた応答解析結果と、実大震動大実験結果を比較し、減衰力モデルの妥当性を検討した。

これらの検討を基礎として、すべり支承の摩擦係数、高減衰積層ゴムの接線周期、ダンパの基準減衰力などの影響評価解析を行い、11種類の実地震動に対する免震装置の最適設計値を示した。さらに、想定南海トラフ地震および想定上町断層帯地震を入力波として、免震装置の最適設計値を用いた免震住宅の地震応答予測を行った。

その結果、目標とした免震層最大変形および最大応答加速度のクライテリアを満足し、上部構造の躯体損傷を生じることなく、大規模地震に対しても免震住宅の耐震安

全性を確保できることを確認した。

最後に、ここで想定した大規模地震を上回る場合の検討を行った結果、1m角すべり支承の可動範囲を超えることが明らかになった。このような状態においては、ストッパー装置などによるフェールセーフ機構の併設と、上部構造の十分な耐震性能の確保により対応できることを確認した。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果と知見を取りまとめるとともに、今後の課題および展望に関して述べた。

地震多発国である我が国において、免震住宅は最も優れた耐震技術の一つであるが、想定を超える事象に対して非免震住宅よりも冗長性が不足することは否定できない。このことを解消するために、本論文では3.11で生じた過大な免震層変形の生じた原因解明と、大きな衝撃力を発生させずに過大な免震層変形を抑制する付加減衰装置の研究開発を行った。

この成果は来る大規模地震に備えた免震住宅の耐震安全性向上のために重要な知見になると考えられる。