

(別紙 1)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要版

研究課題名：限界耐力設計法に対応した免震構造の開発

研究期間（元号）：平成 24 年-平成 26 年

代表者名：西村功（東京都市大学 工学部 建築学科）

研究代表者名：西村功（東京都市大学 工学部 建築学科）

共同研究者名：豊嶋学（東急建設株式会社 技術研究所）、
鈴木敏志（東急建設株式会社 技術研究所）

補助金交付総額（円）：23,140,000 円

研究・技術開発の目的：被災地での復興に当たっては、より耐震性の高い建築構造が求められている。もしも、現在市販されている部材の 2 倍以上の変形性能を有し、かつ低価格の積層ゴム支承が実現すれば、限界耐力設計法を用いた免震構造の設計は容易となり、現行法の範囲内で、確認申請による免震構造建築を設計することが可能となる。この結果、被災地の設計事務所や建設会社へ、免震構造技術の普及促進を図ることができる。結果として、被災地における復興の際、より耐震性の高い免震構造への移行が進み、学校建築や公共建物の高耐震化が実現する。

本研究開発では、現行法（限界耐力設計法）を満足する高性能な積層ゴム支承（同じ固有周期で 2 倍の変形性能を達成する）部材を開発し、その後、免震構造用部材としての国土交通大臣の部材認定を取得する。確認申請による構造設計図書の提出のみで免震構造建築の設計を行える技術を完成させ、被災地の復興に貢献することを目的とする。

研究・技術開発の内容と成果：本研究開発は、技術開発プロセスと技術移転プロセスの 2 つのプロセスから構成されている。また、この 2 つのプロセスは、3 つの達成すべき研究開発目標を持っている。

【技術開発プロセス】限界耐力設計法に対応した免震構造を実現するための技術課題を設定し、この数値目標を満足する積層ゴム支承を実現する。はじめに、下記の研究目標 1 を達成し、次に、研究目標 2 の達成を目指す。この技術開発プロセスを通じて「プロトタイプ積層ゴム支承」を開発する。

【技術移転プロセス】技術ツールの完成後は、このツールをどのように活用して、被災地復興と再生へ繋げるかが課題となる。技術開発プロセスの途中段階から技術移転を目的として、設計事務所ならびに製造メーカを交えた告示免震対応の技術交流会を組織する。部材製造メーカには、東京都市大学の持つ基本特許を許諾契約し、免震構造部材としての大臣認定の取得を目指す。また、設計事務所に対してはプロトタイプ積層ゴム支承を用いた限界耐力設計法による免震構造の設計手法について技術指導を行う。特に被災地における免震構造の採用を積極的に支援していく。この技術移転プロセスを通じて「限界耐力設計法による高度免震構造」を実現する。

【研究目標 1】限界耐力設計法(告示免震)に対応した積層ゴム支承の要求性能の検討と必要性能を満足するプロトタイプ積層ゴム支承の試設計

【研究目標 2】プロトタイプ積層ゴム支承の性能確認実験
【開発目標 3】プロトタイプ積層ゴム支承の部材認定取得と、これを用いた免震建築の実設計実現

以下に、具体的な実施内容と得られた成果を示す。

(1) プロトタイプ積層ゴム支承の仕様検討

積層ゴム支承の形状検討に先立ち、積層ゴム支承の性能について数値目標を定めた。具体的には、適用対象とする建物(建物の規模・用途・地盤種別・地震時の応答性状など)を設定し、限界耐力設計法(告示免震)による設計検討から積層ゴム支承の必要性能を確認した。

本開発では、中低層鉄筋コンクリート造の建物を開発ターゲットとして、設計検討の結果から、1) 支持荷重 200ton/支承、2) 固有周期 3.0 秒、3) 限界変位 700mm(使用範囲 560mm)、を目標性能に設定した。

(2) プロトタイプ積層ゴム支承の形状検討

上記の目標性能を満足する積層ゴム支承の形状について、幾何学的非線形を考慮したモデルによる解析的な検討を行い、プロトタイプ積層ゴム支承の形状を以下に示す 2 つに決定した。

A: 外径 600mm、高さ 550mm、ゴム 12.30mm×20 枚=246mm、鋼板 16.0mm×19 枚=304mm

B: 外径 600mm、高さ 550mm、ゴム 10.28mm×29 枚=298mm、鋼板 9.0mm×28 枚=252mm

検討したプロトタイプ積層ゴム支承は、市販されている積層ゴム支承と比較すると、背が高く細長い形状をしており、内部鋼板が厚いものとなっている。従来、積層ゴム支承の座屈安定性は、二次形状係数 S_2 (=ゴム直径/ゴム総高さ) で表され、その値が 3 以下では不安定になるとされているが、計画した A・B 試験体の二次形状係数 S_2 は、それぞれ 2.44 および 2.01 である。また、使用するゴム材料は、天然ゴム系の素材であり、ゴム材料のせん断弾性係数 G は、一般的な建築用の積層ゴム支承に使用されているもの (0.3~0.6N/mm²程度) と比べると硬いもの (設計値 1.2N/mm²) を採用している。面圧は、支持荷重 1960kN とした場合 7.0N/mm² であり、一般的な積層ゴム支承 (5.0~15.0N/mm²程度) とほぼ同等である。

(3) プロトタイプ積層ゴム支承を用いた性能確認実験

A・B 試験体を実大で各 3 体製作し、二軸圧縮せん断試験機を用いた静的載荷実験により、各種の性能確認を行った。実験項目は、1) 鉛直載荷実験、2) 無軸力下の水平載荷実験、3) 軸力下の水平載荷実験、4) 水平方向の破断実験、の 4 つである。これら一連の実験から、以下の結果が得られた。

- ・ 鉛直剛性は、解析的に予想される値よりも高い値が得られた。
- ・ ゴム材料のせん断弾性係数 G は、ほぼ設計値通りの値であると推定できた。
- ・ 水平剛性の実験結果から算定した固有周期は、ほぼ目標通りの値であった。
- ・ 直径に対して大きな水平変形量を与えても、座屈することなく鉛直荷重を安定して支持できることが確認できた。
- ・ 限界変位は、目標性能よりも手前で破断という結果となった。
- ・ 幾何学的非線形を考慮したモデルによって、積層ゴム支承の特性を精度良く評価できることが確認できた。

以上のように、計画したプロトタイプ積層ゴム支承(A・B)は、限界変位について、目標性能を満足できないという結果となった。

ここで、破断状況を考察した結果、プロトタイプ積層ゴム支承の限界変位が、座屈ではなく材料および部材の強度で決まることを確認した。これにより、積層ゴム支承の限界性能は、ゴム材料のせん断ひずみ量だけではなく、部材端部のせん断応力および引張応力も考慮する必要があるという知見が得られた。

(4) 今後の予定

本開発では、ここまでの実験結果を踏まえて、積層ゴム支承の形状について再検討を行った。2014 年末までに形状の改良点について検討し、改良形状について試験体の製作を開始した。

以上のように、2015 年 3 月現在は前述した研究目標 2 の途中段階にいる。今後は、改良した形状について、実験による性能確認を行う予定である。また、目標性能を満足する結果が得られた場合には、部材の大臣認定取得に向けて開発を進めていく予定である。

研究成果の刊行に関する一覧表：

- (1) 西村功, 沼上清, 豊嶋学, 鈴木敏志：限界耐力設計法に対応した免震構造の開発（その 1 開発研究の概要），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp439-440，2014 年 9 月
- (2) 鈴木敏志, 豊嶋学, 西村功：限界耐力設計法に対応した免震構造の開発（その 2 プロトタイプ積層ゴム支承の形状），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp441-442，2014 年 9 月
- (3) 管野洸太, 西村功, 鈴木敏志：限界耐力設計法に対応した免震構造の開発（その 3 積層ゴム支承の基本特性試験），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp443-444，2014 年 9 月
- (4) 鈴木敏志, 豊嶋学：中低層 RC 建物を対象とした免震構造用積層ゴム支承の開発 - プロトタイプ積層ゴム支承を用いた静的載荷実験 - ，東急建設研究所報，No. 40，pp. 29-34，2015 年 2 月
- (5) 滝口祥平, 西村功, 管野洸太, 鈴木敏志：限界耐力設計法に対応した免震構造の開発（その 4 積層ゴム支承の基本特性試験(2)），日本建築学会大会学術講演梗概集，2015 年 9 月(掲載予定・投稿済)
- (6) 管野洸太, 西村功, 滝口祥平, 鈴木敏志：限界耐力設計法に対応した免震構造の開発（その 5 積層ゴム支承の限界変形性能確認試験），日本建築学会大会学術講演梗概集，2015 年 9 月(掲載予定・投稿済)
- (7) 西村功, 沼上清, 豊嶋学, 鈴木敏志：限界耐力設計法に対応した免震構造の開発（その 6 実験結果と数値解析予想の比較および開発 PJ の総括），日本建築学会大会学術講演梗概集，2015 年 9 月(掲載予定・投稿済)

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

なし

成果の実用化の見通し：

3 年間の研究により、限界耐力計算による構造計算のみで、免震構造を設計することのできる免震構造用積層ゴム支承がほぼ完成した。今後は、国土交通大臣の認定を取得すれば、市販できる部品としてメーカーは積層ゴム支承を製造販売することが出来るようになる。今後、建築設計事務所あるいは構造設計事務所への展開を図ることが重要である。

その他：

なし

以上