

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 1 月 13 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560681

研究課題名(和文) 部分免震構造の研究

研究課題名(英文) Investigation of partially isolated structure

研究代表者

西村 功(Nishimura, Isao)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：60328929

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、通常免震構造には不可欠である地下のピットを用いることなく、高層建築物に免震構造と同等の高い減衰性能を与え、かつ、地震時における加速度応答の低減を実現する構造形式について、解析的な検討を行ったものである。5層鋼構造建物の1/30スケールモデルを高精度に制作し、小型振動台を用いた地震波加振実験により、減衰効果と振動数の変化が関連していることを初めて実験で検証した。実験研究と解析検討により、積層ゴム支承と減衰装置を組合せ、柱梁骨組み内部に分散配置する構造形式を詳細に検討した。この構造形式を「部分免震構造」と定義し、特許の出願を行うとともに積層ゴムに必要な部材性能を明らかとした。

研究成果の概要(英文)：The recent data recorded on the event of Tohoku Earthquake in March 11, 2011 have been recognized as a shock to the society of civil engineers who have worked with application of damping augmentation project for tall buildings. Because the recorded data showed little damping effect in spite of the excellent performance expected from the pre-analytical prediction. This research investigated a new structural frame with damping devices along with laminated rubber bearings. Analytical research clarified the required specification of laminated rubber bearings that are quite different from the conventional base isolation bearings. Further research is necessary for realizing the device for partially isolated frame structure.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造

キーワード：免震構造

1. 研究開始当初の背景

大地震に対する建築構造物の耐震性能を向上させる手段としては、免震構造が有力であるが、固有周期が長くなるため変形が増大することが欠点である。一方、減衰装置を建物構造物内部に設置することで地震応答を低減する手法があり、一般的には制震構造と呼ばれているが、減衰性能を大きく向上させることは難しく、応答せん断力の低減効果は少ない。本研究は、大地震に際し応答せん断力と応答変形の双方を大幅に削減できる高耐震構造システムを提案する。

表1 部分免震構造の目標性能

<p>□ 耐震構造</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高い水平耐力が必要</li> <li>2. 高い水平剛性が重要</li> <li>3. 塑性変形能力が必要</li> </ol>
<p>□ 免震構造</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 応答せん断力の低減が可能</li> <li>2. 長周期の振動系</li> <li>3. 大きい水平変形能力が必要</li> </ol>
<p>■ 部分免震構造 (新構造システム)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 応答せん断力の低減が可能</li> <li>2. 短周期の振動系</li> </ol>

2. 研究の目的

(2.1) 基本的なアイデア 1

**免震構造用積層ゴムの安定理論**

本研究の研究代表者は 2002 年ごろより免震構造用積層ゴム支承の座屈安定性について全く新しい非線形理論に基づく理論研究を行った。その後、実験室での確認実験を経て、水平変形量が増大しても座屈が発生しないという常識を覆すような曲げせん断座屈理論を完成させた。この理論に基づき、超小型の戸建免震構造用積層ゴム支承を実用化した。この技術開発は、2009 年度の日本免震構造協会の技術賞を受賞している。小型で剛性と減衰を比較的自由に設定できる部材が開発されたことで、振動モードの位相を変化させることが可能となった。本提案では、この積層ゴム支承を基礎免震部材として用いるのではなく、小型で変形性能が高いという特徴を生かし、高層ビルの中間層に分散配置することでモード形を制御する構造 (部分免震構造) を提案する。



図1 免震構造の振動台実験

(2.2) 基本的なアイデア 2 :

**アクティブ型動吸振器の制御理論**

本研究の研究代表者は 1990 年代に、米国南カリフォルニア大学において、アクティブ振動制御を応用し多層の骨組み構造物のモード制御を行うことで、極めて大きな振動制御効果が得られることを理論的に示し、動的な小型模型による振動実験により、これを検証した。この研究は、もともと動吸振器の質量を大きくすることで建物内部を動吸振器と主振動系に別けて、応答低減を達成するアイデアに基づくものであった。もしも、建物構造物の 1 次振動系に動吸振器に見られるような位相の遅れを導入することができれば、せん断力応答を大きく削減することが可能である。しかし、当時は、このアイデアを実現するためにはアクティブ制御によって構造パラメータを変動させる以外に手法が存在しなかった。

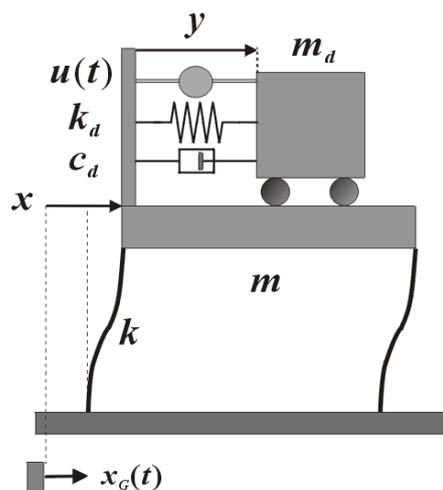


図2 アクティブ型動吸振器の制御理論

### (2.3) 部分免震構造の提案

本研究提案では、高層ビル（鋼構造）を対象として試設計を行い、部分免震構造とした場合に、必要となる部材性能を明らかとする。本研究で提案する新しい構造形式は、積層ゴム支承に荷重支持能力と減衰性能、さらに水平剛性（比較的大きい）を付与し、これらを構造物の一部に配置することで、右図に示すような建築構造の1次振動モードを実現する。この結果、せん断力応答が大きく削減できる。このような構造形式を本研究では、**部分免震構造**と定義する。数値解析検討によって、変形性能、エネルギー吸収性能、荷重支持能力、座屈荷重の限界、などの部材に必要な性能を明らかにする。

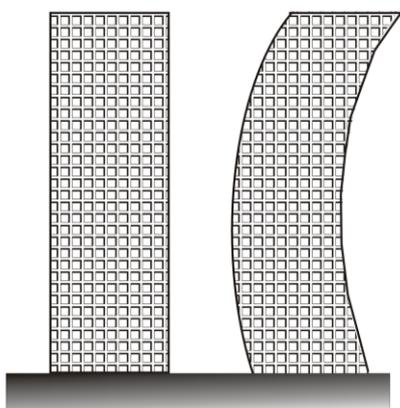


図3 部分免震構造の振動形状

## 3. 研究の方法

### (3.1) 鋼構造詳細模型を用いた振動台実験

まず、建築構造骨組みに減衰装置を配置することによって減衰性能がどのように変化するかを実験的に考察した。この結果、減衰装置の減衰係数を変化させると、固有周期も変化すること、固有周期の変化が大きければ減衰効果も大きいこと、減衰係数には最適値があることなどを実験によって追試することができる。これらの定性的現象は以前から知られており、減衰装置の軸剛性がこれらの現象に大きな影響を与えるものと考えられていた。しかし、軸剛性が建物モデルの剛性と比較して無限大と考えられるような実験を行っても、結果には大きな影響がなかった。このことから、減衰性能を増大させるためには、減衰装置の個別の性能よりも配置計画が減衰性能に与える影響の方が大きいことがわかった。また、少ない減衰装置で効果を生み出すためには、建物剛性の変化が大きくなるような配置計画が重要であることも実験によって判明した。



図4 鋼構造詳細模型による振動実験

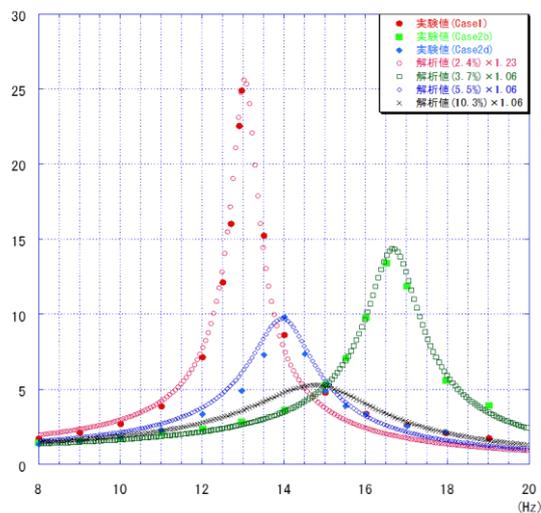


図5 実験によって判明した限界減衰率

### (3.2) 解析研究による限界減衰の特定

実験結果を解析的に説明するために、制御理論を応用した解析検討を行い、なぜ、建築構造物への減衰効果が限られてものであるか、また、限界減衰の値を推定することも可能となった。限界減衰が推定できるモデルができたため、なぜ、減衰装置の効果が少なかったのか理由を示すことができるようになった。

この結果、限界減衰をどうすれば上昇させることができるかモデル上でその方法が明らかとなった。減衰装置の軸剛性は必ずしも性能を全て代表していることはなかったことも判明した。

#### 4 研究成果

##### (4.1) 研究による新たな知見

小型模型を用いた振動台実験により判明した現象は、下記のとおりである。

(1) 減衰率を向上させるためには、振動数も同時に変化させなければならない。

(2) 振動数が変化しない場合は、減衰率が上昇することはない。

(3) 減衰係数を過度に増大させると、減衰率は上昇せず、振動数のみが增大することもある。

これらの研究結果は、解析的には予想されてきたことであるが、実際に実験室にて観測されたことは初めてである。なぜなら、実験室で行う小さな模型を用いると、減衰係数の増大は常に減衰率の増大と等しくなることが多いからである。本実験研究では、材料としてスチレンボードを用いたために、小型の模型であっても減衰係数の増大と振動数の増大が直接的に関係していることを確かめることが出来た。

振動現象は普通、2階の常微分方程式によって記述されるが、その場合は減衰率の増大と振動数の変化は直接的に関係しない結果が得られる。

従って、既往研究で一般的に用いられる動的解析モデルでは、建築構造物のような複雑な構造物の動的挙動をモデル化することは不適切だったのである。

##### (4.2) 部分免震構造の新たな提案

実験研究の成果を素直に認めるならば、減衰装置の設置によって建物構造物の振動数を大きく変化することが可能な場合は、減衰効果も大きくなると予想される。

そこで、図6に示す部分免震構造を新たに提案し、この構造の特許を出願した。

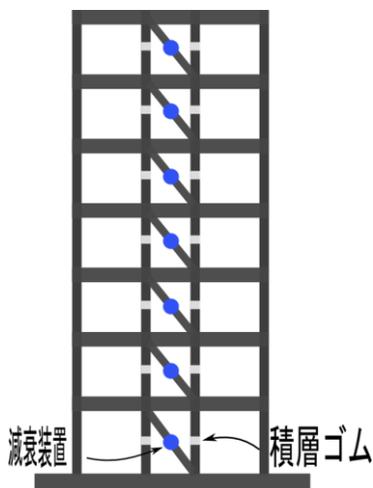


図6 部分免震構造の基本システム

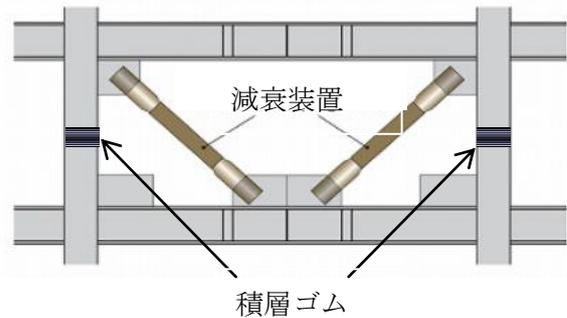


図7 部分免震構造の減衰装置部分詳細

#### 5. 今後の課題

1. 積層ゴムと減衰装置を組み合わせた部分免震構造の構造性能評価を、解析方法を高度化することにより正確に行うこと
2. 部分免震構造を実現するための積層ゴム支承の開発を行うこと

以上2点が今後の課題である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：部分免震構造

発明者：西村 功

権利者：学校法人 五島育英会

種類：特許

番号：特願 2014-243860

出願年月日：2014年12月2日

国内外の別：国内

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

西村 功 (Nishimura Isao)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：60328929

##### (2) 研究分担者

なし