

機関番号：11301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20360246

研究課題名 (和文) 性能可変オイルダンパーにより長周期巨大地震時の免震建物過大变位を抑制する技術開発

研究課題名 (英文) Development of variable oil dampers on base-isolated structures to reduce the extremely large displacement for long-period huge earthquakes

研究代表者

井上 範夫 (INOUE NORIO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50250725

研究成果の概要 (和文)：

戸建免震住宅を対象に、免震層変位に対応して減衰性能が変化する性能可変オイルダンパーを開発し、その性能確認実験を実施した。性能確認実験結果を受けて、戸建免震住宅に対する有効性を、振動実験と数値解析の両面から検討した。さらに、地震動の入力レベルごとに設計クライテリアを設定し、入力動のレベルごとの設計可能性を検討した。その結果、性能可変オイルダンパーを用いることで、複数の地震入力動に対して同時に、従来の減衰要素と比べて上部構造の加速度応答の上昇を抑制しつつ、免震層変位を低減することが可能であることを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

Variable oil dampers are considered for the base-isolated detached houses. The dynamic experiments are conducted to know the performance of the damper. And the shaking table tests and numerical analyses are conducted to study the advantage of the proposed damper. The results show that the proposed damper can reduce the maximum displacement well.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	9,500,000	2,850,000	12,350,000

研究分野：建築学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：性能可変ダンパー、免震建物、長周期巨大地震、過大变位、応答抑制

## 1. 研究開始当初の背景

兵庫県南部地震の後、病院、公共建物、共同住宅、戸建住宅などの新築建物や歴史的建造物などの耐震補強に免震構造が多く適用されるようになった。免震建物の耐震性は、動的解析や告示に準拠して、極めて稀な地震に対しても上部建物は許容応力度以内に収めることが多く、一般建物に較べて耐震性が

高いといわれている。しかしながら、もし、設計で想定されている地震動を上回るレベルの地震動がきた場合には、免震層に過大な応答変位が生じて、擁壁に衝突するなど免震装置の限界変形を上回る可能性がある。その場合には、上部建物に大きなパルスが生じることになり、免震建物でありながら、大きな加速度とせん断力が生じてしまう。

このような問題の対策としては、免震装置を大きくし、免震層の擁壁とのクリアランスを大きくすることが有効だが、国土の狭い日本では隣地との境界の関係で大きくは取れないことも多い。特に、戸建住宅では敷地の関係や免震装置の関係で小さな値の場合が一般的である。この問題を解決するには、応答変位を低減させるための十分な量のダンパーを設置すればよいが、過大な減衰を付与すると応答加速度が大きくなり、免震建物としての性能が低下してしまう。

このような状況に鑑みて、地震応答変位に応じて減衰性能を機械的に変化させる性能可変オイルダンパーを新たに考案された。これを免震層に設置することで、通常の設計で想定している極めて稀な地震に対しては通常の性能を持つオイルダンパーとして機能して免震性能を十分発揮させ、想定を超える巨大地震によって想定レベルの応答変位を超える場合には機械的に減衰性能を大きくさせて、過大応答変位を抑制しようとするものである。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の2つの研究項目を掲げ、段階的に実施した。

(1) 性能可変ダンパーの縮小モデルを製作して、その性能を振動実験により確認するとともに動的特性をモデル化することを最初の目的とする。つづいて建物を模擬した縮小免震試験体にこのダンパーを設置して振動実験を実施し、応答制御効果を実験的に明らかにする。最終的には、戸建住宅や中高層建物を想定して、実建物レベルでどのような効果があるのかを検証する。

(2) 性能可変オイルダンパーを免震構造物に設置することにより、その非線形性を利用すると地震入力レベル毎に設定したクライテリアを個別に対象とした設計が可能となる。そこで時刻歴応答解析によるパラメトリックスタディによって、性能可変オイルダンパーを用いた免震構造物の設計を検討する。本検討にあたっては最適設計手法を利用することを提案することにより、すべての地震入力レベルにおいて設計条件を満足する性能可変オイルダンパーパラメータを決定できることを示す。また他の一般的な減衰剤との比較から性能可変オイルダンパーの優位性を示す。さらに、戸建免震住宅で提案した設計法を積層ゴム支承免震構造物に適用し、その有効性について検討した。

## 3. 研究の方法

研究は振動台を用いた動的実験と、時刻歴応答解析によって進めた。研究内容は以下の5種類である。

### (1) 性能可変オイルダンパーの開発と性能確認実験

東北大学所有の振動台に性能可変オイルダンパーを取り付けて、単体加振実験を実施した。所定の変位に達すると小型シリンダーが作動して、ダンパーの減衰性能が増大することを確認した。またさまざまなパラメータでの加振実験から、性能可変前と可変後の詳細な性状を明らかにし、これらの結果を基にして性能可変オイルダンパーの解析モデルを作成した。

### (2) 一層鉄骨造免震試験体を用いた振動実験

1層の鉄骨造免震試験体に性能可変オイルダンパーを設置し、振動実験を実施した。実験の結果、性能を可変させない通常のオイルダンパー設置時に比べて性能を可変させた場合には、免震層変位を大幅に抑制できること、また上部構造物の応答加速度の上昇が比較的小さいことを明らかにした。さらにシミュレーション解析結果は実験結果とよく対応し、解析手法および解析モデルの妥当性が確認された。

### (3) すべり支承免震試験体を用いた振動実験

戸建免震住宅を対象とした検討として、性能可変オイルダンパーの縮小モデルを旭化成技術研究所が作成したすべり支承免震試験体に設置し、振動実験を実施した。また、振動実験結果とシミュレーション解析結果を比較し、解析モデルの妥当性を検討した。

### (4) ユニフロー式性能可変オイルダンパーの開発

ダンパーストロークの確保が難しい戸建免震住宅への適用を目的として、すでに開発した性能可変オイルダンパーを改良し、ユニフロー式性能可変オイルダンパーを開発した。これは従来の性能可変オイルダンパーと比較して短い材長で大ストロークの確保を可能にするものである。実物大のユニフロー式性能可変オイルダンパーを作成し、振動台実験によってその性能を明らかにした。

### (5) 性能可変オイルダンパーを設置した免震建物の設計法構築

戸建免震住宅を想定した解析モデルに性能可変オイルダンパーを設置した場合の、性能可変オイルダンパーの性能に関して検討した。ここでは、レベル1,2,3の地震入力レベルごとに設計クライテリアを設定し、それらすべてを満たすような性能可変オイルダンパーの設計パラメータを求めるために、最適設計手法を利用した。解析モデルは、性能可変オイルダンパー付転がり支承免震住宅と、性能可変オイルダンパー付すべり支承免震住宅の2種類である。

#### 4. 研究成果

前述の5項目の成果は以下の通りである。

##### (1) 性能可変オイルダンパーの開発と性能確認実験

実験結果から、開発したダンパーは所定の変位に達すると小型シリンダーが作動して、ダンパーの減衰性能が増大することを確認した。またさまざまなパラメータでの加振実験から、性能可変前と可変後の詳細な性状を明らかにし、これらの結果を基にして性能可変オイルダンパーの解析モデルを作成した。

##### (2) 一層鉄骨造免震試験体を用いた振動実験

性能を可変させない通常のオイルダンパー設置時に比べて性能を可変させた場合には、免震層変位を大幅に抑制できること、また上部構造物の応答加速度の上昇が比較的小さいことを明らかにした。シミュレーション解析結果は実験結果とよく対応し、解析手法および解析モデルの妥当性が確認された。

##### (3) すべり支承免震試験体を用いた振動実験

実験の結果、ダンパー力-変形関係およびダンパー力-速度関係を考察すると、オイルダンパーの性能変化によりダンパー力が上昇し、速度に対し2折れ線型となっていることが確認できる。しかし、使用したダンパーのスケールがすべり支承試験体に比べて小さいため、ダンパー力に比べてすべり支承の摩擦力がかなり大きくなっており、性能可変による効果は小さかった。この問題点に関しては、次節のオイルダンパー開発において解消を目指した。

また時刻歴応答解析により、振動実験結果と解析結果はよい対応を示していることがわかった。さらに、振動実験と同じ条件の試験体に実大ダンパーを想定した場合、免震層変位が大幅に低減されることが確認された。さらに、性能可変オイルダンパーの性能可変に関わるパラメータを改善することで、より大きな変形低減効果が得られることがわかった。

##### (4) ユニフロー式性能可変オイルダンパーの開発

ユニフロー式性能可変オイルダンパーの力学的特性を把握するため、単体加振実験を行った。その結果、所定の変位に達すると小型シリンダーが作動して、ダンパーの減衰性能が増大することを確認した。

戸建免震住宅を想定したすべり支承免震試験体を用いた振動実験では、実験結果のダンパー力-速度関係は2折れ線型を示しており、想定した特性が確認できた。シミュレーション解析結果と実験結果はよい対応を示した。

##### (5) 性能可変オイルダンパーを設置した免震建物の設計法構築

##### ① 性能可変オイルダンパー付転がり支承免震住宅における検討

まず同じモデル建物に既存のオイルダンパーを用いた場合を検討したところ、設計クライテリアを満たすことはできなかった。それに対して、最適設計手法を利用して求めたダンパーパラメータを用いることで、転がり支承免震住宅に適切なパラメータを設定した性能可変オイルダンパーを設置することにより、Lv. 1、Lv. 2地震動入力時の応答加速度を抑えつつ、Lv. 3地震動入力時の免震層変位も抑制可能であることを確認した。

##### ② 性能可変オイルダンパー付すべり支承免震住宅における検討

解析結果から、性能可変オイルダンパーを付加することにより、応答加速度や層間変形角がわずかに増加しているが免震層変位を抑制し、設計条件を満足している。以上より、性能可変オイルダンパーをすべり支承免震住宅に設置することにより、転がり支承免震住宅の場合に比べ応答加速度の上限値を緩和し大きく設定する必要はあるものの、設計可能であることを示した。

以上の検討結果から得られた所見は以下の通りである。

性能可変オイルダンパーを開発し、その性能確認のために動的実験を実施した。その結果、開発したダンパーは所定の性能を発揮すること、性能変化メカニズムに問題はないことがわかった。さらに開発したダンパーをユニフロー型性能可変オイルダンパーに改良したが、同じく所定の性能等を発揮することもわかった。

戸建免震住宅に性能可変オイルダンパーを導入した場合の、免震効果の検討を実験的および解析的に検討した。その結果、性能可変オイルダンパーを用いることで、免震層変位を抑制しつつ、上部構造の応答加速度を従来のダンパーと比べて低減できることが明らかになった。

地震入力動の入力レベルごとに設計クライテリアを設けた場合の検討を、最適設計手法を利用して行った。その結果、性能可変オイルダンパーを適切に設計することで、地震動レベルごとに戸建免震住宅の設計が可能であることがわかった。

#### 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2件)

1. 根本真孝、五十子幸樹、池永昌容、井上範夫：戸建住宅における性能可変オイル

- ダンパーを用いた免震システムの設計法、日本建築学会構造系論文集、第 660 号、pp. 291-300、2011. 2、査読有
2. 田部井直哉、堀則夫、井上範夫：性能可変オイルダンパーの開発および免震構造物への適用性、日本建築学会構造系論文集、第 636 号、pp. 259-266、2009. 2、査読有

〔学会発表〕(計 11 件)

1. 根本真孝、渡辺真司、池永昌容、五十子幸樹、井上範夫：最適設計手法を用いた性能可変オイルダンパー付き免震住宅の設計 その 1 性能可変オイルダンパー概要および解析条件、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 355-356、2010. 9. 11、富山
2. 渡辺真司、根本真孝・池永昌容・五十子幸樹・井上範夫：最適設計手法を用いた性能可変オイルダンパー付き免震住宅の設計 その 2 解析結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 357-358、2010. 9. 11、富山
3. 渡辺真司、根本真孝、池永昌容、五十子幸樹、井上範夫：ユニフロー式性能可変オイルダンパーを用いた免震構造物の変位制御設計、日本建築学会東北支部研究報告集、構造系、第 73 号、pp. 93-96、2010. 6. 20、山形
4. 根本真孝、渡辺真司、池永昌容、五十子幸樹、井上範夫：最適設計手法を用いた性能可変オイルダンパー付き免震住宅の設計、日本建築学会東北支部研究報告集、構造系、第 73 号、pp. 137-140、2010. 6. 20、山形
5. 田部井直哉、根本真孝、堀則夫、井上範夫：性能可変オイルダンパーを用いた木造戸建免震住宅の地震応答制御、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 889-890、2009. 8. 29、仙台
6. 根本真孝、堀則夫、五十子幸樹、井上範夫、中田信治、花井勉：すべり支承免震構造物の過大応答変形抑制に関する実験的研究 その 1 性能可変オイルダンパーを設置した場合、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 881-882、2009. 8. 29、仙台
7. 根本真孝、田部井直哉、井上範夫、堀則夫：性能可変オイルダンパーを用いた木造戸建免震住宅の地震応答制御、日本建築学会東北支部研究報告集、構造系、第 72 号、pp. 145-148、2009. 6. 21、福島
8. S. Mehdi Dehghan B., Norio Hori, Norio Inoue: Study on Base Isolated Structure with Variable Oil Damper, Proceedings, 14th WCEE, Beijing, CD-ROM Paper-ID 05-06-0034. 2008. 10. 15、中国・北京

9. 相馬直樹、吉田崇秀、田部井直哉、堀則夫、井上範夫：性能可変オイルダンパーの開発および免震構造物への適用性 その 1 ダンパー基本特性および単体加振実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 411-412、2008. 9. 19、広島
10. 田部井直哉、吉田崇秀、相馬直樹、堀則夫、井上範夫：性能可変オイルダンパーの開発および免震構造物への適用性 その 2 免震試験体の振動実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 413-414、2008. 9. 19、広島
11. 吉田崇秀、田部井直哉、相馬直樹、堀則夫、井上範夫：性能可変オイルダンパーの開発および免震構造物への適用性 その 3 木造免震住宅への適用、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 II、pp. 415-416、2008. 9. 19、広島

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：  
〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井上 範夫 (INOUE NORIO)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：50250725

### (2) 研究分担者

堀 則夫 (HORI NORIO)  
東北工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：60292249

### (3) 連携研究者

( )  
研究者番号：