

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760412

研究課題名（和文）巨大地震時におけるすべり支承免震建物の擁壁衝突防止をめざした設計法の提案

研究課題名（英文）A design method for the prevention of collision to retaining wall of sliding-isolated structures under extreme seismic events

研究代表者

池永 昌容（IKENAGA MASAHIRO）

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50552402

研究成果の概要（和文）：

本研究では、設計で想定されている地震動を上回る巨大地震動や、長周期地震動を免震建物が受けた場合の、免震層と基礎擁壁部との衝突防止を目的としている。研究成果としては、本設計法で用いる連結機構摩擦ダンパーの特性を振動実験でまず確認した。その後、すべり支承を有する 3 層すべり支承免震住宅に関する数値解析による検討の結果、連結機構摩擦ダンパーを用いることで、巨大地震時にも安全な免震構造を実現できることを示した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to prevent the collision to the retaining wall of sliding-isolated structure under the extreme seismic events and long period ground motion. In this study we consider the sliding-isolated detached houses. To enhance the performance of the isolated layer, the friction damper with coupling mechanism is used. First from shaking table tests, the behavior of the sliding-isolated structure incorporated with the friction damper with coupling mechanism is researched. The result shows that the analysis can simulate the test result in good accuracy and the additional damper can reduce the displacement of the isolation layer. Second a series of analysis is conducted using the 3-story detached houses with the sliding isolation system and the proposed damper. The result shows that the optimum design method can realize the design procedure for the good performance of slide-isolated structure under the extreme seismic events.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：構造制御、免震構造

### 1. 研究開始当初の背景

兵庫県南部地震以来、病院・公共建物・共同住宅や戸建住宅などの新築建物、また歴史的建造物に代表される既存建物の耐震補強に免震構造が数多く用いられるようになった。免震構造の特徴は、建物基礎部に水平剛性が低い免震層を設置することで、強地震動時に上部構造に作用する水平力を低減することである。ただし、免震層には大きな変位が生じるため、基礎擁壁部と免震建物との間にクリアランスを設けて両者の衝突を防いでいる。しかしながら、近年注目を集めている長周期地震動では免震建物が共振する可能性が高く、また設計で想定されている地震動を上回るレベルの巨大地震動を受けた場合、免震層に過大な応答変位が生じて、基礎擁壁部と免震建物が衝突する可能性がある。

### 2. 研究の目的

戸建住宅免震では低コスト化のためすべり支承が多く用いられている。すべり支承は摩擦力で減衰効果を発揮しているが、免震層変位に関係なく摩擦力がほぼ一定であるため、過大変形時には等価な減衰定数が低下して、クリアランスを超える大変形が生じてしまう危険性が考えられる。

免震層の応答変位を低減させるために減衰能力を高めると、免震性能は低下してしまう。そこで、本問題の解決手法として、ある設定した変位までは機能せず、設定変位を超えた場合に復元力を発揮し、大変形に対するストッパーの役目を果たす装置の効果を検証し、巨大地震時の免震構造物の安全性確保を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、巨大地震時に免震層変位を抑制する装置として、図1に示す連結機構摩擦ダンパーを用いる。連結機構摩擦ダンパーは、設定クリアランスより小さい変位時にはダンパー力を発揮せず、変位が設定クリアランスを超えると連結部が連結することで、その後は摩擦ダンパーとして機能する。

本研究では、すべり支承免震建物を対象に、連結機構摩擦ダンパーを免震層に導入し、その効果を検証するために、以下の項目の件検討を実施した。

#### (1) すべり支承を有する1層免震建物の挙動把握（動的実験）

図2に示すすべり支承を有する免震1層試験体と連結機構摩擦ダンパーを用いて、振動実験を行った。そして、実験結果と事前のシミュレーション解析結果を比較検討し、解析モデルの妥当性およびその修正を試みた。

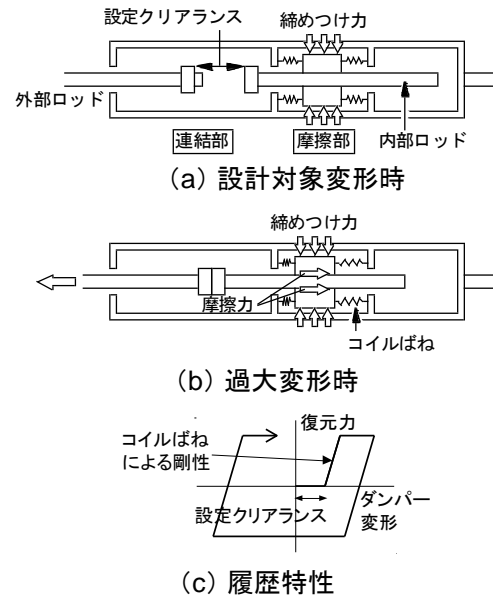


図1 連結機構摩擦ダンパー

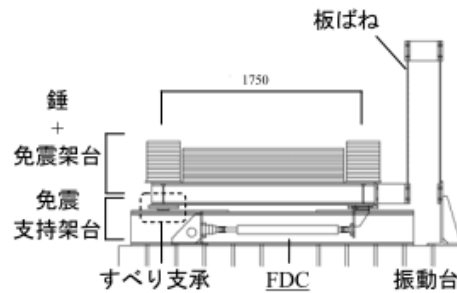


図2 振動実験試験体の立面図

#### (2) すべり支承を有する3層すべり支承免震住宅に関する検討（数値解析）

図3に示す3階建てのすべり支承免震住宅を対象に、地震動入力レベルを3種類設定しそれぞれのレベルごとに設計クライテリアを設けた。その設計条件を満たす連結機構摩擦ダンパーの設計をするために、最適設計手法を利用して設計解が存在するかを検討した。

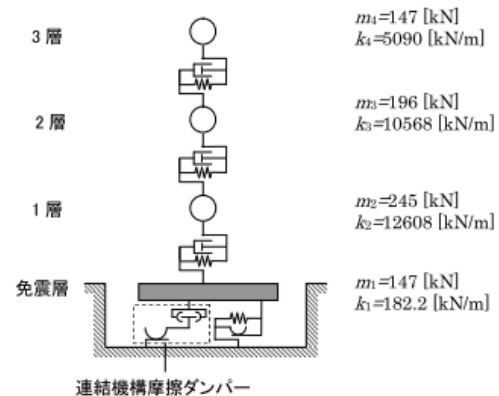


図3 3層すべり支承免震建物の解析モデル

(3) 連結機構摩擦ダンパーを複数台設置した場合の、多段連結機構摩擦ダンパーの有効性と設計法提案（数値解析）

厳しい設計クライテリアに対してもすべり支承免震住宅の設計を可能とするための検討として、3つの地震動入力レベルをそれぞれ対象とした複数台の連結機構摩擦ダンパーを設置し、地震入力レベルごとにより詳細な設計を可能とする、多段方式連結機構摩擦ダンパーを検討した。多段方式連結機構摩擦ダンパーの履歴挙動を図4に示す。設定クリアランス  $L_{s1}$  以上の免震層変位に対してはまず1台目のダンパーが作動し、その後より大きな設定クリアランス  $L_{s2}$  以上の変位が生じると、2台目のダンパーが作動する。

本研究では、2台の連結機構摩擦ダンパーに対して、最適設計問題を各地震動ごとに段階的に設定して順次解いていく、段階的最適設計問題を設定し、多段連結機構摩擦ダンパーの諸元を設定した。

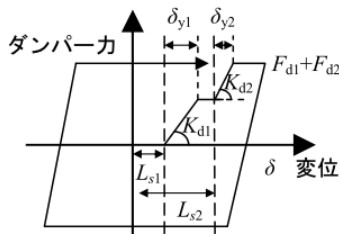


図4 多段方式連結機構摩擦ダンパーの履歴挙動

#### 4. 研究成果

前節で述べた研究内容に関して項目別研究成果を示す。

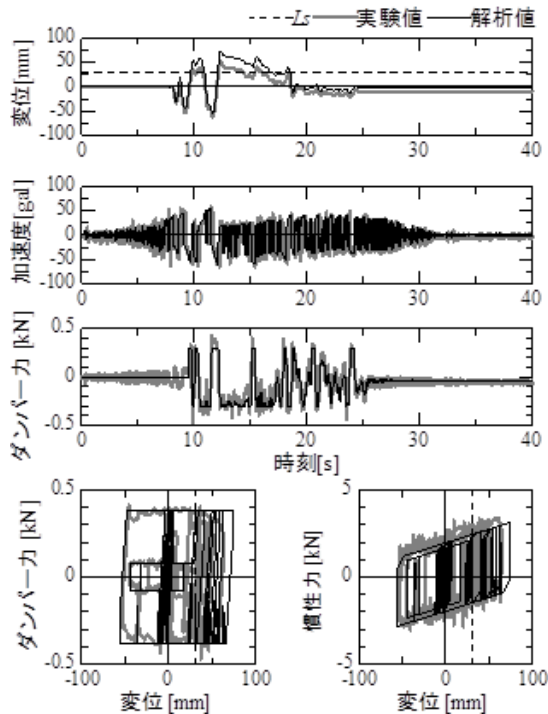


図5 実験結果と解析結果の比較

(1) すべり支承を有する1層免震建物の挙動把握（動的実験）

動的実験の結果、すべり支承を有する1層免震建物の挙動はシミュレーション解析モデルとよく対応すること、また用いた実設計でも利用されるすべり支承の挙動は非常に安定していること、連結機構摩擦ダンパーが免震層変位抑制効果を有することを確認した（図5）。この結果を下に、研究項目2, 3では数値解析によるすべり支承免震建物を検討した。

(2) すべり支承を有する3層すべり支承免震住宅に関する検討（数値解析）

図6に、入力地震動に1978年宮城県沖地震の東北大観測波と一般的に設計で用いられる標準3波を、最大速度0.75m/sに基準化した4波における解析結果を示す。ここでは、連結機構摩擦ダンパーを導入した場合の設計目標として、最大応答変位を250mm以下とするようにしたが、図に示すように全ての地震動において、ダンパーがない場合には最大応答変位が250mm以上であるが、ダンパーを導入することで250mm以下に収まっている。ただし、ダンパーを導入することで、最大応答加速度が若干増大している。

図7に、最大応答変位の設計目標（図中の免震層クリアランス）を解析変数とした時の、ダンパーを導入した場合における、上記4波のうちでの最大応答変位と最大応答加速度との関係を示す。設計目標が小さくなるほど、それを満たすためにはダンパー摩擦力と弾性バネ剛性が大きくなる必要があり、また最大応答加速度が大きくなっている。このように、設計目標を厳しくすることで、最大応答加速度が増大し、免震効果が低減するというトレードオフの関係性が確認された。

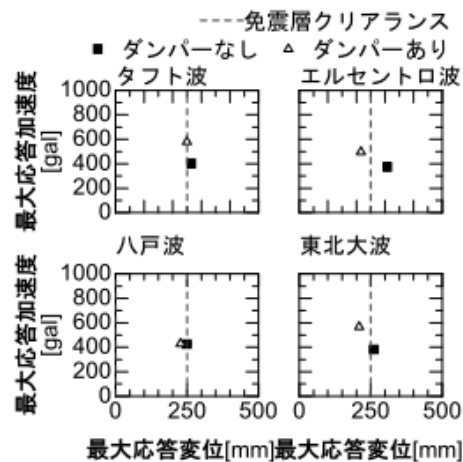


図6 3層すべり支承免震住宅の解析結果

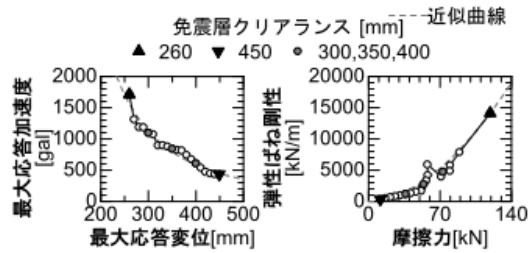


図 7 設計目標ごとの最大変位と最大加速度の関係

(3) 連結機構摩擦ダンパーを複数台設置した場合の、多段連結機構摩擦ダンパーの有効性と設計法提案（数値解析）

多段方式連結機構摩擦ダンパーにおいては、表 1 に示す設計目標を設けた

表 1 設計目標

地震レベル	最大変位 [m]	最大加速度 [m/s <sup>2</sup> ]	層間変形角 [rad]
レベル2	0.35	3.5	1/200
レベル3			1/100

多段方式においては、まず 1 段目ダンパーの設計として、レベル 2 地震動時に作動させることを検討し、その後 2 段目ダンパーがレベル 3 地震時に初めて作動するように、各ダンパーの設定クリアランスを決定させるとともに、各ダンパー力、弾性バネ剛性を最適設計手法を用いて決定した。

図 8 に多段方式連結機構摩擦ダンパーを設計した場合の、レベル 3 地震動入力時の解析結果を示す。1 段目ダンパーのみ作動した場合についても併せて示している。連結機構摩擦ダンパーを 1 段もしくは 2 段設置することで、それぞれの地震動において免震層変位がダンパー無しの場合と比べて小さくなっている。

図 9 に解析結果のうちで Taft 波と鷹取波の最大応答変位と最大応答加速度の関係を示す。1 段連結の場合には、鷹取波における免震層変位が設計目標の最大応答変位 0.35m を満たしていないが、2 段連結の場合には最大応答変位と最大応答加速度をそれぞれ満たしている。

これらの結果から、多段方式連結機構摩擦ダンパーによって、1 段のみの連結機構摩擦ダンパーでは不可能であった厳しいすべり免震支承住宅の設計クライテリアを満足させることができる設計が可能であることを明らかにした。

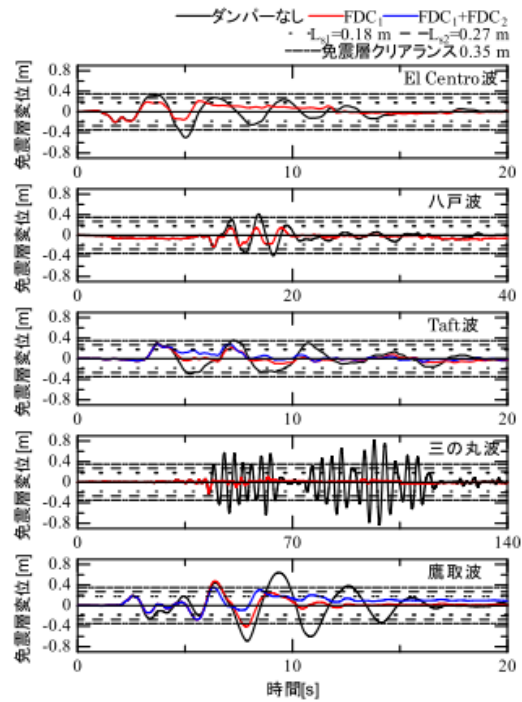


図 8 解析結果の免震層変位時刻歴

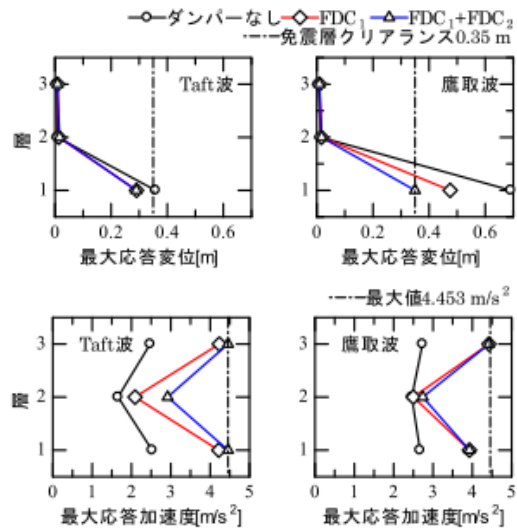


図 9 各入力地震動での最大応答値

### 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 6 件)

1. 幸山寛和、池永昌容、全昌龍、五十子幸樹、福見祐司、井上範夫、連結機構摩擦ダンパーを用いた免震構造物の巨大地震時過大変位制御設計、日本建築学会、2011年 8 月 23 日、東京

2. 福見祐司、全昌龍、幸山寛和、池永昌容、

五十子幸樹、井上範夫、連結機構摩擦ダンパーを用いたすべり支承免震構造物の変位抑制に関する検討 その1 連結機構摩擦ダンパー概要および地震波加振実験、日本建築学会、2011年8月23日、東京

3. 全昌龍、福見祐司、幸山寛和、池永昌容、五十子幸樹、井上範夫、連結機構摩擦ダンパーを用いたすべり支承免震構造物の変位抑制に関する検討 その2 巨大地震時の応答性状に関する解析的検討、日本建築学会、2011年8月23日、東京
4. 福見祐司、全昌龍、幸山寛和、池永昌容、五十子幸樹、井上範夫、連結機構摩擦ダンパーを用いたすべり支承免震構造物の変位抑制に関する検討、日本建築学会東北支部、2011年6月26日、秋田
5. 全昌龍、幸山寛和、池永昌容、五十子幸樹、井上範夫、連結機構摩擦ダンパーを用いた免震構造物の巨大地震時過大変位制御設計、日本建築学会東北支部、2011年6月26日、秋田
6. 幸山寛和、池永昌容、五十子幸樹、井上範夫、連結機構摩擦ダンパーを用いたすべり支承免震構造の過大変形抑制と応答性状把握、日本建築学会東北支部、2010年6月19日、秋田

[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

池永 昌容 (IKENAGA MASAHIRO)  
東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50552402

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：