

令和元年5月13日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06564

研究課題名(和文) 巨大地震に対するRCパッシブ制振建物-地盤連成系の非線形最適制御設計法の開発

研究課題名(英文) DEVELOPMENT OF A NONLINEAR OPTIMAL CONTROL DESIGN METHOD OF RC PASSIVE VIBRATION CONTROL BUILDING AND SOIL COUPLED SYSTEMS AGAINST HUGE EARTHQUAKES

研究代表者

白井 和貴 (SHIRAI, Kazutaka)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：20610968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉄筋コンクリート造(RC)のパッシブ制振建物と地盤の連成系を対象とし、巨大地震に対する最適な制御設計手法の構築に取り組んだ。下部にスウェイ・ロッキング(SR)動を考慮した制振構造の振動台実験、SRモデルおよびPenzien型の多質点系モデルを用いた地震応答解析を実施し、RC制振建物の最適ダンパー特性について検討した。これらの結果、地盤条件、ダンパー支持材剛性、地震波入力レベル等の違いによって、地震応答を最小化する最適ダンパー耐力が変化することを示した。さらに、伝達関数に基づき最適ダンパー値を理論的に評価する手法について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、地盤の影響を考慮した非線形パッシブ制振構造の最適制御設計について検討を行った。地盤の影響と非線形系の最適制御設計の両方にまたがる既往研究はこれまでに少なく、これに踏み込んだことが本研究の学術的特色といえる。本研究の結果、パッシブ制振構造の設計の際に建物と地盤の動的相互作用の影響を適切に考慮することの重要性が示された。本研究で得られた成果は、地盤の影響を適切に考慮した合理的・効率的・簡易な制振設計の実現を通して将来の地震被害軽減に貢献することを期待している。

研究成果の概要(英文)：This study focused on an optimal control design method for vibration control building structures whose main frames are reinforced concrete with passive dampers considering soil-structure interaction. A series of shaking table tests using a vibration control structure specimen incorporating a simple friction device with a sway-rocking mechanism under the superstructure were conducted. Nonlinear earthquake response analysis using fixed-base, sway-rocking, and Penzien type model was also conducted to determine the optimal damper characteristics of RC vibration control structures. As a result, it was shown that the optimal damper sliding force which minimized the peak response varied depending on the ground condition, the stiffness of the damper supporting member, the seismic wave input level, and so on. Furthermore, a method to theoretically evaluate the optimal damper characteristics based on the transfer function was examined.

研究分野：構造工学

キーワード：パッシブ制振構造 地震応答 最適ダンパー 建物と地盤の動的相互作用 スウェイ・ロッキング 鉄筋コンクリート造 履歴ダンパー 振動台実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

将来発生が懸念される巨大地震災害に対する備えは喫緊の課題であり、その対応策の一つにパッシブ制振構造の適用による建築物の耐震性向上が挙げられる。近年、鉄筋コンクリート造 (RC) 建物の主架構内に履歴ダンパー等を設置する RC 制振構造の適用例が増加しつつあり、新築および既存 RC 建物の耐震安全性・機能維持性・資産価値を高める選択肢として位置付けられる。

RC 制振構造には、ダンパー支持材の剛性や主架構の塑性化状況に応じて、制御効果を最良化する最適なダンパー値が存在する。RC 制振構造の設計の際はこのようなパッシブ制振の特性を適切に考慮することが肝要であるが、現状では設計者が経験的・試行錯誤的にダンパー諸元を決定することが多い。そのため、RC 制振構造の特性を反映し潜在能力を最大限に引き出すことを可能にする合理的な評価・設計方法の確立が求められている。

一方、RC 建物では建物と地盤の動的相互作用が地震時の建物応答に及ぼす影響が大きいことが以前から指摘されており、RC 制振構造の性能を評価するうえで地盤の影響を適切に考慮することは重要である。しかし、建物と地盤の動的相互作用の影響まで考慮した RC 制振構造の最適ダンパー特性と最適制御設計法に関しては、既往研究は少なく未解明な点が多い状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、履歴ダンパーを有する RC パッシブ制振建物を対象とし、建物と地盤の動的相互作用の影響を考慮した巨大地震に対する最適な制御設計手法について検討した。具体的な研究目的は、振動台実験および時刻歴地震応答解析による最適ダンパー特性の定量的評価、伝達関数に基づく最適ダンパー評価手法の検討、とした。これらを通して、非線形最適制御設計法の開発に取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) 振動台実験の方法

建物と地盤の動的相互作用を考慮したパッシブ制振構造の振動台実験を実施した。振動台実験の試験体として、摩擦ダンパーを有するパッシブ制振構造とその下部に基礎のスウェイ・ロッキング (SR) 挙動を模擬した機構を組み入れた連成系モデルを使用した (図 1)。試験体のばね材などの各部品を交換することでダンパー支持材剛性やスウェイ剛性などを変化させ、さらに入力地震動の周波数特性や入力レベルを様々に変化させることで、多ケース・多変量の振動台実験を行った。得られた結果に基づいて最適ダンパー特性を分析した。

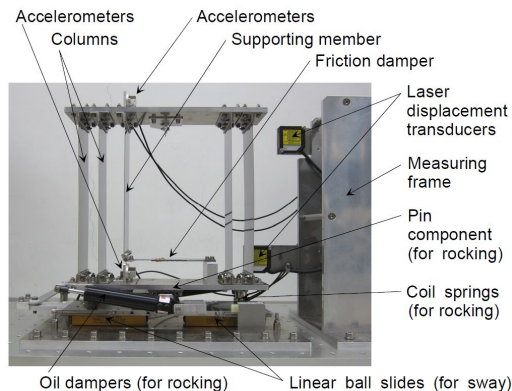


図 1 SR 動を考慮した制振構造試験体

(2) 地震応答解析の方法

質点系の解析モデル (図 2) を用いて非線形時刻歴地震応答解析を行った。解析モデルとして、基礎固定モデル (FIX)、SR 地盤ばね - 制振建物の多質点系モデル (SR)、および Penzien 型の多質点系モデル (Penzien) を用いた。

(1) の振動台実験で用いた SR 制振構造試験体を想定した質点系モデル (FIX、SR) を作成し、地震応答解析を行った。また、実大 RC 制振建物を想定した地盤と建物の動的相互作用を考慮した制振建物の多質点系モデル (FIX、SR、Penzien) による地震応答解析を行った。主架構の特性、地震波のスペクトル特性、地盤や基礎の種類などを変化させた多ケースの解析を行った。得られた結果に基づき最適ダンパー特性について分析した。

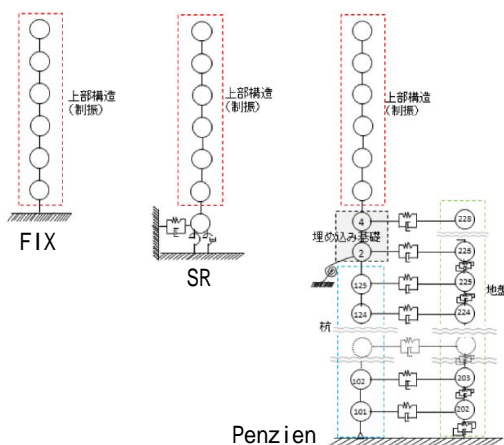


図 2 解析モデル

(3) 伝達関数に基づく理論的検討の方法

基礎の SR 動を考慮した粘性系ダンパーを有する制振構造の質点系振動モデルを用いて、伝達関数に基づく理論的な検討を行った。様々な周波数入力特性 (パワースペクトル密度) に対して、周波数応答の 2 乗平均平方根を最小化する最適ダンパー減衰性状について数値的に分析した。

4. 研究成果

(1) 振動台実験の結果

基礎下部に SR 動を考慮した摩擦ダンパー付き制振構造の振動台実験を実施し最適ダンパー特性を分析した結果から、地盤条件、ダンパー支持材剛性、地震波入力レベル等の違いによって、地震時最大応答を最小化する最適ダンパー耐力が変化する性状を実験的に把握した(図3、図4、図5)。さらに、最適ダンパー値付近で基礎固定(FIX)とスウェイ・ロッキング(SR)の違いにより最大応答 - 最適ダンパー滑り耐力関係の応答曲線に逆転が生じる場合があることが示された。この要因について、実験データに基づいて考察を行った。

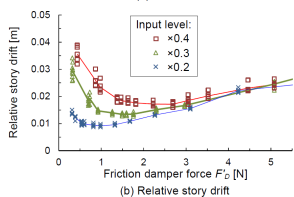
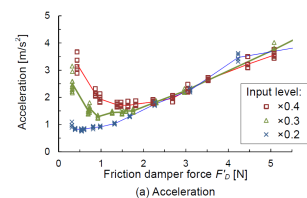


図3 実験結果 (FIX)

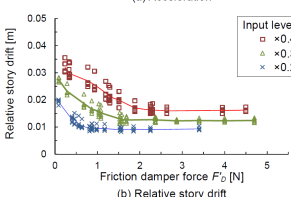
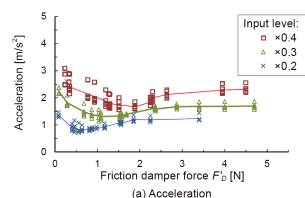


図4 実験結果 (SR)

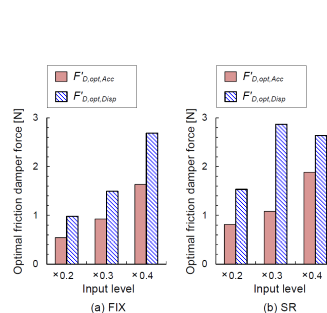


図5 実験結果から得られた最適ダンパー滑り耐力

(2) 地震応答解析の結果

多質点系モデルを用いた地震応答解析により RC 制振建物の最大地震応答を最小化する最適ダンパー特性を数値的に検討した結果、(1)の振動台実験により得られた傾向と概ね同様の性状が得られた。また、最大応答 - ダンパー耐力関係の応答曲線については、最適ダンパー値付近で、FIXとSRで、およびFIXとPenzienで最大応答が逆転する現象が生じる場合があることが示された。また、この応答曲線の逆転現象の程度を定量的・数値的に比較するための評価指標を提案し、その評価指標を用いて応答曲線の逆転現象に影響を及ぼすパラメータについて分析した。

(3) 伝達関数に基づく理論的検討の結果

基礎の SR 動を考慮した制振構造物の連成系モデルを対象とした伝達関数に基づく分析の結果、地動の周波数特性を考慮した重み付き伝達関数の2乗平均平方根に基づく評価手法が、時刻歴解析に依らない最適ダンパー設計手法として有用であることが示された。

これらの(1)(2)(3)の検討を通して、パッシブ制振構造の設計の際に建物と地盤の動的相互作用の影響を適切に考慮することの重要性が示されたと考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

白井和貴、飯田俊郎、藤森健史、スウェイ・ロッキング機構を有する摩擦ダンパー付きパッシブ制振構造の振動台実験に基づく最適ダンパー特性評価、構造工学論文集、査読有、65B、2019、pp.31 - 40

Kazutaka SHIRAI、Akari NAGAOKA、Nami FUJITA、Takeshi FUJIMORI、Optimal Damper Slip Force for Vibration Control Structures Incorporating Friction Device with Sway-rocking Motion Obtained Using Shaking Table Tests、Advances in Civil Engineering、査読有、Article ID 6356497、2019

<https://doi.org/10.1155/2019/6356497>

[学会発表](計5件)

Ika Rahmawati SUYANTO、Kazutaka SHIRAI、Study on Optimum Damping Characteristic of Maxwell Damper Based on Transfer Function Considering Sway-rocking Behavior under Various Power Spectral Density Inputs、Summaries of technical papers of annual meeting Architectural Institute of Japan、2019

釣井陽介、白井和貴、藤森健史、飯場正紀、Penzien 型モデルの地震応答解析に基づく制振建物の最適ダンパー特性 その2 解析結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、2019

白井和貴、藤森健史、飯場正紀、Penzien 型モデルの地震応答解析に基づく制振建物の最適ダンパー特性 その1 解析方法、日本建築学会大会学術講演梗概集、2019

リイモウ、白井和貴、飯田俊郎、藤森健史、飯場正紀、菊地優、建物地盤動的相互作用を

考慮したパッシブ制振構造の最適ダンパー特性に関する実験的研究 その6 中層建物の地震応答解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、2017、pp.689 - 690
藤田菜美、白井和貴、飯田俊郎、藤森健史、菊地優、建物地盤動的相互作用を考慮したパッシブ制振構造の最適ダンパー特性に関する実験的研究 その5 質点系モデルによる地震応答解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、2017、pp.687 - 688

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：飯場 正紀
ローマ字氏名：(Iiba, Masanori)
所属研究機関名：北海道大学
部局名：工学研究院
職名：教授
研究者番号(8桁)：40344006

研究分担者氏名：菊地 優
ローマ字氏名：(KIKUCHI, Masaru)
所属研究機関名：北海道大学
部局名：工学研究院
職名：教授
研究者番号(8桁)：50344479

(2)研究協力者

研究協力者氏名：藤森 健史
ローマ字氏名：(FUJIMORI, Takeshi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。