

## 深層強化学習を用いた多様な地震動に対する セミアクティブ免震システムの学習方法に関する研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○古賀 弘将  
埼玉大学大学院 正会員 齊藤 正人

### 1. はじめに

一般に、免震装置には加速度応答を低減すると変位応答が増大するというトレードオフの関係性が存在する。このトレードオフ関係を克服するために、剛性や減衰を可変にしたセミアクティブ免震が多く開発されてきた<sup>1)</sup>。従来のセミアクティブ免震の多くはLQR制御やH<sub>∞</sub>制御などの最適制御システムにより実装され、これらの制御の伝達関数は制御対象の力学的挙動を数式化することによって求められる<sup>1)</sup>。したがって、従来のセミアクティブ免震機構の複雑性は力学的にモデル化が可能な範囲に限られていた。そこで、本研究では深層強化学習を用いた可変剛性セミアクティブ免震装置を提案する。深層強化学習では入力と出力の関係を導く伝達関数を経験的な学習から決定するため、非線形性の強い複雑な免震機構の実現が可能となる。

### 2. 研究概要

#### (1) 研究目的

地震動応答を最小化する最適な駆動制御を深層強化学習によって導き、周期の異なる多様な地震動を制御可能なAI制御駆動免震装置を実装する。

#### (2) 解析プログラム

本研究の深層強化学習のフレームワークにはPFN社のChainerを用い、解析は物理エンジンpyODE(Open Dynamics Engine)上で行う。

#### (3) 解析モデル

pyODE上に作成する解析モデルを図-1に示す。Body1は質量0.2t、縦横1m、高さ1.5mの直方体構造物であり、X方向に地震動を入力する。Body2, 3はスライダであり、深層強化学習によってコンピュータ制御されたアクチュエータに接続され、1/1000秒毎に0.1mmずつ上下に動かすことができる。本免震装置はスライダが上下に動くことでX方向とバネとの間の角度が変動し、免震装置の固有周期が絶えず変化する。

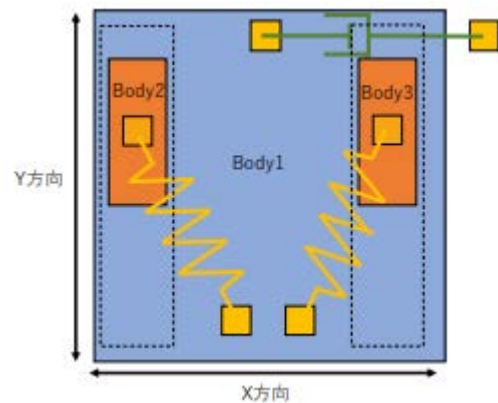


図-1 セミアクティブ免震モデル

尚、装置の固有周期の変化域は1.5s~5.0s程度である。

#### (4) 深層強化学習

深層強化学習にはノード数10000個、中間層4層を有するニューラルネットワーク(以下NN)を活用する。NNには構造物(図-1 Body1)の絶対加速度、相対速度、相対変位、スライダ(図-1 Body2, 3)制御変位の4つのパラメータを入力し、最適なスライダの制御変位を出力させる。構造物の絶対加速度及び相対変位の小ささに応じて決定される報酬をNNに与えて学習を行い、応答を最小化する最適なスライダ制御を実現するNN重み学習データの作成を目指す。

#### (5) 入力地震動

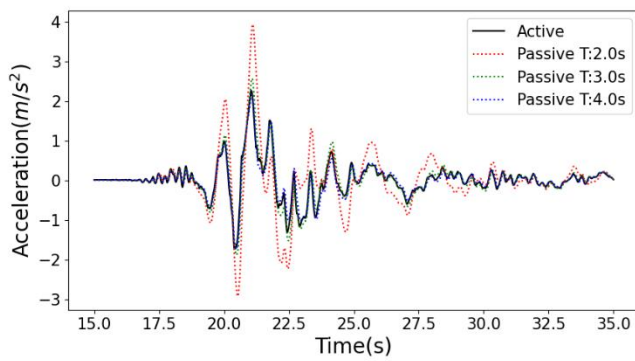
本研究で使用する入力地震動を表-1に示す。

表-1 入力地震動

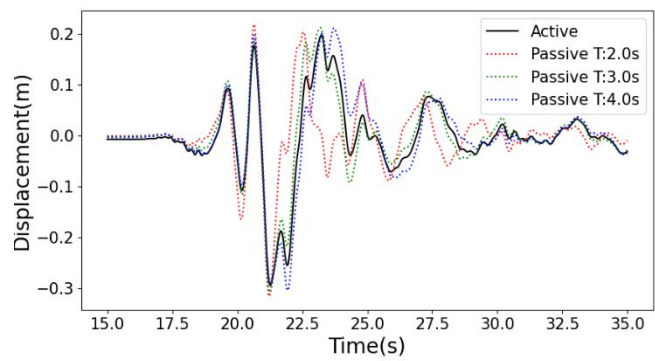
地震動名	地震動詳細	地震動種別	最大加速度 (gal)
小千谷	新潟県中越地震(2004年), EW成分	断層近傍	1307
El Centro	Imperial Valley地震(1940年), NS成分	断層近傍	342
神戸	兵庫県南部地震(1995年), NS成分	断層近傍	818
熊本前震	熊本地震(2016年)前震, EW成分	断層近傍	925
熊本本震	熊本地震(2016年)本震, EW成分	断層近傍	1156
三の丸	中部整備局, 愛知県, 名古屋市による東海東南海地震の名古屋市三の丸地区長周期地震動予測波(EW成分)	長周期	186
十勝	十勝沖地震(2003年), EW成分	長周期	73
東大阪	地震調査研究推進本部, 地震調査委員会(2012年)による南海地震の東大阪市役所長周期地震動予測波(NS成分)	長周期	81
連続地震動	El Centro, 十勝, 小千谷, 三の丸, 熊本前震, 東大阪の順に断層近傍と長周期波を交互につなげた6波の連続地震動	断層近傍 長周期	1307

キーワード セミアクティブ制御 免震 駆動制御 深層強化学習 AI 人工知能

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL048-858-3427

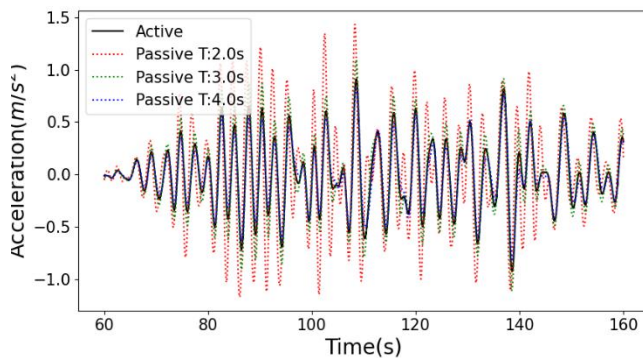


(a) 絶対加速度応答

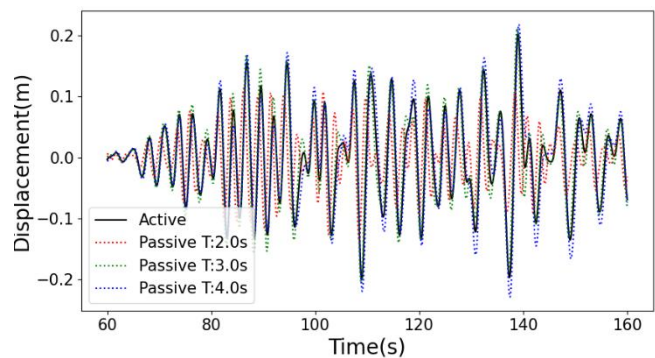


(b) 相対変位応答

図-2 熊本本震 応答結果



(a) 絶対加速度応答



(b) 相対変位応答

図-3 東大阪 応答結果

### 3. 研究方法

#### (1) 連続地震動学習

表-1の連続地震動をNNに繰り返し学習させ、断層近傍や長周期地震動など多様な地震動に対してリアルタイム制御が可能な重み学習データを作成する。

#### (2) NN重みデータの検証

3-(1)で作成した重み学習データが表-1に示す各地震動を制御可能かどうか検証する。構造物(図-1 Body1)の絶対加速度、相対速度、相対変位、スライダ(図-1 Body2, 3)制御変位を重み学習データに逐次入力し、スライダ制御変位をリアルタイムに出力することによって地震動応答を制御する。

### 4. 検証結果と考察

熊本本震と東大阪の応答結果を図-2, 3に示す。本セミアクティブ免震装置と減衰が等しく、固有周期が固定(2.0s, 3.0s, 4.0s)のパッシブ免震の応答結果と比較すると、本免震装置は断層近傍及び長周期の地震動に対して、加速度と変位の双方をバランス良く制御を行っている。また、連続地震動に含まれていない熊本本震に対して応答を低減できていることから、断層近傍と

長周期を含む連続地震動を学習させた重み学習データは学習を行っていない未知の地震動制御においても一定の汎用性を持つと考えられる。

### 5. おわりに

本研究では、pyODE上でのシミュレーション解析により、深層強化学習制御によるセミアクティブ免震装置が断層近傍と長周期の双方の地震動に対して、加速度と変位のトレードオフ関係性を克服できることを確認した。また、本研究は本免震装置のような非線形性の強い複雑な制御機構において深層強化学習、いわゆるAIが効果的であることを示している。今後は実際の免震装置を作成し、シミュレーション解析において学習させた重みデータが実際の構造物を制御可能であることを検証していく予定である。

### 6. 参考文献

- 1) Kou Miyamoto, Daiki Sato, Jinhua She  
A new performance index of LQR for combination of passive base isolation and active structural control Engineering Structures 157(2018) pp280-299