

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や可変外力を与えるアクティブ免震が多く開発されてきた。従来のアクティブ制御系免震の多くは LQR 制御や H_∞ 制御などの最適制御システム制御により実装され、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。¹⁾ したがって、従来のアクティブ制御系の免震機構の複雑性は力学的な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。深層強化学習ではシステムの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) 研究趣旨

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、多様な地震動を制御可能なAI制御可変剛性セミアクティブ免震装置を実装する。

(2) 深層強化学習

本研究ではノード数2000個、中間層2層を有するDDQNを用いる。構造物の絶対加速度及び相対変位を低減するために適切な報酬を与え、最適な制御変位を導くニューラルネットワークの重みデータを作成する。

(3) 入力地震動

表-1に本研究で用いる入力地震動を示す。

3. 可変剛性免震システム

本研究では免震対象として質量0.2tの室内のサーバーを想定する。図-1は提案する可変剛性免震を地面側から見た図である。免震装置の2つのスライダ(Body2、

Body3)はアクチュエータに接続されており、解析時刻み幅である0.01秒毎に-2, -1, 0, 1, 2mmの5種類から深層強化学習によって選択された増分変位量が与えられる。深層強化学習によってセミアクティブ制御されたスライダが上下に動くことによって構造物(Body1)の加振方向であるX方向とバネとの間に角度が生じて、免震装置の固有周期が絶えず変化する。これによって地震動による応答を最小にする固有周期を維持し続けることを目指す。本免震装置の固有周期はスライダが最下部にある時に2.0秒であり、最上部にある時に概ね7.0秒である。

4. 研究手法

(1) 重みデータの作成

表-1(i)の連続地震動をニューラルネットワークに学習させ、断層近傍波と長周期波の双方に対してリアルタイム制御が可能な重みデータを作成する。

(2) 重みデータの検証

4. (1)で作成した重みデータを用いてセミアクティブ免震を制御し、表-1(a)-(h)に示す単一地震波を制御可能か検証する。検証時には連続地震動を学習した重みをベースに逐次更新を行いながら制御を行う。

5. 検証結果と考察

図-2, 3に神戸波と苫小牧波における可変剛性セミアクティブ免震と固有周期が2.0, 4.0, 6.0秒のパッシブ免震の時刻歴応答と固有周期を示す。減衰係数は全ての装置で0.25kNs/mとする。パッシブ免震と比較すると、断層近傍波と長周期波の双方において絶対加速度及び相対変位をバランス良く低減できていることが確認できる。セミアクティブ免震の時刻歴固有周期は断層近傍波では長周期側に、長周期波では短周期側に変化する傾向を示しており、地震波と免震装置の共振を防いでいることが確認できる。

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

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)
(a)	小千谷	新潟県中越地震(2004年), EW 成分	断層近傍	1307
(b)	El Centro	Imperial Valley 地震(1940年), NS 成分	断層近傍	342
(c)	神戸	兵庫県南部地震(1995年), NS 成分	断層近傍	818
(d)	熊本前震	熊本地震(2016年)前震, EW 成分	断層近傍	925
(e)	熊本本震	熊本地震(2016年)本震, EW 成分	断層近傍	1156
(f)	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
(g)	苫小牧	十勝沖地震(2003年), EW 成分, 震源から約 100km 離れた苫小牧市で観測された地震波	長周期	73
(h)	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
(i)	連続地震動	El Centro, 苫小牧, 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

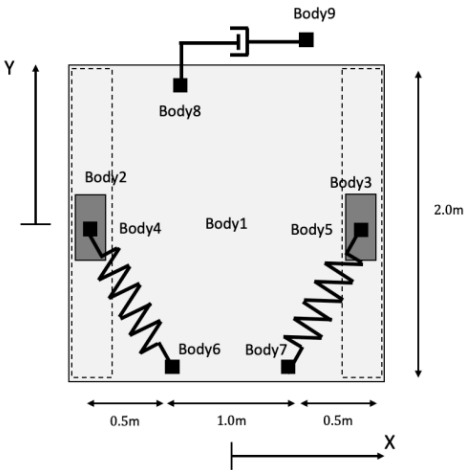
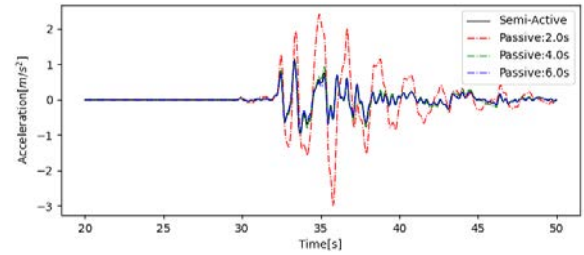
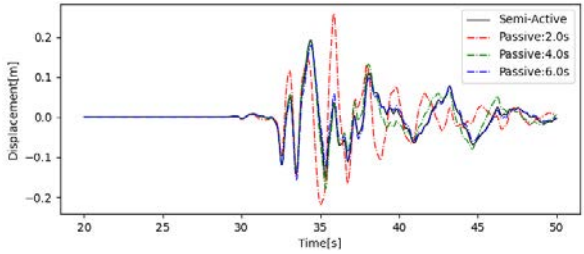


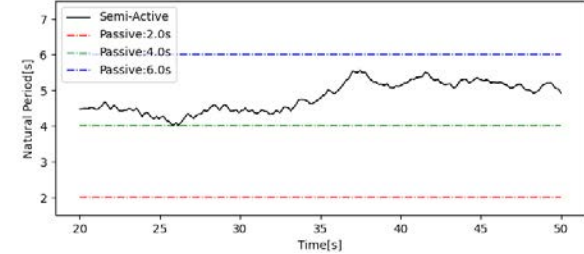
図-1 可変剛性セミアクティブ免震



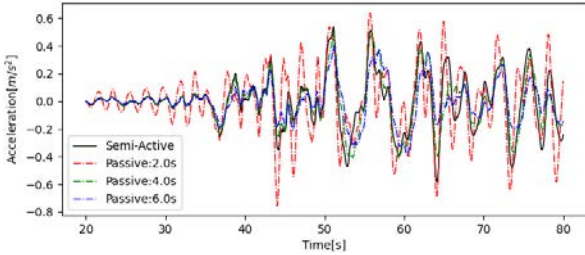
(a) 絶対加速度応答



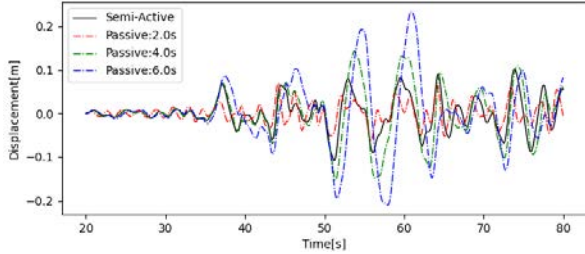
(b) 相対変位応答



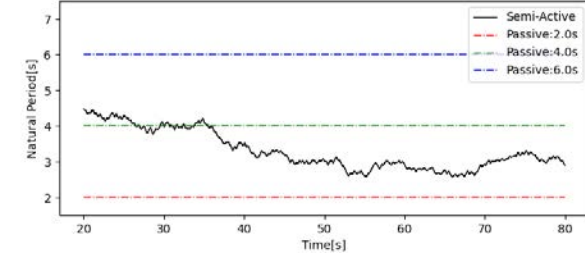
(c) 固有周期



(a) 絶対加速度応答



(b) 相対変位応答



(c) 固有周期

図-2 神戸波(断層近傍) 時刻歴応答と固有周期

図-3 苫小牧波(長周期) 時刻歴応答と固有周期

6. 結論

本研究で提案する可変剛性セミアクティブ免震はパッシブ免震と比べて、断層近傍波と長周期波の双方において応答低減効果を得られた。本研究では連続地震動学習済みの重みを固定した状態では、単一地震波の制御を行えなかったため、制御時には重みの更新を許した。制御時に重みの更新を必要とすることは現在時刻の入力パラメータだけでは現在時刻の最適な制御量

の決定が難しいことを示している。学習済み重みを固定した状態で制御を行うことが今後の課題である。

7. 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