

絶対応答低減に寄与するパッシブ負剛性すべり支承の開発

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○ 徳岡 真司
 京都大学大学院工学研究科 正会員 豊岡 亮洋
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 家村 浩和

1. 概要

本研究は、構造物に発生する入力そのものを低減させることを目的とした制震分野に関する研究である。まず、パッシブに負剛性を発揮する負剛性すべり支承を新たに開発した。このパッシブ負剛性すべり支承を免震支承および桁模型と組合わせたモデルに対して振動台実験を行い、従来のすべり支承を適用した場合の地震時応答と比較することによって、その有効性を検証した。さらに、実験で得られたデータから、本デバイスを適用することで絶対応答が低減されるメカニズムを明らかにするとともに、動的解析から実験時より大きな入力においても本デバイスは良好な低減効果が得られることを確認した。

2. パッシブ負剛性すべり支承

(1) 負剛性の概念

負剛性制御とは、次のアルゴリズムに従って、デバイスに制御力を与えるアクティブ制御手法として考案されたものである。

$$F(t) = K_D \cdot x(t) + C_D \cdot v(t) \quad (1)$$

ここに、 $K_D (< 0)$ は見かけの上の負剛性、 $C_D (> 0)$ は見かけの上の粘性 (減衰係数) である。このように、構造物に負の剛性を与えることにより、構造系が有する剛性を見かけ上減少させる。その結果構造系が長周期化するため、負剛性制御の適用は構造物の絶対加速度応答を低減するのに効果的であると考えられる。

(2) パッシブ制御

構造物の振動制御手法の一つであるパッシブ制御は、負剛性の発現こそまだ報告されていないものの、外部からのエネルギー供給や変位計測のためのセンサーを必要とせず、構造物に適用し易い制御手法である。このような観点から、本研究ではパッシブ制御手法で負剛性を発現するようなデバイスを開発することを目的とした。

(3) パッシブ負剛性すべり支承の構造

パッシブ負剛性すべり支承は、FPS(Friction Pendulum System) を逆にしたような構造である。したがって、パッシブ負剛性すべり支承が発揮する負剛性は、すべり板曲面円弧が水平方向変位に近似できる場合、近似上部工重量 $W(N)$

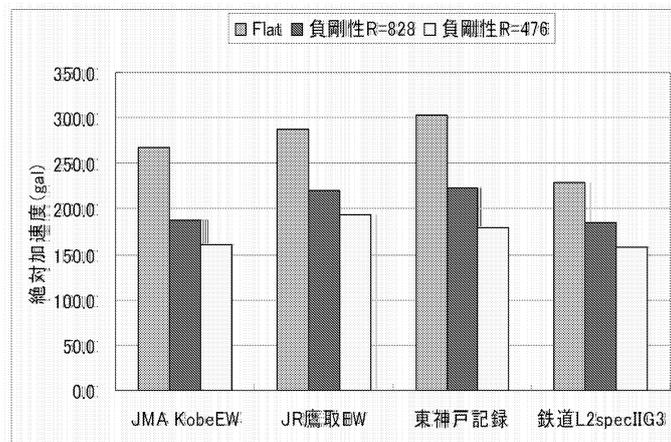


図-1 各地震波・各ケースの絶対加速度応答

Key Words: 制震, パッシブ制御, 負剛性, すべり支承

〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL(075)383-3244 FAX(075)383-3243

およびすべり板の曲面半径 $R(\text{mm})$ を用いて

$$k_{ns} = \frac{W}{R} \quad (2)$$

のように表すことができる。

3. 振動台実験による効果の検証

(1) 絶対応答の低減

図-1 は本実験で使用した入力地震波である I 種地盤用の JMA KobeEW, II 種地盤用の兵庫県南部地震 JR 鷹取駅記録 EW 成分 (以下, JR 鷹取 EW), III 種地盤用の同阪神高速東神戸大橋周辺記録 (以下, 東神戸記録), また, 鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計) における鉄道構造物レベル 2 スペクトル II3 種地盤用 (以下, 鉄道構造物レベル 2 スペクトル II(G3)) に対して, 各ケースの絶対加速度応答をグラフにして表したものである。図のように, 負剛性の値が大きくなるにつれて, 絶対加速度応答が低減されていることがわかる。同様に, 絶対変位応答においてもその低減効果は確認されているが, 図は紙面の都合上割愛した。

(2) 低減効果のメカニズム

これらの低減がもたらされることの原因を調べるために, 等価線形解析を行った。その結果, 構造物に負の剛性が与えられることによって, 構造物の固有周期が長周期化し, さらに高減衰化することによって, それぞれが応答低減に寄与していることがわかった。しかし, 応答には一様な結果が得られない部分もあった。これは, 入力地震波ごとに長周期化による効果が強く影響するものと, 減衰による効果が強く影響するものとそれぞれ特徴が分かれることが原因であると考えられる。

以上のようなことをふまえて, このパッシブ負剛性すべり支承を用いることによって得られる制震効果のメカニズムを示したものが図-2 である。

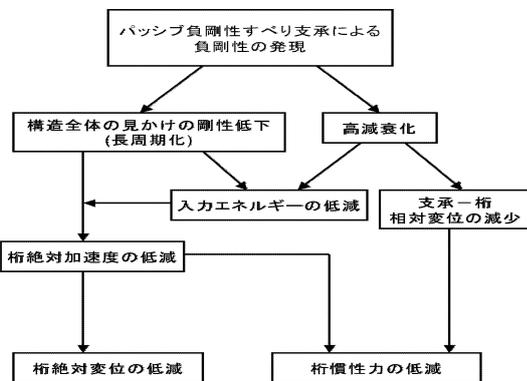


図-2 応答低減のメカニズム

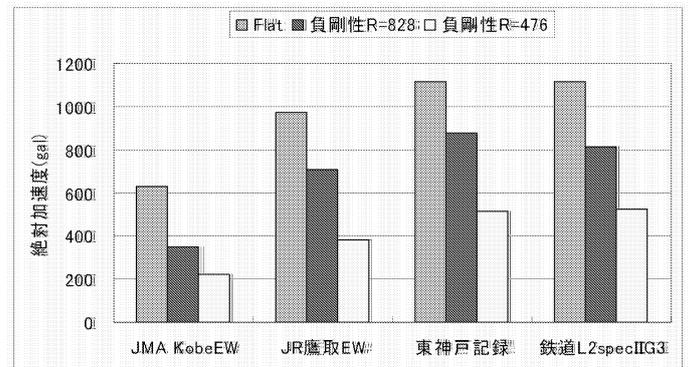


図-3 各地震波・各ケースの絶対加速度応答解析結果

4. 動的解析

本デバイスと積層ゴム体から実験供試体のモデル化を行い, 再現解析からモデルの妥当性を確認した。その後, 振動台実験では振動台の制約から加振することのできなかった, より大規模な入力が発生した場合について動的解析を行った。入力地震波は振動台実験で採用した地震波 4 つであり, 加振レベルを 1.0 倍とした。図-3 は動的解析により得られた各地震波・各ケースにおける絶対加速度応答をグラフにして示したものである。この図から, より大規模な入力においても, 本デバイスは大きな絶対応答低減効果を有していることがわかった。

5. おわりに

本研究では, 制震分野において従来提案されてきた負剛性の概念をパッシブ制御で発現できるようなデバイスであるパッシブ負剛性すべり支承を新たに開発した。その上で本デバイスが, 絶対応答低減という点において有効であることを振動台実験を行うことにより示した。また, 本デバイスを導入することにより得られる絶対応答低減のメカニズムを明らかにし, 解析から, さらに大きな加振レベルにおいても本デバイスは良好な低減効果を発揮することを確認した。