

FVD を有する免震橋の振動応答解析と最適化設計

九州大学工学部 学生会員 高橋 拓大

非会員 BERTON STEFANO

フェロー会員 彦坂 熙

1. はじめに

近年、橋梁や隣接構造物において強い地震動による損傷や倒壊の被害が起こっている。その際、橋梁上部構造では地震による応答変位が伸縮継手の遊間量を超えてしまうと、継手部での落橋事故や隣接桁間の衝突が起こってしまう。このような事故を防ぐため、免震・制振機構として次の3つが使われている。

柔性基部構造 . . . 積層ゴム支承など

エネルギー吸収機構 . . . 粘性流体ダンパー (FVD)、摩擦ダンパーなど

アクティブ機構 . . . 質量効果機構など

本研究では、エネルギー吸収機構に属する FVD に着目している。FVD とは、粘性流体 (シリコン流体) の性質を利用し、地震によって生じるエネルギーをダンパー内で熱変換することにより振動を抑制する装置である。この装置は普通、構造物の継手部や橋台の位置に、単独か落橋防止用ケーブルと接続され設置される。FVD のエネルギー吸収能力は、

$$F_d = C \cdot v^\alpha \quad (C: \text{減衰係数}, \quad v: \text{速度}, \quad \alpha: \text{定数})$$

で表される。この式から、FVD は速度依存の性質により効率よく減衰効果を振動系に与えることができる。

このダンパーは現在、制振機構として多く使われているが、設計に複雑な計算や高い費用を要する非線形解析を必要とし、構造物での最適な大きさや配置は難しい課題であり、未解決の問題である。

本研究では、1つの橋梁構造物を取り上げ、橋軸方向地震波を与えた時の水平応答変位を最小にする FVD の最適減衰率を導き出し、その減衰率での制振効果を評価するため、 $\alpha = 1$ とした線形解析を行った。

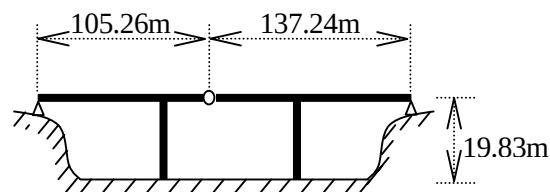


図1：解析対象

表1：解析対象の諸元

	はり	橋脚
断面積 [m ²]	6.936	4.670
慣性モーメント [m ⁴]		3.470
材料密度 [t/m ³]	2.320	2.320
ヤング係数 [kN/m ²]		2.779×10^7

2. 解析概要

2-1 解析モデル

図1のような橋梁構造物を解析対象とする。中央のスパンに水平相対変位可能な伸縮継手が使われており、その部分に FVD を取り付け、伸縮継手部と両端支点部の変位を抑えることを目的としている。この橋梁構造物の諸元は表1に示す通りである。

なお、この解析では、水平方向の力に対する抵抗は橋脚だけがもつと仮定し、両端はローラー支点なので水平方向の抵抗は無視できるものとする。解析モデルとして、1自由度ばね質点系モデルに FVD のダッシュポットモデルを取り付けた図2を用いる。

2-2 解析条件

計算には、Newmark の逐次積分法を用いる。また入力地震波は、1940 年のエルセントロ地震波 (N-S 方向)、1950 年のタフト地震波 (N-S 方向)、1995 年の神戸地震波 (N-S 方向) の3つを使用し、時間間隔は全て 0.02 秒とする。それぞれの地震波の最大加速度は表2に示す通りである。

構造物のもつ減衰率はレイリー減衰を用いて 2% とし、FVD による付加減衰率を 0% ~ 30% まで変化させ、その時の最大変位 (橋

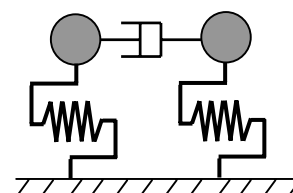


図2：解析モデル

表2：入力地震波の最大加速度

地震波名	最大加速度 [gal]
タフト地震波 (NS)	152.690
エルセントロ地震波 (NS)	312.636
神戸地震波 (NS)	817.777

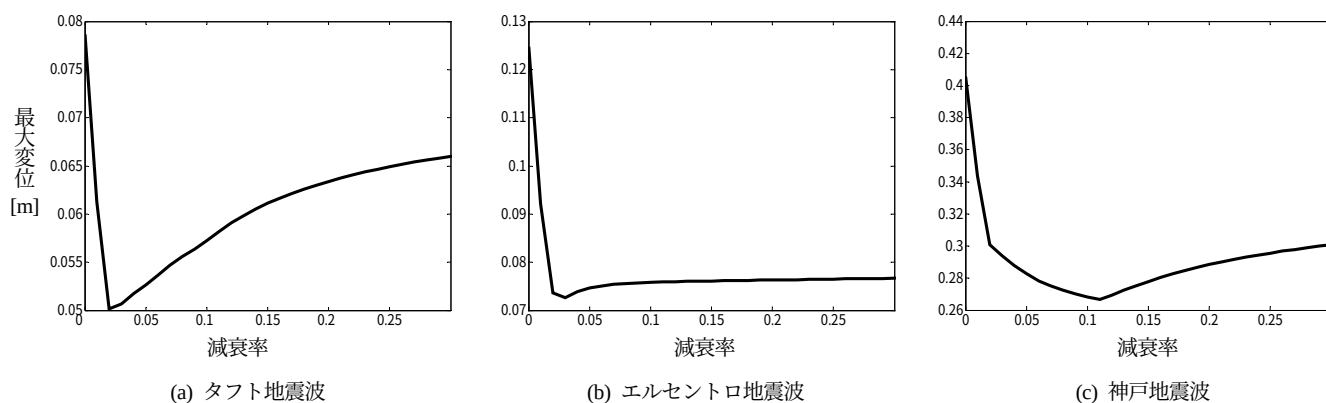


図3：減衰率—最大変位関係

梁の両端の変位と伸縮継手部の相対変位のうち、最も大きい変位)を求め、最適な減衰率を検討する。また、その最適な減衰率を用いた時の減衰効果を評価するため、伸縮継手部の変位を2質点の相対変位として表し、グラフに示す。

2-3 解析結果

図3にFVDの減衰率を変化させた時の最大変位を示す。タフト地震では2%、エルセントロ地震では3%、神戸地震では11%が最適な減衰率であることが分かる。また全体的に、減衰率が大きすぎると最大変位が増加している。これは、FVDを設置した伸縮継手部の相対変位はFVDの制振効果により減少されるが、両端支点部の変位が増大していることによる。

また、比較的弱いタフト地震やエルセントロ地震での最大変位は5～8cm程度と小さくなっているが、最も強い神戸地震での最大変位は26～28cmと大きくなっている。神戸地震波での最適減衰率に重点をおけば、この橋梁構造物の伸縮継手部に設置するFVDの最適減衰率は10%程度であると考えられる。

この最適減衰率10%を用いた時の伸縮継手部の相対変位の時刻歴をFVDのない結果と比較して図4に示す。FVDの減衰効果は速度依存の性質があるので、変位が大きい時には大きい減衰効果を与え、変位が小さい時にはあまり減衰効果が働かない。そのため効率よく減衰効果が与えられることが図4に表れている。このことより、振幅がある程度一定を保っており、十分な制振効果を発揮していると評価できる。

3. まとめ

本解析で対象とした橋梁構造物の伸縮継手部にFVDを取り付ける際の最適減衰率は10%であることが分かった。また、FVDの制振機構としての性能も評価できた。この解析は $\alpha = 1$ とした線形FVDの解析であるが、今後、一般的に使用されている $\alpha = 0.2 \sim 0.8$ の非線形FVDについて線形解析の結果と比較し、非線形FVDの性質を評価する。またその結果を考慮してFVDの最適化設計についてさらに検討する予定である。

参考文献

1. Anil K. Chopra, 渡部 丹, 石山祐二：構造物の動的解析, 科学技術出版

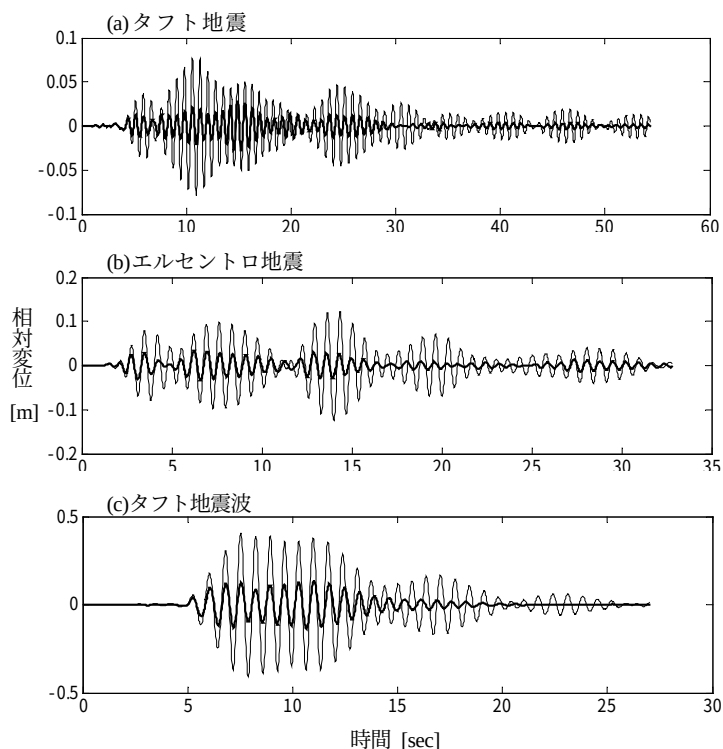


図4：伸縮継手部の相対変位時刻歴

— FVDなし — FVD(10%)あり