すべり支承の制震効果に関する振動台実験および数値解析

宇都宮大学大学院 学生員 ()酒井 亮太,フェロー 中島 章典 オイレス工業株式会社 正会員 横川 英彰

1. はじめに

兵庫県南部地震以降,積層ゴム系の支承構造を用いて地 震力の低減と耐震性の向上を図る免震構造が一般的に採用 されてきた.しかし、ゴム系支承は割高であるためにコス ト縮減を目的に機能分散型支承として、鉛直荷重を受け持 つすべり摩擦型の支承と水平荷重を受け持つ支承を組み合 わせた支承構造が採用される事例が増えつつある.しかし、 このような支承構造の適用は必ずしも一般的ではない.こ の理由として、すべり支承を用いた免震構造の地震時挙動 が十分に検証されていないことが挙げられている¹⁾.

本研究では、高架橋模型を対象とした振動実験およびその数値解析により、摩擦支承と弾性ばねを組合せたすべり 支承による制震効果を確認した.また、実際的な連続高架 橋に同タイプのすべり支承を設置した場合の制震効果を 確認するために、すべり支承の特性を変化させたパラメト リック解析を行い、その効果を検討した.

2. 実験概要

本研究において実験の対象とした高架橋模型は図-1に示すように、矩形断面の鋼材を用いた2本の橋脚部材と、 その上鋼板の上に設置したすべり支承、矩形断面の鋼材を 用いた上部構造部材から構成されている.

強制振動実験においては、振動台を付属の制御装置で、 地震波の加速度データを入力して橋軸方向に加振し、この ときの加振方向の支承の水平変位を非接触式変位計で、支 承上の上部構造部材の加速度および振動台上の加振方向の 加速度をそれぞれ加速度計を用いて計測した.同時に、両 橋脚基部付近のひずみをひずみゲージを用いて計測した. ここでは入力加速度として、兵庫県南部地震時のJMA神 戸記録波を調整したものを用いた.

比較のために、一方の橋脚の上には固定支承、もう一方 の橋脚の上にはすべり支承を有する高架橋模型(以下,可 動-固定)の場合も同様に振動実験を行った.また,高架 橋模型全体系の振動実験に先立って、支承部の要素実験を 行った.上部構造および橋脚部材などの構成部材の特性は 既往の文献²⁾を参考にした.

3. すべり支承構造

本研究では、図-2のような上沓、下沓、基部からなる小型のすべり支承に圧縮ばねを合わせたすべり支承を用いた. 鉛直荷重をすべり支承で受け持ち、水平荷重をすべり支 承の摩擦と圧縮ばねが受け持つ支承構造とした.本実験で は、復元力特性を構成するすべり支承と圧縮ばねの特性を 把握する要素実験を行った.

すべり支承の要素実験では、支承のみの正弦波加振を 行い、その実験結果から得られる荷重と水平変位関係を図 -3に示す、支承に変位が生じている間は荷重はほぼ一定 であるため、そのときの正側と負側それぞれの荷重を平均 化した荷重から摩擦力を 0.62N とした.

圧縮ばねの要素実験では、ばね定数 k' を算定するため、 圧縮ばね4本を用いて、その上に錘を載荷し、そのときの ばねの変位と錘の重さとの関係を測定した.この関係より ばね2本あたりのばね定数は0.4045N/mm と求めた.一 般に、圧縮ばねには有効巻数が少なくなるとばね定数が大 きくなるという反比例関係がある.そのため、高架橋模型 実験時と有効巻数を同じにするために、有効巻数を5とし、 ばね定数は0.728N/mm と定めた.



この2つの要素実験により、本実験で用いるすべり支承の復元力特性を決定し、その1次剛性、2次剛性はそれぞれ K_1 =1.0×10³N/mm、 K_2 =0.728N/mm と定めた.

4. 解析概要

実験で用いた上部構造部材および橋脚部材ははり要素 に、支承は水平,鉛直,回転方向のばね要素にモデル化し て動的解析を行った.要素実験で求めた復元力特性を支承 の水平方向のばねの履歴特性として解析モデルに組み込ん だ.また、支承の鉛直方向は剛な結合条件を満たすような ばね定数を定め、また、回転方向は解析の対象とする振動 モード(支承が水平方向に変位する振動モード)に大きく 影響しないため、十分小さいばね定数を定めた.なお、固 定支承においては、支承の水平方向に剛な結合条件を満た すようなばね定数を定めた.

橋脚基部は、実験時にはボルトを用いて振動台に固定す るが、この固定方法では十分な固定度が得られず、逸散減 衰の影響を受けていると考えられる.基部における剛性と、 それに伴う基部からの減衰の考慮は、基部に回転ばねおよ び回転ダッシュポットを設けることでモデル化した.回転 ばねのばね定数および回転ダッシュポットの減衰定数は、 既往の文献²⁾を引用した.

実験結果と解析結果の比較

上述で構築した解析モデルを用いて動的解析を行い,強制振動時の応答を再現できるか検討した.すべり支承を有 する高架橋模型(以下,可動-可動)を対象に振動実験に

Key Words: すべり支承, 振動実験, 高架橋模型, 制震効果

^{〒 321-8585} 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210



答値の比較

よって得られた,加振方向の支承の水平変位の応答波形, 慣性力-水平変位関係の履歴ループをそれぞれ図-4上段, 下段に示す.また,対応する解析結果を図-5に示す.

解析結果の支承の水平変位において、応答波形は実験結 果のそれと異なる挙動を示しているが、最大振幅時の応答 値は実験結果と近い値を示していることがわかる.一方、 慣性力-水平変位関係の履歴ループに着目すると、解析結 果における履歴ループは、実験結果と近い挙動を示してお り、復元力特性を定性的に再現できていることがわかる.

また、すべり支承の制震効果を確認するために、支承条件が可動-固定の場合の実験結果との比較を行った.高架 橋模型を対象に振動実験によって得られた、橋脚基部のひ ずみ応答の結果を図-6に示す.上段には、支承条件が可 動-可動の場合の実験結果を示し、下段は支承条件が可動-固定の場合の実験結果を示している.

支承条件が可動-可動のときのひずみ応答の最大値は支 承条件が可動-固定のときのその最大値の1/2程度となっ ている.また,支承条件が可動-固定のときは可動-可動の ときに比べ,波形全体において応答値が大きい.以上の結 果より,両方の橋脚の上にすべり支承を有する場合,橋脚 基部のひずみを抑えることができるという制震効果を確認 することができる.

すべり支承の制震効果

高架橋模型のときと同様に、実橋梁においても、同タイ プのすべり支承による制震効果があるのか確認するため、 図-7に示す3径間連続の上部構造、鋼製橋脚および支承 から構成される連続高架橋を対象として数値解析により検 討した.このモデルでは、 P_1 、 P_4 橋脚上を可動支承、 P_2 、 P_3 橋脚上をすべり支承とした。制震効果を確認するため に P_2 、 P_3 橋脚上を固定支承とした場合との比較を行い、 また、すべり支承の摩擦係数と圧縮ばねのばね定数を変化 させ、すべり支承の特性が制震効果に及ぼす影響を検討し た.ここでは、ばね定数を0.75MN/mと1.5MN/mと変化 させ、それぞれのばね定数で摩擦係数は0.03、0.05、0.07、 0.1、0.15、0.2、0.4 と変化させた.なお、地震波としてレ ベル2(I-I-1、開北橋記録波)を用いた。 ばね定数 0.75MN/m の時,橋脚頂部に作用する水平力, 上部構造部材の相対水平変位の最大応答値(絶対値)を図 -8の上段,下段に示す.同様にばね定数 1.5MN/m の時, 橋脚頂部に作用する水平力,上部構造部材の相対水平変位 の最大応答値(絶対値)を図-9の上段,下段に示す.図 -8,図-9の横軸には摩擦係数をとり,FM は P₂, P₃ 橋 脚上を固定支承とした場合の結果を示している.

値の比較

これらの図から,どちらのばね定数においても,P₂,P₃ 橋脚上を固定支承とした場合に対して,すべり支承を用い た場合には,すべり支承の摩擦係数が小さくなるほど,橋 脚頂部に作用する水平力の最大値は小さくなり,逆に,相 対水平変位の最大値は大きくなることがわかる.しかし, 摩擦係数が 0.1~0.4 の範囲では,摩擦係数が小さくなる とともに水平力の最大は比例的に減少するが,相対水平変 位の最大値は約 0.2m であまり大きく変わらない.以上の ことから,可動-固定支承を有する高架橋の場合に対して, 適切な摩擦係数を設定したすべり支承を有する高架橋の場 合には,支承の相対水平変位があまり大きくせずに橋脚に 作用する水平地震力を低減できる可能性が確認された.

7. おわりに

本研究では、高架橋模型を対象とした振動実験およびその数値解析により、摩擦支承と弾性ばねを組合せたすべり 支承による制震効果を確認した.また、実際的な連続高架 橋に同タイプのすべり支承を設置した場合の制震効果をパ ラメトリック解析により検討した.その結果、支承の相対 水平変位があまり大きくならずに、橋脚に作用する水平地 震力が低減できるすべり支承の制震効果を確認することが できた.ただし、ここで設定した連続高架橋は可動-固定支 承を有する場合に対して概略設計されたものであるので、 すべり支承を有する場合に対して設計された高架橋を用い た広範な検討が必要である.

参考文献

- 1) 岡田, 遠藤, 運上: すべり系支承を有する免震橋梁の振動台 実験, 土木学会論文集 A Vol.63No.3, pp.396-410, 2007.7.
- 浅井,中島,中野,横川,緒方:積層ゴム支承を有する高 架橋模型の振動実験とその解析,土木学会第63回年次学術 講演会,1-577, pp.1153-1154,2008.9.