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

富貴沢建設コンサルタンツ 正会員 ○浅井陽子
宇都宮大学大学院 中島章典， 中野貴代美
オイレス工業 横川英彰，京成電鉄 緒方友一

1. はじめに

様々な動的荷重により橋梁に生じる振動問題を，橋梁の設計，維持管理段階において動的応答解析を行い予測，検討する必要がある．しかし，積層ゴム支承や種々の免震支承を有する高架橋を対象としても，振動実験結果と動的解析結果を比較し，動的応答解析の適用性を検証した事例はあまり多くない[1)]．

本研究では，支承条件を積層ゴム支承とした簡易な高架橋模型を対象に振動実験を行い，その挙動を動的応答解析により再現することを目的とする．まず，積層ゴム支承，橋脚部材および上部構造部材などの構成要素の要素実験を行い，その実験結果から得られたそれぞれの特性を組込んだ解析モデルを構築している．そして，実験結果と解析結果を比較し，ここで用いた解析手法および構成要素のモデル化の妥当性を確認している．

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橋脚と，その上鋼板の上に設置した積層ゴム支承，上部構造から構成されている．また単純梁模型は，**図–2** に示すように，十分剛な H 型断面の鋼材を用いた橋脚と，その上鋼板の上に設置した積層ゴム支承，上部構造から構成されている．単純梁模型の振動時には，支承と上部構造が一体となって振動し，H 鋼はほとんど振動しないと考えられる．

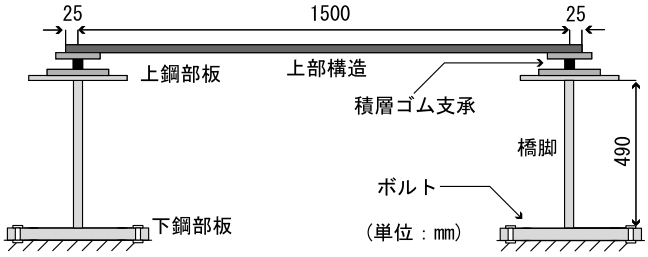
強制振動実験においては，実地震波の加速度データを用いて，振動台上に設置した高架橋模型を橋軸方向に加振し，このときの支承の加振方向の水平変位および支承上の上部構造の加速度，橋脚基部のひずみを計測した．また，高架橋模型の振動実験に先立って，積層ゴム支承，橋脚部材および上部構造部材といった構成部材の減衰特性を把握するための要素実験を行った．

なお，これらの実験は室温をほぼ一定に保った実験室内で行い，積層ゴム支承が温度の影響をなるべく受けないようにした．

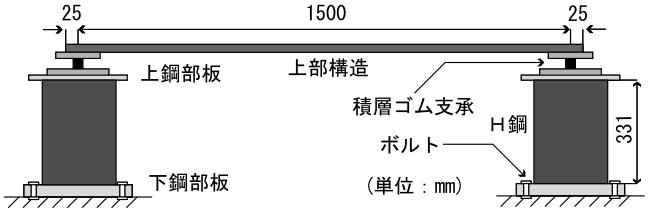
3. 積層ゴム支承のモデル化

本研究では，**図–3** に示すような，積層ゴム部，上沓，下沓からなる小型の積層ゴム支承模型を用いた．ゴムの材質はせん断弾性係数 1.0N/mm^2 の天然ゴムであり，内部鋼板 2 枚，ゴム層 3 層により構成されている．

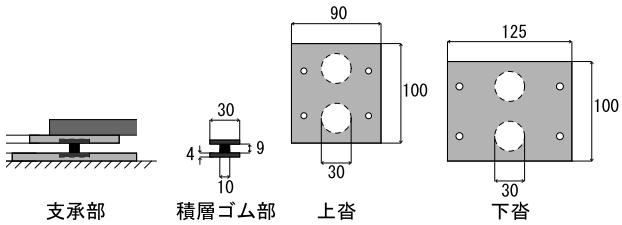
積層ゴム支承の剛性は，水平変位依存性，面圧依存性，温度依存性といった特性を持つ．一般に，免震支承のモデル化に際しては，その非線形な履歴特性を適切に表すことのできるバイリニア型にモデル化してよいとされている[2)]．積層ゴム支承においても，その水平力-水平変位関係は非線形な履歴を描くため，ここではその特性をバイリニア型にモデル化する．



図–1 高架橋模型



図–2 単純梁模型

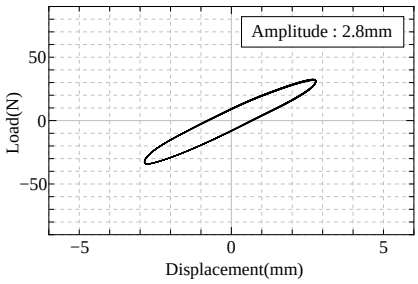


図–3 積層ゴム支承の詳細

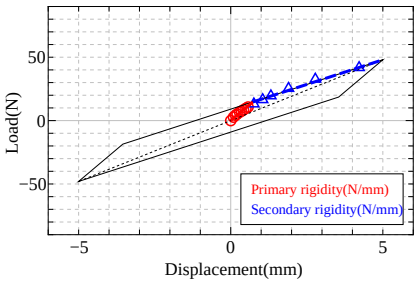
要素実験では，積層ゴム支承を振動台に設置し，種々の振幅（0.1～5.5mm）の正弦波を用いて水平方向に加振し，そのときの支承に作用する水平力と支承の水平変位を計測した．**図–4** に示すように，水平力を縦軸に，水平変位を横軸にとって得られる各振幅の履歴ループから，最大変位およびそれに対応する水平力の点を取出し，**図–5** のようにプロットした．このプロットした点の近似直線の傾きに基づき，1 次剛性 K_1=20.23N/mm，2 次剛性 K_2=7.786 N/mm，降伏変位 0.73mm のバイリニア型にモデル化した．

一方，単純梁模型の強制振動実験において計測した支承上の上部構造の加速度に上部構造分の重量を乗じ，支承の個数で除すことによって，支承 1 つあたりに加わる水平力を慣性力として換算することができる．これを換算水平力と定義する．この値を縦軸に，計測した支承の水平変位を横軸にとると，**図–6** に示すような振動実験時の水平力-水平変位関係の履歴ループを描くことができる．この履歴ループにおいて，振幅が小さい範囲における等価剛性を 1 次剛性 K_1=58.84N/mm とし，履歴ループ全体における等価剛性を 2 次剛性 K_2=24.52 N/mm としてバイリニアモデルを構築した．また，このときの降伏変位は 0.13mm と

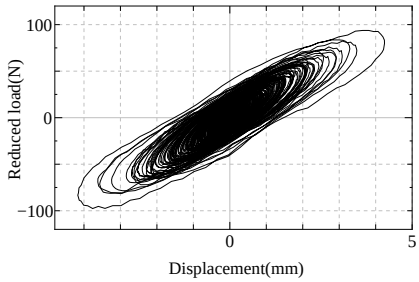
Key Words: 積層ゴム支承，高架橋模型，振動実験，動的応答解析
〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究科学際先端システム学専攻 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208



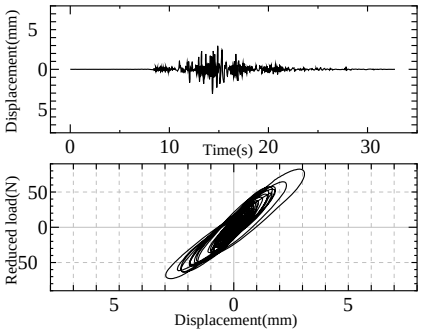
図–4 支承実験の水平力-水平変位関係 (振幅 2.8mm)



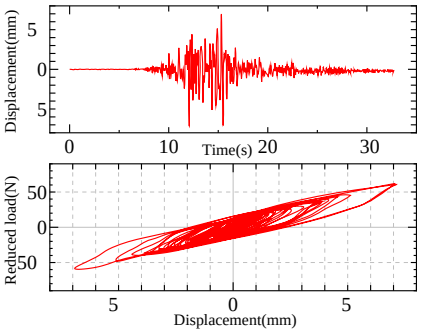
図–5 支承実験によるバイリニアモデル



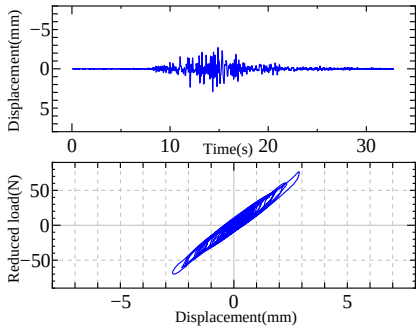
図–6 単純梁模型の振動実験の換算水平力-水平変位関係



図–7 実験結果



図–8 支承実験によるバイリニアモデル



図–9 単純梁模型の振動実験によるバイリニアモデル

した.

支承部の減衰として，バイリニアモデルにおいて支承のエネルギー吸収に伴う履歴減衰を考慮することになるが，モデルの特性上，1 次剛性の範囲においては履歴の描く面積が 0 となるため，履歴減衰が生じない．しかし，実際には 1 次剛性の範囲においてもなんらかの減衰が存在する．また，積層ゴム支承は履歴減衰だけでなく，実際には他の減衰の影響も受けていると考えられる．そのため解析モデルにおいてもその分の減衰の影響を考慮できるように，解析モデルの支承部にダッシュポットを組込んだ．このダッシュポットの減衰係数の値は，単純梁模型の強制振動実験における支承の最大水平変位とその動的応答解析結果が一致するように同定した.

4. 解析概要

本研究で用いる単純梁模型，高架橋模型は，平面はり要素を用いた有限要素法によりモデル化し，動的応答解析を行う．前述の支承のモデル化の他に，橋脚部材，上部構造部材の要素実験から得られた減衰特性を組込んだ．これは，鋼材の材料内部減衰に起因する粘性減衰によるものである.

また解析モデルにおいては，橋脚と上鋼板の溶接部の重量，上部構造の張り出し部，計測機器とその取付け治具の重量，基部から損失する減衰の影響などを考慮した.

5. 実験結果と解析結果の比較

(1) 支承実験によるバイリニアモデルの場合

高架橋模型を対象とした強制振動実験によって得られた，支承の水平変位の時刻歴波形，前述の換算水平力-水平変位関係の履歴ループをそれぞれ**図–7** の上段，下段に示す．ここでは入力地震波として，兵庫県南部地震時の JMA 神戸地震波を調整した加速度を用いた．また，高架橋模型の解析モデルの支承部に，支承実験から得られたバイリニアモデルを組込んだ場合の解析結果を**図–8** に示す.

実験結果によって得られる支承の水平変位の時刻歴波形と，解析結果のそれを比較すると，その振幅は大きく異なっており，解析結果は実験結果の応答性状を再現できていない．また，換算水平力-水平変位関係の履歴ループに着目すると，その応答性状の違いがより顕著に現れている.

(2) 単純梁模型の振動実験によるバイリニアモデルの場合

解析モデルの支承部に，単純梁模型の振動実験結果から得られたバイリニアモデルを組込んだ場合の解析結果を**図–9** に示す.

この解析から得れた支承の水平変位の時刻歴波形は，実験結果のそれを良好に再現している．また，換算水平力-水平変位関係に着目しても，解析結果における履歴ループは，実験結果を良好に再現していると言える.

6. まとめ

本研究では，積層ゴム支承を有する高架橋模型を対象に振動実験を行い，動的応答解析によってその挙動を再現することを試みた．積層ゴム支承の減衰特性は，実際には履歴減衰によるエネルギー吸収のみでなく，他の減衰要因も存在すると考えられ，これらの影響を考慮することによって，実験結果を良好に再現することができた.

なお，積層ゴム支承のバイリニアモデルを構築する際には，その特性を把握するにあたり，構造物の構成要素となったときと同条件下での求められた正確な履歴特性の把握が必要とされる.

参考文献

1) 川島一彦，長島寛之，岩崎秀明：エネルギー比例減衰法による免震橋のモード減衰定数の推定精度， 土木技術資料，pp.62-67，1993.
2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編)， 丸善，2002.3.