

基部からの逸散減衰を考慮した高架橋模型の振動実験とその解析

宇都宮大学 ○ 学生員 緒方 友一
 宇都宮大学 正会員 中島 章典
 株式会社エイチワン 青戸 清剛
 オイレス工業 正会員 横川 英彰

1. はじめに

橋梁の耐震設計等に際しては、地震など外的作用を受ける橋梁の動的応答を数値解析手法を用いて求めることが必要となる。その際、実際の橋梁においては、地盤による橋脚基部からのエネルギー逸散は避けられず、この減衰作用が構造物の振動に影響を及ぼす場合がある。したがって、橋梁の耐震解析に際しては、逸散減衰の影響も適切に考慮しなければならない。

そこで本研究では、模擬的に地盤による逸散減衰の影響を考慮した高架橋模型を用いて振動実験とその挙動を再現する時刻歴応答解析を行い、実験で得られた固有振動数や減衰特性を解析結果と比較し、解析法の再現性を検討する。

2. 実験概要

実験に用いた高架橋模型は図-1に示すように、矩形断面およびH型断面の橋脚部材、固定支承および可動支承、上部構造部材から構成される。また、固定支承側橋脚部材の基部には逸散減衰が生じるように地盤を模擬するためのシートを挿入している。このような特性を持つ構造系において、自由振動実験および振動台による強制振動実験を行った。自由振動実験においては、橋軸方向を手動により水平加振し、その後、自由振動中に図-1に示す位置で橋脚基部のひずみを測定した。強制振動実験においては、振動台に地震波の加速度データを入力して橋軸方向に加振し、このときの橋脚基部のひずみを測定した。なお、強制振動実験時において、実地震波として入力したデータは、兵庫県南部地震時のJMA神戸記録波を調整したものである。

また、高架橋模型の本実験に先立って、各部材の減衰性状を把握するため要素試験を行った。まず、固定支承側橋脚部材および上部構造と同じ断面を有する鋼材の片持ち柱を用いた振動実験を行い、減衰定数を算出した。可動支承部の摩擦減衰に関しては、動摩擦試験により動摩擦係数0.0087を得た。

3. 解析概要

実験で用いた高架橋模型を、図-2に示すように平面骨組のための有限要素法によりモデル化し、時刻歴応答解析を行う。また、解析モデルの構築にあたって、断面諸量や材料特性、同模型の構造上の特性を考慮した。支承部分のモデル化においては、支承を上沓、下沓、基部の3つの要素に分け、図-2に示すように固定支承は要素番号19、21、22、可動支承では要素番号36、38、40にそれぞれ対応している。支承のヒンジ部（要素番号20、37）、および可動部（要素番号39）にもばね要素を設定し、それぞれの条件を満たすようにばね定数を定めた。

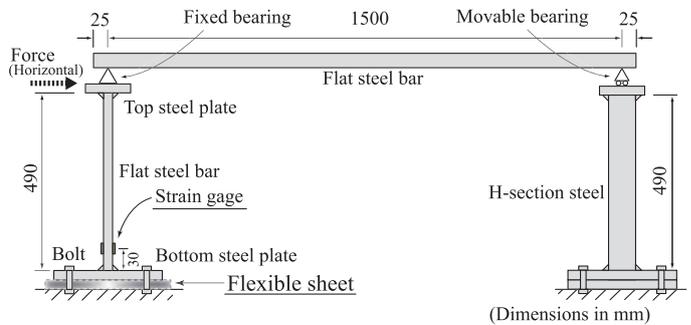


図-1 高架橋模型

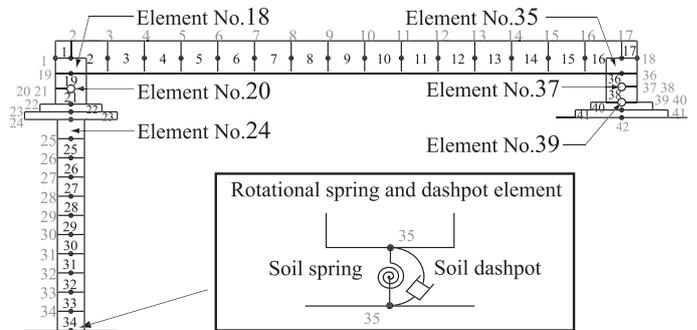


図-2 有限要素モデル

本研究では減衰要因のモデル化の異なる2種類の解析を行う。まず、鋼材の材料内部減衰に起因する粘性減衰を、既往の研究¹⁾を参考にして、剛性比例型の減衰マトリックスとしてモデル化を行った。その際、部材実験より算定した1次振動モードの減衰定数に基づいて減衰マトリックスを構成した。可動支承部における摩擦減衰については、動摩擦試験より得られた動摩擦係数より可動部に働く摩擦力を解析モデルに組込んだ。このときの動摩擦試験では、重りを載せた支承を振動台に固定し、正弦波を与えた。動摩擦係数はそのときの摩擦力から算出した。また、図-2の節点番号35に回転方向の地盤ばねとダッシュポットを考慮し、基部からの逸散減衰を再現するようにして解析を行った。

次に、可動支承部の摩擦力を考慮しないで、レーリー減衰の考え方により高架橋モデルの減衰マトリックスを構成した。この場合、橋脚部材、上部構造部材、および上述の解析により同定したダッシュポットの減衰定数を用いて、ひずみエネルギー比例減衰法によって各振動モードの減衰定数を算出した。そして、高架橋モデルの橋軸方向振動が卓越する2つの振動モードの振動数およびその減衰定数を用いてレーリー減衰マトリックスを構成し、解析を行った。

Key Words: 振動実験, 高架橋模型, モデル化, 逸散減衰

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究科情報制御システム科学専攻 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

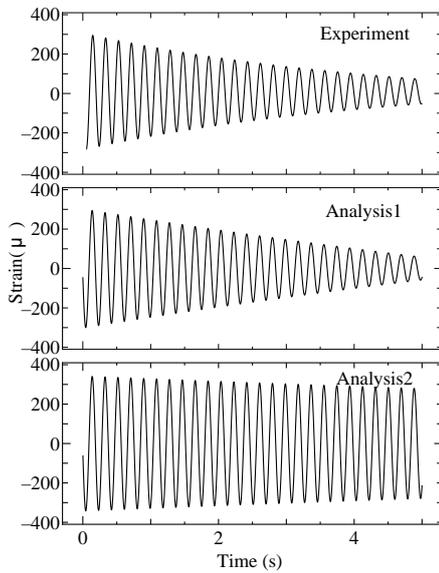


図-3 自由振動時の応答ひずみ波形

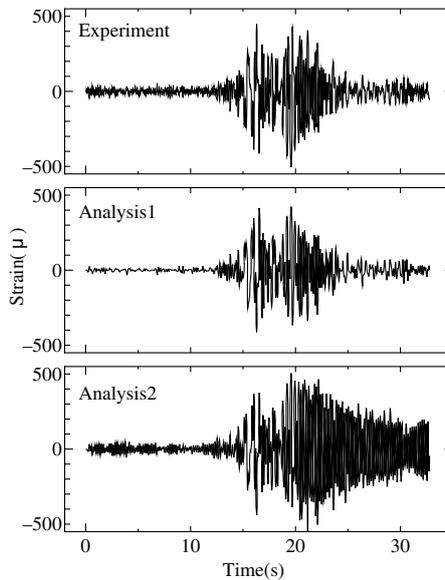


図-4 強制振動時の応答ひずみ波形

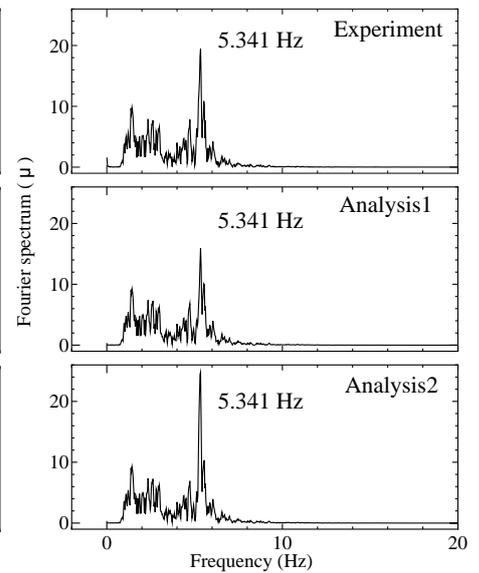


図-5 FFT 解析結果(強制振動)

4. 高架橋模型の実験結果と解析結果

逸散減衰を有する高架橋模型の自由振動実験と強制振動実験における回転ばね，ダッシュポットのパラメータは，基部の固定度を変えない限り同様と考えるのが普通である．しかし，それらのパラメータは既知の値ではないことから，以下のように同定した．つまり，回転ばねのばね定数は，解析モデルの固有振動数が実験で得られる固有振動数と一致するように，回転ダッシュポットの減衰係数は解析モデルの減衰特性が実験で得られる減衰自由振動曲線を再現するように同定した．

(1) 自由振動の場合

逸散減衰を有する高架橋模型を対象とした自由振動実験（水平加振時）によって得られた，橋脚基部のひずみ波形を図-3（上段）に示す．また，材料内部減衰を剛性比例型として考慮し，可動支承部の摩擦減衰を組込み，橋脚基部の回転ばね，ダッシュポットにそれぞれ同定値を考慮した解析結果（Analysis1）を図-3（中段）に示す．図-3（下段）にはレーリー減衰を用いた解析結果（Analysis2）を示している．図-3（上段）と図-3（中段）の自由振動波形を比較すると，粘性減衰と摩擦減衰の両者を合せ，さらに回転ダッシュポットの減衰係数を同定したことにより，減衰性状は平均的には一致していると考えられる．一方，レーリー減衰を用いた解析による自由振動波形は，実験結果と比べ減衰が小さい結果となった．

(2) 強制振動の場合

自由振動実験に引き続いて，基部の固定度を変えずに強制振動実験を行った．高架橋模型を加振した際に得られた橋脚基部のひずみの振動波形を図-4（上段）に示す．また，材料内部減衰を剛性比例型として考慮し，可動支承部の摩擦減衰を組込み，橋脚基部の回転ばね，ダッシュポットにそれぞれ同定値を考慮した解析結果（Analysis1）を図-4（中段）に示す．図-4（下段）にはレーリー減衰を用いた解析結果（Analysis2）を示している．図-4（中段）の結果となった解析（Analysis1）では，前述の自由振動時の解析で用いた橋脚基部の回転ばねおよび回転ダッシュポットのばね定数および減衰係数をそのまま用いているが，図-4（上段）のひずみ波

形とほぼ一致していると言える．ただし，解析結果の方がわずかに減衰が大きいことも確認できる．これは，動摩擦試験時と本実験時での動摩擦係数の相違によるものと考えられる．また，実験と解析のひずみ応答から得られるスペクトル解析結果を図-5に示す．実験と解析（Analysis1）で卓越する振動数などは一致し，解析モデルの固有振動数が実験結果を良好に再現している．したがって，強制振動の解析においては，自由振動時の解析で同定したばね定数および減衰係数の値の妥当性が確認できたと言える．

ここで，図-4（下段），図-5（下段）に示すレーリー減衰を用いる場合（Analysis2）と比較すると，各部材の自由振動実験および可動支承の実験より同定した各部材の減衰定数および摩擦力を考慮した解析結果（Analysis1）のほうが，より良好に高架橋模型の動的挙動を再現していることは明らかである．

5. まとめ

本研究では，逸散減衰を有する高架橋模型を対象として振動実験を行った．自由振動時の解析において，実験結果を最もよく再現する回転ばねとダッシュポットのパラメータを同定することができた．そして，回転ばねとダッシュポットの同定値を強制振動時の解析にも適用することによって，実験結果を良好に再現し，その同定値の妥当性が確認できた．

また，一般的なレーリー減衰マトリックスを考慮した解析モデルの動的応答解析と比較して，高架橋模型の構成部材の材料内部減衰を剛性比例減衰マトリックスで，可動支承部の摩擦減衰を摩擦要素で組込んだ解析モデルを用いた動的応答解析が，実験結果をより良好に再現できることを確認した．

参考文献

- 1) 笠松正樹，中島章典，斉木功，横川英彰：高架橋モデルの振動特性に関する実験とその有限要素法解析，第9回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp155-162，2006.2.