

支持条件と長さが異なる梁部材の構造減衰に関する基礎的研究

北海道大学大学院 学生員 ○白木 聡仁
宇都宮大学大学院 フェロー 中島 章典

1. はじめに

構造物の時刻歴応答解析時のモデル化において、減衰は解析結果に顕著に影響を与えるため、時刻歴応答解析を行う場合には、質量や剛性はもちろん減衰も適切に評価して取り入れる必要がある。一般的に、構造物の粘性減衰特性として減衰マトリックスを質量比例型と剛性比例型の和として与える、Rayleigh 減衰¹⁾が採用されている。一方、既往の研究²⁾では弾性部材の材料内部減衰が剛性比例型で表わされると指摘している。剛性比例型減衰では構造物の全要素で剛性マトリックスに乗じる係数 β が一定となり、部材の支持条件や部材長さなどの影響を受けないこととなる。しかし、部材の支持条件や部材長さなどが異なる条件下では、この現象が十分には確認されていない。

そこで、本研究では、支持条件や長さが異なる梁部材を対象とした低次の減衰自由振動実験を行い、部材の支持条件や長さが異なる場合にも材料内部減衰が剛性比例型減衰で表わされるか確認した。

2. 試験体

本研究では、ほぼ同じ長方形断面を有する鋼製部材を用い、支持条件を変えて減衰自由振動実験を行った。支持条件は図-1 上段に示すような単純支持梁、下段に示す2種類の片持ち梁とした。試験体に用いた鋼製部材の断面諸量を表-1 に示す。鋼製部材の弾性係数は既往の文献³⁾を参考とし、単純支持梁では 206.7kN/mm^2 、片持ち梁 1, 2 では 208.4kN/mm^2 を用いた。

3. 振動実験の概要

本研究では、図-1 に示す単純支持梁と片持ち梁を対象として減衰自由振動実験を行った。

梁の固定方法として、単純支持梁は、フラットベアリングと回転ベアリングからなる可動支承、固定支承を剛な橋脚を介して、フレームに強固に固定した。片持ち梁 1(図-1-下段左)では、梁の基部を剛な鋼部材で挟み4本のボルトで固定している。片持ち梁 2(図-1-下段右)では梁部材を溶接した鋼板部分を万力でフレームに強固に固定し、逸散減衰の影響が極力生じないようにした。単純支持梁では長さ 2000mm 、片持ち梁 2 では長さ 500mm で、弱軸、強軸を対象として実験を行った。片持ち梁 1 では、長さ 500mm では弱軸、 600mm では強軸、 1000mm では弱軸、強軸を対象として実験を行った。単純支持梁の実験では、弱軸、強軸それぞれスパン $1/2$ 、 $1/4$ の位置でのひずみを、片持ち梁 1, 2 に関しては弱軸、強軸に対してそれぞれの基部付近のひずみを計測した。

単純支持梁を対象とした減衰自由振動実験に関して、1次振動モードでは梁のスパン中央部に瞬間的な外力を作用させ、梁のひずみを計測した。2次振動モードでは、振動の節となるスパン中央部を指で軽く固定し、振動の腹の位置に外力を作用させると同時に指を離し、ひずみを計測した。片持ち梁 1, 2 に関しては、梁の先端位置に瞬間的な外力を作用させた後、梁のひずみを計測した。なお、片持ち梁 1, 2 に関しては1次振動モードのみを対象として実験を行った。

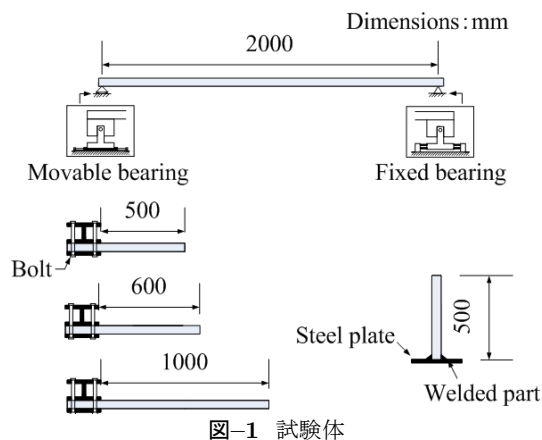


図-1 試験体

表-1 断面諸量

支持形式	寸法 mm × mm	単位体積重量 kN/m ³
単純支持梁	19.85 × 11.75	76.89
片持ち梁 1	19.86 × 11.75	75.89
片持ち梁 2	19.89 × 11.82	75.89

4. 振動実験結果

実験から得られた各支持条件の梁の自由振動波形に対して固有振動数の実験値の前後 10% の条件でフィルタのバンド幅を適用し、注目する振動モードの自由振動波形を抽出した。このフィルタ処理後の振動波形に対して、波の最大値と最小値をプロットしてそれをつないだ曲線を求める。つまり1つの自由振動波形で正側、負側の2本の曲線を得ることになる。この曲線の縦軸にひずみ振幅の対数をとった場合の近似直線の傾きから、対数減衰率 δ を求め、減衰定数 h を算定する。一例として、単純支持梁の弱軸の1次振動モードに着目して得られた自由振動波形にフィルタ処理した波形を図-2 上段に、対数減衰率を算出する際に用いる自由振動波形のひずみ振幅の対数と振動波数の関係を図-2 下段に示す。図-2 下段の対数減衰率の算定のグラフにおいて、全体の近似直線の傾きから減衰定数 h を求め、剛性マトリックスに乗じる係数 β ($=h/\pi f$: f は着目固有振動数) を求めることができる。ここでは、係数 β のひずみ振幅依存性を確かめるために、振動波数を均等に10区間に分け、区間毎での起点と終点のひずみの平均値を区間でのひずみ振幅とし、それぞれの区間毎で算出した対数減衰率から求めた減衰定数、および係数 β とひずみ振幅の関係を調べる。単純支持梁、片持ち梁について以上のように求めた減衰定数-ひずみ振幅関係を図-3 に、係数 β -ひずみ振幅関係を図-4 に示す。図-3 において横軸はひずみ振幅、縦軸は減衰定数、図-4 において横軸はひずみ振幅、縦軸は剛性マトリックスに乗じる係数 β を表している。

図-3 上段から単純支持梁に関しては、弱軸、強軸の振動モードごとに減衰定数の値に差異があることがわかる。一方、図-3 下段の片持ち梁では、片持ち梁 2 の弱軸で減衰定数の値が僅かに大きくなっているが、全体を通して減衰定数はほぼ一定値をとっていると言える。また、片持ち梁の減衰定数に比較して、単純支持梁の減衰定数が大きいことから、単純支持梁の場合には材料内部減衰以外の減衰の影

Key Words: 梁部材, 支持条件, 構造減衰, 材料内部減衰, 振動実験

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究部 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

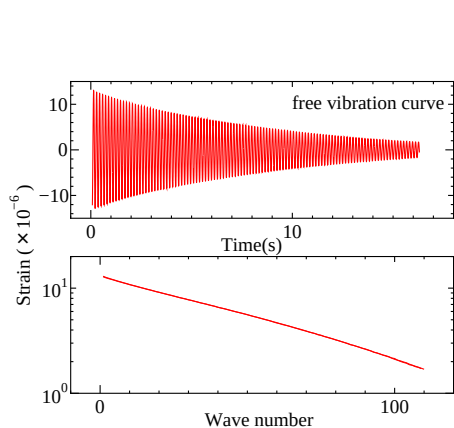


図-2 フィルタ処理後の自由振動波形, 対数減衰率の算定

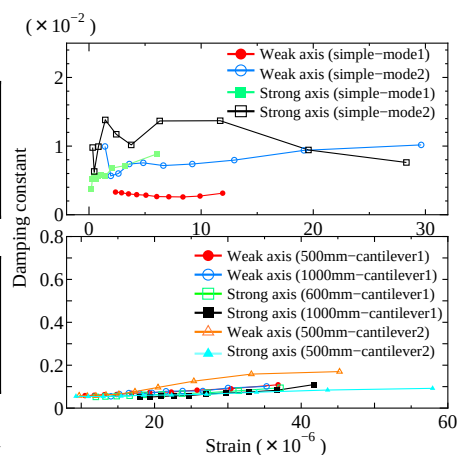


図-3 減衰定数-ひずみ振幅関係

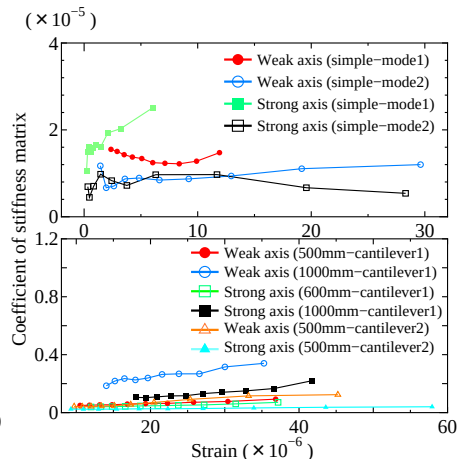


図-4 係数 β - ひずみ振幅関係

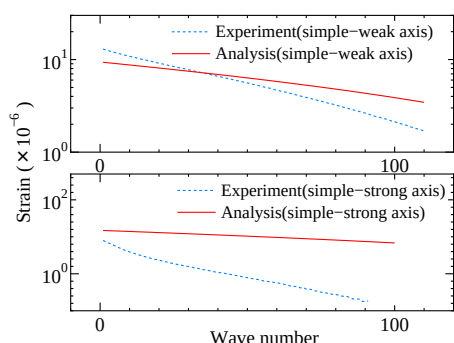


図-5 ひずみ振幅-振動波数関係 (1次振動モード)

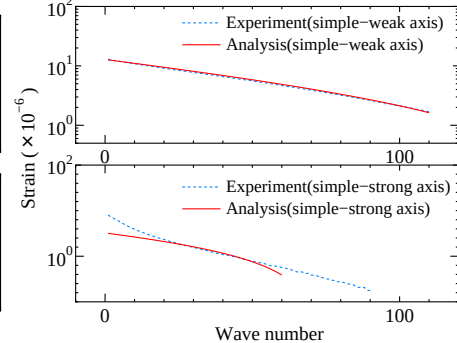


図-6 ひずみ振幅-振動波数関係 (1次振動モード, 支承回転部の粘性減衰考慮)

響が含まれていると考えられる。次に, 図-4 上段から, 単純支持梁に関しては, 2次振動モードよりも1次振動モードの係数 β が大きいことがわかる。これは, 1次モードでは支承部での摩擦減衰の影響を受けていることも一因と考えられる。しかし, ひずみ振幅依存性の影響は少なく, 係数 β はほぼ一定値をとっていると言える。図-4 下段の片持ち梁では, 特に, 片持ち梁1の弱軸の1000mmに比べ, 片持ち梁2の強軸では係数 β が1/10程度の値をとっており, 片持ち梁に関しては係数 β は一定値を取るとは言えないことがわかる。

5. 実験値と解析値の比較および考察

係数 β に関して単純支持梁では一定となる傾向が見られたが, 単純支持梁では材料内部減衰以外に可動支承部の摩擦減衰等が含まれていることが考えられ, それらの減衰がどの程度影響しているかを把握する必要がある。そこで, 数値解析から単純支持梁の減衰要因を把握する。まず, 片持ち梁における減衰定数が一定となる傾向を取り入れるため, 片持ち梁の減衰定数と単純支持梁の減衰定数が整合するように単純支持梁の材料内部減衰を設定した。設定した係数 β の値は弱軸で 3.4×10^{-5} , 強軸では 2.1×10^{-5} である。また, 可動支承部の摩擦力は $0.117\text{N}^{(4)}$ とした。

上述した材料内部減衰と可動支承部の摩擦減衰を考慮した解析値と実験値のひずみ振幅-振動波数関係を図-5に示す。図-5から, 実験値の傾きが解析値の傾きよりも大きくなっていることがわかる。これは材料内部減衰, 可動支承部の摩擦減衰以外の減衰要因が影響していることが考えられ, 支承回転部の減衰がその要因として考えられる。そこで, 支承回転部の減衰を粘性減衰として考慮するために, 支承部に回転ダッシュボットを設置し, 支承回転部の減衰を考慮した解析を行った。梁部材の材料内部減衰, 可動支承部の摩擦減衰, 支承回転部の粘性減衰を考慮した場合のひずみ振幅-振動波数関係を図-6に示す。図-6では, ま

ず弱軸において解析値と実験値が整合するように支承回転部の粘性減衰を考慮し, 弱軸と同じ大きさの粘性減衰を強軸でも考慮している。図-6において, 振動実験から得られた減衰定数の値は弱軸で 2.9×10^{-3} , 強軸で 6.1×10^{-3} であるのに対し, 解析では弱軸で 2.9×10^{-3} , 強軸で 5.2×10^{-3} であり, 相対誤差は弱軸で0%, 強軸で約15%である。強軸において僅かに誤差が生じたが, これは強軸では弱軸で考慮した減衰以外の減衰要因が影響していることが考えられる。

6. おわりに

本研究では, 弾性部材の材料内部減衰は剛性比例減衰で表されるという既往の研究²⁾の知見を, 異なる支持条件あるいは長さが異なる梁を対象として自由振動実験を行い確認した。その結果, 単純支持梁では, 求められた減衰定数から算定した剛性比例型減衰において剛性マトリックスに乗じる係数が一定となる傾向が認められた。しかし, 片持ち梁の実験では, 剛性マトリックスに乗じる係数は一定とはならず, いずれの場合も減衰定数の方が一定に近い結果となり, 既往の研究²⁾と異なる傾向が認められた。さらに, 片持ち梁と単純支持梁における減衰定数の違いが, 可動支承部の摩擦減衰あるいは支承回転部の減衰等によるものとして説明することができた。

参考文献

- 宇佐美勉編著: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 日本鋼構造協会, 技報堂, 2006.9.
- 中島章典, 内川直洋, 斉木功: 単純な橋梁モデルの固有振動および減衰特性に関する基礎的検討, 構造工学論文集, Vol.49A, pp.319-328, 2002.3.
- 中島章典, 緒方友一, 笠松正樹, 横川英彰: 高架橋模型の強制振動実験と減衰のモデル化に着目したその数値解析, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.306-316, 2009.3.
- 日野秀幸, 中島章典, 笠松正樹, 横川英彰: 地震時下における高架橋モデルの減衰特性に着目した研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.61, pp.981-982, 2006.9.