

支持条件が異なる梁部材の構造減衰に関する基礎的研究

宇都宮大学 学生員 ○白木 聡仁, 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、減衰を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、以下の式(1)で表わされるレイリー減衰¹⁾が採用されている。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (1)$$

ここに、
 [C]:減衰マトリックス、
 [M]:質量マトリックス、
 [K]:剛性マトリックス

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 が一定であると考えられているが、ひずみ振幅依存性の影響を受け係数 β が変化することも考えられる。また、既往の研究²⁾による知見は単純支持梁のデータのみに基づくものであり、異なる支持条件の梁においても成り立つのか確認されていない。

そこで、本研究では、支持条件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、材料内部減衰が剛性比例型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、下段に示す片持ち梁を用いた。また、片持ち梁に関しては、梁の基部を剛な鋼部材で挟みボルトで固定した片持ち梁1(図-1 下段左)と、鋼製部材を鋼板に隅肉溶接した片持ち梁2(図-1 下段右)を用いた。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⁾を参考にした。

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では鋼板部分を万力でフレームに固定し、逸散減衰の影響を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、長さを500, 600, 1000mmと変え、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

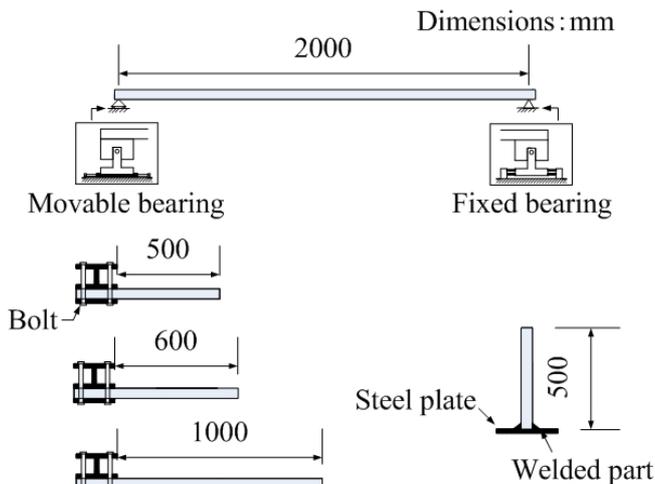


図-1 試験体

表-1 断面諸量

支持形式	mm × mm	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

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次モードでは梁の中央部に瞬間的な外力を作用させ、減衰自由振動状態にある梁のひずみを計測した。2次モードでは、振動の節となる梁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、減衰自由振動状態にあるひずみを計測した。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、減衰自由振動状態にある梁のひずみを計測した。なお、片持ち梁1, 2に関しては1次モードのみを対象として実験を行った。

4. 振動実験結果

一般に減衰自由振動実験から得られる振動は対象とした振動モードのみではなく、複数のモードが混合した複合波である。そこで、フーリエ変換および数値フィルタを用いて実験から得られた複合波から注目する振動モードの自由振動波形を抽出し、振動特性を調べた。実験より得られたひずみ波形に対してフーリエ変換を適用し、得られたそれぞれの梁における各振動モードの固有振動数および対応する梁としての固有振動数の理論値を表-2に示す。表-2において、片持ち梁2の実験値と理論値が大きく異なっているが、これは理論値が梁基部の溶接部の断面を考慮していなかったためと考えられる。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表-2に示す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

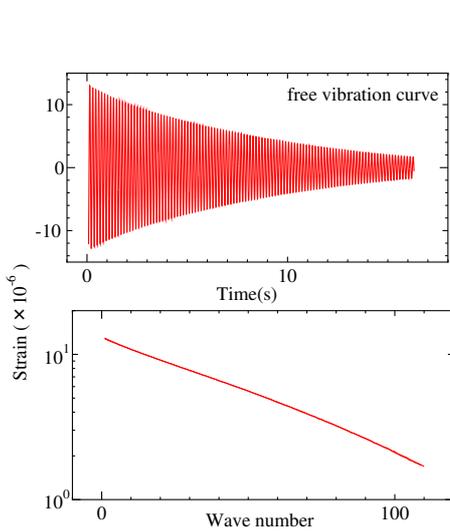


図-2 フィルタ処理後の自由振動波形, 対数減衰率の算定

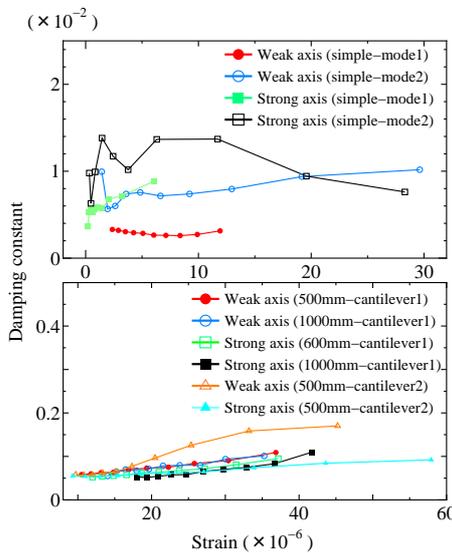


図-3 減衰定数-ひずみ振幅関係

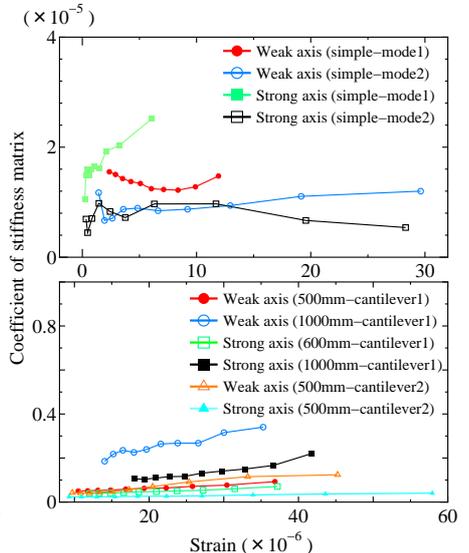


図-4 係数 β -ひずみ振幅関係

表-2 固有振動数の比較

固有振動数	実験値 (Hz)	理論値 (Hz)
単純支持梁 (1次-弱軸)	6.77	6.84
単純支持梁 (1次-強軸)	11.23	11.55
単純支持梁 (2次-弱軸)	26.98	27.36
単純支持梁 (2次-強軸)	44.92	46.21
片持ち梁 1(弱軸-500mm)	37.35	39.22
片持ち梁 1(強軸-600mm)	42.60	46.03
片持ち梁 1(弱軸-1000mm)	9.46	9.81
片持ち梁 1(強軸-1000mm)	15.87	16.57
片持ち梁 2(弱軸)	43.70	39.36
片持ち梁 2(強軸)	72.75	66.23

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 を求める。一例として、単純支持梁の弱軸の1次モードに着目して得られた自由振動波形を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 を求めることができる。ここでは、剛性マトリックス係数 $\beta (=h/\pi f : f$ は着目固有振動数)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、最も差異があるひずみ

振幅30~40 μ 区間での片持ち梁2の弱軸と強軸を比較してみると、弱軸に比べ強軸の減衰定数の値は1/2程度と僅かな差であり、全体を通して減衰定数はほぼ一定値をとっているといえる。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次モードよりも1次モードの係数 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いえる。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いえないことがわかる。

5. 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にそのような傾向が認められた。しかし、梁の弱軸、強軸回りあるいは梁の長さを変化させた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、既往の研究と異なる傾向が認められた。また、単純支持梁で得られた減衰定数は、片持ち梁で得られた減衰定数よりもかなり大きいことから、単純支持梁の自由振動挙動時には、材料内部減衰以外に摩擦減衰あるいはその他の減衰の影響が含まれている可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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，Vol49A，pp.319-328，2002.3.
- 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，Vol55A，pp.306-316，2009.3.