

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560257

研究課題名(和文) スポット溶接構造の減衰発生メカニズムの解明と周波数領域モデリング

研究課題名(英文) Damping mechanism in spot welded structures and its modeling in frequency domain

研究代表者

鞍谷 文保 (KURATANI, FUMIYASU)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00294265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：スポット溶接などの接合部の存在は、接合接触面での摩擦により構造全体の振動減衰能を高めることが知られている。本研究では、部分的な重なりを有する薄板平板接合構造を検討対象として、最初に、固有値解析で得られた振動モードを基にモードごとに減衰特性が異なる理由を検討する。次に、静的有限要素接触解析を用いてモード形状に依存するモードごとの減衰特性を簡易に推定する方法を提案する。最後に、周波数領域での減衰評価が可能な減衰モデルを提示する。

研究成果の概要(英文)：The existence of spot welded joints increases the vibration damping in the structure due to friction at the interface. In this study, a joined plate structure with partial overlap region is used as the test structure. First, the reason why each mode has different damping characteristics is discussed based on the mode shapes. Next, a procedure for estimating damping characteristics depending on each mode shape is proposed using finite element static contact analysis. Finally, a damping model for predicting damping characteristics in frequency domain is presented.

研究分野：機械工学，機械力学・制御，モード解析

キーワード：振動解析 接合構造 有限要素法 モード解析 接触解析 減衰 摩擦

1. 研究開始当初の背景

スポット溶接などで接合された薄板平板構造では、接合部において摩擦によるエネルギー散逸が生じ、一体構造に比べて構造全体の振動減衰能が高くなることが知られている。しかし、現状では、接合部における減衰発生メカニズムは明確に解明されているとはいえず、モードごとに減衰特性が異なる理由も明確ではない。動的設計において構造の減衰特性を把握しておくことは重要で、特にモードごとの減衰特性を予測できることが望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、部分的な重なりを有する薄板平板接合構造を検討対象として、最初に、接合接触面における減衰発生メカニズムを明らかにする。次に、モード形状に依存したモードごとの減衰特性を簡易に推定する方法を提案し、その妥当性を示す。最後に、周波数領域での減衰評価が可能な減衰モデルを提示し、その妥当性を示す。

3. 研究の方法

(1) 減衰発生メカニズム

長板鋼板を2枚の短板鋼板で挟んだ3枚構成の試験片を製作し、モードごとの減衰特性を測定する。次に、試験片の線形有限要素モデルを作成(図1)し、固有値解析で固有振動数と振動モードを求める。得られたモード形状を基に、モードごとに減衰特性が異なる理由を検討する。

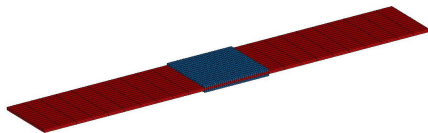


図1 線形有限要素モデル

(2) 簡易減衰推定法

固有値解析で用いた線形有限要素モデルの長板と短板の接合面に接触要素を定義し、接触解析用非線形有限要素モデルに修正する。そのモデルを用いて、長板に固有値解析で得られた振動モード形状の強制変位を静的に与え、接合接触面における接触圧力などから摩擦による散逸エネルギーを求める。これをモードごとに繰り返すことで、モード形状に依存した減衰特性の推定を可能とする。本研究では、動的接触解析の代わりに静的接触解析を用いる。そのために、接合面に面荷重を付与(図2)することで、振動で生じる面荷重効果を補正する。その適正值について検討する。

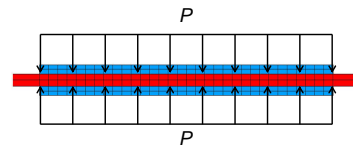


図2 面荷重の付与

(3) 接合部の簡易モデル化

スポット溶接などで接合された接合部(図3)の簡易モデル化について検討する。



図3 スポット溶接試験片の接合部

接合部の結合部分をビーム要素で、2枚の平板をシェル要素でモデル化し、ビーム要素の両端の各節点とシェル要素の複数の節点を多点拘束で結合する。これで接合部の曲げ剛性を高め、さらに面内ねじりモーメントの伝達を可能とする。曲げとねじりの剛性特性はビーム要素の節点と結合するシェル要素の節点範囲に依存する。そこで、結合節点範囲と固有振動数の関係を調べる。

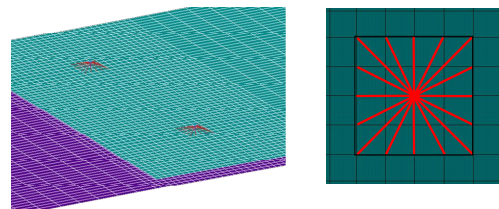


図4 接合部多点拘束モデル

(4) 周波数領域の減衰モデル

周波数応答解析に適した接合部の簡易減衰モデルとして、接合接触面におけるエネルギー散逸を粘性減衰要素で表す。すなわち、2枚の平板が重なる接合部の節点間をダッシュポット要素で結合したモデル(図5)を構築し、減衰係数の適正值について検討する。

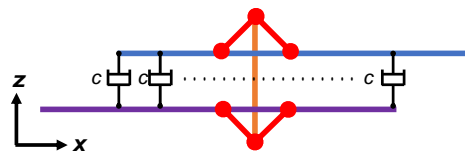


図5 接合部減衰モデル

4. 研究成果

研究の主な成果

(1) 減衰発生メカニズム

図 6 に 3 枚構成の試験片の短板長さが 80mm と 60mm の場合に、振動実験で得られたモードごとの減衰比を示す。

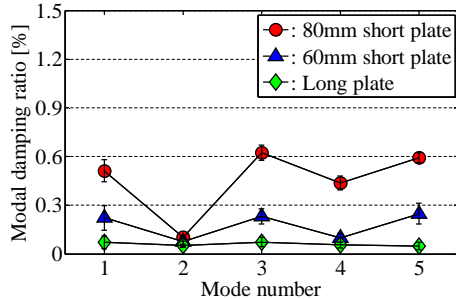


図 6 減衰測定結果

モード減衰比は短板長さに依存し、本研究の範囲では短板長さが長い 80mm 方が減衰比が大きい。

短板長さ 80mm, 60mm とともに、1 次、3 次、5 次モードの方が 2 次、4 次モードより減衰比が大きい。

長板単体の減衰比は小さい。

図 7 に固有値解析で得られた振動モードを、図 8 に 2 次モード、3 次モードの接合部の拡大図を示す。

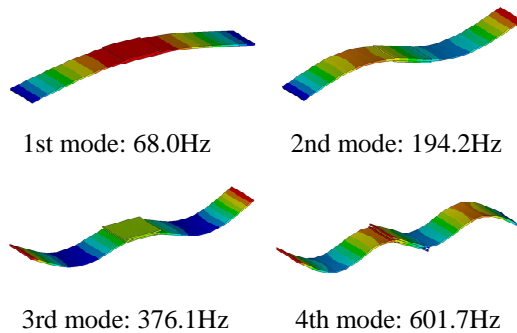


図 7 振動モード (固有値解析結果)

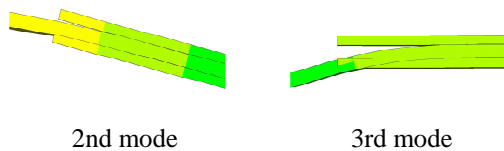


図 8 振動モード (接合部の拡大図)

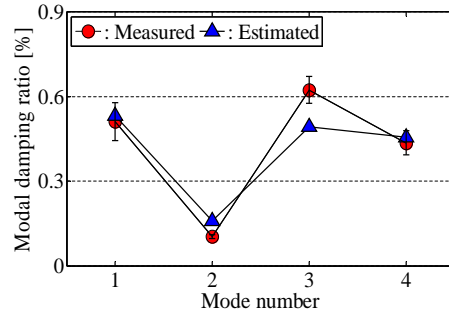
1 次、3 次モードは長手方向中央の対称面に関して対称なモードで、長板の変形が大きく、短板の変形は小さい。

2 次、4 次モードは逆対称なモードで、長板と短板が一体で剛体のように回転運動している。

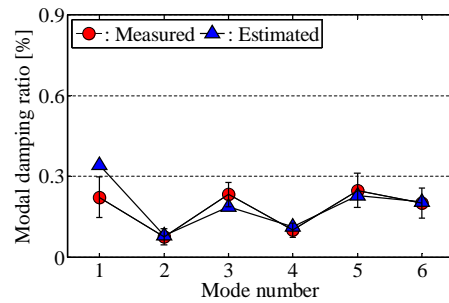
対称モードと逆対称モードの違いがモード減衰比の違いに表れている。

(2) 簡易減衰推定法

図 9 に適切な面荷重を付与しながら静的接触解析を実施し、散逸エネルギーを求め、それから推定された減衰比を実験値と比較し示す。図 10 に、図 9 の場合のモードごとの適正面荷重を示す。



80mm short plate



60mm short plate

図 9 モード減衰比の推定値と実験値の比較

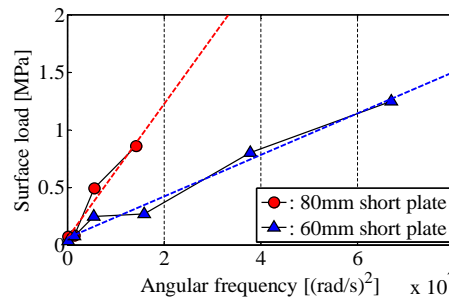


図 10 適正面荷重

適正面荷重を付与すると短板長さ 80mm, 60mm とともに精度よく減衰比が推定可能である。

適正面荷重は角振動数の 2 乗にほぼ比例して増加する

短板長さ 80 mm の方が 60 mm に比べて大きな面荷重を必要とする。

(3) 接合部の簡易モデル化

図 11 にビーム要素の節点と多点拘束で結合するシェル要素の節点範囲を変更したときの固有振動数の変化を示す。

簡易モデルでも適切な結合節点範囲を設定すると実験の振動特性を再現できる。

ビーム要素とシェル要素の節点を結合する多点拘束の範囲を広くするほど固有振

動数が高くなる．
 実験値に近い結合節点範囲は，等価締結体を基に求めた等価座面の場合である．

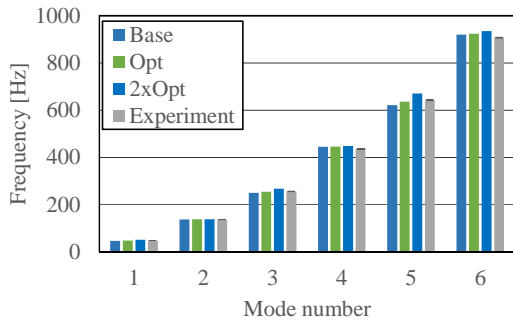


図 11 固有振動数の変化

(4) 周波数領域の減衰モデル

図 12 に簡易減衰モデルで予測した周波数応答関数と実験値の比較を示す．図 13 に，図 12 の場合のモードごとの適正な減衰係数を示す．

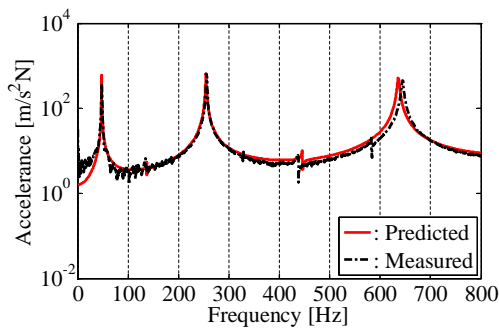


図 12 周波数応答関数の比較

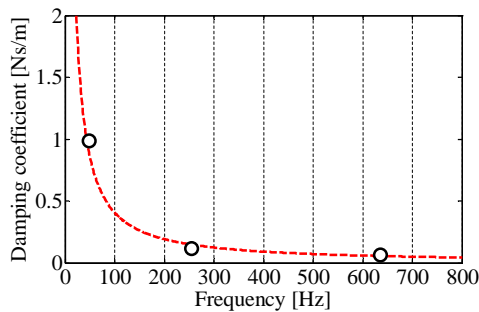


図 13 適正減衰係数

簡易減衰モデルでも適正な減衰係数を設定するとモード形状に依存した振動特性を再現できる．

実験で得られたモード減衰比は，モード順には変化しないが，等価粘性減衰係数の適正值はモード順に小さくなり，ほぼ周波数に反比例する．

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

スポット溶接のような接合部を有する薄板平板構造は，一体構造より減衰が大きくな

り，その減衰特性はモードごとに異なることが知られている．しかし，モード形状に依存したモードごとの減衰特性を簡易に推定する方法は提案されていなかった．本研究では，モード形状と減衰特性の関係を明らかにし，モード形状を基に静的接触解析を利用してモードごとの減衰特性を推定する方法を提案した．さらに，周波数領域での減衰モデルを提示した．減衰特性の簡易推定法は学術的な価値があり，周波数領域での減衰モデルは工業的な価値がある．

今後の展望

本研究では，検討対象として単純な形状の薄板平板接合構造を取り上げた．しかし，実際の構造物は形状が複雑であり，それとともにモード形状も複雑になる．したがって，より形状が複雑な構造に対する減衰推定法への拡張が，今後の検討課題である．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

T. Hirai, F. Kuratani, K. Koide, I. Kido, Damping Estimation of Joined Plate Structures using Static Contact Analysis, Proceedings of the 12th International Conference on Motion and Vibration, 査読有, Paper No.2A12, 2014, pp.1-11.

<http://hdl.handle.net/10098/8532>

平居嵩朗, 鞍谷文保, 小出一志, 城戸一郎 部分的な重なりを有する平板接合構造の簡易減衰推定, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol.80 No.812, 2014, pp.1-12.

DOI: 10.1299/transjsme.2014trans0075

F. Kuratani, T. Hirai, K. Koide, I. Kido, Damping in Joined Friction Plates with Partially Overlapping Interfaces, Proceedings of 11th International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, 査読有, Paper No.1019, 2013, pp.1-13.

<http://hdl.handle.net/10098/8533>

F. Kuratani, K. Koide, T. Hirai, I. Kido, Evaluation of friction damping in joined plates with partially overlapping interfaces, Proceedings of 15th Asia Pacific Vibration Conference, 査読有, 2013, pp.1079-1084.

〔学会発表〕(計 8 件)

平居嵩朗, 鞍谷文保, 泉代将太, 平板接合構造の周波数領域モデリング, 日本機械学会北陸信越支部第 52 期総会・講演会, 2015.3.8, 新潟工科大学(新潟県・柏崎市).
 T. Hirai, F. Kuratani, K. Koide, I. Kido, Damping Estimation of Joined Plate Structures using Static Contact Analysis, 12th International Conference on Motion and Vibration, 2014.8.5, Sapporo (Japan).

平居嵩朗, 鞍谷文保, 小出一志, 城戸一郎, 静的接触解析による接合平板の摩擦減衰

推定, 日本機械学会北陸信越支部第 51 期
総会・講演会, 2014.3.8, 富山県立大学(富
山県・射水市).

平居嵩朗, 鞍谷文保, 小出一志, 城戸一郎,
部分的な接触部を有する平板構造物の減
衰推定, 日本機械学会 Dynamics and
Design Conference 2013, 2013.8.30, 九
州産業大学(福岡県・福岡市).

F. Kuratani, T. Hirai, K. Koide, I. Kido,
Damping in Joined Friction Plates with
Partially Overlapping Interfaces, 11th
International Conference on Recent Advances
in Structural Dynamics, 2013.7.2, Pisa (Italy).

F. Kuratani, K. Koide, T. Hirai, I. Kido,
Evaluation of Friction Damping in Joined
Plates with Partially Overlapping Interfaces,
15th Asia Pacific Vibration Conference,
2013.6.2, Jeju (Korea).

平居嵩朗, 鞍谷文保, 小出一志, 城戸一郎,
部分的な接触部を有する平板構造物の摩
擦減衰特性評価法, 日本機械学会北陸信越
支部第 50 期総会・講演会, 2013.3.9, 福
井大学(福井県・福井市).

平居嵩朗, 鞍谷文保, 城戸一郎, ボルト接
合を有する平板構造物の減衰特性, 日本機
械学会 Dynamics and Design Conference
2012, 2012.9.20, 慶応義塾大学(神奈川
県・横浜市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鞍谷 文保 (KURATANI Fumiyasu)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 00294265