

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560237

研究課題名（和文） 振動解析に適したスポット溶接部のモデル化とばらつきを考慮した溶接位置の最適化

研究課題名（英文） Spot weld Modeling suitable for vibration analysis and optimal spot weld position with consideration of variation

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、スポット溶接位置のばらつきの影響を受けにくい振動特性を有する溶接構造を構築するための溶接位置について検討する。最初に、有限要素解析に適したスポット溶接部の有限要素モデルを明らかにし、その特性に影響を及ぼす溶接部鋼板の適切な要素分割指針を示す。次に、溶接位置のばらつきが溶接構造の振動特性に及ぼす影響を明らかにし、それを基に振動特性の変動の小さい溶接構造を構築するための溶接位置指針を示す。

研究成果の概要（英文）：In this study, we deal with spot weld position for building a spot welded structure whose vibration characteristics are insensitive to variation in spot weld positions. First, we reveal a spot weld finite element model suitable for vibration analysis and propose a guideline for plate mesh pattern surrounding a spot weld, affecting the model characteristics. Next, we examine the influence of spot weld positions on the vibration characteristics of a spot welded structure and present a guideline for spot weld positions to build the structure with a small variation in the vibration characteristics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：振動，モード解析，有限要素法，モデル化，スポット溶接，溶接位置，ばらつき

1. 研究開始当初の背景

スポット溶接は薄板の接合法として、自動車業界など幅広い工業分野で使用されている。自動車車体の場合、溶接点数は数千もあり、溶接位置は溶接構造の振動特性に大きな影響を及ぼす。そこで、溶接位置を適切に配置し、溶接位置による振動特性の変動が小さい溶接構造を得ることは、品質管理を含めた製造コスト全体を低減できる工業的価値が

ある。

スポット溶接構造の振動特性を解析する方法として、一般に有限要素法が用いられており、解析精度を高めるためには、溶接部の適切なモデル化が必須である。しかし、振動解析に適した溶接部の有限要素モデルの検討は国内ではなされておらず、国外でもそれほど多くない。また、溶接位置のばらつきが溶接構造の振動特性に及ぼす影響を詳細に

調べ、溶接位置のばらつきの影響を受けにくい振動特性を有する溶接構造を構築するための溶接位置についての検討は見られない。

2. 研究の目的

本研究では、溶接位置のばらつきによる振動特性の変動が小さい溶接構造を構築するための溶接位置を得るための検討を行う。

最初に、振動解析に適したスポット溶接部の有限要素モデルを明らかにし、その特性に大きな影響を及ぼす溶接部鋼板の要素分割に関して、適切な要素分割指針を示す。

次に、溶接位置を検討する基礎となる溶接位置のばらつきが溶接構造の振動特性に及ぼす影響を明らかにする。

最後に、溶接位置のばらつきの影響を受けにくい振動特性を有する溶接構造を構築するための溶接位置の指針を示す。

3. 研究の方法

(1) スポット溶接部の有限要素モデルと溶接部鋼板の要素分割指針

スポット溶接部のモデルとして多点拘束モデル(図1)を取り上げる。このモデルの特長は、上下のシェル要素(溶接部鋼板)の節点位置とは独立にソリッド要素(溶接ナゲット)を配置できることである。そのため、上下の溶接部鋼板の要素分割の影響を受けやすい。そこで、溶接部鋼板の要素分割パターンが振動特性に及ぼす影響を詳細に検討する。その結果を基に、溶接部鋼板の適切な要素分割指針を提示する。モデルの検証および特性評価には、薄板鋼板2枚を3点のスポット溶接で接合した溶接構造試験体(図2)を用いる。

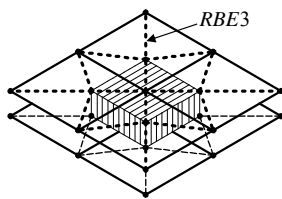


図1 スポット溶接部多点拘束モデル

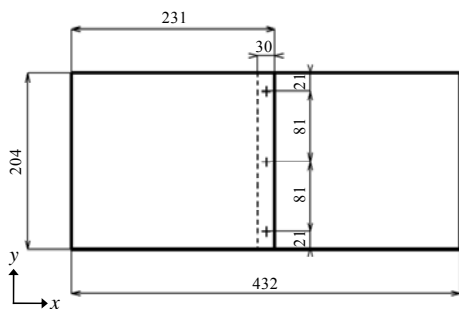


図2 スポット溶接構造(モデル評価用)

(2) スポット溶接位置のばらつきが溶接構造の振動特性に及ぼす影響と溶接位置指針
ダブルハット型の溶接構造試験体(図3)を製作し、スポット溶接位置のばらつきを調べたところ、スポット位置のばらつき範囲は $\pm 2\text{mm}$ 程度であった。そこで、有限要素モデル(図4)のスポット溶接位置(片側10点、計20点)を横方向に $\pm 3\text{mm}$ の範囲でばらつかせ、溶接位置のばらつきが振動特性に及ぼす影響を調べる。さらに、溶接位置を正規分布でばらつかせたときの振動特性の変動分布の特性を検討する。

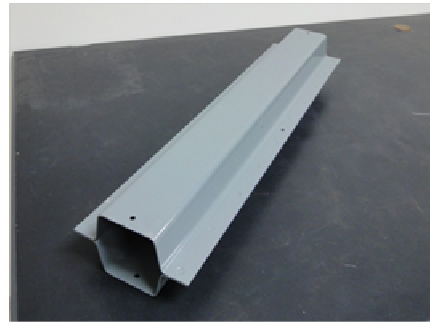


図3 スポット溶接構造(ばらつき評価用)

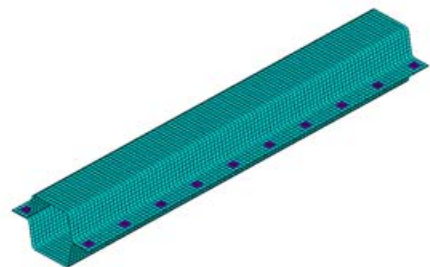


図4 有限要素モデル

4. 研究成果

研究の主な成果

(1) スポット溶接部の有限要素モデルと溶接部鋼板の要素分割指針

① 多点拘束モデルにおいては、ソリッド要素(溶接ナゲット)の節点に近い位置のシェル要素(溶接部鋼板)の節点で、多点拘束方程式の係数が大きくなる。係数に応じて、ソリッド要素の剛性がシェル要素の節点間の剛性に分配されるので、要素分割パターンにより振動特性が影響を受ける。

② パッチ(溶接部を構成するシェル要素)が4個の矩形形状シェル要素で構成され、ソリッド要素中心とパッチ中心が一致する場合(図5(a))、パッチサイズが大きくなるほど固有振動数が大きくなる(図6(a))。一方、ソリッド要素中心とパッチ中心が一致しない場合(図5(b))、固有振動数は単調増加と

はならない (図 6(b)) .

③パッチを構成するシェル要素のサイズが大きい場合、パッチが4個のシェル要素で構成されず矩形のパッチ形状が現れる (図 7) . その結果、固有振動数の変化のばらつきが大きくなる (図 6(b)) .

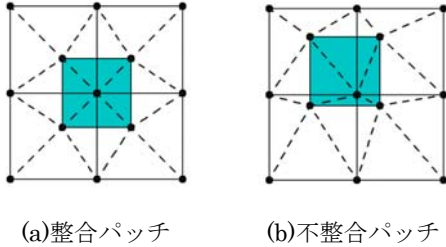
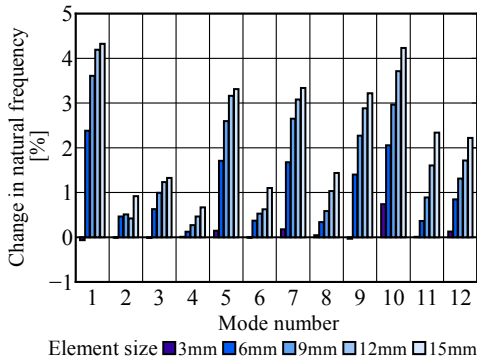
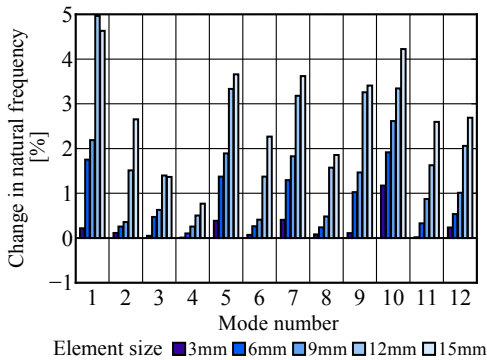


図 5 ソリッド要素とシェル要素の位置関係

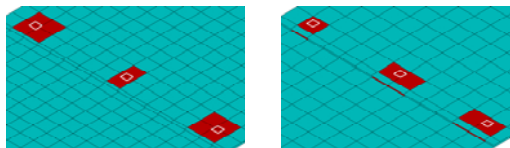


(a) 整合パッチ



(b) 不整合パッチ

図 6 固有振動数の変化



(a) 12mm 要素サイズ (b) 15mm 要素サイズ

図 7 矩形パッチ例

④ソリッド要素中心とパッチ中心のずれ量が大きいと大幅に固有振動数が低下する. 例えば、ケース 1 と 3 (図 8) はソリッド要素中心とパッチ中心のずれ量が異なるだけであるが、ケース 3 の固有振動数の低下が著しい (図 9) . すなわち、ソリッド要素中心とパッチ中心がずれると、固有振動数の変化のばらつきが大きくなる.

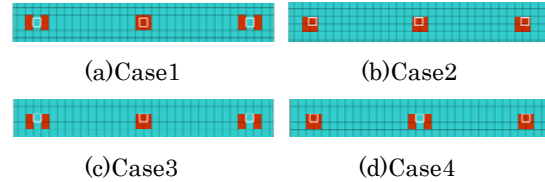


図 8 パッチ形状

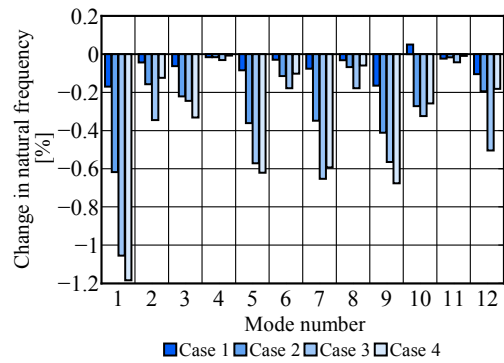


図 9 固有振動数の変化 (6mm 要素サイズ)

溶接部鋼板の適切な要素分割に関する指針としては、ナゲット径から決まるソリッド要素のサイズと同じか少し小さいサイズのシェル要素でパッチを構成すればよい. その結果、パッチが4個のシェル要素で構成され、固有振動数のばらつきが小さくなる.

(2) スポット溶接位置のばらつきが溶接構造の振動特性に及ぼす影響と溶接位置指針

①溶接位置のばらつきにより、固有振動数が大幅に変化するモードと変化が小さいモードが存在する (図 10) . 変化が大きいモードは溶接部がはく離するように変形するモード (図 11) で、その場合、溶接部のモードひずみエネルギーが大きい. 一方、変化が小さいモードは溶接部の変形が小さい (図 12) . ②溶接位置がばらつくと、ある周波数帯域にモードが密集し重なり合うことで、振動応答が大きくなる場合がある.

③複数の溶接位置がランダムに変化する場合には、個々の溶接位置の変化 (ばらつき) が大きくとも、固有振動数の変化が小さい場合がある.

④端部の溶接位置は振動特性に大きな影響を及ぼす. 端部溶接位置のばらつきが大きい場合の周波数応答関数例 (図 13) では、楕円部で大幅に振幅が大きくなっている.

⑤スポット位置を正規分布でばらつかせたときの固有振動数の変動分布を調べた結果、固有振動数の変化が大きいモードの分布形状は、左右対称性の低い歪んだ分布（図14）となる。

⑥尖度が大きいモード（図14(c)）が存在するが、その場合でも変動範囲が広がること（表1）がある。これは、溶接位置の変動の組み合わせによっては、大きな固有振動数の変動を生じる可能性を意味する。

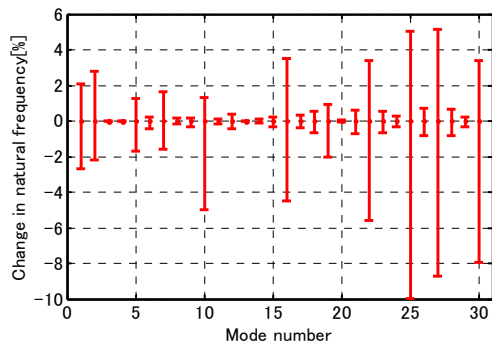
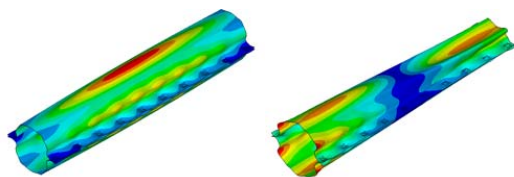


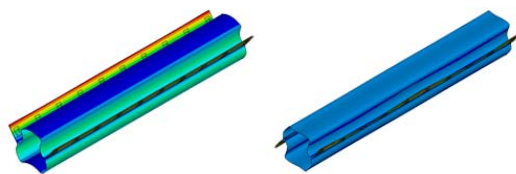
図10 固有振動数の変動範囲



(a)Mode25

(b)Mode27

図11 固有振動数の変化の大きいモード



(a)Mode13

(b)Mode20

図12 固有振動数の変化の小さいモード

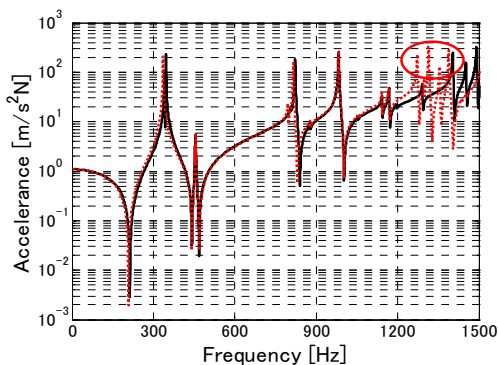
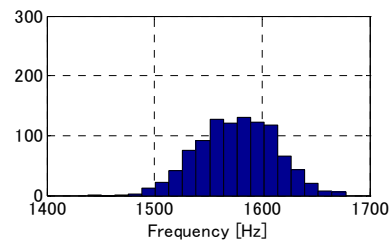
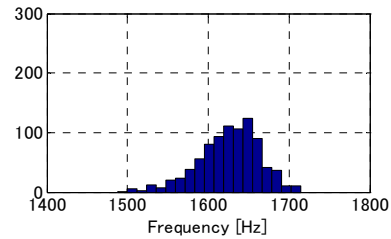


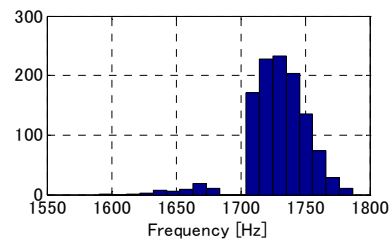
図13 周波数応答関数例



(a)Mode25



(b)Mode27



(c)Mode30

図14 固有振動数の変動分布

表1 固有振動数の変動 [Hz]

モード	平均	標準偏差	範囲
25	1577	36	239
27	1626	38	227
30	1729	23	196

溶接位置のばらつきの影響を受けにくい振動特性を有するスポット溶接構造を構築するための溶接位置の指針としては、モードひずみエネルギーが大きい溶接位置のばらつきを小さくする。すなわち、構造端部などのモードひずみエネルギーが大きい溶接位置は、振動特性に及ぼす影響が大きい。そこで、その位置だけを管理すれば、他の位置のばらつきに対しては、振動特性の変動が小さいので、溶接位置のばらつきの影響を受けにくい振動特性を有するスポット溶接構造を構築可能となる。なお、連続する溶接位置が同時に一方向に偏らないことも重要である。

得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究で取り上げたスポット溶接部多点拘束モデルは、国内外の自動車メーカーで標準的に使用されているモデルであるが、振動

特性に関する検討があまり行われていない。本研究で多点拘束モデルの理論的背景および振動特性との関係を明らかにしたことは、学術的な価値がある。また、溶接部鋼板の要素分割はモデルの解析精度に大きな影響を及ぼすので、適切な要素分割に関する指針は工業的価値が高い。

スポット溶接位置のばらつきが振動特性に及ぼす影響もほとんど検討されていない。本研究で溶接位置のばらつきが振動特性に及ぼす影響を明らかにしたことは、学術的価値がある。また、溶接位置のばらつきの影響を受けにくい振動特性を有するスポット溶接構造を構築するための指針は、工業的価値がある。設計時に溶接位置のばらつきに対する周波数応答などの振動特性の変動を評価し、さらに構造端部などのモードひずみエネルギーが大きい重要な溶接位置を明確化しておく。その情報を基に、重要な溶接位置のばらつきを管理することで、少ないコストでばらつきの影響を受けにくい振動特性を有するスポット溶接構造を実現できる。

今後の展望など

溶接位置のばらつきの影響を受けにくい振動特性を有するスポット溶接構造を構築するための指針において、重要なスポット溶接位置を明確化することはできた。しかし、少ない溶接点数で、そのような構造を実現するための指針は明らかにできていない。この点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)

- ① F.Kuratani, K. Matsubara, T.Yamauchi, Finite Element Model for Spot Welds using Multi-Point Constraints and its Dynamic Characteristics, SAE Int. J. of Passeng. Cars – Mech. Syst., 選定論文, Vol.4 No.2, 2011, pp.1311-1319.
[DOI:10.4271/2011-01-1697](https://doi.org/10.4271/2011-01-1697)
- ② F.Kuratani, K.Matsubara, T.Yamauchi, Finite Element Model for Spot Welds using Multi-Point Constraints and its Dynamic Characteristics, Proceedings of SAE 2011 Noise and Vibration Conference and Exhibition, 査読有, 2011, Paper No.01-1697.
<http://hdl.handle.net/10098/5248>
- ③ 鞍谷文保, 山内貴士, 多点拘束を利用したスポット溶接部の簡易モデルとその動的特性, 日本機械学会論文集(C編), 査読有, 77巻 777号, 2011, pp.1748-1758.
<http://hdl.handle.net/10098/3717>
- ④ F.Kuratani, M.Okuyama, T.Yamauchi, S.Washio, Finite Element Modeling of Spot Welds for Vibration Analysis, Proceedings of 5th Asian Conference on Multibody Dynamics

2010, アブスト査読, 2010, Paper No.124.
<http://hdl.handle.net/10098/5247>

〔学会発表〕(計6件)

- ① 松原和平, 鞍谷文保, スポット溶接位置のばらつきが振動特性に及ぼす影響, 日本機械学会北陸信越支部第49期総会・講演会, 2012年3月9日, 金沢工業大学(金沢市).
- ② F.Kuratani, K.Matsubara, T.Yamauchi, Finite Element Model for Spot Welds using Multi-Point Constraints and its Dynamic Characteristics, SAE 2011 Noise and Vibration Conference and Exhibition, 2011年5月18日, DeVos Place Convention Center (米国).
- ③ 山内貴士, 鞍谷文保, 多点拘束を利用したスポット溶接部の簡易モデルとその動的挙動, Dynamics and Design Conference 2010, 2010年9月14日, 同志社大学(京都市).
- ④ F.Kuratani, M.Okuyama, T.Yamauchi, S.Washio, Finite Element Modeling of Spot Welds for Vibration Analysis, 5th Asian Conference on Multibody Dynamics 2010, 2010年8月24日, 京都大学(京都市).
- ⑤ 奥山岬, 鞍谷文保, 山内貴士, 振動解析のための簡易スポット溶接モデルの検討, 日本機械学会北陸信越支部第47期総会・講演会, 2010年3月10日, 新潟大学(新潟市).
- ⑥ T.Yamauchi, F.Kuratani, Modeling of Spot Welds for Vibration Analysis, 2009 International Symposium on Advanced Mechanical and Power Engineering, 2009年11月6日, 上海理工大学(中国).

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