振動解析のための簡易スポット溶接モデルの検討

Simplified Spot Weld Model for Vibration Analysis

○ 奥山 岬 (福井大・学) 正 鞍谷 文保 (福井大) 山内 貴士 (福井大・院)

Misaki OKUYAMA, University of Fukui, 3-9-1 Bunkyo, Fukui

Fumiyasu KURATANI, University of Fukui

Takashi YAMAUCHI, University of Fukui

Key Words: Modal Analysis, Finite Element Method, Modeling, Natural Frequency, Spot Weld, ACM2

1. 緒 言

スポット溶接は自動車車体や鉄道車両のような薄板構造の接合方法として広く用いられている。自動車車体の場合、スポット溶接点数は 3000~4000 点もあり、車体性能に大きな影響を及ぼしている。有限要素モデルを用いて振動騒音、乗り心地、操縦安定性などの基本性能を評価する場合、車体骨格全体の剛性が関係するので、ホワイトボディなどの全体構造を解析する必要がある。しかし、各スポット溶接部を応力評価で用いられるような詳細なモデルで解析すると、解析自由度が多くなり計算負荷が大きい。また、スポット溶接部を詳細にモデル化しても、車体全体の振動特性の解析精度の向上につながらないことが指摘されている⁽¹⁾。

本研究では、有限要素法解析における計算やモデリングの負荷を低減するために、振動解析に適した溶接部の簡易モデルとして ACM2(Area Contact Model 2)⁽²⁾を取り上げ、その使用における留意点について検討する。特に本報では、ナゲット周囲のメッシュ (パッチと呼ばれる) の影響を調べる。

2. 溶接部のモデル化

従来、振動解析に適した溶接部の簡易モデルとして、上下の薄板は shell 要素で、ナゲットは bar 要素で表す Fig.1 のようなモデルが使用されてきた。しかし、ナゲットを bar 要素でモデル化した場合、点接合による荷重伝達となるので結合が柔らかすぎることが指摘されている⁽³⁾。また、Fig.1(b)(c) のように bar 要素と shell 要素の節点位置が一致しない場合には、モデルの構築が困難になる。

本研究では、溶接部のモデルとして Fig.2 に示す ACM2(Area Contact Model 2)を用いる。ACM2 は、ナゲットを 1 個の 6 面体 solid 要素でモデル化し、solid 要素の節点と上下の shell 要素の節点を RBE3 (Rigid Body Element 3) 要素でつなぐ。これにより、上下の shell 要素の節点位置にかかわらず solid 要素と shell 要素が結合できる。RBE3 は MPC (Multi-Point Constraints) の一種で、solid 要素の節点に掛る力を shell 要素の節点に分配する働きをする。また、ナゲットを solid 要素でモデル化しているため、bar 要素に比べて解析精度が良くなることが期待できる。なお、Fig.2 の solid 要素と RBE3 で結合される周囲の 4 個の shell 要素 (基本的には solid 要素の各節点ごとに shell 要素 1 個が対応) を一つのグループと考え、これはパッチと呼ばれている。

3. モデルの検証

スポット溶接部のモデルとして ACM2 を用いたときの妥当性の検証を行う。Fig.3 に示す 2 枚の薄板平板が 3 点のスポット溶接で接合されたモデルを用いて、解析と実験を行う。検証に用いた解析モデルは、Fig.1(a) のような上下のメッシュが一致し、さらにナゲット中心とパッチ中心が一致する場

合 (Fig.4(a)) とした。なお、ナゲット径に相当する solid 要素の一边の長さは 6mm で、平板のメッシュサイズは 5mm とした。

Fig.5 に、解析結果を基に構築した周波数応答関数と実験結果との比較を示す。実線が解析で破線が実験である。両者を比較すると、ピーク位置が完全には一致していないが、全体として良い一致を示している。したがって、本報で構築した解析モデルは精度が良いといえる。

Fig.1 Point to point connection model

Fig.2 ACM2 model

Fig.3 Two plates jointed with three spot welds

Fig.4 Top view of the ACM2 model

4. パッチエリアの影響

4.1 パッチエリアの大きさの影響 平板のメッシュサイズが変わるとパッチエリアの大きさが変わる。そこで、ナゲット周囲のメッシュサイズ（パッチエリアの大きさ）が固有振動数に及ぼす影響を調べる。パッチエリアの大きさの影響だけを調べるために、Fig.1(a)のような上下のメッシュが一致し、さらにナゲット中心とパッチ中心が一致する場合（Fig.4(a)）の解析を行った。

Fig.6 にメッシュサイズと固有振動数の関係を示す。縦軸はメッシュサイズ 5mm の固有振動数に対する変化率である。メッシュサイズが 6mm から 15mm へ大きくなると固有振動数が徐々に高くなっていることがわかる。一方、メッシュサイズ 3mm の場合は極端に固有振動数が下がっている。したがって、メッシュサイズが小さすぎても大きすぎても精度が悪くなるといえる。なおメッシュサイズが小さすぎる場合は、Fig.7 に示すようにパッチが Fig.3 の ACM2 のようには形成されていない。その結果、剛性中心がパッチ中心に存在せず、結合が柔らかくなってしまう。

4.2 ナゲットとパッチエリアの位置関係の影響 一般には、Fig.1(a)のようにナゲット中心とパッチ中心が一致する場合は少ない。そこで、ナゲットとパッチエリアの位置関係が固有振動数に及ぼす影響を調べる。位置関係の影響だけを調べるために、Fig.1(c)のような上下のメッシュが一致する場合（Fig.4(b)）の解析を行った。

Fig.8 にメッシュサイズと固有振動数の関係を示す。縦軸は 4.1 節の同じメッシュサイズの固有振動数に対する変化率である。メッシュサイズが 3mm の場合と 12mm 以上の場合は、ナゲット中心とパッチ中心がずれると固有振動数に大きな相違が生じている。メッシュサイズが 12mm 以上の場合には、Fig.9 に示すようにパッチが Fig.3 の ACM2 のようには形成されない場合が現れる。その結果、パッチエリアが小さくなり、結合が柔らかくなってしまふなどの問題がある。なお、本研究の範囲ではメッシュサイズが 6mm から 9mm 付近においては、ナゲット中心とパッチ中心のずれの影響が小さくなっている。

以上のことより、スポット溶接部のモデルとして ACM2 を用いる場合には、ナゲット周囲のメッシュサイズはナゲット径を表わす solid 要素の一边の長さと同様か、少しだけ大きいぐらいが良いといえる。

5. 結 言

本報では、スポット溶接部のモデルとして ACM2 を用いる場合の留意点、特にパッチエリアのモデル化について検討した。その結果、パッチエリアの大きさはナゲット径を表わす solid 要素の一边の長さと同様か、少し大きいぐらいが良いことが明らかになった。

最後に、本研究は科研費(21560237)の助成を受けたものである。

文 献

- (1) Palmonella, M., Friswell, M., Mottershead, J. and Lees, A., Finite element models of spot welds in structural dynamics: review and updating, Computers and Structures, Vol.83 (2005), pp.648-661.
- (2) Heiserer, D., Charging, M. and Sielaff, J., High Performance, Process Oriented, Weld Spot Approach, Proceedings of the 1st MSC Worldwide Automotive User Conference, (1999).
- (3) Lardeur, P., Lacouture, E. and Blain, E., Spot weld modelling techniques and performances of finite element models for the vibrational behaviour of automotive structures, Proceedings of ISMA, Vol.25 (2000), pp.387-394.

Fig.5 Comparison of analytical and experimental FRFs

Fig.6 Percentage difference in the natural frequency for each mesh size (reference mesh size: 5mm)

Fig.7 Patch area for the mesh size of 3mm

Fig.8 Percentage difference in the natural frequency for each mesh size

Fig.9 Patch area for the mesh size of 12mm (non-coincidence of the centers of patch area and spot element)