534 MPOD を用いたアイドリング振動低減のためのエンジンマウントの最適化

Optimization for Engine Mounting Layout to Reduce Idling Vibration using MPOD

○ 福島 広隆 (東京工業大学大学院) 正 鎌田 慶宣 (三菱自動車工業 (株))
正 萩原 一郎 (東京工業大学)

Hiroataka FUKUSHIMA, Tokyo Institute of Technology, Ohokayama2-12-1, Meguro-ku, Tokyo
Yoshinobu KAMADA, Mitsubishi Motors Corporation
Ichiro HAGIWARA, Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

自動車の商品性として、騒音や振動、乗り心地といった NVH の良好な性能を得ることは、重要な課題である。かつては、単に剛性を分担するためのボルトにすぎなかったエンジンマウントも、耐久面と NVH 問題への配慮から振動絶縁や振動エネルギー吸収を考慮して設計されるようになってきた⁽¹⁾。

本報では車体との連成を考慮した、パワートレイン、エンジンマウント、車体からなる車両系を連成解析し、その振動レベルを目標値として、エンジンマウントの配置位置、そのバネ定数と減衰値を最適化することを試みている。ただし大規模な車両系 FEM モデルを繰り返し解くのではなく、車体 FEM モデルとパワートレイン FEM モデルを非拘束モーダルモデルに変換し、エンジンマウントを線形バネ要素と等価粘性減衰要素として、部分構造合成法⁽²⁾によって求める。最適化計算の中で変更されるのはエンジンマウントのみであり、予め計算されている車体、パワートレインの非拘束モードを用いれば、短時間で振動応答を計算することができる。

FEM モデルの節点にエンジンマウントを配置するので、その値は離散値になる。またマウントの剛性値、減衰値は連続値として与えるので、設計変数が離散値と連続値をとる最適化問題になる。本報で用いる最適化手法は、HNN (Holographic Neural Network) で補間された近似関数を用いた最適化手法である MPOD⁽³⁾法の手順を一部変更したものである。

2. 最適化手法

HNN は入力-出力系の伝達関数を sin 関数, cos 関数の重ね合わせで表現するものである。HNN を用いた最適化手法としては、施らによる MPOD (最大確率最適設計) 法⁽³⁾があり、少設計変数の問題でその有効性を示している。

本報では、MPOD 法を基にして、局所解に陥る危険性を含みながらも、少学習点で収束する手法を採用している。この手法では、初期学習点は乱数により発生させるが、逐次的に追加される学習点は、現在の学習点により作られる近似関数により決められる。つまり追加学習点として何が選ばれるかは、現在の学習点の情報に依存することになる。根拠的には、初期学習点の情報に依存することになる。初期学習点が設計領域全体をどのくらい表しているかによって、得られる解は大域解になったり、局所解になったりする。

この局所解が意味をもつのは、計算コストを低減するという制約条件を最適化の中に含めれば、たとえ局所解に陥ったとしても、その解がある程度の効果をもち、低コスト

で得られたものなら、設計者の要求を満たせるからである。

3. 車両の数値解析モデル

完成車解析モデル エンジンマウントのバネ定数と減衰値、パワートレインの 6 個の固有モードと固有値、車体の 45 個の固有モードと固有値から、部分構造合成法により、完成車解析モデルを作成する。Fig1 に本報で用いた車体 FEM モデルを示す。

Fig1. FEM Model of Vehicle body

4. 最適化問題の設定

4.1 設計変数の設定

a. マウントの配置位置 パワートレインを囲むように配置された 34 箇所の候補地から、3 点を選択する。3 個のマウントが近接して配置されると、パワートレイン自重の支持が不安定になる。そこでこれに対処するために、各マウント間距離に制約条件を設けている。

b. マウントのバネ定数と減衰値 各マウントが絶対座標系の x, y, z 方向のバネ定数と減衰値を持つ。これらの値は連続値として与える。マウント剛性や減衰には、アイドリング振動以外の性能を保証するために、静的な制約条件を設定している。

Table1 に 21 個の設計変数をまとめる。ただし実際には制約条件を考慮して、15 個に設計変数を減らしている。

4.2 目的関数の設定 運転席、助手席を観測点とする。この点における上下方向の振動加速度の周波数応答関数ゲインは Fig2 になる。

エンジンの冷態時までのアイドリング振動を考慮し、20 ~ 30 Hz を対象周波数範囲とする。この範囲の振動加速度

応答を周波数積分したものを目的関数とし、最小化をする。

また目的関数以外の領域が悪化することを防ぐために、0～30Hzまでの振動レベルの最大値を0.2[mm/s²・kgfmm]以下にするという制約条件を追加する。

5. 最適化結果

収束するまでに、計359回の振動計算を必要とした。その時の周波数応答関数をFig3に示す。0～10Hzにみられる高い振動レベルを悪化させることなく、目的関数である20～30Hzの応答も下げることができている。

ただし左右の観測点での応答がかなり異なるので、この点に関してのさらなる検討が必要である。

6. 結論

本報では、HNNより作成した近似関数を利用する最適化手法であるMPODを、多設計変数をもつ問題に適用した。この手法では、局所解に陥る危険性を許容して、なるべく少ない目的関数の計算回数で、ある程度の効果のある解を得ようというものであった。そしてこの手法をエンジンマウントの最適配置という離散値と連続値をとる設計変数をもつ問題に適用した。この手法で満足のかよく解を得るのに、目的関数の計算回数は計359回であり、比較少なく抑えられることを示した。つまり評価関数の計算時間が掛かるような問題に対しては、非常に有効であることがわかった。

エンジンマウントの最適化では、設定した問題に対しては、本手法で十分な解が得られた。つまり目的関数以外の周波数範囲を悪化させることなく、目的関数を下げることができた。ただし得られた解では、2点の観測点の応答にひらきがあることから、最適化の問題設定にさらなる検討が必要である。

参考文献

- (1)酒井哲也・岩原光男・白井 裕・萩原一郎、大型車のエンジンマウントの最適設計(第5報、遺伝的アルゴリズムを用いたエンジンレイアウトの最適配置)、機論、63・664, C(2001), 3815-3822.
- (2)長松昭男・大熊政明 共著、部分構造合成法、培風館
- (3)施・萩原・高島、応答曲面法による多峰性問題の最適設計法の開発、機論、65・630, A(1999), 232-239
- (4)坂和正敏・田中雅博 著、遺伝的アルゴリズム、日本ファジィ学会編「ソフトコンピューティングシリーズ」

Table1. 21 design variables

	Mount1	Mount2	Mount3
Location	Pt_1	Pt_2	Pt_3
Stiffness (x)	k_{x1}	k_{x2}	k_{x3}
Stiffness (y)	k_{y1}	k_{y2}	k_{y3}
Stiffness (z)	k_{z1}	k_{z2}	k_{z3}
Damper(x)	c_{x1}	c_{x2}	c_{x3}
Damper(y)	c_{y1}	c_{y2}	c_{y3}
Damper(z)	c_{z1}	c_{z2}	c_{z3}

Fig2. Vertical accel. in the observing point

Fig3. Optimized response in the observing point