

共振周波数コントロールのための フローティングシートの設計

Design of Floating Seat for Control of Seat Resonance Frequencies

矢 部 健 剛*
Kengo YABE

稲 垣 徹*
Toru INAGAKI

近 藤 隆*
Takashi KONDO

要 旨

アイドリング時や走行時のシート振動の低減を目的とした、シートの共振周波数のコントロールが可能なシートの設計手法を考案した。本研究では、シートの車両への取付け部の構造をラバーブッシュを用いたフローティング構造に置換し、共振周波数をコントロールすることで振動低減を実現した。また、取付け部の構造を、全てでなく部分的にフローティング構造とすることで、シート全体の共振周波数をコントロールすることが可能であることを確認した。これは、シートの取付け部を全てフローティング構造に置換する設計に比べ、シートの種類に応じてフローティング構造を最適にレイアウトできるというメリットがある。シートの取付け部をフローティング構造にすることで課題となる強度耐久性能や衝突安全性能との両立は、各々の入力に対し最適なストッパ構造を設けることで達成した。このフローティング構造を実際の車両に適用し、従来対策に対して軽量のシート構造を具現化した。

ABSTRACT

A method of seat design that makes it possible to control resonance frequencies of the seat in order to reduce seat vibration when the vehicle is idling and when it is in motion has been proposed. The research discussed in this paper made it possible to reduce vibration by controlling the resonance frequencies by replacing the structures of the seat-mounting unit with floating structures using rubber bushings. It was also shown that partly replacing the mounting unit with floating structures makes it possible to control the resonance frequencies of the entire seat. Compared to a design that replaces the entire seat-mounting unit with floating structures, this design makes it possible to optimally position floating structures for each type of seat. The issue of balancing vibration reduction with strength and durability and crash safety performance due to fitting the floating structures to the seat-mounting unit was addressed using stopper structures optimized for each type of input. The use of the floating structures in an actual vehicle realized a lighter-weight seat configuration than the use of conventional vibration countermeasures.

1. まえがき

シートは、乗員が乗車したときから降車するときまで、常に体に触れている部品の一つであり、自動車の商品性に影響を与える重要な部品である。振動性能の観点からも、アイドリング時、および走行時にシートから乗員が感じる振動を、いかに低減するかということは自動車の開発の中で重要な課題となっている。この課題に対し、シートの取付け点からの入力振動を下げる対策⁽¹⁾や、慣性質量を追加したりダイナミックダンパを適用したりすることでシート自体の振動応答を低減するという対策が適用されてきた。特に、ダイナミックダンパによる振動対策は広く適用され

ており、シート全体の質量の増加を伴ってきた。しかし、昨今の自動車業界では低燃費やCO₂排出量低減に対する要望から、車両を構成する部品全てに対して軽量化が求められている。シートとしても、振動性能向上のための質量増加は抑制する必要がある。これらの背景から、シートの軽量化と振動性能の両立に取り組んだ。

シートの振動の低減のためには、入力振動の周波数からシートの共振周波数を離し、課題の周波数における振動応答を低減することが有効である。しかし、質量の増加を伴わずにシート共振周波数をコントロールするためには、シートの下部の剛性を下げる必要があり、強度耐久性能や衝突安全性能との両立が課題であった。本研究ではシート

*四輪 R&D センター

取付け部の構造の一部にストッパ構造を持つラバーブッシュを設置することで、共振周波数コントロールと強度耐久性能や衝突安全性能を両立した。

2. 開発のねらい

シート振動で課題となる事象はアイドリング時振動と走行時振動の二つである。アイドリング時振動は Fig. 1 に示すとおり、シートの前後方向および左右方向の共振周波数とエンジンからの入力振動の周波数が近いために発生する事象である。

また、走行時振動は Fig. 2 に示すとおり、サスペンションから車体にランダムな周波数の入力が増加された際に、車体のねじれモード周波数とシートの左右方向の共振周波数が近いために発生する事象である。シートの前後方向振動を励起するような車体モードが、シートの共振周波数と近い領域にあることが少ないため、シートの前後振動が課題となることは少ない。

これら事象に対しシートとしては、前後左右方向の共振周波数をそれぞれ事象発生要因となる入力や車体モードの振動周波数から離して設計する必要がある。従来、シート振動対策では、シートに慣性質量を付加することで共振周波数を下げる手法が採られてきた⁽²⁾。また、慣性質量による共振周波数のコントロールが十分で無いことも多く、ダイナミックダンパも広く適用されてきた。いずれも、シートの質量増を伴う手法である。ここで、従来シートを用いて、質量を増加させずに必要な共振周波数を得るための、板厚最適化解析の結果を Fig. 3 に示す。このとき前後方向の共振周波数は 19 Hz を 15 Hz に、また、左右方向の共振周波数は 18 Hz を 16 Hz に変化させた。図よりわかるように、従来構造のまま必要な共振周波数を達成するためにはシートの下部の板厚を半分にすることがあり、

シートとしての強度耐久性能や衝突安全性能との両立が課題となる。

そこで、下記の3点を達成するシート設計の手法実現を本研究のねらいとする。

- (1) シート共振周波数をコントロールできること
- (2) 強度耐久性能や衝突安全性能と両立できること
- (3) 慣性質量付加やダイナミックダンパ適用のシートに対して軽量であること

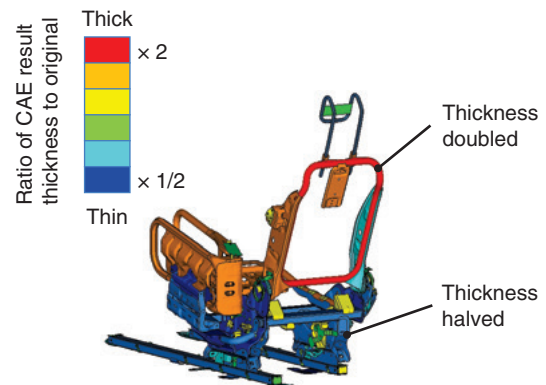


Fig. 3 CAE result for reducing resonance frequency of seat

3. フローティングシート設計手法

本研究ではシートの取付け構造部を、ストッパ構造を持つラバーブッシュで置換することで、ねらいのシート設計手法を実現した。以降このストッパ構造を持つラバーブッシュをフローティング構造と呼ぶ。また、このフローティング構造を適用したシートをフローティングシートと呼ぶ。

3.1. フローティング構造配置の考え方

シートに求められる共振周波数は、個々の車両の車体モード共振周波数およびアイドリング時の設定エンジン回転数によって異なる。また、シートの基本構造も個々の車両のシートによって異なっており、前後方向および左右方向の固有モードの共振周波数もそれぞれ変わってくる。したがって、シート前後方向の共振周波数が課題となる車両もあれば、左右方向の共振周波数が課題となる車両もある。これら、個々の車体およびシートに応じた最適な共振周波数のコントロール手法を実現するため、設置するフローティング構造の個数やその設置場所に関して以下のような検討をおこなった。Fig. 4 にあるようにシートの取付け点4点全てをフローティング構造にしたもの、後ろ側またはシート外側の2点をフローティング構造にしたもののシート共振周波数の変化を比較した。全4点にフローティング構造を適用したものが前後方向、左右方向共に最も大

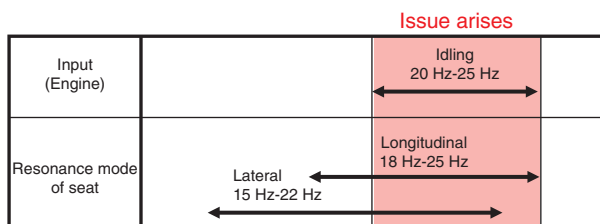


Fig. 1 Frequency of vibration when vehicle is idling

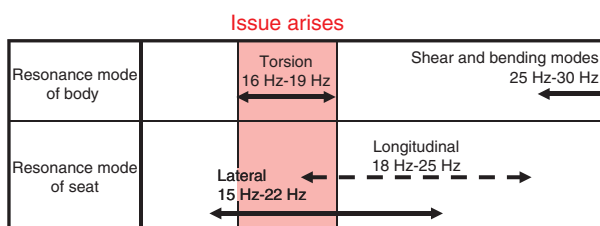


Fig. 2 Frequency of vibration when vehicle is in motion

きく共振周波数を下げることが可能であることがわかる。一方で、シートの後ろ側、またはシート外側という2点のみをフローティング構造にした仕様を比較すると、後ろ側のみフローティング構造のものは前後方向に、外側2点のみフローティング構造のものは左右方向に、より大きな共振周波数の低減効果があることがわかった。

このように、全点でなく部分的にフローティング構造を適用しても、共振周波数を下げることができるということがわかった。また前後方向、左右方向など共振周波数を下げたい方向に合わせて、フローティング構造を配置する場所や個数を変更し、必要な特性に対し最適な設計を実現できることがわかった。

3.2. 具体的構造

フローティング構造に求められる特性は、振動性能が必要とする小振幅領域においてねらいのシート共振周波数を達成できるバネ定数であること、強度耐久性能試験後もそのバネ定数を維持していること、衝突安全性能試験においてシートが抜けにくいこと、の3点である。具体的な構造はFig. 5のとおりである。図中(a)はねらいのシート共振周波数を達成するためのラバープッシュである。バネ定数をチューニングすることでシートの共振周波数をコントロールする。図中(b)は強度耐久性能試験における入力においてラバープッシュが破断しないためのストッパ構造である。これにより、強度耐久試験後もねらいのシート共振周

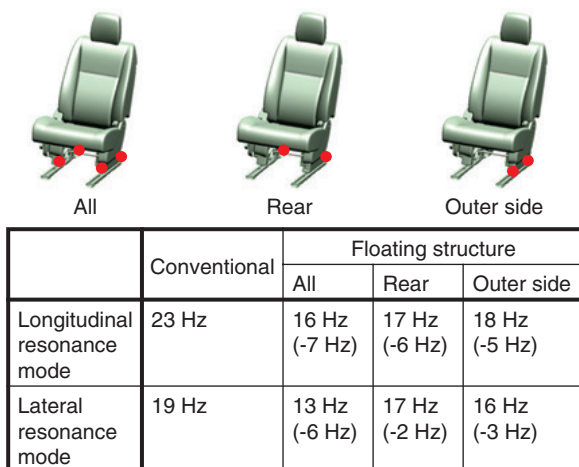


Fig. 4 Differences in resonance for different floating structure positions

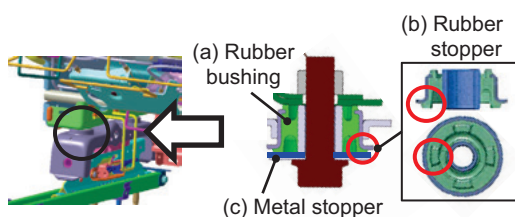


Fig. 5 Parts of floating structure

波数を維持できる。図中(c)は衝突時のような大入力により(a)と(b)のラバー部が破損した際にも、フローティング構造自体が破断することを防止するストッパである。これにより衝突安全性能試験での入力においても問題ないことを確認した。

またフローティング構造の具体的なレイアウトの例を、Fig. 6に示す。フローティング構造は(a)のようにシートと車体の組付け部に配置することも、(b)のように取付け部構造の内部に配置するも可能である。他の機構と両立のため個々のシート構造に合わせた最適な配置を実現できる。

3.3. バネ定数の設定手法

シート振動性能の要求するシート共振周波数を達成するためのフローティング構造のバネ定数は、FEMを用いたCAEによる周波数解析を実施し設定した。シートの共振周波数はシートの骨格および、シート取り付け部の剛性に左右される。したがってCAEでのモデル化に際しては、車体は剛体として、Fig. 7にあるようにシート本体とシート取り付け部の構造をモデル化した。車体との締結は実際のボルト締結部に拘束条件を与えた。また、ラバープッシュの特性は6自由度のバネ定数を条件として与えて解析した。このラバープッシュのバネ定数を変化させパラメータスタディを実施し、最適な共振周波数となる特性を求めた。

なお、人が乗車した状態での共振周波数予測に関してこれまでもさまざまな取り組みがなされている⁽³⁾が、本研究

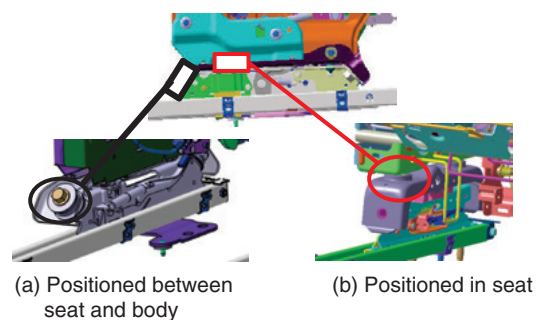


Fig. 6 Layout of floating structure

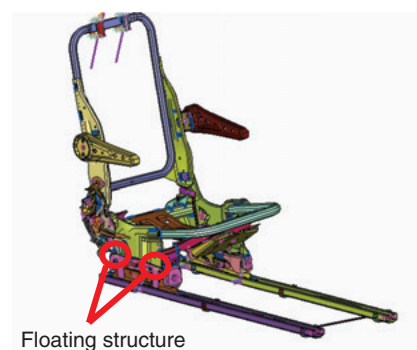


Fig. 7 Model for calculation of seat resonance frequencies

ではあらかじめ乗車状態と非乗車状態での共振周波数変化を見積もった上で、非乗車状態の条件で解析をおこなう手法を採った。

4. 実車検証結果

4 気筒エンジン搭載の SUV 車両を用いた実車検証の結果を以下に示す。

4.1. 共振周波数目標設定

目標とする周波数であるが、従来対策と同等の 5 dB の振動低減可能な周波数とする。一自由度の変位励振のモデルを用いて減衰比 1.4 として考えると、5 dB の振動低減を得るためには入力周波数に対し共振周波数が 0.91 倍であればよい。本車両においてはアイドリング時のエンジン回転設定値は 720 rpm であり、エンジンからの主な振動入力周波数は 24 Hz である。また、車体のねじれモード共振周波数は 18 Hz である。したがって本車両開発にあたっては、人が乗車した状態でのシート共振周波数の目標として、左右方向を 16 Hz 以下、前後方向を 21.5 Hz 以下と定めシートの設計をおこなった。

4.2. 適用構造

従来構造のシートモデルを用いた CAE の共振周波数予測より、前後方向共振周波数は下げる必要はなく、左右方向共振周波数を 4 Hz 低減する必要があることがわかった。そこで、Fig. 8 のとおり外側の足にフローティング構造を 2 点配置し左右方向の共振周波数を下げやすい構造とした。また、Table 1 にあるとおり、従来の構造に対する質量増加分は約 0.07 kg に抑えられている。

4.3. フローティング構造のバネ定数の設定

バネ定数は CAE での周波数解析結果から設定した。シート振動が課題となる実際の使用環境は人が乗車している状態であり、人によるシート共振周波数への影響が無視できない。今回は非乗車状態に対する乗車状態の共振周波数変化量を類似形状シートの共振周波数変化量から見積もり、前後方向プラス 4.0 Hz 左右方向プラス 0.5 Hz とした。以上により、CAE での共振周波数目標は前後方向 17.5

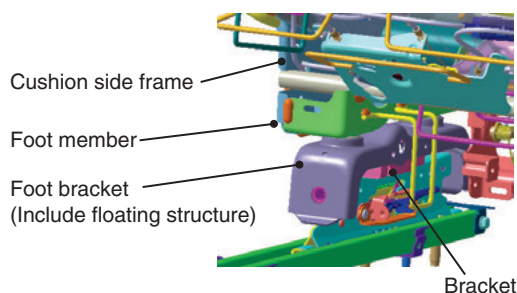


Fig. 8 Structure of floating seat

Table 1 Comparison of mass between conventional and floating seat

Part name	Conventional seat [kg]	Floating seat [kg]
Cushion side frame	0.70	0.80
Foot member	1.14	0.60
Foot bracket (Include floating structure)	0.62	1.02
Bracket	-	0.11
Total	2.46	2.53

Hz、左右方向 15.5 Hz 以下となる。CAE 解析を用いて、フローティング構造のバネ定数を変化させたときの共振周波数の変化を Fig. 9 に示す。グラフ横軸の数値は車両上下方向のバネ定数を示してあるが、その他自由度のバネ定数に関しても同様の割合で変化させた。その結果、前後方向モードに関してはバネ定数が高くても、目標に対し十分に共振周波数が低いことがわかった。そこで、左右方向モードの目標を達成するために、バネ定数を 420 N/mm と設定した。このバネ定数と強度耐久性および衝突安全性から、実際のラバースッショおよびラバーストップの形状を設計した。これらを実際の開発車両に適用し、強度耐久性および衝突安全性を確認し、従来構造と同等の性能を維持できていることを確認した。

4.4. フローティング構造による効果

実車検証の共振周波数の結果と振動性能の結果を以下に示す。まず、共振周波数の結果は Fig. 10 のとおり。なお、計測は全て人が乗車している状態で実施した。図中の破線はシート取付け部を剛体としたシートの共振周波数である。ここから、フローティング構造による共振周波数コントロールの効果を確認できる。前後方向モードの共振周波数はマイナス 2 Hz、左右方向モードの共振周波数はマイナス 3 Hz の効果が得られた。前後方向に対し左右方向の共振周波数を下げる効果が大きく、外側 2 点にフローティング構造を適用した効果も確認できた。また、乗車状態にて左右方向 16 Hz 以下、前後方向 21.5 Hz 以下という目標を

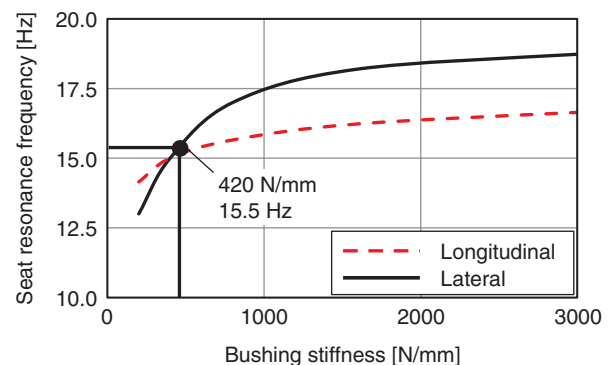


Fig. 9 Relationship between seat resonance frequencies and bushing stiffness

達成した。

次に、振動性能についてであるが、走行時シート左右方向振動の結果を Fig. 11 に示す。車体ねじれモードの影響が大きく、シート左右方向の振動が課題となったが、剛体支持のシートに対し 5 dB の振動低減を実現し、目標達成を確認できた。

次にアイドリング時のシート前後方向振動の結果を Fig. 12 に示す。アイドリング時のシート振動に関しては、フ

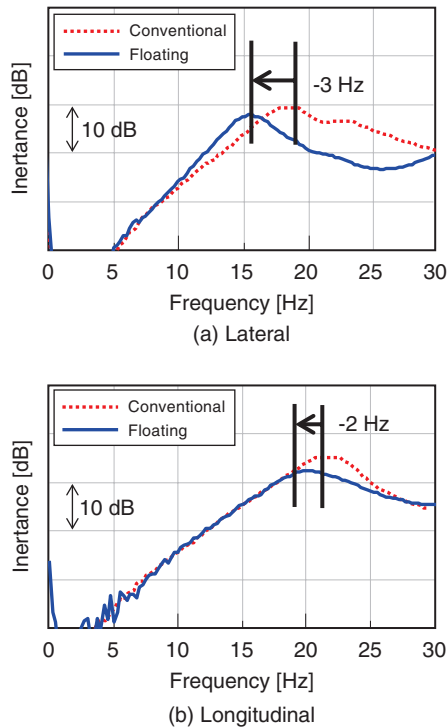


Fig. 10 Resonance frequencies of floating and rigid seat

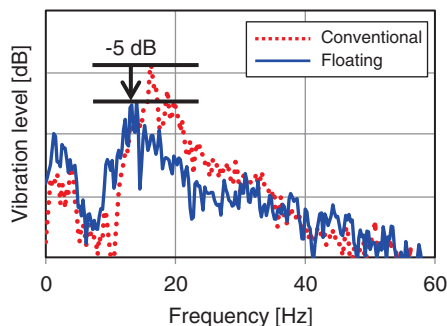


Fig. 11 Results for vibration when vehicle is in motion

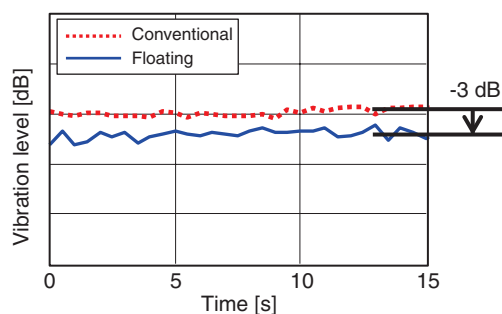


Fig. 12 Results for vibration when vehicle is idling

ローティング構造が無くてもエンジン入力の変動周波数からシートの共振周波数は離れていたが、フローティング構造を適用することで 3 dB のさらなる振動低減効果が確認できた。

5. まとめ

本稿の三つのねらいに対し、以下の結果が得られた。

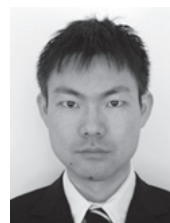
- (1) シート取付け部の一部にフローティング構造を適用することで、シート共振周波数のコントロールを可能にした。
- (2) 衝突耐久性および衝突安全性能との両立のために、フローティング構造内にストッパを設けることで、従来と同等の性能を維持することができた。
- (3) ダイナミックダンパを適用した従来の類似形状のシートに対し、一脚あたり 0.88 kg の軽量化を実現した。

この手法を実際の車両搭載シートに適用し、目標とする振動性能を達成した。このフローティングシートは今後開発される車両に適用していく。

参考文献

- (1) 松岡英樹, 三笠哲雄, 根元浩臣: アクティブエンジンマウントの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.84-03, p.5-8(2003)
- (2) 玉木良典, 小西健司, 村田誠: 人の感度を考慮したシートによる突起乗り越し時乗り心地向上技術検討, 自動車技術会学術講演会前刷集 No. 138-13, p.1-5 (2013)
- (3) Kato, K., Kitazaki, S., Tobata, H.: Prediction of Seat Vibration with a Seated Human Subject Using a Substructure Synthesis Method, SAE Technical Paper, 2004-01-0371(2004)

著者



矢部 健剛



稲垣 徹



近藤 隆