

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26390131

研究課題名(和文)ボクセル連成解析による液体入りゴムブッシュの振動特性創成に関する研究

研究課題名(英文)Generate vibration characteristic of liquid seal rubber bush by voxel interaction analysis

研究代表者

岡澤 重信 (OKAZAWA, Shigenobu)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：10312620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：液体入りゴムブッシュの振動特性の中でも剛性と減衰に着目し、その振動特性の解明と創成を連成解析により実施した。まずは金属・ゴム・流体のそれぞれの高周波領域での大変形挙動を解析できる計算手法を開発し、それらの連成挙動を高精度に再現するための手法へと拡張した。そしてゴムブッシュの剛性や減衰を効率的に評価する方法を確立し、この振動特性を任意に創成できるように各部材の形状を決定した。

研究成果の概要(英文)：We focus on stiffness and damping characteristics in vibration of a liquid seal rubber bush. After developing a computational method to treat a large deformation of metal, rubber and fluid in a high-frequency region, the method is extended for accurate interaction behavior. Based on the above computational method, we establish evaluation methods of the stiffness and damping of the rubber bush, in addition, a sharp of part of the rubber bush are generate for any characteristics.

研究分野：計算力学

キーワード：ゴムブッシュ 振動 有限要素法 連成解析 剛性 減衰 最適化

1. 研究開始当初の背景

ブッシュとは部材同士を結合する機構部品の1つで、動的現象において振動特性を制御するものである。そのブッシュの中でも最近よく用いられるものが、金属の中にゴムと液体を入れたゴムブッシュである。柔軟なゴム材料の変形によってオリフィスと呼ばれる流体経路の幅が増減し、ブッシュ構造全体としての剛性や減衰性能などの振動特性を示す。

ゴムブッシュの振動特性を自在に操ることができれば、構造システムの安全性や信頼性さらに快適性を大幅に向上させることができる。しかしながらゴムと液体からなる複雑な連成挙動の取扱いは難しく、ゴムブッシュの振動特性に関する研究は実験による経験に基づいたものがほとんどである。より効率的な取扱いのためには、計算科学的な解析の予測に基づいた手段が必要不可欠である。

2. 研究の目的

液体入りゴムブッシュの振動特性を解明し、ボクセル解析の利点を生かしたゴムやオリフィス形状の最適化を実施して振動特性を創成する。この目的を達成するために、研究期間内に以下の項目を明らかにする。

(1) ボクセル固定メッシュでの連成解析を可能とする、強連成手法を確立する。

(2) ゴムブッシュを模擬した簡易モデルによる振動解析を行い、剛性・減衰効果への加振周波数やオリフィス幅の影響度合いを検討する。

(3) 実際の液体入りゴムブッシュの加振実験を行い、本解析結果との定量的整合性を確認する。そしてゴムブッシュ内部のゴムやオリフィス形状を最適化して、剛性や減衰を設計者の意図通りに制御するような振動特性の創成を行う。

3. 研究の方法

[平成26年度]

ボクセル固定メッシュを用いて、大変形・連成・接触などを含んだ解析を実施する。

① 平均化統一法による強連成解析手法の提案：

ボクセル空間メッシュでの連成解析では、1つのメッシュに種類の異なる複数の物体が混入する。本研究では、メッシュ内での体積率を利用してそれぞれの支配方程式を平均化して1つの方程式で解く強連成解析手法を提案する。

② 自由移動境界面の高精度捕捉法の組み込み：

ゴムと流体さらにその軸部分の金属の3つの連成現象においては、相互の境界面は时时刻刻と変化する自由移動境界面となる。この自由移動境界面をいかに高精度に捕捉するかが、本解析の精度に大きな影響を及ぼす。本研究では任意方向の選択が可能な平面で物体境界面を設定して、その情報を用いた移

流を扱うことで境界面の捕捉を行う。

[平成27年度]

実際のゴムブッシュ内部は複雑な形状を有しているが、まずは形状が簡易なモデルで連成解析を実施する。そしてゴムと流体の混合体としての振動特性の把握と、オリフィスを模擬した流路の幅が振動特性に及ぼす影響を考察する。

① ゴムブッシュのモデル化：

ゴムブッシュを簡易的にモデル化する。軸部分も金属としてモデル化するので、合計3つの種類の異なる物体の混合体となる。ここでのゴムは超弾性材料で粘性効果は含まないものを用いる。

② ゴムと流体の混合体の振動解析：

軸部分に左右の繰り返し変位を与えて、その変位を横軸に対応する荷重を縦軸にとったグラフを作成する。このグラフはリサージュと呼ばれる閉じた楕円形となる。

③ 加振周波数やオリフィス幅が剛性や減衰に及ぼす影響の検討：

リサージュ楕円の傾きが剛性となり、楕円面積が減衰として評価される。加振周波数やオリフィス幅がリサージュから得られる剛性や減衰にどのような影響を及ぼすかを検討する。

[平成28年度]

実際のゴムブッシュと合致した内部形状での解析と実験結果を比較し、本解析の正当性を確認する。その後にゴムブッシュのゴム部分やオリフィスの形状を最適化して、意図する剛性や減衰になるように振動特性を創成する。

① 実際のゴムブッシュの振動解析と加振実験との比較：

実際の複雑なゴムブッシュ形状を、CADデータから読みこんで解析モデルを作成する。そしてその振動解析と加振実験との整合性の確認を行う。整合性を得るために材料パラメータ同定や解析の細かい調整を実施する。

② ゴムやオリフィス形状の最適化：

ゴムブッシュの剛性と減衰を設計者が意図するように制御することが、振動特性を創成するという意味での本研究の最終的な目的である。剛性と減衰を目的関数としてゴムやオリフィスの形状などを設計変数として、振動解析を繰り返して非線形動的問題における最適解を見つける。

4. 研究成果

まずはゴムと流体からなる連成挙動を、高精度に再現するための解析手法を提案した。そしてゴムブッシュの剛性や減衰を効率的に評価する方法を確立し、この振動特性を任意に創成できるように各部材の形状を決定した。

既存の解析的研究では計算環境の制約もあってゴムや流体などの混合体を単一のモ

デルとして扱い、剛性や減衰を評価している場合が多かった。それに対して本研究では個々の物体を構造的に組み合わせて、その連成現象としての剛性や減衰などの振動特性を評価してさらに創成した。

今後は耐震・免震による建物などの災害低減や自動車をはじめとする輸送機器の騒音・振動の制御などへのゴムブッシュのより発展的な利用が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

1. Shogo Sannomaru, Satoyuki Tanaka, Ken-ichiro Yoshida: Tinh Quoc Bui, Shigenobu Okazawa and Seiya Hagihara, Treatment of Dirichlet-type boundary conditions in the spline-based wavelet Galerkin method employing multiple point constraints, *Applied Mathematical Modeling*, Vol. 43, pp. 592-610, 2017. (査読有り)
2. Satoyuki Tanaka, Hirotaka Suzuki, Shota Sadamoto, Shigenobu Okazawa, Tiantang Yu and Tinh Quoc Bui: Accurate evaluation of mixed-mode intensity factors of cracked shear-deformable plates by an enriched meshfree Galerkin formulation, *Archive of Applied Mechanics*, 20 pages, 2016. (査読有り)
3. Shigenobu Okazawa, Takumi Tsumori, Takuzo Yamashita and Satoyuki Tanaka: Finite element seismic response analysis of a reinforced concrete pier with a fractured finite tetrahedron mesh, *Journal of Earthquake and Tsunami*, Vol. 10, 1640013, 20 pages, 2016. (査読有り)
4. 山王丸将吾, 岡澤重信, 田中智行: 完全陰解法に基づく損傷分割背応力弾塑性モデルの縮約積分法, *日本機械学会論文集*, Vol. 81, No. 825, p. 14-00658 (17 ページ), 2015. (査読有り)
5. Satoyuki Tanaka, Shogo Sannomaru, Seiya Hagihara, Shigenobu Okazawa and Hiroshi Okada: Analysis of dynamic stress concentration problems employing spline-based wavelet Galerkin method, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, V. 58, pp. 129-139, September 2015. (査読有り)
6. 岡澤重信, 西口浩司, 田中智行: 自由移動境界を有するボクセル固体流体連成解析, *日本計算工学会論文集*, vol. 2014, paper No. 20140011 (10 ページ), 2014. (査読有り)

〔学会発表〕(計15件)

1. Ken-ichiro Yoshida, Shigenobu Okazawa and Satoyuki Tanaka: Bifurcation kinking analysis of torsional cable, *Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems*, Sendai/Japan, Extended Abstracts, pp. 57-60, April, 2014.
2. 上田浩央, 渡部亮, 岡澤重信, 田中智行: 安定化有限要素法による3次元固体流体連成解析, *計算工学講演会論文集*, 広島市/広島県, vol. 19, 4 ページ, 2014年6月.
3. 瀬戸山雄, 岡澤重信, 松田英紀, 山王丸将吾, 山田弦, 田中智行: 歪速度依存弾塑性構成則におけるパラメータの最適化手法による同定, *計算工学講演会論文集*, 広島市/広島県, vol. 19, 4 ページ, 2014年6月.
4. 山王丸将吾, 岡澤重信, 田中智行: 完全陰解法による分割背応力モデルに基づく損傷弾塑性解析, *計算工学講演会論文集*, 広島市/広島県, vol. 19, 4 ページ, 2014年6月.
5. Shigenobu Okazawa, Hirofumi Ueda and Toru Hamasaki: Eulerian strong coupling formulation for solid-fluid interaction dynamics, *3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics*, Tokyo/Japan, October, 2015.
6. Shigenobu Okazawa, Hirofumi Ueda and Toru Hamasaki: Strong coupled analysis by multi-material Eulerian hydrocode, *13th US National Congress on Computational Mechanics*, San Diego/USA, August, 2015.
7. 岡澤重信: 機能創成のための非線形 CAE, *非線形 CAE 協会材料モデリング分科会*, 東京, 2015年6月.
8. 岡澤重信: CFD と親和性のある大変形固体・構造解析, *自動車技術会 CFD 技術部門委員会*, 東京, 2015年7月.
9. 岡澤重信: ポスト京の自動車課題における固体・構造解析プロジェクト, *自動車技術会構造強度部門委員会*, 東京, 2015年8月.
10. 岡澤重信: LS-DYNA を用いた衝突解析における構造部材の最適化, *富士通 LS-DYNA セミナー2016*, 東京, 2016年2月.
11. 岡澤重信: 計算工学を駆使した新たな自動車工学の展開, *非線形 CAE 協会シンポジウム「非線形 CAE ~ 研究と実務の架け橋をめざして~」*, 名古屋市・愛知県, 2016年3月.
12. 西口 浩司, 岡澤 重信: Euler 型拡張有

- 限要素法による固体接触解析手法, 計算工学講演会論文集, 新潟市・新潟県, vol. 21, 4 ページ, 2016 年 6 月.
13. 西口 浩司, 岡澤 重信, 坪倉 誠:3 次元 PLIC 法を用いた Euler 型固体接触解析手法, 応用力学シンポジウム, 札幌市・北海道, 2016 年 5 月.
 14. Shigenobu Okazawa, Takumi Tsumori and Seizo Tanaka Seismic response analysis of reinforce concrete pier with concrete solid and steel beam elements, 12th World Congress on Computational Mechanics and 6th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics, Seoul/Korea, July, 2016.
 15. Koji Nishiguchi and Shigenobu Okazawa:Fixed-mesh Eulerian Contact Formulation using X-FEM, 12th World Congress on Computational Mechanics and 6th Asia-Pacific Congress on Computational Mechanics, Seoul/Korea, July, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡澤 重信 (OKAZAWA, Shigenobu)
山梨大学・大学院総合研究部・教授
研究者番号: 10312620