

## 【助成 38 -08】

### リアルタイム計測歪モデリングで実現する衛星航空機の大変形制御

研究者 東北大学 工学部 助教 大塚啓介

#### 〔研究の概要〕

コロナ・災害に伴う通信観測の需要増に伴い、大気圏内を年単位で飛行し続ける衛星航空機の実用化が期待されている。衛星航空機の超細長翼は従来航空機にありえない大変形が発生する。無人の衛星航空機が飛行し続けるには、設計段階での高効率な解析に加えて、実運用中にリアルタイム計測される変形量と数値モデルを用いた大変形制御が必要となる。「大変形時でもリアルタイム計測できる歪を変数とするモデリング法」を構築することが本研究の目的である。衛星航空機の細長形状に着目し、幾何学曲線理論との類似性から得られる【ベクトル・歪変換式】で、これまで大変形解析で用いられてきたモデルのベクトル変数を歪に変換する。ベクトル・歪変換によって得られた歪変数モデルは大変形解析のベンチマーク問題において、研究代表者の知る限り世界最高の解析性能を示した。

#### 〔研究経過および成果〕

##### 1. 研究背景と研究経過

コロナ・災害に伴う通信観測の需要増に伴い、大気圏内を年単位で飛行し続ける衛星航空機の実用化が期待されている(図1)。衛星航空機の超細長翼は従来航空機にありえない大変形が発生する。2003年にNASAの試験衛星航空機が墜落して以来、数値モデルを用いた大変形解析の研究が活発化してきた。無人の衛星航空機が飛行し続けるには、設計段階での高効率な解析に加えて、実運用中にリアルタイム計測される変形量と数値モデルを用いた大変形制御が必要となる。解析精度の実証実験で用いられるベクトル変位計測のためのカメラ・レーザ変位計は構造物の外部に設置しなければならず、実運用中に使えない。一方で、埋め込み式の無線・光ファイバ歪センサの発達によって、「歪」は大変形時でも計測が容易になってきている。

上記の背景から、本研究では「大変形時でもリアル

タイム計測できる歪を変数とした新たなモデリング法」の構築を目指した。本助成期間に①モデリング理論の構築②大変形解析性能の検証③実証実験に向けた実験装置の製作の3つを行った。

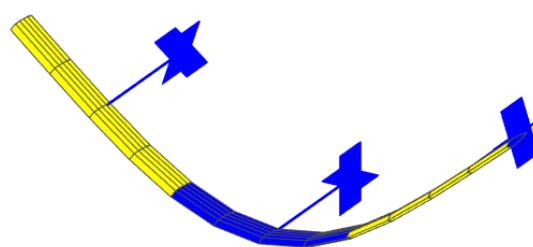


図1 衛星航空機概念図

##### ① 理論構築に関する研究成果

衛星航空機の細長形状に着目し、幾何学曲線理論との類似性から【ベクトル・歪変換式】を導出した。この式を用いて、これまで大変形解析に用いられてきたモデルのベクトル変数を歪変数に変換する。この結果、リアルタイム計測できる歪変数でモデルが記述

できることに加えて、静解析で高計算負荷となる剛性行列が一定となり、高効率に静解析が行える。

## ② 大変形解析に関する研究成果

提案手法を用いて、片持ち梁のロールアップを静解析した。ロールアップは片持ち梁の自由端に特定の曲げモーメントを作用させた際に真円になることが数学的に明らかにされている大変形ベンチマーク問題である。少ない要素分割数で真円を得られるほど、モデルの静解析の性能が高いと言える。図2に示すように提案手法は僅か2要素分割で真円が得られた。これは研究代表者の知る限り、世界最高の解析性能である。さらに、数式処理ソフトを利用して、事前計算できる数式処理を全て行ってからコーディングすることで、解析速度を向上させることができた。

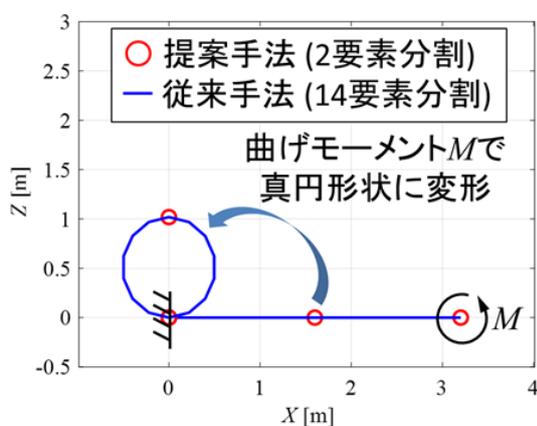


図2 梁のロールアップ

## ③ 実証実験に関する研究成果

提案モデルの解析精度実証のために研究室内に小型風洞を建造した。最大風速は 20 m/s、風速の乱れも 0.2 m/s 以下と実証実験を行うために十分な性能が得られた。柔軟翼モデルは風洞吹き出し口に鉛直に配置される。翼モデルを電動回転テーブルに固定することで、精密に迎角を変更し、多様な飛行状態を模擬できるようにした。歪センサに加えて、レーザ変位

計と圧電センサを準備し、多角的に計測できる環境を整えた。また、圧電センサは電圧を印加することで変形制御のためのアクチュエータとしても使用できる。当初、圧電電圧と計測変位(歪)に位相遅れが生じたため、制御への適用は難しかった。しかし、電圧計測ユニットやボルテージフォロワ回路などの導入を行い、試行錯誤した結果、概ね位相遅れの問題を解決することができた。

## 2. 結言

今回の研究助成で「歪モデリング法」を完成させ、提案モデルが優れた大変形解析性能を有することを示した[発表論文 1]。今後は実証実験の成果発表を行う。

[発表論文]

1. **Otsuka, K.**, Wang, Y., and Makihara, K., “Absolute Nodal Coordinate Formulation with Vector-Strain Transformation for High Aspect Ratio Wings,” *ASME Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, Vol. 16, No. 1, 2021, Paper 011007.
2. **Otsuka, K.**, Wang, Y., and Makihara, K., “Three-Dimensional Aeroelastic Model for Successive Analyses of High-Aspect-Ratio Wings,” *ASME Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 143, No. 6, 2021, Paper 061006.
3. **Otsuka, K.**, Del Carre, A., Palacios, R., “Nonlinear Aeroelastic Analysis of High-Aspect-Ratio Wings with a Low-Order Propeller Model,” *AIAA Journal of Aircraft*, (in press).