J191065

ケーブルネットワーク構造の展開再現性に関する研究

齋藤健太^{*1}, 田中宏明^{*2}

Study on Shape Repeatability of a Cable-network Structure

Kenta SAITO and Hiroaki TANAKA^{*2}^{*2} National Defense Academy, Hasirimizu 1-10-20, Yokosuka, Kanagawa, 239-8686 Japan

In this study, the shape repeatability of cable-network structures was examined. Cables used for cable networks have nonlinearities between the tensile load and elongation. Therefore, the shapes of cable-network structures have some uncertainty, which leads to worse shape repeatability. In order to clarify the influence of such nonlinearities on a large cable-network structure, a Monte Carlo simulation was carried out. In the simulation, the mechanical properties of the cables modeled by the modeling procedure developed in our previous study were employed. The shape repeatability was investigated and the tendency was quantified through the simulation.

Key Words : Space Structures, Space Antennas, Cable-Network Structures, Shape Repeatability

1. はじめに

近年、ミッションの高度化に伴い高精度でありながら軽量・大型を実現できる宇宙構造物への期待が高まっている。このような要求を満足できる構造様式の一つとして、ケーブルネットワーク構造が期待されており、特に衛星搭載用大型展開アンテナの鏡面構造様式として、広く研究・開発されている⁽¹⁻³⁾。ケーブルネットワーク構造は、ケーブル要素を組み合わせて所定の形を作成する軽量かつ収納性が高い構造様式であり大型宇宙構造物での利用が進んでいるが、使用されているケーブルは、ヒステリシスや繰返しによる初期長さの変化といった非線形な特性を有しているため、ケーブルネットワーク構造では展開収納のたびに鏡面形状が変化する展開再現性誤差が生じることとなる⁽¹⁾⁽²⁾。将来のより高精度なケーブルネットワーク構造の実現には、このような展開再現性を含むケーブルの非線形性を考慮した設計が必要となる。

我々はこのようなケーブルネットワーク構造の展開再現性に関して、ケーブル単体での繰返し荷重負荷試験を基にしたケーブル特性のモデル化方法と、そのモデルを利用した展開再現性の数値解析方法を提案し、簡易モデルを用いた試験結果⁽⁴⁾との比較を通して、その有効性を示している⁽⁵⁾。本研究では、そのモデル化および数値解析方法を用いて、実際のアンテナ構造に近い大規模ケーブルネットワーク構造の展開再現性に関して検証を行う。ケーブルの初期長さに製造誤差を想定したランダムな誤差を与えたモンテカルロシミュレーションを行い、展開再現性による誤差の大きさや発生する誤差の形状モードを評価し、大型ケーブルネットワーク構造における展開再現性について、その傾向を検証する。

2. 数値解析モデル

本研究で用いたアンテナ構造を模擬したケーブルネットワーク構造解析モデルの外観を Fig. 1 に、概要を Table 1 に示す。この解析モデルに対して、展開・収納の繰返しに相当する繰返し荷重付加を行い、ケーブルネットワーク型アンテナ鏡面の展開再現性を検証する。本ケーブルネットワーク構造で用いるケーブルとしては、

^{*1} 元 防衛大学校 研究科前期課程／現 海上自衛隊

^{*2} 正員, 防衛大学校 航空宇宙工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市 走水 1-10-20)
E-mail: tanakah@nda.ac.jp

50N を 1 ヶ月間付与することで初期ののび取りを行ったアラミド繊維を想定する。著者らの過去の研究⁽⁵⁾を基に、このケーブルの機械的特性をモデル化し、数値解析に組み込んだ。モデル化されたケーブルの初期長さ変化と EA 値を以下の式(1),(2)に示す。ここで N は繰り返し荷重負荷回数、 T はケーブル張力を示している。

$$\varepsilon_{l0} = (-6.85 + 0.70T) \times \{1 - \exp(-0.85 \times (N - 1))\} \quad (1)$$

$$EA_{Load} = (463 + 9.1T) \times \{1 - \exp(-0.53 \times N)\} + 2776 + 19.3T \quad (2)$$

解析モデルの各ケーブルに対して標準偏差 0.1mm のランダムな初期長さ誤差を与えたモンテカルロシミュレーション (300 ケース) を実施し、展開再現性の検証を行う。

Fig.1 Antenna consisting of cable networks

Table 1 Antenna specifications

Maximum diameter of antenna	5040mm
Focal length	8000mm
Type of facets	Triangular
Number of facets	600
Number of cables	Surface cable: 1740 Catenary cable: 120 Tie cable: 325
EAs of cables	Surface cable: 10000[N] Catenary cable: 10000[N] Tie cable: 2000[N]
Maximum tensions of cables at the nominal state	Surface cable: 4.93[N] Catenary cable: 65.5[N] Tie cable: 1.33[N]

3. 展開再現性解析結果

モンテカルロシミュレーションにより得られた、繰り返し展開回数と、初回展開時の鏡面形状を基準とし RMS で評価した鏡面形状の変化の関係を Fig.2 に示す。この結果より、標準偏差 0.1mm という小さいケーブル初期長さ誤差により展開再現性が影響を受けていることが分かる。また展開後形状の変化は 5 ～ 10 回程度の展開・収納の繰り返しによりほぼ収束することが確認できた。次にこれらのモンテカルロシミュレーションの結果における展開再現性誤差 (300 ケース, 21 サイクル) を Zernike モードに分解し、各モード成分を評価した。結果および主要なモード形状を Fig.3 に示す。この図よりランダムな初期長さ誤差を与えた場合でも、生じる鏡面誤差はケーブルネットワーク構造自体の形状に依存した形状のモードが支配的となることが確認できる。

Fig.2 Root mean square of the node displacements

Fig.3 Zernike modes of errors caused by shape repeatability

4. 結論

実際のアンテナ構造に近い大規模ケーブルネットワーク構造の展開再現性に関して検証を行った。これらの検証では、過去の研究において提案した、ケーブル特性のモデル化方法と、そのモデルを利用した展開再現性の数値解析方法を用いており、ケーブルの初期長さに製造誤差を想定したランダムな誤差を与えたモンテカルロシミュレーションを行うことで、展開再現性により生じる誤差の大きさや誤差の形状モードを評価した。これらの結果より、展開再現性は製造誤差に相当するような初期の微小なケーブル初期長さ誤差の影響を強く受けること、その誤差形状はケーブルネットワーク構造の形状に依存した形状モードが支配的となることを明らかにした。

謝 辞

本研究の一部は科学研究費補助金 若手研究 (B) (22760631) の助成を受けたものである。

文 献

- (1) Natori, M. C., Takano, T., Noda, T., Tashima, T. and Tabata, M., "Ground Adjustment Procedure of a Deployable High Accuracy Mesh Antenna for Space VLBI Mission", 39th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference & Exhibit, 1998, AIAA-98-1923.
- (2) Thomson, M. W., "Astromesh Deployable Reflectors for Ku- and Ka-Band Communications Satellites", 20th AIAA International Communications Satellite System Conference and Exhibit, 2002, AIAA-2002-2032.
- (3) Meguro, A., Harada, S. and Watanabe, M., "Key Technologies for High-Accuracy Large Mesh Antenna Reflectors", Acta Astronautica, 53(2003), pp. 899-908.
- (4) Saito, K., Tanaka, H. and Moriya, K., "Study on Shape Repeatability of a Flexible Space Structure with Hysteresis", 61st International Astronautical Congress, 2010, IAC-10-C2.2.8.
- (5) Tanaka, H. and Saito, K., "A Study on Shape Repeatability of a Cable-Network Structure", The 28th International Symposium on Space Technology and Science, 2011, ISTS 2011-c-44.