



## 二重薄肉開断面伸展梁(Bi-STEM)の接触解析による 形状取得と力学特性

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本航空宇宙学会 公開日: 2016-05-31 キーワード (Ja): キーワード (En): Structural Analysis, Mechanical Properties, TWF-CFRP, Extendible Boom, STEM 作成者: 大加瀬, 容平, 阿部, 尚大, 樋口, 健, 勝又, 暢久, 渡邊, 秋人 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008919">http://hdl.handle.net/10258/00008919</a>

## 二重薄肉開断面伸展梁(Bi-STEM)の接触解析による形状取得と力学特性

その他（別言語等）のタイトル	Shape and Mechanical Properties of Bi-STEM by Contact Analysis
著者	大加瀬 容平, 阿部 尚大, 樋口 健, 勝又 暢久, 渡邊 秋人
雑誌名	第56回構造強度に関する講演会プログラム
巻	56
ページ	2A01-2A01
発行年	2014-08-07
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008919">http://hdl.handle.net/10258/00008919</a>

# 2A01 二重薄肉開断面伸展梁(Bi-STEM)の接触解析による形状取得と力学特性

○大加瀬 容平 (室蘭工大・院), 阿部 尚大 (室蘭工大・学), 樋口 健, 勝又 暢久 (室蘭工大), 渡邊 秋人 (サカセ・アドテック)

Shape and Mechanical Properties of Bi-STEM by Contact Analysis

Yohei Okase, Shodai Abe, Ken Higuchi, Nobuhisa Katsumata (Muroran Institute of Technology), Akihito Watanabe (Sakase Adtech Co., Ltd.)

**Key Words:** Structural Analysis, Mechanical Properties, TWF-CFRP, Extendible Boom, STEM

## Abstract

Storable tubular extendible member (STEM) has been developed as an ultralight one-dimensional extendible structure with high packaging efficiency. It consists of open section tubular member that can be stored by rolling up to be flat on a storage spool. A pair of open section tubular members is termed “Bi-STEM”, which shows high specific rigidity as compared with a single STEM. In this study, the static shape of Bi-STEM is firstly obtained by contact analysis between inner and outer shells. Then, the dynamic behavior of the Bi-STEM is examined by transient analysis.

## 1. 緒言

宇宙ミッションの高度化に伴い、宇宙展開構造物のさらなる軽量化や高収納性が求められている。また、宇宙空間で確実に展開するためには、簡便で機構数の少ない展開構造が望ましい。さらに、スピン安定型衛星のスピン軸方向伸展構造物などに関しては高い比剛性と真直性がきわめて重要である。それらの要求を満たす二次元伸展構造物として、薄肉円形開断面梁を収納リールから送り出して伸展するSTEM (Storable Tubular Extendible Member) がある(図1)。STEMは、伸展後の形状精度を得る方法として、あらかじめ所望の形状に成形した材料を巻き取って収納し、宇宙空間で拘束を解放して形状を復元する手法(構造硬化模擬)を用いている。そのため、単純な伸展機構による軽量化や打上げ時の小型化および宇宙空間における確実な伸展が期待できる。特に、図1(b)のように薄肉円形開断面梁を二重にして先端開口部を結合したBi-STEMは、曲げとねじりの連成が抑制されるため、高い比剛性と真直性を示す。

STEMに関する過去の研究では、真空槽内や微小重力下における実験、あるいはパラメータ調整を行った近似モデルによる数値解析等が行われている<sup>[1]-[3]</sup>。しかし、Bi-STEMの力学特性あるいは内外シェル間接触や断面形状の変化がそれらに及ぼす影響は明らかにされておらず、物理現象を正確にとらえて解析の信頼性および精度を向上させるためには、それらの影響を検討しておく必要がある。

そこで、本研究では汎用解析ソフトウェアANSYSを用い、まず、非線形静解析を実施して内外シェル間接触および断面形状の変化を考慮したBi-STEMの静的形状を取得する。次に、得られた有限要素モデルを用い、時刻歴応答解析を実施してBi-STEMの動的特性を調べる。

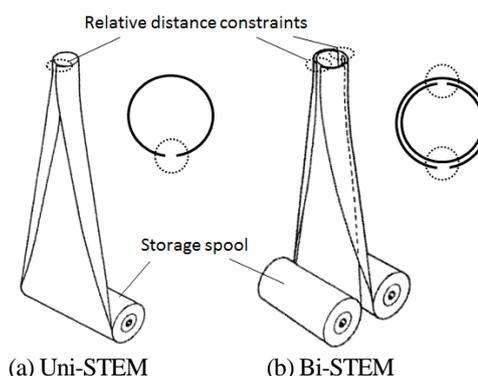


図1 STEMの概念図<sup>[4]</sup>

## 2. 非線形静解析によるBi-STEMの形状取得

### 2-1 Uni-STEM解析モデルの作成

Bi-STEMの構成要素は、薄肉開断面伸展梁Uni-STEMである。図1(a)に示すように、Uni-STEMは収納リールで巻き取るために固定端が直線状に開いた形状(以降、裾開き形状)となっている。また、自由端には図2のような先端ビスを付けて、相対変位を拘束している。本研究ではSTEMの材料として、高比剛性かつ適度な柔軟性を有するサカセ・アドテック製の三軸織CFRP (TWF-CFRP)を用いる(表1)。

Uni-STEMの自然な静的裾開き形状を得るために、まず、図3のような一様断面の薄肉円形開断面梁を作成する。自由端の開口部には先端ビスを模擬する硬いばね要素 ( $k = 1.0 \times 10^4$  [N/m]) を用いて開口部2節点を結合している。次に、固定端節点を図4に示すサイクロイド経路に沿って強制変位させて展開する。この過程は大変形問題であるので、Newton-Raphson法を用いた繰り返し計算によって解を求める。その結果得られた静的形状を図5に示す。

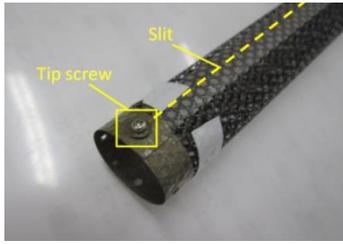


図2 Uni-STEM先端ビス

表1 解析に用いた三軸織CFRPの材料物性値

Young's modulus $E$ [GPa]	Poisson's ratio $\nu$	Density $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
15.035	0.499	999

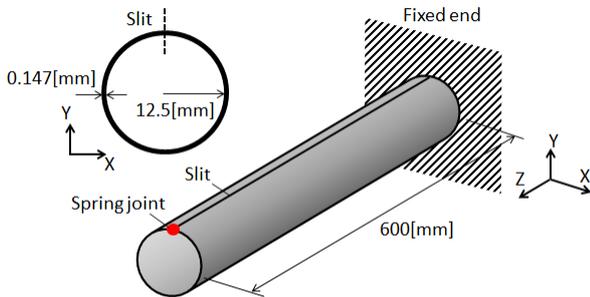


図3 薄肉円形開断面梁の形状寸法

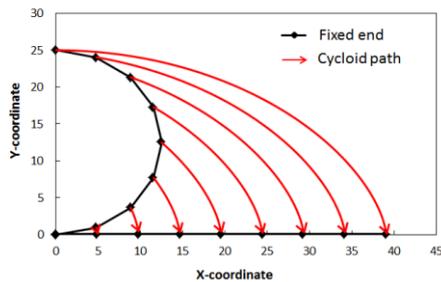


図4 各節点のサイクロイド経路 (X>0の部分のみ)

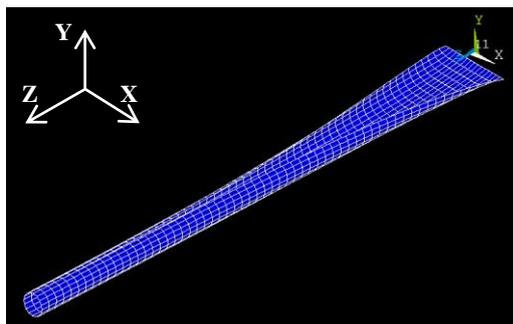


図5 Uni-STEMの静的形状

## 2-2 Bi-STEM解析モデルの作成

前項では、薄肉円形開断面梁の固定端をサイクロイド経路に沿って強制変位させることによりUni-STEMの静的形状を得た。本項では、前項と同じ寸法の薄肉円形開断面梁を二つ使い、接触解析によってBi-STEMの静的形状を求める(図6)。なお、Bi-STEMの先端ビスを模擬するために、

図7(b)のように六つの硬いばね要素 ( $k = 1.0 \times 10^4$  [N/m]) を用いて開口部付近の節点を結合する。

—作成手順—

- (1) XYZ空間に内側シェル, 外側シェル, 剛体平板を作成する。また、あらかじめ図7(b)のように六つのばね要素を作成しておき、図7(a)のように一部のばね要素を無効化(剛性を微小化)する。
- (2) 内外シェルの固定端を前項のサイクロイド経路に沿って展開する。
- (3) 外側シェルの自由端開口部2節点にX方向荷重  $F_x = \pm 4$  [N] を与えて展開する。このとき、外側シェルを剛体平板に押し付けながら展開することにより、外側シェルの長手方向中央付近が自然に展開される。
- (4) 内側シェルを-Y方向に移動させ、先端を外側シェルの内面に接触させる。
- (5) X方向荷重  $F_x = \pm 4$  [N] を徐々に小さくし、外側シェルの自由端を閉じる。
- (6) 剛体平板を-Y方向に遠ざけることにより、外側シェルの長手方向中央付近が自然に閉じられる。
- (7) 円筒中心を内外シェル固定端の中央に変位させ、図7(b)のようにすべてのばね要素を有効化したのち、先端の変位拘束を削除する。

以上の手順で得られた静的形状を図8に示す。

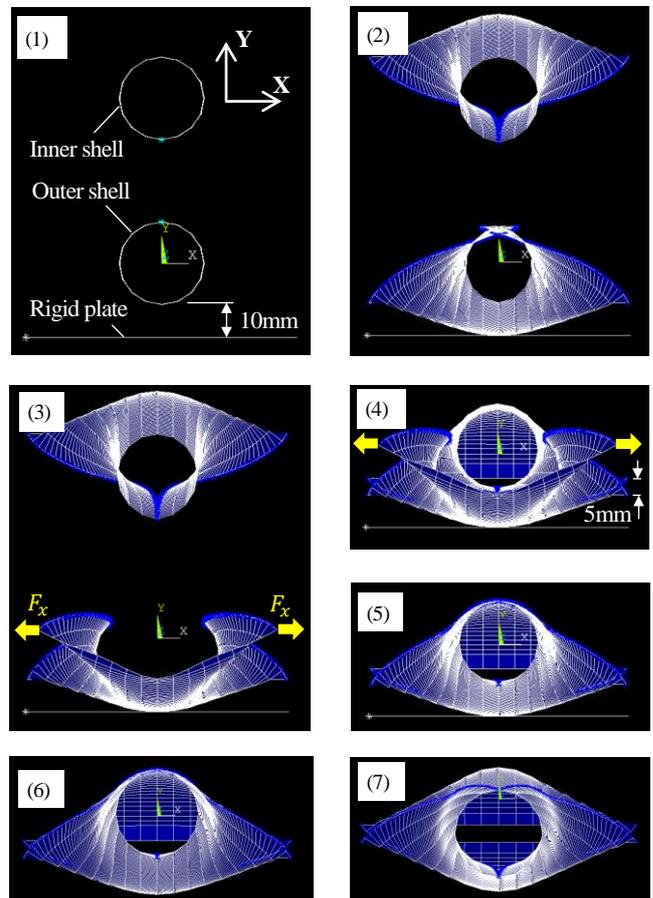


図6 Bi-STEM静的形状の作成手順

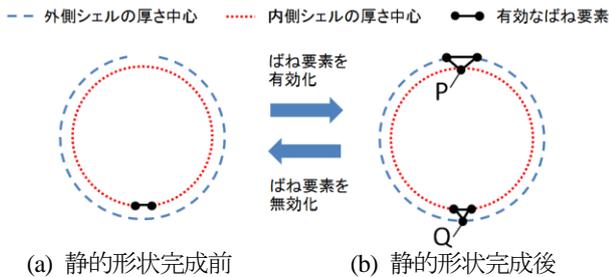


図7 ばね要素による先端ビスの模擬

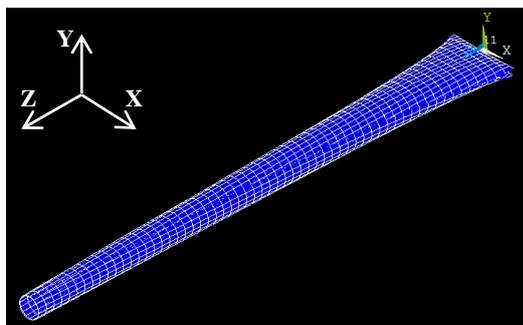


図8 Bi-STEMの静的形状

### 3. 時刻歴応答解析によるBi-STEMの動的特性

Bi-STEMは、内外シェル間の接触問題を含むため、接触面を線形ばねで結合する通常のモーダル解析では正確な固有振動数を算出することができない。したがって、ここでは時刻歴応答解析を実施して、接触状態の時間変化を考慮した自由減衰振動の変位履歴を求める。そして、変位履歴からBi-STEMの固有振動数を推定し、内外シェル間の摩擦係数や自由減衰振動の初期変位の大きさが振動波形や固有振動数に与える影響を調べる。解析には前節で作成したBi-STEM解析モデルを用いる。また、表2に時刻歴応答解析の解析条件を示す。

図9に摩擦係数による応答変化を示す。摩擦係数の違いにより固有振動数や振動中心が変化すると思われるが、明確な規則性がないため計算誤差を含んでいる可能性がある。

図10に初期変位による応答変化を示す。Bi-STEMは上下対称構造ではないため、必ずしも上下対称の応答となっていない。小さい初期変位では振動数に対する影響は小さいが、大たわみに関しては明確な規則性がないため計算誤差を含んでいる可能性がある。

表2 時刻歴応答解析の解析条件

固定端の拘束条件	中央節点：X軸周りの回転を除いた5自由度拘束 それ以外の節点：Y方向のみ拘束
シェル間摩擦係数 $\mu^{*1}$	0, 0.25, 0.5, 1.0, $\infty$
初期変位 $y_0$ [mm] <sup>*2</sup>	-15, -10, -5, -1, 0, 1, 5, 10, 15
変位履歴 <sup>*2</sup>	節点P,QのY方向変位の平均をとる

\*1 静摩擦係数と動摩擦係数は $\mu$ で等しい

\*2 変位は静的つり合い位置から計測

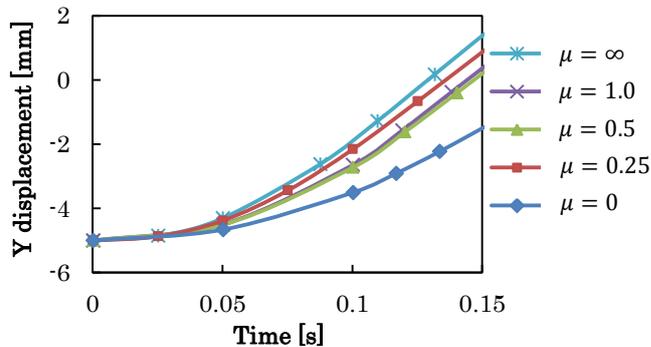


図9 先端変位の時間履歴(初期変位 $y_0=-5.0$ [mm])

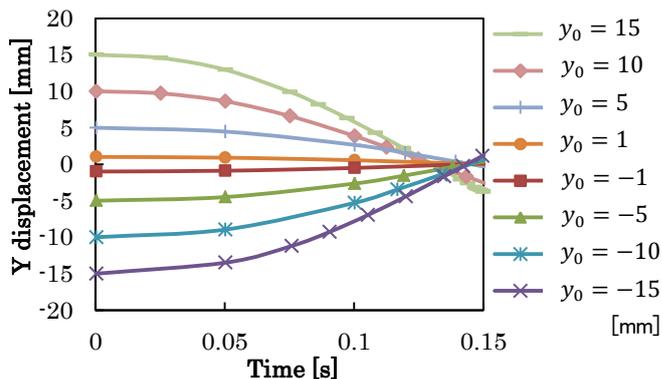


図10 先端変位の時間履歴(摩擦係数 $\mu = 1.0$ )

### 4. 結言

非線形静解析により、固定端付近における断面形状の変化および内外シェル間の接触を考慮したBi-STEMの静的形状を取得した。

得られたBi-STEM解析モデルを用いて時刻歴応答解析を行い、先端変位の時間履歴を求めた。そして、振動波形と固有振動数に対する摩擦係数および初期変位の影響について調べた。しかし、波形が1/4周期を超えた付近で収束困難を生じ、固有振動数を推定するために必要な波数の時刻歴応答を得られなかったため、今後は初期変位の与え方や解析条件を検討するとともに、計算誤差の大きさも評価する必要がある。

### 参考文献

- [1] Ken Higuchi et al.: Design and Evaluation of an Ultra-light Extendible Mast as an Inflatable Structure, AIAA 006-1809, SDM, USA, (2006.5).
- [2] Ken Higuchi et al.: Verification of Practical Use of an Inflatable Structure in Space, Trans. JSASS Space Tech. Japan, Vol.7, No.ists26, pp.Tc7-Tc11, (2009).
- [3] Yoshiro Ogi et al.: Effect of Attachment Errors of Flexible Appendages on the Spin Axis of a Rigid Body, Aerospace Technology Japan, Vol.10, No.ists28, pp.Pc\_7-Pc\_12, (2012.3).
- [4] <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/research/sak/>