

## 八辺展開リンク構造の展開プロセスシミュレーション

都市システム工学科 2160080099-7 ジャン ミョウ  
(指導教員 張景耀)

### 1. はじめに

近年世界中大きな災害が頻繁に起きっている。災害の直後避難所と再建などの諸問題は時間がかかるため、被害を与えた。災害復旧及び生活支援活動に対し従来計画的な復旧支援システムが行われているが、機動的かつ迅速に対応できるため、十分とは言えない。展開構造の建物はこの時こそ：1.その持ち運びやすいと 2.自由に展開、収納可能と 3.操作が簡単で、手間がかからない、メリットがもっているため、建築においてはよく使われている。

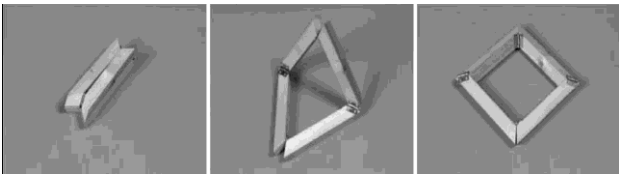


図 1-1 図 1-2 図 1-3

そこで本研究では、上記の問題点を克服し、自由に展開収納可能なスマート展開構造の過程で発生する安定性の問題について算定する方法を提案し、かつ定式化する。幾何構造の数値分析を解明することを目的としている。

### 2. 研究

#### 2 展開構造の概要

##### 2.1 空間展開構造(Deployable space structures)の特徴

既存理論(J.Hedgepeth)の十角形の展開構造のモデルでは、外巻きのちょうづかいでつなぐストレートな棒の機械リンク装置を用い、展開すると輪を形成できる展開構造になる。また、その輪を折りたたむと、しっかりした棒の束になる。図 2-1,2-2,2-3 ご覧ください。

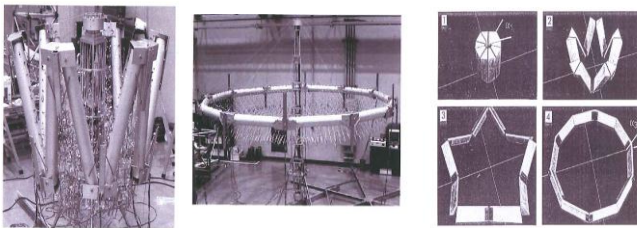


図 2-1 図 2-2 図 2-3

実際に、四角形のバージョンの展開構造は最も典型的、すでに Bennett の論文に証明された。しかし、展開構造の実証的な開発にとって、(J. Hedgepeth)の十角形の展開構造のモデルは不可欠な存在となっている。

### 2.2 展開構造の利用と特徴

Hedgepeth と仕事の仲間は閉ロープの展開構造を提案された。この構造は N 個 (N は偶数個) の棒で構成され、互いに同一の横断面で繋がれておる。この構造の幾何構造は下の図 3 示したように棒の横断面が二等辺の三角形と予想される。宇宙技術として利用された場合、打ち上げるときにこの折多々も式になり、収納の状態である。宇宙船が自動的に帰航するあるいは回収されるとき、その展開構造物が自動的に折りたたんで、宇宙船と一緒に地面に戻る。今日、この技術は幅広く利用されておる。例えば、通信、天気、探索衛星などである。

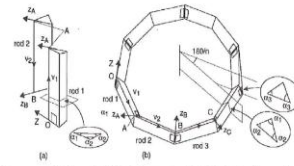


図 3

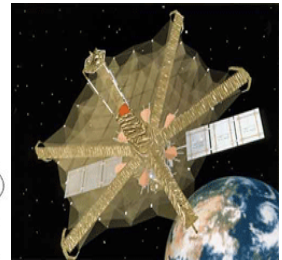


図 4

### 3. 四角形の理論の仕組みおよび計算

#### 3.1 Hedgepeth の十角形展開構造

①ちょうづかいは変わらずに、必要な方向に固定されていること。

②ロッド (棒) は展開構造の総体的な動きを妨げないこと。

まず、この展開構造を折りたたむとしっかりした棒の束になる。

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ}{n}$$

$$\alpha_2 = 90^\circ - \frac{\alpha_1}{2}$$

$$\alpha_3 = \arctan\left(\frac{\cos^2(\alpha_1/2)}{\sin\alpha_1/2}\right) \tag{1} 式$$

$$\theta_A = \arccos\left[1 - 2\cos^2\alpha_3\left(\sin\left(90^\circ - \frac{180^\circ}{n}\right) + \sin^2\frac{\alpha_1}{2}\tan\alpha_3\right)^2\right]$$

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{\left(2\sqrt{3}\cos^2\theta_A - 3\sin\theta_A\cos\theta_A + 3\sin\theta_A - 4\sqrt{3}\cos\theta_A + 2\sqrt{3}\right)}{\left(-\cos^2\theta_A - 2\sqrt{3}\sin\theta_A\cos\theta_A + 2\sqrt{3}\sin\theta_A - \cos\theta_A + 2\right)}\right)$$

次に、この展開構造のすべての棒同時に一つに折りたたむための条件は、二等辺の三角形の頂点の角度は必ず図 5 示したように、1—①式になる。それゆえ、底角は 1—②である。

棒の横断面も二等辺の三角形になり、その底角は 1-③式のように求められる。

また、ちょうづかいの角度は折りたたむと、最小限のゼロになる。一方、展開するとともに、単調に増加する。

展開したとき、ちょうづかいの角度、すなわち  $\theta_A$  の値が

(2) 式になる。

$$\theta_A = \arccos \left[ 1 - 2 \cos^2 \alpha_3 \left( \sin \left( 90^\circ - \frac{180^\circ}{n} \right) + \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} \tan \alpha_3 \right)^2 \right]$$

(2) 式

### 3.2 四角形の展開構造の幾何分析

四角形閉ループ、 $n=4$  の時対応する変化マトリックスは 3 式になる。

$$T_1 = \begin{bmatrix} -\frac{2}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{3} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & -\frac{\sqrt{6}}{3} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{3} & -\frac{\sqrt{6}}{3} & \frac{1}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_A = \begin{bmatrix} \cos \theta_A & -\sin \theta_A & 0 & 0 \\ \sin \theta_A & \cos \theta_A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(3) 式

(4) 式

角度によるちょうづかい（ヒンジ）のための変化マトリックスは 4 式になる。

われわれは、このような閉ループ構造を考えられる。この構造は四つのロッドによって構成される。また、タイプ 1 とタイプ 2 一つごとにおき、外巻きのちょうづかいによって綱がある。ちょうづかいの角度はそれぞれである。

閉ループ折りたたみのとき、左右完全的に対称的である。

$$T_1 \times T_{\theta_A} \times T_2 \times T_{\theta_B} \times T_1 \times T_{\theta_C} \times T_2 \times T_{\theta_D} = I$$

(5) 式 (I は単位マトリックスである)

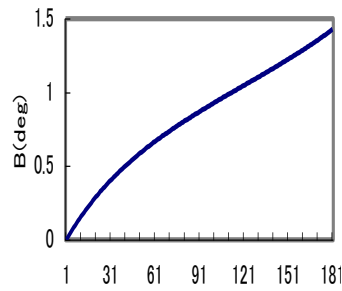
$n=4$ , 対称形のふるまいはとられます。  $\theta_A = \theta_C$ ,  $\theta_B = \theta_D$

以上の式より、既知数値を代入すると、6 式と 7 式が得られる。

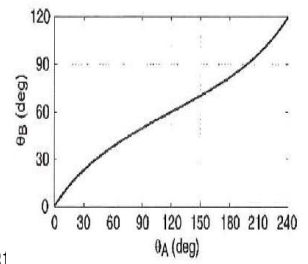
$$\left\{ \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{cccc} -\frac{2}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{3} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & -\frac{\sqrt{6}}{3} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{3} & -\frac{\sqrt{6}}{3} & \frac{1}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \begin{bmatrix} \cos \theta_A & -\sin \theta_A & 0 & 0 \\ \sin \theta_A & \cos \theta_A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \left[ \begin{array}{cccc} -\frac{2}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{3} \\ -\frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & \frac{\sqrt{6}}{3} & 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \begin{bmatrix} \cos \theta_B & -\sin \theta_B & 0 & 0 \\ \sin \theta_B & \cos \theta_B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \right\} = I \quad (6) \text{ 式}$$

$$\theta_B = \arctan \left( \frac{2\sqrt{3} \cos^2 \theta_A - 3 \sin \theta_A \cos \theta_A + 3 \sin \theta_A - 4\sqrt{3} \cos \theta_A + 2\sqrt{3}}{-\cos^2 \theta_A - 2\sqrt{3} \sin \theta_A \cos \theta_A + 2\sqrt{3} \sin \theta_A - \cos \theta_A + 2} \right)$$

(7) 式



グラフ 1-1



グラフ 1-2

### 4 オリジナル八辺展開リンク構造モデル

モデルのような四角形の展開構造は Hedgepeth の十角形展開構造と少々異なり、八つの棒によって構成されている。個々の棒の間に、テープで貼り付けられて、いろんな形へ変形が可能になる。図 5 のようになられる。

n	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\theta A$	$\theta B$
8	0.785	1.178	1.149	0.840	0.404
角度	45	67.5	65.851	48.185	23.185

表 (1)

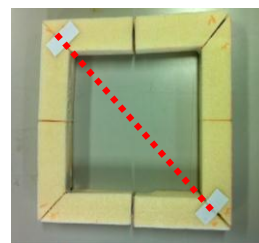


図 5-1

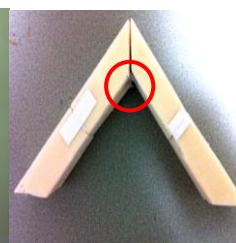


図 5-2



図 5-3

### 4. まとめ

多角形であるため、辺が多いほど、一つの円になる。折りたたむ時、棒と棒の間挟んでいる角度は 180 に近づく。こうなると、宇宙空間の重力の制約を考えない状況の下で、棒と棒の間の相互作用は角度の増加につれ不安定になりがちである。しかし、多角形の辺の数を減少すれば、空間展開構造物の展開の面積も減少する。今後はさまざまな実験を通じて、安定性と展開の面積をかねて、最適の棒の数を求めるのが課題である。

### 参考文献

- 1) I Gan, W. W. and Pellegrino, S. Numerical approach to the kinematic analysis of deployable structures forming a closed loop. Department of Engineering, University of Cambridge, UK. The manuscript was received on 25 November 2005 and was accepted after revision for publication on 28 March 2006. DOI: 10.1234/09544062JMES245.
- 2) 十亀昭人, 「宇宙にひらく、三次元展開構造物」, (特集=宇宙建築、あるいは Architectural Limits—極地建築を考え) 「10+1」, 46 号, 96-99.
- 3) 陈务军 张淑杰, 空间可展结构体系与分析导论 (Deployable Space Structures and Analysis Theory)