

形状可変なクライミング壁の機構と制御

Mechanism and Control Method of the Deformable Climbing Wall

正 伊能 教夫 (東工大) 正 小関 道彦 (東工大)
前田 浩和 (東工大 院) 小林 広和 (東工大 院)

Norio INOU, Michihiko KOSEKI, Hirokazu MAEDA and Hirokazu KOBAYASHI,
Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

This paper deals with the deformable climbing wall which consists of a lot of triangular panels connected by hinges each other. These panels are suspended by wires and weight of the each panel is balanced with a counter weight. This study aims to clarify the mechanism of deformation of the wall and to find out an efficient deformation procedure. We developed a miniature wall model and the simulation system to analyze behavior of the wall. Experimental and analytical results showed good correlation.

Key Words: Flexible Structure, Deformable Climbing Wall, Multi-body Dynamics

1. はじめに

インドクライミングは、手や足をかけるホールドが表面に取り付けられたクライミング壁を登る競技である。クライミングルートは、ホールドの組替えによって設定可能であるが、壁面形状が不変であるため設定には限界があり、広範なクライミングのトレーニングを実施することは難しい。

そこで、壁面に形状を変化させる機構をもたせることにより、多くのルート設定を可能とする方法が考えられている⁽¹⁾。本研究では、この方法の基本原則を採用し、壁面構造物の変形挙動について考察を行っている。

本稿では、模型を用いた変形実験における形状および張力の測定手法について説明し、計算機シミュレーション結果との比較を行ったことについて述べる。

2. 形状可変なクライミング壁

本研究で扱う壁面構造物を図 1 に示す。図 1(a) に示すように、構造物は正三角形パネルを一つの要素とし、これを蝶番を介して多数連結させることにより構成される(図 1(b))。クライミング壁として利用することを考えた場合、各パネルの質量は 20kg 程度となるため、それを変形させるためには非常に大きな牽引力が必要となる。

そこで図 1(c) に示すように、パネルと同質量のカウンタウエイトを用いたワイヤによって懸垂する方法を用いる。カウンタウエイトによりパネルの質量は相殺されるため、駆動力を与えるモータは小出力で済むことが期待できる。

各パネルを牽引するワイヤの張力をモータにより制御することによって、壁面構造物の形状は変化する。しかし、このときの壁面の変形状態を予測する方法や、効率的に目標形状へ変形するための牽引方法は未だ明らかにされていない。

そこで、形状可変なクライミング壁の縮小模型を作成し、それを用いた変形実験と計算機シミュレーションによって変形挙動の解明を試みた。

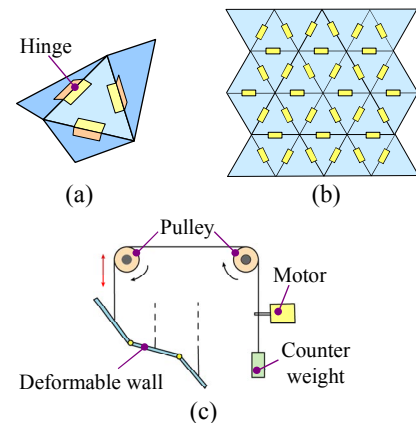


Fig. 1: A schematic diagram of the deformable climbing wall

3. 変形実験と計算機シミュレーション

変形実験と計算機シミュレーションによる形状および張力の検証方法を図 2 に示す。

まず、実験装置を用いて壁面構造物の変形を行い、形状および各ワイヤの張力を測定する。次に、壁面構造物の初期形状と、変形のために牽引したワイヤの長さを解析シミュレータに入力することによって、変形後の形状およびそのときの各ワイヤ張力を算出する。そして、双方の結果を比較検討することによって、実験手法および計算手法の有効性を確認する。

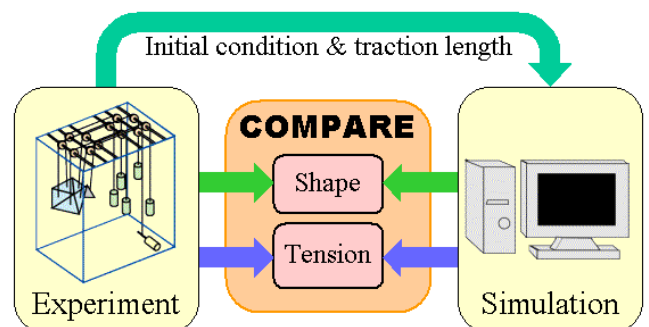


Fig. 2: Procedure of evaluation of simulator system

3.1 実験装置

基本的な壁面の挙動を把握するために、正三角形パネル6枚による正六角形の壁面構造物を製作した。ジュラルミン製パネルの一边は120mmであり、蝶番にはベアリングとテフロンワッシャを用いて摩擦抵抗の低減を図った。6枚のパネルは、ほぼ重心となる位置に取り付けられたワイヤによりそれぞれ懸垂されている。このうち、1本はモータに直結し、その他のワイヤはカウンタウェイトによりパネルとバランスさせている。そして、正六角形の壁面構造物の一边を回転自由に拘束した。

形状測定手法として、レーザ光線を利用して簡便にパネル位置を算出する手法を考案した。この手法は図3に示すように、パネル重心からレーザ光線を発射し、水平面への照射点をもとにパネル重心や各頂点の3次元座標を算出するものである。

張力は、アクリル円管にひずみゲージを貼付したものを各ワイヤに取り付けることによって測定を行った。

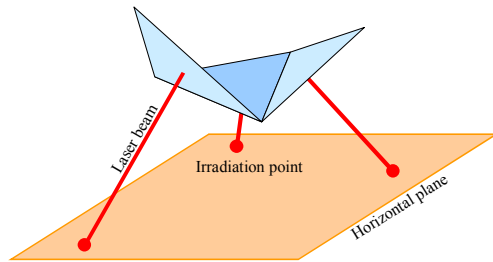


Fig. 3: Measuring method for panel positions

3.2 変形シミュレータ

各ワイヤの張力あるいは牽引量を設定することにより壁面構造物の変形挙動を調べる変形シミュレータを開発した。本シミュレータはマルチボディダイナミクスの解析手法⁽²⁾を適用しており、三角形パネルを1要素とする各要素間に等方性のばね特性を設定したモデルになっている。これにより、各パネルの運動方程式を連立して解くことで、構造物全体の挙動を調べることが可能である。

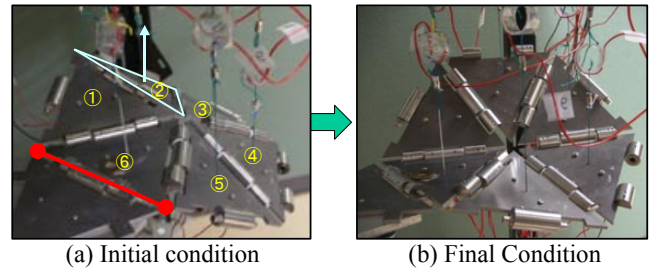
4. 結果の考察

同一条件における変形実験と計算機シミュレーションを試みた。実験では、図4(a)に示す初期形状から、モータに直結されたのワイヤを140mm牽引して構造物の変形を行い、図4(b)に示す最終形状およびその時のワイヤ張力を測定した。そして、このときの初期形状およびワイヤの牽引量を変形シミュレータに入力し、算出される最終形状およびワイヤ張力を実験結果と比較した。なお、図4(a)において赤線で示す1辺は回転自由に拘束されている。

実験および計算機シミュレーションの結果について、形状を図5に、張力を図6に示す。

図5より、重心位置には数mmの差が生じており、実験による測定結果の方が計算結果よりも若干下方にあることがわかる。これは、現在のシミュレーションでは蝶番における摩擦抵抗を考慮していないため、実際よりも形状変化が起こりやすくなっているためであると考えられる。

図6より、張力はモータにより牽引したのワイヤ張力が計算結果に比べ実験結果が大きくなっており、他は同等かそれ以下となっている。これは、の1辺が拘束されているため、この影響によるものと考えられる。



(a) Initial condition (b) Final Condition

Fig. 4: Initial and final conditions

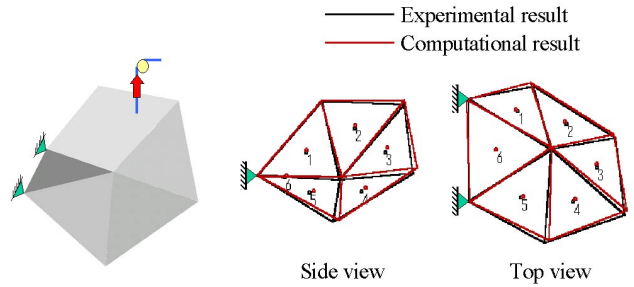


Fig. 5: Comparison of the experimental position with calculated results

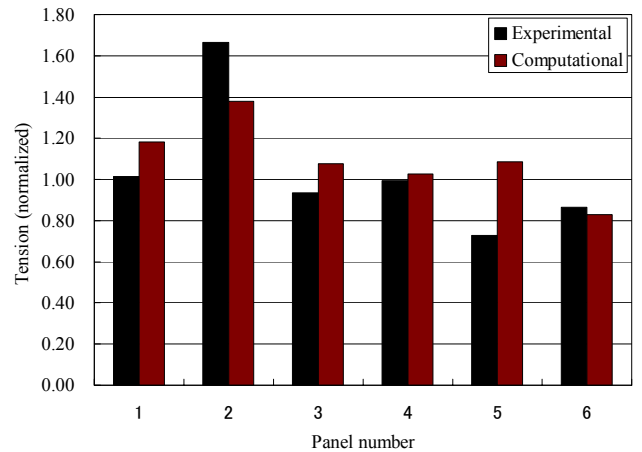


Fig. 6: Comparison of the experimental tension with calculated results

5. 結論

正三角形パネルを多数結合して構成される壁面構造物を対象として、壁面要素6枚の変形実験を行う装置を製作した。そして、形状および張力を測定する手法を考案し、測定結果を計算機シミュレーションと比較した。

若干の差異はあるものの、実験結果と計算結果は同様の傾向を示しており、実験装置および変形シミュレータの有効性が確認された。今後、さらに大規模な構造物に本手法を適用し、壁面構造物の効率的な変形手順について考察を進める予定である。

謝辞

実験装置を製作するにあたり多くの助言を下された株式会社ダイナウォールの吉田稔氏に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 吉田稔他; 可動式人工壁及びフリークライミング用装置, 特許公開番号 特開 2002-52110
- (2) Ronald L. Huston; Multibody dynamics, Butterworth-Heinemann, 1990