

## 宇宙エレベータとデブリとの衝突の数値シミュレーション

# 梶田 大智 [1]; 羽田 亨 [2]; 松清 修一 [3]; 辻野 勇樹 [4]  
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工; [3] 九大・総理工; [4] 九大・総理工・大海

### Numerical simulation of a collision between space elevator and space debris

# Daichi Sugita[1]; Tohru Hada[2]; Shuichi Matsukiyo[3]; Yuki Tsujino[4]  
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] IGSES, Kyushu Univ.; [3] ESST Kyushu Univ.; [4] ESST, Kyushu Univ.

The main elements of the space elevator are a long and sturdy cable that extends from the ground to the outer space (up to  $\sim 16$  Re) and a vehicle (climber) that can travel back and forth along the cable. If it is realized, the system will be a completely new traffic infrastructure that can be used continuously for a long time. The space elevator has the advantages of costs, environmental impact, and safety aspects compared to conventional rockets. Also, the cost-effectiveness of launching spacecraft from the space elevator has been discussed. Despite the early proposal of the key concepts (the idea of a “tower” reaching geosynchronous orbit was proposed by a Russian scientist Konstantin Tsiolkovsky in 1895), the space elevator was far from realization due to the high technical demands of the cable. However, with the discovery and development of new materials typified by carbon nanotubes, the feasibility has increased, and there appear an increasing number of academic studies, for example, on the conceptual design (e.g., Edwards, 2007), and climber and wind influence (e.g., Lang, 2005, Williams, 2009), although there are still many unsolved issues.

In this presentation, we discuss the collision of space debris with the elevator. It is well known that the near-earth environment is filled with an enormous number of space debris with a variety of sizes and weights. Although the population is relatively low, there are large and heavy debris (such as “dead satellites”) that may hit the space elevator in a long time scale, giving a significant impact to the elevator. In order to proceed, we first developed a numerical model to simulate the motion of the cable using the lumped-mass model, i.e., the cable is represented by a continuous elastic spring-mass point system. The following forces are included in the model: gravitational force due to the Earth, the centrifugal force and the Coriolis force due to the rotation of the Earth, internal stress and internal dissipation due to the cable. After determining the equilibrium positions of the mass points, we then checked small-amplitude oscillations of the system and verified that they correspond to those obtained by eigenvalue analysis. We observe that, when a large impact is given to the cable, the cable response becomes nonlinear in the sense that the cable no longer oscillates around its equilibrium solution, but it can fall to the ground or cable rupture can take place. Detailed parameter analysis will be presented for varying magnitudes of the impact, locations where the impact is given, and the direction of the impact.

ロケットに代わる新たな宇宙への輸送手段として宇宙エレベータが提唱されている。これは地上から宇宙（16Re程度）にまでケーブルを設置し、ケーブル上の昇降機（クライマー）により地上と宇宙を行き来する輸送システムである。したがって、ロケットのように使い捨てではなく、長期にわたって継続的に利用できる交通インフラとなる。また、宇宙エレベータ上から効率よく探査機や宇宙船を出発させることができる。従来のロケットと比較し、宇宙エレベータはコスト、環境への影響、安全面で優れているが、宇宙エレベータの技術的要求は高く、実現には程遠いものであった。しかし近年になって、カーボンナノチューブに代表される新素材の発見と開発をきっかけに実用に耐えるケーブルの実現性が高まり、研究が本格化している。Edwards[2007]による宇宙エレベータの概念設計に始まり、Lang[2005], Williams[2009]たちのケーブルの展開や、クライマーや風の影響についての学術的研究はあるが、いずれも研究の初期段階であり、検討すべき課題は多い。

地球近傍、特に低軌道(2000km)以下には数多くのデブリが存在するため、長時間スケールではこれらと宇宙エレベータの衝突事故を考慮する必要がある。本研究では宇宙エレベータに大きな衝撃が与えられた時のケーブルのダイナミクスに注目した。まず、ケーブルの運動をシミュレートするための数値モデルを開発した。ケーブルは Lumped Mass 法により多数の弾性ばね-質点系として近似し、これらの地球による重力、地球の自転に起因する遠心力とコリオリ力、ケーブルの伸縮による内部応力を考慮した。質点の力学的平衡位置を決定し、固有値問題の解として微小振動スペクトルを求め、これがシミュレーションによるケーブル微小振動の結果と一致することを確認した。次に、各質点に微小ではなく有限の力積が加わる場合を想定し、力積の大きさ、方向を変えた時のケーブル運動を計算した。ケーブルの有限振幅振動と地球への落下について、またケーブルに加わる張力が限界値を超えた場合にケーブルが切断されることをとりいれたモデルを用いて破壊条件を求めた結果を報告する。