

# 有限要素法による能動変形機構の衝撃緩和解析 Shock Absorbing Analysis of Actively Transforming Architecture by Using Finite Element Method

○ 小澤 一裕 (ホットスパイス)      正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Generally, impact force produced in constituting members of a robotic mechanism was not taken seriously. But as robot architecture becomes maneuverable in high-speed motion, the shock wave produced in the mechanism increases, as well as the danger of mechanical destruction. In this research, an inertial force distribution analytical algorithm of activity transforming architecture by using Finite Element Method is constructed, and is applied to a simulation of a biped, robotic model. It is verified that the motion speed of the mechanism has influence on the shock wave occurring in the mechanism, and shifting operation of the center of gravity may become practical in absorbing the shock wave.

*Keywords:* Shock Wave, Impact Force, Activity Transforming Architecture, Finite Element Method

## 1. はじめに

近年、人間の道具、生産機械といった用途のロボットだけでなく、人間と遊ぶ、楽しませる、あるいは介護を含めて一緒に行動する等といった用途を目的とした人間共存型ロボットに注目が集まるようになってきた。また、最近の二足歩行ロボットの研究では、人間の生活空間にある狭い通路や、障害物などのあるところで安全、安定かつ高速に移動できる機構の開発が主となってきている。通常これらの研究においては、機構を完全な剛体と見なして開発がなされていることが多い。しかし、二足歩行ロボットのように重心位置が高く、かつ近い将来高速で移動するようになれば、その機構内に生じる衝撃力が増し、構成部材および部品の破壊の危険性が高くなると考えられる。また、ロボットを安定して動作させるために必要な情報は、各部に設けられたセンサによって逐一与えられているのが現状である。しかしながらロボットにおいて、センサに頼り過ぎた制御手法ではシステムが肥大化し、ロボットに敏速な動作をさせることが困難となることが考えられる。

そこで本研究では、目標軌道上を動作させる際に発生する衝撃を予測する手法として有限要素法(FEM)を用い、衝撃緩和を目的とする姿勢決定を図ることを提案する。本研究では、構造分野の骨組構造解析でその有効性が確認されている Shifted Integration 法 (SI 法) を機構のモデル化に適用し、FEM を用いた能動変形機構の内力分布解析アルゴリズムを構築した。また、3次元運動をする二足歩行ロボットモデルに対し、その移動速度や重心移動が機構内に発生する衝撃力に与える影響について検証を行った。

## 2. SI 法によるリンク機構のモデル化

本研究でリンク機構のモデル化に導入する SI 法は、本

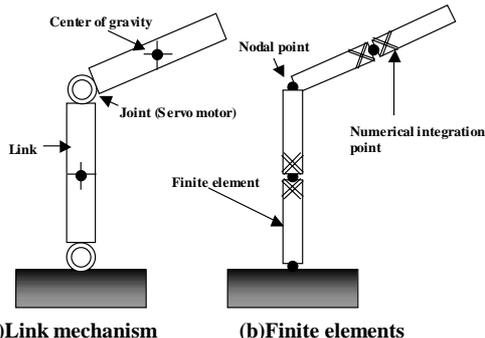


Fig.1 Modeling of link mechanism by using Shifted Integration technique

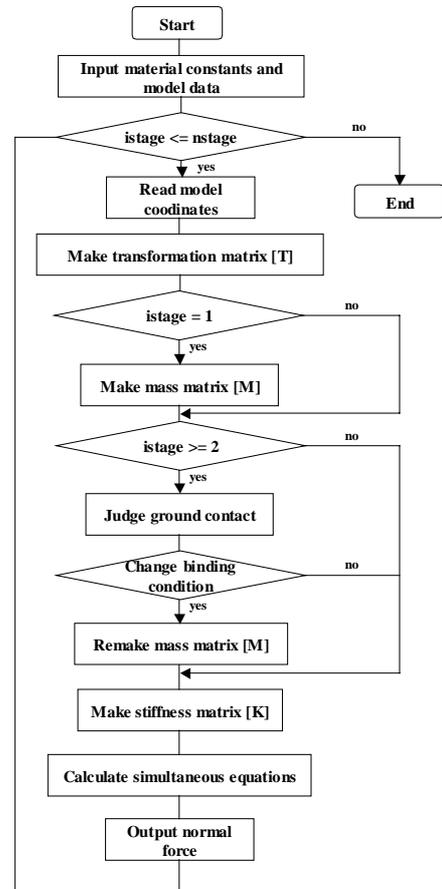


Fig.2 Flow chart

来は骨組構造の有限要素解析に用いられる手法である。数値積分点を図1のように中央点から片端へシフトすることにより、要素端の関節を表現することが可能となる。図に示すように、モータとリンク部材によって構成されたリンク機構は、リンクの中央位置に節点を設け、関節位置の反対側に数値積分点をシフトした2つの線形要素は要素によって表現される[1]。

## 3. FEM を用いた内力分布解析アルゴリズム

本研究で構築したアルゴリズムのフローチャートを図2に示す。本アルゴリズムでは、動的変形を伴うモデルデータを逐次入力し、各ステップでは静的な解析を行う。ステップごとに算出される速度・加速度情報を逐次的に

加算することにより、動的に変形する能動変形機構の内力分布解析が可能となる。また、接地・離地を伴う運動をする機構の場合、各節点の Z 座標を随時監視し、接地または離地の判定がなされると、その節点の Z 方向の自由度を拘束または自由にする。またこの時、自由度番号の更新を行って質量マトリックスなどの情報を組み替える操作を行う。

#### 4. 重心移動による衝撃緩和解析

本報告では、3 次元歩行運動を行う 5 リンク能動変形機構の衝撃解析を行った。また、衝撃を緩和する方法として重心移動によるものを取り上げ、移動しない場合に機構内に生じる衝撃と比較し、重心移動による衝撃緩和の検証を行う。さらに、計算コストの面から本手法の有効性を検証する。

図 3 に、二足歩行ロボットを模擬した 5 リンク機構に与えた目標軌道を示す。向かって右側を左脚、左側を右脚とし、両脚を連結する部分をボディ部と称することにす。脚は、長さ 0.3m の部材が 2 本結合しており、ボディ部は、0.4m の部材 1 本から構成されている。また、ボディ部中央に 2.0kg の質量を配置し、この質量を図 3 のように移動させることにより衝撃緩和を図った解析を行う。本解析では、1.5 秒間で図 3 に示す運動を行うように設定しており、両脚を接地する際、次の運動に移る前に 0.1 秒弱の静止時間を設けてある。

図 4(a), (b) には、それぞれ重心を移動しない場合と重心を移動させた場合の左脚に生じる軸力の時刻暦を示す。また、図 5(a), (b) には、右脚の軸力の時刻暦を示す。図 4 を見ると、右脚を上げた瞬間に衝撃が生じていることがわかる。これは、両脚で支えていた自重が瞬時に左脚にかかるために生じる振動であると考えられる。また、上げていた左脚を着地する際に振幅の大きな振動が生じているが、図 4(b) のように重心を移動させることによって着地時に生じる衝撃を最大約 40% 減少できることがわかった。次に図 5 を見ると、着地時に右脚に大きな衝撃が生じていることがわかる。また、右脚のみで機構を支えている際にも振幅の大きな振動が連続して生じていることが確認できる。これは、全自重が瞬時に右脚にかかったことによる振動と、右脚の着地時に生じた衝撃を十

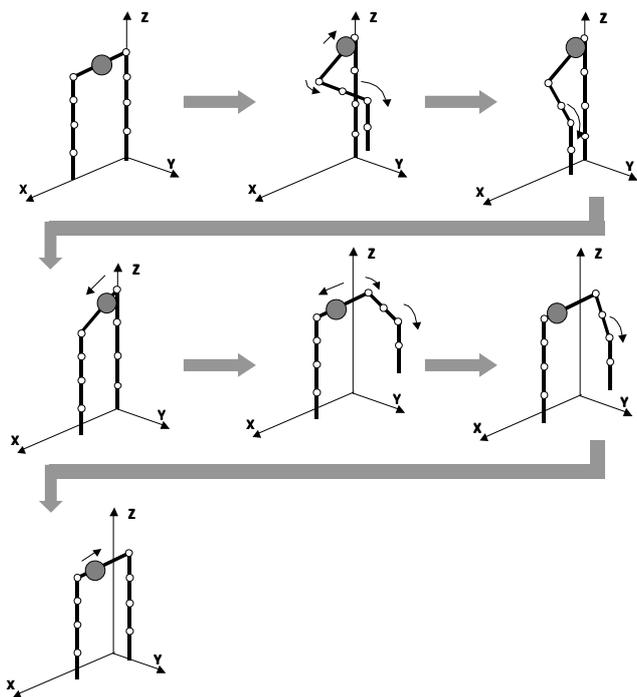
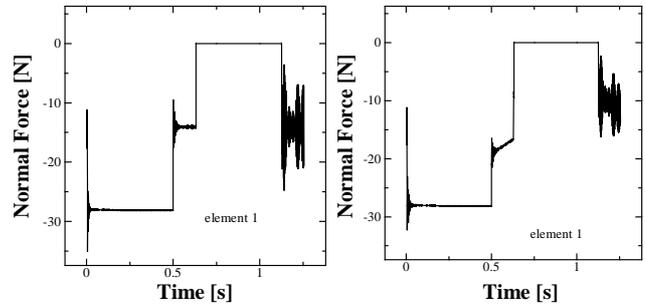
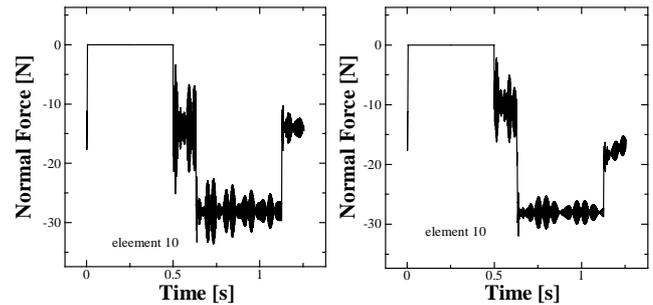


Fig.3 Trajectory for biped. mechanism



(a) Without shifting center of gravity (b) Shifting center of gravity

Fig.4 Shock wave occurring in left leg



(a) Without shifting center of gravity (b) Shifting center of gravity

Fig.5 Shock wave occurring in right leg

分に緩和させずに次の運動に移ったために生じた振動によるものであり、右脚を構成する部材には相当な負荷が掛かっているものと思われる。またこの際の衝撃も、重心移動を行うことによって、重心移動しない場合に比べ約 40% の緩和が可能であることを確認できた。

本解析は CPU: Intel Pentium 600MHz, RAM: 384MB を有する PC 上で実行した。1 ステップ当りの時間増分を 0.005[s], 合計 200 ステップで解析を行った場合に要した計算時間は 0.35[s] であり、現時点においても十分にリアルタイム処理に対応できる結果である。

#### 5. 結論

本研究では、能動的に変形する機構を Shifted Integration 法を用いてモデル化し、FEM による内力分布解析アルゴリズムを構築した。そして、3 次元運動をする二足歩行ロボットモデルの内力分布解析をもとに、機構内に生じる衝撃の緩和を試みた。接地・離地を伴った連続的な運動をする機構に対して本アルゴリズムを導入することにより、機構内に生じる軸力を十分な精度で解析できることが確認できた。また、3 次元能動変形機構に対する解析の結果、重心の移動は衝撃緩和のために必要不可欠なものであることが確認された。

長い距離を速く歩くような場合、例えば競歩のフォームなどのように、上半身をひねって着地する脚と反対側の脚の方へ重心を交互に移動する方法は、本研究の解析結果からもわかるように衝撃を緩和する上で非常に合理的な歩行法であると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 磯部大吾郎, 竹内 裕喜, 上田 健夫: 超冗長マニピュレータの関節トルク算出法-FEM を用いた理論の展開-, 日本計算工学会論文集, 第 2 巻, (2000), pp.73-78.