

物理エンジンと有限要素法の連携可能性

環境構造工学講座 12859 近藤 高誉
担当教員 後藤 文彦

1. 研究背景と目的

近年、広く研究成果を一般に広めたり、防災教育の現場で利用したりするうえで、数値計算の可視化、その中でも、とりわけ 3DCG による動画化が必要となってきた。しかし、現状では数値計算と 3DCG 動画作成は、人も使用ソフトも全く独立しており、相互の連携がスムーズではない。

そこで今回は、3DCG 動画作成で使われるオープンソースかつ無償の 3DCG ソフト”Blender”が内蔵する物理エンジン”Bullet physics”に着目した。物理エンジンとは、古典力学的な法則をコンピュータ上でシミュレーションするソフトウェアのことをいい、3DCG を利用したアニメーションやゲームの作成現場のみで利用されている。

本研究では、数値計算結果の 3DCG ソフトへの連携を視野に入れ、3DCG 動画作成における物理エンジンの利用方法を模索した。

2. 物理エンジン Bullet physics の検証

(1) 反発係数の確認

反発係数の確認をするため、反発係数 e を表-1 のように変化させて、同じ高さから剛体の球を自由落下させる。ここでいう剛体は、変形しないという意味だが、反発係数に応じて反発はする。剛体の球が反発している様子が図-1 である。左端の球は全く跳ね返らず、逆に右端の球は落下させた初めの高さまで跳ね上がっている。また、跳ね返った球の高さは一直線上をなしている。跳ね返る高さ h は、元の落下高さを h_0 とすると、 $h = e^2 h_0$ となることから、反発係数がこの式に忠実に反映されていることが分かる。

表-1 各球の反発係数

左からの順番	1	2	3	4	5
反発係数 e	$\sqrt{0.00}$	$\sqrt{0.25}$	$\sqrt{0.50}$	$\sqrt{0.75}$	$\sqrt{1.00}$

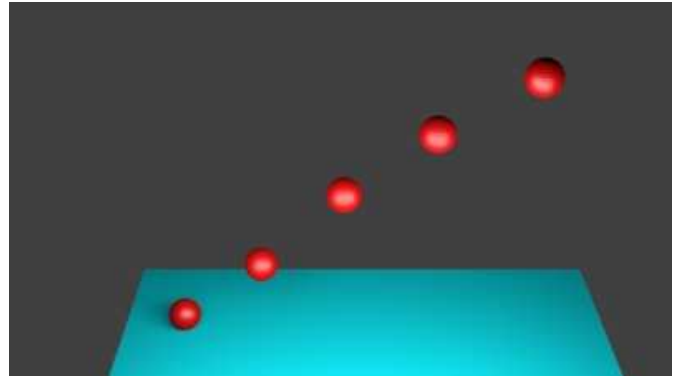


図-1 反発係数

(2) 摩擦係数の確認

摩擦係数の確認をするため、摩擦係数を表-2 のように変化させ、45° 傾斜した斜面に剛体の立方体を静置する。

剛体の立方体が滑動している様子が図-2 である。左側の立方体ほど、よく滑っていることが分かる。また、右の 2 つは滑りが悪く、回転している。

これらの挙動を見るに、摩擦や回転もかなりよく表現できていると言える。

表-2 各立方体の摩擦係数

左からの順番	1	2	3	4	5
摩擦係数 μ	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00

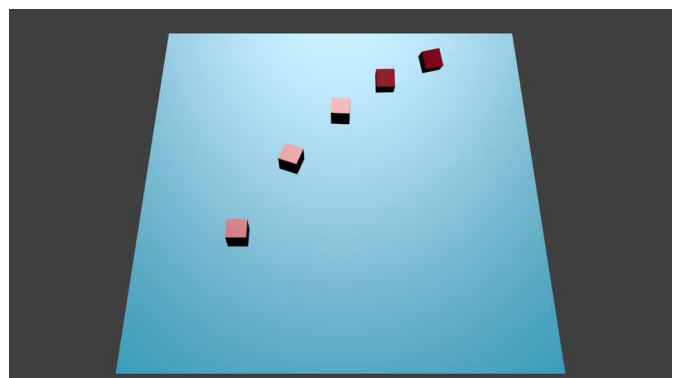


図-2 摩擦係数

(3) 変形の確認

表-3 ラーメンの変形パラメータ

項目	値
摩擦	0.000
重さ	3.000
ばね 引く	0.900
ばね 押す	0.900
ばね 曲げ	0.900

梁の曲げと柱の圧縮の挙動を確認するために、ラーメンに表-3に示す変形のパラメータを与える。パラメータはヤング率やポアソン比とは違い、曖昧な値である。また、変形も定量的な値が出力されないため、目視で判断する。

初期状態では、ラーメンの輪郭を表すエッジ(線分)は図-3のようにほとんど生成されていない。この状態では、柱部分が上下に揺れるだけで、梁部分の曲げは見られない(図-4)。次に、表面のエッジを

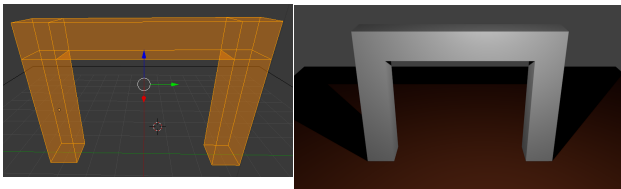


図-3 エッジ:初期状態

図-4 変形:初期状態

Blenderの機能で自動細分化してみる(図-5)。この状態では、梁の曲げも確認できるが、柱部根元に見られるように断面形状を維持できていない(図-6)。

そこで、ラーメン内部にも格子メッシュ状にエッジ

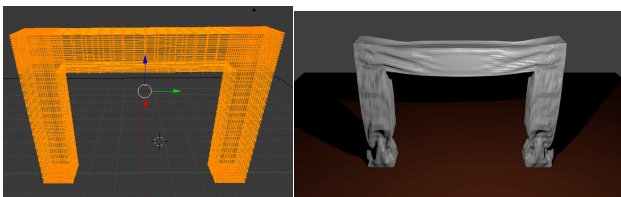


図-5 エッジ:表面

図-6 変形:表面

を生成してみる(図-7)。するとこの状態では、柱の圧縮と梁の曲げも確認でき、断面形状も比較的維持されている(図-8)。しかし、エッジの生成や計算速度、変形の正確さなどで有限要素法よりも劣っている。

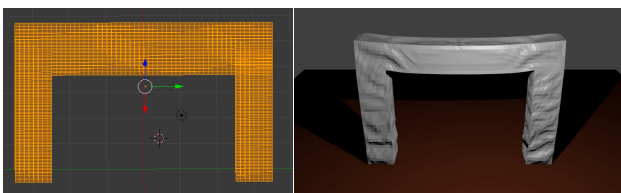


図-7 エッジ:内部

図-8 変形:内部

3. 数値解析の結果の動画化

前章の検証から、物理エンジンは、剛体の摩擦や反発計算を得意としているが、個々の物体の変形を表現するのは苦手なことが分かった。そのため、柔らかい部材に関しては、有限要素法などの数値計算の結果から3DCG動画を作成する必要がある。

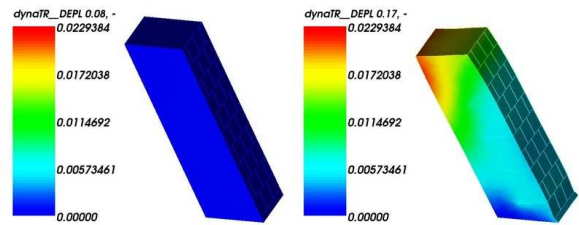


図-9 FEM 時刻 t

図-10 FEM 時刻 t+delta t

そこで図-9、図-10のように、有限要素法による過渡応答解析の結果を δt 時間毎に計算・可視化し、コマ撮りアニメとして繋げることでgif形式の動画にすることが出来た。しかし、可視化した構造物のgif動画を人物や背景などの画像と重ね合わせることは困難なため、防災教育目的の動画に整形するには至らなかった。なお、過渡応答解析にはオープンソースのSalome-Mecaを使用した。

4. まとめ

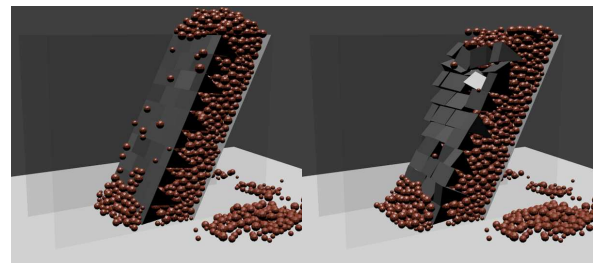


図-11 石積護岸の斜面

図-12 石積の崩壊

3DCGソフトの物理エンジンは、「目視でそれ自体の変形が分からないもの」や「剛体的な要素が重なり合っているもの」を扱うには向いているため、例えば図-11、図-12の石積み護岸に見られる斜面のように、やわらかい土に対して剛な石が変形せず崩れたりするような挙動を表現するには向いているかもしれない。しかし、土部分の変形のように「目視で分かるほど変形するもの」や「見た目には連続体として扱えるもの」については、有限要素法を使用するのが適していると考えられる。よって、今後の課題として、有限要素法などの数値解析結果を、3DCGソフトにインポート可能な形式に変換する方法を模索していきたい。