

# Web 上で学習可能な振動論 e ラーニング教材の開発

振動論 教育 表層地盤  
免・制震 e ラーニング Flash

正会員 ○牧原慎一郎\* 同 鶴田庸介\*\*  
同 福和 伸夫\*\*\* 同 護 雅史\*\*\*\*

## 1. はじめに

地震大国日本では、全国どの地域においても、建物耐震化などの地震対策が必要不可欠であるが、その進捗状況は決して芳しいとは言えない。筆者らの研究グループでは、地震対策を啓発するための数多くの教材開発と実践を行っている。最近では Web 上でいつでも気軽に学習可能な e ラーニング教材を開発し、その有効性に手応えを感じている。

一方、近年、大学生や建築技術者などが、建物や地盤の振動性状について分かりやすく学ぶことができる教材のニーズが高まってきている。例えば、免震・制震構造を利用した建築物が急増しており、このような建物の振動性状の理解も必要不可欠となっている。また、都市域の多くは堆積盆地に位置するため、表層地盤の振動特性が建物応答に与える影響についても十分な理解が必要となる。

そこで本論では、e ラーニングの手法を用いて開発した、建物や地盤を対象とした教育用の振動実験教材について報告する。

## 2. 教材開発の経緯

当研究グループでは、Flash (Adobe 社)付属のスクリプト言語である ActionScript を用いた振動論 e ラーニング教材を開発してきた<sup>1) 2)</sup>。Flash を採用したことによる利点としては、インターネットに接続されたパソコンの約 98% にインストールされている Flash Player でアプリケーションの利用が可能のこと、Web サイトにアクセスするだけでブラウザ上にて手軽に実行できること、アプリケーションとプレイヤー双方のファイル容量が非常に小さいこと、付属のスクリプト言語である ActionScript がオブジェクト指向型のプログラム言語であり、可視性、拡張性、再利用性の高いシステム開発を備えていることなどが挙げられる。

従来までに開発してきた教材は、1、ないしは 2 層建物に限定されていた。本研究では、多層建物の振動応答解析や地盤震動応答解析とこれらの結果の可視化、様々な入力地震動に対する応答スペクトルの表示に着眼して、学習できる内容をより詳細なものに発展させた。

各教材では、応答解析に用いる各種パラメータ(質量、剛性、減衰定数、建物階数など)を自由に設定することができるので、パラメータ設定の違いによる応答の違いを

学習することができる。また、非線形応答解析への拡張を見据えて、応答計算には直接時間積分(Newmark のβ法)を用いた。

## 3. 新たに開発した教材

### 1) 多層建物の地震応答

多層建物の振動には高次モードが含まれるが、その応答を教科書などの紙面上で理解するのは困難である。そこで、これをアニメーション表現することにより、効率的に高次モードを学習できることを目指して、この教材を開発した。さらに、この教材を使用することにより、異なる地震動を入力したときに、入力の卓越振動数の違いによって、多層建物の振動応答がどのように変化するかについても学習することができる(図 1a)。

### 2) 免・制震建物の振動

この教材の最大の特徴は、通常の耐震建物、免震建物、制震建物の振動性状の違いを実験できることである。免震建物では、積層ゴムによる免震構造を想定し、最下層に免震層を加えている。また制振(震)建物では、TMD を想定して、最上層に質点のグラフィックを付加して表現した。免震・制震いずれに対しても、入力地震動や質量・剛性・減衰定数などのパラメータや建物階数を自由に設定できるので、これらの違いによる免・制震効果の差異などを観察することにより、免震・制振(震)の長短所を容易に学習することができる(図 1b)。

### 3) 表層地盤の地震応答

建物に作用する地震動は表層地盤の性質によって大きな影響を受けるため、表層地盤の振動性状を学習することは非常に重要である。表層地盤の地震応答評価には、成層地盤モデルが一般的に用いられる。ここでは、最も単純なものとして、表層地盤と半無限地盤によって構成される 2 層地盤モデルを採用した。この教材では実際に目で確認することのできない地盤の振動性状を可視化しているため、地盤震動のイメージを膨らませやすくなっている(図 1c)。

### 4) 多層地盤の地震応答

実際の地盤は、砂や礫など性状の異なった地層が重なって構成されている。そのため、この振動の様子を表現するために、多層地盤の振動シミュレーションが可能な教材を開発した。この教材により、各地層の密度・せん断波速度の違いによる振動の変化を学習することができ

る(図 1d)。

## 5) 建物と地盤の連成振動

この教材では、地震一建物連成系の振動性状について学習できる。これによって、工学的基盤となる層から地震動を入力したときに、表層地盤がどのように振動し、それが建物にどのように伝わり、建物がどのように振動するかという一連の振動の伝播を体感することができる。またパラメータを変更することによって地盤と建物の共振現象も実験可能であるため、どのような建物がどのような地盤上に建っている時に大きく揺れるのか、さらには被害拡大につながるかなどについてもイメージすることができる(図 1e)。

## 6) トリバタイトスペクトル表示機能付き 1 質点強制振動

既存の 1 質点強制振動の教材にトリバタイトスペクトルを表示できるようにしたものがこの教材である。入力地震動や固有周期、減衰定数の違いによって最大応答値がどのように変化するかを、トリバタイトスペクトルを用いて学習し、その違いをその場でアニメーションとして再現することが可能であり、建物の振動現象をより深く理解することができる。応答計算には Nigam Jennings 法を用いている(図 1f)。

## 4.まとめ

本論では、これまでに当研究グループが開発した振動論 e ラーニング教材の、自分の手で体感できるという利点を継承し、大学生や建築技術者などが振動論のさらに高度な内容を学習することができるようにな開発させた。具体的には、建物の多層化、地盤の振動シミュレーション、応答スペクトルの表示、の各機能を持たせた。今後は、動的相互作用を考慮した Sway-Rocking モデルの導入や非線形地震応答解析への拡張によって、より実現象に近い振動現象をシミュレーション可能な教材の開発を行う予定である。

## 参考文献

- 鶴田庸介、福和伸夫：耐震・振動論学習のための能動型振動シミュレーション教材の開発、日本建築学会技術報告集、第 25 号、2007.6
- ぶるるくんのじこしようかいホームページ  
<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/bururu/>



(c) 2 層地盤の地震応答

図 1 各種 振動論 e ラーニング教材

\* 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生

\*\* 三井住友海上火災保険・修士（工学）

\*\*\* 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

\*\*\*\* 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士（工学）



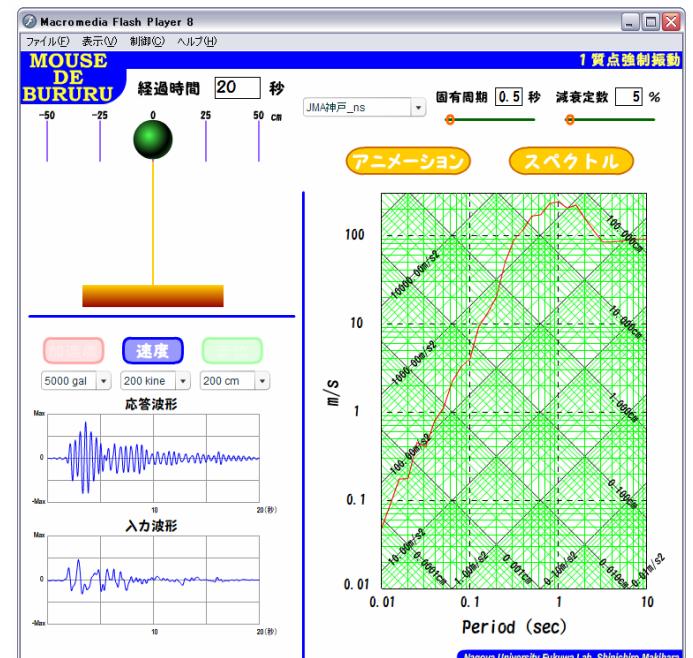
(a) 多層建物の地震応答

(b) 免・制震建物の地震応答



(c) 2 層地盤の地震応答

(d) 建物と地盤の連成振動



(e) トリバタイトスペクトル表示機能付き 1 質点強制振動

\* Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

\*\* Mitsui Sumitomo Insurance Company, Limited, M. Eng.

\*\*\* Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*\*\*\* Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.