

# Web 上で学習可能な振動論 e ラーニング教材の開発

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース  
 福和研究室 牧原慎一郎

## 1 研究の背景と目的

近年、中部圏で大きな災害が懸念されている東海地震・東南海地震に備えて、建物耐震化や家具固定などの地震対策が一刻も早く遂行される必要がある。しかし、愛知県民の意識調査<sup>1)</sup>によると、耐震診断や耐震改修をした人は1割にも満たず、約6割の人が地震に対して不安を訴えているにもかかわらず特に対策を行っていないのが現状である(図1)。家具固定をしている人の割合も、2年前に比べて増加したものの、未だに半数以上の人が家具固定を行っていない(図2)。

このような現状から、地震防災に関する意識啓発が必要不可欠なことは明らかであるが、住民に実際に対策を行ってもらうには、地震災害に対して「気づき」、「学び」のプロセスを経ることが必要である。そこで、その「気づき」の試みとして、家具固定推進を目的とした「震災シミュレーションゲーム 地震対策編」を作成した(図3)。これは、自宅の家具固定を進めるすごろくゲームである。防災啓発にゲーム性を取り入れることにより、一般の人々が防災に親しみやすくなり、実際に啓発イベント等でこれを活用し、有効な啓発活動を行うことができた。

一方建物耐震化の促進には、耐震性が不十分な家屋の住人に対して、自分の家が地震に弱いと認識させること(「気づき」)が重要となる。そして、次のステップとして、「学び」を通して地震時

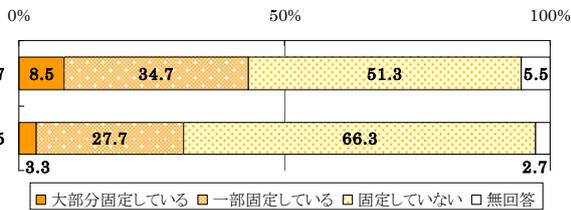


図1 愛知県民の家具固定に対する意識

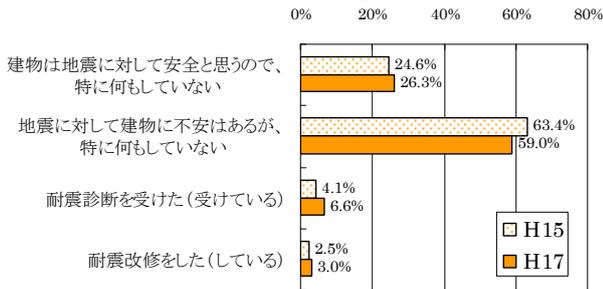


図2 愛知県民の地震対策の状況



図3 震災シミュレーションゲーム

に建物がどのように揺れるかを自ら体感し、振動現象を理解してもらう必要がある。この「学び」には振動論の学習とそれに関する効果的な教材が不可欠となるが、模型等を用いた実験による学習では、時間・場所などの制約により多くの人々に「学」んでもらうことは不可能である。そこで、広く一般に普及させ手軽に利用できることを目指し、近年急速に発展しているIT技術を利用して、振動論をWeb上で学習できるようなeラーニング教材を開発した。

## 2 振動論 e ラーニング教材

建物の振動現象のような、動的な現象を理解するためには、動きをその場でアニメーションによって再現することが有効である。そこで、教材開発を行う際にFlash(Adobe社)を採用した。Flashはアニメーションを作成するためのソフトウェアで、これに付属のActionscript言語でスクリプトを記述することにより、インタラクティブな要素を持ったムービーを作成することができる。現在このようなムービー等が数多く開発されており、特にマウスやキーボードを使った高品質のWebゲーム等が実現されている。そこで時刻歴の振動シミュレーター等への応用の可能性を感じ、Flashを使った教材開発に踏み切った。

開発した教材は後に示す合計6種類である。まず1質点1自由度系の振動現象を学習するための教材を開発し(2.1)、多質点のものに応用した(2.2)。さらに実現現象をイメージしやすくするために質点を建物の絵に具現化するとともに、免震・制震構造物の振動性状を理解するためのコンテンツを付加した教材へと発展させた(2.3)。一方で、地盤の振動性状を理解することも重要と考え、もっとも単純な2層地盤モデルの教材を作成し(2.4)、多層地盤のものへと応用した(2.5)。そして最後に、建物のモデルである質点と地盤の両方を合わせて、同時に振動現象を観察できるような教材を作成した(2.6)。

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。これにより、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。

### 2.1 1質点強制振動

振動論を学習する際に基本となるのが1質点1自由度系モデルの振動応答解析である。この教材を使用することにより質点の振動の様子を観察でき、手動加振モードでマウスで揺すってみることで、さらに理解度が増す。この教材の最大の特徴は、質点と地盤のモデルが動くと同時に応答波形と入力波形が描画されることである。モデルの動きを見ながら波形が生成される様子を観察できるのは、現象を理解するうえで大きな助けとなる。このため、このシステムは振動論を学習する初心者にとって非常に有効だといえる(図4a)。

### 2.2 多質点強制振動

複数階の建物が振動する際には高次モードが生成されるが、そ

の現象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、入力の変動成分によって、多質点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 4 b)。

### 2.3 建物の振動

この教材の最大の特徴は、通常の状態、免震建物、制震建物の振動の様子の違いを実験できることである。近年、免震や制震構造を採用した建物が急増しており、それらの振動性状を理解することが不可欠である。

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、最上層にそのモデルとなる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、入力地震や質量・剛性などのパラメータ、階数の違いによる効果の差異などを観察することもできるため、免震・制振(震)の長短所を容易に学習することができる(図 4 c)。

### 2.4 2層地盤の振動

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、地盤の振動性状を学習することは非常に重要である。表層地盤地震応答評価には、成層せん断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見て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、地盤の震動応答の増幅イメージを膨らませやすくなっている(図 4 d)。

### 2.5 多層地盤の振動

実際の地盤は、砂や礫など異なった性状の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は地盤を複数の層に分割して振動シミュレーションが可能な教材が必要となり、この教材の開発に至った。この教材を使って学習することにより、異なる層間の密度・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 4 e)。

### 2.6 建物と地盤の連成振動

地震による振動について学習する上では、建物と地盤は同時に考えられるべきであるため、それを実現するために開発したのがこの教材である。この教材を使って学習することによって、基盤となる層から地震動を入力したときに、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、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 4 f)。

### 3 まとめ

本研究では、地震災害に対する「気づき」の試みとして、家具固定推進を目的とした作成した防災啓発教材「震災シミュレーションゲーム」を紹介した。そして、「気づき」から「学び」までの試みとして、建物の振動現象を理解する上で欠かせない振動論を効果的に学習するための e ラーニング教材を開発した。

今後は、より専門性を高めた教材と、振動論の知識を有しない一般の人でも利用が可能な教材の 2 つの方針で開発を計画している。前者で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、後者ではピロティ建築などの特殊な構造形式を持つ建物の応答解析や、様々な建物タイプに対応可能なグラフィック機能を有する教材の開発を行う予定である。

#### [参考文献]

- 1) 平成 17 年度 防災(地震)に関する意識調査/愛知県



図 4 各種 振動論 e ラーニング教材