

耐震化を進めるための防災教材の開発と教育の実践

福 和 伸 夫

名古屋大学環境学研究科

はじめに

切迫する大地震を前に耐震化の推進が喫緊の課題となっている。このため、中央防災会議は、2005年に地震防災戦略を策定し、10年間での被害半減を公約した。その根幹は、耐震化率90%の達成にあり、それを実現するためには国民の意識改革が基本となる。これを受けて、2006年に災害被害を軽減する国民運動の推進に関する専門調査会が設置され、2006年末に、「正しい知識を魅力的な形でわかりやすく提供（良いコンテンツを開発）」を重要課題の一つとする基本方針を策定した。さらに、文部科学省も、2007年に防災教育支援に関する懇談会を設置し、2008年8月に「生きる力」を育む防災教育を支援する」と題する中間とりまとめを行い、この中で、「学びの素材・場の提供」を行うことを提言した。このように、近年、耐震化を進めるための効果的な防災教材の開発が強く望まれるようになってきた。

一方、建築分野においても、長周期地震動に対する超高層建物の安全性に対する懸念やエレベータの安全性の問題の顕在化、免震建物や制震建物の急増、などに伴って、建築構造技術者向けの振動学習の再教育が必要になってきた。これに加え、建築学を専攻する大学生の学力低下に伴い、建築振動学習において、理論学習を補完する振動実験教材が必要となってきた。すなわち、耐震工学や建築振動学に関する大学教育や技術者教育の面からも、振動教育と振動実験教材の必要性が高くなってきた。

耐震化の推進には、図1に示すように、住民の防災意識（ヒト作り）、耐震化促進のための法・制度面の整備（コト作り）、効果的で安価な耐震化工法（モノ作り）、経済的インセンティブ作り（カネ）などが必要である。近年、耐震改修促進法の改正、様々な耐震化工法の開発、補助制度の充実など、ヒトの問題以外は随分改善されてきており、人の意識の問題が、残された大きな課題となっている。

すなわち、地震対策を進める主役である住民が、耐震化の必要性を理解・確信し、家屋の耐震化の問題を我がことと受け止めることが、自発的な耐震化

行動の基本となる。その際に最も重要となるのは、「家庭」の防災意識である。しかし、家庭の教育・啓発を直接的に行うことは難しく、広報誌や新聞・テレビなどのメディアに頼るしかない。このため、図2に示すように、家族の構成員が社会と交わる「学校」「地域」「職場」での教育・啓発が鍵となる。家庭と接する社会を通して家庭に防災意識を持ち込むことが、耐震化促進の上で効果的である。

「学校」「地域」「職場」での教育・啓発には、その担い手が必要となる。残念ながら、専門家の数は限られているので、図3に示すように、教育者、防災リーダー、防災心を持ったメディアの人間など、専門家と住民をつなぐ媒介者を良き伝え手として多数養成する必要がある。この際に、一方通行の情報提供（Public Understanding of Science）ではなく、相手の立場に立って双方向に情報をやりとりすることがポイントになる。

効果的な啓発のためには、「思い」を持って啓発する伝え手の育成、伝え手が活用しやすい教材の開

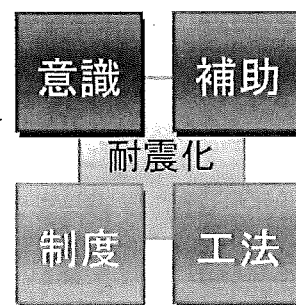


図1 耐震化推進の4要素

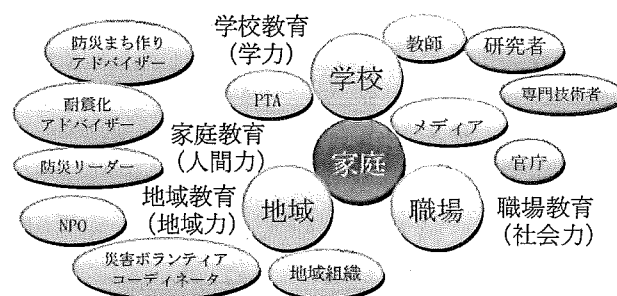


図2 防災教育・啓発の場と担い手・つなぎ手

発、良いカリキュラムや啓発手法の開発が必要となる。これらは、防災専門家が主体的に果たすべき役割であり、専門家の意識向上が前提となる。また、当然、資金的裏付けも必要である（図4参照）。

このように、耐震化の推進には、啓発の担い手作り、耐震化の重要性を伝える効果的な教材作りなどを通して、住民や専門家の「心」を変える啓発を推進し、住民が耐震化の重要性に「気づき」、耐震化の要点を「学び」、耐震化対策を自発的に「実践」するように誘導することが大事になる。実践に当たっては、産業界で身につけたPDCA（Plan&Do&Check&Action）が役に立つ。すなわち、「家庭」や「学校」「地域」「職場」の各組織で、図5に示すような流れを作ることが、災害被害軽減のための国民運動作りの基本になる。

本稿では、以上のような背景の下で、筆者が開発を進めてきた体感型の耐震実験教材作りと、その活用について報告する。



図3 住民啓発の双方向の流れ

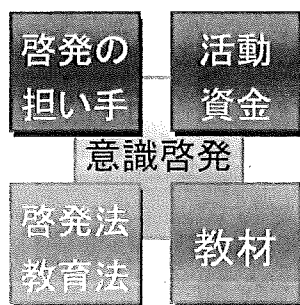


図4 啓発のための4要素

1. 振動実験教材「ぶるる」の開発

地域での耐震化の推進のために、耐震化の必要性を分かりやすく伝えるための振動実験教材を多数開発してきた。以下にその概要を紹介する。

(1) 手回し型振動台

最初に開発したのは、手回し型の振動台をアタッシュケースに内蔵した振動教材である¹⁾。この教材は、図6のように、様々な模型教材と振動台を一体収納している。振動台は、ユニバーサルジョイントを用いて、回転運動を並進運動に変換する機構を利用している。

揺れをイメージでき、「運ぶ、回る、揺れる」の語呂合わせから、「ぶるる」と名付けた。振動台手前のハンドルを手で回すことで振動台を左右に振動させるので、振動周期を体感しやすい。

種々の倒立振子、フレーム模型、筋交い、壁、免震装置、制震装置、液状化実験模型、成層地盤のせん断震動模型や、室内の家具の転倒実験模型が用意されており、多様な実験が可能である。

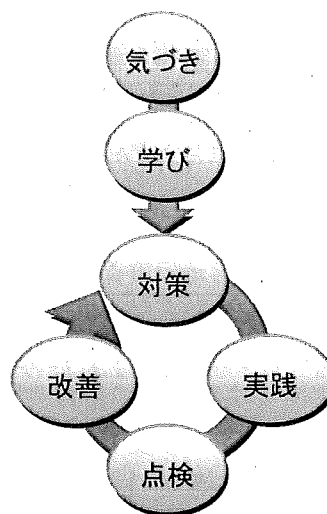
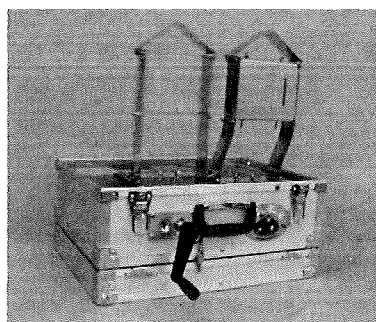
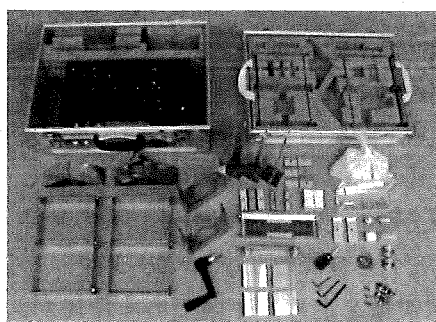


図5 気づきと学びから始める防災PDCA



(a) 外観



(b) 内蔵されている模型部品

図6 模型教材と手回し型振動台を一体収納した「手回しぶるる」

手回しで動くという作動原理が、初等教育の場で親しまれ、2002年に静岡県で行われた「親子防災スクール」や、2003年から2004年にかけて実施された愛知県の「親子参加型地震防災教育」など、初等教育の現場で多く用いられてきた。また、実験メニューの豊富さから、国内外の多くの大学でも振動教育に利用されてきた。

一方、教材の利用者が増えるに従って、多様な要望が寄せられるようになった。啓発の場や目的・対象者によって、望まれる教材の姿が異なるためであり、その後、図7に一覧するように、大きさや作動原理が異なる様々な教材を作ってきた²⁾。これに加え、実験教材を活用したビデオ教材やeラーニング教材作りも行ってきた。

(2) 電動振動台と小型起震機

手回し型のものが、重く、素人には加振が難しいという要望を受け、電動型の振動台を開発した。原理は手回し型と同じであるが、充電可能なバッテリーを内蔵し、振動数を変化させて調和加振できるようにした。小型・軽量なので、運搬が容易で教室内などでの少人数向けの利用に向いている。

また、起震機実験の原理を説明したいという電力会社からの要望で、偏心マスを利用した電池駆動の小型起震機も開発した。種々の振動数での調和加振が可能である。建物の強制加振実験と地震時応答との類似性を解説することが容易となる。

(3) 台車を振動台として利用した2階建模型

小学校の体育館などで親子参加型の地震防災教育を行う中で、大型の教材が欲しいとの要望が多く寄せられた。そこで、市販の台車を改造して手押し型振動台を作った。子供を載せて地震の揺れを体感させたり、筋交いを着脱できる2階建て木造建物模型を載せて、筋交いのバランス良否や屋根の重さ、地盤の硬軟の影響などを実感できるようにした。

(4) 倒壊型の建物模型(家屋・社寺・RCなど)

教材が、耐震改修促進の啓発に用いられるようになり、家屋が倒壊する方がリアリティがあり啓発効果が高いとの要望を受けた。そこで、精巧な1/10縮尺の2階建て模型を作成した。台車上に耐震性の異なる2棟を載せ、筋交いのバランス、屋根の重さ、接合金物の有無、地盤の良否、土台の基礎へのアンカーの有無などによる建物の倒壊性状の違いを見せることができるようにした³⁾。

この教材は、耐震化の重要性を単純かつ明快に伝

えられるので、中央防災会議を始め、様々な防災イベント、テレビの防災特番などで多用されている。

なお、この模型は倒壊実験後も再組み立てが可能だが、組み立てに時間がかかることから、倒壊実験映像を収録したDVD教材や、倒壊写真をパラパラ漫画風にしたフリップ冊子も準備した。また、石川静岡県知事の発案で、この模型を簡易化したものを、静岡県下の小規模授産施設で安価に制作・販売するようになり、多くの地域で活用されはじめている。

この教材は、その後、社寺模型⁴⁾や、鉄筋コンクリート模型などにも発展した。社寺模型は宮大工によって作られた精巧なものであり、江戸時代の一般的な本堂を模して斗供まで再現している。鉄筋コンクリート模型は、コンクリートを積木ブロックで、主筋をハンダ線、帯筋を銅線で再現し、コンクリートと鉄筋の役割が分かるように工夫している。

さらに、木造2階建模型を発展させたものとして、紐を通した部材を磁石で接合することにより、ピノキオ人形のように倒壊後も容易に復元可能な模型の試作品もできあがっている。

なお、木造家屋と社寺について実験映像を収録したDVDビデオ教材は、防災ボランティアのNPO法人レスキューストックヤードで販売しているが、「ぶるのホームページ」でも閲覧が可能であり、インターネット環境があれば、どこでも誰でも利用ができる。また、パラパラ冊子の原図もPDFにてダウンロードできるようにしており誰でも製作できる。

(5) 長周期ロングストローク振動台

台車型の振動台は、その後、台車の両側を綱引きすることにより長周期・ロングストロークの揺れを体感できる振動体感装置へと発展した。

さらに、電動台車を改造した制御可能な自走式の振動台も試作した。しかし、これはパワー不足のため、以下の綱引き型台車をデジタル制御したものを開発した。綱引き部をサーボモーターで牽引するワイヤに変更することで、長周期ロングストローク振動台を実現した⁵⁾。これは、最大加速度 20m/s^2 、最大速度 5m/s 、最大変位 3m の能力を持っており、長周期地震動に対する超高層建物の床応答も再現可能である。この振動台を、強震動予測や建物地震応答予測をする振動シミュレータ^{7~8)}と併用することで、任意の場所に建つ建物の任意階における揺れを容易に再現できる。現在、この原理を水平2軸に発



図7 様々な体感型実験教材

展させた建物床応答体感用の2軸振動台を組み立て中である(本論出版時には稼働予定)。

(6) 卓上型2軸振動台と室内模型セット

2軸振動台の開発に当たって、検討用に、直動転がり支承模型にサーボモータをつけた小型水平2軸振動台を試作した⁶⁾。これは、携帯可能なデジタル制御振動台であり、デスク上や、講義室で高精度な実験が可能であり、極めて有用であった。そこで、その後、改良を繰り返して卓上2軸振動台を完成させた。これは、任意の波形に加え、マウスの動きを振動台で再現することもできる。

この振動台用に、台所・子供部屋・和室を模した1/10室内模型や様々な建物模型も開発しつつある。前述した「地域防災力シミュレータ」⁷⁾と組み合わせれば、東海・東南海地震に対する愛知県下の任意地点の地盤地表の揺れや、家屋内の揺れを、準リアルタイムに再現することができる。

振動台上にCCDカメラを設置し、収録した画像をプロジェクターで10倍に拡大表示すれば、地震時に室内で生じる現象を実サイズで再現することも可能である。将来経験する地震について、住民一人一人が、我が家で遭遇する地盤の揺れや室内の揺れを再現し、さらに縮小模型を用いて室内の散乱状況も再現することができる。これにより、住民は、地震時の光景をリアルに想像し、耐震化や家具固定の重要性を確信し、我がことと思って、耐震化行動を行うことを決断し実践へと促されることになる。

(7) 自ら体感できる教材「紙ぶるる」他

以上の実験教材の多くは、教育者や啓発者がプレゼンテーションするタイプの教材であり、生徒や参加者は受け身となる。このため自ら体験することができなかつた。そこで、参加者が自ら模型を作って、住宅の耐震化のポイントを学習できる、ペーパークラフト教材を開発した。これは、筋交いのバランスや屋根の重さ、建物階数などの影響を簡単に実感できるようにした紙製の住宅模型キットである。

この紙製建物模型キットは「ぶるるのホームページ」に、作り方・使い方マニュアルと共に、PDF形式で公開しており、自由にダウンロードができる。さらに、市販版として、ミシン目入りの厚紙と組み立て用の両面テープも用意しており、子供でも10分程度で組み立てが可能である。自分で作りながら、住宅の揺れを体感できるため、耐震化のイベントや小中学校の授業で良く用いられている。英語版も用

意しており、現在、国内外で30万枚程度が利用されている。

この他にも、周期の異なる倒立振子を多連にして、共振現象を体感できるようにしたものや、さらに携帯用に倒立振子を折りたたみ式にして、錘部を自由に移動させたり、免震・制震装置を着脱可能にしたものなども用意した。これらの教材は、生徒や参加者が自分で揺すり、建物の応答増幅効果を体感できるため、我がこととしての理解を増進する。最近では、これらの教材に加え、ストローとゼミクリップを利用してトラス構造建物を自作させ、強さや高さを競わせるストローハウスコンテストなども併用して、ワークショップ形式での啓発を行っている。

(8) 津波再現実験教材

海溝型の地震では津波災害も懸念される。特に、東海地区の沿岸部では、過去の東海地震で津波による犠牲者を多数出している。そこで、簡単に津波を再現できる持ち運び可能な、薄型の津波実験装置を作成した。海底地形を容易に変えることができる工夫が施されているため、地域特性に応じた実験が可能である。

(9) eラーニング教材

実験教材を補完するために、建物・地盤地震応答シミュレータ「マウスでぶるる」をFLASHで作成した。このシミュレータは、マウスの左右の動きを地盤の揺れとして与えるものであり、建物や地盤の物性値を変えてバーチャルな体感実験を行うことができる。このウェブ教材は、時間・場所・人数などの制約を受けない点にメリットがある。

「ぶるるのホームページ」では、このシミュレータに加え、上述の様々な振動教材の紹介、教材のダウンロード、DVDビデオ教材、さらには、会話型で耐震化の要点を学ぶ知識処理システム⁹⁾や、家具の転倒防止に関する実験映像¹⁰⁾などを揃えている。このようなホームページは、初等・中等教育や住民の防災啓発に有効であり、内閣府中央防災会議の「みんなで防災」、地震調査研究推進本部の「キッズページ」などからもリンクが張られている。

2. 各種振動実験教材を用いた教育・啓発効果

前節に示した教材を用いて、多様な教育・啓発活動を行ってきた。その結果、以下のような啓発効果が得られている。

① 住民の防災意識向上と耐震化への誘導

膨大な数の市民講演会・防災展示会を実施し、市民への直接的な啓発を実践してきた。現在、木造家屋の耐震診断数と地震保険世帯加入率は愛知が、耐震改修数は静岡が日本一になっている。

- ② 多数の防災リーダー育成と効果的啓発法の教授
あいち防災リーダー約 1000 人を始め多数の防災の担い手を育成すると共に、本教材を用いた啓発法に関する研修を実施してきた。
- ③ 小・中・高等学校での防災教育の実践
小学校での親子防災教室、中学校への耐震化出前講座、高校生防災リーダー育成などを実践すると共に、教育委員会と共に理科教育と社会科教育を融合した学習モデルについて検討をしてきた。
- ④ 多数の防災番組制作や防災特集記事作成の支援
NSL*と呼ぶ記者との勉強会を継続的に実施すると共に、多数の地震特番の制作などに協力してきた。防災番組での本教材の使用頻度は極めて高く、一般の人の理解増進に寄与することができた。
* NSL 名古屋大学の山岡耕春先生、愛知県立大学の鈴木康弘先生と共に発起した、報道記者や防災行政職員・技術者の方々の勉強会 Network for saving life の略称
- ⑤ 閣僚・知事等の政治家への耐震化の解説
中央防災会議、愛知県・静岡県防災会議、自民党本部などで、本実験教材を用いた講義を行うことで、耐震化の重要性を政治家に伝え、耐震化施策の後押しを行うことができた。
- ⑥ 住宅フェア・防災フェア・防災教育センターなどでの耐震化啓発での利用
- ⑦ 国際的な防災教育・振動教育への貢献
神戸での国連世界防災会議、ダボスでの国際防

災会議での教材展示や、複数の国際会議での基調講演、国際的防災啓発プロジェクトなどへの参加を通して、海外の地震災害軽減に活用されてきた。

- ⑧ 耐震・免震・制震などの構造新技術の普及
地震展や各地の科学館での展示、ゼネコン・設計事務所・住宅メーカーの展示などで、構造技術や耐震住宅の解説用に利用されてきた。
- ⑨ 大学教育での振動実験教材への導入と教育改善
手回し型と電動型の実験教材は国内外の 50 大学で利用されており、振動教育の改善に寄与してきた。本教材は、大学での耐震・振動教育や建築技術者向けの生涯教育にも利用されてきた。

まとめ

本論で示した教材は、地域や組織での気づきを与え、住民を防災行動に導くことをめざしている。地震の怖さ、耐震の大事さを、分かりやすくインパクトを持って伝えるために、楽しみながら、建物を作り、揺すり、壊し、リアルに体感して、耐震化の要点を学ばせるようにしている。子供は学びの楽しさを、大人は目前に迫る驚異を知る。国内外で、子供も大人も、素人も専門家も、この教材を使って、学び、実践し、防災協働の輪を広げつつある。

最近、筆者の周りでは、減災のための国民運動作りを始め、防災フェスタ 2007in 名古屋大学の開催、「防災でも元気印！ 恐るべし名古屋」（時事出版社）の出版、あいち防災協働社会形成推進協議会や安城暮らしと耐震協議会などの設立など、耐震化を促進する仕組み作りが進んでいる。教育や啓発を通して皆の「心」が変わり協働が始まれば、災害軽減のための耐震化は飛躍的に進むと確信している。

謝辞

一連の振動実験教材の開発に当たっては、原徹夫氏、小倉公雄氏、鈴木勝久氏を始め、多くの方々の協力を得た。皆様に深く感謝する。

参考文献

- 1) 福和伸夫他：携帯手回し振動台「ぶるる」の開発、建築学会技術報告集、17号、pp.83-86、2003
- 2) 福和伸夫他：建物耐震化促進のための振動実験教材の開発、地域安全学会論文集、No.7、pp.23-34、2005
- 3) 福和伸夫他：耐震化促進のための木造建物倒壊実験教



図 8 様々な教育・啓発の実践

- 材の開発、建築学会技術報告集、22号、pp.99-102、2005
- 4) 福本有希他：耐震化促進のための社寺建築倒壊実験模型の開発、建築学会技術報告集、25号、pp.165-169、2007
- 5) 福和伸夫他：長周期構造物の応答を再現するロングストローク簡易振動台の開発、建築学会技術報告集、25号、pp.55-58、2007
- 6) 小出栄治他：耐震教育・啓発用の小型二軸振動台の開発、建築学会学術講演梗概集、pp.631-632、2007
- 7) 福和伸夫他：耐震化を促進するための地域防災力向上シミュレータ、地震工学会論文集、7巻、4号、pp.5-22、2007
- 8) 鶴田庸介他：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、建築学会技術報告集、25号、pp.327-330、2007
- 9) 倉田和己他：耐震化促進eラーニングのための自然言語インターフェース開発、建築学会技術報告集、第25号、pp.331-336、2007
- 10) 酒入行男他：家具転倒防止対策促進のための振動実験・シミュレータウェブの作成、建築学会技術報告集、第26号、pp.463-468

ぶるるのホームページ <http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/laboFT/bururu/>

耐震補強とリフォーム設計者・施工者向け

木造住宅の耐震補強の実務

— リフォームにあわせた耐震補強のすすめ —

本書は、耐震補強の流れや留意点を示し、耐震補強計画・設計のポイント及び耐震補強工事の方法やディテール等を取りまとめ、建築関係技術者や工事施工者の参考に供するとともに、リフォーム時に耐震改修を併せて行うことが極めて有効なため、リフォームの種類ごとにリフォームと合わせた耐震補強の工事手順・留意点についても取りまとめました。

建築物の耐震改修の促進に関する法律に基づく基本方針に定める建築物の耐震診断、耐震改修に関する技術上の指針と同等と位置付けられた「木造住宅の耐震診断と補強方法」と合わせて本書が活用され、我が国の木造住宅の耐震性の向上に役立つことができれば幸いです。

目次と概要

はじめに

第1編 耐震補強マニュアル

耐震補強の流れ・留意点、耐震補強計画・設計のポイントをまとめ、耐震補強工事の方法やディテール等、施工段階を重視してまとめています。

第2編 リフォーム時の耐震補強マニュアル

リフォームと併せて行うことが効果的な耐震補強について、リフォームの種類ごとにリフォームと耐震補強の工事手順・留意点についてまとめています。

第3編 耐震補強・リフォームの基礎知識

耐震補強・リフォームのフローチャート、契約時の注意点、法規上の留意点、用語の説明、お役立ち情報等、耐震補強・リフォームについての基礎知識をまとめています。

第4編 耐震補強・リフォーム工事の事例シート

耐震補強およびリフォームとあわせた耐震補強の12事例を掲載しています。

■頒布価格：4,000円（消費税込）情報交流制度申込者特価 3,600円（消費税込） ■体裁：A4版 198頁
購入方法は巻末の刊行物案内を参照してください。