名古屋大学減災館を活用した振動工学教育

Vibration Engineering Education Utilizing Nagoya University Disaster Mitigation Research Building (Gensai-kan)

岡 本 正 吾^{※1}
Shogo OKAMOTO

原 進^{※1}
Susumu HARA

福 和 伸 夫^{※1}
Nobuo FUKUWA

野 田 利 弘^{※1}
Toshihiro NODA

田 代 喬^{※1}
Takashi TASHIRO

飛 田 潤^{※1}
Jun TOBITA

長 江 拓 也^{※1}
Takuya NAGAE

倉 田 和 己^{※1}
Kazumi KURATA

井 上 剛 志^{※1}
Tsuyoshi INOUE

This case report notes an attempt of novel experience-based program on the lecture of vibration engineering utilizing Nagoya University Disaster Mitigation Research Building (Gensai-kan). In the program, students experience three kinds of exhibition models relating to the vibration and mechanical engineering. Moreover, Gensai-kan possesses the base isolation system and can be vibrated freely by using the oil jack loading system. Students also experience the actual free vibration of a five-floor building both inside and outside the building. Finally, the theories of the experiences are explained. The goal of this attempt is that the students understand the vibration phenomena and their engineering applications effectively by the combination of model experiences, real building experiences, and theoretical explanation.

Keywords : Mechanical Engineering, Experience-Based Program, Vibration Engineering, Gensai-kan

キーワード : 機械工学, 体験型授業, 振動工学, 減災館

1. はじめに

機械工学系の大学学部生に対する「振動工学」の教育では、通常、2～3年生において教科書を使った講義ならびに演習と、1～数テーマの関係する学生実験を体験させるパターンが多い。このいわば機械工学系学科における伝統的な振動工学の習得方法は、この分野の全体像や学術的意義を早期に理解することが重視されている方法とは言い難い。一つ間違えると、この時期の学習は「単位を取得するための学習」に陥る危険性も含んでいる。このような問題を避け、本分野における学習の動機付けとするため、講義の中で振動現象の動画を映したり、教卓上などに小型模型（小型実験装置）を設置した体験型授業を進めたりすることがある。しかしながら、受講生の多い大教室での講義においては、効果に限度がある。

本事例報告では、機械工学分野における「振動工学」の講義に関し、この分野への学習意欲向上を目的とし、小型模型を超える新たな体験型教育を導入しようとする試みとして、名古屋大学東山キャンパス内で免震機構を備えた唯一の建築物である「減災館」（図1）を活用した振動工学教育について紹介する。ただし、建築・土木

図1 名古屋大学減災館

分野の教育においては、大型構造物を使った体験型授業が行われている場合もあるため、あくまでも機械工学分野における新たな試みと捉えている。この試みは2015年12月1日と2016年12月6日の過去2度行われ、ともに名古屋大学工学部機械・航空工学科の2年生全員を対象とした必修科目「振動学及び演習」の講義時間内に実施された。1回目では、減災館の免震機構をジャッキで引張り、その後自由振動させた。その様子を建物の外部と内

2017年11月22日受付

※1名古屋大学

図2 減災館の免震システム構成要素 (左から、積層ゴムアイソレーター、オイルダンパー、直動転がり支承)

部から体験する試みであった。この試みの概要と実施結果については、すでに他学会のショート・ペーパーにより速報している¹⁾。

本事例報告では、2016年に実施された2回目の概要と実施結果について報告する。2回目は1回目で実施した減災館の自由振動体験実験に加え、振動および機械工学分野の直感的理解に有用な館内の展示品3点を活用した体験型学習を行った。これらは少人数のグループに分かれて体験することで、大教室に小型模型を持ち込む場合よりも効果的な体験が可能になる。そして、自由振動体験実験と合わせた新しいプログラムに対する受講生アンケートを実施したのでその結果を報告する。

2. 本プログラムの内容

2.1 名古屋大学減災館

名古屋大学減災館(図1)は、建築耐震技術の研究と大規模災害発生時の国・自治体・名古屋大学の災害対応拠点として名古屋市千種区の東山キャンパス内で運用されている、およそ5,600トン程度の建築物である。減災館に関する諸元や自由振動応答特性などについては前報を参照されたい¹⁾。鉄筋コンクリート5階建の建物の基礎は図2に示すような免震システムを備えており、平常時より実建物の振動と免震の実験が可能である。この免震システムは、図2左側から順に示すように、積層ゴムアイソレーター(直径1400mm)、オイルダンパー、直動転がり支承を免震要素としている。免震層を研究に活用しやすいように、免震層復元力特性を線形化して振動特性を明確にしている。さらに、低い初期剛性の弾性免震としてジャッキ加力による自由振動実験が可能などの特徴を有している²⁾。

2.2 プログラムの構成

2回目のプログラムは約200名の受講生を対象として3種類の内容から構成された。それぞれ、減災館の自由振動の見学と体験、展示品の体験および免震の原理に関する講義説明である。ただし、展示品の体験と説明は実施の都合上、約100名弱の受講生に限られた。12月に体験型授業を実施する理由は、この時期が本授業において免震(振動絶縁)について学ぶ頃であるからであり、講義の進行状況と体験型授業のタイミングを併せることを意図している。また、展示品は敢えて「振動学及び演習」の範囲を超えるトピックも含むようにし、機械工学全般への関心を学生が抱くように見学および体験する対象を

表1 体験型授業のスケジュール

講義開始からの経過時間(分)	グループXの受講生の行動
0-15	免震層の説明を受ける
15	建物の外から自由振動を観察
20-45	展示品の体験と見学
50-65	免震に関する講義を受講
65	建物の中で自由振動を体験
65-90	免震に関する講義を受講

選定した。展示品による体験については3章で、減災館の自由振動の体験については4章でそれぞれ詳細に説明する。

受講生は2つのグループ(X, Y)に別れて行動した。表1に、展示品も含めて体験した学生グループXの当日のスケジュールを示す。受講生は講義の開始とともに、免震層の構造や特徴に関して15分程度の説明を受けた。そして、減災館の自由振動を観察した後、減災館内の展示品を体験もしくは見学した。次に、館内の講義室にて免震の原理に関する講義を受講した。この間に、グループYが建物の振動を観察しており、グループXの学生は館内で振動を体験した。

3. 展示品の体験と見学

減災館のロビーは学内外からの来館者に公開されており、40程度の展示品が設置されている。その中から、(i)振動学の講義の範囲に含まれるもの、(ii)振動学に加えて機械工学分野の他の基礎座学の範囲も含むもの、(iii)機械工学分野の応用に含まれるものをそれぞれ1点ずつ選定し、受講生が体験もしくは見学する機会を設けた。振動学という一つの分野を何らかの機材で体験的に学習しようとするれば、材料力学や計測・制御工学など他の機械工学分野の知識も無視できないことに気付かせる機会となる。それぞれについて、詳細と狙いを述べる。

3.1 振子による長周期振動の体験

振動学の講義の範囲に含まれる展示品として、長周期振動の体験が可能なロープ状の振子を選定した(図3左)。この振子は、減災館の固有振動周期に併せて振動するような長さになっており、振子につかまって長周期振動を体験することができる。多くの受講生は普段、建築構造物に固有周期があることを意識することがほとんど

図3 減災館内の展示の体験と見学：左）長周期振動を体験するための振子に掴まって振動を体験している受講生；中央）光弾性を利用した寒天内の応力分布の可視化；右）地震応答体感環境デモンストレーション

ないが、このような体験により、授業で学習する固有周期（固有振動数）があらゆる構造物に存在することを意識できる。振子の振動は体験型授業実施時点で既に受講生が学んでいる内容であり、その復習と知識の定着を図るのがこの展示品体験の狙いである。

3.2 光弾性の体験

光弾性は弾性体の応力分布を可視化する方法として頻繁に用いられる。減災館には、寒天に外部から力を加えたときの応力分布を、光弾性を用いて観察できる展示品がある（図3中央）。光弾性は機械工学系学科では材料力学の講義で学習することが一般的であり、名古屋大学では振動学及び演習と同じ2年生の必修科目として位置づけられている。本体験では手の力で容易に変形する寒天を使って応力分布が変化の様子を目視できるのが特徴である。叩いた直後の寒天の振動と内部の応力分布をカメラで撮影し、スロー再生することで展示の効果を高めている。振動学のみならず、2年生で学ぶ基礎座学の範囲に含まれる内容を体験することで、機械工学全般への学習の動機づけにもつながることが、本展示品を選定した狙いである。

3.3 地震応答体感環境の見学

減災館には2軸のリニアモータアクチュエータから成る振動台を用いて長周期振動まで含めた地震発生時の揺れを体験できる装置がある（図3右）³⁾。背景に設置されたスクリーンに地震時の仮想映像が投影されるようになっており、バーチャルリアリティを活用したシステムの一つである。実際の地震動観測記録に基づいて揺れを生成することができる装置である。このシステムの場合には、振動学はもちろんのこと、システム全体を構成するために、やはり2年生の必修科目である制御工学の応用が必須である。同時に、メカトロニクスや計測工学などの各科目の内容とも関係が深く、敢えて発展的な展示品を見学することによって、実際の機械システムでは機械工学全般の知識が必要であることを受講生が実感できるようにしたことが、この展示品を選定した狙いである。現在、名古屋大学の機械・航空工学科を含め、多くの機械工学系の学部生対象の学生実験では、振動工学と制御工学など、複合的な分野を一度に扱う実験テーマがあまり見られない。そのような観点からも、このような体験は重要な機会である。

4. 減災館自由振動体験

減災館の自由振動体験実験については、ほぼ前報¹⁾に記載のものと同様の内容を実施した。全受講生を半分に分け、減災館の免震層を見学するグループと講義室（減災ホール）に留まるグループに分かれた。図2の免震機構においてジャッキを用いて建物を引張り、その後、ジャッキを解放して自由振動させた。この試みではオイルダンパーが機能するため、小振幅時の摩擦の影響も含めて、建物はちょうど振動工学の初学者にとって重要な事項である線形1自由度振動系の臨界減衰に近い特性を示し、ほとんど振動せずに減衰した。免震層を見学しているグループは建物の外で、しかし免震機構の間近で、それが動作している様子を目と耳で確認できた。講義室にいるグループはこの振動を体で感じた（震度3相当）。このように視覚以外からも振動現象を感じ取るのが小型模型の利用を超える利点である。この後、両グループを交替し、履修者全員が建物の振動と免震機構の動作を感じた。この体験直前の様子を図4に示す。

5. 受講生アンケート結果

体験型授業終了後に受講生にアンケートの回答を任意で依頼した。その結果の一部を表2に示す。アンケートでは、表2に含まない運営上の問題点・改善すべき点に関する質問項目と自由記述も含む15件について尋ねた。自由記述では、本報の主旨に関するものとして、「勉強していることの実用的な意味が分かった」、「学習している

図4 減災館自由振動体験（免震層前の屋外で減災館スタッフより説明を受けている）

表2 アンケートの集計結果（一部抜粋）

質問項目	回答数（名）
本日の授業目標は分かりやすかったですか.	A：49, B：53, C：2, D：2
本日の授業の内容は理解できましたか.	A：42, B：52, C：10, D：2
本日の授業への参加により，科目の内容あるいは専門分野に興味が増しましたか.	A：46, B：52, C：4, D：3
総合的にみて本日の授業に満足しましたか.	A：56, B：33, C：3, D：0
今日の体験型の授業はあなたにとって有意義でしたか.	<ul style="list-style-type: none"> ・とても有意義：53 ・どちらかといえば有意義：37 ・どちらともいえない：2 ・どちらかといえば意義がなかった：0 ・まったく意義が無かった：0
どのような点で有意義でしたか？（複数回答可）	<ul style="list-style-type: none"> ・普段の講義では得られない体験ができた：49 ・地震や減災，建築のことに興味を持てた：48 ・振動学に興味を持てた：42 ・ネット動画等ではなく実体験が良かった：26 ・実体験，映像体験，講義などの組み合わせでの授業が良かった：14 ・普段の講義で聞いていることがわかるような気がした：13
このような体験型の授業は大学工学部の専門科目の授業として増やすべきだと思いますか，それとも不要ですか.	<ul style="list-style-type: none"> ・多い方がよい：57 ・少しは必要：35 ・不要：0

A：とてもあてはまる，B：どちらかといえばあてはまる，C：どちらかといえばあてはまらない，D：あてはまらない。
 回答数の合計が一致しないのは，主にアンケート用紙に裏面があることに気づかなかった受講生がいるため。

ことがどのように活かされているかが分かるとモチベーションが上がる」という意見が得られた。展示品に関しては、「建物の固有周期がよく体験できた」および「材料内部の状態が身近な物で可視化されることを知ることができた」との意見があり，受講者が展示品と振動学もしくは材料力学とのつながりを理解したことが伺えた。問題点を指摘する意見としては，建物外部での観察時の寒さや，ヘルメットの不具合などの運営上の改善すべき点に関することであった。

6. 考察：体験型授業の効果と改善点について

アンケートでは，90名（有効回答数92件）の学生が，体験型授業はとても有意義であるもしくはどちらかと言えば有意義であると回答した。その理由として（複数回答可），49名が「普段の講義では得られない体験ができた」と回答し，学生にとって講義とは異なる印象的な経験になったことが伺える。次いで，「地震や減災，建築のことに興味を持てた（48名）」と「振動学に興味を持てた（42名）」が選択され，振動学およびそれ以外の学問にも関心を抱いてもらうというねらいの一部は達成できたと考えられる。また，「このような体験型の授業は大学工学部の専門科目の授業として増やすべきだと思いますか，それとも不要ですか。」という質問に関しては，57名が「多い方がよい」，35名が「少しは必要」との回答が得られ，受講生は普段の講義とは異なる体験型授業の価値を評価していることが伺える。

以上のことから，講義を受講する学生が体験型授業の必要性を認めていることが分かった。今後は，教員と学生の双方が求める体験型授業の一致点を調査し，そこに到達する試みが必要である。例えば，展示品3点の選定が適切であったかについて終了時のアンケートのみなら

ず教員・受講生の双方がより深く考えて議論することが望ましいと考える。具体的な方策として，体験型授業を受講し，本科目の期末試験も終えて履修を終えた後の学生と教員との合議による学生参加型のプログラム開発が重要であると思われる。

アンケートでの自由回答には，地震および防災への関心が増したという意見があった。地震応答体感環境のデモンストレーションでは同年に発生した熊本地震で計測された波形を再現しており，受講者らが大きな印象を受けた可能性がある。このような効果は著者らが予想していなかったことであり，機械工学とは直接関係しない分野との関連を学生が意識していたことは興味深い。

7. おわりに

本事例報告では，機械工学分野における「振動工学」の講義に関し，この分野への学習意欲向上を目的とし，小型模型を超える新たな体験型教育の試みとして，名古屋大学東山キャンパス内にある「減災館」を活用した振動工学教育について説明した。本報では，2016年に実施された2回目の概要と実施結果に関する報告として，1回目の自由振動体験実験の内容に，館内の展示品3点を活用した体験型学習も含めたプログラムの概要と，受講生のアンケート結果から得られた考察を示した。1回目の場合と同様，受講生には，学習意欲向上の観点から有益であり，新たな展示品3点の体験についても好評であった。

なお，3.3節で触れた制御工学との関連については，今回の受講生が4年次に受講する制御工学に関する授業において，今回の体験型授業と関連する振動工学と制御工学の両面がデモンストレーションできるシステムを導入する計画であり，現在準備を進めている。これにより，

1回の体験型授業に留まらず、受講生の年次進行を通して知識・体験の定着を期待できる。この成果については別の機会に報告予定である。また、文献¹⁾でも触れた、名古屋大学の当該学科生以外の希望者に対する、このような体験型授業の展開については、(一社)日本機械学会東海支部の協力を得て、2018年3月に同支部総会・講演会中の一企画として、受講者を広く募集して同様の内容を実施する。

本試みにおいては、事前準備の段階から実施後の報告会の段階に至るまで、名古屋大学減災連携研究センター関係各位の協力に基づいて遂行されたことを記し、謝意を表する。なお、本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)挑戦的萌芽研究16K12785「大規模体験教育からスタートする振動と制御の工学に関するV字型教育の試み」による助成を受けて実施されている。

参 考 文 献

- 1) 原 進, 福和伸夫, 野田利弘, 田代 喬, 飛田 潤, 長江拓也, 倉田和己, 井上剛志: 講義を行なう建物ごと自由振動させる体験型振動工学授業の試み, 計測自動制御学会論文集, 53-1, pp.99-101, 2017
- 2) 福和伸夫: 名古屋大学減災連携研究センターと減災館, 土と岩, 63, pp.55-64, 2015
- 3) 護 雅史, 福和伸夫, 飛田 潤: 減災行動を誘導するための統合型地震応答体感環境の構築, 日本建築学会技術報告集, 15-30, pp.605-610, 2009

著 者 紹 介

岡本 正吾
2010年 東北大学大学院修了
学 位 博士(情報科学)
現 在 名古屋大学
専 門 ロボティクス
所属学会 IEEE, 日本機械学会ほか
連絡先 okamoto-shogo@nagoya-u.jp

原 進
1996年 慶應義塾大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学
専 門 機械力学, 制御工学
所属学会 日本機械学会ほか
表 彰 2004年度JSME奨励賞ほか
連絡先 haras@nuae.nagoya-u.ac.jp

福和 伸夫
1981年 名古屋大学大学院修了
学 位 工学博士
現 在 名古屋大学
専 門 建築耐震工学, 地震工学
所属学会 日本建築学会, 地震工学会ほか
表 彰 日本建築学会論文賞, 同教育賞ほか
連絡先 fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp

野田 利弘
1994年 名古屋大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学
専 門 地盤力学, 地盤工学
所属学会 土木学会, 地盤工学会ほか
表 彰 平成22年度文部科学大臣表彰科学技術賞ほか
連絡先 noda@nagoya-u.jp

田代 喬
2004年 名古屋大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学
専 門 河川工学, 流域保全学
所属学会 土木学会, 応用生態工学会ほか
表 彰 土木学会第14回水工学論文奨励賞(2006年)ほか
連絡先 ttashiro@nagoya-u.jp

飛田 潤
1989年 東北大学大学院修了
学 位 工学博士
現 在 名古屋大学
専 門 地震工学
所属学会 日本建築学会ほか
連絡先 tobita@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp

長江 拓也
2002年 東京工業大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学
専 門 耐震構造, 地震防災
所属学会 日本建築学会ほか
表 彰 平成24年文部科学大臣表彰若手科学者賞ほか
連絡先 nagae@nagoya-u.jp

倉田 和己
2006年 名古屋大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学
専 門 災害情報
所属学会 日本建築学会, 日本災害情報学会ほか
表 彰 2015年度日本災害情報学会優秀発表賞ほか
連絡先 kurata@nagoya-u.jp

井上 剛志
1993年 名古屋大学大学院修了
学 位 博士(工学)
現 在 名古屋大学
専 門 機械力学
所属学会 日本機械学会ほか
表 彰 ターボ機械論文賞ほか
連絡先 inoue.tsuyoshi@nagoya-u.jp