

構造系記事

14 振動台設置について

■構造系教員

建築学専攻では2014年3月に、文部科学省の教育研究力強化基盤整備費で、振動台(写真1)を設置しました。

兵庫県では、1995年兵庫県南部地震が発生し、その断層近傍で生じたパルス性地震動によって多くの建築物が倒壊し、多大の犠牲と被害が発生しました。神戸大学でも39名の現役学生と2名の職員が亡くなりました。この地震被害をきっかけに、将来起りうる大地震に対する耐震安全性を高める研究の重要性が認識されています。また安全性だけでなく、大切な財産であり価値のある建築物およびその内容物の損傷を抑制する必要性、さらに緊急時に活動すべき建築物の機能を守ることの重要性が社会全体で共有されました。その後に発生した2011年東北地方太平洋沖地震によって、関東や大阪の超高層ビルが長周期地震動によって大きく揺れ、室内に居た人は恐怖を感じたでしょうし、家具・什器や設備が損傷し、機能が停止したことによって、建築物の機能維持あるいは事業継続計画の重要性が改めて認識されたことは記憶に新しいところです。

兵庫県内には防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターの大規模振動台E-Eディフェンスがありますが、これは主に実大試験体を3次元加振して検証を行うことが必要な振動実験、つまり完成に近い技術の検証や地震被害の詳細な解明に用いられます。一方、大学ではより基礎的な研究成果の検証に用いることを主な目的とします。大学から提案する新技術に関しても、プロトタイプを提案するところまでが重要な要素で、予算の制約もある中で、それに適した振動台を導入しました。

その仕様を表1に示します。加振方向は1方向ですが、学内の研究者が多様な研究目的で利用できるように、許される範囲で振動台寸法を大きくしました。また、さらなる被害が懸念されているパルス性地震動や長周期地震動に対する研究にも利用できるように、最大加速度20 m/s²(2G: 地球の重力加速度の2倍)、最大速度1.5 m/sを再現することも可能になりました。

この振動台の特徴は2つの動力源を持つハイブリッド型であるということです。1Hz以下の低振動数の振動はACサーボモータの回転を並進

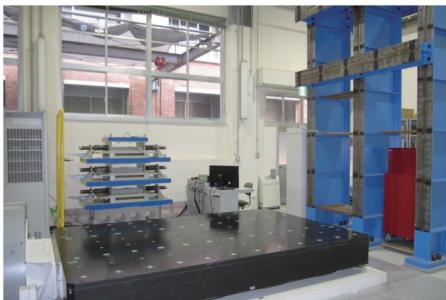


写真1 振動台と反力フレーム



写真2 振動台と振動模型

運動に変換する直動方式で再現し、1Hz以上の高振動数の振動を忠実に再現できる電動発振器を直列に接続しています。また建築物の振動模型も製作しました(写真2)。これは4層のモデルですが、1次固有周期は1秒程度で実際の建築物と同様です。各階は水平方向に移動でき、ばねで復元力を与えています。最下層のばねを剛性の低い長いものに取り替えると、周期3秒程度の免震構造のモデルになります。最下層には研究対象になる各種のダンパーが設置できるようになっています。

この振動台を使用して、はじめに免震構造のセミアクティブ制御の研究を行い、オープンキャンパス、工学サミット、ホームカミングデーという行事でも、振動実験を紹介してきました。さらに2014年度には、リアルタイム・ハイブリッド・シミュレーション(図1)が可能なようにコントローラを追加しています。リアルタイム・ハイブリッド・シミュレーションは、建築物のモデル化可能な部分をコンピュータで応答解析し、研究対象の部分(図1ではアクティブマスダンパー(AMD))のみを振動台で、実時間で加振する実験システムです。

今後の活動については、世界先端の研究成果を出せるよう努めると共に、神戸大学は「地域密着型・貢献型の防災・減災研究拠点」を形成していますので、振動台を活用して近隣の教育研究機関や企業との協力関係を構築し、地域に貢献できる成果も発信することを目指しています。一方、2014年に前出の防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターと神戸大学の間に連携協定が結ばれました。また神戸大学は東北大学との間に「減災科学分野における包括協定」を締結しています。さらにカリヨンニア大学サンディエゴ校との構造工学や巨大災害に関する研究分野を含む協力関係が形成されようとしています。これら各機関との関係においても、より有意義な成果が得られるように、この振動台を活用していきたいと考えています。

最後になりましたが、振動台の設置には、大学に自己負担が求められ、同窓会の木南会からもご支援をいただきましたことを記して、感謝の意を表したいと思います。

表1 振動台の仕様

正弦波 : 70 kN	地震波 : 140 kN peak
最大加速度 (5000kg 搭載時)	正弦波 : 10 m/s ²
最大速度 (5000kg 搭載時)	正弦波 : 1.0 m/s
最大変位	±275 mm (550 mm p-p)
振動数範囲	0.1 ~ 20 Hz
振動台寸法	3,000 (加振方向) × 2,000 (加振直交方向) mm
最大搭載質量	10,000 kg

アクティブマスダンパー(AMD)を有する制震システムの制御シミュレータ

再現制御力 / 再現変位 / 制御装置変位の計測

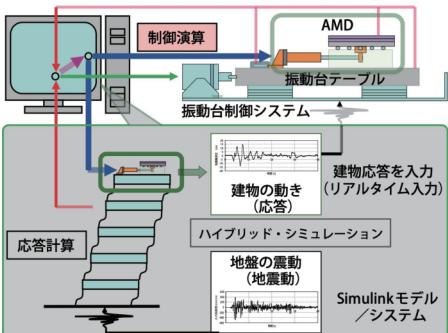


図1 リアルタイム・ハイブリッド・シミュレーション・システム

15 「ヒカリとカタチを巡る冒険」

■鈴木広隆（准教授）
環境工学（光環境計画）

学科の環境系の科目である「環境設備計画」では、可展面を組み合わせた行灯作りの演習を行っている。この演習は、モチーフとなる曲線に対する操作(平行移動、拡大縮小、回転)を繰り返していくことで、平面を曲げて造形可能な柱面・錐面のみの組み合わせによる形状をデザインするもので、「形状と明暗の分布の関係の理解」、「形状の作りやすさと曲面の微分幾何学的特徴の理解」、「基本的なCGツールの操作方法の習得」を目的としている。そして、本年度の演習で履修者から提出された行灯は、神戸市立ガリガ姉妹都市提携40周年を記念して開催されたリガ紹介展(2014/6/12~17、デザイン・クリエイティブセンター神戸ギャラリー)の中の学术交流展示「ヒカリとカタチを巡る冒険」の中で、幾何学行灯のシリーズとして展示する機会を得た(図1参照)。



図1 幾何学行灯の展示の様子

この「ヒカリとカタチを巡る冒険」では、子供向けの「神戸ポートタワー形行灯の製作ワークショップ」も開催した。このワークショップでは、光環境計画研究室の学生達のサポートのもと、「ベットボル」のスプレー塗装による行灯、「ストローの組み合わせによる一葉双曲面回転面の行灯」、「折り紙による行灯」を作成することとしたが、このうち折り紙行灯がその後大きな展開を見せた。折り紙行灯は、折板構造としても有名な吉村パターンをベースとしたもので、オーソドックスな吉村パターンは図2のように水平な谷折り線とひし形のバターンを作る斜めの山折り線で構成されている。しかし、ワークショップの事前の準備の際に紙を丸める方向を間違えてしまい、吉村パターンとは少し異なった形態が出現した。これは、谷折り線を円柱の軸方向と平行にしたために谷折り線部分での紙の折れ曲がりがない形などなもので、最初から谷折り線をなくしてしまっても安定した形状が得られることが分かった。通常の吉村パターンと谷折り線なし吉村パターンを比較する(図3参照)と、それぞれのひし形ユニットにおいて、前者では平面上にない4点を頂点とする四辺形が三角形2枚に分割されており、後者ではその四辺形が折れ曲がりのない曲面になっている。この2つの形状の差異は大きなものではないが、行灯として用いた場合には輝度分布の連続不連続に大きく関わるので、視覚的な柔らかさ、落ち着き等が大きく異なることとなる。また、この形状の行灯は、図1に示した形状と異なりコンピューターやプリンター、ハサミなしで製作することができるため、機器や時間の限定されたワークショップでも製作することが可能である。「神戸ポートタワー形行灯の製作ワークショップ」において、高学年的小学生でもこの行灯を製作可能

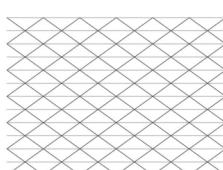


図2 吉村パターンの展開図の一例
(黒: 山折り線 灰色: 谷折り線)

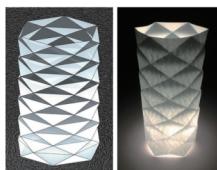


図3 吉村パターン(左)と谷折り線なし吉村パターン(右)

であることが確認できたため、海外の大学における模擬授業(図4参照)、スーパーサイエンスハイスクールプログラムによる高校生の大学訪問(図5参照)の際に活用した。そして、本学部1年生を対象とした図学演習の3点透視図課題の際は、最初に折り紙行灯を製作(図6参照)、その後作図した3点透視図に対して製作した行灯を活用して明暗を加える内容(図7参照)の演習とした。

偶然見出した形状を利用し、様々な場で行灯を製作する活動を行ってきたが、参加者・履修者や与えられた時間に応じて形状の複雑さや材料を変えて調整できることが「谷折り線なし吉村パターン」の大きな特徴である。また、折り紙による造形の面白さから、微分幾何学の初步、照度の余弦法則と逆二乗法則、透視図の作図方法と明暗の把握、行灯の歴史など、相手に合わせたテーマで内容を組み立てることも可能である。しかし、テーマがどのようなものであっても、行灯を光源にかぶせた瞬間には何度も感嘆の声を聞くことができた。吉村パターンには、最も一般的な円柱ベースのものに加え円錐ベースやドーム形のものも存在し、それらについても同様に谷折り線なしで折ることが可能であることを確認している。今後、これらの形状も用い、様々な場でヒカリとカタチの魅力を伝える活動ができればと考えている。



図4 リガ工科大学における模擬授業での様子(2014/11/5、ラトヴィア)

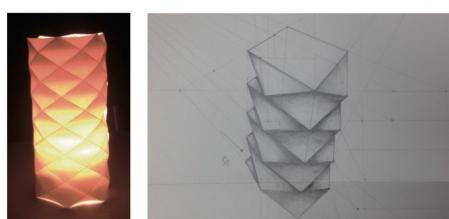


図5 大学訪問の際に高校生達が製作した行灯の例

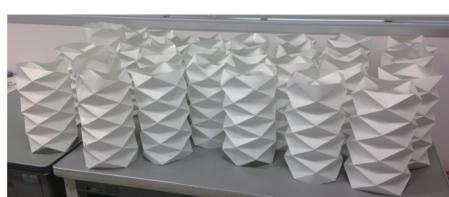


図6 演習の冒頭で製作された行灯