

オープンハードウェアとオープンソースを組み合わせた 小型ハイブリッド地震応答実験システムの開発

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○ 村上 学
京都大学大学院工学研究科 正員 高橋 良和
京都大学大学院工学研究科 フェロー 家村 浩和

1. 概要

近年、地震工学分野において、ハイブリッド地震応答実験が盛んに行われるようになってきたが、各研究機関において独自のソフトウェアやハードウェアが用いられており、研究者が自身の研究のためにハイブリッド実験を容易に試みることは困難な状況である。そこで本研究では、オープンシステムにより、小型実験用ハードウェア、ソフトウェアを開発し、ハイブリッド実験可能な小型実験システムを構築、ハイブリッド実験を実施し、構築システムの精度について検討した。

2. 実験用オープンハードウェア

仕様が公開されている市販のアクチュエータ、ロードセル、レーザー変位計など及びアクチュエータのコントローラとして、自作のアクチュエータ制御基盤を用いて実験用オープンハードウェアを制作した。実験用オープンハードウェアの全体図を図1左側に示す。

このうち、アクチュエータ制御基盤は、プログラミング可能なマイコンが装備されており、目標変位のアナログ信号入力や変位計からのアナログ信号入力を利用するプログラムを書き込むことにより、入力に応じて、アクチュエータに所望の動作を与えるようにすることができる。本研究では、オープンシステムという概念に基づいて、基盤の回路図、さらには、本研究において、マイコンに書き込んだプログラムをも公開する。図1右側にアクチュエータ制御基盤の回路図を示す。

本ハードウェアはコンピュータを用いることなく単独での使用が可能なものである。

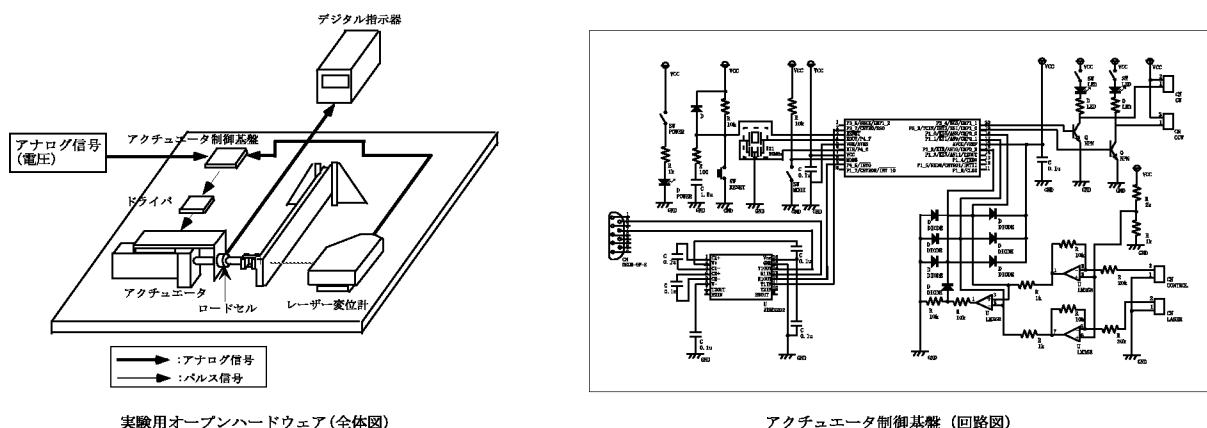


図-1 実験用オープンハードウェア

3. 実験用オープンソースソフトウェア

ハイブリッド実験用ソフトウェアを、従来からオープンソースとして公開されている OpenSees¹⁾ と OpenFresco²⁾ を組み合わせて開発した。図2に、OpenSees と OpenFresco を組み合わせた実験用ソフトウェアの概念図を示す。図2で、四角で囲まれたものはソフトウェアのクラスであり、図2には、OpenSees 及び OpenFresco の主要なクラスを示している。

(1) OpenSees

OpenSees は構造システムや地盤システムのモデル化や地震応答の数値シミュレーションを行うためのオブジェクト指向ソフトウェアフレームワークである。

OpenSees における主要なクラスは、Domain、Analysis、Element である。Domain はモデルにおけるノード、要素、境界条件、荷重パターンなどのデータ構造を表す。Analysis は荷重の1ステップに基づいて、現在の状態から、新しい状態へモデルの状態 (Domain オブジェクト) を進める役割を持つ。Element クラスは、抽象クラスであり、派生クラスは、梁-柱要素や連続した要素の表現をする。Element の重要な役割としては、指定された自由度分の変位や速度によ

Key Words: オープンハードウェア、オープンソース、小型ハイブリッド地震応答実験システム

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL(075)753-5088 FAX(075)753-5926

て与えられる復元力を計算することであり、Element のそれぞれの派生クラスは、復元力ベクトルへの参照 (メモリアドレス) を返す関数を定義している。

(2) OpenFresco

OpenFresco は実験に用いる载荷装置や制御のための、オブジェクト指向ソフトウェアフレームワークである。

OpenFresco における重要なクラスは、ExperimentalSetup、ExperimentalControl である。ExperimentalSetup クラスは、実験の構成や形状を表現したり、実験の部材における自由度を、载荷システムの形状に基づいた制御システムにおけるベクトルに変換する役割がある。ExperimentalControl クラスは、制御システムを表現したり、データ獲得システムと通信したり、DSP や PID コントローラーのために必要とされるアクチュエータの変位に変換する役割がある。

(3) ハイブリッド実験用ソフトウェア

ハイブリッド実験においては、载荷の過程の次のステップを決めるための運動方程式を解く必要があり、OpenSees を、OpenFresco に対して、この数値シミュレーションを提供するように拡張する必要がある。Element クラスから、ExperimentalElement クラスを派生させることで、計算側 (OpenSees) が ExperimentalSite から復元力を獲得し、運動方程式を解いて、载荷の過程の次のステップを決定し、それを実験側 (OpenFresco) に伝え、次のステップを実行することができるようになる。

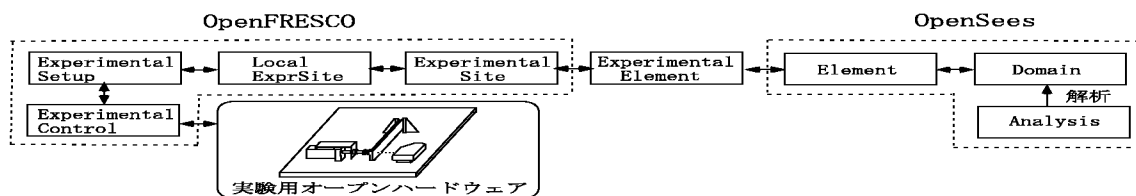


図-2 実験用オープンソースソフトウェア

4. ハイブリッド実験

対象とする構造物は、桁を支えている鉛プラグ入り積層ゴム免震支承を持つ一本柱の橋脚とし、免震支承は、コンピュータにおいて、バイリニアの履歴関係 (弾性剛性 5750N/m、降伏点 20N) でモデル化し、(鉄製) 橋脚は、はり供試体を用いて実験的に実験を行った。入力地震動には、10 分の 1 スケールの ElCentro 地震の NS 成分を、横方向における、橋脚の水平な加速度として使用し、数値積分法には、 α -Operator Splitting 法を用い、2 自由度の運動方程式を解くことによって、ハイブリッド実験を実施した。

図 3 にハイブリッド実験の結果及び (鉄製) 橋脚もコンピュータにおいてモデル化した場合の数値シミュレーションの結果を示す。両者ともに、左側が橋脚や免震支承の履歴曲線、右側が地面に対する橋脚や桁の絶対変位である。これらを比較すると、ハイブリッド実験の結果と数値シミュレーションの結果はよく一致している。

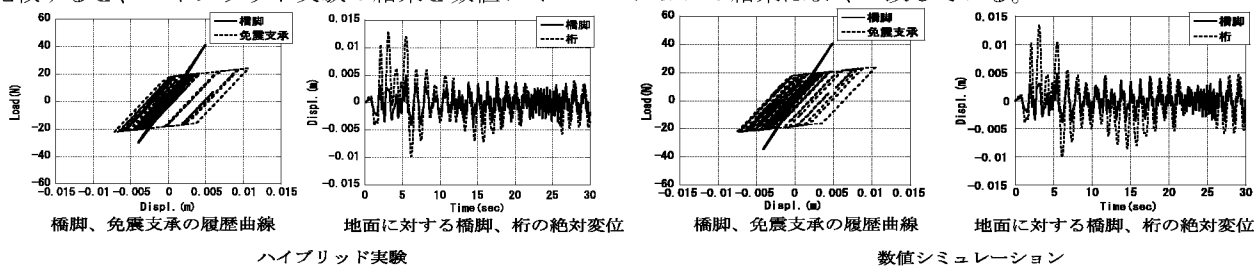


図-3 ハイブリッド実験及び数値シミュレーションの結果

5. 結論

1. 小型アクチュエータやプログラミング可能なマイコンを組み合わせた実験用ハードウェアを、制御装置の回路図も含め、オープンハードウェアとして構築した。
2. オープンソースとして公開されている OpenSees と OpenFresco を組み合わせた実験用ソフトウェアを、オープンソースソフトウェアとして作成した。
3. 作成した実験用ハードウェアと実験用ソフトウェアを組み合わせ、小型ハイブリッド地震応答実験システムを構築、ハイブリッド実験を実施し、ハイブリッド実験可能なシステムが構築できたことを確認できた。

参考文献

- 1) OpenSees page. <http://opensees.berkeley.edu/>.
- 2) Takahashi Y, Fenves GL. Software framework for distributed experimental-computational simulation of structural systems. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2006; 35:267-291.