

第I部門 オープンシステムによる小型ハイブリッド地震応答実験システムの構築

京都大学工学部 学生員 ○ 村上 学
 京都大学工学研究科 正会員 高橋 良和
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和

1 概要

近年、地震工学の分野においては、分散ハイブリッド実験が盛んに行われるようになってきたが、各研究機関の実験システムは、それ専用のソフトウェアやハードウェアが用いられており、複数の実験システムを柔軟に結びつけることが難しくなっている。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た。

2 実験用オープンハードウェアの開発

2.1 実験用オープンハードウェアの開発

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に示す。

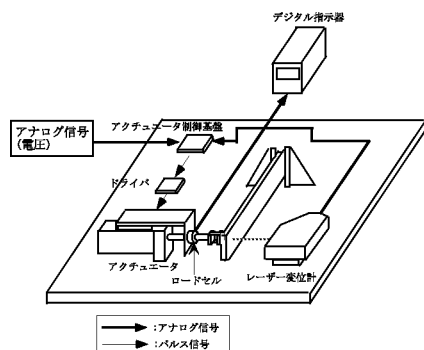


図1 実験用オープンハードウェア

2.2 アクチュエータ制御基盤

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んで、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2にアクチュエータ制御基盤の回路図を示す。

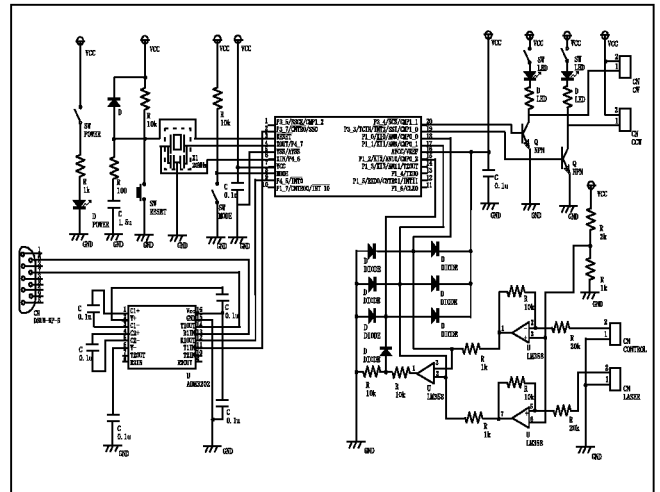


図2 アクチュエータ制御基盤(回路図)

3 実験用オープンソースソフトウェアの開発

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 OpenSees^[1] と OpenFresco^[2] を組み合わせて開発した。このソースコードもまたオープンソースとして公開する。図3に、OpenSeesとOpenFrescoを組み合わせた実験用ソフトウェアを示す。図3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3には、OpenSees及びOpenFrescoの主要なクラスが示されている。

3.1 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(図3右側)。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っ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 (メモリーアドレス) を返す関数を定義している。

3.2 OpenFRESCO

OpenFRESCO は実験の構成や制御のための、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 (図3 左側)。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。

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。

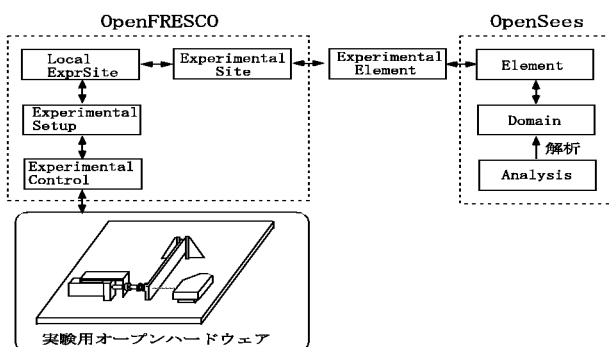


図3 実験用ソフトウェア

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、数値解析法には、 α -operator splitting time integration 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4にハイブリッド実験の結果を示す。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を表している。

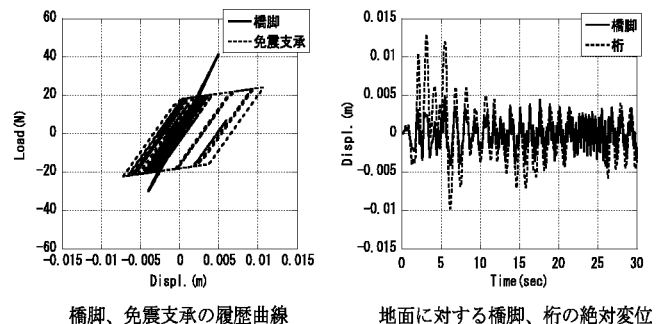


図4 ハイブリッド実験の結果

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 system. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2006; 35:267-291.