

京 都 大 学 工 学 部 学 生 会 員 ○平 井 幹
 京 都 大 学 防 災 研 究 所 正 会 員 五十嵐 晃

1. はじめに

構造物の動的応答を評価する手法の一つとして、加振実験と数値計算を組み合わせたハイブリッド実験(図 1)がある。復元力が速度や加速度に依存するような要素を含む構造物の動的挙動を評価するためには、実験と計算を実現象と同一時間軸上で行う実時間ハイブリッド実験が提案されている。

実時間ハイブリッド実験を行うに当たって問題点として挙げられるものは、a) 自由度数が大きな大規模数値モデルを用いた場合の計算速度と、b) 動的載荷装置特有の入力信号に対する載荷の時間遅れなどの動特性の補償である。a) に関して、五十嵐ら¹⁾が FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いる手法により応答計算を高速に実行が可能であり実時間応答シミュレーションとして実現できることを示している。FPGA を用いて実時間ハイブリッド実験システムを構築するにあたっては b) の機能が同時に必要となることから、動的載荷装置の位相遅れの補償の機能を FPGA に実装する方法について検討した。

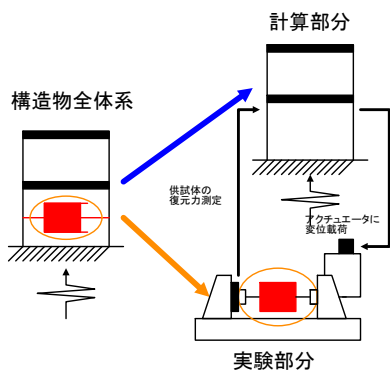


図 1 ハイブリッド実験の概念図

2. FPGA の概要

FPGA は、設計者が自由に論理回路の組み合わせや接続を行うことのできる半導体素子であり、近年の電子、半導体素子技術の急速な発達によって高集積化、高性能化、低価格化が進んでいる。FPGA の内部構造

(図 2)は主に LE(Logic Element)によって構成され、LE の接続を設定することで所望の動作を行う論理回路を実装することができる。

論理回路の設計では、a) Verilog HDL 言語を用いて動作内容を記述し、b) 記述された動作内容を論理回路に変換する論理合成を行う手順となる。さらに c) 回路を構成する論理素子を FPGA の性能による制約条件に従って適切に配置及び配線を決定し d) 実際に FPGA に対する書き込みを行う。

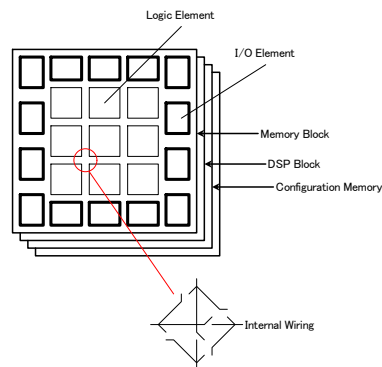


図 2 FPGA 内部構造

3. 位相遅れ補償方法

実時間ハイブリッド実験システムを構築するにあたって、動的載荷装置の位相遅れを補償する必要がある。そのための手法として、想定される載荷装置の遅れ時間後の載荷加振目標値を予測式を用いて外挿し、加振装置に入力することを想定する。

予測式として、式(1)を用いた。

$$\hat{x} = 11x_i - 10x_{i-1} \quad (1)$$

ここに、 x_i : i ステップにおける応答値、 $\hat{x}$: $i + 10$ ステップにおける予測値である。式(1)は 10 ステップ先の予測値を求める式であり、既存のデータ x_{i-k} が時間に関して一次関数に従って変化する仮定に基づきステップ $i + 10$ における値を予測している。

4. 位相遅れ補償回路の設計

位相遅れ補償の機能を含めた論理回路を設計するために必要な構成要素は、a) 信号入出力回路、b) データ形式変換回路、c) 加(減)算器および乗算器等の演算回路である。

本研究では、Altera 社の FPGA である Cyclone II (EP2C70) を搭載する DE2_70 ボードを用いた。アナログ信号の入出力インターフェースには、オーディオコーデックである WM8731 を用いた。

a) に関しては、入力アナログ信号の A/D 変換と FPGA に供給されるリニア PCM 信号への変換はオーディオコーデックで行う。出力デジタル信号は同じくオーディオコーデックによる D/A 変換によりアナログ信号として出力される。

b) に関しては、演算で扱う浮動小数点数と、リニア PCM 信号で扱う固定小数点数の間の形式変換を行う回路を用いる。

c) に関しては、加算器と乗算器を組み合わせることによって式(2)の計算を行う回路を構成した。1 ステップ前 (x_{i-1}) のデータは論理回路内のレジスタで保持している。

a) から c) をまとめると図 3 に示すシステムとなる。

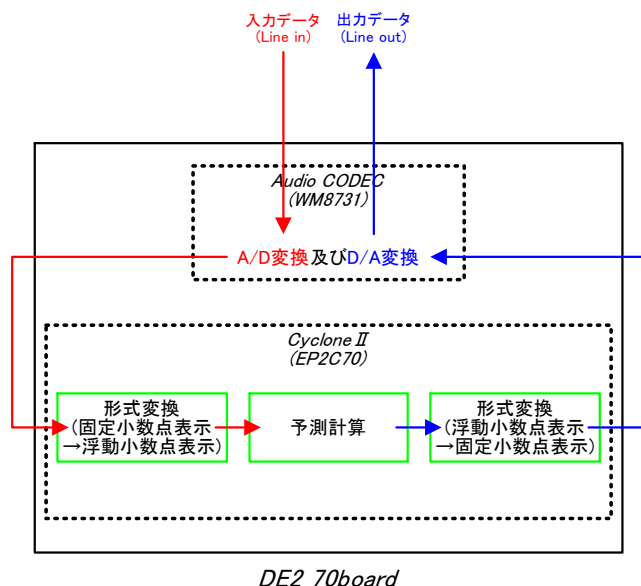


図 3 位相遅れ補償回路システム

5. 検証および結果

図 4 のような計測システムを用いて動作の検証を行った。

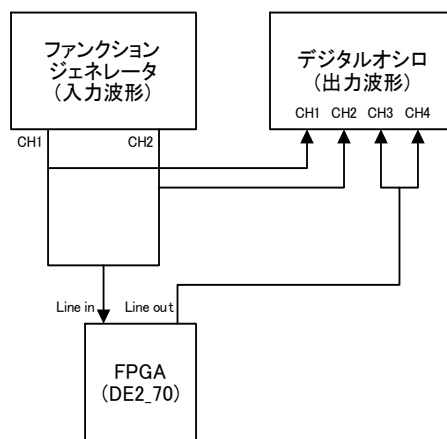


図 4 計測システム

周波数 2.0Hz、振幅 1.0V の正弦波信号を入力として与え、時間ステップ刻みを 1ms、10 ステップ先の予測した場合の結果を図 5 に示す。

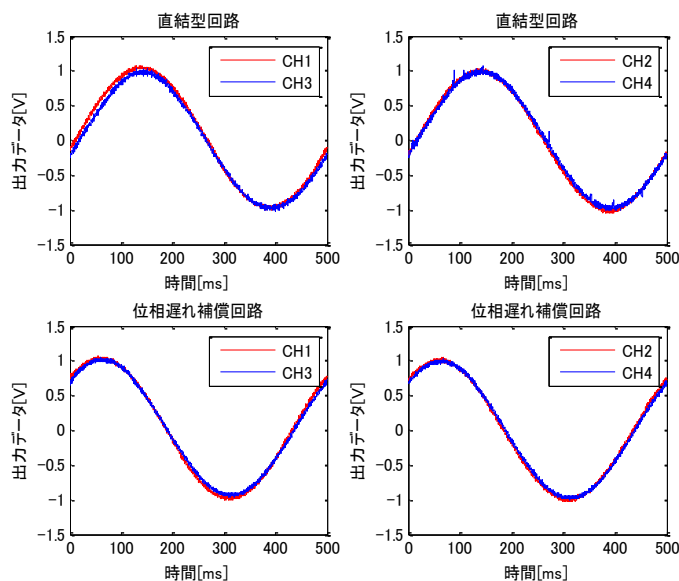


図 5 検証結果

入力信号に対する予測の機能は見られるが、10 ステップ (10ms 先の値) とはやや異なっている。より高精度の予測式を用いる改良を行うとともに、実際の載荷装置を用いた検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 五十嵐晃, 間嶋純一: 構造モデルの並列演算型実時間動的シミュレータの FPGA への実装, 構造工学論文集 Vol58A, 2012 年 3 月