

複数の構造実験部分を有するサブストラクチャ ハイブリッド地震応答解析のためのデスクトップ実験

A desktop simulation for sub-structured hybrid seismic simulation with multiple experimental modules

北見工業大学	○学生員 齋藤樹里	北見工業大学	正会員 宮森保紀
北見工業大学	正会員 山崎智之	北見工業大学	正会員 三上修一
北見工業大学	正会員 齊藤剛彦	オイレス工業株式会社	正会員 河内山修
オイレス工業株式会社	長島和央		

1. はじめに

構造物の地震時挙動を把握する手法としては、動的載荷実験や数値解析が挙げられる。しかし動的載荷実験では膨大な費用が掛かるうえに、規模の制約がある。数値解析では、復元力が複雑な要素を含む場合には結果の精度が低下してしまうなどの問題がある。そこで、これらの問題を解決し得る新たな手法として、構造実験と数値解析を併用するサブストラクチャハイブリッド実験が認知され、数多くの研究がなされている^{1),2)}。

著者らは、これまでに動作確認用として小型バネを用いたデスクトップ型ハイブリッド実験システムを改良し、複数の構造実験部分に対応するシステムを構築した³⁾。

本報告は、今後複数の構造実験部分を有するサブストラクチャハイブリッド実験を行うための予備的実験として、2つの小型バネを供試体としたハイブリッド実験を行い、実験システムの動作を確認するものである。

2. デスクトップ型ハイブリッド実験システム

ハイブリッド実験では、地震加速度を受ける構造物の運動方程式のうち、復元力特性の項のみを実験により得ることで方程式を解くという手法である。本研究では、NEES (George E. Brown, Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation) プロジェクトの一環として、イリノイ大学で開発された分散型サブストラクチャ仮動的実験用ソフトウェア UI-SIMCOR⁴⁾を用いている。UI-SIMCOR では統括プログラム (Simulation Coordinator: SC) を中心に、モデル全体を構造実験を実施する部分と数値解析を行う数値部分に分割して応答計算を行う。積分法は α -OS 法⁵⁾を用いている。この積分法は、履歴に依存する非線形な剛性を、履歴に独立な線形部分の剛性と履歴に依存する非線形部分の剛性に分離して積分するというものである。

図-1 にシステムの構成を示す。3つのコンピュータと図-2 に示す構造実験部分によって構成される。構造 A では数値解析が妥当な桁部分の要素を対象としている。構造 B および構造 C では小型の線形バネを対象とし、制震ダンパーなどの非線形要素を用いる前の動作確認用の供試体としている。実験の流れとしては、まずコンピュータ 1 の統括プログラム SC が各構造へ命令変位を送る。その後、構造 A に対する構造計算制御プログラムでは、TDAP III バッチ版静解析により、命令変位を強制変位として与え、節点自由度ごとの応答変位と復元力を得る。コンピュータ 2 およびコンピュータ 3 では、命令変位に対して構造実験を行い構造 B および構造 C の応答変位と荷重を得る。これら 3つの構造に対する数値解析・構造実験を同時並行に制

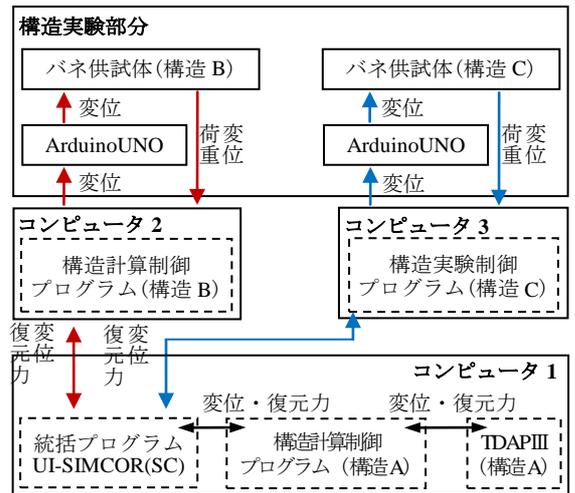


図-1 デスクトップ型システムの構成

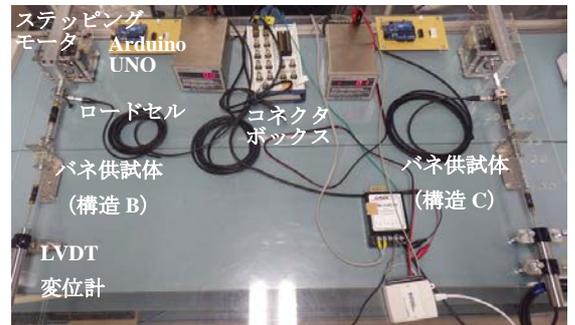


図-2 構造実験部分

表-1 数値モデル（構造 A）の諸元

部材	断面積 $A[m^2]$	断面 2 次モーメント $I[m^4]$
桁	10.164	Z 軸 : 0.6076
バネ 支承	バネ定数 (橋軸方向) $1.174 \times 10^6 N/m$	



図-3 解析モデル

キーワード：制震ダンパー、ハイブリッド実験
連絡先：〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 TEL(0157)26-9472 (宮森保紀)

御し、その後 SC が各構造から変位と復元力を受け取り、 α -OS 法により応答計算を行う。

本研究では、図-3 に示す解析モデルを用いる。両端をバネ支承で支持した 1 径間のほりにバネ部材を取り付けた単純桁となっている。桁部材は構造 A、バネ部材は構造 B と C に対応しており、桁部分とバネ支承は汎用構造解析ソフト TDAPⅢによりモデル化している。表-1 に構造 A の諸元を示す。節点 1-17 は鋼製桁で弾性係数 $2.0 \times 10^{11} \text{N/m}$ 、ポアソン比 0.3 の線形部材である。部材上の黒点と白点は節点を表しており、節点 18 と 19 は完全固定、1-17 は x 軸方向と y 軸方向および回転方向に自由度を設けている。ハイブリッド試験全体では、黒点のみを解析対象として全体系の質量、剛性、減衰の各マトリクスを構成する。構造 A に対する静解析では、黒白両方の節点を有するモデルについて解析を行い黒点の応答を SC に送信する。黒点にはそれぞれ質量 $13.55 \times 10^3 \text{kg}$ を設定している。構造 B はバネ定数 0.021N/mm 。構造 C はバネ定数 0.04N/mm のバネ部材であり、構造実験により得られた構造 B の反力に 38.095×10^3 を、構造 C の反力に 20×10^3 を乗じることでバネ定数 800kN/m のバネ部材を再現し、桁上の節点に挿入する。

減衰については、本研究では橋軸方向の応答に着目しているため、事前に固有振動解を行い 0.905Hz に橋軸方向の有効質量比が大きいモードを確認しており、レーリー減衰としてこの卓越モードに対して減衰定数を 0.05 とする。

3. 時刻歴応答解析

本研究では、実験システムが適切に動的応答を計算していることを確認するため、ハイブリッド実験による時刻歴応答変位を汎用構造解析ソフト TDAPⅢの動解析による時刻歴応答変位と比較する。図-4 に実験に用いる地震波を示す。最大加速度 318gal の ElCentro 波で、モデルの橋軸方向に 1/10 倍で入力する。積分時間間隔は 0.01 秒刻みで 30 秒間解析を行う。ハイブリッド実験における α -OS 法のパラメータは $\alpha=0$, $\beta=1/4$, $\gamma=1/2$ とすることで Newmark β 法と一致する値とした。TDAPⅢ動解析では Newmark β を用いており、 $\beta=0.25$ である。

4. 結果と考察

図-5 にハイブリッド実験と TDAPⅢ動解析の各モデルにおける節点 1 の時刻歴応答変位を、図-6 にバネ供試体の変位-荷重の関係を示す。図-5 より、両波形ともに変位の増減が入力地震波である ElCentro 波の振幅の変化と対応していることから入力地震波の応答となっていると考えられる。また、卓越振動数はおよそ 0.9Hz であり、固有振動数 0.905Hz のモードで振動している。最大変位は TDAPⅢ動解析が $9.70 \times 10^{-3} \text{m}$ 、ハイブリッド実験が $9.92 \times 10^{-3} \text{m}$ となっており、 0.22mm の差が生じている。これは、図-6 で示されるように、構造実験によりバネ供試体から得られた荷重が完全に線形ではないことが影響していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、複数の構造実験部分に対応した実験システムの動作を確認するため、バネ部材を 2 つ取り付けたモデルに対しハイブリッド実験を実施し、汎用構造解析ソフトとの結果の比較を行った。結果としては、バネ供試体から得られる荷重の影響により変位に差がみられたが、実験システムとしては動的応答を適切に計算できていると考えられる。

今後は構造実験を行う設備の共有を目的として、構造実験部分を遠隔地に配置するためのネットワークの構築を行う。

参考文献

- 1) 家村浩和：ハイブリッド実験の発展と将来，土木学会論文集，第 356 号，pp1-10, 1985.
- 2) Victor Saouma and Mettupulayam Sivaselvan.: Hybrid Simulation: Theory, Implementation and Applications, Taylor & Francis, 2008.
- 3) 齋藤樹里，宮森保紀，山崎智之，三上修一，齊藤剛彦：複数の制震ダンパー有する構造物の遠隔・低温域サブストラクチャハイブリッド地震応答解析のためのデスクトップ実験，土木学会北海道支部平成 25 年度論文報告集 第 70 号,A-62,2013.
- 4) Oh-Sung Kwon, Amr. S. Elnashai, and Billie F. Spencer: UI-SimCor, <http://nees.org/resources/3363>, 2011.
- 5) 中島正愛，赤澤隆士，阪口理：実験誤差制御機能を有したサブストラクチャ仮動的実験のための数値積分法，日本建築学会構造系論文報告集，第 454 号，pp.61-71, 1993.

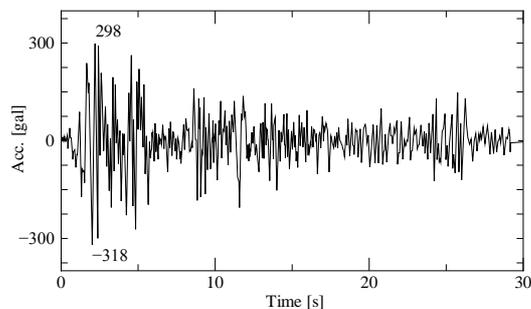


図-4 ElCentro 波

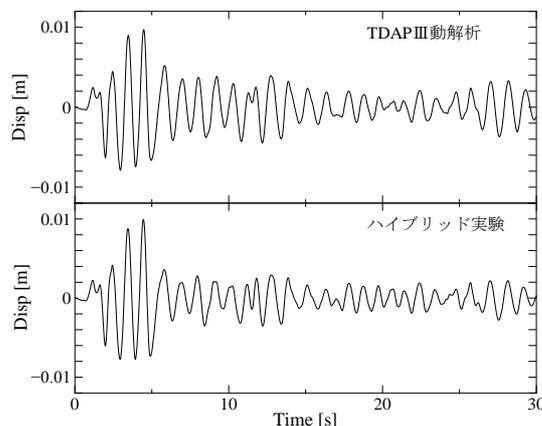


図-5 節点 1 の時刻歴応答変位

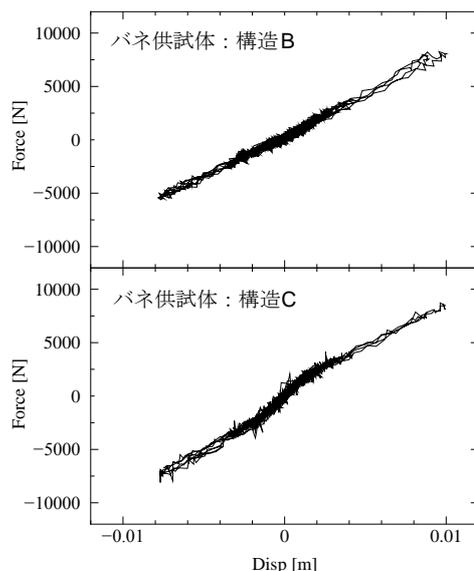


図-6 バネの変位-荷重 (ハイブリッド)