

低温環境下におけるサブストラクチャ仮動的試験システムの構築

Substructure Pseudo-Dynamic Simulation System at Low-temperature environment

北見工業大学	正会員	宮森	保紀
北見工業大学	学生員	○湯村	美紀
北見工業大学		高田	昌延
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	F会員	大島	俊之

1. はじめに

構造物の地震時挙動を把握するための手法としては、振動台実験や数値解析が一般的に用いられるが、土木構造物のような大型構造物では、振動台実験では規模の制約や縮小模型使用時の相似比の問題などがあり、数値解析は非線形性などの解析モデルと実挙動の相違の問題がある。このような場合に、構造物を複数の構造要素に分割した上で、一部の部材には構造実験を行い、それ以外の部分は数値モデル化して構造物全体の運動方程式を解く実験手法が、サブストラクチャ仮動的実験などと称される方法である¹⁾。このような実験手法はゴム支承や温度依存性を有する部材を含む構造系にも有効であり、寒冷地での構造物の大地震時挙動の解明にも寄与すると考えられる。そこで著者らは既存の低温構造実験装置で仮動的実験を行うためのシステム開発を行い、性能検証実験を行なったのでその結果を報告する。

2. サブストラクチャ仮動的実験システム

本研究では、米国 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-SIMCOR²⁾ を利用した。UI-SIMCOR では構造物は数値モデル化される部分と構造実験を実施する部分に分割され、数値モデルは UI-SIMCOR に対応可能な任意の構造解析ソフトウェアでモデル化される。また、構造実験部も UI-SIMCOR と通信可能な実験制御プログラムがあれば任意のシステムを構築できる。UI-SIMCOR の中核となるシミュレーションコーディネータ (SC) が解析全体の制御と質点の質量データにもとづく慣性力の計算を行なう。構造解析プログラムおよび構造実験部は各要素の復元力と変位を計算する。

図-1 にシステム構成図を示す。本システムは役割の異なる複数のコンピュータとそれに接続された各種の機器から構成される。コンピュータ 1 では SC と数値モデルに対する構造計算プログラムが動作する。コンピュータ 2 は実験供試体に対する仮動的载荷試験を担当する。SC から受け取った目標変位を DAQ (Data Acquisition) カードを通して、アクチュエータ制御装置の外部入力に送信する。反対に、油圧アクチュエータの変位と荷重および供試体温度と室温を、外部接続端子と DAQ カードを通して取得する。取得した測定変位と荷重を SC に送信する。油圧アクチュエータは既存の低温载荷試験装置を利用し、最大 200kN の動的载荷能力を有する。低温室は常温から-30℃まで冷却可能である。

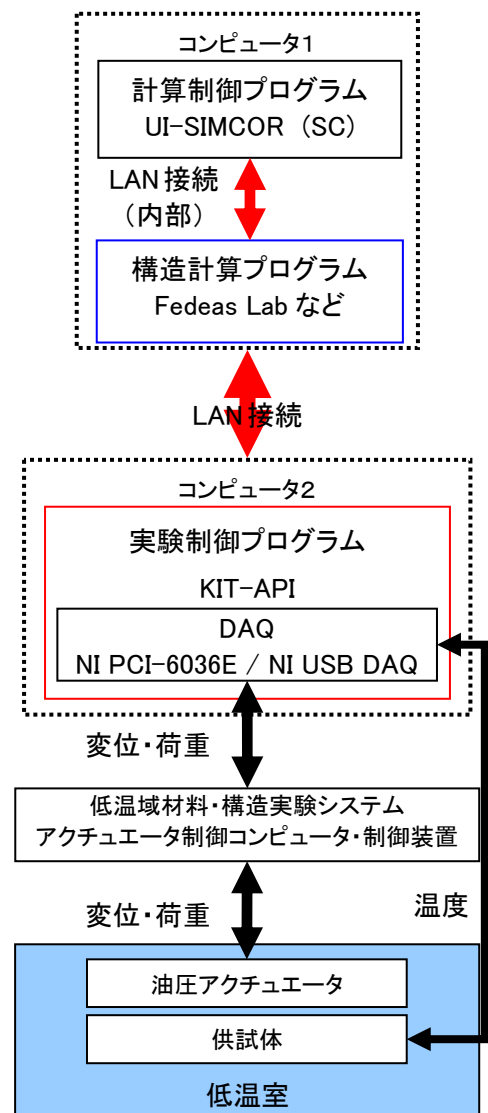


図-1 システム構成

キーワード サブストラクチャ仮動的試験、低温室、

連絡先 〒090-8507 北見市公園町 165 北見工業大学社会環境工学科 Tel: 0157-26-9472 email: miyamoya@mail.kitami-it.ac.jp

3. 動作検証実験

図-2 のような単柱の頂部に集中質量を有するモデルに地震波を入力した場合を対象として動作検証実験を行なう。集中質量に関しては SC において慣性力を計算し、単柱は実験供試体を用いる。単柱は取り扱いが容易で誤動作時の危険を軽減するため比較的断面の小さな平鋼を用いた。図-3 は低温室における供試体の設置状況であり、室温は -20°C に設定した。なお、本研究では小断面の平鋼を用いたため、載荷時に観測される復元力はアクチュエータの最大載荷能力の0.1%程度で測定器の下限値に近いレベルとなり応答値が不安定となった。そこで、計算を安定させるために実験ノード制御プログラムでは、荷重として平鋼の断面性能と入力変位から理論値を計算して SC に送信することとした。

入力波形は El Centro 波で図-2 の水平方向に入力する。SC における時刻歴応答解析は α -OS 法³⁾を用い、係数 α, β, γ はそれぞれ、0.05, 0.2756, 0.55 とした。解析時間刻みは 1/100 秒で解析時間は 30.00 秒間である。また、本研究では結果の比較のため汎用構造解析ソフト Midas/Civil でも同様の 3 次元モデルを構築して解析を行なった。Midas の時刻歴応答解析は Newmark β 法 ($\beta=0.25$) を用いる。両者における減衰の設定は Rayleigh 減衰を用い、Midas の固有振動解析機能で得られた固有振動モードのうち、有効質量の大きい 2 モードを選択し、減衰定数はそれぞれ 0.05 とした。

時刻歴応答解析結果として、単柱頂部の応答変位を図-4 に示す。上図は仮動的試験における供試体への指令変位と応答変位、下図は Midas における数値解析結果である。仮動的試験においては、指令変位と応答変位はよく一致しており、仮動的試験システムが適切に動作していることが確認できた。また、汎用構造解析ソフトとも整合しているが、応答変位は仮動的試験の方がやや小さい。これは、 α -OS 法の数値減衰効果によるものと考えられる。

4. おわりに

低温環境下でサブストラクチャ仮動的試験を実施するために、米国 NEES プロジェクトで開発された UI-SIMCOR を利用して実験システムを開発した。単柱モデルを用いた動作検証実験では装置は正常に動作し、汎用構造解析プログラムの計算結果とも整合した。今後は、より自由度の大きい構造系を対象とするとともに、ダンパーやゴム支承など温度依存性のある部材を供試体とした実験を行なう予定である。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金 若手研究(B)(課題番号 18760341)ならびに(社)日本鉄鋼連盟 2006 年度土木鋼構造ネットワーク研究助成により実施しました。また、イリノイ大学アーバナシャンペイン校の B. F. Spencer 教授、ジョーンズ・ホプキンス大学の中田成智助教授から多大な助言とご助力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

【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，356/I-3 号，pp.1-10, 1985.
- 2) O. S. Kwon, N. Nakata, K. S. Park, A. Elnashai and B. Spencer: User Manual and Examples for UI-SIMCOR v2.6 NEES-SAM v2.0, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2007.
- 3) 中島正愛，石田雅利，安藤和博：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集，第 417 号，pp.107~117, 1990.

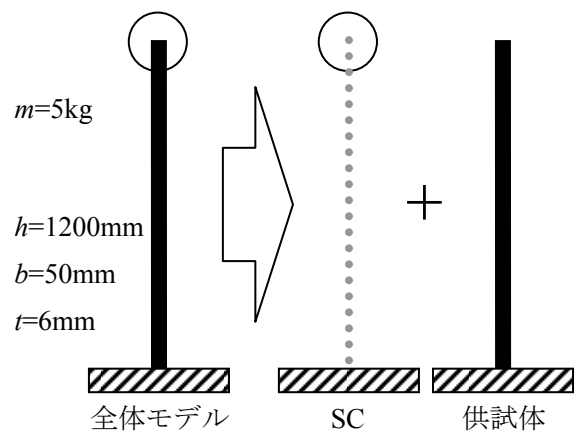


図-2 解析モデル

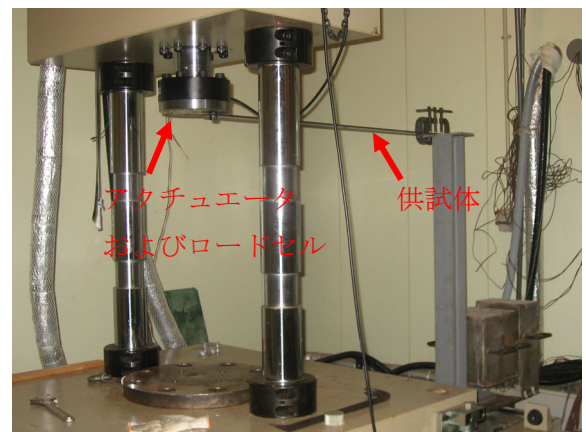


図-3 供試体設置状況

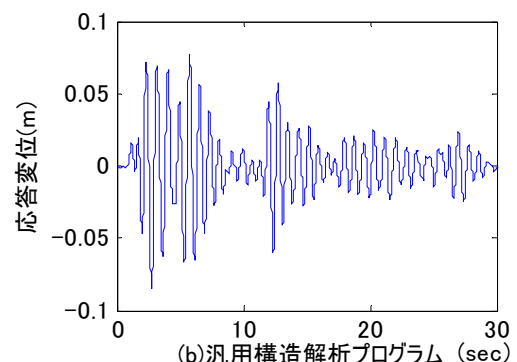
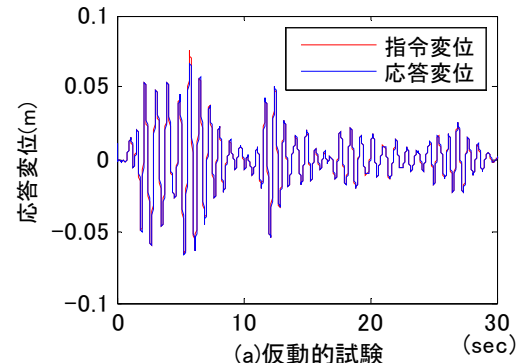


図-4 時刻歴応答解析結果