

低温環境下における制震ダンパーを有する単純桁橋梁のサブストラクチャ仮動的実験

Substructured Pseudo-Dynamic Simulation on Simple Girder Bridge with Seismic Damper at Low-temperature Environment

北見工業大学 学生員 ○湯村美紀
 北見工業大学 正会員 宮森保紀
 北見工業大学 フェロー 大島俊之
 オイレス工業株式会社 正会員 藤生重雄
 オイレス工業株式会社 正会員 横川英彰

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。そこで本研究で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、制震ダンパーを用いたサブストラクチャ仮動的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にて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載荷試験を担当する。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室温などの温度を、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低温室内に設置しており、最大 200kN の動的載荷能力を有する。低温室は+30℃から-35℃まで温度設定可能である。

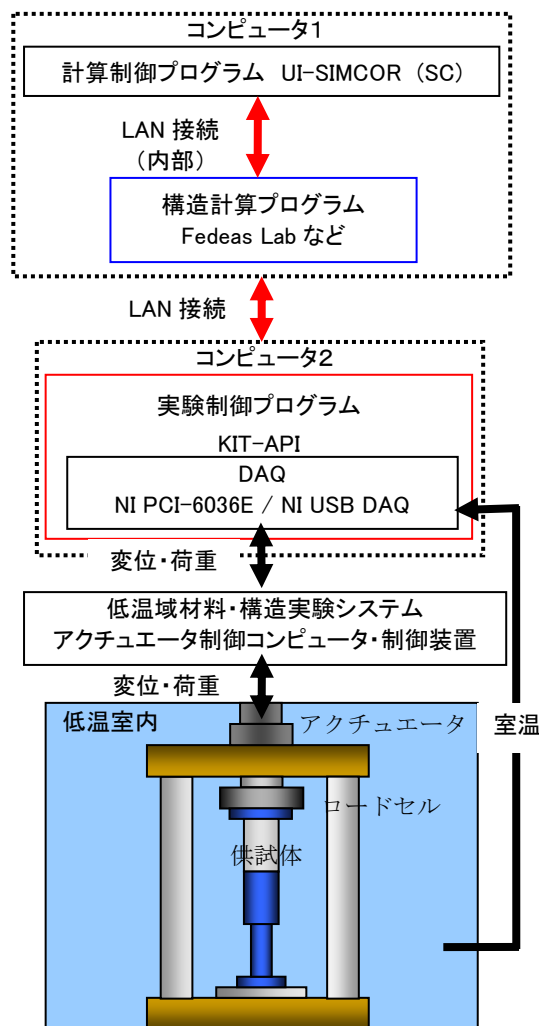


図-1 システム構成

3. ダンパーを有する単純桁の仮動的実験

図-2 には本研究で用いた単純桁橋梁の解析モデルを示す。モデル上の番号は節点番号を表しており、節点番号 1-2 間は実験供試体であるダンパーを設置したモデルである。ダンパー以外は数値モデルとしている。モデルについては、Matlab 上で動作する構造解析ツールボックス FedeeasLab を用いており、部材の諸元を表-1 のように設定した。節点質量については、表-2 の値を SC に入力した³⁾。図-2 中の(X,Y)の数値は各

表-1 部材の諸元

部材 (節点番号)	断面積 : A [m ²]	断面 2 次モーメント : I [m ⁴]	弾性係数 : E [N/m ²]
2-5	5.00	4.00	2.00×10^{11}
3-4, 11-12	6.00×10^{-5}	3.50×10^{-4}	2.00×10^{11}
4~11	0.12	0.19×10^{-3}	2.00×10^{11}



図-2 解析モデル（単位：m）

キーワード：制震ダンパー、仮動的実験、低温

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）

節点の座標を表している。ダンパーはオイルレス工業製の BM-S を使用し、質量 50kg、最大ストローク±100mm、抵抗力 150kN (0.5m/sec 時)、全長 835mm、最大外形寸法 120mm である⁴⁾。なお、本研究では梁部材を用いてモデル化を行っている。節点 4-11 は合成桁、節点 3-4、11-12 間はゴム支承、節点 2-5 間は剛な仮想部材をそれぞれ想定している。固定条件は、節点 1、3、12 を完全固定としている。本研究では橋軸方向の応答に着目するが、固有振動解析においては 3.17Hz に橋軸方向の有効質量比が最も大きいモードがある。減衰マトリックスは、レーリー減衰としてこの卓越モードに対して 0.05 を設定する。

時刻歴応答解析は、 α -OS 法⁵⁾を用い応答の安定性を考慮して減衰パラメータ α は 0.25 とする。積分時間間隔は 0.01 秒で 30 秒間解析を行う。地震波は図-3 に示す最大加速度 318gal の Elcentro 波を橋軸方向に設定する。

本研究ではダンパーを適用した場合としない場合、常温 (15°C) と低温 (-27°C) でそれぞれ仮動的実験を行い、実験システムの適用性、ダンパーによる応答低減効果などについて検討する。

4. 実験結果と考察

図-4 にはダンパー無し、ダンパーを有した状態での常温および低温環境下でそれぞれ実験を行った際の節点 2 の時刻歴変位を示す。ダンパー取り付け位置である節点 2 の応答は常温と低温でほぼ同一であり、これまでの研究⁴⁾と同様に本研究で使用したダンパーは低温環境下でも常温時と同様の応答が得られた。図-5 には低温時の結果について、解析モデルの支間中央部節点 8 における橋軸方向の時刻歴変位をダンパー無しとダンパー有りで比較している。ダンパー有りの応答はダンパー無しの応答と比較して変位が約 20%低減しており、解析モデルの結果にダンパーの応答が反映されていることがわかる。

5. おわりに

本研究では低温環境下における制震ダンパーの仮動的実験を行うために、仮動的実験に用いる実験システムを開発し、ダンパーの有無による時刻歴変位の比較と低温環境下でのダンパーの応答を検討した。仮動的実験では、ダンパーを含む実験システムが低温環境の影響を受けず常温時と同様に作動した。さらに、ダンパーの有無による応答の比較では、解析モデル上の点にもダンパーの効果を示す結果を得ることができ、ダンパー、実験システム共に正常に動作したと考えられる。今後は多径間を有する多自由度構造での実験ができるように実験システムの開発を行う。

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) により実施しました。また、システム開発に際してはイリノイ大学アーバナシャンペイン校の B.F Spencer Jr. 教授、ジョンズ・ホプキンス大学の中田成智助教授から貴重な助言をいただきました。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) 社団法人道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料, 1997.
- 4) 狭間藍：低温環境下における制震ダンパーの地震波動的載荷実験, 土木学会年次講演会講演概要集, 62 巻 1 号, 1-323, 2007.
- 5) D. Combescure, P. Pegon: α -Operator Splitting time integration technique for pseudodynamic testing Error propagation analysis, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol.16, pp427-443, 1997.

表-2 節点質量 [kg]

節点	質量
No.2	50
No.4	3063.6
No.5~No.11	17068.6

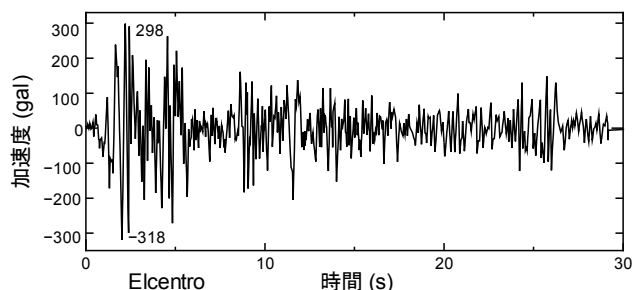


図-3 入力地震波

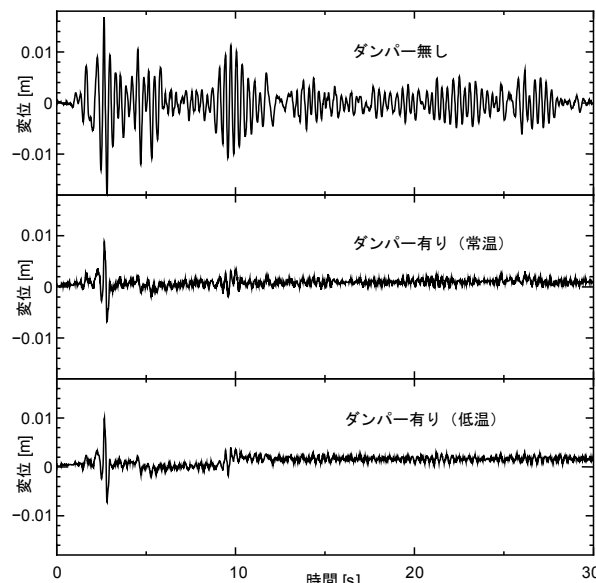


図-4 時刻歴応答変位 (節点 2)

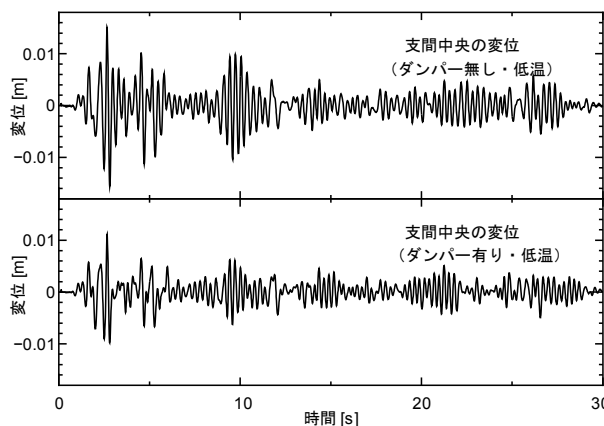


図-5 時刻歴応答変位 (節点 8)