

複数の構造実験部分を有する 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

A remote low-temperature sub-structured hybrid seismic simulation with multiple experimental modules

八千代エンジニアリング	○正会員 齋藤樹里	北見工業大学	正会員 宮森保紀
北見工業大学	学生員 多賀優治	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	北見工業大学	正会員 山崎智之
オイレス工業	入澤祐太	オイレス工業	正会員 河内山修

1. はじめに

本研究は、ハイブリッド実験により制震デバイスを有する構造物の低温下における地震時挙動を解明することを目的としており、これまでに低温下で制震ダンパー1基を载荷可能な実験システムを構築した¹⁾。しかし、実際の橋梁では制震ダンパーは複数箇所に設置されている。そこで複数の構造実験部分を、インターネットを介して接続する遠隔・低温域サブストラクチャハイブリッド実験システムを構築した。本報告では構築した実験システムの動作を確認するため、両端にダンパーを取り付けた桁部材についてハイブリッド実験を行った結果を報告する。

2. 遠隔・低温域サブストラクチャハイブリッド実験システム

本研究では、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-SIMCOR を用いている²⁾。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部分と数値解析部分に分割して応答計算を行う。本研究では計算制御プログラムや実験制御プログラムを独自に改造、作成しソフトウェア群を構成している。応答計算のための積分法は α -OS法を用いている。

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 は制震ダンパー(オイレス工業製 BM-S)であり、構造 B を北見工業大学の低温室に、構造 C をオイレス工業足利事業場に設置した。構造 B については室温を制御できる低温室に設置し、構造 C については保温箱に収納した状態で実験を行う。実験時の温度は、常温では+15°C、低温では-22°Cに設定した。また、構造 C を制御するコンピュータ 3 から統括側のコンピュータ 1 への接続は無線データ通信を用い、また1対1で通信を行うため VPN によって接続している。

ハイブリッド実験では、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、TDAPIII 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、命令変位に対して静的载荷を行い構造 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御し、その都度 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。 α -OS 法のパラメータは $\alpha=0.25$, $\beta=1/4$, $\gamma=1/2$ とする。

本研究では、図-3 に示す解析モデルを用いる。両端を免震

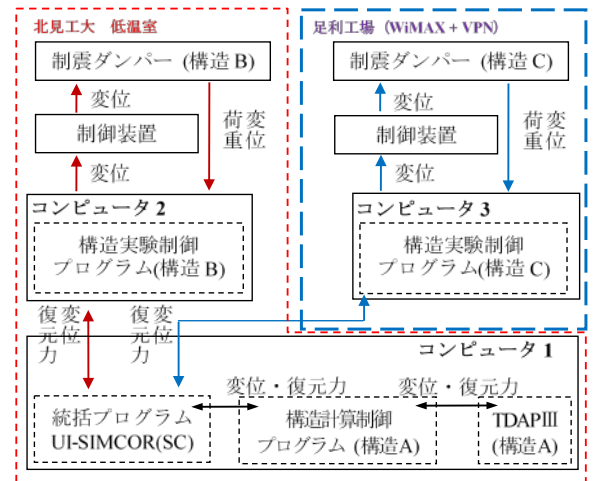


図-1 システムの構成

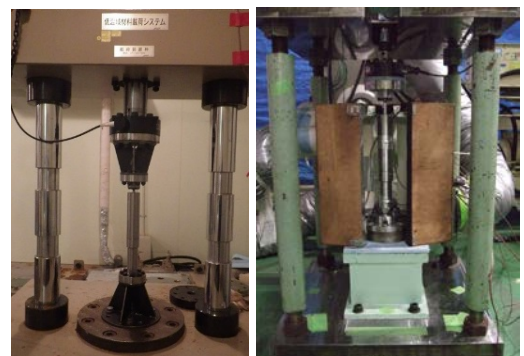


図-2 制震ダンパー

左：構造 B (北見)，右：構造 C (足利)

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	0.1115	Z 軸 : 0.0581
免震 支承	等価剛性 : 3.0019×10 ⁶ N/m	

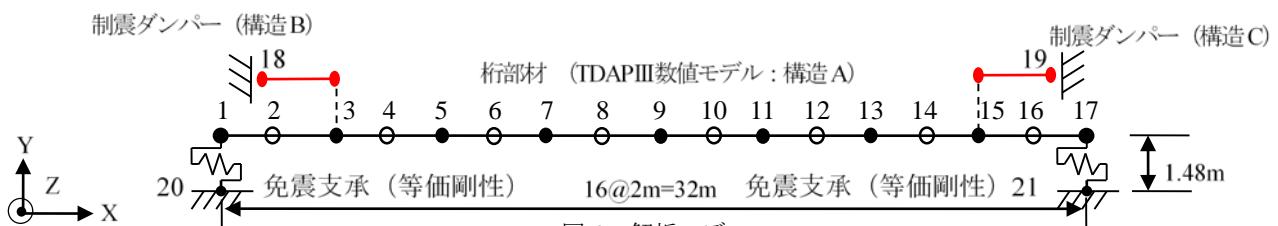


図-3 解析モデル

キーワード：制震ダンパー，ハイブリッド実験，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)

支承で支持した 1 径間の桁の端部にダンパーを取り付けている。桁部材は構造 A, ダンパーは構造 B と C に対応しており, 桁部分と免震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。構造 A は鋼製の線形部材とする。部材上の黒点と白点は節点を表しており, 節点 20 と 21 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。ハイブリッド実験全体では, 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 $10.60 \times 10^3 \text{kg}$ を設定している。

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ので, 事前に固有振動解析を行い 1.106Hz 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 0.1969 とする。

図-4 に実験に用いる地震波を示す。最大加速度 318gal の ElCentro 波をモデルの橋軸方向に入力する。積分時間間隔は 0.01 秒刻みで 30 秒間解析を行う。

なお, 使用したアクチュエータは, メーカーや仕様が異なるがそれらの動作を同等とするため, アクチュエータのゲインや制御命令発出から変位・荷重値の測定までの待機時間をそれぞれ調節する予備実験を, 次節で述べる実験に先立ち実施している。

3. 結果と考察

実験結果の一例として図-5 に数値モデルである構造 A の節点 1 の時刻歴応答変位を, 図-6 と図-7 に制震ダンパーである構造 B, 構造 C の変位-荷重関係を示す。各図において赤線は常温時, 青線は低温時の結果である。なお, 本実験では常温, 低温とも同条件で 3 回実験を行ったが, ほぼ同じ結果を得ている。

図-5 より, 両波形ともに変位の増減が入力地震波の振幅の変化と対応し, 構造の地震時応答が計算できている。応答変位について, 常温時の最大変位は -18.4mm, 低温時は -19.2mm であり, 解析時間全体の振幅もほぼ一致している。本研究で対象としたダンパーは既往の研究³⁾で温度による特性の変化がほとんどないことから, この結果は妥当であり, またアクチュエータが低温時でも適切に動作していることが確認できた。

図-6, 図-7 の履歴曲線では, 本ダンパーの摩擦履歴型の履歴曲線が得られていることが確認できる。構造 B および構造 C における常温と低温の相違は図-5 と同様に小さい。一方, 構造 B と構造 C では履歴曲線の形状がやや異なる。これは, アクチュエータの動作特性の相違が主な原因と考えられる。本研究では予備実験によってアクチュエータの動作を調整したが, その制御方法そのものについても今後の検討課題である。

4. おわりに

本研究では, 2 箇所構造実験部分に対応した遠隔・低温域ハイブリッド実験システムを構築し, その動作を確認するため, 単純桁構造の両端にダンパーを 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た。結果として, 2 つのアクチュエータの動作を調整することで, 適切な地震応答を得ることができた。

参考文献 1)宮森保紀, 湯村美紀, 藤生重雄, 樋口匡輝, 山崎智之, 三上修一, 大島俊之: 汎用構造解析ソフトを利用した低温環境下における仮動的実験システムの構築, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 4 (地震工学論文集第 31-b 巻), I_608-I_616, 2012. 2)Oh-Sung Kwon, Amr. S. Elnashai, and Billie F. Spencer: UI-SimCor, <http://nees.org/resources/3363>, 2011. 3)宮森保紀, 宮崎充, 藤生重雄, 山崎智之, 挾間藍, 大島俊之: 橋梁耐震補強用ストッパーの寒冷地における特性の検討, 土木学会地震工学論文集, 第 29 巻, pp. 1244-1249, 2007.

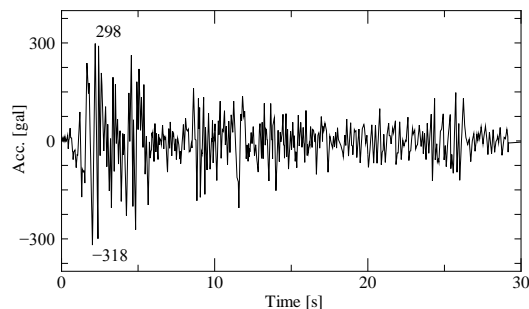


図-4 ElCentro 波

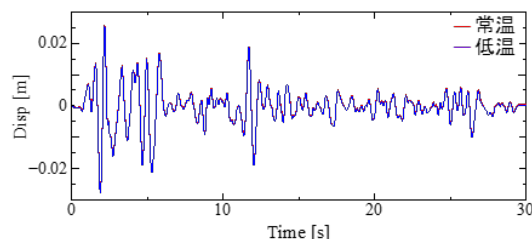


図-5 節点 1 の時刻歴応答変位

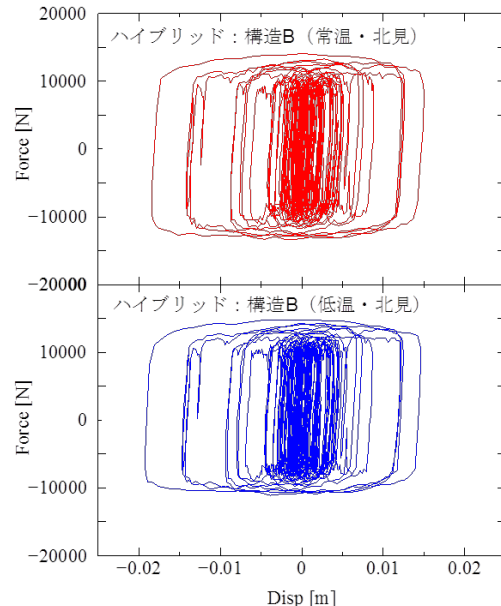


図-6 構造 B の変位-荷重関係

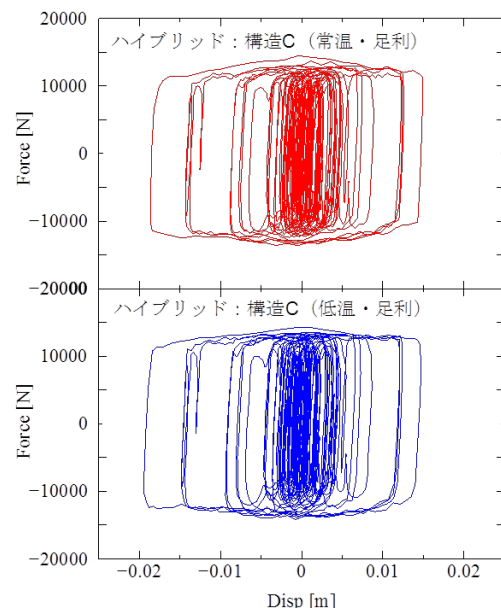


図-7 構造 C の変位-荷重関係