# 高減衰ゴム支承を用いた橋梁のサブストラクチャハイブリッド実験システムの構築

Development of a sub-structured hybrid simulation of bridge used high damping rubber bearings

北見工業大学大学院	学生員	○高岡 陽	北見工業大学	正会員	齊藤剛彦
北見工業大学	正会員	宮森保紀	住友理工株式会社	正会員	中村保之
住友理工株式会社	正会員	竹ノ内浩祐	日本鋳造株式会社	正会員	山﨑信宏

## 1. はじめに

橋梁に用いられる免震ゴム支承は鉛直力を支持し, 地震動による水平方向の上部構造の慣性力を分散させ ることに加え,アイソレート機能と減衰機能を併せ持 った支承である<sup>1)</sup>.ゴム支承の力学的特性は一定振幅に 対する正負交番繰返し載荷実験によって得られる<sup>2)</sup>.こ れまでの研究からゴム支承の力学的特性には温度依存 性があることが知られている<sup>3)</sup>.載荷実験の結果,低温 のときは常温に比べて等価剛性が大きくなる.また, ゴム支承は一般に一定振幅の載荷を繰返すことにより 水平力が徐々に低下する特性を示すが,低温の場合は この変化が大きくなる.このような,時々刻々と変化 する履歴特性を地震応答解析に取り込む方法として, 構造実験と数値解析を併用するサブストラクチャハイ ブリッド実験が挙げられる<sup>4)</sup>.

そこで、本研究では将来的に低温環境下でのハイブ リッド実験によって、ゴム支承の温度依存性を考慮し た橋梁の地震応答解析を行うための準備として、低温 環境下でゴム支承の載荷実験が可能な実験設備を用い たハイブリッド実験システムを構築する.ここではシ ステムの動作確認を兼ねて常温にて2種類の高減衰ゴ ム支承を用いた実験を行った結果を報告する.

### 2. ハイブリッド実験システム

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-SIMCOR<sup>55</sup>を用い る. UI-SIMCOR では統括プログラム(Simulation Coordinator: SC)を中心に、モデルを構造実験を実施 する部分と数値解析を行う数値モデル部分に分割して 応答計算を行う.構造実験部分ではMATLABにより構 造実験装置を制御するプログラムを作成し、供試体の 応答を測定する.数値解析部分ではMATLABに汎用構 造解析ソフト TDAPIII<sup>60</sup>バッチ版の静解析プログラムを 組み込むことで解析を行う.

本研究は仮動的実験であるため、計算ステップごと にアクチュエータを動作させるが、アクチュエータの 動作よりプログラムの動作が速いため、動作命令後に 一定の待機時間を設けて、待機時間経過後に変位と荷 重を測定する.最適な待機時間は予備実験によって決 定し、0.7secとする.

実験設備は北見工業大学社会連携推進センターの低 温室にある載荷装置を用いる.この実験室では冷却装 置により,載荷装置を含めた実験室全体の室温を-30℃ から+50℃の範囲で制御することができ,供試体が外気

キーワード 高減衰ゴム支承,ハイブリッド実験

温の影響を受けずに載荷実験ができる.

著者らはこれまでに制震ダンパーを有する桁モデル の地震時応答を計算するシステムを構築しており<sup>7)</sup>,載 荷装置には鉛直方向に載荷するアクチュエータを用い ていたが、本研究ではゴム支承を対象とするため、一 定面圧の元、水平方向に加振し、供試体にせん断変形 を与えることのできる載荷装置を用いる.

#### 3. 実験条件

本研究では道路橋の耐震設計に関する資料<sup>80</sup>に記載 されている免震ゴム支承を有する道路橋を対象とする. 解析モデルを図-1に示す.ハイブリッド実験システム では、橋脚頂部より下部を計算モジュールとして、 TDAPIIIによる静的応答解析を行う.橋脚頂部より上部 を実験モジュールとして、載荷装置による実験を行う.

ゴム支承は文献 8)では高減衰ゴム支承 HDR を用いて いるが,本研究では,HDR-S と HDReX を用いる.HDReX は天然系よりもガラス転移点の低いポリマーを用いて おり,HDR-S に比べて温度依存性の低減とハードニン グの低減,減衰性能の向上を目的とし,現在開発が進 められている.本研究で用いたゴム支承供試体は有効 平面寸法 170mm×170mm,ゴム厚が 7mm×3 層である. 解析モデルの支承よりも小さいため,ハイブリッド実 験において,載荷装置への命令変位,システムへの応 答変位,応答荷重を,ゴム支承のせん断ひずみ,せん 断応力が整合するように平面寸法と個数,層厚で調整 する.

ここで,ゴム支承は現場に架設される前に出荷前検 査として載荷試験を行うが,実際に地震動を受けるま でには長期間空くことと,本研究では初期載荷の特性



連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 北見工業大学工学部社会環境系 TEL: 0157-26-9477 (齊藤剛彦)



図-2 ゴム種による履歴曲線の比較

を含む加振中の履歴特性の変化に着目するため、供試体はすべてバージン状態のものを用いる.

温度条件は+23℃とし、入力する地震波はレベル2タ イプⅡ地震動とする.

## 4. 実験結果と考察

ハイブリッド実験による支承の履歴曲線を図-2 にそれぞれ示す.また,応答値を表-1,2にそれぞれ示す.

実験終了時に支承に残留変位が生じた.この理由の ひとつとして,バージン状態の支承が大きく変形して 塑性化し,除荷しても変形したままになったと考えら れる.各応答値はすべて HDReX を使用した場合のほう が小さい.このことについて,予備の供試体で正弦波 による載荷実験を行った結果,等価減衰定数が HDR-S では 21.4%, HDReX では 24.0%と, HDReX のほうが大 きいことによるのではないかと考えている.また,支 承の変位は 2-II-I-2 で最大となり,図-2(b)から, HDR-S ではハードニングがみられる.

### 5. まとめ

本研究ではゴム支承の複雑な履歴特性を地震応答に 反映させるため、高減衰ゴム支承を使用した橋梁を対 象としてハイブリッド実験を行った.実験システムと してはオープンソースの UI-SIMCOR を利用し、載荷装 置を動作させるプログラムと組み合わせることで構築 した.その結果、加振が進むにつれて支承の履歴曲線 が変化することを応答解析に取り込むことができ、ゴ ム種による応答の違いを確認できた.

本実験システムは低温での載荷実験が可能な実験設備を用いているため、今後、低温環境下で実験を行い、 ゴム支承の温度依存性を考慮した地震応答解析を行う 予定である.

**謝辞**:本研究は JSPS 科研費 JP19K15069 の助成を受け たものです.

## 参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋支承便覧,丸善,2018.
- 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V耐震設 計編,2017.
- 3) 齊藤剛彦,入江駿亮,中村保之,竹ノ内浩祐,宮 森保紀,山崎智之:低温動的載荷実験による高減 衰ゴム支承の力学的特性の検討,土木学会論文集 A1(構造・地震工学),Vol.74,No.4(地震工学論文 集第 37 巻),pp.I\_765-I\_776,2018.

表-1 HDR-S	を使用し	した場合の応答値
-----------	------	----------

	2-II-I-1	2-II-I-2	2-II-I-3	平均值
上部構造の 最大変位 (mm)	199.5	265.2	243.0	235.9
上部構造の 残留変位 (mm)	48.8	69.0	76.6	64.8
支承の最大 ひずみ(%)	147.9	211.6	175.8	178.4
橋脚基部の 応答塑性率	0.74	1.07	1.01	0.94

表-2 HDReX を使用した場合の応答値

	2-II-I-1	2-II-I-2	2-II-I-3	平均
上部構造の				
最大変位	-186.2	253.3	231.9	223.8
(mm)				
上部構造の				
残留変位	20.9	42.5	52.7	38.7
(mm)				
支承の最大	107.0	207.4	171 1	160.5
ひずみ(%)	127.0	207.4	1/1.1	168.5
橋脚基部の	0.70	1.00	0.07	0.02
応答塑性率	0.72	1.06	0.97	0.92

- 4) 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,pp.1-10,1985.
- Oh-Sung Kwon, Narutoshi Nakata, Kyu-Sik Park, Amr Elnashai, and Bill Spencer: User Manual and Examples for UI-SIMCOR v2.6 NEES-SAM v2.0, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2007.
- 6) 株式会社アーク情報システム: TDAP III, https://www.ark-info-sys.co.jp/jp/product/tdap/tdap3/ index.html (2020年3月26日閲覧).
- 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), pp.I\_608-I\_616, 2012.
- 8) 日本道路協会:道路橋の耐震設計に関する資料, 1997.