

I-B 297 高減衰ゴムとすべり支承を組合せた免震構造系振動台実験の非線形動的解析

鹿島 情報システム部 正会員 ○相沢 旬
情報システム部 正会員 沖見 芳秀
技術研究所 正会員 南雲 広幸

1. はじめに

阪神・淡路大震災以後、非線形動的解析による耐震安全性照査の需要が増大している。そこで、本報では著者らが開発した複合非線形（幾何学的非線形・材料非線形）フレーム解析システムSLAPの有効性を検証するために、高減衰ゴムとすべり支承を組合せた免震構造系の振動台実験[1]に適用し、高減衰ゴムとすべり支承の履歴特性を適切にモデル化することにより精度良く、かつ安定してシミュレートできたので報告する。

2. 解析概要

本解析システム[2]は静的・動的・線形化座屈解析などの各モジュールから構成され、表-1に示した各要素が使用できるほか、更新ラグランジ法（UL法）により幾何学的非線形性を評価できるなど適用範囲が広いことが特徴である。動的解析モジュールでは地震力の3方向同時加振のほか、多点入力、集中荷重を考慮することができ、進行性地震動の影響検討や加振実験解析を行うことができる。UL定式化により非線形項を線形化すると、非線形動的解析の増分形方程式[3]は式(1)となる。

$$M^{t+\Delta t}A + C^{t+\Delta t}V + ({}^tK + {}^tK_G)\Delta u = {}^{t+\Delta t}R - {}^tF \quad \dots (1)$$

ここで、Mは質量マトリクス、Cは減衰マトリクス、 ${}^{t+\Delta t}A$ 、 ${}^{t+\Delta t}V$ は、それぞれ現在のステップでの加速度、速度ベクトルであり、 tK 、 tK_G はそれぞれ前ステップの剛性マトリクス、幾何剛性マトリクス、 Δu は増分変位ベクトル、 ${}^{t+\Delta t}R$ は現在の作用外力、 tF は前ステップの内力であり、右辺が増分外力を示す。なお、質量マトリクス及び減衰マトリクスは時間によって変化しないと仮定しているため、それぞれのマトリクスは集中質量及びRayleigh減衰を用いている。

3. 実験による検証

3.1 実験概要

本実験は、既設橋梁の耐震性向上をねらって開発された免震化工法の地震時特性を把握するために他社と共同実施された実地震波を入力した振動台実験である。実橋と実験体との対応関係を図-1、実験体部位の仕様を表-2に示す。

3.2 解析モデル

解析モデルを図-2に示す。橋桁に相当する質量及び橋脚柱に相当する質量の2質点2自由度系にモデル化した。高減衰ゴムとすべり支承は、図-3(a)、(b)、各々に示した履歴特性を持つ非線形バネで評価した。各特性値は実験結果を基に各々、高減衰ゴムでは免震マニュアル[4]で、す

表-1 使用要素

ビーム要素 (含トラス)	弾性	曲げせん断分離型ビーム	
	材料 非線形性	ファイバ ーモデル	オイラー ティモシェンコ (各種材料モア ル)
		材軸直交分割M-φモデル (トリリニア武藤ルール)	
バネ要素 (含斜バネ)	弾性 バイリニア (オンスケルトン・移動硬化・等方硬化) ノーテンション・クーロン摩擦		
その他	剛体・付加質量・ダンパー(含斜ダンパー)		

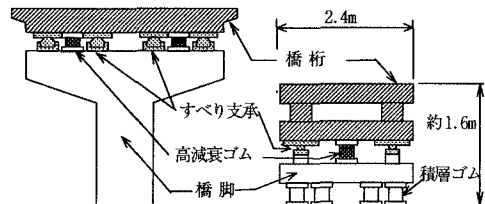


図-1 実橋と実験体との対応関係

表-2 実験体部位の仕様

実験体部位	仕 様
すべり支承	テフロン板（ ϕ 64mm）とステンレス板で構成
高減衰ゴム	寸法 146H×240W×240L(mm)で2個設置
積層ゴム	橋脚柱に対応するもので弾性とみなす天然ゴム使用

べり支承では摩擦係数を0.15と設定した。また、積層ゴムの剛性、減衰は非免震時の自由振動実験結果から設定した。実験は構造形式（非免震・免震）、入力地震波（釧路EW・神戸NS）及び入力レベル（L1・L2・原波）を実験要因として実施した。本報では表-3に示すケースのシミュレーション解析結果を報告する。なお、L1レベルとは道路橋示方書V耐震設計編の震度法レベルに相当し、L2レベルとは地震時保有水平耐力法レベルに相当する。

3.3 実験結果と解析結果との比較

表-4に橋桁質量の応答加速度、橋脚質量の応答加速度・変位、橋脚と橋桁の相対応答変位を実験結果及び解析結果と合わせて示す。同様に、図-4(a)，(b)に、各ケースの橋桁質量の応答加速度時刻歴図を示す。神戸NS波のケースでは橋脚の解析値が実験より大きくなったが、これは積層ゴムの剛性、減衰の設定において非免震時の自由振動実験結果にばらつきがあったためと考えられる。それ以外では、各ケースとも実験結果と解析結果は精度良く、かつ安定してシミュレートできており、本報で報告を割愛したケースについても同様であった。

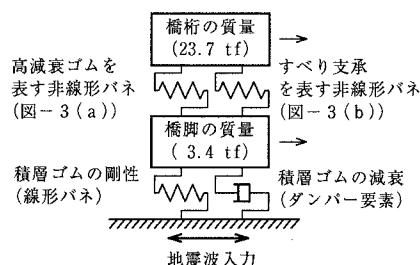


図-2 解析モデル

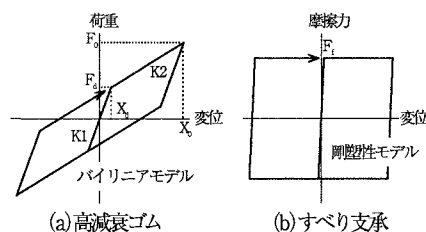


図-3 履歴モデル

表-3 解析ケース

解析ケース	構造形式	入力地震波	入力レベル	備考
CASE-1	免震	釧路EW	原波形	3方向加振
CASE-2	免震	神戸NS	L2レベル	1方向加振

表-4 実験結果及び解析結果

4. おわりに

本報では、実地震波を入力した免震構造系の振動台実験のシミュレーション解析に、複合非線形フレーム解析システムを適用し、その有効性を示した。現在、本免震構造を用いた実橋レベルの設計解析で本システムを適用している。今後は、本免震構造の高減衰ゴムやすべり支承の履歴特性などをパラメータとした適用研究や、新形式の橋梁の設計解析への適用研究などを通して、本システムの検証を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 竹田、日紫喜、南雲、新原、長谷川、水津；「既設橋梁に適した免震化工法」，阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集，土木学会，pp.537-544，1996.1
- [2] 沖見芳秀、右近一郎；「複合非線形フレーム解析システムの開発」，土木学会誌 技術最前線，Vol.80，pp.14-17，1995.1
- [3] Bathe,K.J. and Bolourchi,S., Large displacement analysis of three-dimensional beam structures, Int. J. Num. Meth. Engng., 14, 961-986, 1979
- [4] 建設省土木研究所；「道路橋の免震設計マニュアル（案）」，1992.3

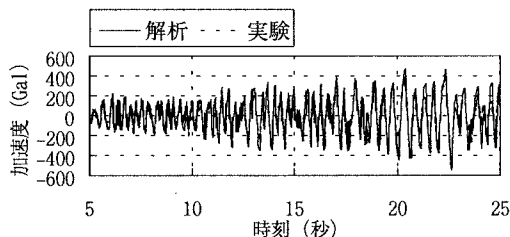


図-4(a) 橋桁の応答加速度時刻歴図 (CASE-1)

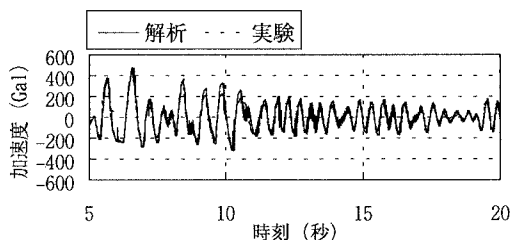


図-4(b) 橋桁の応答加速度時刻歴図 (CASE-2)