

高精度荷重計測機構を有する実大免震試験機の開発とハイブリッドシミュレーション機能

京都大学 学生会員 ○上田 知弥, 京都大学 正会員 植村 佳大

京都大学 正会員 高橋 良和, 東京工業大学 非会員 竹内 徹

東京工業大学 非会員 吉敷 祥一, 東京工業大学 正会員 米田 雅子

東京工業大学 正会員 和田 章

1. 背景・目的

1995 年の兵庫県南部地震以降，構造物の地震被害軽減を目的として免震構造が急速に広まっている．一方，米国や中国は大型動的試験機を有しており実大免震装置の動的実験検証が実施されているのに対し，日本はこれまで同様の試験機を有していなかった．そのような中，戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)において「高精度荷重計測機構を有する動的試験機を活用した解析法の開発」が採択され，実大免震試験機の開発が行われた¹⁾²⁾．この試験機は大鉛直荷重・高速度・大変形の载荷が可能だけでなく，諸外国の大型免震試験機で課題となっている摩擦力・慣性力の混入を防ぐ高精度荷重計測機構を採用している．また，供試体反力を直接計測可能であるため，実験と解析を組み合わせたハイブリッドシミュレーション(HS)への適用が期待される．本稿では開発された実大免震試験機について報告する．また，当該試験機を用いて HS を実施し，荷重計測手法の違いが HS 結果に与える影響を検討する．

2. 実大免震試験機(E-Isolation)の開発

従来の免震試験機での荷重計測機構を図-1 に示す．従来手法では水平動的ジャッキのロードセルにより荷重を計測するため，加振台底面の摩擦力や加振台にかかる慣性力が計測荷重に混入する．大型の免震試験機では高軸力を付加するため，加振台底面の摩擦係数が小さい場合でも摩擦力が大きくなりその影響が無視できない．また，計測荷重を逐次構造計算に用いる HS へ適用する場合，計測荷重から摩擦力などを補正する必要がある．しかし，摩擦力のモデル化は容易ではなく，実時間 HS では計算時間の制約もあるため，部材復元力を直接計測する計測手法が求められている．

そうした中，実大免震試験機(E-Isolation)では図-2 に示す高精度荷重計測機構を有している．本試験機では反力梁が水平方向に柔，鉛直方向に剛となるよう反力

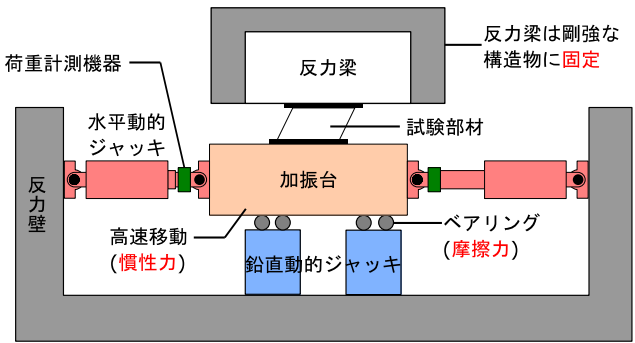


図-1 従来の荷重計測機構

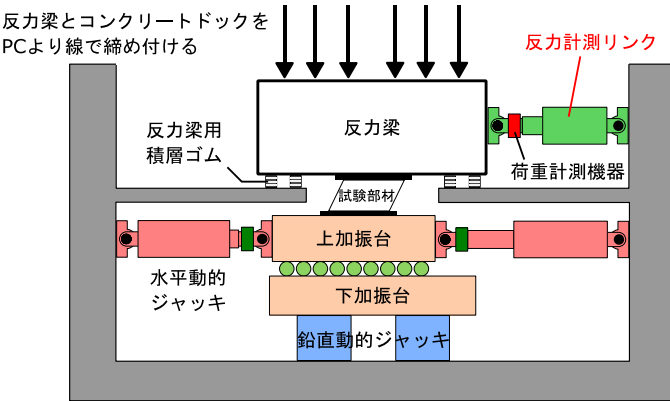


図-2 高精度荷重計測機構

梁用積層ゴムと PC より線で固定されている．供試体に水平変位を与えると反力梁がわずかに変位し，反力梁に接続された剛な反力計測リンクで荷重が計測される．これにより，摩擦力・慣性力等の混入を防ぎ，供試体復元力のみを直接計測することが可能となる．また，荷重の計測精度が向上することにより，これを用いる HS の試験精度の向上に繋がると考えられる．

3. ハイブリッドシミュレーション

(1) セットアップ概要

HS のセットアップを図-3 に示す．解析用 PC では数値モデルによる解析を，実大免震試験機では試験体の载荷を行う．リアルタイムシミュレータは解析結果を試験機の制御機器に送信する際の信号処理を行う．解析用 PC，リアルタイムシミュレータ，コントローラ PC

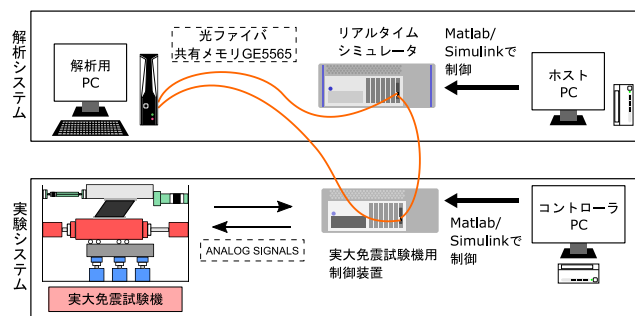


図-3 HS セットアップ

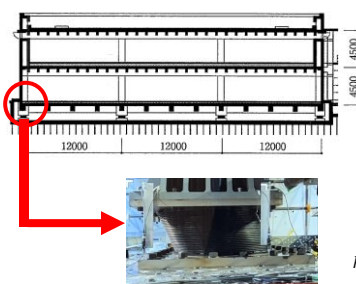


図-4 HS 対象建物[unit: mm]

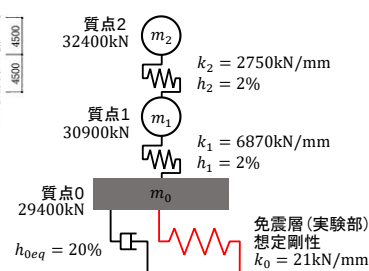
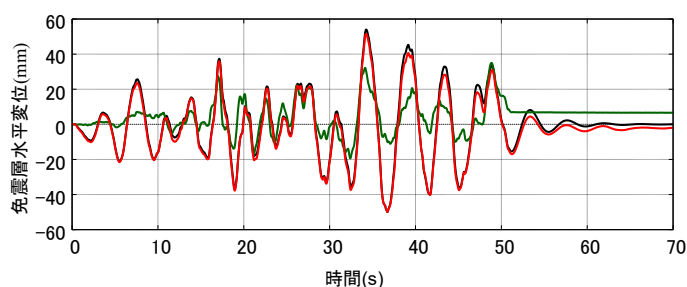
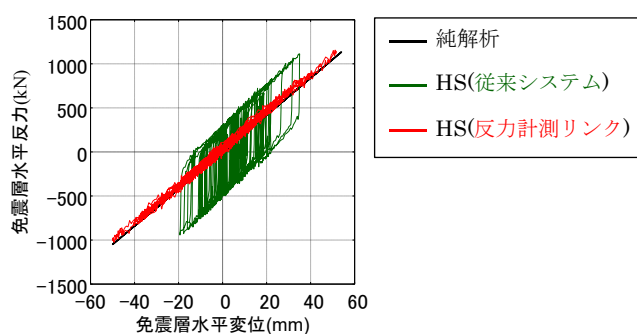


図-5 解析モデル



(a) 水平変位時刻歴



(b) 水平反力-水平変位関係

図-6 実大免震試験機を用いた HS 試験結果

では共有メモリを採用し、光ファイバケーブルで接続してデータ通信を行う。試験機で载荷する実験供試体はφ800天然ゴム系積層ゴムとする。

(2) HS 対象建物

HS 対象建物は2階建ての実在する免震建物³⁾とし、対象建物の免震層には実験供試体のφ800天然ゴム系積層ゴムが20個導入されている(図-4)。解析モデルは図-5に示す3質点のせん断ばねモデルとし、その諸元は同図に示す通りである。解析モデルと実験部分の相似比は、供試体が実大免震支承のため変位倍率を1.0、モデル内の支承が20個のため荷重倍率は20.0とした。

(3) 試験条件

入力地震波は建設省告示に適合したHachinohe EW位相の波形のL1地震動とする。反力計測リンクによる計測水平反力を用いるHSと従来システムによる計測水平反力を用いるHSを実施した。それぞれHS(反力計測リンク)、HS(従来システム)と呼ぶ。数値積分には陽的なNewmarkのβ法を用い、時間刻みは0.02秒とした。

4. ハイブリッドシミュレーション結果

試験体の応答が線形範囲内であったため、試験体積層ゴムの応答を線形と仮定した数値解析結果(以下、純解析)を理想挙動とし、純解析とHS結果の比較を行う。

解析モデルにおける免震層の水平変位時刻歴および水平反力-水平変位関係を図-6に示す。HS(従来システム)は摩擦力の混入により純解析と結果が大きく異なる

一方で、HS(反力計測リンク)は供試体復元力のみを計測できたことにより(図-6(b))、純解析の傾向を追えていることが分かる。また、HS(反力計測リンク)の最大変位応答は51.53mmであり、純解析(53.99mm)との差が-4.56%と極めて小さい。以上より、反力計測リンクを用いた荷重計測手法によりHSの試験精度向上が確認された。

5. まとめ

摩擦力・慣性力の混入を防ぐ高精度荷重計測機構を有する実大免震試験機の開発を行った。また、実大免震試験機を用いてHSを行い、高精度荷重計測機構を用いることでHSの試験精度が向上することを確認した。

謝辞:本研究は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「IX. 実大部材地震挙動開発システム開発」の助成を受けて実施した。謝意を表します。

参考文献

- 1)Takahashi, Y. et al, E-Isolation: High-performance Dynamic Testing Installation for Seismic Isolation Bearings and Damping Devices, International Journal of High-Rise Buildings, Vol.12, No.1, pp.93-105, 2023.
- 2)高橋良和ほか: 高鉛直荷重下の水平荷重測定において摩擦力と慣性力から解放された実大動的免震実験装置の開発と実現「その1」～「その17」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2023.
- 3)日本建築学会 関東支部: 免震・制振構造の設計, 第3版, 2017.