

実大動的免震実験装置 E-Isolation のコンセプトと特徴

高橋良和* 竹内徹** 吉敷祥一*** 篠崎洋三# 米田雅子## 梶原浩一### 和田章####

E-Isolation : Concept and Features for Full-scale Seismic Isolation Dynamic Test

by

Yoshikazu TAKAHASHI*, Toru TAKEUCHI**, Shoichi KISHIKI***,

Yozo SHINOZAKI#, Masako YONEDA##, Koichi KAJIWARA### and Akira WADA ####

E-Isolation was fabricated as a demonstration test machine for the study of high-precision reaction force measurement technology, large dynamic force testing machine technology, and real-time hybrid simulation technology by Council for Science, Technology and Innovation (CSTI), SIP (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program). This paper introduces the concept and features of the E-Isolation and its test results of cyclic loading test and hybrid simulation.

Key words: Reaction measurement system, Seismic isolation, Dynamic test

1 緒 言

米国, イタリア, 中国や台湾には, 免震・制振デバイスを対象とする大型動の実験装置が設置され, 実大の免震・制振部材の動の実験検証が行われているが, 国内には実大動的免震実験機が存在しなかった。

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, 高精度反力計測技術, 大型動的加力試験機技術, そして実時間ハイブリッドシミュレーション技術の検討を実施し, その実証試験機として E-Isolation を製作した。本論では, そのコンセプトと特徴について紹介する。

2 大型動的加力試験装置が抱えている課題

長大橋や超高層ビルを支持する免震装置は数千トンの大鉛直荷重を支持するため, 質の高いフィジカル空間情報の取得のためには, 大鉛直荷重下で高速度・大変形の動的加力試験を実施しなければならない。このためには, 試験体を水平に高速で変形させるための加振台が必要になるが, 加振台を振動させる水平アクチュエータには, 試験体の反力に加え, 加振台と鉛直アクチュエータ間の摩擦力, 加振台の慣性力も同時に作用するため, 試験体の反力を正確に計測することは困難であった。代表的な大型動の免震試験機である米国 UCSD の SRMD や台湾 NCREE の BATS では, 反力計測に混入する摩擦力等を除去するため, 試験体を取り付けない加振実験結果を用いた補正や, 数値摩擦モデルによる補正を余儀なく

されている。また, 米国 EPS 社などの大型動の免震試験機では, 反力側に二軸ロードセルを設置し, 加振台に作用する摩擦力・慣性力を計測しない工夫がなされている。一方, 多軸ロードセルでは, ある一軸にのみ負荷がかかったとしても, 他軸の出力に影響が及ぶクロストークを避けることはできない。低摩擦型支承の場合には, 鉛直荷重と水平荷重の比(摩擦係数)が 0.005 程度となり, クロストークの影響をより強く受けることになる。

3 設計コンセプト

本研究開発における設計は, MIT の Suh 教授が 1990 年に提案した Design Axiom の考えに従っている。要求すべき性能と設計によって決めるべきパラメータ間を複雑のまま対処するのではなく, 新しい発想を組み込むことにより単純化し, 設計の信頼性や確実性を高めようとするものである。

試験体反力計測に潜む課題を解決するため, 試験機の固定端側を, 試験体の上側に水平方向は「ほぼ無抵抗」, 鉛直方向は「概ね固定」となるように支持された反力梁を配置し, さらに反力梁に水平方向を一軸ロードセルを有する荷重測定リンクをピン接合に近い形で接合する設計を採用した。

4 E-Isolation

高精度荷重計測機構を採用した実大動的免震試験装置の概要を Fig.1 に示す。

+ 原稿採択 2023年6月20日 Accepted

* 京都大学社会基盤工学専攻 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 Dept. of Civil and Earth Resources Eng., Kyoto Univ., Kyoto

** 東京工業大学建築学系 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 Dept. of Arch. and Build Eng., Tokyo Institute of Technology, Tokyo

*** 東京工業大学 科学技術創成研究院 〒226-8503横浜市緑区長津田町4259 Inst. of Innovative Res., Tokyo Inst. of Tech., Yokohama

大成建設株式会社 設計本部 〒163-0606 東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 Design Division, Taisei Corporation, Tokyo

東京工業大学 環境・社会理工学院 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 Sch. of Env. and Society, Tokyo Inst. of Tech., Tokyo

防災科学技術研究所 〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1 Natl. Res. Inst. for Earth Science and Disaster Resilience, Tsukuba

免震研究推進機構 〒673-0515 兵庫県三木市志染町三津田西亀屋1503-1 Japan Seismic Isolation Laboratory, Miki

4・1 採用した大型試験機技術

試験機の鉛直方向を「概ね固定」とするための自己釣り合い機構として、PC 構造によるコンクリートドックと反力梁とを積層ゴム支承を挟んでプレストレスにより締め付ける構造を採用した。水平方向を「ほぼ無抵抗」とみなせるよう低剛性の積層ゴム支承を採用しているが、剛な反力計測リンクで水平支持されているため、実際にはほとんど変形しない（5000kN 水平載荷時 1~2mm 程度）が、必要に応じて補正可能とするため、小振幅でも線形性の高いことを別途試験により確認している。

加振台は水平一軸・鉛直一軸に動作するが、24 台の鉛直アクチュエータが取り付けられる下加振台と 4 台の水平アクチュエータにより水平一方向に可動する上加振台を水平方向のリニアベアリングで接続した上下分離型加振テーブル機構を採用し、上加振台中央において 6 自由度の姿勢制御をしている。

4・2 基本性能

E-Isolation の載荷最大荷重は動的に鉛直 30MN、水平 5.1MN であり、水平ストロークは 1.3m である。加振可能累積行程距離は 4m であるが、将来の油圧システム増強により、その工程距離を延長する計画である。

また、E-Isolation での免震・制振デバイスを実験部とし、構造物を数値モデルとしたハイブリッドシミュレーション機能を有している。性能確認試験では、加振台への指令値に対して実際の応答値の位相が遅れても問題はないが、時々刻々運動方程式を解く必要があるハイブリッドシミュレーションでは、ATS 位相遅れを補償する機構が必要となるため、ATS (Adaptive Time Series) 補償を採用している。試験体の速度依存や試験機性能を勘案し、実時間ハイブリッドシミュレーションと仮動的ハイブリッドシミュレーションを選択できるようにしている。

4・3 加振実験事例

試験体は $\phi 800$ (G0.29) の積層ゴム支承に対し、正負交番載荷試験を行った結果を Fig.2 に示す。緑線が従来技術である水平アクチュエータによる反力計測、黒線が開発した反力計測リンクによる結果である。このように摩擦力の影響を受けない、直接的な計測が可能であることが分かる。また、Fig.3 には 2 層免震建物のハイブリッドシミュレーション結果を示すが、摩擦力の影響を受けない反力計測により、正確な地震時応答を再現できていることが分かる。

謝辞

本研究は、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」によって実施した。ここに謝意を表す。

参考文献

1) Takahashi, Y. et al., E-Isolation : High-performance

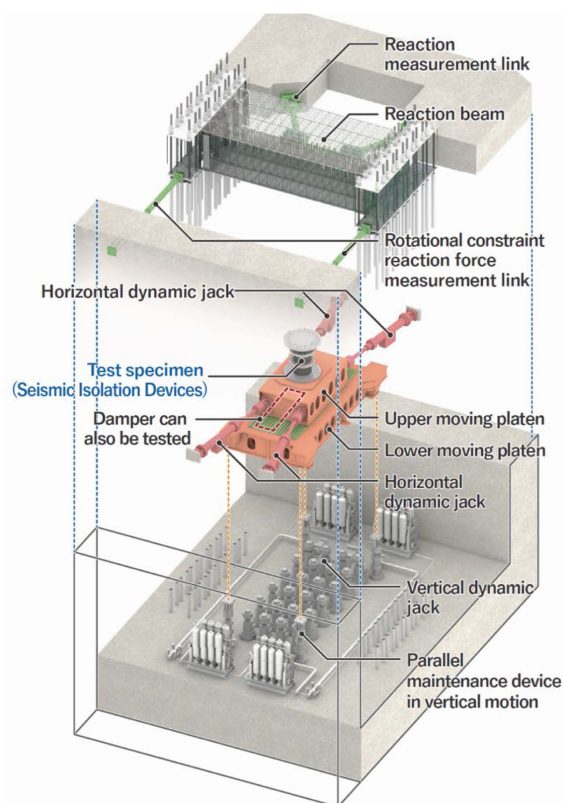


Fig.1 Isomeric View of E-Isolation¹⁾.

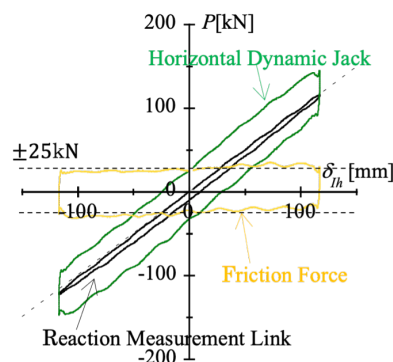


Fig.2 Cyclic Loading Test Results of Seismic Isolator.

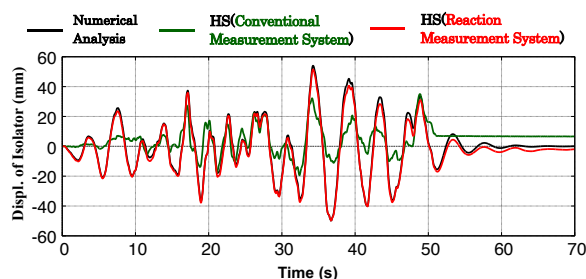


Fig.3 Displ. Response of Isolator by Hybrid Simulation.

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) Suh, Nam P., *The principles of design*, Oxford University Press, 1990.