

地震シミュレーション用試験装置の 技術改良と継続運用に向けて

EHS&S 研究センター技師 兼 耐震構造技術部課長代理 早川 輝博
取締役 EHS&S 研究センター上級研究員 兼 情報システム技術本部長 土肥 博

Keyword : 耐震対策, 地震シミュレーション, 振動試験装置, 加振性能, 運用管理

1. はじめに

構造物・機器等の耐震設計や耐震対策の検討は、解析や試験に基づく様々な手段を用いて実施される。その中でも振動試験（写真1）は、加振テーブル上に設置された建物・鉄塔等の模型や各種装置・設備の実機（試験体）に人工的に発生させた地震の揺れを加えて、それらの物理的障害や機能障害を検討するもので、極めて有効な手段である。

NTTファシリティーズでは、民営化前（電電公社時代）の1971年に世の中に先がけて初代の振動試験装置を導入し、数多くの振動試験を行って、高度な振動試験法と耐震評価技術を確立した。また2010年には、マグニチュード8クラスの巨大地震時における超高層建物内部の揺れを忠実に再現できる4代目となる広帯域対応3次元振動試験装置¹⁾「DUAL FORCE」を導入し、耐震試験技術のさらなる高度化を進めている。

地震シミュレーション用の試験装置には、高い加振力はもちろんのこと、低振動数領域（建築構造物であれば概ね数十Hz以下）における高い再現精度が求められる。そのため、DUAL FORCEに代表される電気油圧サーボ式の振動試験装置が主流であった。一方、昨今、環境に優しい次世代の駆動方式として永久磁石式が注目され、同技術に基づく振動試験装置の導入事例が相次いでいる。また、主に他業界で使用されてきた電気サーボモータ式や電磁石式の地震シミュレーション用の試験装置も開発されている。

本稿では、地震シミュレーション用の試験装置について



写真1 振動試験

て、従来方式と新規参入方式の性能の比較から、今後の活用についての留意点を報告する。

2. 高い加振性能を実現する技術

地震シミュレーション用の試験装置の高い加振性能を実現する主な技術として、駆動方式、継手機構、制御方式がある。

2.1 駆動方式

加振機の主な駆動方式として、電気油圧サーボ式、電気サーボモータ式、動電式（永久磁石式、電磁石式）がある。これらすべてに物体の位置・方位・姿勢などを制御量とし、目標値の任意の変化に追従できる制御機構（サーボ機構）が組み込まれる。国内の主な地震シミュレーション用の試験装置を表1に、各駆動方式の適用範囲を図1に示す。

1) 電気油圧サーボ式

電気油圧サーボ式は、サーボバルブ（電気信号）で油圧を制御しながら加振機を動かして加振テーブルを駆動させる。高い加振力（1,000kN/基以上）を発揮できるため、大質量の試験体を大加速度の地震波で加振できる。ただし、加振可能な振動数は、概ね100Hz以下に留まる。

DUAL FORCEは、最大変位 $\pm 110\text{cm}$ 、最大速度 200cm/s の世界最大クラスの加振性能を実現するもので、電気油圧サーボ式の振動試験装置の代表例の一つである。また、搭載質量（1,200トン）の試験体に対して大振幅（ $\pm 100\text{cm}$ ）の加振を実現する実大三次元震動破壊実験施設²⁾「E-ディフェンス」（防災科学技術研究所）はもとより、超大加速度（20G）を実現する二重ばね別方式の共振振動台³⁾（電力中央研究所）、加振テーブルを2段に重ねて超大変位（ $\pm 270\text{cm}$ ）を実現するタンデム型（親亀子亀方式）の高性能3次元振動台⁴⁾「W-DECKER」（鹿島建設）等、高い加振性能を有する数々の振動試験装置の駆動方式として、電気油圧サーボ式が採用されている。

2) 電気サーボモータ式

サーボ機構に使われるモータをサーボモータと呼ぶ。電気サーボモータ式は、電気信号によりサーボモータを

表1 国内の主な地震シミュレーション用試験装置の基本性能一覧

No.	保有機関 (装置愛称)		加振テーブル 最大寸法	最大搭載 質量	水平最大 加速度 (搭載質量)	水平最大 速度	水平最大 変位	振動数範囲	加振方向	駆動方式
			(m)	(トン)	(G)	(cm/s)	(cm)	(Hz)		
1	NTTファシリティーズ (DUAL FORCE)		4.0×3.0	7	2.0 (7トン)	200	110.0	DC-100	3軸 6自由度	電気油圧 サーボ
2	清水建設	大型振動台 (E-Beetle)	7.0×7.0	70	2.7 (35トン)	200	80.0	DC-50	3軸 6自由度	電気油圧 サーボ
		長周期振動台 (E-Spider)	4.0×4.0	3	1.0 (3トン)	200	150.0	0.05-15	3軸 6自由度	電気サーボ モータ
3	鹿島建設 (W-DECKER)	主振動台	5.0×7.0	100	2.0 (60トン)	200	70.0	DC-50	3軸 6自由度	電気油圧 サーボ
		長周期振動台	2.0×2.0	5	0.5 (5トン)	250	270.0	DC-1	水平2軸	油圧サーボ モータ
4	大林組		5.0×5.0	50	3.0 (50トン)	200	60.0	DC-50	3軸 6自由度	電気油圧 サーボ
5	大成建設		6.0×6.0	20	3.0 (10トン)	100	20.0	DC-50	3軸 6自由度	電気油圧 サーボ
6	電力中央 研究所	大型振動台	5.0×5.0	80	2.0 (60トン)	150	50.0	DC-30	水平1軸	電気油圧 サーボ
		共振振動台	2.0×1.8	10	20.0 (10トン)	314	5.0	10		
7	防災科学技術研究所 (E-ディフェンス)		20.0×15.0	1,200	0.9 (1,200トン)	200	100.0	DC-30	3軸 6自由度	電気油圧 サーボ
8	製品評価技術基盤機構		2.0×2.0	2	2.0 (2トン)	110	20.0	0.1-50	3軸	電気サーボ モータ
9	東京消防庁		3.5×3.5	10	2.0 (1.2トン)	120	30.0	0.1-200	3軸	永久磁石
10	北方建築総合研究所		4.5×4.5	20	0.7 (20トン)	140	20.0	0.1-20	水平・ 鉛直2軸	電磁石
11	神戸大学		3.0×2.0	10	2.0 (5トン)	150	27.5	0.1-20	水平1軸	電磁石& 電気サーボ モータ

回転させて加振テーブルを駆動させる。加振力は、電気油圧サーボ式ほど期待できない(400kN/基以下)が、より高い振動数(300Hz以下)での加振が可能である。

地震波再現試験装置⁵⁾(製品評価技術基盤機構)は、電気サーボモータ式の振動試験装置の代表例の一つである。最大加速度2G(水平、2トン搭載時)、最大変位±20cmを実現できる。また、可燃性の作動油を使用しないことから、発火や爆発等のリスクがあるリチウムイオン電池などの耐震試験に適用できる。大振幅振動台⁶⁾「E-Spider」(清水建設)も、電気サーボモータ式の振動試験装置の代表例の一つである。斜めに設置された加振

機6本を高い座標変換技術を用いて制御することで、最大変位±150cmを実現する。ただし、最大加速度は1G(水平、3トン搭載時)が限度である。

なお、W-DECKERの長周期振動台部分に油圧サーボモータ式(油圧でサーボモータを回転させる)が採用されるが、その他の事例は見当たらない。

3) 動電式(永久磁石式、電磁石式)

動電式は、フレミングの左手の法則に従い、磁界中を横切る導線・導体に電流を流し、その直交方向に発生する力により加振テーブルを駆動する。磁界を永久磁石でつくる方式(永久磁石式)と電磁石でつくる方式(電磁石式)の2種類がある。永久磁石式は、高性能ネオジウム希土類磁石の採用と特殊磁気回路により、電磁石式に比べて低振動数(200Hz以下)ながら比較的高い加振力(500kN/基以下)を実現する。また、冷却装置等の附帯設備によるノイズ等が発生しないため、波形の再現精度は高く、稼働時の騒音が低い(65dB以下)ため、各種環境試験にも適用される。一方電磁石式は、静音性と極低ノイズを無視したより高振動数(2,000Hz以下)の加振に適するが、加振力(350kN/基以下)は低く、変位は±20cmが限度である。

三次元振動実験装置⁷⁾(東京消防庁)と大型2軸振動

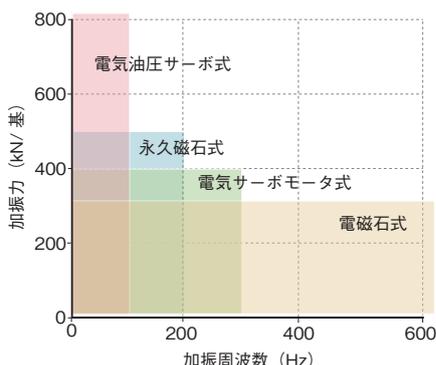


図1 各駆動方式の適用範囲

試験装置⁸⁾(北方建築総合研究所)は、それぞれ永久磁石式と電磁石式の振動試験装置の代表例である。また、電磁石式の弱点を補うため、電気サーボモータ式とのハイブリッド試験装置⁹⁾(神戸大学)も開発されている。

2.2 継手機構

加振テーブルと加振機を結合する継手は、加振機からの力を加振テーブルへ忠実に伝達することはもちろんのこと、加振機に対して直角方向に加振テーブルが移動するとき、その移動を拘束しない機構でなければならない。振動試験装置に実用される継手として、球面軸受継手、静圧軸受継手、リニアスライド軸受継手がある。各継手機構を図2に示す。

1) 球面軸受継手

球面軸受継手の機構は、スイング・アーム式とスイング・アクチュエータ式の2種類に分けられる。スイング・アーム式は、同じ大きさの基礎であればスイング・アクチュエータ式に比べ加振テーブルの可動範囲が狭い。

球面軸受継手は、専用の油圧装置や作動油が不要であり、形状がコンパクトなうえ点検が容易である。しかしながら、振動を伝える方向への加振は、直交する2方向に影響を与え、構造的な干渉が生じることから高度な制御技術を必要とする。

球面軸受継手は、電気油圧サーボ式の振動試験装置に多く採用される。スイング・アーム式は、E-ディフェンスで、スイング・アクチュエータ式は、DUAL FORCEで採用されている。

2) 静圧軸受継手

静圧軸受継手は、継手鋼材を薄い高圧の油膜が覆うことで、滑り支承ながら機械的なガタや摩擦等がなく高精度な加振を実現できる。また、振動を伝える方向への加振は直交する2方向の動きに影響を与えないので、球面軸受継手のような構造的な干渉がない。しかしながら、

加振時に継手鋼材に油を常時供給しなければならないため、継手を覆う大掛かりなオイルパンを必要とする。その大きさは、加振機の最大変位に依存すると共に、加振テーブルの大きさの決定に影響を及ぼす。

静圧軸受継手は、電気油圧サーボ式の振動試験装置に採用される。代表例は、大型三次元振動台^{10,11)}(大林組、大成建設)や共振振動台(電力中央研究所)である。

3) リニアスライド軸受継手

リニアスライド軸受継手は、ボールねじとリニアガイドを介して、サーボモータによる動力を加振テーブルに直線運動として伝える。低摩擦で高剛性のため、高精度な加振を実現すると共に、重量物を大変位に動かすことができる。また球面軸受継手のような構造的な干渉がなく、静圧軸受継手のようなオイルパンも必要ない。しかしながら、リニアガイドの内部を転動体(鋼球)が循環するという構造的な宿命として、大加速度により鋼球と他の構成部品との相対的位置が急激に変化すると、同継手の姿勢変化や振動が発生する可能性がある。また静圧軸受継手と同様、加振テーブルの大きさは、加振機の最大変位、すなわちリニアガイドの長さに依存する。

リニアスライド軸受継手は、電気サーボモータ式や動電式の振動試験装置に多く用いられる。

2.3 制御方式

加振テーブルの動きの制御方式として、加振テーブル下面で測定された加速度、もしくは加振機で測定された変位に基づき制御する方式(単要素制御)と、それら加速度と変位をそれぞれ速度に変換し、変位、速度、加速度の3要素で制御する方式(3要素制御)がある。

DUAL FORCEをはじめとするほとんどの電気油圧サーボ式の振動試験装置では、3要素制御方式が採用される。一方、多くの電気サーボモータ式や動電式の振動試験装置では、単要素制御方式が採用される。NTTファ

シリティーズ規格波¹⁾のように広帯域に振動数特性を有する人工地震波の再現においては、制御可能な振動数範囲が広い3要素制御方式が望ましい。

また、電気油圧サーボ式の振動試験装置は、6自由度制御(XYZ軸の並進成分と回転成分)により、各軸の回転成分を補正することで、より高精度な加振を実現している。一方、一部の電気サーボモータ式や永久磁石式の振動試験装置は、3自由度制御(XYZ軸の並進成分)により地震波を再現する。6自由度制御も構造的に可能であるが、自由度が増えることでより高度な制御技術の開発が必要となる。

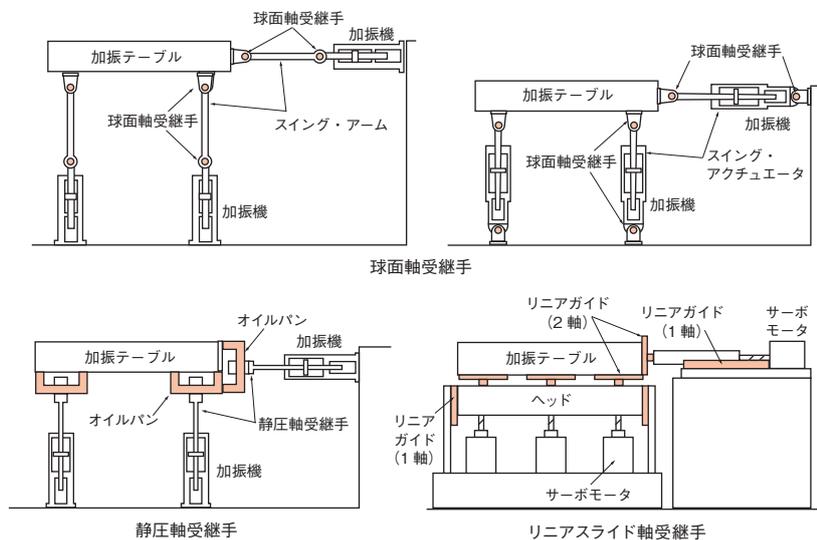


図2 振動試験装置に使用される継手機構

3. 厳しい環境制約を解決する技術

本章では、地震シミュレーション用の試験装置の導入にあたって解決すべき、省スペース化策、省電力化策、防振対策を取り上げる。

3.1 省スペース化策

電気油圧サーボ式の振動試験装置では、加振機と蓄圧器の高性能化により、省スペース化が実現される。大型振動台⁶⁾「E-Beetle」(清水建設)では、ピストンの面積を小さく長さを短くした高効率な加振機を加振テーブルの正対した2辺にだけV字型に設置することで省スペース化を実現し、基礎や建屋の寸法を小さくしている。また超高圧に作動油を蓄圧できることで、蓄圧器の本数を少なく設置面積を小さくしている。さらに蓄圧時と加振時を同じ油圧ポンプで切り替えて使用するため、無駄な油圧ポンプを設置する必要がない。その上球面軸受継手を採用しており、静圧軸受継手のような専用の油圧ポンプを設置するスペースを必要としない。

一方、他の駆動方式では油圧装置のような大型の設備が不要なため、無理なく省スペース化を実現できる。そのうち永久磁石式は冷却装置も不要なため、電気油圧サーボ式の振動試験装置の跡地であれば、少なくとも同変位性能の振動試験装置を設置でき、残りのスペースを倉庫などに転用可能である。また、E-Spiderに採用されるスチュワートプラットフォーム型により、加振機を斜めに設置することでスペース効率を高めることもできる。

加振機と加振テーブルの配置例を図3に示す。DUAL FORCEやE-ディフェンスでは、加振機はL字型に配置される。またW-DECKERでは、十字型に加振機を配置した加振テーブルの上に、もう一つ加振テーブルをのせるタンデム型を採用することで、スペース効率を高めつつ大変位を実現している。

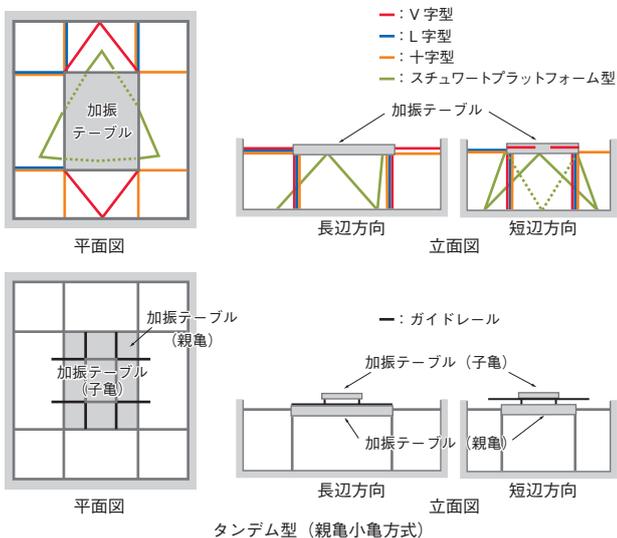


図3 加振機、加振テーブルの配置例

3.2 省電力化策

電気油圧サーボ式の振動試験装置では、油量削減と油流量制御により消費電力削減が実現される。例えばDUAL FORCEは、高効率加振機と軽量加振テーブル、そして超高蓄圧器により作動油量を減らすことで、油圧ポンプの台数を少なくして消費電力を抑えている。一方、E-ディフェンスでは油を消費する加振機数を加振波に応じて可変とするバイパス型加振機により、作動油量を削減し電力消費を抑えている。その他、オンデマンド制御により加振中の作動油の急激な流量変動に追従すると共に作動油を必要量のみ吐き出すことで、無駄な電力消費を抑える技術も開発されている。

一方、他の駆動方式では、待機電力、暖機運転を必要としないため消費電力削減を特に考慮しない場合が多いが、電気サーボモータ式で各サーボモータの起動時間をわずかにずらすことによりピーク電力を削減する方法も採用されている。

3.3 防振対策

広帯域の加振を制約なく実現するためには、周辺環境への振動伝搬の影響を考慮する必要がある。日本国土においては振動試験装置の設置場所に制約が多く、特に隣地等に住居やオフィスなどの居室を有する建物がある場合は防振対策を行う。振動試験装置の防振対策として、防振ゴム、空気ばね、金属ばね、減衰装置等を設置する方法がある。そのうち防振ゴムは固有振動数を低く設定することが難しく、空気ばねは逆に固有振動数を高く設定することが難しい。また金属ばねは、広い固有振動数に対応できるが、大振幅により疲労損傷の可能性がある。

このことから、実際の運用において低振動数帯に大きなエネルギーを有する地震波により繰り返し加振することを想定すると、空気ばねを使った防振対策が最も有効である。防振対策例を図4に示す。空気ばねは、加振テーブルを設置した鉄筋コンクリート基礎(浮き基礎)と建屋基礎との間に設置される。さらに浮き基礎側面と建屋基礎側面の間にパッシブ型の減衰装置を設置することで、衝撃加振による周辺への振動伝搬や正弦波等の加振

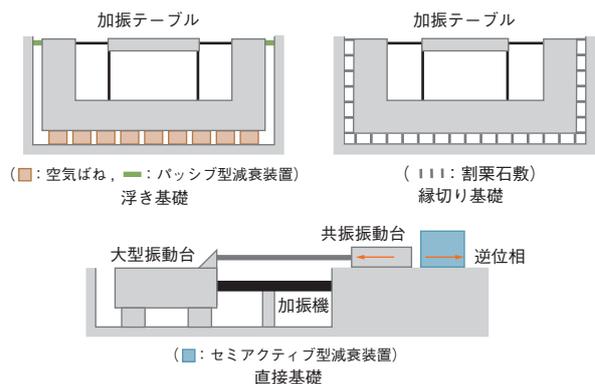


図4 防振対策例

に伴う共振振幅を抑えることができる。一方、動電式では電気油圧サーボ式ほどの加振力に対応する必要がない場合、割栗石により浮き基礎を地盤と縁切りすることで、周辺への振動伝播を防止している。他方、既存の大型振動台を駆動力として振動を増幅させる共振振動台が、直接基礎上に設置されるような場合の防振対策には、大型の減衰装置が有効である。共振振動台の近くにセミアクティブ型の減衰装置を併設し、逆位相に動かすことで、共振振動台による直接基礎の振動が打ち消され、周辺に伝播することが抑制される。

4. 安定した継続運用に向けた対応

本章では、地震シミュレーション用の試験装置の安定した継続運用に向けて不可欠な定期点検、分解点検修理（オーバホール）、緊急対応を考察する。

4.1 定期点検

定期点検は、安定した継続運用を可能にし、分解点検修理（オーバホール）や緊急対応の効率化につながるため極めて重要である。電気油圧サーボ式の場合、他の駆動方式と違い油圧関連装置等があるため、点検箇所が圧倒的に多く、点検を依頼する協力会社も複数にわたる。それに伴い点検期間も長くなるため、点検費用も高額となる。一方、特に電気サーボモータ式や永久磁石式の場合、点検箇所も少なく、点検の大部分を自らで実施することも可能である。

4.2 分解点検修理（オーバホール）

最も大掛かりな加振機のオーバホールは、高額で長期にわたるため、計画的な実施が重要である。その実施時期として、駆動方式によらず、運用開始後10~15年経過後が推奨される。ただし、電気サーボモータ式では摺動部へ適切なグリスの供給が定期点検で確認されれば、大規模な部品交換や工場での点検・較正の必要はない。また、机上計算により摺動部の磨耗をある程度予測できることから、推奨年数を定めず、使用頻度に応じてオーバホールを実施する場合もある。

いずれの駆動方式でも、すべての加振機を同時にオーバホールすることはなく、予備の加振機と交換しながら1本ずつオーバホールを行うか、数年を掛けて数本ずつ加振機のオーバホールを行う場合が多い。また、DUAL FORCEのような構造が複雑な加振機は1~2年程度のオーバホール期間が必要となるため、推奨年数が経過後に新品への交換も検討される。他方、オーバホールの時期に合わせて、より高性能な加振機へ更新する事例¹¹⁾もみられる。さらに蓄圧器等の増設といった加振性能を増強する事例^{12,13)}や、拡張加振テーブルの増設による加振対象の拡大を図る事例¹¹⁾もみられる。ただしこれ

らの場合、加振性能の向上に係る数値的な保証はメーカーから得られないことが多い。

4.3 緊急対応

電気サーボモータ式、動電式の振動試験装置は、運用時に緊急な対応を求められることはほとんどない。一方、電気油圧サーボ式の振動試験装置は油を使用することから、その運用時に故障などの不具合により緊急な対応を求められることがある。従って、メーカー選定にあたって、複数の会社で編成される保守体制より1社で完結できる保守体制の方が迅速な対応を実現できる可能性が高いことを考慮する必要がある。また、海外調達により納期が長い部品をあらかじめ備蓄すると共に、部品の在庫状況、調達先や調達期間などをメーカーにあらかじめ確認しておくことも重要である。緊急対応には、メーカーの社風が強く反映される。高額な電気油圧サーボ式の振動試験装置を長期間保有するにあたって、メーカーの対応の良し悪しが安定した継続運用に大きな影響を与えることに留意しなければならない。

5. おわりに

本稿では、地震シミュレーション用の試験装置を活用するうえでの留意点を、①高い加振性能を実現する技術、②厳しい環境制約を解決する技術、③安定した継続運用に向けた対応、の3つの観点で整理した。

「高い加振性能の実現」の観点でみると、電気油圧サーボ式が地震シミュレーション用の振動試験装置として最適であることに昔も今も変わりはない。しかしながら、電気サーボモータ式や永久磁石式では加振機の高性能化によって、電磁石式では電気サーボモータ式と組み合わせ、より高い加振性能を実現するための野心的な開発が続けられている。また、「厳しい環境制約の解決」や「安定した継続運用」を踏まえると、使用目的や頻度に応じて、電気油圧サーボ式から電気サーボモータ式や永久磁石式の振動試験装置への乗り換えが相次いでいることも理解できる。また、電気サーボモータ式や永久磁石式の振動試験装置であれば、メーカーの手を借りることなく保有機関が点検作業の大部分を実施できるため、国内はもとより海外拠点で導入・運用する際のリスクも低い。

一方、電気サーボモータ式や永久磁石式の振動試験装置を構造物の耐震対策ではなく人間の地震体感手段に使用する試みも増えている。E-Spiderはその代表例である。E-Spiderに採用されるスチュワートプラットフォーム型の振動試験装置は、フライトシミュレータやドライビングシミュレータにも使われており、体感シミュレータとしての実績が多い。さらに、これらの振動試験装置をAR、VR、AI、プロジェクションマッピング等の他の技術と組み合わせることで、より現実的な防災訓

練を実施することが可能となる。このように振動試験の有効性は構造物の耐震対策に留まらない。

筆者等は、DUAL FORCEを使って日々の業務を遂行する中、お客様からの様々な要望に応えるには、各駆動方式の振動試験装置を目的に応じて使い分けることも重要であると感じている。振動試験装置は、いずれの駆動方式であっても決して安価なものではないが、地震防災において極めて有効なツールである。振動試験装置を使って、さらなる構造物の耐震対策の普及や地震体感による防災意識の向上が図られ、地震による物的および人的被害が大幅に低減されることを期待したい。

[謝辞]

振動試験装置の見学をご快諾頂いた大林組関係各位、清水建設の熊谷仁志氏、大成建設の欄木龍大氏、電力中央研究所の酒井理哉氏に感謝する。

[参考文献]

- 1) 武智剛, 奥田賢持: 広帯域対応3次元振動試験システム「DUAL FORCE」と最新の振動試験事例, NTTファシリティーズ総研レポート, No.26, pp.43~49, 2015.6
- 2) 大谷圭一: E-ディフェンスの概要, 土木学会地震工学論文集, pp.1~4, 2003
- 3) 電力中央研究所: 大型振動台・共振振動台(見学会資料), 2019
- 4) 鹿島技術研究所: 高性能3次元振動台 W-DECKER, https://www.kajima.co.jp/tech/katri/research/fac_shindou/index-j.html, 2020.4.20
- 5) 製品評価技術基盤機構: NLAB試験装置仕様一覧, 2018
- 6) 金子美香, 熊谷仁志, 岡田敬一: 三次元大型振動台と三次元大振幅振動台の開発, 日本地震工学会論文集, Vol.16, No.9, pp.100~117, 2016

- 7) 松崎崇史, 小野哲也, 大平匠, 福嶋和明: 長周期地震動等に伴う室内安全に関する検証(その3)(地震火災予防対策に関する検討), 消防技術安全所報, Vol.54, pp.75~85, 2017
- 8) IMV株式会社: 動電式振動試験装置(事例紹介資料), 2019
- 9) IMV株式会社: IMV CORPORATION【DSS-No.14】耐震振動試験装置 事例動画 / Large Scale Earthquake Resistance Simulation System, <https://www.youtube.com/watch?v=4WHI3Twb-0s>, 2020.4.20
- 10) 大林組技術研究所 三次元振動台グループ: 三次元振動台の紹介 その2, 大林組技術研究所報, Vol.66, pp.117~120, 2003
- 11) 大成建設株式会社: リニューアルした大型三軸振動台の運用を開始, https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2017/170825_3532.html, 2020.5.7
- 12) 株式会社大林組技術研究所: 三次元振動台(見学会資料), 2019
- 13) 防災科学技術研究所: E-ディフェンスの長周期・長時間化改造工事, 2013



はやかわ あきら
早川 輝

EHS&S 研究センター技師 兼 耐震構造技術部課長代理
耐震・耐風構造に係るコンサルティング, 洪水・地震・土砂防災に係るODA事業に従事
Professional Engineer (PE) (Civil)



どい ひろし
土肥 博

取締役 EHS&S 研究センター上級研究員 兼 情報システム技術本部長
博士(工学)
構造設計一級建築士, 技術士(建設部門)
PMI認定PMP (Project Management Professional)

Synopsis

Technological Improvement and Continuous Operation of Earthquake Simulators

Akira HAYAKAWA

Hiroshi DOHI

The structural measures of buildings and equipment against earthquakes are studied based on various numerical analyses and experimental tests. Among them, the vibration test is such effective means for the evaluation of physical damages and functional problems that a scale model of buildings and steel towers or an actual machine for telecommunications or air-conditioning installed on a vibration table can be given experiences in the artificial shaking due to earthquakes.

NTT Facilities, Inc. introduced the first earthquake simulator in 1971 prior to the privatization of the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation and conducted many vibration tests to establish advanced vibration testing methods and earthquake resistant evaluation technologies. In 2010, the fourth earthquake simulator that can faithfully reproduce the shaking inside high-rise buildings during magnitude 8 class earthquakes was introduced and named “DUAL FORCE”. The sophistication of these methods and technologies is still being advanced using DUAL FORCE.

The earthquake simulator is required to have high excitation force and high reproducibility in a low frequency region of less than 10 Hz for common buildings. Therefore, the earthquake simulator based on an electro-hydraulic servo system represented by DUAL FORCE has been the mainstream. On the other hand, recently, as a next-generation environment-friendly system, the earthquake simulator based on a permanent magnet system has been in the spotlight and a series of examples of its introduction have come one after another. In addition, the earthquake simulator based on an electric servomotor system or an electromagnet system, which has been mainly adopted in other industries, has been developed as well.

Based on the aforementioned, the points to note regarding the future use of the earthquake simulator by comparing the performance of the conventional system using the electro-hydraulic servo and the new entry system using the electric servomotor, permanent magnet or electromagnet will be summarized in this report.