

巨大地震を想定した耐震性能試験

片岡 威^{*1}
Kataoka Takeshi

2011年3月11日に三陸沖を震源とした東北地方太平洋沖地震（マグニチュード9.0）が発生し、さらに最近では首都直下型大地震、東海、東南海、南海の3連動による南海トラフ巨大地震などの被害想定が発表され⁽¹⁾、巨大地震の発生が危惧されている。

そのような状況の中、当社では大型振動台を用いて構造物に実際の地震の揺れを与え、耐震性能を確認・検証する試験を実施している。本稿では、当社が使用している振動台および試験実施例を紹介する。

キーワード：耐震、地震、振動台

1. はじめに

当社が使用している振動台は、昭和57年に竣工し、国内において早い時期に導入された装置の一つである。その間、兵庫県南部地震（1995年阪神・淡路大震災、マグニチュード7.3）を契機に、「耐震」というキーワードが世間一般に広まったことを受けて、それまでの耐震安全性に厳しい原子力を主としたエネルギープラント関連の振動試験だけではなく、免震・制振装置、事務用品、家具などの他分野の製品についての耐震試験が多くなり、これまで以上に振動台へのニーズが高まっている⁽²⁾。振動台とそれに付帯する設備はIHI所有の設備であるが、IICは設備の維持管理、試験業務を委託されており、IHIの試験業務の他に社外からの受託試験も行っている。

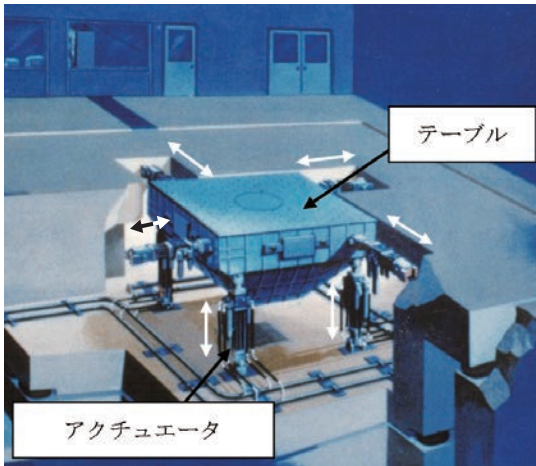
2. 振動台の仕様

振動台はIHI横浜事業所内の耐震実験場にある。振動台の構造を図1に示す。振動台本体をな

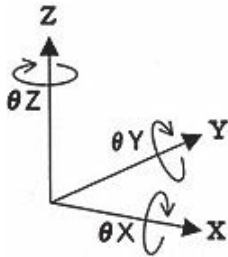
すテーブルは4.5m×4.5mの正方形をしており、荷重は35tonまでの積載が可能である。振動台を駆動するアクチュエータは油圧作動式で、加振力約50tonの油圧ジャッキが水平方向風車状に4機、垂直方向に4機の計8機装備されている。その8機すべてを稼働させ、水平2方向、垂直1方向、さらに各軸の回転方向を加えた3次元6自由度の加振が可能である。1方向のみの加振はもちろんのこと、すべての組み合わせで加振できるので、地震の揺れを忠実に再現させることが可能である。また、加振方向を容易に変えることができるため、試験体の設置替え作業が不要となり、効率良く試験を実施できる。

地震の揺れを再現させるには、気象庁や独立行政法人・防災科学技術研究所が運営している全国各地にある観測点の地震波観測データ（加速度波形データ）を入手し、振動台制御装置に登録する必要がある。現在、兵庫県南部地震、東北地方太平洋沖地震等の主要な地震については登録済みである。

*1：計測事業部 試験プロジェクト部 大型試験G



(a) 振動台の外観



(b) 加振の自由度

図1 振動台の構造

3. 振動台試験の実施例

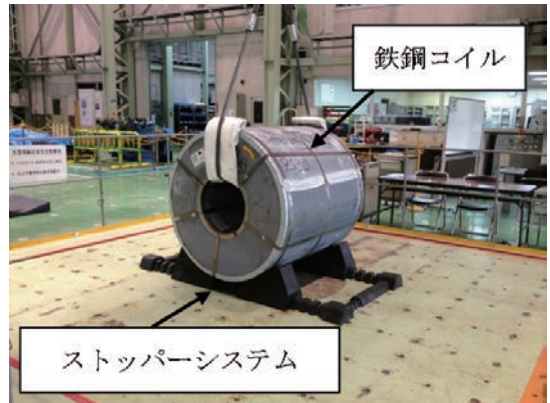
振動台試験の実施例として、コイルストッパー耐震試験と、免震床の性能確認試験を紹介する。

3.1 コイルストッパー耐震試験

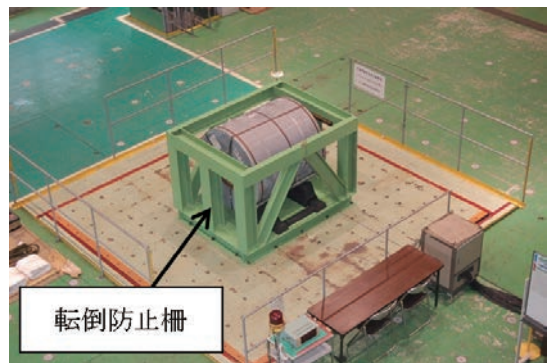
本試験は社外の受託試験であり、「コイルストッパーシステム」が東北地方太平洋沖地震クラスの巨大地震が発生した時に損傷、変形せずに安全性を確保できるか検証することを目的として実施した。背景には従来の木製ストッパーで平積みされた鉄鋼コイル（直径約 1,220mm、重量約 10ton）が、東日本大震災発生の際にストッパーの損傷で横転

した経緯があり、耐震試験を依頼された。

図2のグレーの円筒形が鉄鋼コイルで、それを支持する置台が今回の試験体であるストッパーシステムである。また試験の時は安全対策として転倒防止柵の中に入れて実施した。



(a) 試験体の外観



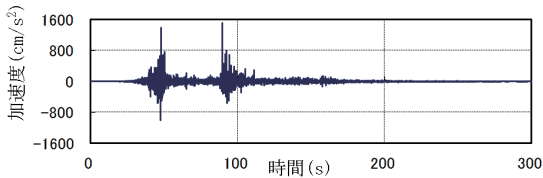
(b) 加振試験の状況

図2 鉄鋼コイルとストッパーシステム

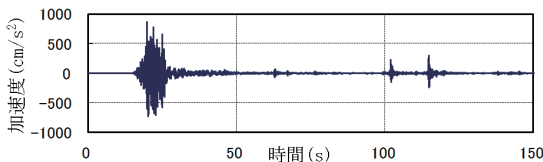
3.1.1 試験方法

加振波はすべて地震波とした。今回は3種類の地震波の要望があり、表1に示す通り①東北地方太平洋沖地震（K-NET 仙台観測波）、②新潟中越地震（K-NET 長岡支所観測波）、③兵庫県南部地震（神戸海洋気象観測波）の地震波を用いて試験を行った。地震波のレベルは震度4、5強、6強

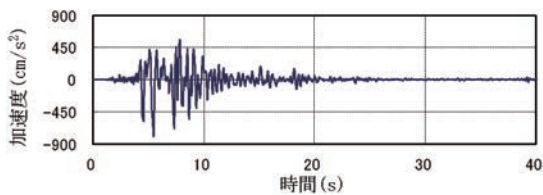
相当の3段階とし、各地震波においてレベルの低い順から試験を行った。ただし、震度4については、①仙台観測波のみ実施した。また、3種類の地震波については観測波形（図3参照）そのままでは振動台の加振仕様を超えるため低周波成分を除去するハイパスフィルター処理を行い、振幅レベルを調整した波形で試験を行った。



(a) 仙台観測波（原波）NS波



(b) 長岡支所観測波（原波）NS波



(c) 神戸海洋気象台観測波（原波）NS波

図3 試験に用いた地震波

3.1.2 計測

計測は試験体への入力加速度を確認するため、振動台、転倒防止用架台に加速度計を各3方向設置して時刻歴応答波形を計測した。

また、震度階の算出については、気象庁が発表している「計測震度の算出方法」⁽³⁾を導入し、プログラム化している。同プログラムに実際に計測された加速度の時刻歴応答波形を入力すれば計測震度の数値を容易に算出することができる。

3.1.3 試験結果

耐震試験の結果、最大加振の震度6強相当の揺れでコイルは横転しなかった。ストッパシステムも損傷することなく、耐震性が実証された。また、計測された加速度波形データより、計測震度を算出して、想定通り震度6強相当の地震波が入力されたことを確認した。なお、本試験中に鉄鋼新聞社の取材があり、後日同社新聞に本内容が掲載され⁽⁴⁾、ストッパの耐震性と振動台の本試験への寄与が紹介された。

3.2 免震床の性能確認試験

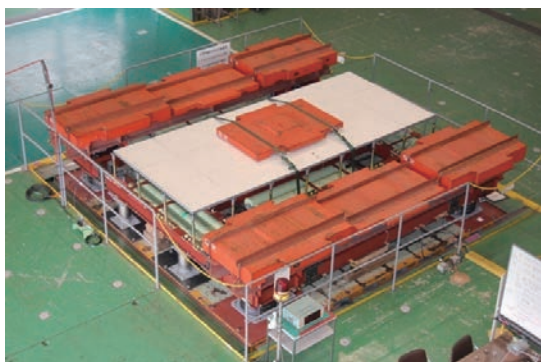
免震床とは、建屋のコンクリート床板上に免震装置を設置して、フロアの地震時の揺れを低減させるシステムである。現在、銀行などの社会的に重要な機関のコンピュータシステムにおいて、巨大地震時の揺れを低減させ、機能を正常に維持させることが重要な課題となっている。そうした中で水平方向は建屋全体の免震を利用し、上下方向

表1 地震波の一覧

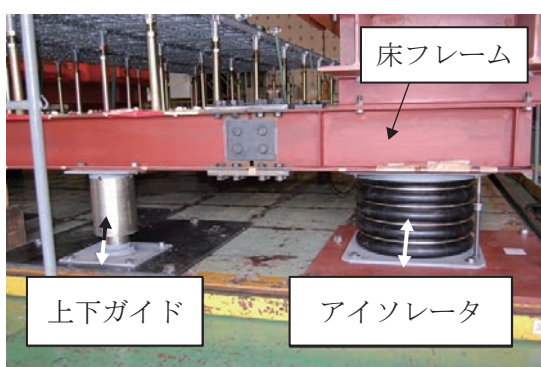
番号	地震名称	発生日	観測点
①	東北地方太平洋沖地震	2011年3月11日	K-NET仙台
②	新潟中越地震	2004年10月23日	K-NET長岡支所
③	兵庫県南部地震	1995年1月17日	神戸海洋気象台

のみに免震機能をもたせた免震床へのニーズが高まっている⁽⁵⁾。

IHIはアイソレータと呼ばれる空気ばねによる機構部と自動レベリング装置を備えた免震床システムを開発しており、免震性能とあわせて、設置する条件を考慮してアイソレータの仕様を設計し、振動台による性能確認試験を行っている。図4が試験の状況である。供試体は免震床の最小単位となる基本構造で構成され、4個のアイソレータで支持されている。振動台から入力される上下方向の振動はアイソレータによって低減される。



(a) 試験の状況



(b) 上下ガイドとアイソレータ

図4 免震床の性能確認試験

3.2.1 試験方法

まず、設置した免震床が設計通りであることを確認するために、正弦波による掃引試験を行い、免震床の振動特性を確認した。次に地震時の免震性能を確認するために地震波加振試験を行った。入力波には実際の状況を模擬するために、解析で得られた免震床設置階におけるコンクリート床板の応答波を用いた。

3.2.2 計測

計測には上下方向を対象に加速度計とレーザー変位計を使用した。加速度計は入力加速度を計測するために振動台上に1台、免震床上の応答加速度を計測するために中央と四隅の計5台を設置した。また、レーザー変位計は振動台と免震床の相対変位を計測するために、アイソレータ近傍2箇所に設置した。

3.2.3 試験結果

正弦波掃引試験では、振動台加速度を基準とした免震床中央部の加速度の伝達関数を算出した。得られた結果より、設計通りの固有周期と減衰であることが確認できた。地震波加振試験では、図5の計測された加速度波形より、振動台は最大 $1,000\text{cm/s}^2$ を超える入力波形であったのに対し、免震床の最大加速度は約 $1/7$ に低減されており、免震性能が実証された。また、今回の免震床性能確認試験は 200cm/s^2 以下が目標値であり、満足な結果を得ることができた。

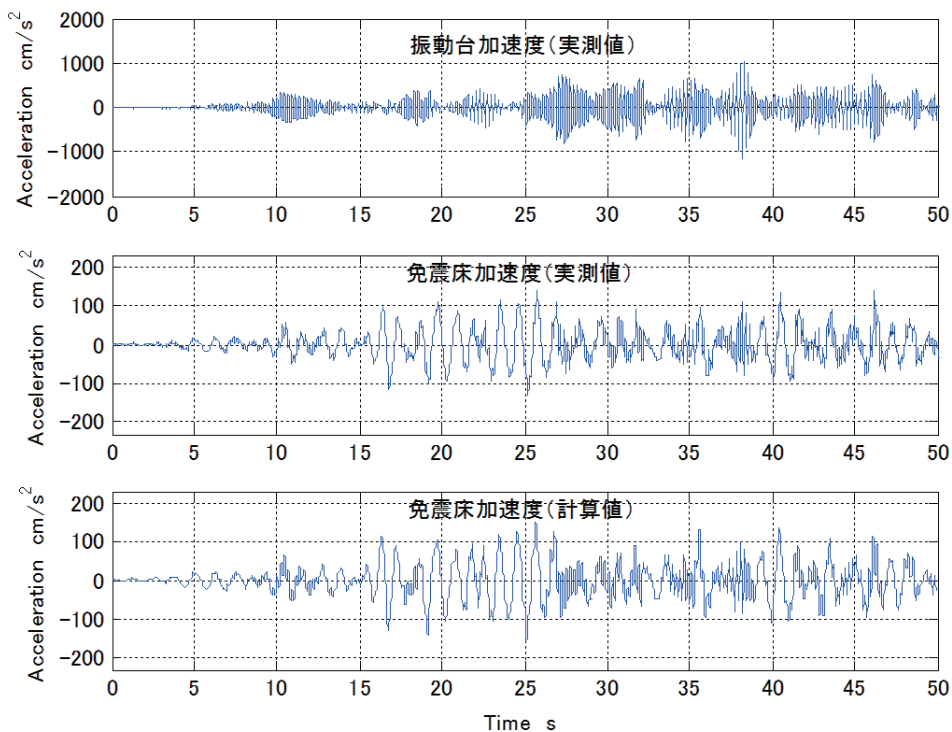


図5 加速度波形

4. 制御装置の更新

振動台は昭和57年の竣工以来、各種メンテナンスおよび部分的な修理、交換を行ってきたが、このほど初めて制御装置全体を更新することになった。現状の装置では、振動台の操作はダイヤルやボタンスイッチ等のアナログ式コントローラで行っており、入力信号も一部を除きアナログ信号である。こうしたアナログ式コントローラの内部は多くの電子基板で構成されており、中にはすでに製造されていない部品、代替品すらないものもあることから、故障箇所によっては修理不可能な場合も生じるようになった。

今回の制御装置更新では、すべてがデジタル化され、振動台操作はパソコン上で行うことになる。新しいデジタル制御が取り入れられるので、波形の再現精度がより向上することが期待される。

5. おわりに

今回は主に地震波加振試験の紹介となったが、その他の試験としては、JIS規格に準拠した試験や周波数一定で規定時間加振し試験体の耐久性を確認する試験等も行っている。

前述のように、巨大地震の発生が危惧されており、今後も耐震試験の需要が増えることが予想される。これからも機器、構造物等の耐震性能試験に貢献できるように、試験技術の向上に努めていく所存である。

参考文献

- (1) 「地震・津波対策」、内閣府防災情報のページ、
<http://www.bousai.go.jp/jishin/index.html>
- (2) 桜井朋樹、“振動試験で何がわかるの?～
振動台試験とその適用例～”、IIC REVIEW
No. 29 (2003)
- (3) 「計測震度の算出方法」、気象庁 HP、[http://
www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/
calc_sindo.htm](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm)
- (4) 「大東工機、耐震試験で証明」、鉄鋼新聞社、
2013年5月27日掲載
- (5) 小池裕二、風間睦広、井澤竜生、早野哲央、
今関正典、“コンピュータシステム用免震床
における最近の適用と長周期化への取組み”、
IHI 技報 Vol. 53 No. 1 (2013)



計測事業部 試験プロジェクト部
大型試験 G
TEL. 045-759-2085
FAX. 045-759-2119
耐震実験場
TEL. 045-759-2063
FAX. 045-759-2064
片岡 威