

定荷重支持機構の組み合わせによる上下・水平 2 次元免震装置の振動台実験

発表部門

免震

固有周期

細分類

上下動

定荷重バネ

共振

転倒

正会員 ○川端慎也*

同 前沢皓生*

同 吉田亘利**

同 梶井健***

同 荒木慶一****

1 序

2004 年の新潟県中越地震において、十日町市博物館では国宝の縄文土器が水平免震台上に展示されていたにもかかわらず転倒して破損した。神庭ら[1]は、水平免震台上に設置した器物の応答を観察するために振動台実験を行い、強い上下動を伴う地震動に対して器物が転倒する危険性が高くなることを指摘した。このような状況の下で、水平方向のみならず、上下方向にも高い免震性能を有する免震装置の開発が望まれている。

上下方向免震が水平方向免震と大きく異なるのは、重力が振動に影響をもたらすという点である。水平方向免震では、地面と免震対象物の間にゴムやバネのような低剛性要素を用いることで、地面の振動を免震対象物に伝わりにくくする。同様に上下免震にも低剛性要素を用いると、免震装置の固有周期が 2 秒なら約 99cm、3 秒なら約 224cm といった過大な鉛直変位が、重力の影響によって生じてしまう。

そこで本論では、(1)鉛直方向に過大な変位を生じない、(2)上下方向の大きな加速度を軽減できるという性能を両立させることを目指して、定荷重バネという特殊なバネを用いた上下免震装置と水平免震装置を提案し、これらを組み合わせることで、上下・水平 2 次元免震装置を構成する。定荷重バネとは、一定の曲率で曲げられた板バネで、直線に伸ばした時に生じる戻り力はストロークに関わらず一定のバネである。また、それらの装置を用いて振動台実験を行い、最大加速度が 1G を超えるような強い上下動が器物の転倒にどのような影響を与えるかを調べると共に、開発した上下・水平 2 次元免震装置の器物転倒防止に対する有効性を検討する。

2 振動台実験

2.1 実験条件

本実験では図 1 に示す装置を試作した。上下免震装置は作動させずに固定し、水平免震装置のみを作動するパターンと、上下・水平免震装置両方を作動するパターンの 2 パターンについて実験を行う。どちらパターンでも、入力する地震波や計測条件などは同一である。

実験ではバランスウェイトとして 14.7kg の鉄板をテーブル部に設置し、その上に免震対象物として木材を設置した。木材の重量は 1.46kg、寸法は 8cm×8cm×40cm で、アスペクト比 5 である。

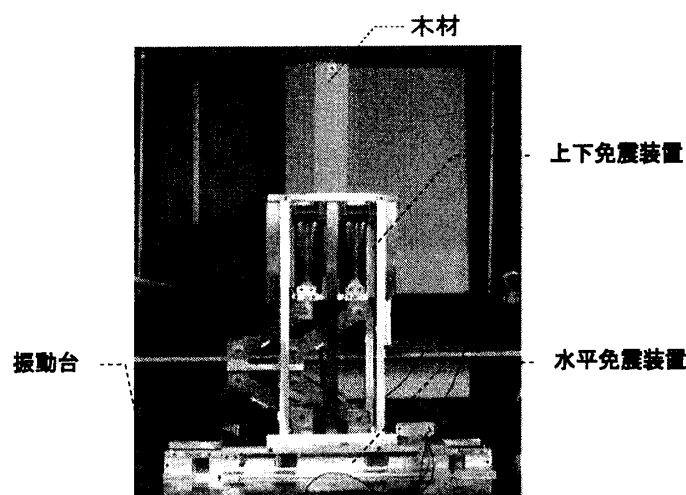


図 1 上下・水平 2 次元免震装置

加速度計を振動台上、バランスウェイト上に設置し加速度を計測する。デジタル画像計測器により変位を計測する。サンプリングレートは加速度、変位ともに 1000Hz である。

2004 年の新潟県中越地震において、JMA 小千谷城内と K-NET 小千谷で記録された波形を入力地震波とする。水平方向は、振動台と水平免震装置のストロークの限界を考慮して、EW 方向を原波の 70%、60%に低減した地震波を入力する。上下方向は、上下方向の振動の影響を明らかにするために、UD 方向の原波に対する倍率をパラメータ Λ として、0%、100%、120% というように変化させた地震波を入力する。

2.2 結果と考察

2.2.1 水平免震のみの場合

- (i) $\Lambda = 0\%$ の時、水平免震装置は水平方向の応答加速度を大きく低減した。上下方向に大きな加速度が見られるが、これは振動台の制御の問題によるものと考えられる。
- (ii) $\Lambda = 120\%$ の時、上下のみならず水平の応答加速度が増幅した。水平応答加速度の時刻歴応答の形状が、水平地動加速度よりも上下地動加速度に似ていることから、強い上下動によって水平免震装置のテーブル部にロッキングやジャンプが生じ、これに伴い摩擦力の増大やテーブル部に衝撃力が発生し、水平応答加速度の増幅に至ったと考えられる。

Shaking-table Tests of Two-dimensional Seismic Isolation Device Using Constant Load Supporting Mechanisms

KAWABATA Shinya, MAEZAWA Kosei
YOSHIDA Nobutoshi, MASUI Takeshi, ARAKI Yoshikazu

(iii)表 1 から、強い上下動によって水平免震装置上に設置された器物の転倒の危険性が高くなったことがわかる。

2.2.2 上下・水平 2 次元免震の場合

(i) $\Lambda=120\%$ の時、図 11 に示すように、どちらの方向も応答加速度を低減できた。上下免震装置によって免震対象物が定荷重バネで常に支持された状態にあるため、その反作用の力によって水平免震装置のテーブルを押さえつけられ、テーブルのロッキングを低減できたと考えられる。その一方で、完全にロッキングを抑制できていないために、 $\Lambda=0\%$ の時ほど応答加速度を低減できなかったと考えられる。

(ii)表 1 と表 2 から、上下免震装置によって免震装置上に設置された器物の転倒の危険性は大きく低減されたことがわかる。

3 結論

振動台実験によって、1G を越える上下方向の加速度を持つ地震波を入力し、上下・水平 2 次元免震装置の上に設置された木材の応答を観察した。その結果、水平免震装置のみを作動させた場合、強い上下動を入力すると木材に転倒や激しいロッキングが生じ転倒しやすくなる傾向が確認できた。一方、上下・水平免震装置を共に作動させた場合、木材にほとんどロッキングが生じず、転倒の危険性を大幅に低減できることが分かった。このことから強い上下動を伴うような地震には、上下免震装置の利用が免震対象物の転倒の防止に有効であると結論できる。

参考文献 [1]神庭信幸：地震対策としての免震装置の適切な利用法に関する検討，私たちの文化財を救え!!，クバプロ，pp. 44-46，2007 [2]浅井健彦，吉田亘利，榎井健，荒木慶一：定荷重支持機構の組み合わせからなる上下免震装置，日本建築学会構造系論文集，Vol.73, No.631, pp.1511-1518, 2008

表 1 免震装置上の木材の応答(水平免震のみ)

$\Lambda(\%)$	試行回数	JMA Ojiya	K-Net Ojiya
0	1 回目	1	1
100	1 回目	2	2
120	1 回目	3	3
120	2 回目	2	2
120	3 回目	2	2
120	4 回目	2	3

1: ロッキング無し、軽いロッキング、2: 激しいロッキング、3: 転倒

表 2 免震装置上の木材の応答(上下・水平免震)

$\Lambda(\%)$	試行回数	JMA Ojiya	K-Net Ojiya
0	1 回目	1	1
100	1 回目	1	1
120	1 回目	1	1

1: ロッキング無し、軽いロッキング、2: 激しいロッキング、3: 転倒

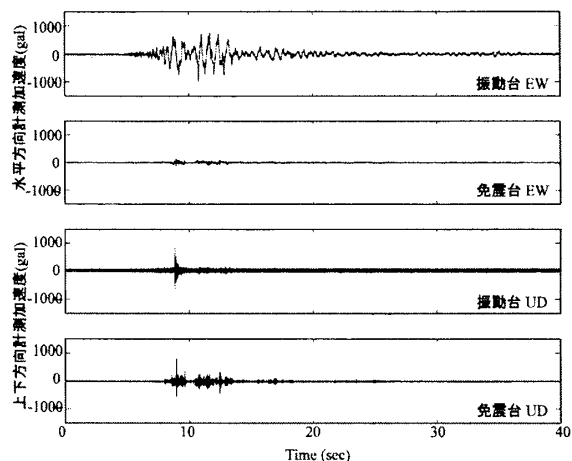


図 2 計測加速度(水平免震のみ $\Lambda=0$)

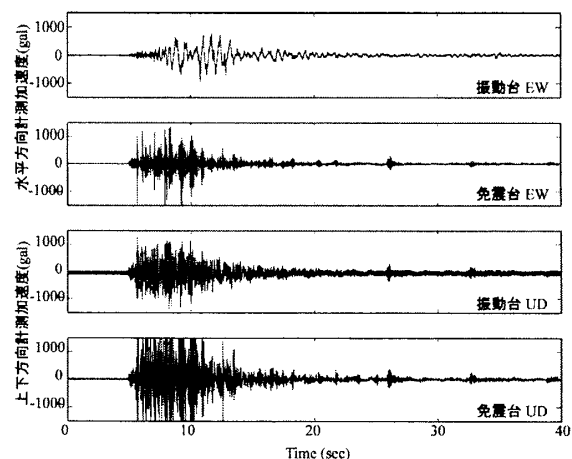


図 3 計測加速度(水平免震のみ $\Lambda=120$)

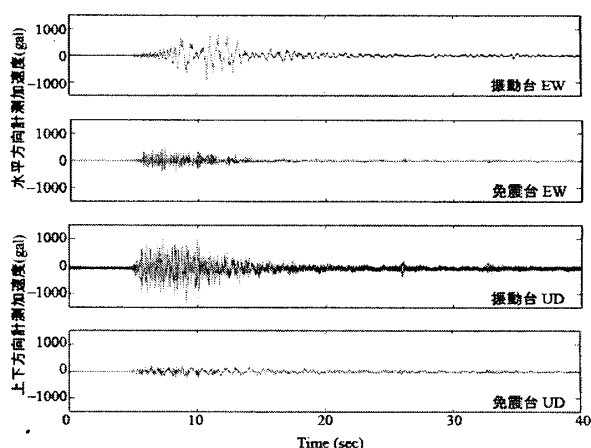


図 4 計測加速度(上下・水平免震 $\Lambda=120$)

*京都大学大学院建築学専攻 大学院生・修士(工学)

**京都大学大学院桂インテックセンター技術職員

***関西大学建築学科 准教授・博士(工学)

****京都大学大学院建築学専攻 准教授・博士(工学)

*Graduate Student, Department of Architecture and Architectural Engineering, Kyoto University

**Research Engineer, Katsura Int'tech Center, Kyoto University

***Associate Professor, Department of Architecture, Kansai University, Dr.Eng

**** Associate Professor, Department of Architecture, Kyoto University, Dr.Eng