

予引張あるいは予圧縮ばねを利用した免震床の研究 (第5報 実大モデルについての実験—その2—)

An Earthquake Isolation Floor Using Pre-Tensed or Pre-Compressed Springs
(5th Report: Experiments of An Actual-Size Model - Part 2 -)

藤田 隆史*・服部 忍*・石田 二郎*
Takafumi FUJITA, Shinobu HATTORI and Jiro ISHIDA

1. ま え が き

本報では免震床の実大モデルによる正弦波加振実験と地震波加振実験の結果について述べる。

加振実験の計測は、振動台、免震床上の代表点(4個の免震装置の中央)、4個の免震装置の各可動部分中央におけるX、Y方向の加速度を測定するほかに、コンピュータ機器(CPU, MT, DISK)の上部での加速度と免震装置の可動枠の歪を測定している(第4報の図5参照)。このうち、最も重要な計測は免震床上の代表点での加速度測定であり、以下に述べる実験結果はこの測定結果によるものである。ただし、このデータだけでは免震床の回転運動についての情報は得られないが、すべての実験を通して、回転運動はX、Y方向の並進運動に比べて、免震性能に関しては無視しても差し支えない程度のものであったことを述べておく。

2. 正弦波加振実験の結果と考察

2.1 一方向加振実験

正弦波による一方向加振実験はX方向についてだけ行われた。図1.2はおのおの正弦波入力の変位振幅 a 、加速度振幅 A を一定とした場合の、免震床上の代表点におけるX方向の応答加速度の共振曲線である。

免震性能に関して両図の結果を見ると、いずれの場合にも十分な免震効果が認められ、入力変位振幅あるいは入力加速度振幅が増大しても応答加速度はさほど変化していないことがわかる。次に、振動特性に関して図1の結果を見ると、共振曲線はソフトスプリング型のそれであり0.6 Hz付近に跳躍現象が見られるものの、免震装置単体の場合の共振曲線¹⁾と比較すると履歴現象は顕著ではない。また、図1.2の共振曲線には谷や山が認められ、当然のことながら、免震装置単体の共振曲線よりも複雑になっている。

本実験では免震装置単体の場合に見られた分数調波共振^{1,2)}は発生しなかった(免震装置単体についての解析²⁾をそのまま用いると、今回の実験条件は分数調波共振が

*東京大学生産技術研究所 第2部

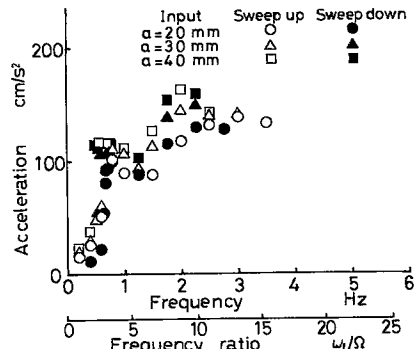


図1 正弦波一方向加振による共振曲線(入力変位振幅が一定の場合)

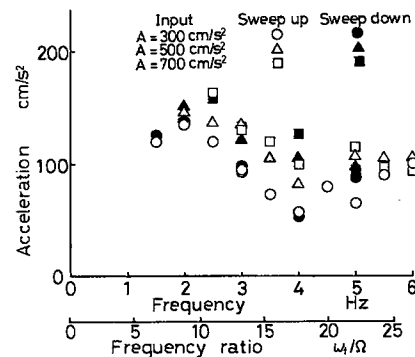


図2 正弦波一方向加振による共振曲線(入力加速度振幅が一定の場合)

発生するはずの実験条件であったが)。この理由として、実大モデルでは免震装置を複数個使用しているため、各装置間の運動に位相差が生じるなどの外乱が多くなり、分数調波共振が不安定になるのであろうと推定される。上述の図1.2の実験結果は調共振によるものである。

2.2 二方向加振実験

正弦波による二方向加振実験では、加振入力として、そのベクトルの先端が反時計回りの円を描くような入力(X方向とY方向の振幅は等しく、Y方向の位相がX方向の位相より $\pi/2$ だけ進んだ入力)が用いられた。図3.4はおのおのの入力変位振幅 a_x, a_y ($a_x = a_y$), 入力加速度振

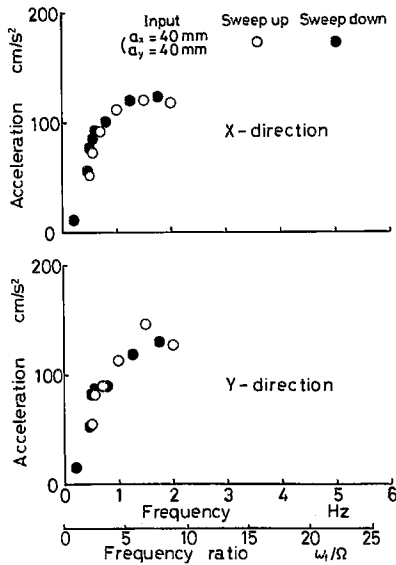


図3 正弦波二方向加振による共振曲線 (入力変位振幅が一定の場合)

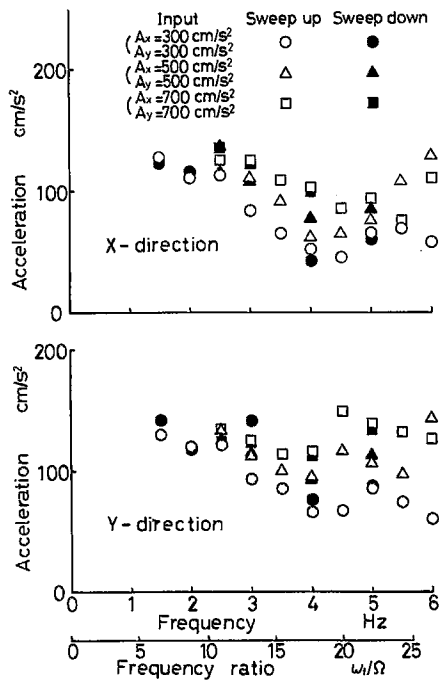


図4 正弦波二方向加振による共振曲線 (入力加速度振幅が一定の場合)

幅 A_x , A_y ($A_x = A_y$) を一定とした場合の、免震床上の代表点における X, Y 方向の応答加速度の共振曲線である。また、図5は入力変位振幅が $a_x = a_y = 40\text{mm}$ の

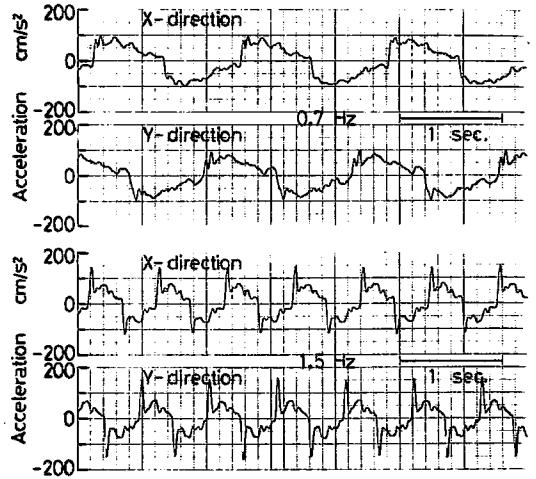


図5 正弦波二方向加振による応答加速度波形 (入力変位振幅が $a_x = a_y = 40\text{mm}$ の場合)

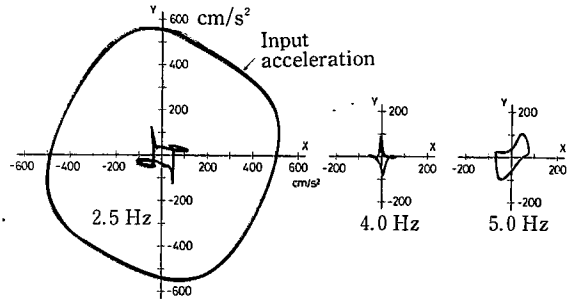


図6 正弦波二方向加振による応答加速度のリサージュ図形 (入力加速度振幅が $A_x = A_y = 500\text{cm/s}^2$ の場合)

場合の応答加速度波形である。図6は入力加速度振幅が $A_x = A_y = 500\text{cm/s}^2$ の場合の X, Y 方向の応答加速度が描くリサージュ図形であり、2.5 Hz の場合には入力加速度のリサージュ図形も示されている。

図3.4および図6の結果を免震性能の観点から見ると、二方向加振の場合にも一方向加振の場合と同等あるいはそれ以上の免震性能が得られている。また、図3.4.5を振動特性の観点から見ると、X, Y 方向の応答間に顕著な差がないことに気付く。そこで、図3.4をそれぞれ一方向加振の場合の図1.2と比較すると、図2と図4の共振曲線は類似していることがわかる。しかし、図1と図3を比較すると、応答加速度の大きさにはさほど差がないが、図3の共振曲線には跳躍現象や履歴現象がほとんど見られず、ソフトスプリング型の非線形特性の点で違いが認められる。

この場合にも分数調波共振は発生しなかった (免震装置単体の斜め加振の場合には分数調波共振が発生した³⁾)。図3~6の結果は調波共振によるものである。

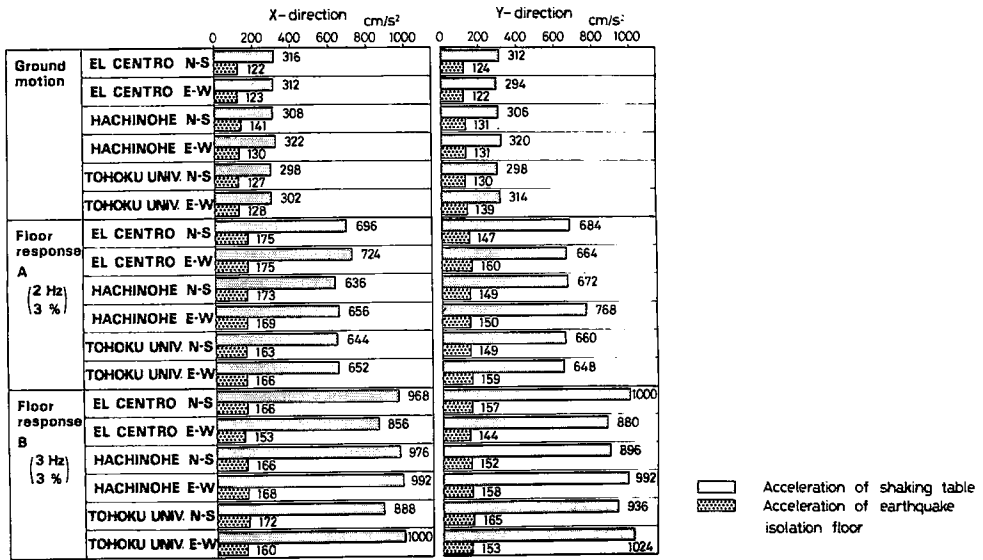


図7 地震波一方向加振における免震性能

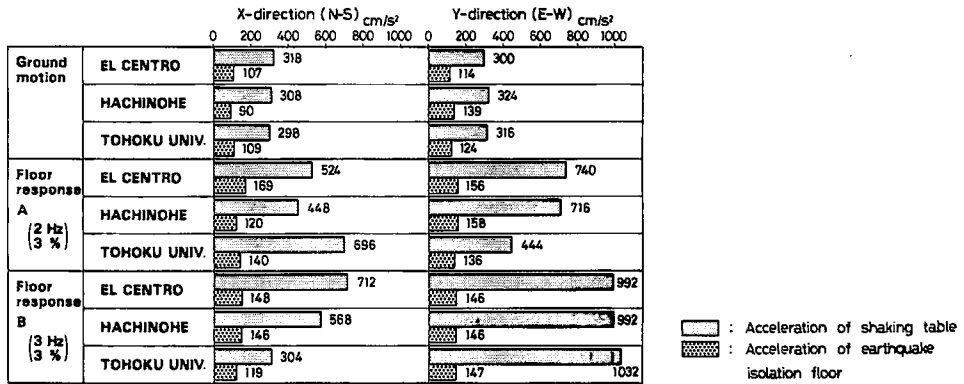


図8 地震波二方向加振における免震性能

3. 地震波加振実験の結果と考察

3.1 一方向加振実験

地震波による一方向加振実験には、地動の実地震波として El Centro (1940年 Imperial Valley 地震), 八戸 (1968年十勝沖地震), 東北大学 (1978年宮城県沖地震) でのNS方向とEW方向の記録を用い、地動6波のほかに各波の床応答として、固有振動数 2 Hz または 3 Hz、臨界減衰比 3%の一質点系の応答加速度波 (2 Hz の場合を床応答 A, 3 Hz の場合を床応答 B と呼ぶ) を作成し、合計 18 波の加振波が用いられた。さらに、加振方向も X 方向と Y 方向について実験が行われた。

図7には各場合の入力地震波の最大加速度と免震床の最大応答加速度が棒グラフで示されている。入力地震波の最大加速度は振動台からの制約により、地動では 300

gal 程度、床応答 A では 700 gal 程度、床応答 B では 1 G 程度になっている。これに対して免震床の最大応答加速度は、地動入力の場合には 120~140 gal 程度、床応答入力 (A, B) の場合には 150~170 gal 程度であり、一見して十分な免震効果のあることがわかる。

3.2 二方向加振実験

地震波による二方向加振実験では、X, Y 方向入力に上述の3種類の実地震波の地動、床応答 A, 床応答 B の NS, EW 方向成分をそれぞれ用い、合計 9 通りの二方向加振入力を用いられた。その場合の X (NS) 方向と Y (EW) 方向入力の最大加速度の大きさは、地動では同じとし、床応答では建物フィルターによる各方向の応答倍率に比例する大きさとした (地動レベルに直すと NS 方向と EW 方向の最大加速度は等しくなる)。

図8には各場合の X, Y 方向について、入力地震波の

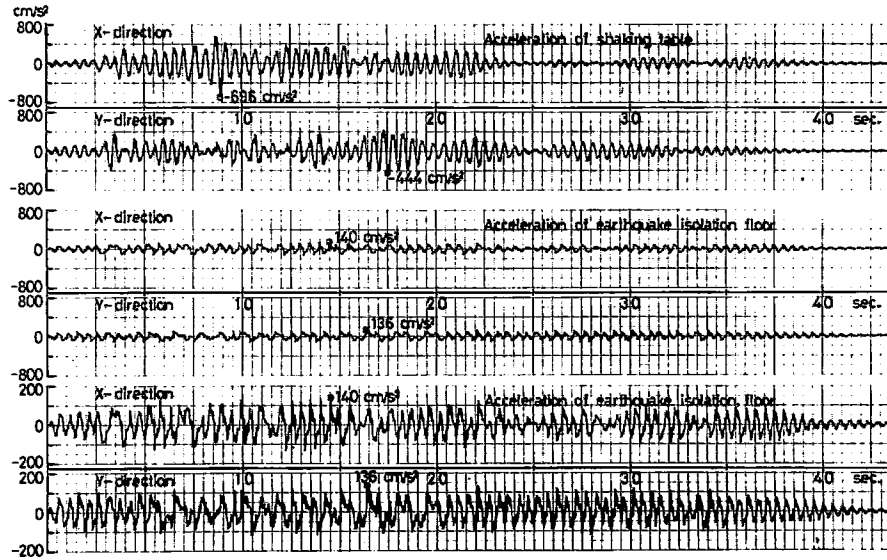


図9 地震波二方向加振による応答加速度波形 (東北大学での記録の床応答Aの場合)

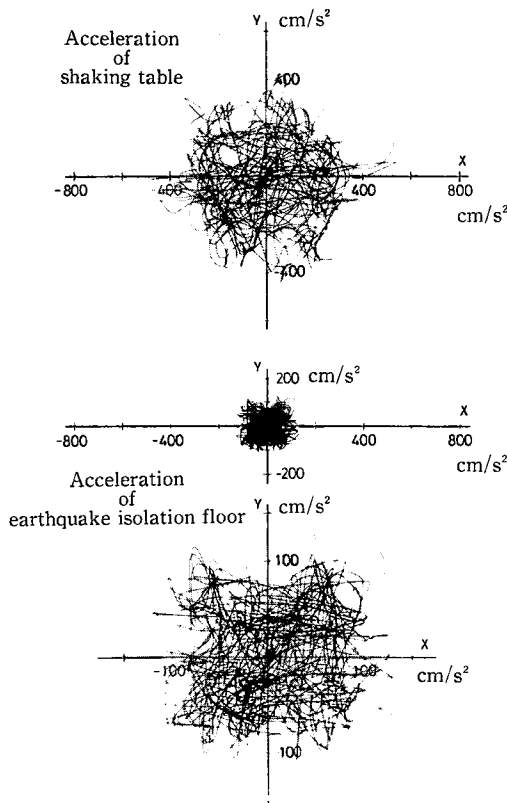


図10 地震波二方向加振による応答加速度のリサージュ図形 (東北大学での記録の床応答Aの場合)

最大加速度と免震床の最大応答加速度が棒グラフで示されている。図9は東北大学での記録の床応答Aの場合の、X、Y方向の入力地震加速度波形と免震床の応答加速度波形(縦軸のスケールを2通りに変えて示してある)である。図10は図9の場合の入力加速度と応答加速度(座標のスケールを2通りに変えて示してある)のリサージュ図形である。この実験が今回の実験の中では最も現実に近い加振条件であったが、図8～10に示されているとおり、この場合にも十分な免震性能が実証されている。

4. あとがき

免震床の実大モデルによる実験の結果、本免震床は十分な免震性能を有していることが実証され、実用化への見通しがついたと言える。それと同時にいくつかの改良すべき点も見つかっており、今後はそれらの問題を検討してゆく必要があると思われる。最後に、第4報にも記されているとおり、本実験には多数の方のご協力をいただいた。関係各位に心から感謝の意を表する。

(1980年10月25日受理)

参考文献

- 1) 藤田, 服部, 石田; 予引張あるいは予圧縮ばねを利用した免震床の研究 (第1報), 生産研究, Vol. 32, No. 8 (1980)
- 2) 藤田; 同 (第2報), 生産研究, Vol. 32, No. 10 (1980)
- 3) 藤田, 服部, 石田; 同 (第3報), 生産研究, Vol. 32, No. 12 (1980)