フリーアクセスフロアの耐震性評価用入力波の設定

フリーアクセスフロアの耐震性の簡易評価方法に関する基礎的研究

CONFIGURATION OF INPUT WAVE FOR EVALUATING SEISMIC RESISTANCE
ON FREE-ACCESS FLOOR

Fundamental study on evaluation method for seismic resistance of free-access floor

横山 裕*¹, 片木 詩子*², 横井 健*³, 小野 英哲*⁴Yutaka YOKOYAMA, Utako KATAGI, Takeshi YOKOI
and Hidenori ONO

This study aims at configuring the input wave, as a substance, so as to evaluate the seismic resistance of free-access floors. Approach used in this study is described in procedural manner as follows; At first, the behavior of specimen is observed, imputing real seismic waves, which is picked up on behalf of free-access floors. Next, as abstracted parts impacting the behavior of specimen by real seismic waves, input waves are obtained. And then, simple vibration table is made to reproduce input waves. Finally, it is configured that an input wave for evaluating the seismic resistance of free-access floors, substituted for real seismic waves.

Keywords : Free-access Floor, Seismic Resistance, Evaluation Method, Input Wave, Vibration Table

フリーアクセスフロア, 耐震性, 評価方法, 入力波, 振動台

1. はじめに

電気機器や通信機器のための各種配線などを床下に収納し、任意の場所で適宜取り出せるように工夫したフリーアクセスフロアは、近年、我が国のオフィスなどで、床下地(おもにコンクリートスラブ)と仕上げ(おもにタイルカーペット)の間に設けられる中間層として、多用されている。現在、フリーアクセスフロア(以降、FAと記す)には、様々なタイプがあり、今後もさらに多様化することが予想される。

ここで、床は、建築物内での人々の活動を支える基盤となる部位であることから、非構造部材であるFAに関しても、地震時に最低限、床上の人間が安全に避難できるだけの安全性を確保する必要があると考えられる。しかし、FAの耐震性に関する試験方法が明確な工学的根拠に基づいて規定された公的規格はみあたらない。そのため、FAの耐震性の検討にあたっては、現在、静的な水平荷重に対する耐力を実験的、解析的に求める方法や、振動台を用いて特定の実地震波や振動数を連続的に変化(スイープ)させた正弦波を入力し挙動を観察、測定する方法などがよく用いられている。しかし、前者は、動的な特性を検討するうえで必ずしも実状に即しているとはいいがたく、また後者は、一般性、簡便性の観点から改善の余地があるといえる。

本報は、FAの耐震性を一般性、簡便性のある方法で動的に検討す

るのに用いる、正弦波を基本とした耐震性評価用入力波を設定した経過、結果を述べるものである。なお、本報の一部は、日本建築学会大会で発表している^{1),2)}。

2. 目的、範囲

本研究は、FAの耐震性の簡易評価方法の骨子となる、耐震性評価用入力波を設定することを目的とする。

FAの耐震性の評価は、基本的に、実在する、あるいは今後開発されられると思われる様々なタイプのもの全てが、共通の方法でなされるべきと考えられる。また、耐震性には、パネルや支柱などFAを構成する各部材の強度だけでなく、接合部のディティールなど種々の要因が複雑に影響する。このことは、FAの地震時の挙動を解析的に予測したり静的な実験により把握するのは困難であること、およびパネルや支柱などFAの構成部材の一部を取り出したり根拠なく簡略化、標準化することなどは避け、実際に床として使用に供される状態、すなわち有り姿のFAの評価ができるようにする必要があることを意味している。しかし、有り姿のFAの耐震性を実験的かつ動的に検討する場合、現状では、比較的高価な振動台を用い、大規模な実験を実施しなければならない。このため、地震国である我が国でありながら、FA

*¹ 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 助教授・工博*² 東京工業大学大学院 修士(工学)*³ 東京工業大学大学院 21世紀COE研究員(PD)・博士(工学)*⁴ 東京工業大学 名誉教授, 東北工業大学建築学科
教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., Graduate School of Science and Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate School, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

21st Century COE Postdoctoral Fellowship, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Tohoku Institute of Technology, Dr. Eng.

の耐震性の評価は、あまり一般的になされていないのが現状である。

本研究では、FAの耐震性の評価をより一般的にするうえで必要な、比較的安価でかつ簡単な構造の振動台でも再現可能な入力波を設定する。また、本研究では、設定した入力波を再現し、比較的小規模な実験でFAの耐震性を簡易に評価できる振動台の設計、試作も、あわせて行う。

なお、実在するFAの耐震性の具体的な評価は、本研究の範囲外とする。

3. 既往の研究

FAの耐震性の評価方法に関する研究例は、本研究の一部を速報した筆者らの報告^{1),2)}以外見あたらない。

また、現在、FAの耐震性の評価方法を規定した公的規格としては、国内外を通して、社団法人公共建築協会の建築材料・設備等機材品質性能事業に係わる評価基準(平成11年版)³⁾が挙げられるのみである。この規格では、固定台による耐震性能試験(水平加力試験)と振動台による耐震性能試験の2種の試験方法が規定されている。前者は、FAの支柱頂部を静的に水平加力した際の挙動を観察、測定するものであり、後者は、FAを6→2.6Hzまたは6→1.5Hzの正弦波でスイープ加振した際の挙動を観察、測定するものである。どちらの試験方法を適用するかは、FAの設計床高さと構法により定められている。しかし、これらの試験方法の設定経緯や工学的根拠は明らかにされておらず、現段階ではあくまでも暫定的な規格と位置付けるのが適当と考えられる。

一方、現在製品化されているFAの一部では、施主などの要求に応じて、上記公共建築協会評価基準などを参考に、支柱頂部に水平荷重を与えた際の静的挙動や、実地震波あるいは正弦波に対する動的挙動に関する検討が独自になされており、個々には比較的多くのデータが蓄積されているものと思われる。しかし、一連の結果が体系的に報告された例は見あたらないため、これらの検討結果を本研究に直接適用することはできない。

4. 研究方法

本研究の研究手法、手順は、以下の通りである。

- ①耐震性を検討するうえで代表的と思われるFAを、試験体として選定する。つぎに、既存の油圧式振動台を用いて、選定した試験体に実地震波などを入力し、試験体の挙動を観察、測定する。
- ②①の結果を参考に、実地震波などのうち試験体の挙動に大きく影響すると思われる部分を抽出し、これを簡略化した簡易入力波を設定する。
- ③②で設定した簡易入力波を再現できる、比較的簡単な構造の簡易振動台を設計、試作する。
- ④③で設計、試作した簡易振動台を用いて、①で選定した試験体に②で設定した簡易入力波を入力し、試験体の挙動を観察、測定する。
- ⑤④と①の結果を比較し、簡易入力波で実地震波などによる試験体の挙動を代替できることを確認したうえで、②で設定した簡易入力波を耐震性評価用入力波として設定する。また、③で設計、試作した振動台を、FAの耐震性の簡易評価に用いる振動台として例示する。

5. 実地震波などによるフリーアクセスフロアの挙動の把握

5.1 試験概要

5.1.1 試験体

図-1に選定した試験体の概要を、また図-2に断面詳細を示す。本試験体は、1本の支柱に4枚のパネルの角部を載せる、いわゆる「独立支柱タイプ」のものである。ここで、独立支柱タイプのFAを選定したのは、FAを構成する部材数が多く耐震性の観点から弱点となりやすい接合部などが比較的多く存在すること、独立支柱タイプ2種、置敷タイプを含む他のタイプ4種のFAに代表的な実地震波(El centro(NS), Taft(EW))を入力し挙動を観察した予備実験の結果、独立支柱タイプが他のタイプより小さい入力で異状が発生したり破壊したことによる。

試験体のパネルは鋼製の中空パネルで、1枚の大きさはFAとして標準的な500×500mmである。一方、支柱は、鋼製ネジ棒をベースプレートに溶接したもので、頂部には円板形で突起の付いた台座が取り付けられており、この突起にパネルの角部を引っかけて固定する仕組みとなっている。パネル上には、この種の床で一般的な厚さ6.5mm(公称)のタイルカーベットを、接着せずに敷くこととした。また、床下地上端から仕上げ上端までの高さは、150mmとした。ここで、支柱のネジ棒の太さは、実際に製品化されているこの種のFAではM16(直径約16mm)以上が一般的であるが、本試験体ではM8(直径約8mm)とした。このように水平方向の強度を意図的に小さくした試験体を用いたのは、地震の影響がより現れやすい試験体の方が、実地震波などと簡易

図-1 試験体の概要

図-2 試験体の断面詳細

入力波に対する挙動の比較がしやすいことによる。なお、試験体を振動台に設置する際は、図-2に示すように、ベースプレートを振動台に固定した試験体取付用H形鋼にシャコ万力で固定することとした。

試験体の大きさはパネル 2×5 枚分とし、このうち一端の 2×2 枚のパネル上に5.1.2で述べる重錘を載荷することとした。ここで、加振方向のパネル枚数を5枚としたのは、重錘の載荷されたパネルに続いて載荷されていないパネルを3枚以上設置すれば、加振時に重錘の載荷されたパネルの影響により載荷されていないパネルが浮き上がる現象などを十分再現できることが、同一のFAを用い、試験体の大きさをパネル 2×3 枚分から 4×5 枚分の範囲で種々変化させ、代表的な実地震波(El centro(NS), Taft(EW))に対する挙動を観察した予備実験の結果、明らかとなったことによる。一方、加振方向と直交する方向のパネル枚数を重錘の載荷されている2枚のみとしたのは、この方向に重錘の載荷されていないパネルを続いて設置しても、加振時の両者の挙動は独立性が高く互いにほとんど影響しあわないことが、上述の予備実験の結果明らかとなったことによる。

なお、実際の建築物ではFAの周囲は壁などに突き合わせるのが一般的であるが、本研究では、実地震波などと簡易入力波に対する試験体の挙動の比較を目的としていることから、試験体周囲に挙動を拘束するものは設置しないこととした。

5.1.2 重錘

図-3に示す2種の重錘を、FA上に載荷することとした。ここで、重錘の重量はそれぞれ 300 kgf とし、図-1に示すように 2×2 枚のパネル(1 m^2)上に載荷することとした。これは、多くのオフィス用FAが積載荷重 300 kgf/m^2 で設計されていることによる。

このうち脚付重錘は、オフィスなどで一般的な什器、備品のうち最

も重いものの1つであるコピー機を置換したもので、重量の効果に加え、脚への荷重の集中やロッキングの影響などを検討する目的で採用したものである。脚の接地部分の形状は直径 50 mm の円形(JIS A 1450⁴⁾に規定された荷重試験の加圧子の底面と同一)であり、裏面にはすべり止めが貼付してある。また、加振方向の脚間隔は 700 mm 、その直交方向の脚間隔は 650 mm である。加振方向の脚間隔は、はじめに 900 mm から開始し、 100 mm 間隔で徐々に狭くしながら、正弦波(2 Hz)に対する脚付重錘の挙動を観察した予備実験の結果に基づいて、 300 gal を超える程度の入力に対してロッキングが発生するよう設定したものである。なお、脚付重錘の重心は床上から約 650 mm の位置にあり、加振方向の固有振動数は 5.0 Hz 、減衰定数は 2.1% である。

一方、平置重錘は、脚への荷重の集中やロッキングの影響などをできる限り排除し、重量の効果のみを把握する目的で、採用したものである。なお、平置重錘の試験体上での静止摩擦係数は、 0.74 である。

5.1.3 入力波

FAが設置される床下地の地震時の応答波形は、大きく以下の2種に分類できると考えられる。

- (1) 10階建て程度以下の中、低層建築物：地盤上で測定される地震波と近似
- (2) 10階建て程度以上の高層建築物：地震により励起される建築物の水平方向の固有振動数での正弦波と近似

本研究では、このような考え方に基づいて、以下に示す8種の入力波を設定した。

- (1) 中、低層建築物の床下地応答を模擬した入力波

El centro(NS), Taft(EW), 八戸(EW), 阪神(NS), 宮城沖(EW)の5種の実地震波。ここで、各実地震波の加速度波形に含まれる主要な

図-3 重錘の概要

図-4 高層建築物の床下地応答を模擬した入力波(模擬波)の概要

振動数成分は、El centro(NS)が1.5 Hzを中心に1～2 Hz程度、Taft(EW)が1.75 Hzを中心に1～2.5 Hz程度、八戸(EW)が0.75 Hzを中心に0.5～1 Hz程度、阪神(NS)が1.5 Hzを中心に1～2 Hz程度、宮城沖(EW)が2 Hzを中心に1～3 Hz程度である。

(2)高層建築物の床下地応答を模擬した入力波

図-4に示す継続時間4sの正弦波を主体とした入力波(以降、模擬波と記す)。ここで、模擬波の振動数は、10～30階建ての建築物の水平方向の固有振動数の範囲をほぼ包含するよう、0.5、1、2 Hzの3種とした。正弦波の部分の継続時間を4sとしたのは、固有振動数0.5～2 Hz、減衰定数2%(S造で一般的な値)～5%(RC造で一般的な値)の範囲内の種々の1自由度振動系に(1)で述べた5種の実地震波を入力し応答解析した結果、応答波形のうち振幅が最大値に達した前後での正弦波に近似した部分の継続時間はおおむね2～4s程度であったことによる。

5.1.4 測定項目

加振時の試験体の挙動をビデオに記録するとともに、試験体設置時、およびそれぞれの加振後に、試験体の各支柱の水平変位、および各パネル間の隙間を適宜測定することとした。ビデオは、試験体全体が写るよう設置したもの1～2台と、支柱の挙動を記録する目的でパネルと振動台の間の空間が写るよう設置したもの2台の、計3～4台を用いることとした。また、あらかじめ5名以上の判定者を選定し、試験体の加振中の挙動や加振後の状態の観察結果、および支柱の水平変位やパネル間の隙間の測定結果を参考に、総合的に異状なし、異状あり、破壊の3段階の判定を合議により下すこととした。さらに、図-1に示すように振動台上および試験体上(FAのパネル上面に固定)に加速度計を設置し、加振時の加速度・時間曲線を

測定することとした。

5.2 試験経過

試験は、財団法人建材試験センター中央研究所の油圧式振動台を用い、2002年2月に実施した。具体的には、以下の手順で実施した。

①振動台に試験体を設置し、試験体上に所定の重錘を載荷する。その際、毎回同等の試験体が設置できているかどうかを確認する目的で、設置した試験体の加振方向の振動特性を重錘載荷前後で測定し、重錘載荷前同士、および後同士で固有振動数や減衰定数に大きな変化がないことを確認する。

②①で設置した試験体を、所定の入力波で加振する。はじめは、最大加速度50～150gal程度で加振し、試験体の挙動を観察、測定する。続いて、徐々に入力波の振幅を増加させ、試験体の挙動を観察、測定する。この試験を、試験体が破壊するか、入力波の振幅が振動台の能力上の最大振幅に達するまでを行い、当該入力波での試験を終了する。

以上の試験を、8種の入力波と2種の重錘の組み合わせ16種ごとに実施した。なお、八戸(EW)、0.5 Hz模擬波、1 Hz模擬波の3種の入力波では、振動台の能力上の最大振幅まで試験を行ったが、試験体が破壊するにはいたらなかった。

5.3 試験結果および考察

表-1に、①で測定した試験体の振動特性の範囲を示す。表より、入力波、重錘ごとに設置した試験体の固有振動数、減衰定数に大きな変化はなく、毎回ほぼ同等の試験体が設置できていたことが確認できる。

図-5に、加振時に振動台上で測定された加速度振幅の最大値(実地震波などの最大加速度)と、加振後の試験体の状態の判定結果の関係を

表-1 試験体の振動特性の範囲

	固有振動数(Hz)	減衰定数(%)
重錘載荷前	16.0～17.5	6.3～8.5
脚付重錘載荷後	17.0～17.5	3.2～4.3
平置重錘載荷後	8.5～9.0	4.0～5.4

図-5 実地震波などの最大加速度と加振後の試験体の状態の関係

示す。図より、入力波、重錘ごとに、最大加速度が大きくなるにしたがって判定結果が異常なしからありに移行し、さらには破壊にいたる過程が読みとれる。異常が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる最大加速度は入力波により異なっており、波形の違いの影響がうかがえる。具体的には、主要な成分が高振動数側にある入力波ほど、異常が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる最大加速度は小さくなる傾向がみられる。また、入力波が同じ場合、脚付重錘载荷の方が平置重錘载荷より小さい最大加速度で、異常が発生しはじめる、あるいは破壊にいたっていることがわかる。

つぎに、図-6に、実地震波などの最大加速度と、試験体設置時と加振後での支柱の水平変位の差、およびパネル間の隙間の差(以降、“加振前後での差”と記す)の関係を示す。図の縦軸は、18本の支柱ごとに測定した水平変位の差18データの最大値、および13箇所のパネル間ごとに測定した隙間の差13データの最大値を表すもので、記号は入力波の種類と異常の有無の判定結果に基づいて分類したものである。なお、試験体が破壊した場合のデータは除外してある。図より、最大加速度が300gal程度以下の範囲では支柱の水平変位の差は0.5mm程度、パネル間の隙間の差は1mm程度となっているのに対し、300galを超えるあたりから両者ともに大きくなり、あわせて試験体の状態も異常ありと判定されていることがわかる。300galを超えるあたりからの加振前後での差の増加は、脚付重錘载荷の場合、および平置重錘载荷の場合の支柱の水平変位の差で特に顕著である。また、異常ありと判定された点からは、最大加速度と加振前後での差の関係に入力波による傾向をうかがうことができる。

一方、図-7に、加振前後での支柱の水平変位の差の最大値とパネル間の隙間の差の最大値の関係を示す。図より、加振前後での差が図中に点線で示す支柱の水平変位の差1mmとパネル間の隙間の差2mmを結ぶ直線より左下側に位置する場合はおおむね異常なし、右上側に位置する場合はおおむね異常ありと判定されていることがわかる。

さらに、図-8に、実地震波などの最大加速度と加振時に試験体上で測定された加速度振幅の最大値(試験体の応答最大加速度)の関係を示す。図より、両者の関係に入力波による明確な傾向はみられず、振動台上から試験体上への最大加速度の増幅率は、波形の違いによらずほぼ一定であることがわかる。入力波による傾向がみられないことは、本試験で用いた実地震波などでは、加振時に試験体の共振現象などはほとんど発生していないことを示唆している。ここで、本試験で用いた試験体は水平方向の剛性を意図的に小さくしたものであり、実在するFAの水平方向の固有振動数はより高いことから、実

図-6 実地震波などの最大加速度または簡易入力波の加速度振幅と加振前後での支柱の水平変位、パネル間の隙間の差の関係

図-7 加振前後での支柱の水平変位の差とパネル間の隙間の差の関係

際の地震時に実在するFAで共振現象が発生する可能性は極めて低いことが想定できる。

6. 簡易入力波の設定および簡易振動台の設計、試作

6.1 簡易入力波の基本構想

簡易入力波の設定にあたり、5. で実地震波などを入力した際の試

験体の挙動を記録したビデオを、再度詳細に検討した。その結果、試験体に加振後まで残留する支柱の水平変位やパネル間の隙間が発生したり、試験体が破壊したりするのは、実地震波の加速度振幅が最大に達する時点(模擬波の場合は最初に加速度振幅が最大に達する時点)前後の比較的短い期間であり、加振中の比較的長い期間に渡って徐々に支柱の水平変位やパネル間の隙間が増大したり、破壊が進行するような現象はほとんどみられないことがわかった。すなわち、FAの加振後の状態には、実地震波などのうち加速度振幅が最も大きい部分前後の数波が支配的に寄与することが想定された。

以上より、図-9に示すような、加速度振幅

a, 振動数 f , 波数 n の正弦波を基本とする簡易入力波を設定することとした。この簡易入力波は、実地震波などのうち加速度振幅が最も大きい部分前後の数波を、基本となる正弦波で置き換えることを意図したものである。すなわち、最大加速度 a の実地震波などと、加速度振幅 a の簡易入力波によるFAの挙動を比較しようとするものである。基本となる正弦波の前後には、加振開始時および終了時の衝撃を低減する目的で、図に例示するように所定の過程を経て加速度振幅 a , 振動数 f に達する前置波と、逆の過程を経て加振を終了させる後置波をつなげることとした。なお、前置波、後置波の詳細は、6.2で述べる簡易振動台の設計、試作の際にあわせて設定することとした。

6.2 簡易振動台の設計、試作および簡易入力波の設定

6.1で述べた基本構想にそった簡易入力波を再現できる簡易振動台を設計、試作した。図-10に、簡易振動台の概要を示す。

本振動台は、平行に設置した3本のステンレス製レール上を水平1

図-9 簡易入力波の基本構想

図-10 簡易振動台の概要

図-8 実地震波などの最大加速度または簡易入力波の加速度振幅と試験体の応答最大加速度の関係

方向になめらかに動く台車と、この台車に所定の振動を発生させるためのモータやシャフトなどからなる。台車は、12個の鋳鉄製車輪および鋼製アングルなどで構成されている。一方、モータは、十分な出力(3.7kW)を有する交流モータであり、プログラム制御機能付きインバータにより回転数およびその時間変化を自由に制御することができる。モータの回転軸には、振幅設定用円板が取り付けられている。この円板は、モータの回転軸と円板上のシャフトの取り付け位置との距離を任意に設定できるよう工夫されたもので、モータの回転運動が円板とシャフトからなるクランクにより台車の並進運動に変換される機構となっている。すなわち、モータの回転軸と円板上のシャフトの取り付け位置との距離が、台車の変位振幅となる。ここで、本振動台で設定できる変位振幅の最大値は、5. の試験結果などを参考に、1Hzでも400gal程度の加速度振幅が得られるよう、100mmとした。

以上に述べた簡易振動台を用い、加速度振幅 a , 振動数 f の正弦波を発生させるのに必要な変位振幅をあらかじめ振幅設定用円板で設定したうえで、モータを回転させ、台車上に設置した試験体に簡易入力波を入力することとした。ここで、モータの回転数の時間変化は、種々検討の結果、図-11に示すように、前置波(後置波)の継続時間 t

図-11 簡易入力波の概要

の間に振動数が0から f (から0)に直線的に増加(減少)するよう設定した。この結果、変位振幅が一定であることから、加速度振幅は、図に示すように、継続時間 t の間に0から a (a から0)に二次関数的に増加(減少)することとなる。本研究では、この入力波を簡易入力波として設定した。

7. 簡易入力波によるフリーアクセスフロアの挙動の把握

7.1 試験概要

6. で設計、試作した簡易振動台を用い、5. で選定した試験体に6. で設定した簡易入力波を入力した際の挙動を観察、測定することとした。測定項目は、基本的に5.1.4で述べたと同様としたが、支柱の水平変位、パネル間の隙間の測定は、加振後の試験体の状態が目視や代表的ないくつかの点での測定結果から明らかに異状なしと判定できる場合は省略した。

簡易入力波の振動数 f は、5. の試験結果に加え、実地震波に多く含まれる振動数成分の範囲などを考慮し、とりあえず1, 2, 3 Hzの3種とした。また、波数 n は、5.3で述べた通り、実地震波などでの加振時に試験体の共振現象などはほとんど発生していなかったことから、比較的小さい波数で十分と考え、とりあえず1, 2, 3波の3種とした。すなわち、 f と n の組み合わせ9種ごとに、加速度振幅 a を徐々に大きくしながら試験体の挙動を観察、測定し、実地震波などとの関係を検討することとし、十分な対応が得られない場合には、さらに他の f , n での検討を行うこととした。なお、前置波、後置波の継続時間 t は、1.5, 3.0, 6.0sの3段階設定し、代表的な簡易入力波(2 Hz 3波)に対する脚付重錘を載荷した試験体の挙動を観察した予備実験の結果、異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる加速度振幅はほとんど変化しなかったことから、1.5sとした。

7.2 試験経過

試験は、2002年8月に実施した。試験の具体的な手順は、5.2で述べたと同様である。試験は、9種の入力波と2種の重錘の組み合わせ18種ごとに実施した。なお、振動数が1 Hzの簡易入力波で平置重錘載荷の場合は、簡易振動台の能力上の最大振幅まで試験を行ったが、試験体が破壊するにはいたらなかった。

7.3 試験結果および考察

簡易入力波の入力に先立ち、試験体の加振方向の振動特性を測定した結果、固有振動数、減衰定数は表-1に示した範囲内であり、本試験でも毎回ほぼ同等の試験体を設置していたことが確認できた。

図-12に、加振時に振動台上で測定された加速度振幅の最大値(簡易入力波の加速度振幅)と、加振後の試験体の状態の判定結果の関係を示す。図より、以下の事項が考察できる。

- ・簡易入力波が同じ場合、脚付重錘載荷の方が平置重錘載荷より小さい加速度振幅で、異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたっている。この結果は、5. で述べた実地震波などによる試験結果と

一致する。

- ・簡易入力波の振動数で比較すると、1 Hzより2 Hz、2 Hzより3 Hzの方が、小さい加速度振幅で異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる傾向が把握できる。すなわち、実地震波などを対象とした場合と同様の傾向が把握できる。
- ・簡易入力波の波数で比較すると、平置重錘載荷の場合の3 Hz 1波と2波で結果に若干の違いがみられるが、全体的にみて大きな違いはないとみなすことができる。このことから、波数が4波以上の場合も、結果に大きな違いは生じないと想定できる。

つぎに、図-12と、実地震波などによる試験結果を示した図-5の比較から、以下の事項が考察できる。

- ・実地震波などの中で、比較的小さい最大加速度で異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたっているのは、5.3で述べた通り、主要な成分が高振動数側にある宮城沖(EW)と2 Hz模擬波である。また、これらの最大加速度と近似した加速度振幅で異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたっている簡易入力波は、2 Hzの簡易入力波である。すなわち、2 Hzの簡易入力波で異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる加速度振幅は、実地震波などにより異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる最大加速度の範囲の下限にほぼ近似しているとみなすことができる。これに対し、1 Hzの簡易入力波で異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる加速度振幅は実地震波などによる最大加速度の範囲の下限より大きく、逆に3 Hzの簡易

図-12 簡易入力波の加速度振幅と加振後の試験体の状態の関係

入力波では小さい。

以上をまとめると、耐震性評価用入力波として1Hzの簡易入力波は加振力が過小、3Hzは過大であり、2Hzの簡易入力波の加振力が適切であること、波数については、1波と2波で結果に若干の違いが生じる場合があるが2波以上では大きな違いは生じず、安全をみて3波入力すれば十分であることがわかる。すなわち、2Hz3波の簡易入力波が、耐震性評価用入力波として最も適当とみなせることがわかる。

ちなみに、実地震波を用いてFAの耐震性を検討する場合、その波形に含まれる主要な成分が比較的高振動数側にあることを確認したうえでないと、安全側の評価を得る観点から、一般性のある評価は得られないといえる。また、3.で述べた既往の試験方法の1つであるFAを6→2.6Hzまたは6→1.5Hzの正弦波でスイープ加振する方法は、振動数成分の観点から入力が過大であることが想定できる。

さらに、以上の考察結果を確認する目的で、実地震波などの最大加速度と加振前後での支柱の水平変位、パネル間の隙間の差の最大値の関係を示した図-6に、1Hz3波、2Hz3波、3Hz3波の簡易入力波での結果を、大きな○、△、□でプロットして示す。図には、加振後に異状ありと判定された場合の、簡易入力波の加速度振幅と、支柱の水平変位、パネル間の隙間の差の最大値の関係を示した。図に示す通り、重錘の種類にかかわらず、2Hz3波簡易入力波による△は実地震波などによる支柱の水平変位、パネル間の隙間の差の最大値の分布の上限近傍にプロットされているのに対し、1Hz3波簡易入力波による○はより下方、3Hz3波簡易入力波による□はより上方にプロットされており、それぞれ加振力が過小、過大であることを裏付ける結果となっている。

また、実地震波などの最大加速度と試験体の応答最大加速度の関係を示した図-8に、1Hz3波、2Hz3波、3Hz3波の簡易入力波での結果をプロットして示す。図より、脚付重錘载荷、平置重錘载荷のいずれの場合も、1、2Hzの場合は振動台上から試験体上への増幅率が実地震波などと同程度であるのに対し、3Hzの場合はやや大きくなっており、試験体の共振現象が現れ始めていることがわかる。すなわち、本試験では水平方向の剛性を意図的に小さくした試験体を用いたため、3Hzの場合、主要な成分が高振動数側にあることの直接的な影響のみでなく、これに共振現象が現れ始めることの影響が重なって、異状が発生しはじめる、あるいは破壊にいたる最大加速度が小さくなったものとみなせる。

8. 耐震性評価用入力波の設定

前章までの検討結果より、2Hz3波の簡易入力波を、実地震波などによるFAの耐震性を安全側に包含する形で評価できる耐震性評価用入力波として設定する。また、6.2で設計、試作した簡易振動台を、FAの耐震性の簡易評価に用いる振動台として例示する。

ここで、設定した入力波は、どのような波形の地震が発生するか予想できない状況を想定し、かつ簡便さも考慮して、安全側の評価を与

える1種を共通の入力波として設定したものであり、対象とする実地震波などによっては過大な入力となる可能性があることに、留意が必要である。

なお、本研究では1種のFAのみを用いた検討結果から入力波を設定したが、5.3で述べた通り、実際の地震時に実在するFAで共振現象が発生する可能性は極めて低いと想定されることから、得られた結果は一般的な範囲ではFAの振動特性により大きく変化するものではなく、設定した入力波は種々のFAに適用できるものと考えられる。

9. おわりに

FAの耐震性の簡易評価方法の骨子となる耐震性評価用入力波として、2Hz3波の正弦波を基本とした入力波を設定した経過、結果を述べた。また、設定した入力波を再現し、比較的小規模な実験でFAの耐震性を簡易に評価できる振動台を例示した。

設定した入力波と例示した振動台を用いたFAの耐震性評価の手順は、以下の通りである。

- ①振動台上に評価対象FAの試験体を設置する。さらに、設置した試験体上に、必要に応じて所定の重錘を载荷する。
- ②評価対象FAに要求される耐震性能に応じて、入力波の加速度振幅を設定する。例えば、最大加速度aの実地震波などに対する耐震性を評価する場合には、入力波の加速度振幅をaとする。
- ③②で加速度振幅を設定した入力波で試験体を加振し、加振後の試験体の状態に基づいて評価対象FAの耐震性を評価する。

以上であるが、試験体上に载荷する重錘やその载荷方法の詳細、振動台上に設置した試験体の周囲の拘束方法、あるいは加振後の試験体の状態の判定基準など、耐震性の簡易評価方法の設定にあたってはさらに検討しなければならない課題が多数残されていることを、付け加える。

謝辞

本研究に対し有益な御助言をいただくとともに、試験の実施や簡易振動台の設計、試作にあたり種々御配慮、御協力いただいたフリーアクセスフロア工業会の関係各位に、深く謝意を表します。また、油圧式振動台での試験に御協力いただいた財団法人建材試験センターの関係各位に、御礼申し上げます。

参考文献

- 1)横山 裕，片木詩子：非構造床の耐震性評価方法に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.217～218，2002.8
- 2)横山 裕，片木詩子：非構造床の耐震性評価方法に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.839～840，2004.8
- 3)社団法人公共建築協会：建築材料・設備機材等品質性能評価事業 建築材料等評価名簿 平成11年版，1999
- 4)JIS A 1450 フリーアクセスフロア構成材試験方法，2003.2

(2005年2月10日原稿受理，2005年6月2日採用決定)