3方向加振時と水平1方向加振時のフリーアクセスフロアの挙動の比較

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

横山 裕 — * 1 横井 健 — * 2
吉田 泰 — * 3

キーワード：
フリーアクセスフロア, 耐震性, 評価方法, 3方向加振, 水平1方向加振, 実験

Keywords :
Free-access floor, Seismic resistance, Evaluation method, Three-dimension excitation, Horizontal one-dimension excitation, Experiment

BEHAVIOR OF FREE-ACCESS FLOOR DURING SEISMIC EXCITATION BY THREE-DIMENSION INPUT WAVE AND HORIZONTAL ONE-DIMENSION INPUT WAVE

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

Yutaka YOKOYAMA — * 1 Takeshi YOKOI — * 2
Yutaka YOSHIDA — * 3

Using one typical kind of free-access floor specimen, the behavior during seismic excitation by three-dimension input wave was compared with that by horizontal one-dimension input wave. As the conclusion, it was obtained that damage by real three-dimension seismic excitation could be estimated based on the result of the excitation test using one-dimension input wave, which was selected from two horizontal axes as the direction containing the maximum acceleration. The result of this study will be applied to establish the simple method to evaluate the seismic resistance of free-access floor, which will consist of one-dimension excitation test.

1. はじめに

地震国である我が国では、構造部材のみならず、非構造部材の耐震性についても十分な検討が必要である。一方、近年のオフィスなどの床では、電力や通信用の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工夫したフリーアクセスフロアを、コンクリートスラブなどの床下地とタイルカーペットなどの仕上げ材の間に用いる構法が急増しており、それにともないフリーアクセスフロアの耐震性に関する検討が要求される事例も増加している。しかし、オフィス用のフリーアクセスフロアの耐震性に関する研究はこれまで多くはなされておらず、その評価方法が明確な学術的根拠に基づいて規定された公的規格はみあたらない。このような状況の中で、筆者らの一部は、試験用フリーアクセスフロアを用い、実地震波に対する挙動と、種々の正弦波に対する挙動を比較することにより、前者を安全側に包含できる正弦波を求め、耐震性評価用の簡便な入力波として設定した¹⁾。ただし、この検討は、水平1方向の加振実験結果のみに基づいてなされており、設定した入力波を中心とした評価方法の枠組みを確立するためには、3方向加振時と水平1方向加振時のフリーアクセスフロアの挙動を比較することが課題として残されていた。

本報は、前報¹⁾と同一の試験用フリーアクセスフロアを用い、3方向加振実験を行ってその挙動を観察、測定し、前報で観察、測定した水平1方向加振時の挙動と比較することにより、水平1方向加振実験結果で3方向加振実験結果をほぼ代替できることを明らかにした経過、結果を述べるものである。

2. 目的および範囲

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、非構造部材であるフリーアクセスフロアに関しても、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。本研究は、近年オフィスなどの床で急速に普及しているフリーアクセスフロアの耐震性の簡便な評価方法を確立することを、最終的な目的としている。本研究で対象とするフリーアクセスフロアは、オフィス用のフリーアクセスフロア(以降“FA”と記す)全般とし、構法が大きく異なる電算室、機械室用のフリーアクセスフロアなどは対象外とする。

ここで、FAの耐震性を検討するうえでの特徴として、以下の点が挙げられる。

- ①種々の材料、構法のものが存在し、今後も様々なものが開発、実用化される可能性がある。
- ②施工の簡便さや配線を任意の位置で容易に取り出せるようにする必要上、通常複数の部材の組み合わせで構成されており、かつ各部材の接合部のディテールは様々であり、固定度が低い接合部が存在する場合も多い。
- ③家具などの什器、備品を床に固定したいとする要求に対し比較的容易に対応可能な構法であり、かつ今後このような要求が増加することが予想される。
- ④四角形(おもに正方形)の部材をつなげて水平面を構成するものが多く、②と関連して、水平2方向の独立性が高い構造のものが多い。

このうち、①～③は、FAの耐震性の評価方法を設定する際、以下の事項に留意する必要があることを示唆している。

*1 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 准教授・工博
(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

*2 東海大学工学部建築学科 講師・博士(工学)

*3 東京工業大学大学院

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

*2 Junior Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Eng., Tokai University, Dr. Eng.

*3 Graduate School, Tokyo Institute of Technology

- ・解析的な方法や静的な実験を基本とした方法では種々のFAに共通に適用できる評価方法を設定するのは困難であり、動的な実験を基本とした方法とする必要がある。
- ・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、標準化したりすることは避け、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の評価ができる方法とする必要がある。

一方、④は、実験規模や設備が極めて簡便となる水平1方向のみの加振実験結果に基づいてFAの耐震性を評価できる可能性があることを示唆している。地震国である我が国では、妥当な範囲でできるだけ簡便な耐震性の評価方法を設定し、種々の材料、構法のFAに広く適用してゆくことの意義は大きいと考えられる。

以上より、前報では、水平1方向の正弦波を基本とした簡便な耐震性評価用入力波を設定するとともに、比較的小規模な実験で設定した入力波に対する有り姿のFAの挙動を観察、測定できる簡易振動台を設計、試作した。本報は、水平1方向の加振実験結果に基づいてFAの耐震性を評価することが可能かどうかを検討する目的で、3方向加振時と水平1方向加振時のFAの挙動を比較するものである。

3. 既往の研究

FAの耐震性に関する既往の研究や、従来行われていた評価方法の概要およびその問題点については、前報で述べている。

4. 研究方法

本報における研究方法および手順は、以下の通りである。

- 1)3方向加振が可能な振動台上に前報で用いた試験用FAを設置し、FA上に载荷する重錘などの条件を前報と同一としたうえで、前報で水平1方向のみ入力波として用いた実地震波に他の2方向の当該実地震波を加えた3方向の入力波を用いて加振実験を行い、FAの挙動を観察、測定する。
- 2)1)で観察、測定した3方向加振時の挙動と、前報で観察、測定した水平1方向加振時の挙動の比較から、水平1方向のみの加振実験結果に基づいてFAの耐震性を評価することが可能かどうかを検討する。

5. 実験概要

5.1 試験体

前報と同一の試験用FAを振動台上に設置し、試験体とした。図1に試験体の概要を、また図2にその断面詳細を示す。

試験用FA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。本研究では、前報で述べた通り、構成する部材数が多くかつ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し、予備実験の結果他のタイプより小さい入力で異常が発生したり破壊したりする傾向がみられた、独立支柱タイプのFAを用いることとした。

試験用FA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-

図1 試験体の概要

図2 試験体の断面詳細¹⁾

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

図3 重錘の概要¹⁾

さ6.5mm(公称)のタイルカーペットを、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FAではM8(直径約8mm)とした。このように水平方向の強度、剛性を意図的に小さくしたFAを用いたのは、地震の影響をより現れやすくするためである。なお、振動台上に本FAを設置する際には、図2に示すように、振動台に固定した試験体取付用H型鋼に本FAのベースプレートを固定することとし、H型鋼とベースプレートの固定にはシャコ万力を用いることとした。

以上に述べた試験用FAを、水平1方向加振実験を行った前報では、図1の(2)に示すようにパネル2×5枚分振動台上に設置して試験体とした。また、試験体のうち図に斜線で示す2×2枚のパネル上の点線で示す位置に、5.2で述べる重錘を載荷した。ここで、加振方向のパネルを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配置することで加振時に載荷パネルの影響により非載荷パネルが浮き上がる現象などを再現することを意図したもので、試験用FAを含む数種のFAを用いた予備実験の結果、非載荷パネルを3枚以上配置すれば浮き上がる現象を再現することが明らかとなったことによるものである。よって、3方向加振実験を行う本報では、水平2方向ともに載荷パネルに続いて非載荷パネルが3枚配置された、図1の(1)に示すL字型の試験体を用いることとした。

5.2 重錘

図3に、試験体上に載荷した重錘の概要を示す。本報では、前報で用いた2種の重錘のうち、より小さい入力で試験体に異常が発生

したり破壊したりすることが明らかとなった“脚付重錘”を用いることとした。本重錘は、オフィスなどで一般的な什器、備品の中で最も重いものの1つであるコピー機を模擬したもので、質量は300kg、長辺方向の脚間隔は700mm、短辺方向の脚間隔は650mmである。また、脚の接地部分の形状は直径50mmの円形(JIS A 1450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。なお、重錘の詳細については、前報で述べている。

5.3 入力波

入力波は、前報で用いたEl Centro, Taft, 八戸, 阪神, 宮城沖の5種の実地震波とした。ここで、入力波に実地震波を用いることの位置付け、考え方については、前報で述べている。

また、前報では、これらの実地震波のうちEl Centro, 阪神はNS方向、Taft, 八戸, 宮城沖はEW方向を入力波として水平1方向加振実験を行ったが、このうち八戸では使用した振動台の能力上入力波の振幅を試験体に異常が発生するまで大きくすることができなかったこと、および宮城沖では実験に用いたEW方向よりNS方向の方が振幅(最大加速度)が大きいことから、本報では八戸(EW方向)および宮城沖(NS方向)を入力波とした水平1方向加振実験も行うこととした。なお、水平1方向加振実験に用いる試験体は、前報と同様、図1の(2)に示すパネル2×5枚分の試験体とした。

5.4 測定項目

測定項目は、基本的に前報と同一とした。すなわち、加振時の試験体の挙動をビデオに記録するとともに、加振前後に試験体の各パネル間の隙間、および各支柱の頂部の水平変位を測定することとした。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、および前述の隙間や水平変位の測定結果を参考に、総合的に異常なし、異常あり(変形したことが目視で確認できる状態)、破壊(パネルが脱落したり試験体が倒壊した状態)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)に加速度計を設置し、加振時の水平2方向および鉛直方向の加速度・時間曲線を測定することとした。

6. 実験経過

実験は、独立行政法人都市再生機構、都市住宅技術研究所の油圧式3次元振動台を用い、2007年1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、試験体上に重錘を載荷する。ここで、3方向加振実験の場合、重錘は、前報で行った水平1方向加振実験との整合性を考慮し、図1に点線で示すように水平2方向のうち最大加速度が大きい方の加振方向が長辺方向となるよう載荷する。
- 2) 1)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50～200gal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。この実験を、試験体が破壊するか、入力波の振幅が振動台の能力の上限に達するまで行い、当該入力波での実験を終了する。

以上の実験を、5.3で述べた通り3方向加振の場合は5種、水平1方向加振の場合は2種の実地震波で実施した。実験の結果、いずれの入力波でも、振幅が振動台の能力の上限に達する前に試験体が破壊した。

7. 実験結果および考察

図4に、加振時に振動台上で測定された最大加速度と、加振後の試験体の状態の判定結果との関係を示す。図には、本報で実施した3方向加振実験結果と、前報または本報で実施した水平1方向加振実験結果を、実地震波ごとに比較して示した。図より、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異常ありに移行し、さらには破壊にいたる過程が、3方向加振実験結果からも水平1方向加振実験結果と同様に読み取れる。

ここで、El Centroの3方向加振実験結果の図には、NS方向、EW方向、UD方向の最大加速度を表す各数直線上にプロットされた点を細線で結んでいるが、これは、1回の加振実験で測定された3方向の最大加速度を結んだものである。すなわち、はじめにNS方向50gal、EW方向30gal、UD方向10gal程度の大きさの入力波で加振した結果異常なしとなり、続いて徐々に入力波の振幅を増加させて加振した結果4回目までは異常なし、5～8回目は異常ありとなり、9回目に破壊したことを表す。他の3方向加振実験結果も同様であるが、図が煩雑になるため細線は省略した。図より、El Centro、阪神、宮城沖では最大加速度がNS>EW>UDの順、Taft、八戸ではEW>NS>UDの順になっていることがわかる。

さらに、図から、El Centro、阪神、宮城沖では、3方向加振実験結果のうちNS方向の最大加速度と試験体の状態との関係が、水平1方向(NS方向)加振実験結果とほぼ一致していることがわかる。一方、Taft、八戸では、3方向加振実験結果のうちEW方向の最大加速度と試験体の状態との関係が、水平1方向(EW方向)加振実験結果とほぼ一致していることがわかる。すなわち、水平2方向のうち最大加速度が最も大きい方向(以降“最大方向”と記す)のみの加振実験結果で、3方向加振実験結果をほぼ代替できることがわかる。このような結果が得られる理由として、以下の事項が推察できる。

- ①今回用いた5種の実地震波のように鉛直方向の成分が水平2方向と比較して小さい場合、3方向加振後のFAの状態に鉛直方向の成分は大きくは影響しない。
- ②2.で述べた通り、FAはその要求機能上水平2方向の独立性が高い構造となっていることから、NS方向には入力波のうちほぼNS方向の成分のみに対応した応答が発生し、EW方向には入力波のうちほぼEW方向の成分のみに対応した応答が発生する。
- ③①、②の結果、FAの強度、剛性などが水平2方向で著しく異ならない限り、3方向加振後のFAの状態は、水平2方向のうち入力波の大きい方向(最大方向)の応答で決定する。すなわち、入力波のうち最大方向の成分が、FAの状態に支配的に影響することとなる。

つぎに、図5、6に、加振時に振動台上で測定された最大加速度と、加振前後でのパネル間の隙間の差、および支柱頂部の水平変位の差との関係を、実地震波ごとに示す。図には、本報で得られた3

図4 最大加速度と加振後の試験体の状態の関係

方向加振実験結果と、前報または本報で得られた水平1方向加振実験結果をあわせて示した。図の横軸は、最大方向の最大加速度(3方向加振実験結果)または加振方向の最大加速度(水平1方向加振実験結果)である。また、縦軸は、最大方向または加振方向と直交する方向のパネル間の隙間の差の最大値(11または8箇所あるパネル間ごとに測定した隙間の差11または8データの最大値)、および支柱頂部の水平変位の差の最大値(27または18本の支柱ごとに測定した水平変位の差27または18データの最大値)である(最大値が得られた箇所は図1参照)。図の●、○は3方向加振実験結果、▲、△は水平1方向加振実験結果を表し、●、▲は試験体の状態の判定結果が異常なし、○、△は異常ありであることを表す。なお、試験体が破壊した場合のデータは、記載していない。

図より、いずれの実地震波でも、最大加速度と隙間の差、水平変位の差の関係は、3方向加振実験における最大方向の実験結果と、

図5 最大加速度と加振前後でのパネル間の隙間の差の関係

図6 最大加速度と加振前後での支柱頂部の水平変位の差の関係

図7 振動台上と試験体上で測定された最大加速度の関係

最大方向のみ加振した水平1方向加振実験結果とで大きくは異ならないことがわかる。また、いずれの実験結果でも同様に、最大加速度が300gal程度以下の範囲では隙間の差、水平変位の差はほとんど生じないのに対し、300galを超えるあたりから急激に大きくなる様子がうかがえる。さらに、前報と同様、パネル間の隙間の差の最大値がおおむね2mmを超えるか支柱頂部の水平変位の差の最大値がおおむね1mmを超えると試験体の状態は異常ありと判定されており、判定者の判定基準が比較的安定していることが確認できる。

図7に、加振時に振動台上で測定された最大加速度と、試験体上で測定された最大加速度の関係を示す。図には、本報の3方向加振実験の結果得られた最大方向の最大加速度の関係を、前報または本報の水平1方向加振実験の結果得られた加振方向の最大加速度の関係とあわせて示した。図の記号は、図5、6と同一である。

図には、5種の実地震波での実験結果をあわせて示したが、いずれの点もほぼ同じ直線上に分布しているとみなせることから、振動台上から試験体上への最大加速度の増幅率は実地震波により大きくは異ならないこと、すなわちいずれの実地震波でも試験体の共振現象などは発生していないことがわかる。また、●、○で示した3方向加振実験結果と▲、△で示した水平1方向加振実験結果で、最大加速度の増幅率に明確な違いはみられないことが確認できる。

以上より、FAの耐震性を加振後の状態(異常発生の有無や破壊など)に基づいて評価する場合、必ずしも3方向加振実験を行わなくても、最大方向のみの加振実験結果で十分代替できることが、明らかになったといえる。

8. おわりに

前報と同一の試験用フリーアクセスフロアを用い、3方向加振時と水平1方向加振時の挙動を比較することにより、最大方向の入力波を用いた水平1方向加振実験結果で、3方向加振実験結果をほぼ代替できることを明らかにした。以上の結果と前報をあわせることにより、前報で設定した水平1方向の正弦波を基本とした簡便な耐震性評価用入力波に基づく簡易評価方法の枠組みが確立できたと考える。ただし、以上の結果は、あくまでも入力波のうち鉛直方向の

成分が水平2方向と比較して小さく、かつ対象とする床が水平2方向の独立性が比較的高いFAの場合のみに適用できる点に、留意する必要がある。

以上であるが、本報はあくまでも1種の試験用FAを用いて可能性を検討した結果を報告したものであり、今後種々のFAを用いて同様の実験を行い、データを蓄積してゆくことが重要と思われる。また、前報で述べた通り、FAの耐震性の簡易評価方法の設定にあたっては、今後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。

最後に、将来、仮に本研究で目的としている簡易評価方法が確立されたとしても、実際の建築物に施工されたFAの地震時の挙動には連続するパネルの枚数、載荷の位置や状態、端部の納まりや拘束度合など様々な要因が複雑に影響することから、これらを直接正確に評価するのは困難と思われる。すなわち、実際の建築物に施工されたFAの耐震性を正確に評価するためには、構造部材の設計と同様、個々の物件ごとに詳細な検討を行う必要があると考えられる。しかし、全ての物件において、選択する可能性がある全FAを対象に詳細な検討を行うのは、事実上不可能といえる。また、一方では、

様々な材料、構法のFAが続々と製品化されており、これらの中には潜在的に耐震性に問題があるものが存在する、あるいは今後出現する可能性が十分に考えられる。このようなFAをなんらかの方法で事前に摘出、排除しておくことは、詳細な検討が行われない物件でもある程度の耐震性を確保するうえで重要なことといえる。本研究で目的としている簡易評価方法は、そのための有効な手段として活用できるものと期待できる。

謝辞

試験用FAの準備や実験の実施などに種々御配慮、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、および振動台での実験に御協力いただいた独立行政法人都市再生機構の関係各位に、謝意を表します。

参考文献

- 1)横山 裕, 片木詩子, 横井 健, 小野英哲: 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, 日本建築学会構造系論文集, 第595号, pp.37-44, 2005.9

[2008年2月18日原稿受理 2008年3月31日採用決定]