

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月17日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560582

研究課題名（和文） 家具の固定された床、壁、天井の耐震性の簡易評価方法

研究課題名（英文） Evaluation Method for Seismic Resistance of Non-structural Component and Fixed Furniture

研究代表者

横山 裕 (YOKOYAMA YUTAKA)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：00231689

研究成果の概要（和文）：地震時における家具などの移動、転倒防止は、居住者の安全性確保の観点から重要である。本研究では、家具などと、それらの固定先である床、壁、天井などの非構造部材、および固定具からなるシステムの耐震性を簡便に評価する方法について検討した。数波の正弦波を中心とした簡易入力波を設定しその妥当性を検証するとともに、設定した簡易入力波を再現できる簡便な構造の振動台を開発し、これらをあわせて簡易評価方法を確立した。

研究成果の概要（英文）：For habitant's safety, it is important to prevent the tumbling and moving of the furniture during the earthquake. The seismic resistance of the system consists of the non-structural component like floor, wall, ceiling and fixed furniture was investigated. The simple input wave which main part is the sinusoidal wave was set as the appropriate input wave to grasp system's seismic resistance roughly. The simple vibration table was developed to realize the simple input wave. Moreover, combined the simple input wave and the simple vibration table, the outline of a handy evaluation method was established.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：床、壁、天井、家具固定、耐震性、評価方法、簡易入力波、簡易振動台

1. 研究開始当初の背景

地震による人的被害の主要な原因の1つとして、家具や什器、備品など(以降、これらを総称して“家具”と記す)の移動、転倒が挙げられる。家具の移動、転倒による被害を最小限に食い止めるためには、家具を壁や天井、床などに固定するのが最も基本的かつ効果的と考えられる。

家具を壁や天井、床などに固定する場合、

家具にかかる地震荷重を最終的に支持することとなる建築物の構造体から、荷重の伝達経路となる建築物仕上げ材(非構造部材)、固定具、および家具自体まで、全体として強度のばらつきがないよう、バランスを保つことが重要となる。すなわち、荷重の伝達経路上のどこかに他と比較して著しく弱い部分があると、地震時にその部分が損傷、破壊し、家具の移動、転倒の防止効果が大幅に低減す

ることとなる。また、一般に建築物の非構造部材や固定具などは複数の部品が複雑に組み合わされたものが多く、その接合方法もアンカー、接着、溶接、ねじ止め、ビス止めなど多岐にわたることから、地震時におけるこれらの挙動を静的な実験や解析的な検討により把握するのは非常に困難である。したがって、家具の移動、転倒のしにくさを検討するためには、構造体の表層部から家具まで全体を対象とした試験体を作成し、動的な入力波を用いて実験的に検討することが必要となる。しかし、現状では、非構造部材や固定具、家具の一部を取り出した試験体による静的実験のように必ずしも実状に即しているとは言い難い方法や、逆に大がかりな実験装置を用いて特定の実地震波を入力したり正弦波でスイープ加振したりするなど簡便性、一般性の観点から改善の余地があると思われる方法が用いられている。このため、様々な製品を一律に評価、比較したり、各製品の弱点を把握したりするための資料が得られる、妥当かつ簡便な評価方法の確立が望まれている。

2. 研究の目的

本研究は、固定された家具やその固定具、および家具が固定された壁や天井、床などの地震時の挙動を実験的に把握し、その耐震性、すなわちどの程度の地震まで家具、固定具および非構造部材などが損傷、破壊されず、家具の移動、転倒が防止され居住者の安全が確保されるかを簡便に評価する方法を確立することを目的とする。具体的には、コンクリートスラブや耐力壁、耐震壁などの構造体の表層部から、二重床や簡易間仕切壁などの非構造部材、固定具、さらには家具まで全体を1つのシステムとしてとらえ、どの程度の地震でどの部分に損傷、破壊が発生するかを簡便な実験に基づいて評価できる標準となる簡易入力波を設定し、この簡易入力波を軸とした妥当な評価方法を確立する。

現在、建築物構造体の耐震性については、個々の物件ごとに設計時に詳細な検討がなされている。しかし、種々の製品の中から選択する形式がとられている非構造部材や固定具などに関してはこのような個別対応は事実上不可能な場合が多く、現実的には精緻な評価方法の確立より、むしろ数多くの製品を対象に同一の試験を実施し、耐震性の序列を把握したり問題のある製品を排除したりする枠組みを確立することが重要となる。本研究で確立する評価方法は、妥当な範囲内で簡便さを追求したものであり、このような目的を達成するのに最適な方法と考えられる。

また、本研究は、構造体の表層部から家具までを一連のシステムとしてとらえることにより、これまで十分な体系的検討がなされ

ないでいた表層部と非構造部材、あるいは非構造部材と固定具などの接合部の特性の影響も含めた評価を可能とするものであり、結果に基づいて各システムの弱点を把握し、バランスの取れたシステムを構築するための資料を得ることが可能となる。さらに、本研究は、解析的取り扱いが困難な非構造部材や固定具を対象に実験的手法に基づく評価方法を提案するものであり、地震時の安全性確保のための枠組み構築に必要な不可欠であるにもかかわらず、従来の構造体を中心とした解析的検討では見送られてきた部分を充足する研究と位置付けられるものである。

3. 研究の方法

研究代表者らは、本研究と類似する観点からの研究として、事務所などで広く普及している床仕上げ材であるフリーアクセスフロアを対象に、その耐震性を簡便に評価する方法を提案している^{1),2)}。この研究は、家具が固定された床を対象としたものではないが、複数の部品が複雑に組み合わされた非構造部材の耐震性を、実地震波のうち最も加速度振幅の大きい部分を置換した、2Hz3波の正弦波を中心とする入力波でおおむね実験的に評価できることを明らかにしている。さらに、研究代表者らは、実地震波に対する家具の固定されたシステムの挙動を詳細に分析した結果から、荷重の伝搬経路上のシステム各部の損傷、破壊の程度も、上記の入力波を用いて実験的に評価できる可能性が高いことを明らかにしている³⁾。

以上の予備的研究結果を参考に、本研究では、はじめに、評価方法の軸となる妥当かつ簡便な実験装置で再現可能な簡易入力波について、正弦波を中心とした入力波の適用性を含めて検討し、続いて、設定した簡易入力波を軸とした評価方法を確立した。

また、本研究では、第一段階として、基本的に家具が絶えず接しており、壁や天井などと異なりどのような状況でも固定可能な(すなわち対策として適用範囲の広い)床に固定する場合を対象に評価方法を検討し、つぎに、床に固定する場合の研究結果を参考に、壁や天井に固定する場合の評価方法を検討した。

以下に、具体的な研究の手順を示す。

- (1) 構造体であるコンクリートスラブの表層部からフリーアクセスフロアなどの非構造部材、固定具および家具までシステム全体を模擬した試験体を数種製作する。試験体の製作にあたっては、システムの耐震性や振動数特性の観点から幅広い試験体群とすることなどに留意する。
- (2) (1)で製作した試験体を対象に、既存の振動台を用い、実地震波や実地震波に対する建築物上層階の応答波などを入力し、試験体の挙動や損傷、破壊状況を観察、記録す

る。その際、入力波の振幅を徐々に大きくしてゆくことにより、どの程度の大きさの入力でシステムのどの部分に損傷、破壊が発生するかを把握する。

- (3) 研究代表者らの既往の研究結果¹⁾⁻³⁾などを参考に、(2)で用いた入力波のうち試験体の損傷、破壊の発生に最も大きく影響した部分を置換した、正弦波を中心とする簡易入力波を作成する。簡易入力波の作成にあたっては、大規模な振動台などを用いなくても(簡便な構造の振動台でも)再現可能な波形にすることなどに留意する。
- (4) (1)で製作した試験体を対象に、(3)で設定した簡易入力波を入力した際の試験体の挙動や損傷、破壊状況を観察、記録し、(2)で観察、記録した実地震波、応答波を入力した際の結果と比較、検討する。両者がよい対応を示した場合、用いた簡易入力波を評価方法の軸となる入力波として設定する。よい対応が得られなかった場合は、改良を加えた新たな簡易入力波を作成し、(3)→(4)の手順を繰り返す。以上の方法で、最終的に妥当な簡易入力波を設定する。
- (5) (4)で設定した簡易入力波を再現できる、簡便な構造の簡易振動台を開発する。また、この振動台上に評価対象のシステムを設置し、簡易入力波を入力してその挙動や損傷、破壊状況を観察、記録する方法を、家具が固定された床仕上げシステムの耐震性の簡易評価方法として提示する。
- (6) (1)～(5)で述べた床に固定する場合を対象とした検討結果を参考に、同様の方法、手順で、壁や天井に固定する場合のシステムの耐震性の簡易評価方法について検討する。その際、床に固定する場合の評価方法との整合性を十分に考慮し、最終的には床と壁、床と天井など複数の部位に固定する場合の評価にも同様の方法が適用できるようにする。

ここで、本研究のポイントとなる(3)→(4)の簡易入力波の設定では、中心となる正弦波の振動数、波数などを、システムの振動数特性や実地震波、応答波の卓越振動数、継続時間の範囲などを参考に種々変化させる方法で検討を進める。

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 年 9 月
- 2) 横山 裕, 横井 健, 吉田 泰: 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, 日本建築学会技術報告集, 第 14 巻, 第 28 号, pp. 405-410, 2008 年 10 月
- 3) 横山 裕, 田村大地, 吉田 泰: 床仕上げの耐震性の評

価方法に関する基礎的研究 家具の転倒メカニズムの把握と簡易入力波設定の可能性に関する実験的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 319~320, 2008 年 9 月

4. 研究成果

3. で述べた研究計画にしたがって、はじめに家具を床に固定する場合を対象に検討を行った。

図 1 に示すように、水平 2 方向に加振できる振動台上に試料床および試料床に固定された模擬家具などからなる試験体を設置し、加振実験を行った。試料床は、近年オフィスで多用されており、かつ構法的に家具の固定などに柔軟に対応できると思われるフリーアクセスフロア(以降“FA”と記す)とし、なかでも耐震性の観点から弱点となる接合部などが多く存在する独立支柱タイプを用いた。一方、模擬家具は、オフィスで多く用いられる大きさ、形状の書類棚を模擬したものとし、重量は書類をつめた状態を想定し 400kgf、重心の高さは約 910mm とした。FA の支柱(太さ)、パネル固定具(材質)、パネル(厚さ)および家具固定具(ビス)の各部品についてそれぞれ強度の異なるものを数段階用意し、それらを組み合わせる方法でシステムとしての耐震性や振動数特性が異なる 5 種の試験体①～⑤を設定した。

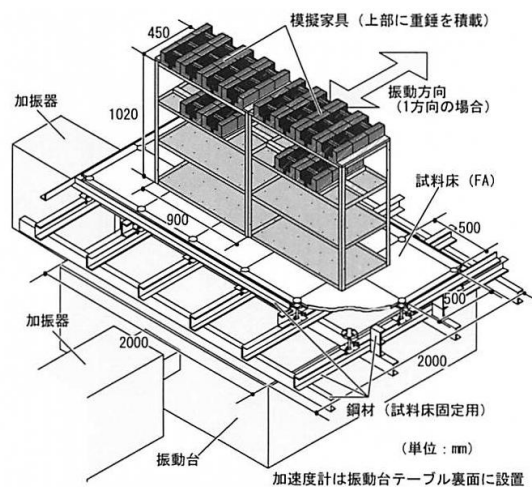


図 1 床固定試験体の設置状況

入力波は、以下の 5 種とした。

- [中越 2]: 中越実地震波 2 方向 (EW, NS)
- [中越 1]: 中越実地震波 1 方向 (EW)
- [阪神 1]: 阪神実地震波 1 方向 (NS)
- [応答 1]: 阪神応答波 1 方向 (RC 造 10 階建て建築物 (1 次固有振動数 2.52Hz, 減衰定数 2%) に [阪神 1] を入力した際の 10 階の応答波)
- [簡易 1]: 簡易入力波 1 方向 (FA 単体の耐

震性の簡易評価方法確立を目的とした研究代表者らの既往の研究^{1),2)}で設定した、図2に示す2Hz3波の正弦波を中心とした入力波)

ここで、[簡易1]は、正弦波を中心とした簡易入力波の適用の可能性を検討する目的で、とりあえず既往の研究^{1),2)}で設定したものを試すこととしたものである。なお、[中越2]は、水平2方向加振と1方向加振での挙動を比較する目的で用いたものであり、試験体②のみで実験を実施した。

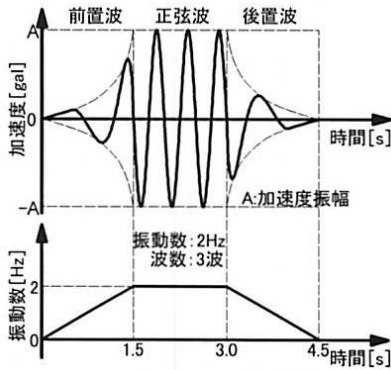


図2 簡易入力波の概要

実験は、試験体と入力波の組み合わせごと、最大加速度 100~200cm/s² 程度での加振から開始し、加振後の試験体の状態を観察しながら徐々に入力波の振幅を増加させ、損傷、破壊した時点で終了する手順で実施した。

実験結果の例として、図3に、入力波の最大加速度と、加振後の試験体の状態(異常なし、もしくは損傷、破壊発生)との関係を示す。図や、各試験体の損傷、破壊箇所の比較などを含む一連の実験結果から、以下の事項が考察された。

- いずれの試験体でも損傷、破壊箇所は [中越1], [阪神1], [応答1] と [簡易1] でほぼ共通しており、正弦波を中心とした簡易入力波で当該システムの耐震上の弱点を把握できることがわかる。
- 試験体②の [中越2] と [中越1] の比較から、水平2方向加振時のシステムの挙動を、最大加速度が大きい1方向加振時の挙動でおおむね代替できることがわかる。
- 損傷、破壊が発生する最大加速度(以降“破壊加速度”と記す)からみた試験体の序列は [中越1], [阪神1], [応答1] と [簡易1] で同じとなっており、正弦波を中心とした簡易入力波でシステムの耐震性の序列を把握できることがわかる。
- いずれの試験体でも、破壊加速度は [中越1] と [阪神1]、および [応答1] と [簡易1] が比較的近似している。また、[応答1], [簡易1] での破壊加速度は [中越1],

[阪神1] より小さくなっており、種々の実地震波、応答波での破壊加速度の範囲の下限を正弦波を中心とした簡易入力波でおおむね把握できることがわかる。

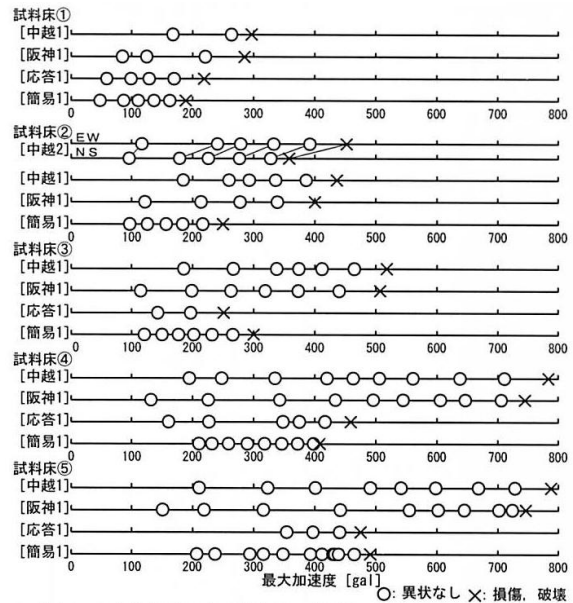


図3 最大加速度と試験体の状態の関係

以上より、正弦波を中心とした簡易入力波で家具の固定された床の耐震性を簡便に評価できる可能性が高いことが明らかとなった。そこで、引き続き、正弦波の振動数、波数の影響について、同様の方法で詳細に検討した。具体的には、新たな試験体⑩(システムの固有振動数 2.73Hz, 減衰定数 0.886%)を振動台上に設置し、[中越1], [阪神1], [応答1] の3種の実地震波、応答波を入力するとともに、中心となる正弦波の振動数3種(1.5, 2, 3Hz)と波数4種(1, 3, 5, 10波)を組み合わせた計12種の簡易入力波を入力し、試験体の挙動を比較した。

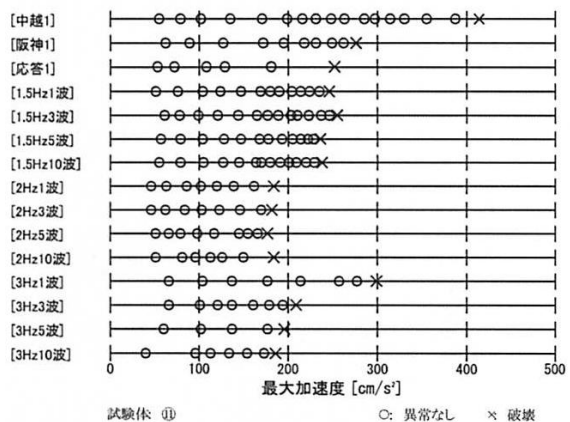


図4 簡易入力波の振動数、波数の検討結果

結果を図4に示す。図に示す通り、1.5Hzと2Hzでは波数によって破壊加速度は大きくは変化していないが、3Hzでは波数が大きくなるにしたがって破壊加速度が小さくなっており、共振の影響がみられる。しかし、破壊加速度の低下は5, 10波程度で頭打ちとなっており、かつその時の破壊加速度は2Hzの簡易入力波より大きいことから、共振の影響を考慮しても、最も安全側となるのは2Hzの正弦波を中心とした簡易入力波とみなして、大きな問題はないと考えられる。

以上の検討結果に基づいて、家具の固定された床の耐震性を評価するための妥当な簡易入力波として、2Hz3波の正弦波を中心とした入力波を設定した。ただし、正弦波の振動数、波数は現段階では暫定的なものとし、最終的には、壁や天井に固定する場合の検討結果も踏まえて設定することとした。

続いて、簡便な構造で、かつ設定した簡易入力波を再現できる簡易振動台を開発した。図5に、簡易振動台の概要を示す。この振動台は、水平1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。モータは、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できる。また、モータの回転軸にはシャフト取り付け部の回転半径(クランクの長さ)を変化させるための振幅設定用円板が取り付けられており、台車の変位振幅を任意(最大100mm)に設定できる。開発した簡易振動台は、簡便、安価で維持管理も容易であることから、製品として多数出回っている非構造部材や固定具などへの耐震性の評価の普及に、大きく貢献するものと思われる。

開発した簡易振動台で所定の簡易入力波を再現できることを確認したうえで、この振動台上に評価対象のシステムを設置し、簡易入力波を入力してその挙動や損傷、破壊状況を観察、記録する方法を、家具が固定された床仕上げシステムの耐震性の簡易評価方法として提示した。

つぎに、壁や天井に固定する場合のシステムの耐震性の簡易評価方法について検討した。ただし、天井は壁と材料、構法が類似しており、同様の結果が適用できる可能性が高いと考えられたことから、とりあえず壁に固定する場合を対象に検討を行った。

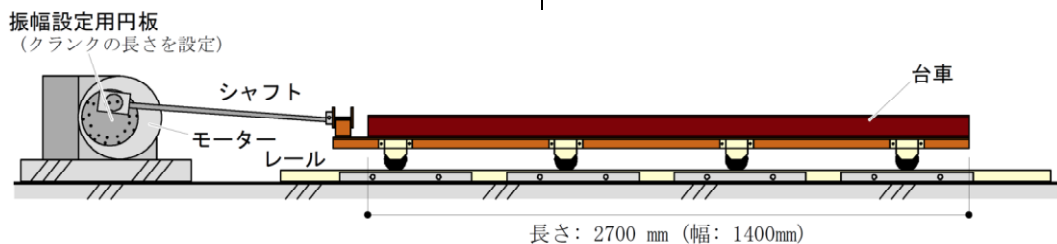


図5 簡易振動台の概要

図6に示すように、水平方向に加振できる振動台上に十分な剛性を有するフレームを設置し、そこに胴縁、ボードなどで構成された試験壁を取り付けたうえで、床に固定する場合と同一の模擬家具を試験壁に固定して試験体とした。胴縁の間隔、ボードの材質と厚さ、家具固定具の種類と数などを変化させることにより、システムとしての耐震性や振動数特性の異なる8種の試験体を設定した。

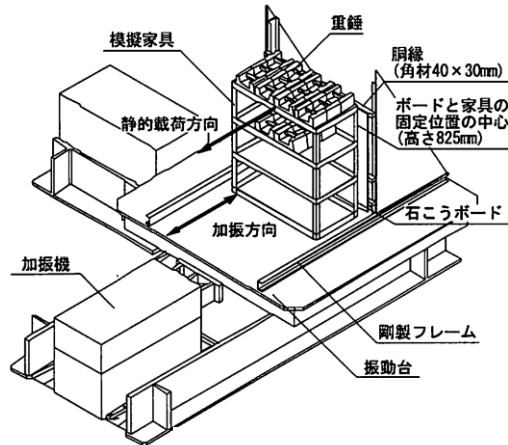


図6 壁固定試験体の設置状況

入力波は、[中越1]、[阪神1]、[応答1]の3種の実地震波、応答波と、中心となる正弦波の振動数3種(1, 2, 3Hz)と波数3種(3, 5, 10波)を組み合わせた計9種の簡易入力波とした。

実験は床に固定する場合と同様の方法で実施し、試験体と入力波の組み合わせごとに破壊加速度および損傷、破壊箇所を求めた。実験の結果、いずれの試験体でも損傷、破壊箇所は[中越1]、[阪神1]、[応答1]と簡易入力波でほぼ共通しており、壁に固定する場合も簡易入力波で当該システムの耐震上の弱点を把握できることがわかった。

図7に、簡易入力波の振動数による破壊加速度の関係の例を示す。試験体の卓越振動数は種々異なっているが、破壊加速度の序列は図に例示するように簡易入力波の振動数により大きくは変化しておらず、壁に固定する場合、共振現象により特定の振動数の入力波で特定の試験体が破壊しやすくなる現象は発生しないとみなせることがわかる。

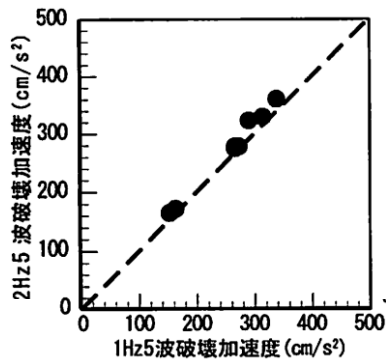


図7 振動数による破壊加速度の関係の例

一方、簡易入力波の波数による破壊加速度の関係を検討した結果、一部の試験体において、波数が大きくなるにしたがって破壊加速度が低下する傾向がみられ、床と比較して変形量が大きくなる場合がある壁の場合、振動の繰り返しによるダメージの蓄積の影響を考慮する必要があることが示唆された。

以上の検討結果などを踏まえ、3種の実地震波、応答波と9種の簡易入力波での破壊加速度を比較した結果、[中越1]は2Hz3波、[阪神1]、[応答1]は2Hz5波の簡易入力波と、破壊加速度が比較的近似していることが明らかとなった。図8に、例として、[阪神1]と2Hz5波の簡易入力波の破壊加速度の関係を示す。ここで、実地震波、応答波により対応する簡易入力波の波数が異なるのは、振動の継続時間などの影響によりダメージの蓄積度合いが異なることによるものと推察される。

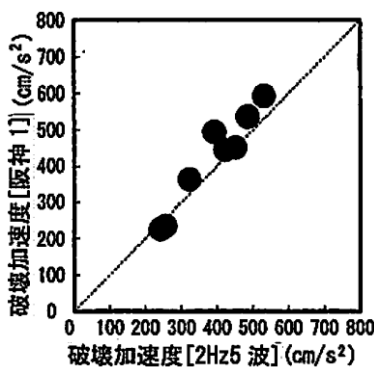


図8 [阪神1]と2Hz5波の簡易入力波の破壊加速度の関係

以上より、家具を床に固定する場合、および壁に固定する場合に共通の簡易入力波として、安全側となる2Hz5波の正弦波を中心とした入力波を設定した。ただし、床のみに固定する場合は、2Hz3波の簡易入力波も適用できることとした。また、先述の簡易振動台を用いて簡易入力波に対する評価対象システムの挙動や損傷、破壊状況を観察、記録す

る方法を、簡易評価方法として提示した。なお、天井に固定する場合や、複数の部位に固定する場合に対する簡易評価方法の適用性の確認は、今後の課題とした。

参考文献：「3. 研究の方法」を参照

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

- ① Yutaka Yokoyama, Takeshi Yokoi : Fundamental Study on Evaluation Method for Seismic Resistance of Free-Access Floor, Joint Conference of 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering / 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, March 7, 2012, Tokyo
- ② 横山 裕, 河村優輝, 佐藤晋哉 : 家具が固定された壁の耐震性の簡易評価方法に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演, A-1, 2011年8月24日, 東京
- ③ 横山 裕, 土屋洋亮, 佐藤晋哉 : 家具が固定されたフリーアクセスフロアの耐震性の簡易評価方法および評価の一例, 日本建築学会大会学術講演, A-1, 2010年9月10日, 富山
- ④ 横山 裕, 三橋由弥子, 横井 健 : 家具が固定された床の耐震性の簡易評価方法に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演, A-1, 2009年8月26日, 仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 裕 (YOKOYAMA YUTAKA)
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：00231689

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし