

東北大学教育研究用機器 転倒防止技術指針

教育研究用機器転倒防止ガイドラインWG

東北大学教育研究用機器転倒防止技術指針

【目 次】

1. はじめに	3
2. 設置場所によって異なる地震時の揺れ	4
3. 要求耐震性能と重要度分類	6
4. 地震対策用設計震度	8
4.1 耐震クラスの設定	
4.2 耐震建物における設計震度の設定	9
4.3 免震建物における設計震度の設定	10
5. 基本的な対策技術	12
5.1 免震・固定・移動対策の選定方法	
5.2 免震台による対策	
5.3 壁固定による対策	13
5.4 自立固定による対策	15
5.5 ストッパーによる対策 (転倒移動用ストッパー、移動用ストッパー)	
5.6 対策時の留意点	17
<付録>	
資料1 耐震建物における詳細な設計震度の設定方法	18
資料2 耐震建物における本棚と物品棚類向け地震対策検討結果	19

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（マグニチュード9.0）（以下、東日本大震災という）において東北大学の全キャンパスは3分以上に及ぶ長い継続時間の大きな揺れに襲われた。幸いにして発生時期が春休み期間中であったこともあり学内における犠牲者はなかったものの青葉山キャンパスを中心に甚大な物的被害をもたらした。施設関連の被害ばかりでなく、教育研究機器の破損による被害も甚大であり、一時的な教育研究の停止を余儀なくされた。高額な実験機器における地震対策が必ずしも十分でなかったことが巨額な被害をもたらした要因としてあげられる。震災後の復旧として機器の地震対策を進めて行くうえでも障害となるのが以下の点である。

- ① 高額な機器の地震対策がメーカーに依存しており、発注仕様書（設計仕様）に地震対策が盛り込まれていない機器が多いのが現状である。
- ② 機器の固定などの対策を行うと、本来機器に求められる精度や機能を発揮しないものがあり、使用性と安全性を併せて満足するような対策が必ずしも容易ではない。
- ③ 不完全な対策では、かえって本体や利用材料によって危険性・物的損害が多くなる可能性がある。
- ④ 固定を行うことで弱い地震でも繊細な部品は破損する可能性があり、その補修・調整のための費用が必要となる。
- ⑤ 実験機器の地震対策に利用できる十分な強度を有する支持点（画棧など）の情報など、施設（不動産）と実験機器（動産）の調整に係わる相談窓口が無いことなどがあげられる。
- ⑥ キャンパス再生に当たって採用される免震建物内に設置される機器の耐震性能についても検討する必要がある。

以上のような背景において、教育研究機器の地震対策を行うのに骨格となるべき基本概念や具体的な設計外力を定量的に示す技術指針が必要となる。

ここでは、建築物の非構造部材や設備の耐震設計指針¹⁾や高額な機器の地震対策を対象としている半導体工場の地震対策ガイドライン²⁾を参考に東北大学における教育研究機器の地震対策のための技術指針を示すものであり、設置場所によって異なる地震時の揺れに関する基礎知識、要求耐震性能と重要度分類、設計用外力（設計震度）を示すとともに、具体的な対策事例について安全性のチェックの方法とともに紹介する。

2. 設置場所によって異なる地震時の揺れ

地震の揺れの性質（地震動特性）は、大きく3つの要素で決まる。すなわち、震源からどのような地震波が発生するか（震源特性）、震源からどれくらいの距離があり、地震波がどの経路を通過してくるか（伝播経路特性）および、建物の敷地地盤の条件によって異なる（サイト特性）（図2-1参照）。また、地盤を介して建物に入った地震波による建物の揺れは一般に最上階で大きくなる。さらに、大スパンの床や天井などでは、大きな上下動も励起されるとともに、OA床やクリーンルームのグレーチング床など2重床ではさらに揺れが増幅する（図2-2参照）。図2-3には地震観測に基づく建物内での揺れの増幅について示す。1階の揺れに対して最上階では揺れが増幅することが確認できる。

研究教育用機器の地震対策では、このような地震波の伝播に伴う揺れを増幅を考慮することが望まれるとともに、建築物の構造躯体（柱・梁・壁）や非構造部材（内装・外装）・設備の耐震設計法と整合した設計用外力の設定によるバランスの地震対策が求められる。

構造躯体については、一般構造物、および、超高層や免震構造などの大臣認定を必要とする構造物にわけられ、これまでの耐震設計体系の進化とともに比較的厳しく規制されてきている。しかし、地盤の影響はかならずしも適切に反映されているわけではない。片平キャンパスと青葉山キャンパスの揺れの違いが耐震設計・補強に反映されていないのが実状で、耐震補強された建物が被害を受けた理由はそこにある。非構造・設備に対しては設計指針で示している局部震度法(重要度と揺れを増幅を考慮)などがあるが必ずしも十分に規制されていないのが実状である。また、現状の建築構造物の耐震設計では地震の揺れの大きさに対応した要求性能を満足する多段階設計法の考え方が適用されている。

したがって、教育研究機器の地震対策においては、以上のような背景を考慮する必要がある。特に、高額な実験機器で破損した場合に人命に影響を及ぼすようなものについては、法的規制の強化が必要である。

なお、構造躯体・非構造設備は「不動産」で施設部管理、教育研究備品は「動産」で財務部管理であり、連携によりバランスのとれた地震に強い建物をつくることが求められる。

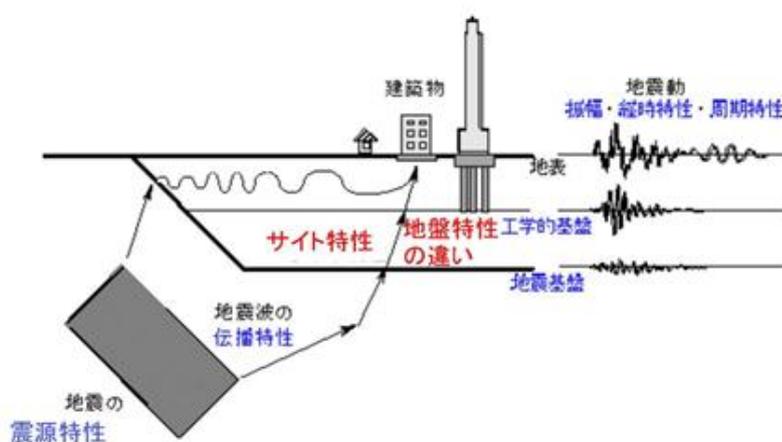


図2-1 地震の揺れの性質（地震動特性）を決める3つの要素（文献9より引用）

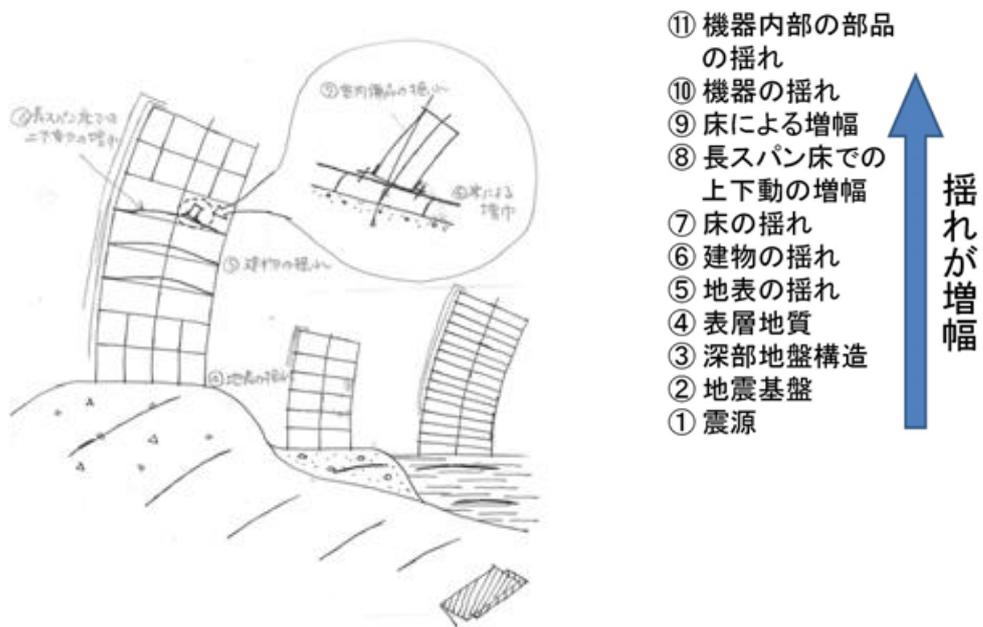


図 2-2 地震波の伝播

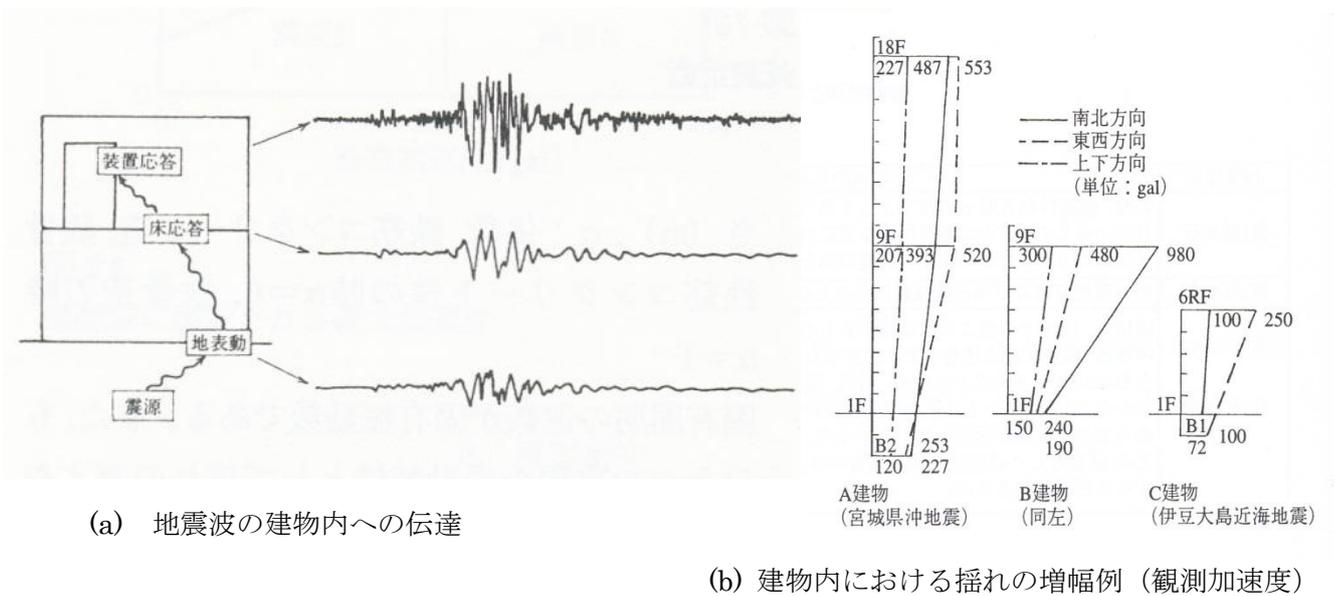


図 2-3 地震観測に基づく建物内での揺れの増幅 (文献 2 より引用)

3. 要求耐震性能と重要度分類

教育研究用機器は多種多様であり、大きさ、性能、精度、利用する材料が異なる。また研究に利用されるため、その利用方法も研究分野や研究者によって異なる。それぞれの機器の地震対策を行うためには、はじめに大地震時に機器に求められる性能を整理することが必要である。

大地震時に求められる耐震性能は、表 3-1 に示す「安全性」、「修復性」、「使用性」の 3 つである。全ての物品に求められる性能である「安全性」は人的被害を引き起こさないことである。「修復性」は故障や部品の破損が起こっても地震後に早期に復旧が可能なこと。「使用性」は地震時にも機能が継続して発揮されることが求められる、あるいは停止しても地震後に機能が継続することが求められる性能である。

表 3-1 物品に求められる耐震性能

耐震性能	説明
安全性	地震時に人的被害を引き起こさない性能。全ての物品に求められる基本的な要求性能。
修復性	故障や物品の破損が起こっても地震後に早期に復旧が可能な性能。修復性は、被害額や影響度合いも加味されて判断される。
使用性	地震時にも機能が継続して発揮される性能。地震時の揺れの最中にも稼働する必要や、停止しても地震終息後に自動もしくは補修することなく機能することで良い物品もある。

物品の重要度は、表 3-2 に示すように求められる耐震性能から「特別重要物品」、「重要物品」、「一般物品」の 3 つに分類される。「特別重要物品」は、大地震時でも「安全性」、「修復性」、「使用性」の 3 つの耐震性能が求められる機器であり、つまり、停止した場合には重大な二次被害や貴重な資料の逸失等を及ぼす可能性があり、地震直後に正常に動作することが求められる機器である。「重要物品」は大地震時でも「安全性」と「修復性」が求められ、目的とする機能が早期に回復することが必要であり、被災時の復旧には高額な経費が必要な機器である。「一般物品」は大地震時でも「安全性」が求められ、早期の回復まで求めることはなく、被害による影響が少ない物品である。

「特別重要物品」や「重要物品」の機能や構造によっては、単に装置・物品の転倒防止を図るだけでなく、振動に弱い内部の精密部品の地震対策や、危険の原因となりうる材料に関連する機器や容器、配管等の対策が重要となる。特に「使用性」が必要な機器においては、大地震時においても機能を継続するために、危険な材料を保全する設備や無停電電源が必要となる場合がある。

表 3-1 大地震時の要求性能による室内物品の分類

分類	説明	要求性能		
		安全性	修復性	使用性
特別重要物品	<ul style="list-style-type: none"> 大地震時の機能停止で、重大な二次被害が生じる危険性がある機器。 大地震時に機能停止し、直後に復旧ができない場合に、保管・利用していた貴重な試料・データ等を損傷・損失する機器。 大地震時に補修することなく、物品の目的とする機能を地震直後にも相当期間継続する必要がある機器。 	○	○	○
重要物品	<ul style="list-style-type: none"> 大地震後、目的とする機能が早期復旧する必要がある機器。 大地震後に機能の損傷で二次被害が発生する危険性のある機器。 高額な機器、もしくは修理に多額の経費が必要な機器。 	○	○	× ¹
一般物品	<ul style="list-style-type: none"> 大地震後、早期の機能回復が必要ない機器。 復旧が容易である機器。 大地震時に機能の損傷で二次被害が発生する危険性のない機器。 	○	× ¹	× ²
<p>○：大規模地震でも保障する。 ×¹：中・小規模の地震の場合には保障する。 ×²：小規模の地震の場合には保障する。</p>				

4. 地震対策用設計震度

免震・固定・移動対策の検討時に必要な地震力は、局部震度法によって設定するものとする。はじめに物品の用途と物品を設置する建物の重要度から耐震安全性を評価する。これを元に大地震の時に働く地震力（設計震度）を設定し、この地震力で転倒・移動が発生しないように固定点に必要な耐力を求め、支持母材の特性に合わせて固定方法や固定金具を選定する。

4.1. 耐震クラスの設定

耐震クラスは物品の耐震安全性をランク付けするものである。表 4-1 に示すように「物品の重要性」と「建物の用途」との組み合わせから S、A、B の 3 段階に設定する。

物品の重要性は、「一般物品」と重みを付けた大地震時に修復性を求める「重要物品」「特別重要物品」を区分した。「重要物品」は、薬品や危険物の保管庫、高圧ガスボンベ、高価な分析装置や実験機器等であり、「特別重要物品」は更に使用性を求める。「一般機器」は、本棚や棚、オフィス用品である。建物の用途は、「一般の施設」と重みを付けた「特定の施設」に区分される。東北大学は多くの学生が集まる学校であることから「特定の施設」とした。耐震安全性はこれらの 2 つの要素の組み合わせから、重みが付けられた「重要機器」かつ「特定の施設」の場合には耐震クラス S、いずれか一方のみに重みが付けられた場合には耐震クラス A、いずれも重みが無い「一般機器」かつ「一般の施設」の場合には耐震クラス B となる。学内ではすべての建物で施設の用途に重みを付けるために、「重要機器」と「特別重要物品」を耐震クラス S、「一般機器」を耐震クラス A と設定する。

耐震クラスは、建物の増幅係数を考慮した震度に対して、機器の用途と建物の重要度に応じた用途係数の積の値を意味しており、耐震クラス B は 1.0 であり、耐震クラス A は 1.5、耐震クラス S は 2.0 である。

表 4-1 室内物品の耐震クラス

		物品の重要性		
		特別重要物品	重要物品	一般物品
建物の用途	特定の施設	S	S	A
	一般の施設	A	A	B

4.2. 耐震建物における設計震度の設定

耐震建物における設計震度の設定方法は、水平成分を設定し、その後に鉛直成分を設定する。水平成分は、建物の各階床での地震動の増幅係数を設定し、検討の基礎となる基準震度を定め、物品設置場所の震度を求める。その震度に、設定した耐震クラスによる係数を乗じて設計震度を設定する。鉛直成分は、水平成分の2分の1とする。

なお、本方法は簡素な方法であり、詳細の方法を巻末資料に示した。大型の装置や重要度の高い機器などは詳細の方法で検討することが望ましい。

(1) 建物の階層による増幅係数

建物内における階層ごとの増幅係数と設計水平震度を表 4-2 に示す。この表における増幅係数は、地面からの入力された基準震度が階層によってどの程度増幅するかを示した値であり、建物の地震観測結果や建物挙動のシミュレーション結果から簡便的に設定されている。基準震度を 0.4 (400cm/s²) としたため、各階の水平設計震度は、「1 階および地下階」で 0.4、「中間階」で震度 0.6、「上層階、屋上および塔屋」で 1.0 となる。

表 4-2 室内物品の増幅係数と水平設計震度

	増幅係数	水平設計震度 (基準震度 0.4)
上層階、屋上及び塔屋	2.5	1.0
中間階	1.5	0.6
1 階及び地下階	1.0	0.4

(2) 耐震建物の設計震度

求めた水平設計震度に、物品と施設の重みづけから、物品ごとの震度を設定し、表 4-3 に示す。また、防振機能を有する機器の震度は、震度 2.0 を上限として 1.5 倍する。

表 4-3 設定した耐震建物における機器の設計震度

	特別重要物品 重要物品 (耐震クラス S)	一般物品 (耐震クラス A)	参考 (耐震クラス B)
	水平	水平	水平
上層階、屋上及び塔屋	2.0	1.5	1.0
中間階	1.5	1.0	0.6
1 階及び地下階	1.0 (1.5)	0.6 (1.0)	0.4 (0.6)
()内は地下及び1階に設置される水槽に適用 鉛直設計震度は水平設計震度の0.5倍			

4.3. 免震建物における設計震度の設定

免震建物における設計震度の設定方法も、水平成分を設定し、その後に鉛直成分を設定する。水平成分は、建物の設計において実施された応答解析の結果である各階の振動応答加速度値から設計震度を設定する。鉛直成分については特に解析されていない場合には、耐震建物の水平成分の2分の1とする。

(1) 免震建物の設計震度

構造体の設計において動的解析が行われ、各階の振動応答加速度値 G_f が与えられた場合の設計用水平震度 K_H は、設備指針では以下の求め方が示されている。

$$K_H' = (G_f / G) \times K_2 \times D_{ss} \times I_s$$

ここに

G_f 各階床の振動応答加速度の値 (cm/s²)

G 重力加速度の値=980 (cm/s²)

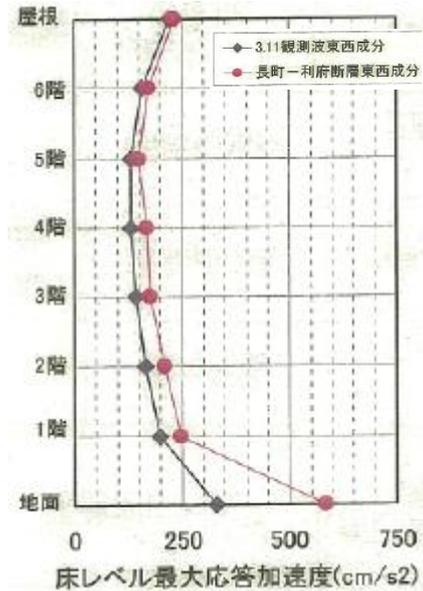


図 4-1 地震応答解析結果例

免震建物の地震応答解析結果から、設定した大地震時の振動応答加速度を G_f とする。ここでは、工学研究科電子情報システム・応物系の新築棟で計画した地震応答解析結果を図 4-1 に示す。この図から最も大きな値である長町-利府断層東西成分における各階の応答加速度値は 150~250cm/s² であり、ここでは最大値を代表値として、振動応答加速度 G_f を 250cm/s² として検討を進める。

「建築設備耐震設計・施工指針における実務上のポイント」(以下、設備指針 Q&A 集) では、入力地震動の最大加速度が 400cm/s² 程度以上必要であることが示されており、長町-利府断層東西成分における地動加速度値は図 6-2 における「地面」の値およそ 650cm/s² であることから十分にこれを満足する。

K_2 は設備機器の応答倍率であり、表 4-4 における「堅固に据え付けられた機器」に該当することから、 $K_2=1.5$ とする。

表 4-4 設備機器の応答倍率

機器の取付状態	応答倍率: K_2
防振支持の機器	2.0
堅固に据付けられた機器	1.5

D_{ss} は設備機器据え付け用構造特性係数であり、設備指針から、「振動応答解析が行われて

いない設備機器」に該当するため、 $D_{SS} = 2/3$ とする。

I_s は設備機器の用途係数であり、 $I_s = 1.0 \sim 1.5$ 。一般機器の場合、設備機器の用途係数 $I_s = 1.0$ 、重要機器の場合、 $I_s = 1.5$ とする。

これらより

一般機器の場合 $K_H' = (250/980) \times 1.5 \times 2/3 \times 1.0 = 0.26$

重要機器の場合 $K_H' = (250/980) \times 1.5 \times 2/3 \times 1.5 = 0.38$

ここで、 K_H は表 4-5 にもとづき値を丸めることが推奨されている。

表 4-5 建築物の動的解析が行われている際の設計用水平震度 K_H

設計用水平震度 K_H	K_H' の値
0.4	0.42 以下 (通常の建築物の場合)
0.6	0.63 以下 (用途係数の高い建築物・設備の場合)
1.0	0.63 を超え 1.10 以下の場合
1.5	1.10 を超え 1.65 以下の場合
2.0	1.65 を超える場合

表 4-5 に基づき値を丸め、今回の新築される建物が学校に分類されることから用途係数の高い建築物に相当する。鉛直設計震度は、特に解析されていない場合には、耐震建物における設計用水平震度の 1/2 とする。これらより免震棟における設計震度を表 4-6 に示す。

表 4-6 設定した免震建物における機器の設計震度

	特別重要機器 重要機器 (耐震クラス S)		一般機器 (耐震クラス A)		参考 (耐震クラス B)	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
上層階、屋上及び塔屋	0.6	1.0	0.6	0.75	0.4	0.5
中間階		0.75		0.5		0.3
1 階及び地下階		0.5		0.3		0.2

5. 基本的な対策技術

5.1. 免震・固定・移動対策の選定方法

免震・固定・移動対策はいくつかの方法があり、その選定方法を図 5-1 に示す。はじめに物品の重要度分類に合わせてスタートし、いくつかの検討事項を経て、最終的には、免震、壁固定、自立固定、転倒移動用ストッパー、移動用ストッパーのいずれかの対策を取る。免震が最も効果が高い対策方法であると考えられ、様々な制限があっても転倒防止用ストッパーもしくは移動用ストッパーは実施する必要がある。

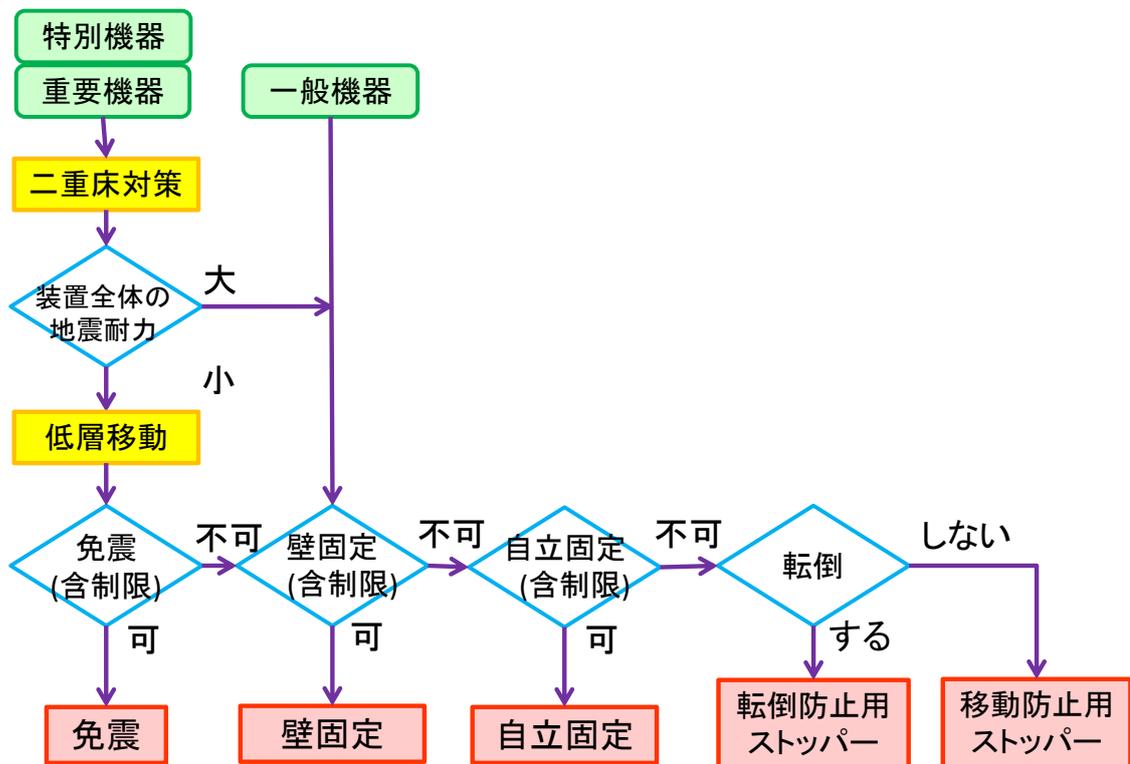


図 5-1 免震・固定・移動対策の選定方法

5.2 免震台による対策

免震台の利用で、機器の地震安全性は向上する。計画時には、設置場所の階層に合わせた設定震度とする。特に、既存の免震台を利用する場合には、その設計地震動を確認する。

また、免震台の中には常時の揺れを軽減するが地震動の揺れに対応していない機器もあり、盤の逸脱や飛び出しが生じる場合も有る。メーカーや購入先に仕様を確認することが必要である。

5.3 壁固定による対策

壁固定は一部の高精度な分析器や精密な工作機械などを除けば、最も確実に地震対策を実施することができる方法である。図 5-2 に検討モデルを示す。転倒防止と移動防止の両方の検討を行い、対策を行う。

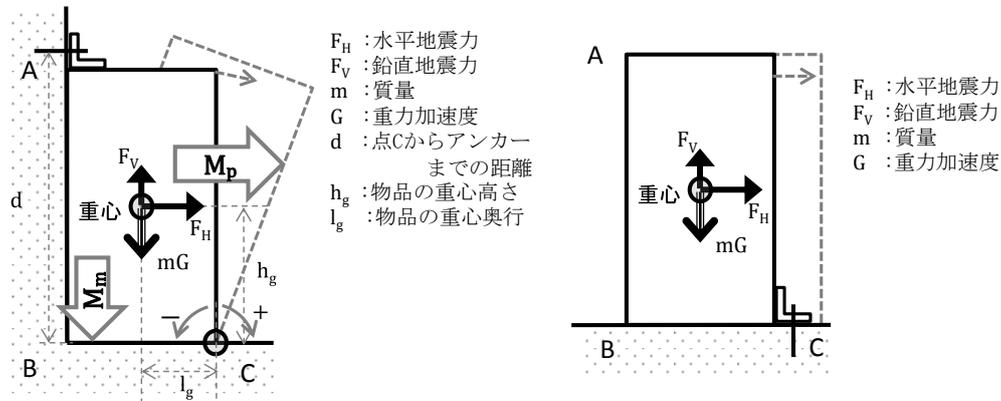


図 5-2 壁固定の転倒防止検討モデル

(1) 転倒防止に必要な転倒モーメントの算出方法

転倒モーメントの総和 M の大きさ M は、地震力による転倒させようとするモーメント M_p から転倒させまいとするモーメント M_m を減じた値である。

$$\begin{aligned} M &= M_p - M_m \\ &= h_g \times F_H + l_g \times F_V - l_g \times m \times G \\ &= h_g \times K_H \times m \times G - l_g \times (1 - K_V) \times m \times G \end{aligned}$$

ここで、

K_H : 設計用水平震度

K_V : 設計用鉛直震度

以下の条件で転倒が発生する。

$$M = M_p - M_m > 0$$

この条件が成り立つ時、 M が転倒を防ぐために不足しているモーメントの大きさである。

(2) 転倒防止のアンカーに必要な引抜力の算出

点 A での 1 固定支点当たりの必要な引き抜き耐力 (R_b) を以下に示す。

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{M_p - M_m}{d \times n} = \frac{h_g \times F_H + l_g \times F_V - l_g \times m \times G}{d \times n} \\ &= \frac{h_g \times K_H \times m \times G - l_g \times (1 - K_V) \times m \times G}{d \times n} > 0 \end{aligned}$$

ここで

d : 点 C からアンカーまでの距離

n : 固定支点数

(3) 移動防止に必要なせん断力の算出方法

移動防止対策においては、水平方向の地震力のみを検討となる。

水平方向のせん断力は、図 5-2 に示すように、点 C の支点で全せん断力を担うモデルとして検討する。

なお、物品の重量及び固定アンカーの締付力による床等との摩擦抵抗は原則として考慮しない。

$$F_H = K_H \times m \times G$$

(4) 移動防止のアンカーに必要なせん断力の算出方法

支点 1 カ所あたりに必要なせん断応力度 (τ) とせん断力 (Q) を以下に示す。

$$\tau = \frac{F_H}{n \times A} = \frac{K_H \times m \times G}{n \times A} > 0$$

または、

$$Q = \frac{F_H}{n} = \frac{K_H \times m \times G}{n} > 0$$

ここで、

A: 点 C におけるアンカー1 本当りの軸断面積 (呼径による断面積)

n: 点 C における支点数

5.4 自立固定による対策

自立固定における転倒検討モデルを図 5-3 に示す。この図の点 C を転倒の支点とすると、作用する地震力や点 B におけるアンカーの引き抜き力の向きは図における点 A のアンカーと同じである。点 B のアンカーに作用する引き抜き力を求める算出方法は壁固定と同様の方法であり、点 A を点 B に呼び換えて各式を適用することができる。

左方向にも転倒が生じるため、点 C にも点 B と同様なアンカーが必要であることに注意する。

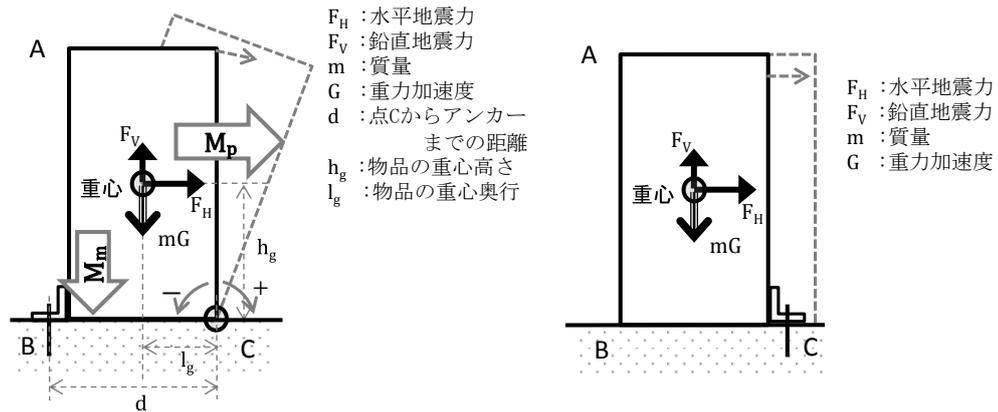


図 5-3 自立固定の転倒防止検討モデル

5.5 ストッパーによる対策（転倒移動用ストッパー、移動用ストッパー）

固定することで機器の機能や性能を制限する場合には、転倒移動用ストッパーを利用することが有効である。ストッパーは様々な形状が提案されており、多くは機器と非接触であるため、床からの振動を伝えることもなく、多少の移動を許容することもできる。このような機能を持っているため、ほとんどの物品で対策を取ることができる。ただし、物品と分離しているため、地震時の動きによっては思わぬ挙動を示す危険性もあるため、固定に制限がある場合の方法として考えるべきである。

設計においては、転倒・移動対策と同様に設計震度を設定し、その地震で転倒が生じるか否か、必要な耐力を算出し、ストッパーを設置することとなる。アンカーの強度だけでなく、ストッパー金具の曲げ強度やせん断強度の計算が必要となる。

(1) ストッパーの形式

主なストッパーを図 5-4 に示す。ストッパーには、移動防止形、移動・転倒防止形、通しボルト形などがあり、近年では、地震対策用品として耐震パットや接着剤を利用したストッパーも販売されており、対策の施工が容易になっている。

(2) 検討事項

ストッパーを用いた転倒・移動防止対策、移動防止対策においては以下の事項の検討を行う必要がある。

- ① 機器が転倒するか否か
- ② ストッパーの形状と板厚
- ③ ストッパーを固定するアンカー強度（引抜力、せん断力）
- ④ アジャスターボルト等の機器との接続部分の強度

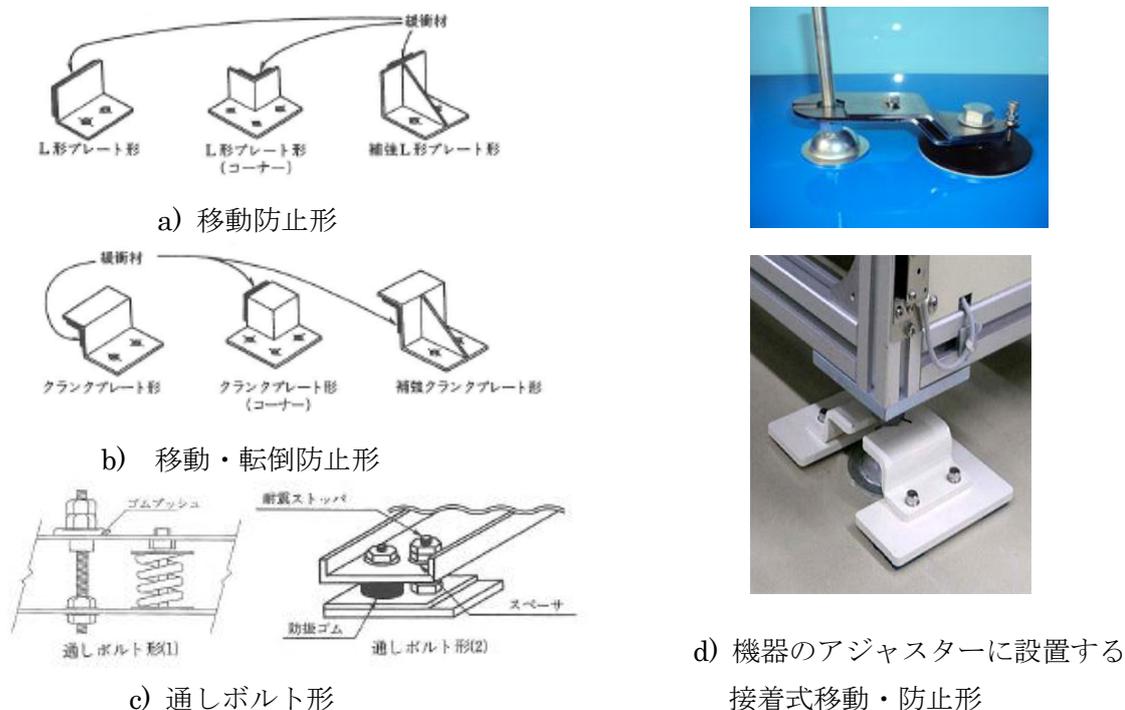


図 5-4 ストッパーの形式例

5.6 対策時の留意点

物品の揺れは様々な段階で増幅される。各段階で不要な増幅が行われず、安定する状態を保つことが必要である。

(1) 二重床による揺れの増幅防止

クリーンルーム等の床スラブから高い位置にあるグレーチング床面では、本来のコンクリート床面からの揺れがグレーチング床の支持部材によって増幅される場合が多い。同様なことも床下配管等を考慮した実験棟などのフリーアクセスフロアでも同様な増幅が起こることが考えられる。特に重量物を配置する場合には、図 5-5 に示すように、フロア材を取り除いて床スラブ面に配置するか、フロア床面やグレーチング床面の下部に床スラブ面に堅牢な台座等を設置することで効果的な地震対策が可能となる。

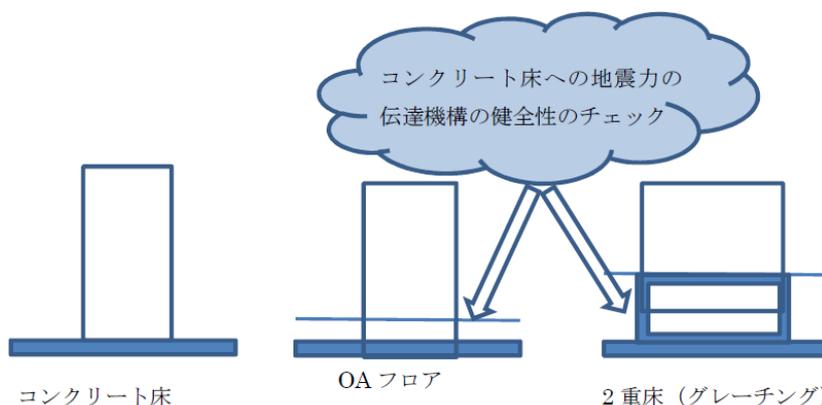


図 5-5 床形式の違い

(2) 塔状比の大きい物品の注意

図 5-6 に示すように、物品は高さが高いほど、塔状比（高さ／幅）が大きいほど転倒しやすくなる。転倒しやすいものは、壁固定で上部を固定すること、同様な機器と連結し塔状比を小さくするように工夫することで安定性が向上する。

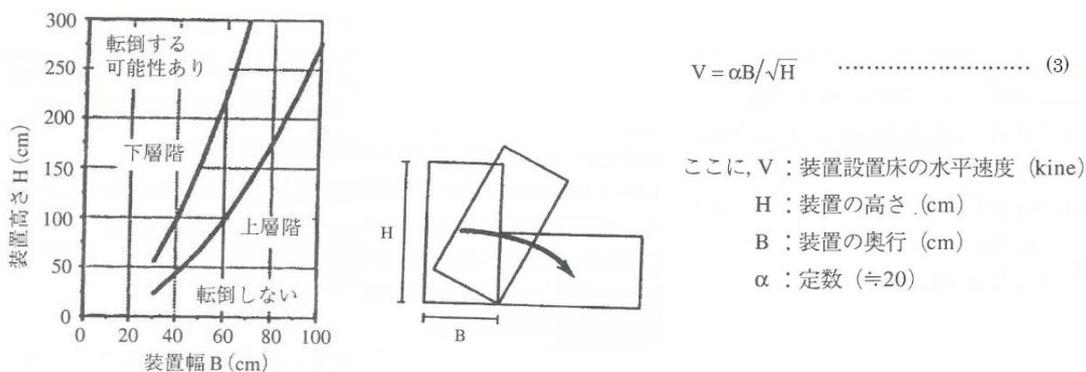


図 5-6 設備機器の転倒条件

資料 1 耐震建物における詳細な設計震度の設定方法

<半導体設備の設計で用いられている設計用地震力>

「半導体製造における地震対策ハンドブック」より

$$F_H = K_H \cdot W = Z \cdot I \cdot K_{AH} \cdot K_{RH} \cdot W \quad (1)$$

$$F_V = K_V \cdot W = Z \cdot I \cdot K_{AV} \cdot K_{RV} \cdot W \quad (2)$$

ここに、 F_H : 設計用水平地震力

F_V : 設計用鉛直地震力

K_H : 設計水平加速度比

K_V : 設計鉛直加速度比

Z : 地域係数 (図-30)

I : 重要度係数 (通常は1.0)

K_{AH} : 建物床の水平加速度比 (図-31)

K_{AV} : 建物床の鉛直加速度比

一般に $K_{AV} = K_{AH}/2$, ただし長スパン床では $K_{AV} = K_{AH}$

K_{RH} : 装置などの水平方向応答倍率 (図-32)

K_{RV} : 装置などの鉛直方向応答倍率

一般に $K_{RV} = 1$, ただし防振支持

などでは $K_{AV} = K_{AH}$

W : 装置などの重量 (質量に重力

加速度を乗じたもの)

自由表面を有する水槽などでは

計算により補正した有効質量

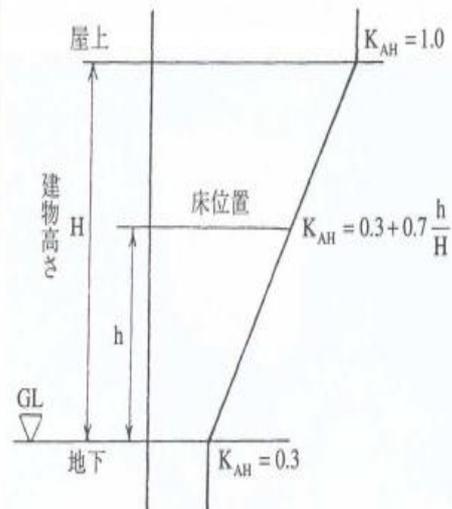


図7 建物内床の水平加速度比

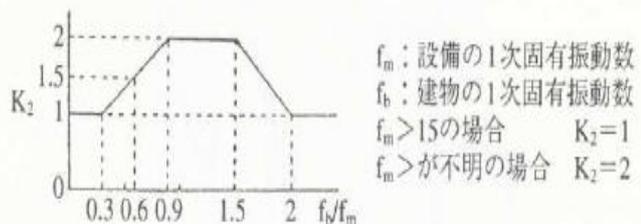


図8 設備機器の応答倍率 (水平加速度)

資料 2 耐震建物における本棚と物品棚類向け地震対策検討結果

1. 被害想定

棚等の地震時の挙動を図 1 に示す。挙動を踏まえた対策の取り組みが必要である。

2. 耐震性能分類と要求性能

棚の耐震性能分類は、収納物によって異なる。

一般的な本棚や物品棚は一般機器であり、要求性能は安全性のみである。薬品棚や重要物品を収納している場合には重要機器であり、要求性能は安全性と修復性である。このほかに特殊な収納物や利用方法を踏まえて特別重要物品を適用する。

3. 危険性の低減

書籍や物品は整理整頓を行う。

物品棚においては、小物はまとめて収納ケースに入れることで対策が行いやすくなる。重量物は棚の下部に配置するようにする。

書籍や本棚自体を高さの低いものを選定することで対策が容易となる。

4. レイアウトの検討

十分な強度での対策が行えなかった場合や、見過ごされた弱点があり被災する場合もある。室内物品の地震対策では、固定を行っても被害を受けた場合に重大な影響を及ぼさないような対応が重要であり、棚の配置や室内での避難経路の確認を行うなどレイアウトに注意することが重要である。注意点を以下に示す。

- ① 廊下を共通の安全スペースとする。廊下に棚やロッカー、機器は配置しない。
- ② 棚類が転倒・移動、収納物が落下・散乱しても避難通路をふさがないレイアウトにする。特に、非常口の付近には配置しないように配慮する（図 2 参照）。
- ③ 高さの高い棚や装置ラック類は壁固定が効果的であることを考慮し、壁際への配置を工夫する。
- ④ 居室における普段座る場所の背後には、高い棚等を配置しない（図 3 参照）。



図 2 東日本大震災時に生じた本棚転倒による閉じ込め危険性



図 3 普段座る背後に高い棚を配置しない

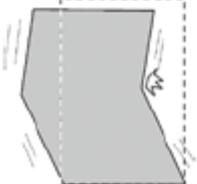
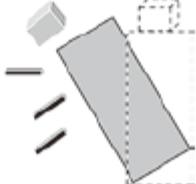
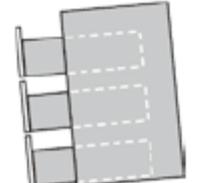
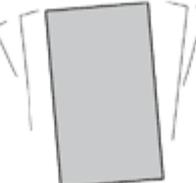
家具の挙動		
被害傾向		
<p>転倒</p> 	<p>落下</p> 	<p>移動</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ○ 周囲の人、物への重大な被害 ○ 避難通路の障害 ○ 火気器具への転倒による火災発生 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 周囲の人、物への重大な被害 ○ 避難通路の障害 ○ 火気器具上への落下による火災発生 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 周囲の人・物への被害 ○ 避難通路の障害
<p>変形</p> 	<p>収納物の落下</p> 	<p>扉の開閉・落下</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ○ 収納物の移動、落下、破損 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 周囲の人への被害 ○ 収納物破損 ○ 避難通路の障害 ○ 収納物が火気器具上に落下することによる火災発生 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 人への被害 ○ 発音による心理的影響 ○ 避難通路の障害 ○ 収納物の落下
<p>引き出しの飛び出し</p> 	<p>ロッキング</p> 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 周囲の人、物への被害 ○ 収納物破損 ○ 避難通路の障害 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 周囲の人、物への被害 ○ 収納物破損 ○ 発音による心理的影響 	

図1 棚等の地震時の挙動ともたらず被害（参考資料5）より）

5. 設計震度

棚の転倒・移動防止については局部震度法^{※1}を適用する。一般的な本棚や物品棚は一般機器であり、耐震クラスAとする。薬品棚や重要物品を収納している場合には重要機器であり、耐震クラスはSである。このほかに特殊な収納物や利用により特別重要物品の場合には、耐震クラスはSである。これらの設置階での設計震度を表1に示す。

局部震度法とその適用方法については、参考資料3を参考とした。

表1 設定した耐震建物における棚類の設計震度

	薬品棚 重要物品収納 (耐震クラス S)		本棚・物品棚 (耐震クラス A)		参考 (耐震クラス B)	
	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直
上層階、屋上及び塔屋	2.0	1.0	1.5	0.75	1.0	0.5
中間階	1.5	0.75	1.0	0.5	0.6	0.3
1階及び地下階	1.0	0.5	0.6	0.3	0.4	0.2

局部震度法^{※1}：対象となる物品に働く地震力を設定し、この地震力で転倒・移動が発生しないように固定点に必要な耐力を算出し、固定方法や固定金具を選定する方法。

震度^{※2}：物品に作用する地震力は「震度」によって設定する。この震度は作用加速度を重力加速度で除した係数であり、水平成分と鉛直成分に分けて設定する。地震による被害の多くは水平成分の地震力によるものであるが、場合によって鉛直成分も考慮する。

6. 計算結果例

本棚および物品棚について、幾つかの事例で壁固定、自立固定での計算結果を表2に示す。この計算では、重心は物品の中央に位置し、転倒の支点とアンカーの距離(d)は物品の高さや奥行と同じに設定した。また、各種アンカーが適用できる支点母材は異なる。適用できる母材を表3に示す。

表2 本棚・物品棚等での支点強度計算例

	物品の形状				設計震度		支点強度 (1固定支点当たり)			
							壁固定 (支点数2, d=h)		自立固定 (支点数片側2, d=w)	
	高さ h	奥行 l	幅 w	質量 m	水平 K _H	鉛直 K _V	A点	点C	点B・点C	
	(m)	(m)	(m)	(kg)			引抜力 (kN)	せん断力 (kN)	引抜力 (kN)	せん断力 (kN)
本棚A	2.5	0.35	0.9	380	1.0	0.5	0.9	1.9	6.2	1.9
本棚B	1.8	0.26	0.9	200	1.0	0.5	0.5	1.0	3.1	1.0
物品棚	2.1	0.45	0.9	240	1.0	0.5	0.5	1.2	2.5	1.2
薬品庫	0.8	0.6	0.44	100	1.5	0.75	0.3	0.7	0.4	0.7

表3 各種アンカーの適用母材

アンカー種類	適用母材
ボードアンカー	ボード
タッピングネジ	軽量鉄骨
中空壁用ボルト	ボード 軽量鉄骨 フリーアクセスフロア
コンクリートネジ	コンクリート
メカニカルアンカー	コンクリート

7. 免震・固定・移動対策

棚類は、壁固定ないし自立固定が有効である。基本的な固定方法を表4、表5に示す。

表4 棚の壁固定の方法

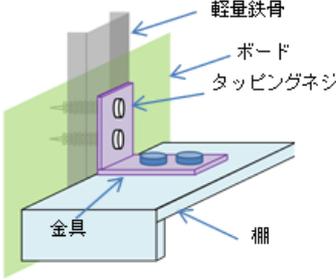
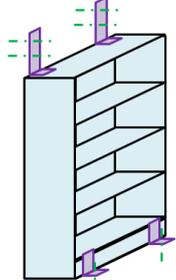
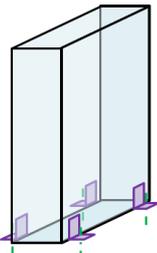
対象	<p>○地下階～中間階設置、250kg以下（高さ2.0m程度）の本棚や物品棚（水平設計震度1.0）</p> <p>○地下階～中間階設置、150kg以下（高さ1.2m程度）の薬品棚（水平設計震度1.5）</p>	
固定方法	<p>基本的な固定方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ○壁と床の両方に固定 ○固定の支点は壁と床にそれぞれ幅1mあたり2カ所以上 ○建物ごとに壁や床の構造を確認して固定方法を検討 	
	<p>固定例（軽量鉄骨下地中空壁）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>上部の固定方法</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>固定の全体</p>  </div> </div>	
	支点対象	アンカーの種類と固定方法
壁	軽量鉄骨下地中空壁	壁背面の軽量鉄骨に固定。1カ所あたり2本のタッピングネジ、もしくは1本の中空壁用ボルトで固定。
	コンクリート壁	M6以上のメカニカルアンカーを利用。
	画棧	画棧が設置された軽量鉄骨下地中空壁もしくはコンクリート壁にそれぞれの方法で固定。
床	フリーアクセスフロア	棚の大きさやフリーアクセスフロアの構造によって、フロア材への固定、床スラブ（コンクリート床）への固定を選ぶ。フロア材への固定には、φ5mm以上のドリルネジや中空壁用ボルトを利用。
	コンクリート床	5mm以上のコンクリートネジやM6以上のメカニカルアンカーで固定。
対象外の対処	<p>建物の最上階や重要物品、重量の大きな棚</p> <p>強度の高い仕様のアンカーの選定、支点数を増やす、床固定の併用、補助固定としてボード固定</p> <p>オフィス家具では専用オプションもある販売店に問い合わせ</p>	

表 5 棚の自立固定の方法

対象	<p>○地下階～中間階設置、250kg 以下（高さ 2.0m 程度）の本棚や物品棚（水平設計震度 1.0）</p> <p>○地下階～中間階設置、150kg 以下（高さ 1.2m 程度）の薬品棚（水平設計震度 1.5）</p>	
固定方法	<p>基本的な固定方法</p> <p>○床に片側幅 1m あたり 2 カ所以上の支点とし、両側で固定する。</p> <p>○支点のアンカーの仕様は左右同一とする。</p> <p style="text-align: center;">固定例</p> 	
	支点対象	アンカーの種類と固定方法
床	フリーアクセスフロア	床アンカーに大きな引抜耐力が要求されるため、床スラブへの固定を行う。固定方法はコンクリート床に従う。フリーアクセスフロアの構造によっては、フロア材を取り外さず固定も可能な場合がある。
	コンクリート床	M10 以上のメカニカルアンカーやケミカルアンカーで固定。
対象外の対処	<p>塔状比の大きな棚、重要物品、重量の大きな棚</p> <p>1m あたりの支点数を増加、付近の棚と連結。</p> <p>自立固定には太いアンカーが求められ、施工が困難となるため、低い棚への交換や積載物の減量が重要</p>	

8. 固定時の注意事項

棚の形式は様々なものがあり、壁や床の構造も建物や部屋によって異なる。固定時の注意点を以下に示す。

(1) 分離棚の連結

上下が分離した棚は、連結により一体化を図る。従来の棚連結方法はボルトや金属プレートを利用したものが多かったが、近年では図 4 に示すような地震対策用粘着テープを利用することで容易に実施できる。利用の際は接着面の清掃など注意事項を確認し使用する。



図 4 連結用粘着テープの利用例
(リンテック 21HP より)

(2) 落下防止対策

本棚の書籍や書類は頭部より上部に物品を配置せず、重い物品は下部へ配置し、やむをえず上部に配置する場合は図5や図6に示すようなバーやバンドを設置して落下防止対策を行う。ただし、棚の転倒防止対策が不十分な状態では、棚全体が一体となって転倒する危険性があるため、転倒防止対策は十分な強度で行うことが前提である。



図5 落下防止バーによる落下防止対策例



図6 ゴムバンドによる落下防止対策例

(3) 引出式の棚について

書類入れ、大型の図面棚、工具入れ等引出式の棚はラッチ付きのものを選定する。ラッチが無い棚を使用する場合には、引出が前に飛び出しても転倒しないように十分な強度での地震対策を行う（図7参照）。

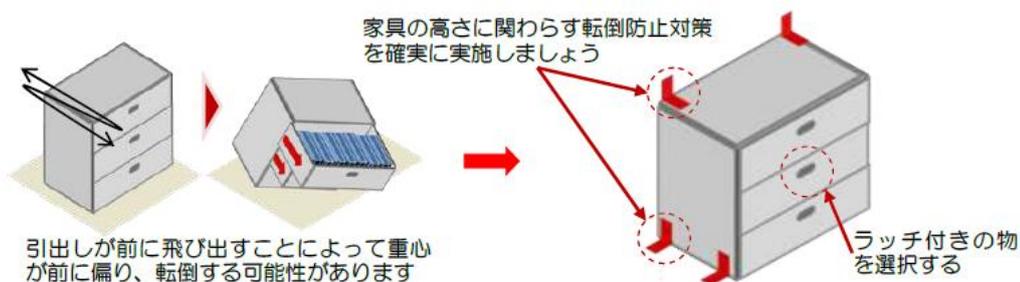


図7 引出式の棚における転倒防止の注意点（参考資料1）より

(4) 移動式ラックについて

① 日常的に動かす移動式ラック

移動時以外はキャスターロックをかける。定位置を設定し、脱着式のベルト等でつなげ、転倒防止を図る（図8参照）。

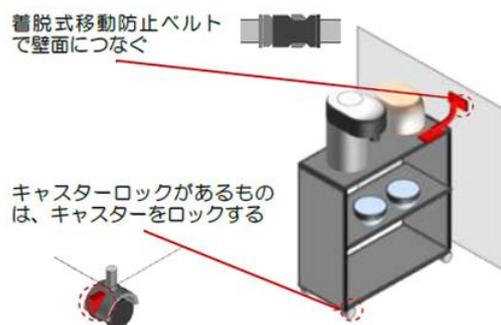


図8 移動式ラックの転倒防止例1（参考資料1）より

② 日常的に動かさない移動式ラック

キャスターにロックを掛けるか輪留めを設置し、脱着式のベルトや突張棒で転倒防止を図る（図 9、図 10 参照）。



図 9 移動式ラックの転倒防止例 2
(リンテック 21HP より)



写真 10 移動式ラックの転倒防止例 3
(プロセブン HP より)

※移動式ラックや台は、東日本大震災時に転倒を免れたとの報告がある。しかし、地震時にラックや台が動き回っており、危険な状態が予想されるため、固定することを基本とする。

2.7. 機能維持対策

特殊な収納物や利用方法により機能維持対策が必要であれば個別に検討を行う。薬品棚や本棚、物品棚の機能維持対策は基本的に不要である。

2.8. 十分な固定ができない場合の対策

本棚や物品棚類の固定は比較的容易であるため、地震対策の中では基本的な対策である。重量棚や特別な場合を除き、所定の耐震クラスを目指して転倒防止を実施する。

最上階に設置する棚は設計震度が大きくなり、十分なアンカーを取れない場合でも、耐震クラス B を達成できるような対策を行う。計画的に物品を移動し、低い棚へ変更する。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会、非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計・施工要項設備設計指針、2003
- 2) リアライズ社、半導体製造における地震対策ハンドブック、1996
- 3) 一般財団法人日本建築センター、建築設備耐震設計・施工指針 2005 年版、2005
- 4) 一般社団法人日本建築センター、建築設備耐震設計・施工指針における実務上のポイント、2011
- 5) 社団法人日本空気清浄協会、クリーンルームにおける地震対策指針、1997
- 6) 東京消防庁、家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック、2013
- 7) 東北大学工学研究科、室内物品地震対策ガイドライン、2012
- 8) 東北大学工学研究科、東日本大震災地震被害報告書、2012
- 9) 独立行政法人防災科学技術研究所、地震ハザードステーション J-SHIS ホームページ、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>、閲覧 2014 年 2 月