

ラックの耐震固定時に発生予測される 残留リスクへの対策

○加藤 恒雄¹⁾, 小林 英治²⁾, 高野 聡美³⁾, 六車 香織³⁾, 小木曾 昇³⁾

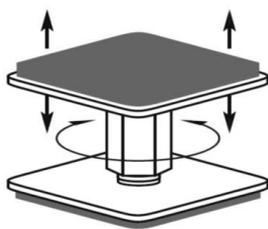
¹⁾(有) キョウエー, ²⁾(株) セノ, ³⁾ 国立長寿医療研究センター研究所実験動物管理室

1. はじめに

実験動物施設、とくに SPF 動物を飼育する施設においては、外部からの病原性微生物等の侵入を防ぐため高度なバリアを維持する必要がある。SPF 動物の飼育室は、HEPA フィルターを用いた空調管理、消毒や滅菌した飼育器材、定期的な環境や飼育動物のモニタリング検査などで清浄度を保っているが、飼育室内の天井、壁、床の破損によりバリア（または気密性）が崩れることもあるため注意しなければならない。そのため、室内設備機器類の耐震対策を行うにあたっては、施設内床面の内部汚染防止・外部拡散防止措置の機能維持の観点から、床面に穴を開けない固定方法が求められる。

我々は、ウレタンエラストマー製粘着マットと金属製器具を組み合わせた、床・壁に穴を開けずに機器・器材を固定できる新たな耐震固定器具（以下、非穿孔型）を開発した（図 1）。この非穿孔型固定器具は、床・壁に穴を開けずに機器・器材を固定でき、粘着マットの面積や金属製器具を変更することで、耐震性能の強化や容易な着脱も可能になる。非穿孔型固定器具は、実際に研究機関で導入され、クリーンラック⁽¹⁾、ボンベ⁽²⁾、IVC ラック⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾等の固定に利用されている。

しかし、実験動物施設で一般に使われている床材のリノリウム長尺シートは、床基礎部と剥離して浮き上がる残存リスクがある（図 2）。施設管理者や耐震固定施工業者はそのリスクを排除するため、より確実な床面に穴を開け床基礎部へ固定する耐震固定（穿孔型）を実施して、結果的に SPF 機能を破壊している現状がある（表 1）。



ラック底面と床面を密着させる

図 1 非穿孔型耐震固定器具

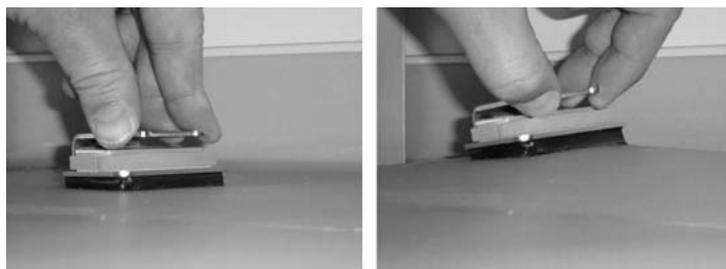


図 2 リノリウム長尺シートの残存リスク

リノリウム長尺シートは床基礎部と剥離して浮き上がる可能性がある

表 1 リノリウム床に耐震固定を行った場合の残存リスク

原因	現象	リスク（危険性・有害性）	非穿孔型固定への影響・評価
養生不足	水分残存	床内剥離による浮き上がり	床面が剥離すると床表面のみの固定は効果が無い? →今回の検討
基礎と床材との接着面不足	接着強度不足	地震動による剥離	
穿孔による機器固定	防水機能破壊	水分が浸透して劣化	既に床面を穿孔したので、非穿孔型は無意味
	開口部の細菌等の汚染	洗浄時の除去が難しい	

そこで我々は、地震発生時、地震動により床内が浮き上がることで床面の傾斜が更に大きくなり、機器・器材が転倒しやすい床内剥離状態にあっても非穿孔型耐震固定が適用可能かを明らかにするために検討を行い、静岡実験動物研究会第43回研究発表会において「動物実験施設内の耐震固定の問題点と対策：穴を開けない固定方法の提案」として、非穿孔型耐震固定が有効であることを発表した。⁽⁶⁾

今回はこの知見を基にリノリューム床が剥離した場合の非穿孔型固定の適用限界を検討し、また設備・機器類（ポンベや飼育ラックを模した試験体）の形状比（B/H：転倒しやすさの指標で数値が小さいほど倒れやすくなる）・固定ピッチ・マット端間スパンの差による地震発生時の転倒有無および挙動について実証したのでその結果を報告する。

2. 材料と方法

試験体と疑似床板

試験体は、1本脚型として疑似ポンベ（以下、ポンベ）、架台付疑似ポンベ（以下、ポンベ+架台）3種類（マット端間スパン110mm, 100mm, 80mm）を作製した（表2）。また4本脚型として疑似ラック3種類（ラックHW, H, L）を作製した（表3）。我々の過去の検討により、非穿孔型耐震固定器具を用いた固定時の耐震性能は、床内剥離度に対して形状比が大きいほど高いという結果が得られている。1本脚型は形状比が低くマット端間スパンが短いため、転倒の危険性が高く、4本脚型は形状比が高くマット端間スパンが長いため、転倒の危険性が低いと考えられる（図3）。

1本脚型・4本脚型試験体における床剥離部の地震発生時挙動モデルを想定した疑似床板はリノリューム床材を用いて、内部が剥離した5種類（床内剥離度0%, 44%, 67%, 83%, 100%）を作製した（表4）。床表面板材質は長寿研の実験動物施設に施工されている耐薬長尺塩ビシート（商品名：ストロングフロアー 厚さ2mmB1-601, ADVAN製）を採用した。一般的な施設ではモルタル上の施工が多いが、今回、実験に使用した加震台の重量制限があるため、軽量な合板（木製、幅600×奥450×厚10mm）を補強板材として利用した。接着方法は防水床施工業者に委託し、一般的に使用されている接着剤（AYボンド、アーキヤマデ社製）を採用した。

表2 1本脚型試験体（ポンベ、ポンベ+架台を想定）

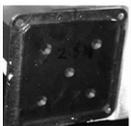
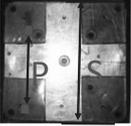
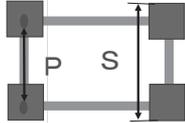
外観及び形状				
マット貼り付け位置				
	全面	中央	中央	四隅
試験体	ポンベ	ポンベ+架台		
形状比(B/H)	0.19	0.22		
寸法W×D×H(mm)	75×60×310	110×110×510		
重心高比 (%)	70	53		
重心高さ (mm)	210	270		
重量 (kg)	2.9	3		
マット必要計算値(mm ²)	2627	3376	2704	1930
使用マット面積(mm ²)	4800	6400	10000	6400
マット端間スパン S(mm)	60	80	100	110
マット間ピッチ P(mm)	0	0	0	70

表3 4本脚型試験体（ラックを想定）

外観および形状			
マット貼り付け位置			
試験体	ラックHW	ラックH	ラックL
形状比(B/H)	0.3		0.6
寸法W×D×H(mm)	300×120×400		300×120×200
重心高比(%)	53	40	60
重心高さ(mm)	210	160	120
重量(kg)	13.7	8.8	8.6
マット必要計算値(mm ²)	4700	2920	2856
使用マット面積(mm ²)	10000		
マット端間スパン S(mm)	140		
マット間ピッチ P(mm)	120		

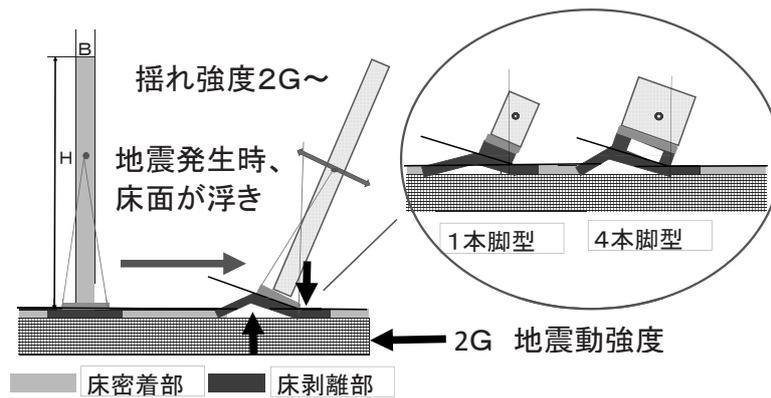
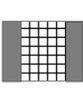
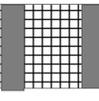
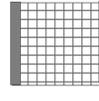
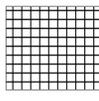


図3 床剥離部の地震発生時挙動モデル

表4 疑似床板

床板側面					
床板内部剥離パターン					
床状態	全面密着	床内浮き上がり			全面剥がれ
床内剥離度%	0	44	67	83	100
接着部分	全面接着	両横100mm	両横100mm	両横50mm	無
床板寸法mm	W600×D450	W450×D300	W600×D450		

床への固定は、1本脚型はマット直貼り、4本脚型は分解可能な金具とマットを組み合わせた非穿孔型耐震固定器具で固定した。

加震条件

加震台はプロセブン製、および極小型震度計 OYO-S-1（応用地震計測製）を使用した（図4）。加震強度は最大加速度 2,000gal（ダイヤル 10、X・Y・Z 軸の平均値）、周期 0.25 秒、加震時間 50 秒に条件設定し、耐震固定 1 時間後および約 80 時間後に実験を行った。

3. 検討項目

適用限界を確認するために、下記項目を検討した。

検討 1) 剥離度 100%での床面浮き上がりおよび機器の挙動の確認

試験体（4 本脚型）を剥離度 100%の床面に固定し、耐震固定から 1 時間後に加震し、挙動を観察した。

検討 2-1) 床剥離度に対する形状比の耐震効果

試験体（1 本脚型、4 本脚型）を床内剥離度 0～83%の床面に固定し加震時の挙動を観察した。床内剥離度に対する転倒の有無を確認する際、試験体寸法により床材の床内剥離度が異なるため、試験体奥行き D（mm）に対する仮想の剥離長（mm）を換算した「剥離倍数（床剥離長 / 試験体奥行き）」を採用した。また、使用したマット（ウレタンエラストマー）は、密着固定後 6 時間以上の経過で本来の対剥離強度が得られるため、耐震性能の確認には十分な時間が経過した後に実験を開始した。

検討 2-2) 同一試験体でのマット端間（スパン）の差による挙動の違い

床内剥離度 44%の疑似床にて固定 1 時間後に試験開始した。形状比と重量・幅（B）の等しいボンベ + 架台 3 種類（マット端間スパン 110mm, 100mm, 80mm）を用いて実験を行った。

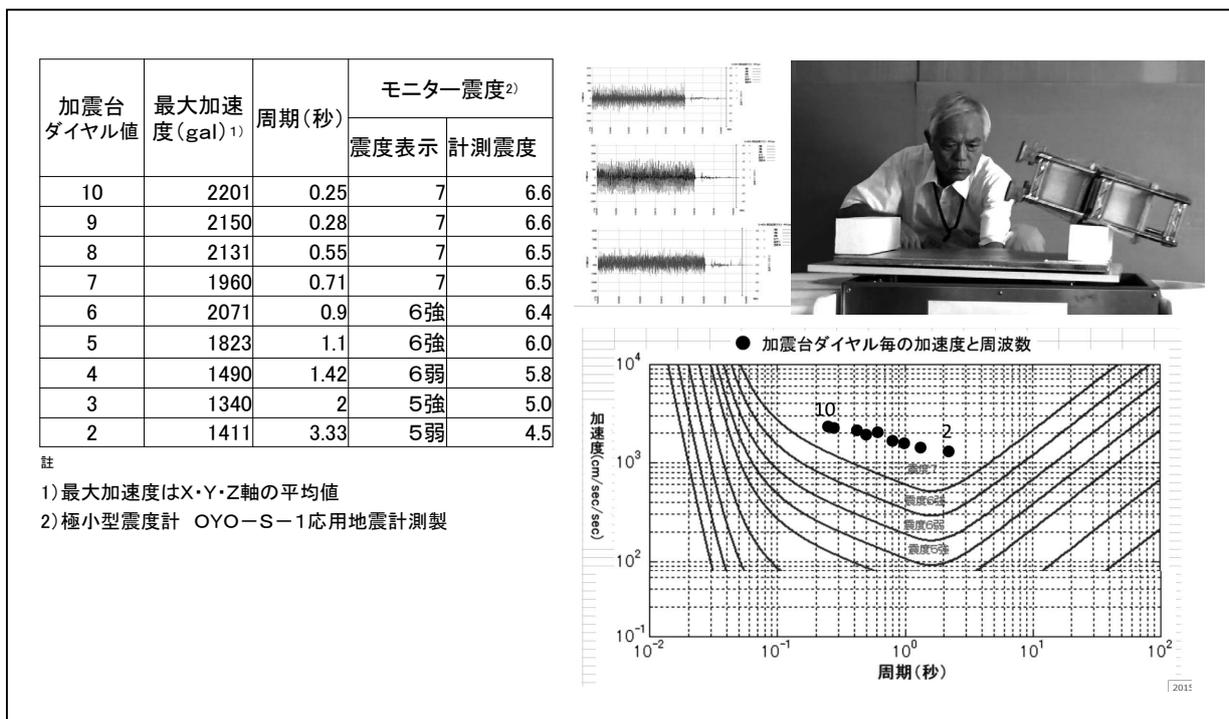


図4 加震台の特性

4. 結果

検討 1) 床内剥離度 100%での床面浮き上がりおよび機器の挙動

ラック H, HW, L は、試験体が固定された状態で床面自体が補強板材上を移動したが、共に床面から剥離・転倒しなかった。移動後、加震台から落下するまでの時間はラック L では 5 秒、ラック H では 8 秒、ラック HW では 10 秒と形状比が高く軽量なものほど早く移動した。ラック H, HW (形状比 0.3) は床面に固定された状態でロッキング (試験体自体が損傷せず、左右に一定の振動数にて転倒せず足下を交互に浮かせる状態) しながら補強板材上を移動した。共に床面から剥離・転倒しなかった (図 5)。

床内剥離状態の床面に固定されていたラック H, HW の挙動は、想定された地震発生時、地震動により床内が浮き上がることで床面の傾斜が更に大きくなり転倒しやすくなった状態 (図 3) の挙動と類似することが確認された。ラック L (形状比 0.6) は、床面に固定された状態でロッキングせず、床面が浮き上がらずに強板材上を移動した (表 5)。

検討 2-1) 床剥離度に対する形状比の耐震効果

1 本脚型疑似ボンベ (形状比 0.19) は床剥離度 0%に於いて固定 1 時間後では転倒したが、固定 83 時間後では転倒しなかった。1 本脚型試験体ボンベ + 架台 (形状比 0.22) は剥離倍数 2.3 (床剥離度 44%) に於いて固定 1 時間後では転倒したが、固定 83 時間後では転倒しなかった。

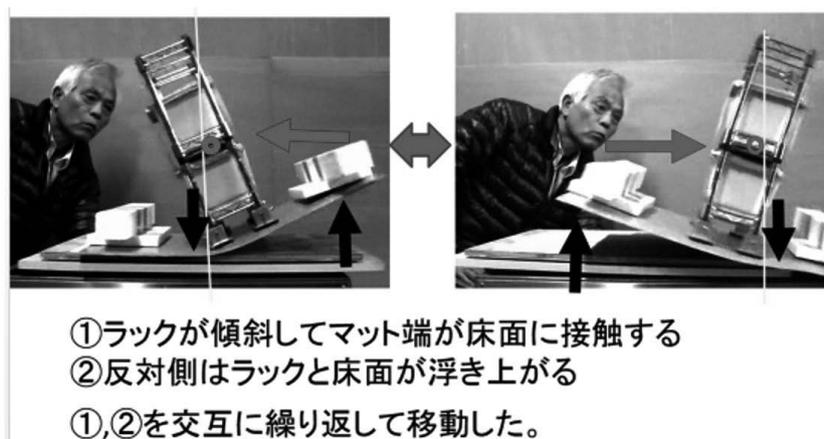
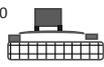


図 5 床剥離度 100%における床浮き上がり状態

表 5 床剥離度 100%における移動状況

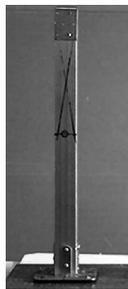
移動状況			
試験体	ラックHW	ラックH	ラックL
形状比(B/H)	0.3		0.6
重量(kg)	13.7	8.8	8.6
移動時挙動	18回ロッキング	14回ロッキング	安定
落下時間(秒)	10	8	5
共振周波数(Hz)	1.8	1.75	微振動
加震周波数(Hz)	4		

表 6 床剥離度に対する B/H 比の耐震効果

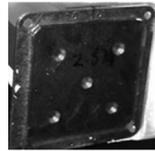
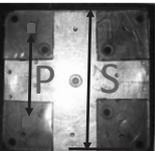
試験体		1本脚型				4本脚型ラック				
		ボンベ		ボンベ+架台		HW	H		L	
形状比(B/H)		0.19		0.22		0.3		0.6		
剥離度(%) (剥離長mm)	剥離 倍数	B60 		B110 		B120 				
83(500)	4.2					×		◎	×	◎
67(400)	3.3						◎		◎	
44(250)	2.3			×	◎					
0	0	×	◎	◎			◎		◎	
固定後開始時間(h)		1	83	1	83	86	1	86	1	86

(無転倒◎ 転倒×)

表 7 同一試験体のマット端間 (スパン) の差



重心高比 (%)	53
重心高さ (mm)	270
重量 (kg)	3

マット貼り付け位置	中央(1本脚型)		四隅(4本脚型)
			
マット必要計算値 (mm ²)	3376	2704	1930
使用マット面積 (mm ²)	6400	10000	6400
マットの安全係数	1.9	3.7	3.3
マット端間スパン S (mm)	80	100	110
マット間ピッチ P (mm)	0	0	70
転倒時間(秒)	4	9	24
補正B/H(SをBに採用)	0.16	< 0.2	< 0.22
補正転倒時間 (秒)	2.1	< 2.4	<< 7.3

4本脚型試験体ラック L (形状比 0.6) は剥離倍数 4.2 (床剥離度 83%) に於いて固定 1 時間後では転倒したが, 固定 86 時間後では転倒しなかった。4本脚型試験体ラック H (形状比 0.3) は剥離倍数 3.3 (床剥離度 67%) に於いて固定 1 時間後では転倒しなかったが, 固定 86 時間後ではさらに剥離面積の広い剥離倍数 4.2 (床剥離度 83%) でも転倒しなかった。重量の有る 4本脚型試験体ラック HW (形状比 0.3) は固定 86 時間後で剥離倍数 4.2 (床剥離度 83%) では転倒した (表 6)。

検討 2-2) 同一試験体でのマット端間スパン S の差による耐震性能

試験体の形状比と重量・幅 (B) が同一でマット端間スパン S が異なるボンベ+架台では, マット端間スパン S が長いほど耐震性能が高かった (表 7)。

また, いずれの実験条件でも床面内接着した部分の剥離拡大は発生しなかった。

5. 考察

床剥離度に対する形状比の耐震効果の結果から, 1本脚型よりもスパン (ピッチ) が長い 4本脚型の方が, 耐震性能が大きく転倒しにくいことが, 図 3 に示した床剥離部の地震発生時挙動モデルと関連することを示唆している。すなわち床内が浮き上がった状態のリノリューム長尺シート床材でも, 形状比

および重量に合わせた耐震能力を考慮すれば、床に穴を開けて SPF 機能を破壊する穿孔型耐震固定方法に代わり、床に穴を開けなくても良い非穿孔型耐震固定方法が十分施工可能であることが証明された。

非穿孔型の耐震固定器具の信頼性や安全性が確認されたので、新設・既設問わず動物実験施設にも積極的に導入を勧めていきたい。

引用文献

- (1) 加藤恒雄, 小林英治, 羽根田千江美, 長尾枝澄香: 動物研究施設内の飼育ラック転倒防止対策, 静岡実験動物研究会会報 39 巻 1 号: 14-16, 2013
- (2) 加藤恒雄, 小林英治, 近藤大介, 和田有司: 動物実験施設内のボンベ固定に関する新耐震固定方法の提案, 静岡実験動物研究会会報 40 巻 1 号: 16-23, 2015
- (3) 高野聡美, 小木曾昇, 六車香織: 新実験動物施設棟における耐震対策についてー耐震器具の有用性と安全性ー, 第 48 回日本実験動物技術者協会総会, 2014
- (4) 加藤恒雄, 小林英治, 高野聡美, 六車香織, 小木曾昇: 個別換気ケージ (IVC) システム用移動可能な耐震固定具の開発, 静岡実験動物研究会第 42 回研究発表会, 2014
- (5) 加藤恒雄, 小林英治, 高野聡美, 六車香織, 小木曾昇: 動物施設内の残留リスク削減を目的とした両面 IVC システムの耐震固定, 第 25 回東北実験動物研究会記念大会講演要旨集 T-4 42, 2014
- (6) 加藤恒雄, 小林英治, 高野聡美, 六車香織, 小木曾昇: 動物実験施設内の耐震固定の問題点と対策: 穴を開けない固定方法の提案, 静岡実験動物研究会第 43 回研究発表会, 2015 (投稿中)