

身体防護装置付ベッドの研究開発

矢ヶ崎 孝*, 大原 義雄*, 米田 雅一*, 橋本 剛**, 日比 康友*

概 要

屋内における地震発生時の人命危険要因のひとつに、家具類の転倒、照明器具などの落下がある。特に就寝中は地震を認識するまでに時間を要する上、多くは消灯しているため迅速な身体防護が困難となり、さらに危険は増大する。

この対策として、家具等の転倒・落下防止や安全空間の確保を考慮した配置などの事前措置が不可欠であり、その上で地震発生時に迅速かつ確かな身体防護を行うことにより、人命危険の軽減が図れると考えられる。

以上のことから、地震を感知し自動的に就寝者の身体を防護する装置の付いた身体防護装置付ベッドの研究開発に着手し、試作機の製作・検証を行ったので、ここに報告する。

1 はじめに

本研究は一般家庭やホテルなどの宿泊施設における就寝者や寝たきりの傷病者、あるいは高齢者など(以下「就寝者等」という。)の地震発生時に自ら迅速に身体防護を行うことが困難な者の人命危険を軽減するため、地震を感知し自動的に身体を防護する装置の付いたベッド(以下「身体防護装置付ベッド」という。)を開発することを目的としている。

2 試作機製作までの経緯

(1) 防護方法の検討

就寝者等の防護方法として次の二つの方法について検討した。

ア 就寝者等の上部を強固な柵等で覆い防護する方法(図1)

イ エアバック等のクッションにより人体に加わる落下物等から受ける衝撃を緩和する方法(図2)

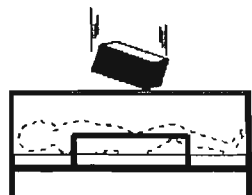


図1 防護柵方式

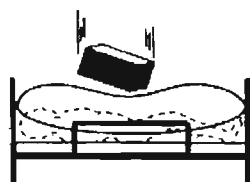


図2 エアバック方式

本研究では、健常者が行う一般的な身体防護措置といえるテーブルや机に身を隠す方法と同等以上の身体防護効果を得ることを目標とし、就寝者等の上部を柵等で覆い防護する方法を採用することとした。

(2) 防護柵の移動方向の検討

ベッド上部を防護する柵(以下「フレーム」という。)の設定方法として、次の二つの方式について検討した。

ア 縦方式(図3)

頭部または足部から移動する方式

イ 横方式(図4)

就寝者等の側方から移動する方式

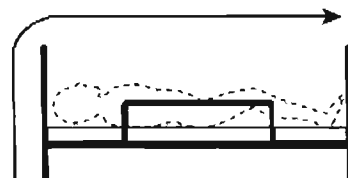


図3 縦方式



図4 横方式

横方式はフレームの設定位置までの軌道が縦方式と比較し図4のとおり距離が短いことから設定までの時間を要せず、しかも既存の頭部及び足部側の手すりをフレームの支持レールとして使用することで、現状のベッドの形状を大幅に変更することなく防護装置を設置できるといったメリットが考えられる。

以上のことから、フレームの移動方向によっては横方式を採用することとした。

3 試作機の概要

(1) 外観・寸法

開発した身体防護装置付ベッドの試作機（以下「試作機」という。）の外観・寸法を写真 1、2 及び図 5 に示す。

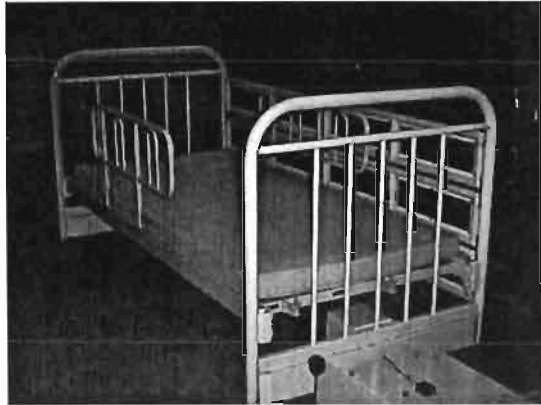


写真 1 待機時

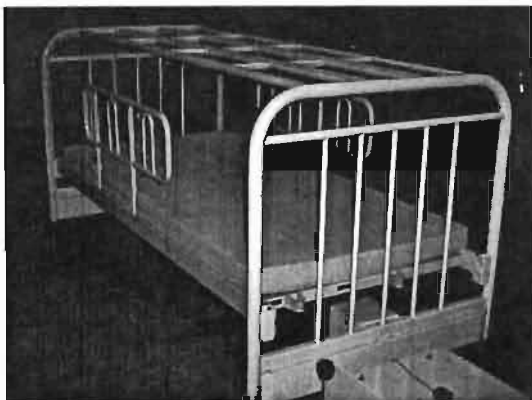


写真 2 作動時

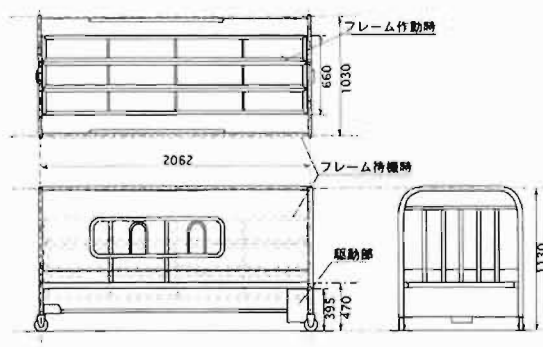


図 5 試作機の形状・寸法 (単位: mm)

(2) 構成

試作機は、フレーム、保護被覆、危害防止用センサ、非常用ライト等からなる防護部及びモータ等の駆動部並びに地震センサ、制御回路、予備電源等からなる制御部

で構成され、各装置の役割は次のとおり。

ア 防護部 (写真 3)

(ア) フレーム (写真 3①)

身体防護装置の主要構造部であり、転倒・落下物の大部分をこのフレームで受け止める。

(イ) 防護被覆 (写真 3②)

ポリカーボネイト製で、フレームで受け止めることのできないガラス等の破片から身体を防護する。

(ウ) 危害防止センサ (写真 3③)

フレームの軌道上に人体等の障害物がある場合、光電センサがそれを感知し、制御部に緊急停止信号を送りフレームを一時停止する。

なお、障害物が除去された後は、再度フレームが作動する。

(エ) 非常用ライト (写真 3④)

装置作動時に点灯し、夜間等の暗闇で装置が作動した際の安全を確保する。

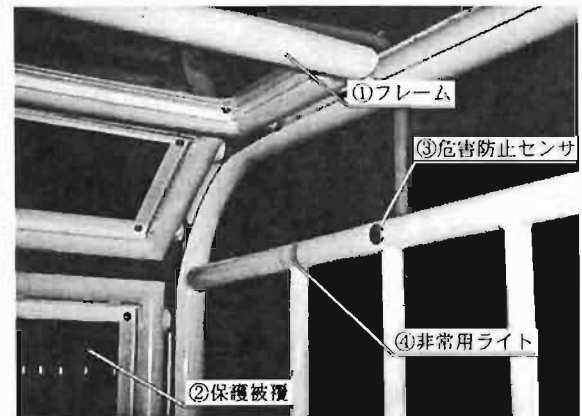


写真 3 防護部外観

イ 駆動部 (写真 4)

フレームの動作を行う部分で、電動モータの動力をワイヤにより伝達し、フレームを駆動する。

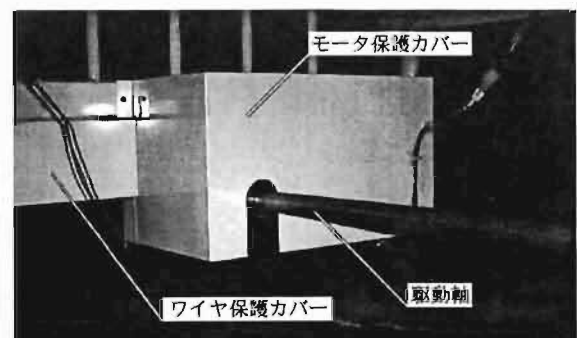


写真 4 駆動部外観

ウ 制御部 (写真 5)

地震センサ及び危害防止センサの信号により、フレームの動作を制御するとともに、警報装置を内蔵し装置の作動を就寝者等に知らせ危害防止を図る。

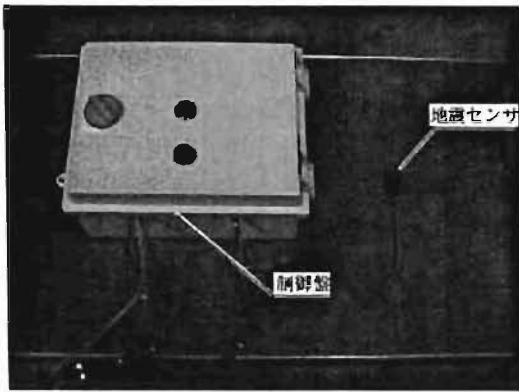


写真5 制御部外観

(3) フレームの強度 (図6)

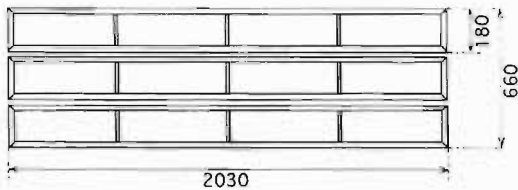


図6 フレームの形状・寸法 (単位: mm)

ア フレーム材の機械的性質と断面性能及び許容応力

材質	アルミ JIS A5052 TD-O
引張強さ	191.1(MPa)
耐力	88.2(MPa)
縦弾性係数(E)	70560(MPa)
外径	30(mm)
内径	26(mm)
長さ(L)	2.03(m)

フレーム1枚分の断面二次モーメント・断面係数は次のとおり

断面二次モーメント

$$I=1.733 \times 2 \text{本}=3.466 \times 10^{-8}(\text{m}^4)$$

断面係数

$$Z=1.155 \times 2 \text{本}=2.31 \times 10^{-6}(\text{m}^3)$$

※ 耐力=応力値=88.2(MPa)とする。

落下衝撃荷重も静的荷重に換算し同様の応力値とする。

イ 静的許容荷重

許容応力(σ)を88.2(MPa)としてフレーム1枚あたりの静的許容荷重(W)を求める。

$$W=4 \times Z \times \sigma / L=4 \times 2.31 \times 10^{-6} \times 88.2 \times 10^6 / 2.03=401.46(\text{N})$$

よってフレーム1枚あたりの静的許容荷重は401.5(N)である。

ウ 衝撃荷重に対する強度

高さ180cmの家具上の置物がフレーム上(高さ113cm)に落下したことを想定し、高さ(h)80cmの位置からフレーム1枚の上に落下物があった場合の衝撃許容荷重を求

める。

フレームが衝撃を受けた時の曲げ応力(σ)を88.2(MPa)とする。

フレーム材のばね係数(κ)は次式より

$$\kappa=48 \times E \times I / L^3$$

$$=48 \times 70560 \times 10^6 \times 3.466 \times 10^{-8} / 2.03^3=14033(\text{N/m})$$

となり

落下物の重量 $W=x(\text{N})$ と仮定すると

静的たわみ

$$\delta s=x / \kappa$$

衝撃たわみ

$$\delta \text{max}=\delta s(1+\sqrt{1+2h / \delta s})$$

静的荷重

$$K \text{max}=\kappa \times \delta \text{max}$$

衝撃荷重

$$\sigma \text{max}=K \text{max} \times L / (4 \times Z)$$

$$=\kappa \times \delta \text{max} \times L / (4 \times Z)$$

$$=\kappa \times \delta s(1+\sqrt{1+2h / \delta s}) \times L / (4 \times Z)$$

曲げ応力 > 衝撃荷重

$$\sigma > \kappa \times x / \kappa(1+\sqrt{1+2 \times 0.8 \times \kappa / x}) \times 2.03 / (4 \times 2.31 \times 10^{-6})$$

$$7.0(\text{N}) > x$$

従ってフレーム1枚に対して高さ80cmの位置から7.0(N)未満の物が一局所に落下しても、フレームに変形は生じない。

(4) 動作フロー

試作機の動作フローを図7に示す。

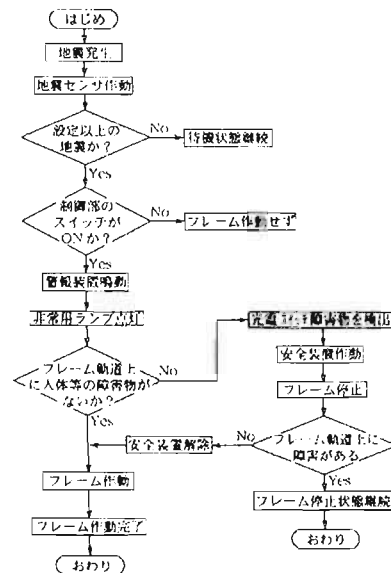


図7 試作機の動作フロー

(5) 仕様 (表 1)

試作機の仕様は、表 1 のとおり。

表 1 試作機の仕様

仕様項目	性能	
常用電源	AC100	
予備電源	イオン付リチウム電池 AC100V 出力 (本装置 15 回作動可能)	
危害防止センサ	光電式 (再作動遅延時間可変式)	
地震センサ	感震方向	三次元
	検出方式	静電容量式
	作動震度調整範囲	震度 3~7
	感震周波数	10C~10Hz
駆動部	電動モータ	AC200W 型
	駆動伝達	ワイヤφ1.2
防護部	フレーム	JIS-A5052 TD-0 外径: φ30 厚さ: 2mm
	保護被覆	ポリカーボネイト 厚さ: 2mm

(6) 特長

ア 作動震度を設置する建築物の立地条件及び耐震性能に合わせ調整可能である。

イ 作動震度は表 2 に示す各震度階における人体への影響と屋内の状況を考慮し、震度 3 から設定可能とした。

表 2 気象庁震度階級

震度階	人間の体感	屋内の状況
0	揺れを感じない	変化なし
1	一部の人がわずかに感じる	ほとんど変化なし
2	屋内の多くの人が揺れを感じる 睡眠中の人の一部が目覚めます	電灯などの吊り下げ物がわずかに揺れる
3	ほとんどの人が揺れを感じ、恐怖感を覚える人も	棚の食器類が音をたてることがある
4	かなりの恐怖感。睡眠中の人のほとんどが目覚めます	吊り下げ物が大きく揺れ、置物が倒れることもある
5弱	多くの人が身の安全を思うとする	吊り下げ物は激しく揺れ、置物の多くは倒れる
5強	非常に恐怖。多くの人が行動に支障を感じる	食器類、本やテレビが落ちたり、タンスが倒れることも
6弱	立っているのが困難	未固定の重い家具が転倒、ドアが開かなくなることも
6強	はわないと動けない	未固定の重い家具のほとんどが転倒し、戸が外れる
7	自分の意志で動けない	ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶこともある

ウ 防護被覆にポリカーボネイトを採用しシースルーにすることで、防護装置作動時の就寝者等への圧迫感を軽減した。

エ フレームの移動を左右どちらからも行えるものとし、ベッドの配置に合わせ対応できる機構とした。(図 8)

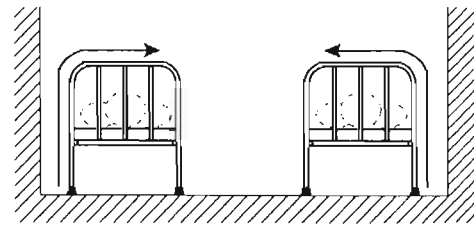


図 8 フレーム移動方向の切り替えイメージ

オ 危害防止のため、フレーム軌道上に人体等の障害物がある場合、フレームの動作を緊急停止するとともに、障害物が除去された後は、直ちにフレームの動作を開始する安全装置を備えた。

カ 非常用ライトにより暗闇で防護装置が作動した時の安全を確保した。

キ 装置の復旧操作を簡素化し、リセットボタンの操作のみとした。

ク 地震センサを縦・横いずれの振動も捉えられるものを採用し、地震発生の初期振動である縦揺れ (P 波) に対応できるものとした。

ケ 日常での使い勝手に支障とならないよう、フレームの支持レールを手すりとして併用することにより、現状のベッドの形状維持を図った。

4 試作機の性能確認実験

(1) 実験の目的

本実験は製作した試作機の作動実験を行い、性能を把握することを目的とする。

(2) 日時

平成 11 年 3 月 29 日 (月) ~ 30 (火)

(3) 場所

東京消防庁消防科学研究所 1 階 総合実験室

(4) 実験項目

- ア 作動確認実験
- (7) 常用電源使用時
- (1) 予備電源使用時
- イ 安全装置作動確認実験
- (7) 停止時間及び制動距離の測定
- (1) 再動作遅延時間可変範囲の測定

(5) 実験資器材

- ア 試作機 1
- イ 振動発生装置 1
- ウ デジタルビデオカメラ 1
- エ スチールカメラ 1

(6) 実験方法

ア 作動確認実験

地震センサを (写真 5) のように起震台に設置し、常用電源使用時及び予備電源使用時の作動状況をシャッター速度 1/100 秒でビデオに収める。その映像から次に示す時間をタイムカウンタで測定する。

- (7) 起震台の作動からフレームの動作開始まで
- (4) フレームの作動開始から設定完了まで



足部側の状況 頭部側の状況
写真 6 設定状況

イ 安全装置の作動確認実験

前ア同様、状況を撮影しタイムカウンタで次の時間を測定する。

- (7) 黒色のアクリル板で安全装置の光電センサの光軸を遮へいし、光軸遮断時からフレーム停止までの時間を測定するとともに、その制動距離を算出する。(写真 7)



光軸遮へい前 光軸遮へい時
写真 7 光電センサ光軸遮へい実験状況

- (4) 安全装置の再起動遅延機能の可変範囲を確認するため、遅延タイマを最短（0秒）及び最長（12秒）にセットした状態での再作動時間を測定する。

測定方法は、予めアクリル板で光電センサの光軸を遮断しておき、そのアクリル板を取り除き、再度フレームが動き出すまでをビデオ撮影し測定する。

- (7) 実験結果および考察

ア 作動確認実験

表 3 に示す実験結果より、次のことを確認した。

表 3 作動確認実験結果

実験項目	起震台の起動からフレームの作動まで	フレームの作動から設定完了まで
常用電源使用時	0.24 秒	3.09 秒
予備電源使用時	0.27 秒	3.11 秒

- (7) 常用電源、予備電源ともに作動完了までの時間に差異がないこと。

- (4) 起震台の作動からフレームの動作開始までに平均約 0.26 秒要しており、本データが試作機の概ねの応答時間であること。

- (7) フレームの軌道の長さが 1430mm であるのに対し、フレームの動作開始から設定完了までの時間が約 3.1 秒であったことから、フレームの移動速度は約 460mm/sec であること。

- (4) 過去の震災事例によると、地震時の初期振動である縦揺れ(P波)と本震である横揺れ(S波)は、数秒の間隔があることが確認されている。

本試作機に採用した地震センサはP波に対応しており、実験結果より起震台の作動からフレームの設定完了までの時間が約 3.4 秒であったことから、就寝者等への早期身体防護が可能であると考ええる。

イ 安全装置作動確認実験

表 4 に実験結果を示す。

表 4 安全装置作動確認実験結果

実験項目	時間	
緊急停止時間測定実験	0.05 秒	
再動作遅延時間可変範囲測定実験	最短設定（0秒）	0.62 秒
	最長設定（12秒）	12.55 秒

- (7) 緊急停止時間

緊急停止時間が 0.05 秒であることから、緊急停止時のフレームの制動距離は、約 23mm であることを確認した。

- (4) 再動作遅延時間の可変範囲

障害物除去後から動作再開までの再動作遅延時間の可変範囲は約 0.6 秒・12.5 秒であることを確認した。

5 おわりに

今回製作した試作機は、実験により地震発生時の対応速度について十分な性能を有することが確認された。

今後は、この成果をもとに装置の実用化を目指し、都民生活の安全向上に寄与するものである。

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A BED WITH EARTHQUAKE PROTECTION DEVICES

Takashi YAGASAKI*, Yoshio OHARA*, Masakazu YONEDA*,
Tsuyoshi HASHIMOTO**, Yasutomo HIBI*

Abstract

One of the potential life hazards in an earthquake is the falls of furniture and lights. When sleeping, people are vulnerable because of the delay in recognizing the danger, and the inability to move quickly in the dark.

To avoid this, proper measures must be taken beforehand such as fixing furniture to prevent falls, and to make a clear, safe space in a room layout. In addition to this, more lives will be saved if their bodies can be protected quickly and effectively at the moment the quake hits.

With this in mind, we started a research and development of a quake-protective bed with devices to detect the tremor and protect the persons body automatically. We produced and tested its prototype.

*Third Laboratory **Shinagawa Fire Station