

観測地震波を用いた車いす使用者の身体防護体勢の検証

寺屋 充彦*, 山口 隼**, 坂本 佑介**, 中山 崇**

概 要

地震発生時における受傷を防ぐことは、地震後の円滑な自力避難を可能にし、建物倒壊や火災に伴う死傷者の低減に寄与するため、不可欠である。しかしながら、少なからず行動に制約のある車いす使用者に向けた地震時の身体防護体勢については、具体的に検討されていない。このことから、地震時の行動として、車いす使用者がとるべき「負傷リスクが低く」「身体への負荷が小さい」身体防護体勢の一例を考案することを目的とし検証した。

人体ダミー及び被験者を用いた振動実験から、上半身を前かがみにし、重心を下げる姿勢等をとることで、地震時の負傷リスク等を大幅に低減できることが明らかとなった。

また、車いすの揺れの方向の違いに対する基本的な挙動から、前後方向よりも左右方向の揺れの方が倒れやすいことがわかった。なお、本検証は家具類の転倒・落下・移動防止対策が講じられていることを前提として行ったものである。

1 はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震による震災被害は、東京都内で同規模の地震が発生した場合、一層深刻な大惨事となることを連想させた。

また、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震は、津波被害の甚大さに加え、震源から離れた場所においても被害の発生に至る「長周期地震動」の脅威を都民に知らしめた。そして現在は、首都直下地震、南海トラフ地震¹⁾など、甚大な被害をもたらす恐れのある巨大地震の発生切迫性が高まり、危惧されている。

このような中、今後懸念される巨大地震による被害、特に人的被害を軽減するためには、地震への備え(家具類の転倒・落下・移動防止対策、出火防止対策)、地震時の行動、揺れが収まった後の地震後の行動を推進させていくことが喫緊の課題である。既往の研究報告²⁾では、健常者における地震時の身体防護体勢についての研究はあるものの、車いす使用者に向けた身体防護体勢についての研究は、確認できなかった。

しかしながら、車いす使用者は、少なからず行動に制約があることから、地震時に被害を受ける負傷リスクが高いと懸念される。

2 実験条件等

(1) 振動発生装置

地震の揺れを想定した加振実験には、消防技術安全所の振動発生装置を用いた。振動発生装置は加振器、振動

台及び制御装置等によって構成されおり、観測及び想定地震波を再現した3軸(3次元)による加振、並びに正弦波による加振が可能である。振動発生装置の外観を写真1に、諸元・性能を表1に示す。



写真1 振動発生装置

表1 振動発生装置の諸元・性能

項目	諸元・性能
加振方向	水平2方向(XY軸) 垂直1方向(Z軸)
振動台寸法	2,500×2,500mm
加振周波数範囲	0.1Hzから200Hzまで
最大搭載質量	10,000kg
最大変位	X軸: 600mm ^{P-P} ※ Y軸: 400mm ^{P-P} Z軸: 150mm ^{P-P}
駆動方式	永久磁石駆動方式動電型

※ mm^{P-P}: peak-to-peak で両振幅の範囲(mm)を示す。

* 大井消防署 ** 消防技術課

(2) 振動波

ア 1.0Hz の正弦波

地震動の 1 秒周期の短周期成分での車いすの揺れの方向の違いによる倒れやすさなど基本的な挙動を確認するために、震度 5 弱から震度 7 までの 5 震度階相当の振動波を用いた。

イ 観測地震波 (以下「観測波」という。)

都市で発生し、揺れによって多くの死傷者を発生させた兵庫県南部地震の神戸地方気象台 (JMA KOBE) が観測した地震動を用いた。

なお、観測波は、現在の震度階級では、計測震度 6.39 で震度 6 強に相当する。

ウ 作成波

観測波を各震度階級 (震度 6 強、6 弱、5 強、5 弱) の計測震度の中央値になるよう、計測震度別に周波数を変えずに加速度のみを減じたものを用いた。震度階級別計測震度の範囲及び作成波計測震度を表 2 に示す。

表 2 震度階級別計測震度の範囲及び作成波計測震度

震度階級 (計測震度の範囲)	作成波計測震度
6 強 (6.00~6.49)	6.25
6 弱 (5.50~5.99)	5.75
5 強 (5.00~5.49)	5.25
5 弱 (4.50~4.99)	4.75

(3) 床材

ア フローリング

屋内想定としてフローリングを用いた (写真 2)。

イ インターロッキング

歩道、ショッピングモール等の屋外想定としてインターロッキングを用いた (写真 2)。



写真 2 フローリング(左)、インターロッキング(右)

(4) 車いす

車いすは、競技用以外の車いすとし、JIS 規格で定められた自走用標準型 1 機種とアクティブユーザ向けのスポーティタイプ (以下「スポーティ」という。) 1 機種を用いた。自走用標準型とスポーティの車いすを写真 3 に示す。

スポーティは、部品の脱着から調整等、使用者に合わせた多種多様な機種が存在するが、標準仕様とした。



写真 3 自走用標準型 (左)、 スポーティ (右)

(5) 制動状況

車いすの駐車用ブレーキ (以下「ブレーキ」という。) を作動させた場合と不動作の場合とした (写真 4)。



写真 4 ブレーキ作動時の状況

(6) 人体ダミー及び被験者

ア 人体ダミー

運動をしている両下肢完全麻痺者の平均体重 (58.8kg)⁴⁾ と身体障害者施設における成人入居者の平均体重 (48.2kg)⁵⁾ の中間値 53.5kg を基に 54kg で人体部位の重量比に応じて作製した。写真 5 に人体ダミーの外観を示す。



写真 5 人体ダミー

イ 被験者

20 歳代から 60 歳代までの各年代を含めた 21 名 (女性 4 名含む。) に協力を得た。平均体重は 67.1kg であった。

(7) 加振時の姿勢

ア 起き姿勢

通常的車いす使用時の姿勢を起き姿勢とした (写真 6)。

イ 伏せ姿勢

上半身を前かがみにした姿勢を伏せ姿勢とした (写真 6)。

なお、被験者にとらせた伏せ姿勢は、身長、体格及び

柔軟性が個人によって異なることから、前かがみは、被験者自身がとりうる範囲で前かがみとなり、目視で周囲確認ができる程度とした (写真7)。



写真6 人体ダミー起き姿勢(左)、伏せ姿勢(右)



写真7 被験者の伏せ姿勢

(8) 計測機器等

ア 加速度計

小型3軸アンプ内蔵型圧電式加速度変換器を用いて、人体ダミー頭頂部及び被験者ヘルメットの頭頂部 (以下「頭部」という。) の加速度を測定し、身体負荷の指標として取り扱う。加速度計の諸元・性能を表3に示す。

表3 加速度計の諸元・性能

項目	諸元・性能
寸法	14.2×14.2×14.2mm
感度	10mV/m/s ²
最大使用加速度	400m/s ²
周波数範囲	1~5kHz(水平)、1~8kHz(垂直)

イ 変位計

株式会社キーエンス製レーザー変位センサ IL-600 を用いて、車いすのクロスフレーム中央に、床面から 200 mm 以上離して設置し、車いすの車輪浮き上がり高さを測定した。変位計の外観を写真8に、諸元・性能を表4に示す。



写真8 変位計

表4 変位計の諸元・性能

項目	性能
測定距離 (レンジ)	200~1000mm
測定方式	非接触方式 (レーザー方式)
サンプリング周期	1ms
分解能	50 μm

ウ 測定用メジャー

工事用メジャー (分解能 5 cm) を各床材の端に取り付け、人体ダミー及び被験者を用いた振動実験 (震度 6 強の作成波) で車いすの移動距離を測定した。

エ ウェアラブルカメラ

人体ダミー及び被験者を用いた振動実験 (震度 6 強の作成波) で揺れによって移動する車いすの動画を撮影し、ウェアラブルカメラを用いた。ウェアラブルカメラの外観を写真9に、諸元・性能を表5に示す。

また、撮影した動画解析には画像解析ソフト (MOTION CAPTURE PVSTUDIO) を用いた。



写真9 ウェアラブルカメラ

表5 ウェアラブルカメラの諸元・性能

項目	諸元・性能
型式	Panasonic 社製 HX-A1H
寸法	幅 26×高 26×奥行 83.1mm 重量: 約 45g
撮像素子	動画 約 287 万画素

オ 被験者用アンケート

VAS (Visual Analogue Scale) を用いて、実験において被験者の主観的安定性を定量化した。

VAS とは、質問項目に対して、100 mm の水平線上で被験者自身の感覚や気持ちに近いと感じられるポイントに×印を記し、左端から×印までの長さを指標とするものであり、安定性はその姿勢が安定していたかを判定する。VAS スケールの例を図1に示す。

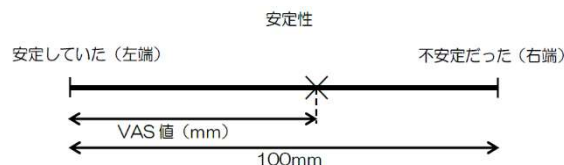


図1 今回使用した VAS スケール

(9) 実験方法

本検証は、人体ダミーを用いた検証と被験者を用いた検証の2つの項目に分けて実験を行った。項目ごとの実験の詳細は次項に示す。

3 人体ダミーを用いた振動実験

(1) 測定方法

人体ダミーの頭部に小型3軸アンブ内蔵型圧電式加速度変換器を取り付け、頭部が受ける加速度を測定し、車いすのクロスフレーム中央に変位計を設定することで、車輪の浮き上がり高さを測定した。

また、振動発生装置上に特大メジャーを取り付け、上部からビデオ撮影することにより移動距離を算出した。

(2) 1.0Hzの正弦波を用いた振動実験

揺れ方向の違いによる倒れやすさなど車いすの基本的な挙動を確認するため、人体ダミーに起き姿勢を取らせ、ブレーキの作動状況別(作動又は不作動)、振動方向別(車いすの進行方向に平行となる振動(以下「平行振動」という。)又は垂直となる振動(以下「垂直振動」という。))での各条件で、震度5弱から震度7までに相当する1.0Hzの正弦波で加振した。

なお、実験は条件ごとに3回行った。

写真10に車いすと振動方向、表6に人体ダミーを用いた1.0Hzの正弦波による実験条件を示す。



写真10 車いすと振動方向

表6 人体ダミーを用いた1.0Hzの正弦波による実験条件

車いす	スポーティ
姿勢	起き姿勢
震度	5弱相当~7相当
振動方向	平行、垂直
ブレーキ	作動、不作動
床材	フローリング

(3) 観測波及び作成波を用いた振動実験

人体ダミーの姿勢(起き姿勢又は伏せ姿勢)別及びブレーキの作動状況別による車いすの挙動を確認するため、観測波及び震度5弱から震度6強に相当する作成波で加振した。人体ダミーを用いた観測波及び作成波による実

験条件を表7に示す。

また、更に車いすの機種別(スポーティ又は自走用標準型)及び床材別(フローリング又はインターロッキング)での車いすの挙動を比較するため、震度6強の作成波で加振した。

なお、それぞれの実験は条件ごとに3回行った。車いすの機種別、床材別での作成波による実験条件を表8に示す。

表7 人体ダミーを用いた観測波及び作成波による実験条件

車いす	スポーティ
姿勢	起き姿勢、伏せ姿勢
震度等	観測波、5弱~6強(作成波)
ブレーキ	作動、不作動
床材	フローリング、インターロッキング

表8 車いすの機種別、床材別での作成波による実験条件

車いす	スポーティ、自走用標準形
姿勢	起き姿勢、伏せ姿勢
震度	6強
ブレーキ	作動、不作動
床材	フローリング、インターロッキング

(4) 実験結果

ア 1.0Hzの正弦波を用いた振動実験

(7) 転倒の生起状況

震度6強相当以上で、平行振動でブレーキ不作動以外の条件で転倒が生じた。

また、このとき、平行振動では後方へ、垂直振動では左右方向に転倒した。写真11に平行振動時及び垂直振動時の転倒の状況を示す。

震度階相当ごとの振動方向別、ブレーキの作動状況別の各条件での転倒の生起状況を表9に、震度階相当ごとの振動方向別、ブレーキの作動状況別の各条件での車いすの挙動を表10に示す。



写真11 平行振動時(左)、垂直振動時(右)での転倒の状況

表9 1.0Hz 正弦波による各条件別での転倒の生起状況

震度等	平行振動		垂直振動	
	ブレーキ		ブレーキ	
	作動	不作動	作動	不作動
7相当	3	0	3	3
6強相当	2	0	3	3
6弱相当	0	0	0	0
5強相当	0	0	0	0
5弱相当	0	0	0	0

(イ) 車輪の浮き上がり高さ

震度6強相当以上において、平行振動でブレーキ不作動以外の条件で、最大値180mmとなった。

図2に震度相当ごとの振動方向別、ブレーキの作動状況別の各条件での車いすの車輪の浮き上がり高さを示す。なお、180mmを超えると転倒することから、転倒した場合は180mmとして算出した。

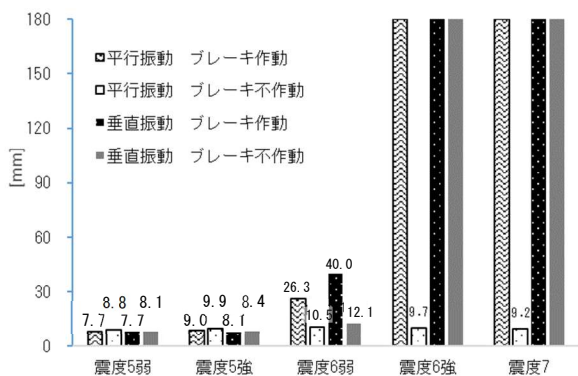


図2 振動方向別でのブレーキ作動状況別の車いす車輪浮き上がり高さ

表10 1.0Hzの正弦波による各震度階相当の各条件での車いすの挙動

震度等	平行振動		垂直振動	
	ブレーキ作動	ブレーキ不作動	ブレーキ作動	ブレーキ不作動
7相当	後方に傾き、そのまま転倒する。	見かけ上の停止状態となり、徐々に前進していく。	右側に傾いた後、左側に傾きそのまま転倒する。	右側に傾いた後、左側に傾きそのまま転倒する。
6強相当	ロッキングしながら前進し、壁に衝突すると後方に転倒する。	徐々に前進していく。	右側に傾いた後、ロッキングしながら前進する。もしくは転倒する。	左右に振られながら、若干後退し、右側に傾いた後、左側に傾きそのまま転倒する傾向がある。
6弱相当	ロッキングしながら前進する。	徐々に前進していく。	左右に振られながら徐々に前進する。徐々に車輪の浮き上がりが大きくなる。	左右に振られながら後退していく。壁に衝突しても大きく移動はしない。
5強相当	移動なし。	徐々に前進していく。	移動なし。	左右に振られながら後退していく。壁に衝突しても大きく移動はしない。
5弱相当	移動なし。	徐々に前進していく。	移動なし。	左右に振られながら後退していく。

(ウ) 頭部が受ける加速度

平行振動ではブレーキの作動状況にかかわらず震度階が上がるに従い増加し、ブレーキ作動では震度7相当で最大値93.6 m/s²となり、不作動では震度7相当で最大値4.5m/s²となった。ブレーキ作動時に比べ不作動時に小さな値を示したのは、加振時、車いすが振動台の動きと反対方向に交互に動くことにより振動台の外から見ると、見かけ上、停止している状態となることに起因すると考えられる。平行振動でのブレーキの作動状況別による頭部が受ける加速度を図3に示す。

また、垂直振動ではブレーキの作動状況にかかわらず震度階が上がるに従い増加する傾向がみられ、ブレーキ作動では震度7相当で最大値85.1m/s²、不作動では震度6強相当で66.0m/s²となった。垂直振動でのブレーキの作動状況別による頭部が受ける加速度を図4に示す。

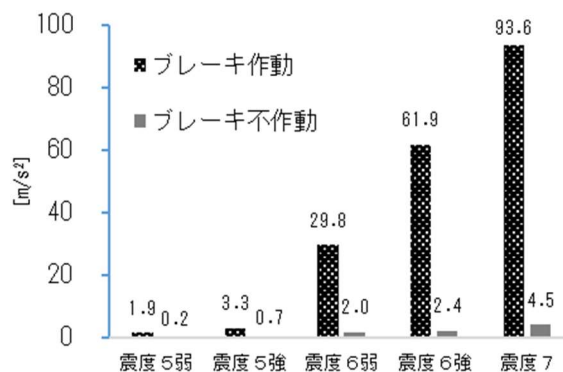


図3 平行振動でのブレーキ作動状況別頭部が受ける加速度

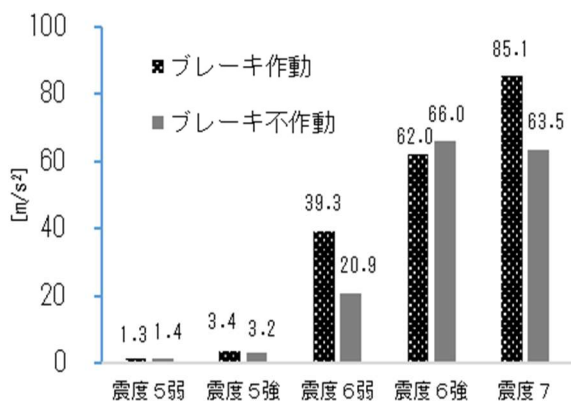


図4 垂直振動でのブレーキ作動状況別頭部が受ける加速度

(エ) まとめ

車いすは震度6強相当以上の揺れで転倒する可能性があること、同じ強さの振動に対しては進行方向に垂直となる左右方向の揺れの方が平行となる前後方向の揺れよりも転倒リスクが高いことが分かった。

イ 観測波及び作成波を用いた振動実験

(ア) 転倒の生起状況

起き姿勢ではブレーキの作動状況にかかわらず観測波の実験でのみ転倒が生じ、伏せ姿勢では全ての実験で転倒が生じなかった。姿勢別、ブレーキの作動状況別での転倒の生起状況を表11に、震度階等ごとの、姿勢別、ブレーキの作動状況別の各条件での車いすの挙動を表12に示す。

表11 観測波及び作成波による各条件での転倒の生起状況

震度等	起き姿勢		伏せ姿勢	
	ブレーキ		ブレーキ	
	作動	不作動	作動	不作動
観測波	2	2	0	0
6強	0	0	0	0
6弱	0	0	0	0
5強	0	0	0	0
5弱	0	0	0	0

(イ) 車輪の浮き上がり高さ

起き姿勢ではブレーキの作動状況にかかわらず、震度階等が上がるに従い増加し、観測波で最大値を示し、ブレーキ作動時は155.0mm、不作動時は163.6mmとなった。

一方、伏せ姿勢では震度階等にかかわらず20mm以下の一定の値となった。震度階等ごとの、姿勢別、ブレーキの作動状況別での車輪の浮き上がり高さを図5に示す。

表12 観測波及び作成波による各震度階の各条件での車いすの挙動

震度等	起き姿勢		伏せ姿勢	
	ブレーキ作動	ブレーキ不作動	ブレーキ作動	ブレーキ不作動
観測波	開始直後に左後方に傾きそのまま転倒する傾向がある。転倒しない場合は、左前方に回転しながら移動する。	開始直後に左側に傾きそのまま転倒する傾向がある。転倒しない場合は、傾いた後に車輪が床面に接地し、左側に回転していく。	床面を滑るように、左前方に移動する。	右後方に約1m後退した後、頭部が左後方側に回転し約30cm前進する
6強	後方に傾いた後、左側に回転しながら移動する。	左側に回転しながら約40cm後退したあと、後方に約90cm移動する。	床面を滑るように、左前方に移動する。	約80cm後退した後、頭部が左後方に回転していく。
6弱	僅かにロッキングしながら左側に約45度回転しながら、約40cm移動する。	後方に約10~20cmほど移動する傾向が見られる。	前方に約60cm移動した後、頭部が右側に回転し始める。	その場で左右に振られながら頭部が左側に回転する。
5強	その場で左右に振られる。移動はほとんど見られない。	僅かに左右振られる。移動はほとんど見られない。	頭部が右前方に回転しながら、約20cm前進する。	前方に若干前進する。
5弱	その場で左右に振られる。移動はほとんど見られない。	僅かに左右振られる。移動はほとんど見られない。	頭部が右前方に回転していく。移動はほとんど見られない。	僅かに左右に振られながら、前方に若干前進する。

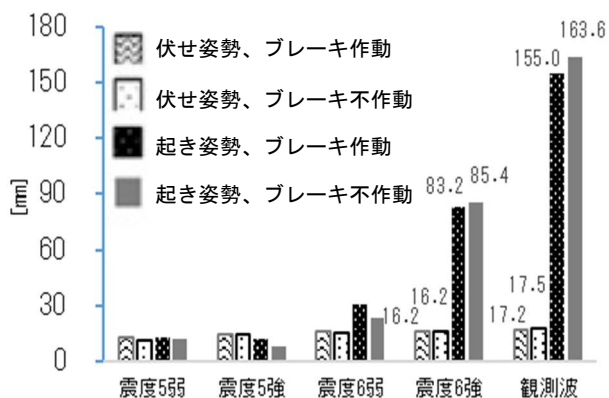


図5 各震度階での姿勢別・ブレーキ作動状況別の車輪の浮き上がり高さ

車いすの機種別、床材別での各条件での車輪の浮き上がり高さは、床材をフローリングとした場合、スポーティではブレーキ作動時 83.2 mm、不作動時 85.5 mmで、自走用標準形ではブレーキ作動時 46.1 mm、不作動時 32.7 mmとなり、また、インターロッキングとした場合、スポーティではブレーキ作動時 81.1 mm、不作動時 90.6 mmで、自走用標準型ではブレーキ作動時 61.5 mm、不作動時 18.3 mmとなった。車いすの機種別の車輪の浮き上がり高さは、ブレーキの作動状況及び床材の種類にかかわらず、自走用標準型よりもスポーティの方が高くなる傾向が認められた。車いすの機種別、床材別での車輪の浮き上がり高さを図6に示す。

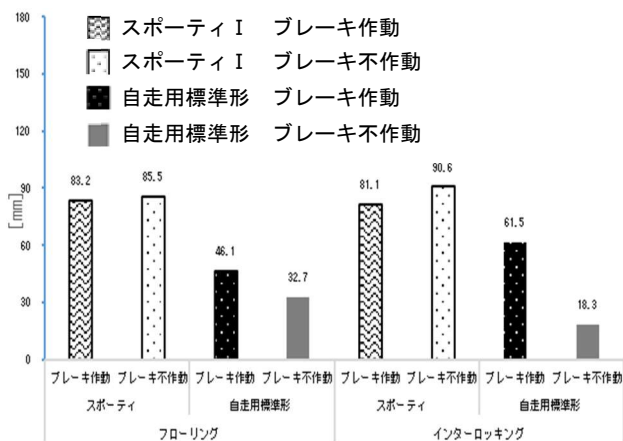


図6 車いす機種別、ブレーキ作動状況別、床材別での車輪の浮き上がり高さ

(ウ) 頭部が受ける加速度

姿勢及びブレーキの作動状況にかかわらず、震度階が上がるに従い増加する傾向を示した。転倒時の衝撃加速度の影響を受けていない震度6強において比較すると、ブレーキ作動時では起き姿勢が 53.4m/s²、伏せ姿勢が 22.4m/s²で、ブレーキ不作動時では起き姿勢が 52.7m/s²、

伏せ姿勢が 13.7m/s²となり、ブレーキの作動状況にかかわらず、伏せ姿勢での加速度は起き姿勢の約 1/2 の値となった。震度階等ごとの姿勢別、ブレーキの作動状況別での頭部が受ける加速度を図7に、車いすの機種別、ブレーキの作動状況別及び床材別での頭部が受ける加速度を図8に示す。

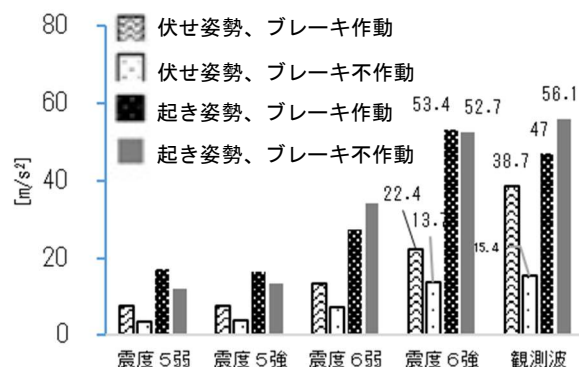


図7 各震度階での姿勢別・ブレーキ作動状況別の頭部が受ける加速度

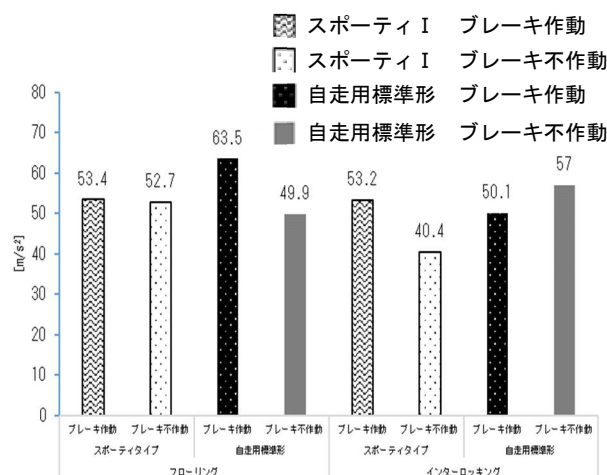


図8 車いす機種別、ブレーキ作動状況別、床材別での車輪の浮き上がり高さ

(エ) 車いすの移動距離

震度6強の作成波での人体ダミーの伏せ姿勢時の移動距離は、ブレーキ作動時は 184.5 cm、不作動時は 128.1 cmで、ブレーキ作動時の方が不作動時より最大移動距離が大きくなった。震度6強の作成波での伏せ姿勢時のブレーキ作動状況別最大移動距離を図9に示す。

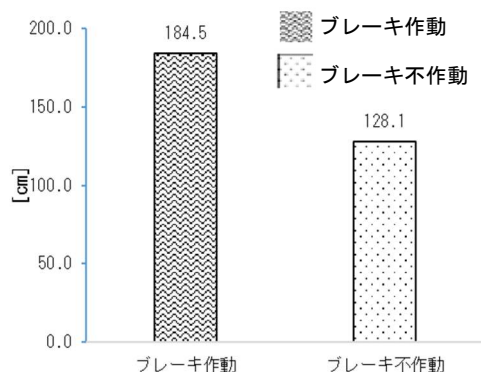


図9 震度6強の作成波での人体ダミーの伏せ姿勢でのブレーキの作動状況別最大移動距離

(オ) まとめ

人体ダミーに伏せ姿勢をとらせることで全ての実験で転倒せず、車輪の浮き上がり高さが震度階等にかかわらず、一定の僅かな値を示したこと、及び頭部が受ける加速度が半減したことから、伏せ姿勢は転倒リスクを低減させ、身体への負荷を小さくすることができる姿勢であると考えられる。

また、車いすはブレーキ作動時は揺れにより前方へ、一方、不作用時は後方へ徐々に移動することがわかった。

4 被験者を用いた振動実験

(1) 測定方法

人体ダミーを用いた振動実験と同様に、頭部が受ける加速度、車輪の浮き上がり高さ及び移動距離を測定するとともに、VAS アンケートを使用し、安定性に関する主観的評価を実施した。

(2) 実験方法

人体ダミーを用いた振動実験から転倒リスク及び身体への負荷を低減できると考えられる姿勢を被験者にとらせたうえで、「①ブレーキ不作用」「②ブレーキ作動」「③ハンドリム（駆動輪の持ち手部分）を徒手にて制御する方法（以下「手ブレーキ」という。）」「④固定物につかまりブレーキ不作用」「⑤固定物につかまりブレーキ作動」の5つの各想定で実験を行った。

なお、実験は各想定1回とし、実験時の被験者の安全を確保するため人体ダミーを用いた振動実験の結果から、転倒が生じない範囲で最大震度となる作成波で実施した。写真12に手ブレーキによる制動、写真13に固定物につかまる状況、表14に被験者を用いた作成波による実験条件を示す。



写真12 手ブレーキによる制動



写真13 固定物につかまる状況

表14 被験者を用いた作成波による実験条件

車いす	スポーティ
姿勢	伏せ姿勢
震度	6強
ブレーキ	作動、不作用
床材	フローリング

(3) 実験結果

ア 被験者にとらせる姿勢と実験に用いる振動波

3、(4)、イ、(オ)から、被験者には共通して伏せ姿勢をとらせたうえで、「①ブレーキ不作用」「②ブレーキ作動」「③手ブレーキ」「④固定物につかまりブレーキ不作用」「⑤固定物につかまりブレーキ作動」の5つの各想定で実験を行った。

また、3、(4)、イ、(ア)の結果から、人体ダミーの姿勢にかかわらず、震度6強以下の作成波では転倒が生じなかったところから、実験は震度6強の作成波を用いた。

イ 車輪の浮き上がり高さ

想定④で最大値 22.0 mm、想定①で最小値 14.6 mmとなり、いずれの想定でも 20 mm程度であった。

なお、人体ダミー及び被験者を用いた同実験条件での車輪の浮き上がり高さを比較すると、想定①で人体ダミーでは 16.2 mm、被験者では 14.6 mm、想定②で人体ダミーでは 16.2 mm、被験者では 16.2 mmとなり、同等の値を示した。被験者を用いた実験の想定別車輪の浮き上がり高さを図10に示す。

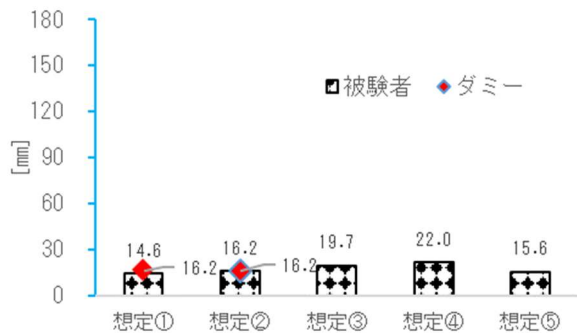


図 10 被験者を用いた実験の想定車輪浮き上がり高さ

ウ 頭部が受ける加速度

想定⑤で最大値 15.6m/s^2 、想定①で最小値 13.4m/s^2 となり、いずれの想定でも 15m/s^2 程度であった。

なお、人体ダミー及び被験者を用いた同実験条件での頭部が受ける加速度を比較すると、想定①で人体ダミーでは 13.7m/s^2 、被験者では 13.4m/s^2 となり、同等の値を示したが、想定②で人体ダミーでは 22.4m/s^2 、被験者では 15.0m/s^2 となり、被験者を用いた実験による値の方が小さくなった。被験者を用いた実験での想定別頭部が受ける加速度を図 11 に示す。

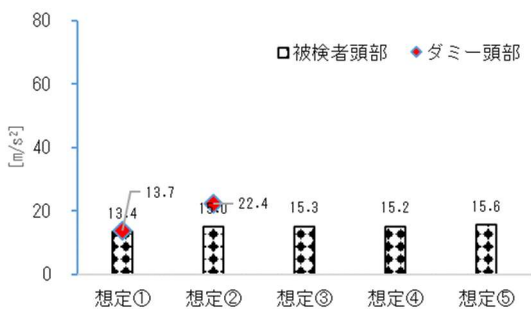


図 11 被験者を用いた実験の想定別頭部が受ける加速度

エ 移動距離

想定②で最大値 63.2 cm、想定⑤で最小値 10.0 cm となり、想定①及び想定②の 2 想定に比べ、想定③の手ブレーキによる制動、想定④及び想定⑤の固定物につかまることの 3 想定では最大移動距離は短く、想定⑤は想定②の約 1/6 程度となった。被験者を用いた実験の想定別最大移動距離を図 12 示す。

また、人体ダミー及び被験者を用いた同実験条件での最大移動距離は、想定①で人体ダミーでは 128.1 cm、被験者では 43.2 cm、想定②で人体ダミーでは 184.5 cm、被験者では 63.2 cm となり、人体ダミーを用いた実験による値は被験者での値に比べ約 3 倍となった。

想定①及び想定②について、図 13 及び図 14 に示す被験者体重及び最大移動距離の関係のとおり、被験者体重の増加とともに最大移動距離は短くなる傾向が認められ

た。

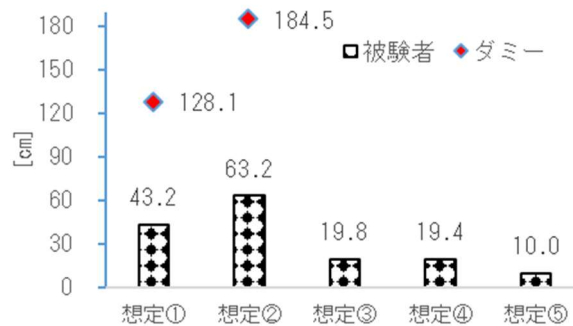


図 12 被験者を用いた実験の想定別最大移動距離

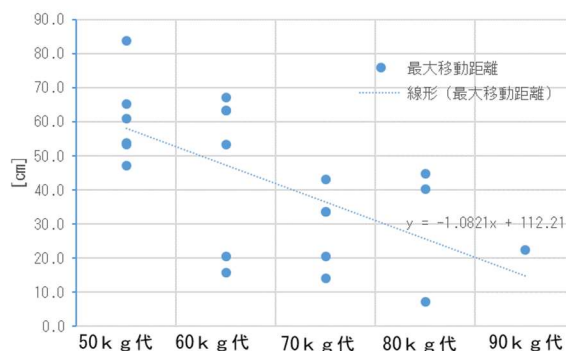


図 13 想定①の被験者体重別移動距離

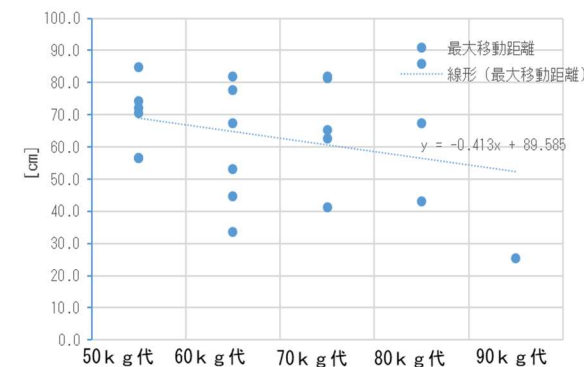


図 14 想定②の被験者体重別移動距離

オ 主観的安定性

想定⑤で最大値 61.1%、想定④で最小値 32.9% となった。想定別の主観的安定性に関する VAS アンケートの結果を図 15 に示す。

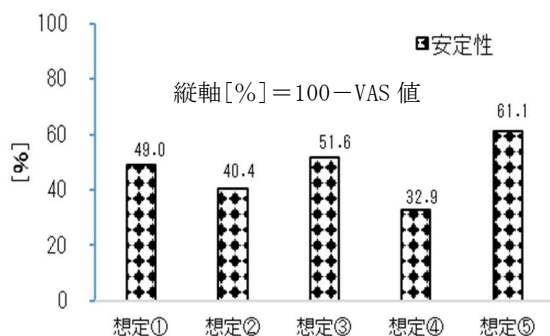


図 15 被験者を用いた実験の想定別安定性に関する VAS アンケート結果

5 考察

(1) 伏せ姿勢が転倒リスクを低減させた要因について
車輪の浮き上がりに要する車いすの水平方向の耐荷重は、写真 14 のとおり、起き姿勢 21 kg から伏せ姿勢 26 kg と増加し、また、転倒開始角度は起き姿勢約 20° から伏せ姿勢 25° 以上に広がること、及び起き姿勢から伏せ姿勢をとることで、写真 15 のとおり、重心位置が下方に 8.8cm、前方へ 9.0cm 移動することから、転倒リスクを低減させたと推察される。



写真 14 起き姿勢時(左)と伏せ姿勢時(右)の回転開始角度及び耐荷重

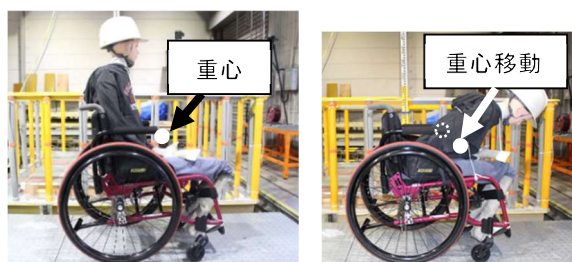


写真 15 起き姿勢時(左)と伏せ姿勢時(右)の重心位置

(2) 「負傷リスクが低く」「身体への負傷が小さい」身体防護体勢

ア 3、(4)、イ、(ハ)のとおり、人体ダミーに伏せ姿勢をとらせることで全ての実験で転倒せず、車輪の浮き上がりが震度階等にかかわらず、一定の僅かな値を示したこ

と、及び頭部が受ける加速度が半減したことから、伏せ姿勢は転倒リスクを低減させ、身体への負荷を小さくすることができる姿勢であると考えられる。

イ 4、(3)、エについて、人体ダミーを用いた振動実験による最大移動距離の値が被験者での値に比べ約 3 倍となった理由として、摩擦力は重量に比例することから、人体ダミーの総重量(54kg)が被験者の平均体重(67.1kg)よりも軽量であったため、移動距離が増加したと考えられる。

このため、実際の車いす使用者は本検証での被験者と比較すると体重が軽い可能性が高いため、想定①及び想定②の被験者での最大移動距離の数値以上に、移動に伴う衝突リスクが高くなると予想されるが、想定④及び想定⑤の固定物につかまることで移動距離を低減することが可能であると考えられる。

なお、4、(3)、オの結果から、固定物につかまる場合では想定⑤のブレーキを作動させた方が想定④の不作動としたときよりも主観的安定性が更に高まることが分かった。

ウ 固定物につかまらない想定①から想定③を比較すると、4 の各結果から、「車輪の浮き上がり高さ」「頭部が受ける加速度」「主観的安定性」に大きな差は認められなかったものの、「最大移動距離」については想定③が最も短くなることで、衝突リスクの低減が期待できると考えられる。しかし、想定③の手ブレーキによる制動方法は、咄嗟時の冷静な対応が求められ、経験等に基づく一定の技術が必要となると考えられる。

6 まとめ

地震時に身の安全を守る体勢として、以下のとおり提言する。

(1) 可能な範囲で前かがみとなり、重心を下げる姿勢をとる。写真 16 に例を示す。

(2) 身近な位置につかまることができる固定物がある場合は、しっかりとつかまる。

なお、ブレーキを作動させた方が安定性は高まる。写真 17 に例を示す。

(3) 身近な位置につかまることができる固定物がない場合は、可能な範囲で前かがみとなり、重心を下げる姿勢をとり、必要に応じて転落に備える。

なお、ブレーキ作動時は揺れにより前方へ、一方、不作動時は後方へ徐々に移動することから、必要に応じて移動方向の壁や家具などの衝突を防ぐことが必要であり、駐車ブレーキを作動させず、ハンドリムを手のひらで軽く触れることで、揺れを緩和させることができる。

ただし、ハンドリムを強くつかんでしまうと、かえって不安定になってしまうことに注意が必要である。



写真 16 重心を下げる姿勢の例



写真 17 重心を下げ固定物につかまる例

7 謝辞

本検証の実施にあたり、総務省消防庁消防大学校消防研究センター主任研究官 大津暢人氏、公益社団法人東京都身体障害者団体連合会、東京都障害者社会参加推進センター 小西慶一会長より多くの貴重な知見、助言を賜りました。

また、本検証の被験者として、装備安全課、危険物質検証課、活動安全課の皆様にご協力いただきました。

ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

1) 気象庁 HP

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/tokaieq.htm>

2) 池内 慶子・前川 浩平・千島 清奈生・中山 崇:観測地震波を用いた身体の安全確保対策等に関する検証、東京消防庁消防技術安全所報 56 号、pp.106-115、2019

3) 特定非営利活動法人アクセシブル・ラボ HP

<http://accessible-labo.org/about/>

4) 近藤 昭彦:脊椎損傷者による対麻痺者の体脂肪と筋肉分布、日本肥満学会誌、136-140、1998

5) 片山 夕香:身体障害者施設成人入居者の身体計測値基準データ、日本栄養士会雑誌第 54 巻 第 7 号、pp.16-25、2011

Study on the Positions for a Wheelchair User' s Body Protection with Observed Seismic Waves

TERAYA Mitsuhiro*, YAMAGUCHI Shun**, SAKAMOTO Yusuke**, NAKAYAMA Takashi**

Abstract

Preventing injuries in the event of an earthquake is essential as it enables smooth evacuation and contributes to reducing casualties from collapsed or burning buildings. However, physical protection during an earthquake for people with restraints to mobility such as wheelchair users has not been specifically examined. We devised an example of a protective position for wheelchair users to take during an earthquake that “reduces the risk of injury” and “places little load on the body.”

Vibration tests on anthropomorphic test devices and human subjects revealed that the risk of injury in an earthquake can be greatly reduced by leaning the upper body forward and lowering the center of gravity.

Also, we saw the differences in the basic behavior of a shaken wheelchair, and then found that wheelchairs can be toppled more easily by left-to-right, right-to-left forces than by back-to-front, front-to-back forces.