

# 都民生活の安全化に関する 技術改良・検証

# 長周期地震動等に伴う室内安全に関する検証（その2）

## （地震時の環境と身体の安全確保対策に関する検証）

寺屋 充彦\*，淵田 元紀\*\*，田鍋 憲一\*\*\*，尾寄 純\*\*

### 概 要

巨大地震に含まれる長周期成分は、減衰することなく遠方まで伝わり、地盤や構造物と共振することによって増幅され、高層建築物上層階の揺れは大きくなり、被害を拡大させる。南海トラフ長周期地震動シミュレーション<sup>1)</sup>では、東京23区内の高層ビルは、最大で振幅3m、5分程度揺れると推計され、高層建築物の居住空間における被害拡大の恐れがあるとした。上層階の室内にある家具が滑動・転倒する地震被害があるほか、避難行動においても困難性が増すことが予想される。必ず起きるとされる地震を前に、室内空間の状況把握、身体の安全確保対策、地震出火メカニズムの解明は、喫緊の課題である。

本年度では、長周期地震動に遭遇した際、どのような体勢が身体の安全確保に有効であるか、どのような場面に危険が潜んでいるか等を室内模型、訓練用階段を用いて実験を実施した。

検証の結果、長周期地震動の揺れでは、家具が滑動し確実な身体確保が困難となることがわかった。また、所定の体位に適した咄嗟の身体の安全確保が存在することがわかった。

### 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は都内のビルを最大で13分間揺らし続け、上層階では1m以上の横揺れが生じた。この模様はメディア等で広く報道され、長周期地震動が被害を拡大させる一因となることが認識された。東海・東南海・南海の3つの震源域が連動した南海トラフ巨大地震の発生が危惧され、政府は最悪の場合、東海地方、近畿地方、四国地方、九州地方に32万3千人もの死者を出す恐れがあるとしている。

平成27年12月17日に内閣府専門家検討会が公表した南海トラフ巨大地震の長周期地震動予測<sup>1)</sup>でマグニチュード9クラスの地震を想定したシミュレーション試算結果によると、東京23区での揺れの最大値は、高さ200～300mの高層建築物の最上階で2～3m、高さ100～200mの高層建築物の最上階で1～2m、揺れが収まるまでにかかる時間は3～5分程度(最大で大阪市内6m、7分以上)とされ、東北地方太平洋沖地震を上回る被害を観測する可能性が高く、東京首都圏は大きな脅威にさらされている。

このような状況で、巨大地震による被害、特に人的被害を抑制するためには、長周期地震動等の発生時に潜む危険を把握し、それに対抗する手段を構築することは地震発生が危惧される現在において、喫緊の課題である。

しかしながら、地震時の揺れが居住者の避難行動に与える影響について研究した事例は少ない。過去の研究事例では、揺れに対する歩行や立ち上がり行動の困難さの関係を示し、長周期加振では起立動作よりも歩行動作の困難性が大きくなるという報告<sup>2)</sup>がある。

これらのことから総合的な室内安全対策を前進させ都民へ危険を周知し、対策を教示普及させることをもって人的被害を最小限に留め防災機関としての減災を目指す。

### 2 実験条件

#### (1) 期間

平成27年11月24日(火)から12月14日(月)まで

#### (2) 場所

東京消防庁 消防技術安全所 振動実験棟

#### (3) 実験装置

##### ア 振動発生装置

本検証に用いた実験装置の概要を図1に示す。振動発生装置の諸元、性能は表1のとおりで、永久磁石駆動方式の1方向水平振動の振動発生装置を用いた。

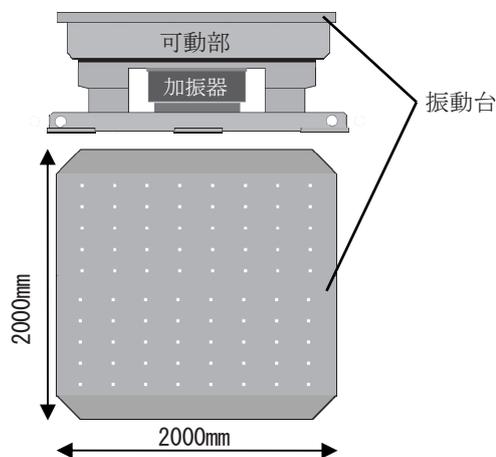


図1 振動発生装置の概要図

\*城東消防署 \*\*消防技術課 \*\*\*赤坂消防署

表 1 振動発生装置の諸元、性能

| 項目     | 性能                                   |
|--------|--------------------------------------|
| 振動台寸法  | 2000mm×2000mm                        |
| 最大搭載重量 | 5000kg                               |
| 最大変位   | X : ±200mm (400mm <sup>P-P</sup> )   |
| 最大加速度  | 19.6m/s <sup>2</sup> (2.0G) 500kg 搭載 |

イ 室内模型

振動台上に、内寸法、幅 2300mm、奥行 1800mm、高さ 2580mm の室内模型を設置した。図 2 に室内模型を示す。



図 2 室内模型

ウ 計測機器

計測には、加速度計及びメジャーを使用した。表 2 に加速度センサの諸元、性能を示す。

表 2 加速度センサの諸元、性能

| 項目    | 性能                                     |
|-------|--|
| 定格要領  | ±49.03m/s <sup>2</sup>                 |
| 定格出力  | 0.5mV/V (1000×10 <sup>-6</sup> ひずみ) 以上 |
| 応答周波数 | DC~100Hz                               |
| 感度偏差  | ±5%                                    |
| 質量    | 約 110g                                 |

エ 振動波

振動波は、長周期地震動を顕在化させた作製波と 0.5Hz と 1.0Hz 周期の正弦波、計 3 種類を用いた。

(ア) 作製波

作製波は、兵庫県南部地震 N-S 波と 0.5Hz 正弦波を組み合わせ、全体として約 75 秒とし、単位を gal [cm/s<sup>2</sup>] とした加速度波形を図 3 に示す。最大振幅は兵庫県南部地震の部分で 184mm、正弦波の部分で 317mm とした。

(イ) 正弦波

正弦波は、0.5Hz、1.0Hz の周波数を用いた。用いた理由は、気象庁が長周期地震動階級と定める際の固有周期が、1~2 秒からの揺れとしていること及び平成 26 年度に実施した検証<sup>3)</sup>において 1.0Hz 近傍周期に、家具特有の転倒危険があることが判明したためである。0.5Hz、1.0Hz 正弦波の最大振幅は 197mm、360mm とし、

気象庁震度階級に照らし合わせると震度 5 強、6 強相当である。以後、0.5Hz 正弦波を正弦波①、1.0Hz 正弦波を正弦波②と表記する。なお、それぞれの実験の振動波については、予備実験を行った結果、揺れによる効果が表れやすい波形を選定した。

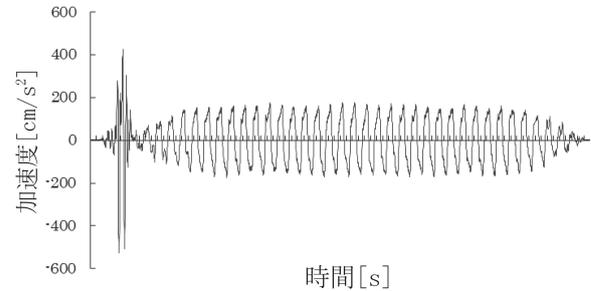


図 3 作製波の加速度波形

(4) 実験対象

ア 使用した家具等

ダイニングテーブル、OA チェア、木製チェア、歩行訓練用階段並びに車イスの詳細を表 3 に示す。

表 3 使用した家具及び階段

| 家具            | 寸法 (mm)<br>(幅×奥行×高さ) | 質量<br>(kg) | 備考                            |
|---------------|----------------------|------------|-------------------------------|
| ダイニング<br>テーブル | 1300×800×700         | 22         | 4人掛用テーブル                      |
| OA チェア        | 800×700×700          | 10         | 座席幅 450mm×400mm               |
| 木製チェア         | 395×445×900          | 12         | 座面高 440mm 天然木                 |
| 歩行訓練用<br>階段   | 1760×1400×<br>1700   | 140        | 高さ 150mm の四段と<br>200mm の三段の階段 |
| 車イス           | 650×1000×900         | 12         | 自走型スタンダード                     |

イ 被験者

本検証に際して職員 32 名の被験者に協力を得た。被験者は客観的に身長、体格、性別で偏りなく振り分けた。実験毎に基本 6 名を一組として検証を実施し、実施後に心理状況を定性的に把握するため、アンケートを実施した。

3 実験方法

(1) 実験 1 地震発生時の挙動の観察

地震発生後、長周期地震動の揺れが発生した際の咄嗟の行動としてどのような身体確保をとるか、若しくは、どのような体勢しか取れないか等の身体確保における限界を検証した。咄嗟の避難行動とするため、地震の特徴、避難については情報提供せず、加振開始後、被験者自身が安全と判断する体勢を取るよう指示した。

地震発生時を想定した体勢は、歩行等の立位、事務仕事及び食事時の座位、就寝時の仰臥位、歩行困難者の車

イスでの座位の4つの想定パターンに分けた。

#### ア 立位時の咄嗟の避難行動

作製波と正弦波②を用いて、作製波は6名、正弦波②は4名で実験を実施し、その様子を観察した。

#### イ 座位の場合における咄嗟の避難行動

作製波を用いて OA チェアに座った状態で6名の被験者で避難行動を実施し、その様子を観察した。

#### ウ 寝ている（仰臥位）時の咄嗟の避難行動

作製波を用いてフローリング上にマットを敷き、仰向けとし、6名で実験を実施し、その様子を観察した。

#### エ 車イスにおける咄嗟の避難行動

作製波と正弦波②を用いて、車イス上の座位における咄嗟の避難行動を観察した。作製波は7名、正弦波②は1名で実験を実施した。

### (2) 実験2 居室内でのより良い身体の安全確保の検証

ダイニングテーブル(以下、テーブルと表記する)、OAチェア、木製チェアを用いて長周期地震動の揺れによって机が滑動する状況でも、当庁が注意喚起している「地震だ！まず身の安全」で示すように机の下に隠れ続けることが出来るかを検証した。

#### ア 詳細情報無しの状態での咄嗟の避難行動の観察

詳細情報無しで、OAチェアに座った状態から加振後、被験者自身が安全と判断する体勢をとるように指示した。作製波5名、正弦波②を6名で実施し、様子を観察した。

#### イ 安全なテーブル脚を持つ位置の検証

テーブル下に避難し、体勢確保のためテーブル脚を掴むことから、どの部分がより安全かを検証した。上段、中段、下段と3部分に分け、検証を実施した。作製波を用いて、各部分6名、計18名の被験者で実施した。

#### ウ 避難で隠れたテーブルが滑動し、移動した際の検証

避難で隠れたテーブルが振動により滑動し、移動を伴った場合、テーブルの移動に追従し隠れ続けることが可能であるかを検証した。被験者には、テーブルの動きに追従するよう指示し、正弦波①、正弦波②を用いて、各5名で検証した。

#### エ 床に臀部を付けて完全に座った場合の危険の検証

長周期地震動での揺れで、テーブルの下に避難する際に、床等に臀部を付けて完全に座った状態で避難することも想定できるため、どんな危険性があるのか、また身体の安全確保対策として有効か否かを検証した。作製波、正弦波②を用いて、各5名で検証した。

#### オ 被験者2名による咄嗟の避難行動の観察

テーブル、OAチェア及び木製チェアを用いて、座った状態から検証を開始し、複数人での身体の安全確保における危険の有無を検証した。咄嗟の避難行動とし詳細情報は与えず、被験者自らが安全と判断する体勢を取るよう指示した。作製波を用いて2名2組で検証した。

#### カ 被験者2名によるテーブルが移動した際の検証

避難で隠れたテーブルが滑動し、移動を伴った場合、被験者2名1組でテーブルの移動に追従し、隠れ続けら

れるか検証した。作製波で1組、正弦波②では3組で検証を実施した。

### (3) 実験3 地震時、慌てた段階での避難の危険を検証

当庁は「あわてた行動けがのもと」と注意喚起しているが、地震発生中、慌てて即座に階段での避難行動をとってしまった場合の危険性を検証した。室内模型内に歩行訓練用階段を設置し、手すりの有無、手荷物の有無を掛け合わせた4パターンとし、階段降下中に長周期地震動に遭遇した際の危険を検証した。被験者には、戸外へ避難しようとする心理状態を模した意識で階段を降りるよう指示し、身の危険を感じた場合は、被験者自ら判断する安全措置を取るよう伝えた。作製波で、各パターン6名、計24名で検証を実施した。

室内模型内の天井に限りがあることから、歩行訓練用階段の2つある階段のうち1つを登り、他方を降りとして、昇り降りを繰り返すこととした。

## 4 実験結果

### (1) 実験1 地震発生時の挙動の観察

#### ア 立位時の咄嗟の避難行動

検証結果を表4に示す。立位では、そのまま立位で耐えるケースがみられたが、アンケート結果から、揺れが予測でき対応することが出来た等の意見が散見された。

表4 立位時の咄嗟の避難行動の結果

|      |         |                  |
|------|---------|------------------|
| 作製波  | 実験 1-1  | 壁に手を触れバランスをとる    |
|      | 実験 1-2  | 仁王立ちで揺れは、膝で吸収    |
|      | 実験 1-3  | 壁の隅でうづくまる        |
|      | 実験 1-4  | 壁に手を触れバランスをとる    |
|      | 実験 1-5  | 壁に手を触れバランスをとる    |
|      | 実験 1-6  | 壁隅に移動し、壁に寄り掛かる   |
| 正弦波② | 実験 1-7  | 隅で中腰、重心低く、両手で支える |
|      | 実験 1-8  | 四這いで揺れに耐える       |
|      | 実験 1-9  | 壁に手を触れバランスをとる    |
|      | 実験 1-10 | 壁に寄り、四這いになる      |

#### イ 座位の場合における咄嗟の避難行動

検証結果を表5に示す。被験者の約7割となる4名がOAチェアから降り身体の安全確保を試みていた。

表5 座位の場合における咄嗟の避難行動の結果

|     |         |                                    |
|-----|---------|------------------------------------|
| 作製波 | 実験 1-11 | 揺れながら OA チェアの上に留まる                 |
|     | 実験 1-12 | OA チェアから降り、OA チェア座面下に頭部を入れ頭部を守る    |
|     | 実験 1-13 | 揺れながら OA チェアの上に留まる                 |
|     | 実験 1-14 | OA チェアを降り正座、左手で OA チェアを抑え、右手で壁を支える |
|     | 実験 1-15 | OA チェアを降り、隅に座り OA チェアを抑える          |
|     | 実験 1-16 | OA チェアを倒し、中腰の体勢                    |

ウ 寝ている（仰臥位）時の咄嗟の避難行動

検証結果を表6に示す。半数が仰臥位のままか、上体を起こした座位であった。残りの半数は、敷いているマットを用いて落下物や転倒物からの防御態勢をとった。

表6 寝ている時の咄嗟の避難行動の結果

|     |         |                  |
|-----|---------|------------------|
| 作製波 | 実験 1-17 | 四這いになりマットで頭部の保護  |
|     | 実験 1-18 | そのままの仰臥位とした      |
|     | 実験 1-19 | そのままの仰臥位とした      |
|     | 実験 1-20 | 座位で後手に両手を置き支点とした |
|     | 実験 1-21 | 部屋の隅でマットを被った     |
|     | 実験 1-22 | 部屋の隅でマットを楯とした    |

エ 車イスにおける咄嗟の避難行動

検証結果を表7に示す。図4、図5で示すように正弦波②では、ロッキング現象を伴って壁に衝突した。

表7 車イスにおける咄嗟の避難行動の結果

|      |         |                                  |
|------|---------|----------------------------------|
| 作製波  | 実験 1-23 | 中央でブレーキを掛け、手を壁に付けバランスをとる         |
|      | 実験 1-24 | ブレーキを断続的に多用するが効果なく、ブレーキと常時手で保持する |
|      | 実験 1-25 | ブレーキをかけ、車イスを降り床に座り、手で頭を守る        |
|      | 実験 1-26 | ハンドリムにて揺れを制御するが、時折、前車輪が宙に浮いた     |
|      | 実験 1-27 | 後進し壁を背にブレーキ、左手でハンドリムを抑え、右手で壁を支えた |
|      | 実験 1-28 | 前方に進みブレーキをかけ、前方の壁に両手付き屈んだ姿勢をとる   |
|      | 実験 1-29 | ブレーキ設定、車イスを降り座り右手で壁、左手で車イスを保持する  |
| 正弦波② | 実験 1-30 | ロッキングを伴いながら壁側に滑動し、頭部が壁に衝突        |



図4 実験 1-30 における衝突前の様子



図5 実験 1-30 における衝突の様子

(2) 実験2 居室内でのより良い身体の安全確保の検証  
ア 詳細情報無しの状態での咄嗟の避難行動の観察

検証結果を表8に示す。テーブルの最大移動距離は、作製波 30cm、正弦波②180cm以上であった。正弦波②では、テーブルの脚を掴んで保持しないと身体の一部が露出する可能性があることが判明した。

表8 テーブル、0Aチェアからの咄嗟の身体確保の結果

|      |         |   |
|------|---------|---|
| 作製波  | 実験 2-1  | 即座にテーブル下に避難、右手はテーブル脚の中段、左手は下段と0Aチェア脚のベース部分を確保                                       |
|      | 実験 2-2  | 天井方向、落下物等がないか確認、テーブル下には避難せず、しゃがんで折り膝の状態、右手でテーブル、左手で0Aチェアを保持                         |
|      | 実験 2-3  | 加振直後は様子見、長周期の揺れで部屋の隅に移動し、両手で2面の壁を確保   |
|      | 実験 2-4  | 即座に0Aチェアから降り、テーブル下には避難せず、折り膝の状態右手は0Aチェアを確保し、左手はテーブルを確保                              |
|      | 実験 2-5  | 様子を伺いながらテーブルの下に隠れ、右手を後ろのテーブル脚中段、左手で0Aチェアを確保   |
| 正弦波② | 実験 2-6  | 即座に避難、机の下で四這い、テーブル中段と、左手はさらに0Aチェアの座面を保持   |
|      | 実験 2-7  | 振動により避難に手間取り、テーブルの下に避難後は、正座の状態テーブル脚上部の対角線を両手で保持<br>※実験前後でテーブルの方向が90°変化した            |
|      | 実験 2-8  | 避難に手間取り、折り膝の状態テーブルの下に避難、はじめテーブル脚の上部を保持するが、床面に手を付けバランスを確保<br>※実験前後でテーブルの方向が90°変化していた |
|      | 実験 2-9  | 揺れにより避難に手間取り、折り膝の体勢に、手はテーブル脚の長辺の中段を保持   |
|      | 実験 2-10 | 避難に手間取り、四這いで、右手はテーブル上段、左手は中段を保持   |
|      | 実験 2-11 | テーブルを背負うようにして、折り膝の状態テーブル脚中段を保持  |

#### イ 安全なテーブル脚を持つ位置の検証

前アの検証で、身体の一部が露出する場面があり、また、被験者により掴む位置が様々であったことから、テーブル脚の掴む位置による危険等を検証した。テーブル脚の上、中、下段の3部分に分けた結果を図6、図7、図8に示す。アンケート結果から80%の被験者が、中段が一番安定と回答した。上段は、窮屈な姿勢で、頭部や背部をテーブル裏で打ちつける危険性があった。



図6 テーブル脚の上段を掴んだ場合の例



図7 テーブル脚の中段を掴んだ場合の一例



図8 テーブル脚の下段を掴んだ場合の一例

#### ウ 避難で隠れたテーブルが滑動し、移動した際の検証

身体が露出しない対策として、移動するテーブルに追従し隠れ続けることの可否を検証した。正弦波①、正弦波②を用いて被験者10名で身体の一部は露出はなかった。

#### エ 床に臀部を付けて座った場合の危険の検証

検証の結果、テーブル裏により頭が下向きとなり、周囲の状況把握が困難となるほか、テーブル裏で頭部を殴打する可能性があるため、危険であった。また、床に臀部を付けて座ると足が露出する。図9にその様子を示す。



図9 臀部を付け座った状態の避難の一例

#### オ 被験者2名による咄嗟の避難行動の観察

テーブルは一般的な4人掛け用ダイニングテーブルではあるが、2人の避難で図10のように、身体の一部が露出してしまい危険な場合があることが判明した。



図10 2人の場合での露出の危険

#### カ 被験者2名によるテーブルが移動した際の検証

テーブルに追従することを指示し、身体の一部を露出をしないように意識させることで、互いに身を寄せ合う行動がみられ、重要な頭部の保護は確実になされていた。一方で、図11のように先に避難した一人が空間を占有してしまい、残された一人が隠れることをためらい、その後の揺れによって、避難行動に移れなくなるケースも見受けられた。



図11 2人の場合における避難困難になったケース

(3) 実験3 地震時、慌てた階段での避難の危険を検証  
実験の様子を図12から図15に示す。実験中、一段飛

ばしや、踏み外しかける危険が認められた。これにより、揺れている時に階段を降りる行為を継続することは、危険であるという予想通りの結果であった。実験中、歩行訓練用階段の昇り降りを中断し、しゃがむ等の行為を避難行動とし、これ以外の階段昇降を継続した時間を測定した。その結果を表9に示す。前述したように、揺れている時に階段を降りる行為は危険行為であることから、階段昇降をより長く継続することがより危険と判断した。

平均値で比較すると、手すりが無い方が、手すりが有る方に比べて継続時間が長くなった。さらに手荷物を持っている方が、1.5倍程度、歩行訓練用階段の昇り降りの継続時間が長くなる傾向があった。



図12 手すり無し、手荷物無しのパターンの例



図13 手すり無し、手荷物有りのパターン例



図14 手すり有り、手荷物無しのパターン例



図15 手すり有り、手荷物有りのパターン例

表9 加振時の階段昇降の継続時間

|             | 手すり無 |      | 手すり有 |      |
|-------------|------|------|------|------|
|             | 手荷物無 | 手荷物有 | 手荷物無 | 手荷物有 |
| 避難行動継続時間(秒) | 75   | 75   | 35   | 9    |
|             | 13   | 75   | 58   | 75   |
|             | 75   | 41   | 30   | 46   |
|             | 75   | 75   | 15   | 75   |
|             | 13   | 72   | 8    | 75   |
|             | 19   | 75   | 75   | 65   |
| 平均          | 45   | 69   | 37   | 58   |
| 標準偏差        | 30   | 12   | 23   | 24   |

## 5 結論・考察

- (1) 地震直後の各体勢における咄嗟の身体確保の提唱  
各体勢における地震発生直後、身体的安全確保の推奨例を表10にまとめ、その様子を図16から図19に示す。

表10 各体勢における咄嗟の安全姿勢の推奨例

|     |   |
|-----|---|
| 立位  | 壁や手すり等が近くにあれば両手で支え、前方及び後方に転ばないように、中腰とする。支持するものが無ければ、重心を低くとるが座らず、移動や避難行動に即応できる体制の確保に努める。     |
| 座位  | OAチェアから降り、OAチェアを支えとして、重心を低くとる。腰かけ状態では、即応体制が取れず、心理的にも不安である。キャスター付の椅子であれば、転倒させ、移動防止対策を講じる。    |
| 仰臥位 | 直立するように起き上がると転倒の危険がある為、体を回転させ、四這いから起き上がり、姿勢を低く落下物の危険が無い安全スペースに移動、布団等により落下物、揺れによる衝突の防御を図る。   |
| 車イス | 壁に寄り、壁とタイヤロックで車イスを挟むように固定させ、さらに動き出さないようハンドリムをしっかりと握る。ひざ掛け、座布団、バッグ等を携行している場合は落下物等の楯として防御を図る。 |



図 16 立位の場合の身体確保



図 17 座位の場合の身体確保

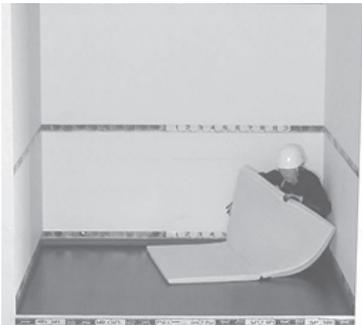


図 18 仰臥位の場合の身体確保



図 19 車イスの場合の身体確保

立位では 10 人中 9 人が壁を支えに、壁に近づいた。アンケート結果からも、どのような心理状態であったかの問いに、67%が掴まりたいと感じていた。

座位では約 7 割が OA チェアから降り、その場で姿勢

を低くした。座った状態では移動の際、立ち上がり動作が必要になり、即応が出来ないとの回答が得られた。

仰臥位では、半数が仰臥位のままとなっていた。仰臥位、つまり就寝時において、熟睡状態から覚醒し、推奨例のとおり、全ての人が咄嗟に行動できるかは疑問が残る。その根拠として実際の地震が発生した場合、様子を見てしまう傾向があった。平成 27 年 9 月 12 日（土）午前 5 時 49 分頃、東京湾（北緯 35.6 度・東経 139.8 度）を震源とするマグニチュード 5.2、震源深さ約 57km の地震が発生し、東京都調布市に震度 5 弱を観測する地震動が発生した。土曜早朝で、多くの人が仰臥位に近い状態で地震に遭遇したと思われる。このため都内及び都内近郊に居住している 38 名を対象とした、簡単なアンケート調査を実施した。結果は、身の安全を図ることが出来たのは 6%に留まり、様子をみた人は 79%であった。その他は 15%（気が付かず 6 名、遠方に移動中 3 名、熟睡 2 名、ランニング中 1 名含）であった。これらのことから就寝時の仰臥位からの身体的安全確保には、覚醒していない状態での検証も必要であると共に、様子を見てしまうことに対する対策・広報も必要だと考える。

車イスでは、図 20 に示す上半身を丸め頭部を保護することが最適と考えていたが、図 21 に示すように地震によっては、壁に頭部等の衝突がみられる可能性があることが判明した。この原因は、車イスの車輪がゴム製で摩擦抵抗が大きく、大きな変位を持った地震動波では、車輪が滑るのではなく、図 22 のように、ロック現象を伴うからである。



図 20 想定していた車イスの身体確保

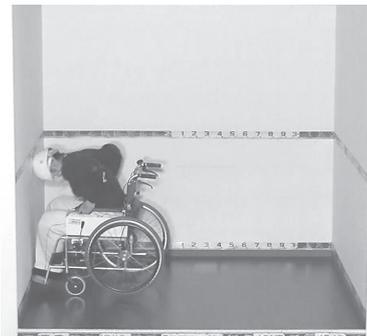


図 21 身体確保の危険性の一例



図 22 車イスがロッキングした様子

立位、座位、仰臥位、車イスの全てに共通した事前の身体的安全確保対策として、実際の居住室内には、壁に沿って家具が置かれるため、事前の家具の固定、日頃の安全スペースの確保は、身体的安全確保を図る上でも、最重要である。

(2) 居室内におけるより良い身体的安全確保の提唱

長周期地震動の振動波では、テーブルの脚を掴み保持しないと、身体の一部が露出し、確実な身体的安全確保は困難であることが判明した。また、掴むテーブル脚の部分は中段が最適と考える。上段は、無理な姿勢となること、下段は、揺れ動くテーブルの下敷きになり手指を怪我する危険、OA チェアの脚部分が衝突する危険、床に飛散物があることから導き出された。

また、避難した先のテーブルが揺れによって移動した場合は、強い長周期地震動によって自身も揺れ動くため、腕力で引き戻すことは非常に困難である。このため、移動したテーブルに追従することが対策として考えられる。

さらに身体の出露をしないように意識づけをすること、複数人である場合は、互いに身体が完全に隠れているか等の相互の協力が必要である。

(3) 地震発生後、即座に避難することの重要性

図 11 で示したように 4 人用のダイニングテーブルであっても避難する際は、2 人ではスペース的に狭く、1 人がそのスペースを占有してしまうと、もう一方は避難が遅延してしまう可能性があることがわかった。

さらに遅延した際の危険、つまり地震発生後、即座に避難しなかった場合の実験を行ったところ、正弦波②において、揺れ始め即座にテーブル下に避難した場合は、平均で、3.53 秒であるのに対して、揺れが始まってから 10 秒程度経ってからの避難では、揺れに翻弄されてしまい 5.83 秒かかった。この結果から様子を見てしまい、避難が遅れると避難行動自体が困難となることがわかった。避難が遅れた結果の危険として、避難行動の途中で家具等の下敷きになることが考えられる。地震発生後、即座に避難行動に移らずにいると (図 23)、図 24 に示すように家具等の下敷きになる危険がある。図 24 に示すレンジ台が転倒するまでに要した時間は、約 7 秒であった。3 秒様子を見てしまい、揺れに翻弄され 5 秒

以上避難に要したとしたら、下敷きとなる危険がある。

(4) 家具転倒防止対策器具の二重施工の重要性

本棚、レンジ台、レンジに 2 種類の家具転倒防止対策器具を二重に施工していれば、前(3)の危険は回避できる可能性が極めて高い<sup>3)</sup>が、図 23 のレンジ台 (高さ 84cm) 等の背の低い家具は、背の高い家具に比べて、対策がされていない。東京都内でみると、転倒する家具を置かない対策、全家具の施工率を合わせても 14% 程度<sup>4)</sup>であった。このことから、それほど多くの住居内で背の低い家具に家具転倒防止対策器具を施工しているとは考えにくい。

このため、幼児や児童のいる家庭のみならず、高齢者等の災害時要援護者がいる住居では、背の低い家具であっても家具転倒防止対策器具を施工、可能な限り二重施工することを強く勧めたい。

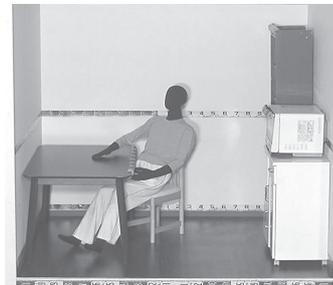


図 23 地震発生時に揺れの様子見る一例(マネキン)



図 24 遅れた避難による最悪の一例(マネキン)

(5) 地震時、屋外階段等で避難する危険の提唱

長周期地震動が発生中に階段での避難は、図 25 のとおり踏み外し等の危険がある。推奨する身体的安全確保は、揺れている最中には階段の昇り降りをしない、避難中に余震があった場合には図 26 で示すように、手すり等を掴みしやがみこむことである。こうすることにより転落等の危険を回避することができる。と考える。



図 25 慌てた階段の避難の危険性



図 26 階段の身体の安全確保の推奨例

(6) 危険とされる行動で継続時間が増加した結果の考察  
加振時の歩行訓練用階段の昇り降りの継続時間における4つのパターンを安全な状況と考えられる「手すり有り手荷物無し」から、最も危険な状況と考えられる「手すり無し手荷物有り」順に並べ、平均値と標準偏差を図27にプロットした。図27から4パターンの中で最も危険な状況と考えられた「手すり無し手荷物有り」で継続時間が最長となり、最も危険があったといえる。また最も安全な状況と考えられた「手すり有り手荷物無し」で継続時間が最短となり、速やかに避難行動に移れたと判断できる。

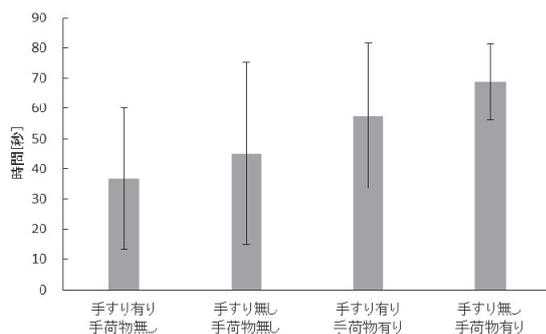


図 27 避難行動継続時間の推移

本来、危険な状況であるほど、継続時間が短くなり速やかに避難行動に移ると考えられるが、その逆を示す結果となった。これはなぜか、手に荷物を持って手が塞がった状況で、揺れに対してバランスをとり動作的に複雑に考えている最中では、さらに何かに掴まる、若しくは荷物を手放して何かに掴まる（手すり）行為・動作に至る思考を阻害させたものと考えられる。

さらに、ある種心理的な作用があったのではないかと考えた。避難行動における心理的特性に正常性バイアスというものがある。これは、異常事態の状況下に遭遇した際に、危険が予想される状況でも危険を過小評価してしまい、危険に鈍感になってしまう心理的特性がある。

本検証では、危険を感じたら被験者自身が考え得る、最大限の身体の安全確保をとるよう指示した。一方で被験者には地震災害で早く逃げたいという意識を要求した。危機的状況ではないが揺れている最中に、階段を降りるという非日常的な行動であったので、このバイアスがかかったのではないかと考える。また手に荷物を持たせたことで、危険に対する認知が鈍感になったのではないかと考える。この裏付けとして、各数値に有意差があるか4つのパターンで、有意水準5%のノンパラメトリック検定を実施した。ノンパラメトリック検定は、サンプルサイズが小さい場合であったため用いた<sup>5)</sup>。検定の結果、手すりの有無を条件としない手荷物の有無だけで見た場合、確率(P)が0.013であり、継続時間の平均値に有意差がみられた。また、手すり有りとした場合の手荷物の有無で確率(P)が0.085となり有意傾向がみられた。さらに、手すり無し手荷物有り、手すり有り手荷物無しの場合で、確率(P)が0.085となり有意傾向がみられた。このことから、4パターンの継続時間には、誤差や偶然である可能性が否定された。

この結果から手荷物無しの手が空の状態は、手荷物を持っている場合より安全側に動作が誘導されると考えられることから、手は空にして避難することを推奨する。災害時に必要な資器材を携行する、「防災バッグ」は、手荷物型ではなく、背負うリュック型である事が必要と思われる。

また、手すりが有る場合は、手すりが無い場合と比べて、人の意識を安全側に誘導するものとする。このため、屋外階段等における手すりの設置は、掴まる為の安全対策としてのみならず、無意識的にも安全側に人を誘導できる有効性を合わせ持つと考えられる。よって、手を空にしての避難及び手すりの設置並びに整備等は、防災の要であるとする。

## 6 おわりに

本検証では、1軸の振動発生装置を用いたが、実際の長周期地震動では、3次元の水平2軸、垂直1軸で揺れる可能性があり、高層建築物が層間変形角をなして地震の揺れに応答する場合は、少なくとも水平2軸で検討する必要がある。

また、長周期に特化した地震動波を作製し使用することとしたが、人の行動への影響を評価するには、短周期の地震動波による応答を無視することはできない。

これらのことより、具体的な長周期地震動の2軸、3軸での振動波及び、短周期地震動まで含めた包括的な地震動波を用いた、さらなる検証が必要であるとする。

平成 28 年 3 月末に、消防技術安全所内振動実験棟に 3 軸の振動発生装置等が更新された。今後の室内安全対策の向上に向け、近い将来これらのさらなる活用が大いに期待できる。

[参考文献]

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告、2015
- 2) 高橋徹・貞弘雅晴・斉藤大樹・小豆島達哉・森田高市・野口和也・箕輪親宏：長周期地震動を考慮した人間の避難行動限界評価曲線の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集 pp. 497-498, 2007
- 3) 寺屋充彦・田鍋憲一・尾寄純：長周期地震動等に伴う室内安全に関する検証（その 1）-家具の共振周波数〔固有周期〕と対策器具の有効性-、東京消防庁消防技術安全所報 52 号 pp. 119-125, 2015
- 4) 東京消防庁：消防に関する世論調査結果, 2015
- 5) 水本篤：サンプルサイズが小さい場合の統計的検定の比較、統計数理研究所共同研究レポート 238、言語コーパス分析における数理データの統計的処理手法の検討 pp. 1-14, 2010

# Study on the Indoor Safety in Connection with Long Duration Seismic Waves (Part 2)

(Study on Measures to Ensure Environmental and Physical  
Safety in an Earthquake)

Mitsuhiko TERAYA\*, Genki FUCHITA\*\*, Kenichi TANABE\*\*\*, Jun OZAKI\*\*

## Abstract

The long period wave components of a large earthquake propagate over long distances without being attenuated. They are amplified by resonance with ground and buildings, causing pronounced sway and inflicting severe damage on the upper stories of tall buildings. A simulation of the long-period seismic waves of the Nankai Trough earthquake showed that high-rise buildings in the 23 wards of Tokyo swayed for 5 minutes with a maximum amplitude of 3 meters and there was a risk of serious and extensive damage in the high-rise living spaces. Naturally, it forecasts that the furniture in the upper floor rooms slides and topples and there is an increasing difficulty in evacuating. Large earthquakes are expected to occur. Before they actually happen, the Fire Technology and Safety Laboratory must work urgently on the measures to grasp the room conditions, ensure physical safety, and elucidate the mechanism of earthquake fires.

This year, the Fire Technology and Safety Laboratory conducted experiments in a room model and a training staircase to find out what situations contain a risk of danger and what postures are effective to protect people from the long period seismic ground motion. The result showed that in the sway of the long-period seismic motion the furniture slides and people cannot control their physical movement easily. It also indicated that there are ways of instantly ensuring safety that are effective for various physical positions.

---

\*Joutou Fire Station \*\*Fire Technology Section \*\*\*Akasaka Fire Station