

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360292

研究課題名（和文） 地震直後の高層建築物における火災発生危険を考慮した避難誘導方策に関する研究

研究課題名（英文） A Study on High-Rise Evacuation Methods after an Earthquake considering Risk of Fire Occurrence by Earthquake

研究代表者

北後 明彦（HOKUGO AKIHIKO）

神戸大学・都市安全研究センター・教授

研究者番号：30304124

研究成果の概要（和文）：この研究では、大地震発生後の高層オフィスビルにおける避難方法について検討した。過去の地震時の事例から考察すると、建物全体の避難方法として上層階の避難者を優先して避難させ、階段における過剰な混雑を制御することが重要である。高層オフィスビルにおいては、地震によって階段や附室の防火区画に損傷が生じて火災時の煙が拡散する恐れがある。また、巨大なビルの大人数の避難者数に比べて階段の容量が少ないという懸念がある。避難シミュレーションモデルを用いて、全館同時避難と上層階優先避難についての避難状況を算出し、地震後のこれらの避難方法の効果と課題について比較検討を行った。

研究成果の概要（英文）：In this study, we discuss the evacuation measures in high-rise office building after the large-scale earthquake. According to the cases of past earthquakes, as the evacuation measures of whole building, it is important to give priority to upper floor evacuees, and to control excessive congestion in the staircase. For high-rise office building, there is concern of smoke propagation by fire through damage of compartment in staircases and vestibules due to the earthquake. And also, it concerns that the capacity of the stairs to the total evacuees relatively becomes small for the huge buildings. We use the evacuation simulation model, and compare the result between concurrent evacuation and upper floor-first evacuation. And we discuss about the effectiveness and agendas of evacuation measures after an earthquake.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	8,900,000	2,670,000	11,570,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、都市計画・建築計画（防災計画）

キーワード：地震、火災、避難、高層建築物、避難シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

高層建築物内における在館者の動向に関しては、過去30年間にわたって、不特定多数が利用する施設等の地震時における人間行動に関して調査され、近年では避難シミュレーションにより緊急避難行動の予測や全

館避難に要する時間算定も行われてきた。しかし、地震に伴って高層建築物で発生する火災に関しては、その危険性と対策については言及されてはいるが、対策の具体的な根拠が示されておらず、またそれを誘導方法別にシミュレーションで実証してみるということ

も行われていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、火災の発生も想定され得る大規模な地震後を想定し、事務所ビルにおける全館避難の誘導方策に関する検討を行う。過去の事例から地震直後の建築物内での状況を整理した結果<sup>1)</sup>、全館を対象とした避難誘導においては、上層階在館者の優先避難と、階段室内での滞留発生の抑制が、優先すべき事項として見出された。特に超高層事務所ビルの場合、地震に伴う堅穴区画の損傷が懸念されるとともに、在館者の総数に対する避難階段の容量も相対的に低くなるため、上記二つの課題の重要性が高まると考えられる。本報では、避難シミュレーションモデルを用いて、いくつかの避難誘導パターンを比較し、地震後の避難誘導方法に関して検討・考察する。

## 3. 研究の方法

### (1) 避難シミュレーションモデルの概要

本研究の避難シミュレーションモデルは、東京大学と清水建設株式会社により開発されたマルチエージェントシミュレーションモデルを使用する<sup>2)3)</sup>。通行者の移動方向、移動位置決定の考え方を Fig. 1 に示す。移動方向は、移動目標となる扉や周辺の壁、障害物、他の通行者等の通行者に作用する複数の力をベクトルでモデル化し、各ベクトルを合成して決定する。通行者に作用する力のうち、移動目標（扉）からは引力を、周辺の壁や障害物または他の通行者からは斥力を受けるものとし、斥力のベクトルの大きさは通行者と対象物との距離の二乗に反比例させている。移動位置は、ベクトル合成により決定した移動方向と、人員密度や通行者個人の歩行速度を考慮して時間ステップ毎に決定する。

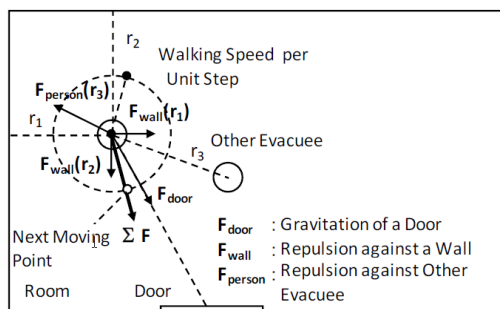


Fig.1 Illustration of how to determine the position and direction in the evacuation simulation model.

### (2) 空間モデルの設定

既存施設を参考に、地上 15 階建の事務所ビルをモデルプランとして想定する。2~15 階に避難者を配置して計算を行う。基準階の平面図を Fig. 2 に示す。

### (3) 避難者モデルの設定

歩行速度の初期値は、全館の避難者とも、

平均 1.0m/s、標準偏差 0.1m/s の正規乱数で与える。階段部分の速度の初期値は、水平歩行速度と当該階段の傾斜角に応じて設定する。階段入口における上階からの降下流と各階との合流比率については、特別な設定は与えていない。

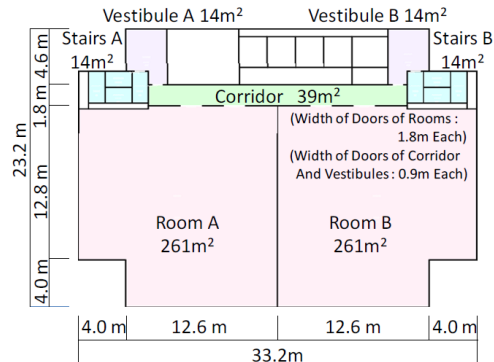


Fig.2 Floor plan of the case study.

### (4) 避難シミュレーションモデルの条件設定

#### a. 各階の避難者数の設定

避難安全検証法等における一般事務室の人口密度は 0.125 人/m<sup>2</sup> である<sup>4)</sup>。よってモデルプランでは 261 m<sup>2</sup> の居室につき 32 人、1 階層の避難者数は、2 室分の 64 人となる。これを基本的なパターンとする。一方、大規模な事務所ビルにおいてはエレベータの数は十分にあるものの、収容人数に対する避難階段の数が相対的に少ない場合が考えられる。そこで本研究では、各階 64 人からさらに、収容人数を 2 倍、3 倍、4 倍、つまり各階 128 人、192 人、256 人と想定した場合の計算も実施する。

#### b. 避難誘導条件の設定

全館避難の誘導方法は、以下に提示する 5 つのパターンについて検討する。

(i) 通常的全館一斉避難避難開始と同時に、館内すべての階の在館者が全館避難を開始する。これを基本パターンとする。

(ii) 偶・奇数階で左右階段に振分けて全館一斉避難偶数階と奇数階で使用する階段を分ける。偶数階はモデルプラン平面の左側 (Stairs A) の階段のみ、奇数階は右側 (Stairs B) の階段のみを使用して全館一斉避難を行う。

(iii) 上階から 1 階層ずつ順次避難 (i) と (ii) が全館一斉避難のパターンであるのに対し、(iii) から (v) は、上層階を優先的に避難させるため、避難開始時間に時間差を設定する場合の検討である。(iii) では、上階から 1 階層ずつ順次避難させる。時間差は、最上階から 4 階層ごとのサイクルとして設定する。

(iv) 上階から 2 階層ずつ順次避難

上階から 2 階層ずつ、順次避難させる。時間差のサイクルは、最上階から 8 階層毎とした。

(v) 上階から3階層ずつ順次避難  
上階から3階層ずつ、順次避難させる。時間差のサイクルは、最上階から12階層毎とした。

c. 避難開始時の時間差設定

(iii)から(v)に示した順次避難の時間差の値は、上階優先を考慮し、階段での合流による混雑を避けるため、上層階の避難者がある程度降下した時点で、その下の階の避難者が避難開始するように設定する。時間差の値は次のようにした。まず、最上階から1階層、2階層、3階層にのみ避難者を設定し、各パターンで一斉避難を計算する。そして、避難者全員がそれぞれ1階層分、2階層分、及び、3階層分降下するまでの時間を求め、この時間を時間差の設定値とした。また時間差のサイクルは、避難開始までの待ち時間が下の階で過大にならないように、一定階数の間隔を空けて、同時刻に階段流入させるように設定するものである。今回は64人/階の場合を基準として、最後の避難者が上記の目標階を通過した時点で、先頭の避難者が到達している階を確認し、その下の階から同時刻に避難させるようにサイクルを設定した。なお、今回の検討では、階の避難者数が増加しても、サイクルの間隔は変えずに設定している。

4. 研究成果

(1) 各パターンの全館避難完了時間

各パターンの全館避難完了時間を Fig. 3 に示す。全館避難完了時間は、いずれの各階の在館者数共に、通常的全館一斉避難 (Fig. 3 の#1) が最も小さい。通常的全館一斉避難では、64人/階 (全館避難者数896人) の全館避難完了時間は411秒であり、他のパターンでも避難者数に比例して、全館避難時間が増加している。その増加率は約0.43 (秒/人) である。他のパターンと比較すると、各階の人数が増加するほど、パターンによる差が小さくなる傾向が見られる。また、上階優先の順次避難 (Fig. 3 の#3、#4、#5) における大小関係は、避難者数の増加と共に変化している。3階層毎の上階優先順次避難 (Fig. 3 の#5) では、64人/階では545秒 (#1との差は134秒) であるのに対し、256人/階では1568秒であり、その差は8秒に縮小している。

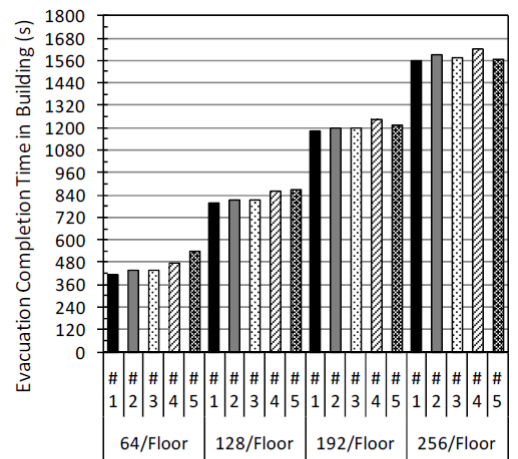
(2) 避難行動中の時間の内訳

次に、避難時間の内訳について考察する。128人/階の場合を例に、避難完了までの行動時間の内訳を、階別に Fig. 4 に示す。グラフでは、避難行動開始までの待機時間、初期配置された階の移動時間と滞留時間、階段室内の移動時間と滞留時間の5つに区分し、各階の平均値を示す。ここでは、1秒間の避難者の位置座標の変化が0.1m以下の場合に滞留しているとみなして集計した。

Fig. 4 において (i) と (ii) の全館避難の

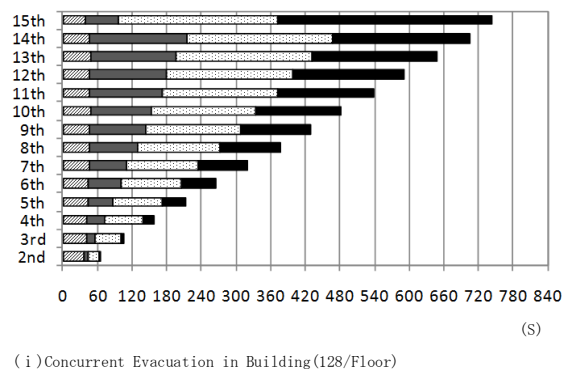
パターンを比較すると、階毎の避難時間の傾向はほぼ同じであるが、その内訳が異なっている。(ii)の左右に振り分けて階段を利用するパターンでは、相対的に階段流入前の時間 (避難開始階での移動/滞留の時間) の占める割合が大きい。その結果、「階段内滞留」の平均値が、(i)の126秒に対して(ii)では104秒となり、22秒小さくなっている。

順次避難では、全館一斉避難と比較して、最上階において避難時間が短縮されている。またその内訳を見ると、一斉避難に比べて避難中の滞留時間が小さくなっている。例えば、「避難開始階での滞留」と「階段内での滞留」の和の平均値は、(i)~(v)でそれぞれ、207秒、187秒、125秒、102秒、43秒となり、(v)の3階層毎の上階優先順次避難では(i)の通常的全館一斉避難の場合の約1/5 (21%) である。



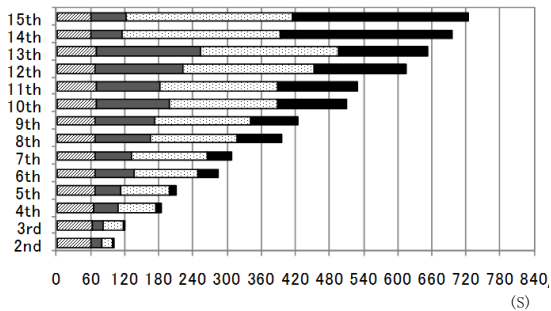
Evacuation Patterns  
 #1: Concurrent Evacuation in Building  
 #2: Use Stairs A/Stairs B Alternately by Odd/Even Floor  
 #3: Upper Floor-First Evacuation (Floor by Floor)  
 #4: Upper Floor-First Evacuation (Two Floors at a Time)  
 #5: Upper Floor-First Evacuation (Three Floors at a Time)

Fig. 3 Comparison of evacuation completion time in building.

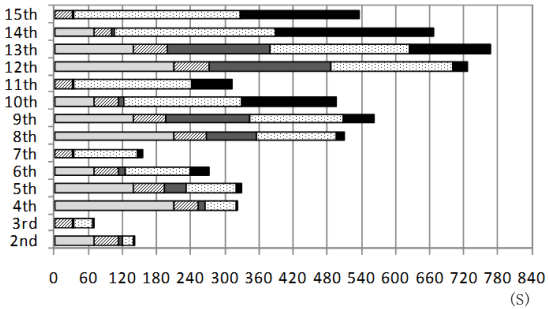


(i) Concurrent Evacuation in Building (128/Floor)

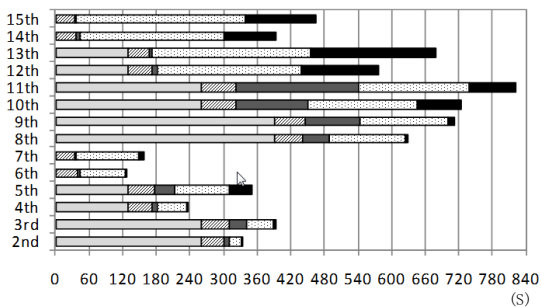
Fig. 4 Comparison of average evacuation completion time in floors



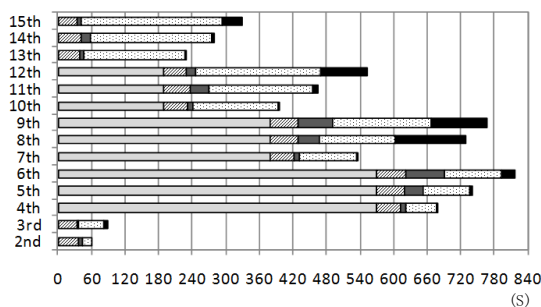
(i) Use Stairs A/Staires B alternately by Odd/Even Floor(128/Floor)



(ii) Upper Floor-First Evacuation(Floor by Floor) (128/Floor)



(iii) Upper Floor-First Evacuation(Two Floors at a time) (128/Floor)



(iv) Upper Floor-First Evacuation(Three Floors at a time)(128/Floor)

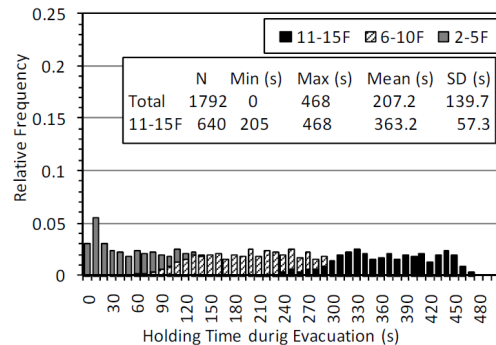
Fig.4 Comparison of average evacuation completion time in floors

### (3) 滞留時間の分布

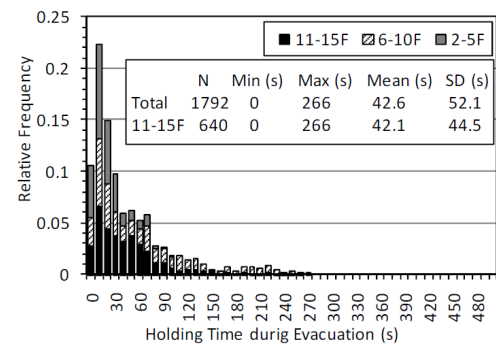
Fig. 5 に、128 人/階の場合における、通常的全館一斉避難と 3 階層ずつの上階優先順次避難の各避難者の滞留時間（「避難開始階での滞留」と「階段内での滞留」の和）の分布を示す。両者を比較すると、最大値に関しては、全館一斉避難が 468 秒に対して順次避難が 266 秒であり、約 1/2 (55%) となっている。標準偏差も 139.7 秒に対して 52.1 秒であり、分布形を見ても値のばらつきが小

さくなっていることがわかる。

次に、上から 5 層分(11-15F)の避難者の滞留時間の分布に着目すると、全館一斉避難では、階数の高さに応じた値の帯域が見られるのに対して、順次避難では、上から 5 層分の場合でも、0 秒から値が分布しており、階による帯域の違いは生じていない。両者を比較すると平均値で約 220 秒短縮されているだけでなく、最小値、最大値で約 200 秒、標準偏差でも約 12 秒の短縮となっており、上層階優先の効果、滞留時間の分布形の違いに現れているといえる。



(i) Concurrent Evacuation in Building(128/Floor)



(v) Upper Floor-First Evacuation(Three Floors at a time)(128/Floor)

Fig.5 Distributions of holding time during evacuation

### (4) まとめ

避難シミュレーションによる検討を通じて、順次避難の効果として、避難時間の内訳を変化させ、階段流入時や階段内での過度な滞留を抑制する可能性があることが確認された。また、滞留時間の分布の比較から、上層階避難者の優先の効果も確認することができた。こうした順次避難や上層優先避難は、在館者数が増加するほど効果が現れる傾向も確認できた。

一方で実際問題としては、建物規模が大きくなるほど全館の状況把握や避難者への情報伝達の困難性が増加する。また、地震後の出火も想定した場合には、出火階の違いも加えた検討が必要になる。順次避難のルールやその設定値の検討では、状況の差違に左右されにくいという観点も重要となる。こうした

点を考慮しつつ、今後さらに検討・考察を進める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 和田ちはる, 北後明彦: 高層建築物における地震時の避難計画に関する研究—福岡県西方沖地震を通して—, 平成 18 年度日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 253-257, 2006.
- 2) 海老原学, 掛川秀史, 関沢愛, 野竹宏彰, 大脇厚: シミュレーションモデルの構成—煙流動・避難行動連携モデルに関する研究(その 1)—, 平成 17 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp. 572-575, 2005.
- 3) 掛川秀史, 海老原学, 関沢愛, 野竹宏彰, 大脇厚: 階段内歩行のモデル化による全館避難の検討—煙流動・避難行動連携モデルに関する研究(その 5)—, 平成 18 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp. 482-485, 2006.
- 4) 建設省住宅局建築指導課, 日本建築主事会議編, 新・建築防災計画指針—建築物の防火・避難計画の解説書—, p. 131, 1995.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- 1) 野竹宏彰, 北後明彦, 関澤愛, 廣井悠, 地震直後の全館避難に関するシミュレーション実験—避難シナリオに応じた避難誘導方策の考察—, JCOSSAR2011 論文集, pp. 39-42, 2011.

[学会発表] (計 10 件)

- 1) 大岩大祐, 劉唱, 北後明彦, 野竹宏彰, 関澤愛, 廣井悠, 村井裕樹, 地震直後の物品散乱を想定した通路歩行実験(その 1)—実験概要と散乱状況別歩行速度—, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 44-45, 2010 年 5 月
- 2) 金子拓行, 北後明彦, 野竹宏彰, 関澤愛, 廣井悠, 村井裕樹, 清水智乗, 地震直後の物品散乱を想定した通路歩行実験(その 2)—歩行速度規定要因の分析—, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 46-47, 2010 年 5 月
- 3) 野竹宏彰, 北後明彦, 関澤愛, 廣井悠, 金子拓行, 地震直後の物品散乱を想定した通路歩行実験(その 3)—避難シミュレーションへの適用—, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 48-49, 2010 年 5 月
- 4) Akihiko Hokugo, Takayuki Kaneko, Ai Sekizawa, Syuji Kakegawa, Hiroaki Notake, A Study on Evacuation Simulation after Earthquake in Consumer Facilities, Fifth International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, March 2010.

5) U Hiroi, Ai Sekizawa, Akihiko Hokugo, Takayuki Kaneko, Liu Chang, Hiroaki Notake and Daisuke Ooiwa, Experimental Study on Walking Speed in the Presence of Obstacles on a Walkway assuming Fire Evacuation in a Department Store, The 8th Asia-Oceania Symposium for Fire Science and Technology, October 2010.

6) 北後明彦, 劉唱, 大岩大祐, 金子拓行, 坂本憲昭, 廣井悠, 関澤愛, 野竹宏彰, 地震直後の停電と物品散乱を想定した通路歩行実験(その 1)—実験概要と状況別歩行速度—, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 230-231, 2011.

7) 大岩大祐, 北後明彦, 劉唱, 野竹宏彰, 金子拓行, 坂本憲昭, 廣井悠, 関澤愛, 地震直後の停電と物品散乱を想定した通路歩行実験(その 2)—歩行速度規定要因の検討—, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 232-233, 2011.

8) 坂本憲昭, 北後明彦, 劉唱, 関澤愛, 大岩大祐, 野竹宏彰, 廣井悠, 金子拓行, 地震直後の停電と物品散乱を想定した通路歩行実験(その 3)—平成 21 年度実験との比較—, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 234-235, 2011.

9) 野竹宏彰, 金子拓行, 北後明彦, 関澤愛, 地震直後の全館避難に関するシミュレーション実験—避難シナリオに応じた避難誘導方策の考察—, 日本火災学会研究発表会梗概集, pp. 236-237, 2011.

10) Akihiko Hokugo, Ai Sekizawa, Hiroaki Notake, U Hiroi and Daisuke Ooiwa, Walking Experiment Considering Scattered Goods and Blackout in Walkways of High Rise Buildings after an Earthquake, 8th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp. 1597-1601, March 2011.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

北後 明彦 (HOKUGO AKIHIKO)  
神戸大学・都市安全研究センター・教授  
研究者番号: 30304124

##### (2) 研究分担者

関澤 愛 (SEKIZAWA AI)  
東京理科大学・総合研究機構・教授  
研究者番号: 30358775

野竹 宏彰 (NOTAKE HIROAKI)  
清水建設株式会社・技術研究所・研究員  
研究者番号: 50550167