

マルチエージェントを用いた超高層建物の避難方法に関する研究

東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 伊藤 博紀

東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 柴山 明寛

東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター 大野 晋

1. はじめに

近年の超高層建築物に代表される多層建築物においては、利用者が迅速にかつ安全に避難できる避難計画を整備することが必要不可欠である。しかし、地震等災害時における高層建築物内の在館者の安全確保に関する議論は、これまで活発に行われてきたとは言い難い¹⁾。現在、日本において多くの高層建築物では、災害時の避難計画に危険領域を該当階に制限することを前提とした階避難方法を採用しており、全館避難方法に関してはあまり考えられていない。これらの背景を踏まえリスクマネジメントの観点から地震災害時に全館避難が必要な状況も想定しておく必要があると考えられる。既往の研究²⁾ではオフィスビルを模した空間モデルによるシミュレーションを通じた研究がいくつか行われており、全館避難における一般特性として順次避難の一斉避難に対する優位性が示されている。しかし高層建築物における災害時では、不安を感じた在館者が一斉に避難を開始し階段室などで混雑が生じたという報告がいくつかなされている³⁾。そこで本研究では、想定される地震災害時の状況を反映した高層複合施設の避難シミュレーションを通じて、高層建築物における全館一斉避難の状況及び問題点を把握する。さらに高齢者等の災害時要援護者を想定し、一斉避難において避難者の避難能力(歩行速度)の差異を考慮した場合を比較した。

2. 高層建築物のモデル化及びシミュレーション方法

(1) 高層建築物のモデル化

本研究では、宮城県仙台市に実存する地上31階建て145.5mの高層複合施設を対象建物とした。図1、図2に対象建物の立面図と基準階平面図を示す。平均在館者数は、低層部で約2,000人、高層部で約1,700人である。避難シミュレーションとしては、高層部のオフィスエリアのみを対象としモデル化を行った。避難経路としては、階段a、階段bの2箇所となる。

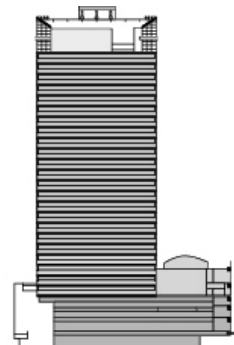


図1 対象建物の立面図

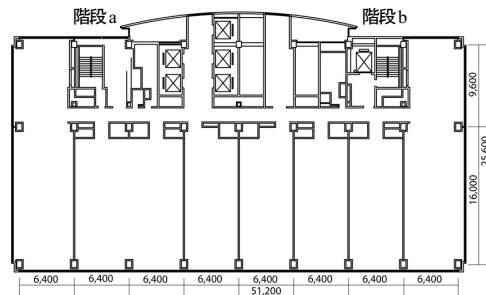


図2 基準階平面図

*Study on Human Evacuation and Rescue Simulation in a High-Rise Building

Tohoku Univ. by Hiroki ITO, Akihiro SHIBAYAMA, Susumu OHNO

表1 高層部のオフィスエリアの平均在館者数

階数	従業員(人)	来客等(人)	合計(人)	階数	従業員(人)	来客等(人)	合計(人)
31	50	50	100	19	50	0	50
30	40	0	40	18	120	10	130
28・29	30	70	100	17	50	0	50
27	20	40	60	16	80	0	80
26	120	10	130	15	60	0	60
25	10	30	40	14	50	20	70
24	60	0	60	13	60	0	60
23	100	20	120	12	60	20	80
22	40	10	50	11	50	10	60
21	60	0	60	10	30	30	60
20	70	20	90	9	140	0	140

また避難シミュレーション方法に関しては、構造計画研究所のマルチエージェントシステム (artiso) を用いてシミュレーションを行った。エージェント (以下、Agt) は、図3に示す行動フローに則り他のAgtとの衝突を回避しながらサブゴールを経由しゴールを目指すこととした。避難者の歩行速度 (m/s) は、歩行速度の経験式⁴⁾に従い周辺密度 (人/m²) に応じて1ステップ (0.5s) 毎に変化するものとした。階段歩行時は下降速度が60%減少するものとする。また高齢者等の災害時要援護者を想定したAgtの歩行速度は、初期速度が60%減少するものとした。出力の値としてはステップ毎に避難完了者数、滞留者数を計算した。

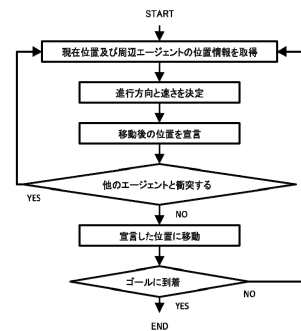


図2 Agt 行動フロー

(2) 一斉避難の避難シナリオについて

解析する一斉避難の状況として、4つのシナリオを設定した。表2に想定シナリオを示す。

まず、シナリオAとして、避難者数の違いによる避難状況を定量的に把握するために、平均在館者数の0.5倍~3倍 (0.5倍刻み) の5パターンを行った。次に、シナリオBとして、災害時に火災が発生し、煙の煙突効果などにより片側階段 (階段aもしくはb) が使用できなくなる2つのパターンを行った。シナリオCとしては、在館者の避難の際に消防隊員や救助隊員が負傷者などの救助のため下階から階段を上る場合³⁾を想定し、避難者が階段の内側を歩行して避難する場合と外側を歩行して避難する場合の2つのパターンを行った。シナリオDとして、災害時要援護者を想定した避難者を平均在館者数の0~40% (10%刻み) の割合でランダムに配置した5パターンを行った。

表2 想定シナリオ

シナリオ	避難者数(人)	避難状況
A	1790	階段a、階段bによる二方向避難
B-1	1790	階段aのみを使用して避難
B-2	1790	階段bのみを使用して避難
C-1	1790	階段の内側を歩行して避難
C-2	1790	階段の外側を歩行して避難
D	1790	災害時要援護者を含めた階段a・bによる二方向避難

3. 解析結果

各シナリオの滞留率を図3～6、避難完了ステップ数を表3～5に示す。滞留率とは、各ステップにおいて、建物内に存在する避難者に対する歩行が困難な人数の割合とした。

(1) 避難者数の違い(シナリオA)

シナリオAでは、避難者数が多くなるにつれて滞留率は高い値を示し、いずれも200ステップあたりでピークをむかえる(図3)。これは、各階の避難者が階段室に到着し、階段室の入り口付近で滞留するからである。ピーク後は、避難者数が多いパターンほど減少が小さくなり滞留率が高い値を維持したままになる。また、避難完了間際に滞留率が再び増加するのは、1階の避難口において滞留が生じているからであると考えられる。次に避難完了までのステップ数では、避難者の人数に比例するかたちで延びていることがわかる(表3)。

(2) 片側階段のみ使用(シナリオB)

片側の階段を使用できないことにより、それだけ狭められた空間に同じ人数の避難者が存在することになる。そのため滞留率は、両側の階段を使用できる場合(A)と比べ、階段aのみを使用した場合(B-1)と階段bのみを使用した場合(B-2)ともに高い値となった(図4)。また2,000ステップ付近以降、滞留率の挙動に違いが生じているのは、階段aから避難する場合と階段bから避難する場合とで避難口の位置や形状が異なるためであると考えられる。B-1とB-2のステップ数においては、ほとんど差がみられなかったが、シナリオAと比較すると1,000ステップ以上の差が出る結果となった(表4)。

(3) 階段内側・外側の歩行(シナリオC)

階段の内側を歩行した場合(C-1)と外側を歩行した場合(C-2)では、避難完了までのステップ数が100ステップほどの差があり、滞留率ではC-1の方が高い値を示した(図5)。内側を歩行させる避難方法は、高密度の中を長時間にわたって避難することになり、2次災害の危険性も高い。このことから、外側を歩行させる避難方法の方が良いと言える。

(4) 避難能力の差異(シナリオD)

避難完了までのステップ数をみると、高齢者等の災害時要援護者を想定した避難者の割合が高くなるにつれて延びていることがわかる(表5)。また、災害時要援護者を想定した避難者付近で混雑が生じるため滞留率をみると僅かに高くなっているが、それほど大きな違いはみられなかった(図6)。これはいずれも階段室での滞留が激しいため、一旦階段室に入ってしまうと避難能力の差が現れなくなるからであると考えられる。

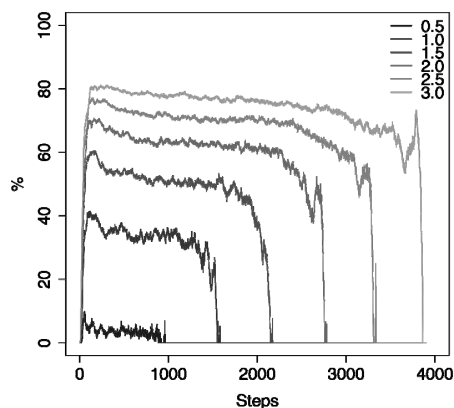


図3 シナリオAの滞留率

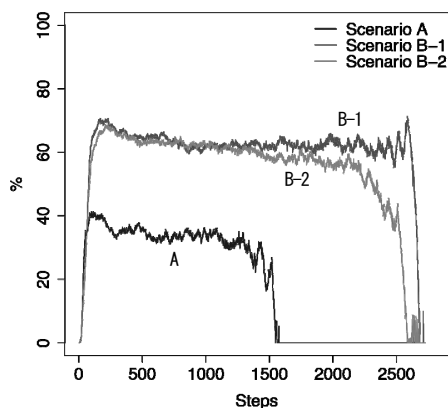


図4 シナリオBの滞留率

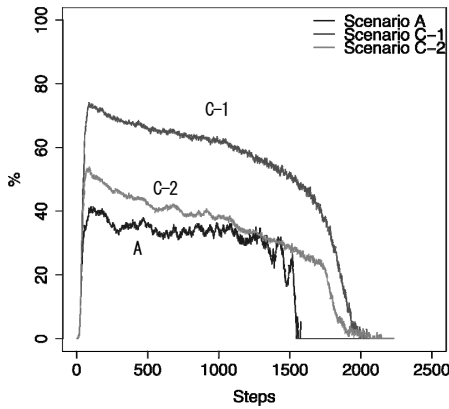


図5 シナリオCの滞留率

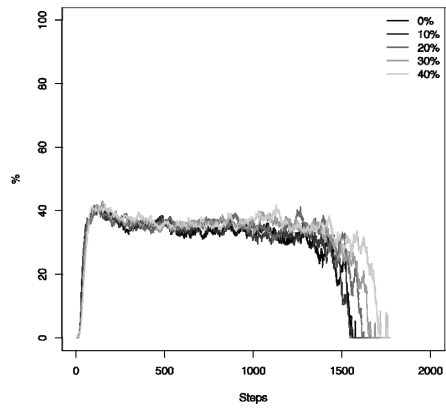


図6 シナリオDの滞留率

表3 シナリオAステップ数

倍率	避難者数(人)	ステップ数
0.5	895	995
1.0	1,790	1,600
1.5	2,685	2,188
2.0	3,580	2,799
2.5	4,475	3,343
3.0	5,370	3,894

表4 シナリオA~Cステップ数

シナリオ	ステップ数
A	1,600
B-1	2,723
B-2	2,697
C-1	2,113
C-2	2,230

表5 シナリオDステップ数

シナリオ	ステップ数
D	1,600
D-1	2,723
D-2	2,697
D-3	2,113
D-4	2,230

4. まとめ

在館者が一斉に避難する状況では、階段室において避難者が合流する際に滞留率のピークが生じることが確認できた。また、階段の内側を歩行して避難する場合と外側を歩行して避難する場合とでは、避難完了時刻にはほとんど差がみられなかったが、外側を歩行し内側をあけて避難させた場合の方が滞留率の抑制につながったといえる。

謝辞

仙台市及び対象建築物の防災担当である(株)クロップスのご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：長周期地震動と建築物の耐震性，2007
- 2) 例えば，鴨井悠太，翠川三郎：簡易なシミュレーションに基づく高層建築物における地震時避難状況の把握に関する研究，日本建築学会大会学術講演集B2，643-644，2005
- 3) 日本建築学会：世界貿易センタービル崩壊特別調査委員会報告書，2003
- 4) John・J・Fruin：歩行者の空間，鹿島出版会，1974