

高層ビルにおける避難シミュレーションの構築と評価

02D8101001H 小塩 佳奈
中央大学理工学部情報工学科 田口研究室
2006年 3月

あらまし:本研究では、火災発生時の高層ビルにおける避難シミュレーションを作成する。まず、避難時に想定される混雑に着目し、ビル内の空間をフロア、階段、踊り場に分け、それぞれの空間における避難者の動きをモデル化する。次に、シミュレーションの結果から、高層ビルにおける避難について考察する。

キーワード: 高層ビル, 混雑, 待ち行列, 避難シミュレーション

1 はじめに

2001.9.11の世界貿易センター(WTC)事件をきっかけに、高層ビル全体を考慮した階層避難の対策が必要であることが認識された。そこで本研究では、高層ビルでの災害対策として避難シミュレーションを構築し、効果的な避難態勢を評価する。

2 避難シミュレーションモデル

一般に避難者は、滞在場所からフロア内を移動し、階段へ向かう。階段に到着後は、踊り場を経由し、階段内へ入り、下の階に移動する。そこで、ビル内の空間をフロア、階段、踊り場に分割して、各空間での避難行動をモデル化する(図1)。図中の矢印は避難者の移動方向を表す。

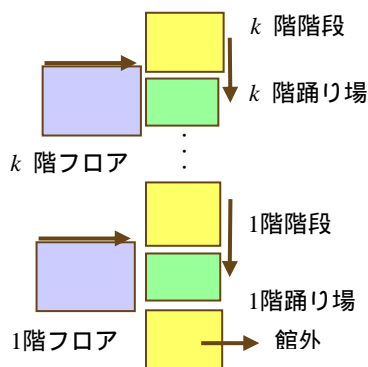


図1 ビル内の避難空間

2.1 フロア

フロア内の移動空間は、各階段までの距離で定義される1次元空間とする。そして、フロア内の移動空間を自由歩行可能なフリー空間と階段前の待ち行列に分ける。一つのフロアに複数の階段(階段数を n とする)が存在する場合には、各階段間の距離を d_{ij} [m] ($i, j = 1, \dots, n$) とし、フリー空間と待ち行列の和とする。

避難者は避難する階段を選択し、フリー空間では、滞在場所から階段前の待ち行列に向かって歩行速度 v_h で移動する。避難者が階段前の待ち行列に到着したら、待ち行列に並ぶことにする。待ち行列にいる避難者は、1列に並ぶものとし、避難者間の間隔を Δr [m] とする。

2.2 階段

階段内の空間は、階段の高さで定義される1次元空間とする。したがって、階段に滞在している避難者の位置は階段内の高さで表すことができる。また階段に滞在できる人数に制限を設ける。

本モデルでは階段内の避難者の避難行動に関して次の仮定を設ける。

- 階段内の避難は1列で行われる
- 避難者同士の追い越しは禁止する

- 避難者同士の間隔は Δh [m]以上とする。

階段内の避難者は、フロア間の高さ H [m]を、垂直方向へ階段内の密度により変動する歩行速度 v_v で移動する。ここで歩行速度 v_v は、

$$f(\rho) = 0.5 - 0.075 \times \rho \text{ [m/s]} \quad (2.1)$$

とし、密度は、

$$\rho = N_k / S \quad (2.2)$$

とする。ここで S [m²]は階段の総面積を表す。

2.3 合流

フロアでの移動及び階段での移動の結果生じる避難者の合流を考える。この合流には以下の2つの合流が考えられる。

(A) フロアを移動する避難者と階段を下降してくる避難者の合流

(B) 階段を下降してくる避難者と下階段の延焼に気付いて階段を上昇してくる避難者の合流

(B)では、延焼により階段を上昇してくる避難者がいるとき、フロアでこの階段に入ろうとしていた避難者は、別の階段に移動すると仮定している。

(A), (B)の合流場所を、踊り場と定義する。また、踊り場にいる人数に制限を設ける。

(A)では、避難者の選抜を行なうために、優先度を表すパラメータ p_1 を導入する。 p_1 は1から0の値をとる。 p_1 の値として以下の3通りを考える。

$p_1 = 0$: フロアから踊り場に移動してくる避難者が優先的に踊り場に移動する。

$p_1 = 0.5$: フロアからの避難者と階段からの避難者を交互に合流させる。

$p_1 = 1$: 階段から踊り場に移動してくる避難者が優先的に踊り場に移動する。

(B)では、避難者の選抜を行なうために、優先度を表すパラメータ p_2 を導入する。 p_2 は1から0の値をとる。 p_2 の値は以下3通りを考える。

$p_2 = 0$: 下階段から踊り場に移動してくる避難者が優先的に移動する

$p_2 = 0.5$: 下階段からの避難者と上階段からの避難者を交互に合流させる。

$p_2 = 1$: 上階段から踊り場に移動してくる避難者が優先的に移動する。

2.4 延焼

ビルで発生した火災は、上方向に E [m/s]で延焼し、延焼した階段は使用不可とする。避難しようとした階段が使用不可能であることを認知した避難者は、他の階段に移動する。

3 シミュレーションを用いた避難分析

階段の制限人数と踊り場の制限人数及び、合流における優先度のパラメータの組み合わせに対して、避難完了時間と死亡者数を観察する。ここで p_1, p_2 の優先度は、2.3節に従い、以下の5通りのパターンの避難について観察する。

A: 階段優先/上階優先 B: 階段優先/交互

C: 階段優先/下階優先 D: 交互/下階優先

E: フロア優先/下階優先

3.1 シナリオ設定

施設設定を表1、シナリオ設定を表2に示す。一階の踊り場を経由し館外へ出た避難者を避難完了者とする。ビル内生存者全員が館外に出たときの時刻を避難完了時間とし、延焼で階段を上昇してくる避難者は、その間に階段内で延焼に巻かれた場合、死亡者とする。

表1 施設設定

建物の階数	21	
階段数 n	4	
フロアの高さ H [m]	4	
階段内の面積 S [m ²]	15	
階段間の距離	d_{BC}, d_{AD} [m]	141
	$d_{AB}, d_{AC}, d_{BD}, d_{CD}$ [m]	100
階段前の待ち行列での人の間隔 Δr [m]	0.1	
階段における人の間隔 Δh [m]	0.1	

表2 シナリオ設定

垂直方向の延焼 E [m/s]	50
発火階	3
使用不可能階段	B
各階滞在者数(2-21階)	各 150

3.2 避難完了時間と制限人数による避難比較

A から E の 5 パターンについて、避難完了時間と階段の制限人数との関係を、踊り場の制限人数が 2 人の場合を図 2 に、4 人の場合を図 3 に示す。2 つの図から踊り場の制限人数が 4 人の方が、制限人数が 2 人と比べて、全体的に避難完了時間が短い。これは、踊り場の制限人数が多いと踊り場の前で待つ避難者が少なくなるためと考えられる。一方、パターン A から E では、避難完了時間に大きな違いはみられない。

図 2 では、階段の制限人数が 20 人以上になると避難完了時間は一定値となる、これは、階段内に 20 人以上滞在する状態がないためと考えられる。

図 3 では、階段の制限人数の増加に伴い、避難完了時間は減少傾向にある。しかし、階段の制限人数が 35 人以上になると、避難完了時間は増加する。これは、階段内の密度が高くなることによって避難者の歩行速度が遅くなることが原因である。

以上から、避難完了時間は、避難優先度によらず、階段の制限人数と踊り場の制限人数に影響を受けることがわかる。ここでは、階段の制限人数が 35 人、踊り場の制限人数が 4 人のとき、もっとも避難

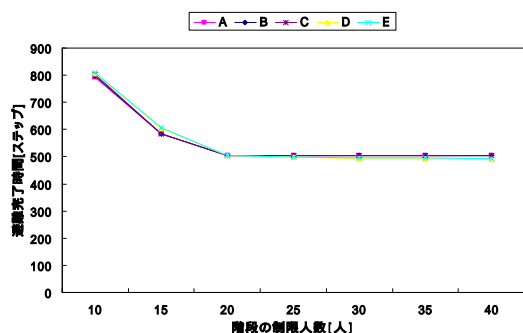


図 2 踊り場制限人数が 2 人の場合の避難完了時間

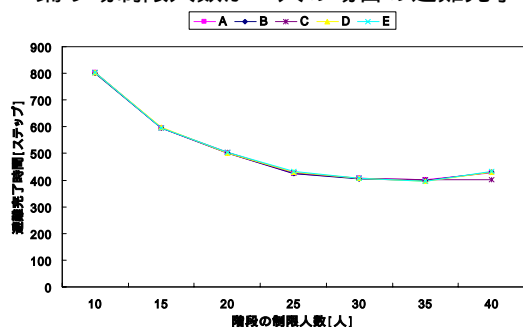


図 3 踊り場制限人数が 4 人の場合の避難完了時間

完了時間が短くなった。

3.3 避難優先度と制限人数による避難比較

避難完了時間と同様に、A から E の 5 パターンについて、死亡者数と階段の制限人数との関係を、踊り場の制限人数が 2 人の場合を図 4 に、4 人の場合を図 5 に示す。

図 4 では、A から E のパターンを 2 つに分けることができる。パターン A,B,C では、死亡者数は、階段の制限人数が 15 人まで増加し、それからは階段の制限人数によらず、ほぼ一定の値をとる。これは、踊り場の制限人数が 2 人で限られているため、階段内に滞在する人数も限られることにより、延焼で階段を上昇してくる避難者が少ないことが影響していると考えられる。一方、D,E では階段の制限人数の増加に伴い、死亡者数は増加傾向にある。ここでは、フロア優先の避難であることから、上階から踊り場に入ることができずに、階段内で避難者が密集する。したがって D,E では階段内の密度が高くなり、歩行速度が遅くなるため延焼に巻かれて死亡者数が多くなるものと考えられる。

次に、図 5 では、上階優先させた避難 A に比べ、交互に避難させた B の方が、死亡者数が少ない。さらに、下階優先の C,D,E では、死亡者はいない。すなわち、フロアと階段の優先度にかかわらず、延焼の影響を受ける下階からの避難者を優先することで、死亡者をゼロに抑えることができる。

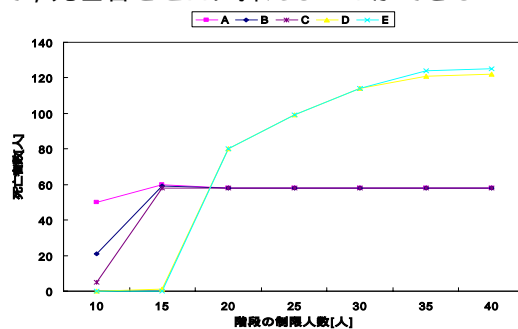


図 4 踊り場制限人数が 2 人の場合の死亡者数

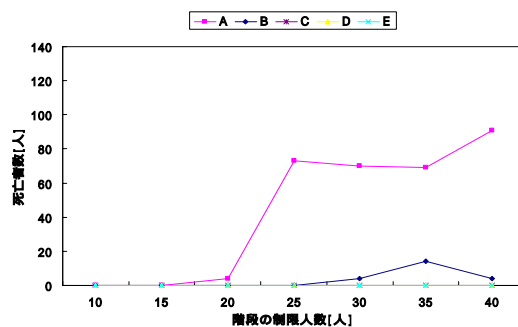


図 5 踊り場制限人数が 4 人の場合の死亡者数

4 おわりに

ビル避難時に想定される混雑に着目し、避難シミュレーションを構築した。シミュレーションから、避難完了時間は、階段及び踊り場の制限人数による影響を受けた。合流の優先度では火元に近い避難者から優先的に避難させることで死亡者を減らせることが分かった。今後の課題として、各階で優先度パラメータを変化させ、より効果的な避難態勢を検討していきたい。

参考文献

- [1] 日本火災学会 “火災と建築”, 共立出版, 東京, 2002.