

劇場避難におけるシミュレーション手法の適用

(株) 構造計画研究所	* 友松 恵子	TOMOMATSU Keiko
(株) 構造計画研究所	福嶋 朗	FUKUSHIMA Akira
(株) 竹中工務店	上原 茂男	UEHARA Shigeo

1. はじめに

十数年前に建設された各都市の劇場が、2000年頃からリニューアル時期に入ると予想される。リニューアルにあたってはドアの位置、数などを適切に配置し、事故時の安全性が確保されたものを提案する必要がある。この安全性の確保のひとつの目安として、事故発生時における施設からの全人員の避難時間（すべての人が施設内から出口をでるまでの時間）がある。また、新たに施設を設計する上でも、避難時間をあらかじめ計ることで、想定される出火点に対しての、避難経路を十分に確保できる設計（出口の位置等）が可能となる。現在の法規では、建築防災計画指針[1]において、静的な状況の計算式が与えられており、算出された避難時間が安全基準を上回っていれば安全な建築物と認定されている。

しかし、このような施設においては、健常者または病人・付き添いが必要な障害者が混在し、また出口以外にもその通路の幅によっては、人の滞留が発生するために、図面からの座席配置情報からはその避難時間を計算で得ることは困難である。

そこで、シミュレーションによって、これらの状況を再現し、避難時間を算出し、避難状況を人の滞留等を見ながら確認することで、設計の手助けとなるようなシミュレータの開発を行った。

このシミュレータは設計者が使用するという前提のため、シミュレーションモデルの入力にCADを用い、パラメータの入力に表計算ソフトを、シミュレーション実行に汎用シミュレーションプログラムのVisual SLAM[2]を用いた。また、利用者の便宜を図り、データの管理を簡単にするために、上記プログラムをデータと共に一括して制御できるプログラムを併せて開発した。

このシミュレータの特徴を以下に挙げる。

- ・設計図面を用いての避難の諸条件の設定が容易
- ・避難開始時の人数及び人の配置を自在に設定可能
- ・人口密度による進行方向の決定や速度変更による行動の制御
- ・進行方向の複数設定が可能
- ・歩行速度、占有する面積の異なる人（健常者、障害者、老人等）の設定が可能
- ・人の滞留状況の出力及びグラフでの確認が可能

- ・アニメーションで視覚的に確認が可能

2. シミュレーションモデル

人ひとりずつの流れをモデル化するために、離散「もの」中心型のモデル化手法を用いた。

対象となる劇場などのフロアの平面図を元に、フロア上で空間を分割したブロックを資源として考える。

モデルの基本的な考え方は、人が、ひとつの資源であるブロックに入れたならば、前ブロックを出るといって繰り返しで複数ブロックを移動し、出口に向かう。また、ブロックが混雑した場合には優先度順に別のブロックを選択するように考慮した。図1に人の動きの仕組みを示す。

選択可能などのブロックにも入れない場合は前のブロックで待ちが生じる。ブロックとしては、複数の種類（通路、階段、スロープ、出口等）のブロックを考える。人も複数の種類（以下「種族」）があり、種族ごとに一人あたりの占有面積、人口密度に応じた歩行速度を属性としてもつ。占有面積は基準となる人を1とし、それ以外の人は基準の人に対する大きさの比率を数値で示す。それ以外の人とは、例えば車椅子を利用する人などである。また、移動の方向はブロックごと、種族ごとに設定することにより、種族ごとの避難経路の設定を行えるようにする。

ブロック内の歩行速度は、そのブロックの密度に応じて速度を調整することとした。

事象中心のモデル化では、事象発生時のシステムの変化の仕方を明確に規定する。本モデル化では、人がブロックを移るシステム変化を事象と捉えた。さらに、 Δt ごとの時間変件事象を発生させ、動的にフロアの人の動きを把握できるようにした。

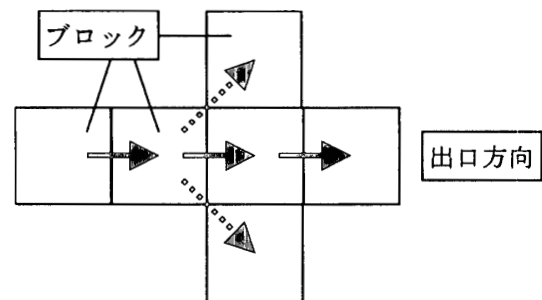


図1 人の動きの仕組み

3. 施設の安全性を評価する指標

本シミュレーションモデルでは安全性を評価する指標として、以下の結果を出力する。

- ・人がすべて劇場から退出するまでにかかった時間
- ・指定するブロックでの累計流入人数、累計流出人数
- ・全ブロックに流入するための待ち情報
- ・人の動きを表すアニメーション

これらの結果により、数値及び視覚的な面から動的な状況が確認できる。

4. 設計者のためのモデル設定方法

設計者が本シミュレータを使用することに配慮し、モデル設定は以下のデータ入力によって行う。

- (1) CAD 上で設計された2次元図面上に「通路」、「階段」、「出口」などの設備属性を持つブロックを敷き詰める。
- (2) 表計算ソフトでブロックごとの種族ごとの滞在人数及び優先度順に方向ブロックを指定、設備属性ごとのブロックに入れる人数の決定に用いられる最大許容密度、種族ごとの占有面積と密度によって変化する歩行速度などの数値データを定義する。

さらに、CAD では座席や通路部分のブロックの自動生成機能および、その他のブロックの敷き詰めやアニメーションに必要な情報の出力など必要なCAD操作をメニュー機能で自動化するといった機能を付加している。また、表計算ソフトではマクロ機能を使用し、入力項目の選択及びデータファイルの作成の自動化を行っている。これらの自動化により、設計者はシミュレーションの仕組みを意識せず、容易にシミュレーションを実行することかできる。

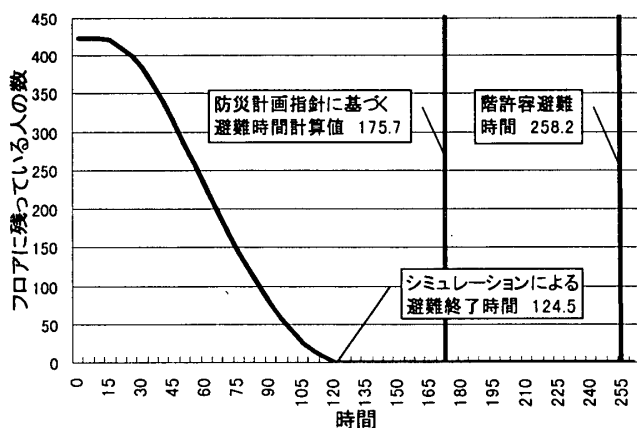


図2 施設内の滞留人数の系時変化

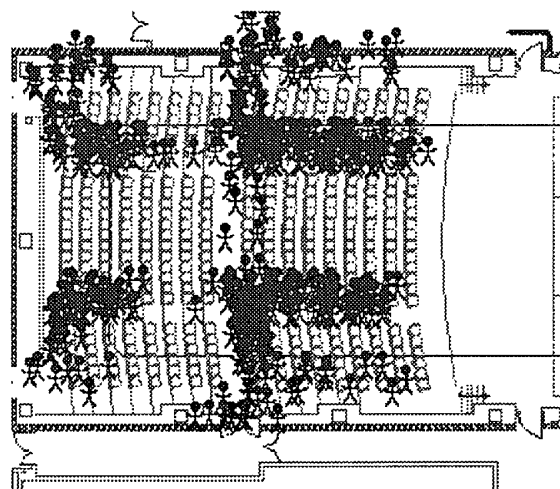


図3 アニメーション画面

5. 適用事例

約1000人収容できる2階層の多目的ホールの1階部分に対し、今回開発したシミュレーションモデルを適用して、火災時のホールの安全性を評価した。施設内の滞留人数の系時変化のグラフを図2に、アニメーション画面を図3に示す。

その結果、一番最後に避難完了した人の避難時間は、防災計画指針で設定されている計算式で求められた値より小さい値が得られた。さらに、時系列で避難完了人数の情報も得られるため、防災上の当ホールの特徴も把握することができ、設計上の改善点を見つけることができた。また、各エリアに滞留する人数の推移が動的に把握できるため、避難誘導方法検討のための情報にもなると考えられる。

6. おわりに

建築物の設計を行う際に災害時の安全が確保されていることを示すため、防災計画書を作成するが、現在の法規では仕様書的に規定されている部分があるため設定手法が画一的になる可能性があることが指摘されている。そのため、近い将来、性能（ここでは安全性の確保）を満たす基準を掲げ、具体化の方法を問わない「性能規定」が設けられることになると予想される。

今後の展開として、この本シミュレータを性能評価ツールとして使用できるよう機能拡張を行ってきたい。

【参考文献】

- [1] 監修 建設省住宅局建築指導課 日本建築主事会議，“新・建築防災計画指針—建築物の防火・避難計画の解説書—”，財団法人 日本建築センター，(1995)
- [2] 森戸，相澤，貝原，“Visual SLAM によるシステムシミュレーション”，共立出版，(1998)