

京都大学大学院教授 フェロー 土岐憲三
 京都大学大学院助教授 正会員 清野純史
 京都大学工学部 学生員 ○森 直人

1. はじめに

群集避難行動を定量化する手法としては、図式解法が広く用いられており、新・建築防災指針においても、これを用いる事が望ましいとされている¹⁾。この手法（以下、指針手法と呼ぶ）は手計算により迅速な計算が可能であり、非常に有用な手法である。しかし、時として非現実的な人間行動を記述する事がある。

そこで本研究は、個別要素法（DEM）によるシミュレーションを用いて、流動係数と、廊下到着時間の2点についての解析を行い、その特性を図式解法にフィードバックさせて元の指針手法による結果と比較検討を行った。

2. 絞り条件下での流動特性

指針手法においては、計測により得られた $1.5 \text{ 人} / \text{m} \cdot \text{sec}$ が採用されている。しかし、流動係数を一定の値として与える点は、指針手法の大きな問題点であった。そこで、避難者の初期密度や扉幅による流動係数の変化を検証した。

図1のようなモデルを設定し、初期位置を100回ランダムに変化させて居室避難状況を計算した。結果は100回のシミュレーションの平均をとり、その値を避難状況の代表値とした。なお、属性の分類とその固有速度の値は、人口属性調査²⁾の結果等を援用した。

扉幅を1mから5mまで変化させ、各扉幅ごとに初期密度に対する流動係数をプロットしたものが図2である。ある密度以上になると、各扉幅とも一定値に収束する傾向がある。この時滞留が起こっているので、この時の流動係数を各扉幅ごとにプロットしたものが図3である。扉幅が大きくなるごとに流動係数が増大していくという傾向がわかる。

3. 追い越しによる流動特性の変化

DEMを用いた避難シミュレーションでは、固有速度の差を考慮する事によって、避難者の集結が緩和される事が指摘されている²⁾³⁾。ここでは廊下終点への到着時間についての検証を行った。

図4のようなモデルを考え、初期位置をランダムに100回変化させて、居室出口から10mごとの距離について通過状況を計算した。

解析結果を図5に示す。各線は測定点を通過した人数の合計を表している。居室出口から10mごとに100mまで合計11点をとっている。

測定点が離れていくにつれ、避難人数 - 時間曲線の傾きが初期の傾きとは異なってきている。各測定点の通過開始時間と通過終了時間を、縦軸に時間、横軸に出口からの距離をとってプロットしたものが図6である。図中の実線

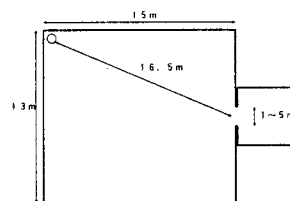


図1: 流動係数についての解析モデル

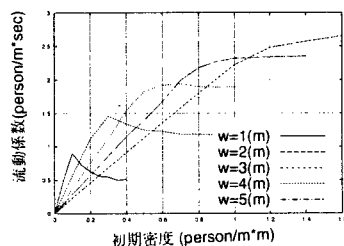


図2: 流動係数の変化

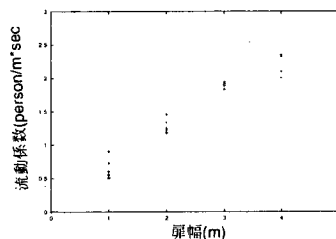


図3: 流動係数の扉幅ごとのプロット

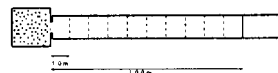


図4: 固有速度の違いについての解析モデル

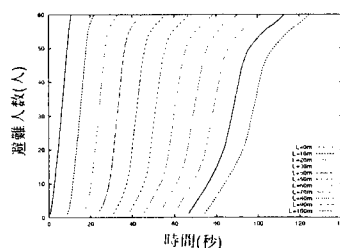


図5: 各測定点の通過状況 (扉幅3m、避難人数60人)

が通過開始時刻を結んだもので、破線が通過終了時刻を結んだものである。初期密度や扉幅を変化させても、通過開始時刻を結んだ線、通過終了時刻を結んだ線共に傾きはほぼ変わらなかった。これより廊下到着開始時刻と廊下到着終了時刻は、この勾配が分かれば廊下終点の到着時刻のモデル化が可能となることがわかった。

4. 指針手法へのフィードバック

ここで、明らかとなった流動特性を、指針手法のパラメーターとして使用可能になるような形にする事を考える。そして、そのパラメーターを指針手法にフィードバックする事により、指針手法の計算の精度を上げるとともに、現在の指針手法がどのくらい安全側に設定されているのかを検証する。

流動係数については、図3から流動係数が扉幅に比例していると判断し、この図から以下の式を提案した。

$$k = 0.55 \cdot W \tag{1}$$

ここに k は流動係数 (人/m・W)、 W は扉幅 (m) を表す。

廊下終点の到着時間については、廊下終点への到着開始時間と終了時間を求め、その間に均等に個体が到着すると仮定した。到着開始時刻と到着終了時刻は図6の傾きによって決定され、そのパラメーター (v_1, v_2) を以下のよう

$$\begin{aligned} v_1 &= 1.35 & (m/sec) \\ v_2 &= 0.95 & (m/sec) \end{aligned} \tag{2}$$

この方法（以下、提案法と呼ぶ）の妥当性を検討する解析モデルとして、地下街の一区画をモデル化した図7を用いた。100回のシミュレーションの平均の居室避難状況と階避難状況をプロットし、さらに指針手法と提案法の避難状況もプロットしたものが図8である。居室避難についても、階避難についても、提案法の方が指針手法よりもシミュレーション結果を良く表現できている事がわかる。

5. まとめ

本研究で得られた成果を以下に示す。

1. 流動係数として、指針手法では一律に 1.5(人/m・sec) と設定されているが、本研究では、扉幅が増すに従って流動係数が増加する事を示すことによって、滞留の発生する条件をより詳しく定量化する事ができた。
2. 固有速度のばらつきによって、廊下終点への到着の時間帯が指針手法よりも広がる事を定量的に示した。さらに、廊下終点への到着開始時刻と終了時刻が、居室避難時間の時間帯と廊下歩行距離に依存して決定される事を示した。
3. 指針手法で用いられているパラメーターに代え、本研究で提案したパラメーターを用いた図式解法による避難計算を行った結果、元の指針手法よりもシミュレーションの結果に近い避難状況を算出する事ができた。また、指針手法は実際よりも危険側に算出される可能性もあることがわかった。

参考文献：

- 1) 建設省監修：新・建築防災指針, 日本建築センター、1995.
- 2) 清野純史ほか：京都市防災への提言, 平成10年度京都市防災対策調査研究助成金交付事業、1999.
- 3) 竹内徹：避難シミュレーションによる地下街の安全性評価に関する研究, 京都大学修士論文、2000.

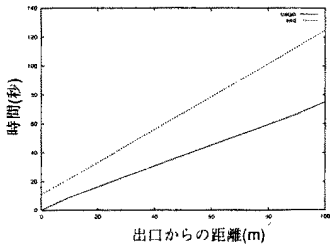


図 6: 通過開始時刻と通過終了時刻のプロット (扉幅 3m, 避難人数 60 人)

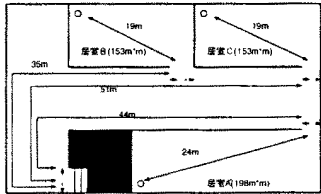


図 7: 解析モデル

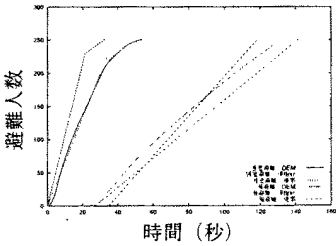


図 8: 指針手法、提案法と DEM との比較