

階層構造物における避難行動実験と数値シミュレーションとの比較

九州大学大学院 学 ○井上 裕章 正 善 功企  
 同上 正 陳 光斉 正 笠間 清伸

1. はじめに

災害時の人間避難行動は、動力的観点からアプローチすることができ、これまでの研究においても、個別要素法 (DEM) を用いた力学モデルなど、多くの避難行動モデルが提案されている。

本研究では、避難時の人間行動をマニフォールドメソッド (MM) でモデル化し、避難行動をより現実的にシミュレーションできるシステムの開発を目的としている。今回は、階層構造物を対象とした避難実験を行い、実験結果と数値シミュレーション結果とを比較した。

2. MM による数値解析解と理論解の比較

数値シミュレーションでは、解析対象の種類や性質によって使用される解析方法が異なる。例えば、有限要素法 (FEM) は連続体問題や微小変形を前提とした不連続体の問題に対してよく使われている数値解析手法である。一方、個別要素法 (DEM) や不連続変形法 (DDA) は不連続体の大変形問題に対して非常に有効な手法として知られている。その中で、有限要素法と不連続変形法の両方を有する解析手法がマニフォールドメソッド (MM) である。

人間避難行動は、動力的にモデル化すると、人間固有の能動力  $F (=mG_0)$  と速度に比例する抵抗係数  $k (=mk_0)$  の導入によって、式(1)のような動力学微分方程式で表現することができる。

$$\frac{d^2\bar{u}}{dt^2} + k_0 \frac{d\bar{u}}{dt} = \bar{G}_0 \tag{1}$$

初期条件、 $t=0:v=0$  の下で式(1)を解くと、

$$v = \frac{G_0}{k_0} (1 - \exp(-k_0 t)) \tag{2}$$

また、境界条件、 $t \rightarrow \infty : v = v_{max}$  の下で式(2)を解くと、

$$v_{max} = G_0/k_0 \tag{3}$$

ここで、 $G_0$ :全力走行時加速度(m/s<sup>2</sup>)  $k_0$ :抵抗係数(1/s)

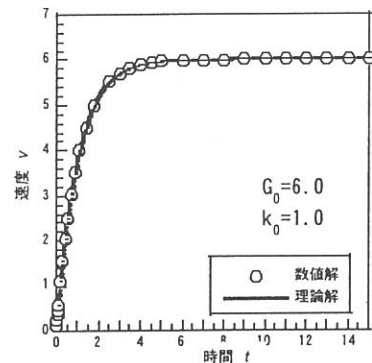


図-1. 数値解と理論解の比較

図-1 は、 $G_0=6.0, k_0=1.0$  を用いて、マニフォールドメソッド (MM) を用いた数値解析解と動力学モデルによる理論解の比較を行ったものである。グラフから、数値解と理論解とが一致していることがわかる。よって、動力学モデルをマニフォールドメソッド (MM) を用いて解析することが可能と考えられる。

3. 実験およびシミュレーション概要

今回、避難対象とした階層構造物 (RC4 階建て) の平面図を図-2 に示す。避難は4階から開始し、1階到着をもって終了とする。避難者数は 18 人であり、解析条件を表-1 に示す。ここで、解析に用いたパラメータについて、一部は参考文献<sup>2)</sup>より決定し、残りは標準偏差を考慮しながらランダムに決定した。

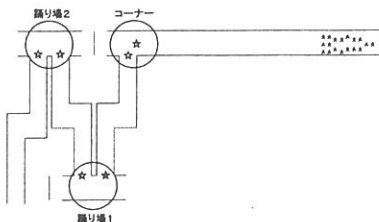


図-2. 避難経路図

表-1. 解析条件

	$G_0$	$k_0$	$v_{max}$
平均	8.23	1.09	7.54
標準偏差	1.07	0.142	0.599

ステップ数: step=1450  
 計算時間間隔:  $\Delta T=0.02$

#### 4. 実験結果とシミュレーション結果との比較

図-2 中における○で囲んだ3区域(コーナー・踊り場1・踊り場2)の、粒子が回転する☆~☆間の平均速度および標準偏差のシミュレーション結果を表-2に示す。コーナー(90°回転)においては、多少ばらつきが見られるが、平均3.10m/secという結果を得た。また、踊り場(下り・180°回転)においては、2か所ともほぼ同じ結果となり、平均2.15m/secとなった。

一方、避難環境における走行速度の変化は、影響係数 $K_n$ を用いて、式(4)に示す微分方程式に導入することにより、避難行動を動力的にモデル化できる。

$$\frac{d^2\bar{u}}{dt^2} + k_0 \frac{d\bar{u}}{dt} = \bar{G}_0 + \sum_n \bar{f}_n(t) = K_n \cdot \bar{G}_0 \quad (4)$$

ここで、参考文献<sup>2)</sup>から、集団の影響を受けない場合の影響係数 $K_1(=v/v_{max})$ と今回の解析結果を比較したデータを表-3に示す。これらの結果より、解析結果は、コーナー、踊り場(下り)共に実験結果と比較的一致している。よって、解析に用いたパラメータおよび計算式が概ね正しいことがわかる。

図-3・表-4は、実験結果とシミュレーション結果を、避難時間について比較したものである。平均時間についてみると、両者に大きな差はないが、シミュレーション結果においては、20~22秒に避難完了者が多く集まり、ばらつきが小さくなる結果となった。この要因として、実際の避難では、パラメータに関係なく前方の避難者についていき、追い越しなどの現象がほとんど見られなかったが、シミュレーションでは、パラメータが大きく寄与し追い越しが生じていた。あるいは、ランダムに決定した一部のパラメータに差がなかったため、それが結果に現れたことなどが挙げられる。

#### 5. 結論

災害時の避難行動を力学モデルとして捉え、マニフォールドメソッド(MM)を用いた数値解析解と力学モデルによる理論解の比較を行い、その整合性を確認した。また、階層構造物を対象とした避難実験を行い、コーナー、踊り場および避難時間について、実験結果と数値シミュレーション結果の比較を行った。それぞれにおいて両者はほぼ一致し、避難行動の力学モデル化の有効性が示された。

#### 6. あとがき

今回の数値解析解と力学モデルによる理論解の比較により、1個の粒子に関してはMMによって解析可能であることが確認された。しかし、多粒子に関しては追い越しや接触などの現象が生じ、それらについては未解明である。今後は多粒子に対するMMの適用について検討する必要がある。また、方向転換や路面状況あるいは群集行動など、さまざまな避難環境を微分方程式にうまく組み入れることが課題である。

《参考文献》 1) 清野純史・三浦房紀・八木宏晃：個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション,土木学会論文集, No.537/I-35, pp233-244, 1996 2) 井上裕章：力学モデルを用いた人間避難行動特性に関する実験的研究,九州大学卒業論文, 2002

表-2. 回転時の粒子速度

	コーナー	踊り場1	踊り場2
平均速度(m/sec)	3.10	2.14	2.15
標準偏差	0.470	0.156	0.300

表-3. 実験結果と解析結果の影響係数 $K_n$ の比較

	コーナー	踊り場(下り)
実験結果	0.484	0.229
解析結果	0.403	0.280

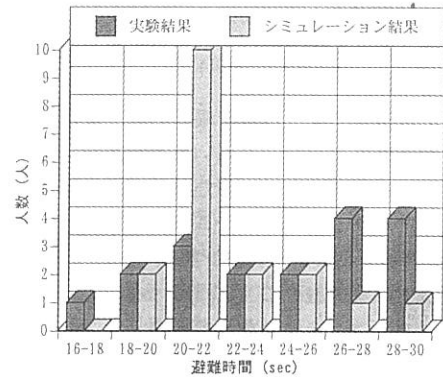


図-3・表-4. 避難時間の比較

	実験結果	シミュレーション結果
平均時間(sec)	24.35	22.42
標準偏差	3.92	2.72