

## 避難シミュレーションによる地下街の安全性評価について

京都大学大学院工学研究科 正員 清野純史  
京都大学大学院工学研究科 正員 土岐憲三  
京都大学大学院 学生員 竹内 徹

1.はじめに 近年、増加の一途を辿る地下街は不特定多数の人々が日常的に利用することになり、その閉鎖性故に、ひとたび災害が発生すると大きな混乱を招く恐れがある。地下街におけるこのようなリスクを軽減するためには、設計段階における規制のみならず、被災時に被災状況をリアルタイムに把握し、それに基づいた避難誘導を行う必要がある。そこで、本研究では人間の群集行動を個体単位で把握することが可能で、各避難者の避難時間や避難の途中で作用する力を定量的に評価することができる個別要素法(DEM)を用いたシミュレーションモデル<sup>1)</sup>に着目し、これに改良を加えて実在する地下街の避難行動解析に適用を図った。

2.解析手法 本研究では、人間を円形要素と置き換えて取り扱う(図1)。群集を構成する*i*番目の個体要素の質量を  $m_i$ 、この個体要素の  $x, y$  方向の変位をそれぞれ  $x_i, y_i$  とすると、運動方程式は以下ようになる。ただし、人間を対象としているため、回転運動は拘束しモーメントに関する運動方程式は考慮しない。

$$m_i \frac{d^2 x_i(t)}{dt^2} = f_i^x(t) \quad (x \text{ 方向}) \quad m_i \frac{d^2 y_i(t)}{dt^2} = f_i^y(t) \quad (y \text{ 方向}) \quad (1)$$

$f_i^x(t), f_i^y(t)$  は時刻  $t$  における個体要素  $i$  に作用する  $x$  方向、 $y$  方向の合力である。時刻  $t-1 \sim t$  なる  $t$  区間で加速度が一定と仮定し、式(1)を積分することで時刻  $t$  における速度、位置を前進的に決定する。表1に本研究において用いるパラメータをまとめて示す。また、対象空間は京都市の「ゼスト御池」(図2)を採用し、避難者数の決定に関しては、本地下街において行われた属性別人口調査の結果(表2)を援用している。原則として、避難者は各時刻における位置から最も近い出口に向かうものとする。

3.歩行速度の影響 ゼスト御池の一部を用いて歩行速度の違いが避難行動に及ぼす影響を調べた。この結果を表3に示す。ただし、ここではゼスト御池の一部を対象空間とし、面積に対応した避難者数を設定した。

4.避難経路特性の検討 避難者が最も近い出口へ向かう経路(以降、最短経路と呼ぶ)を選択する場合と光走行システムにより与えられる経路を選択する場合で生じる避難行動の変化を検討した。図3に設定した火災発生位置を示す。また、光走行システムによる誘導例を図4に示す。解析結果を表4に、最短経路を選択して要素を避難させたときの避難シミュレーションを図5に示す。

5.まとめ 本研究で行ったシミュレーション手法は、現行の避難計算と併用することによって安全性の評価に大きく寄与することが可能である。今後は避難者の立場に立って避難者個々の空間認識や情報伝達を考慮したシミュレーションモデルを開発することが重要な課題である。

### 参考文献

1)清野純史他:個別要素法を用いた群集行動シミュレーション,1994年地域安全学会論文集, No4, pp322-327, 1994.

---

キーワード:個別要素法, 地下街, 避難シミュレーション, 光走行システム

連絡先:〒606-8501 京都市左京区吉田本町 Tel.075(753)5132 Fax.075(762)2005

表 1 使用パラメータ

個体要素バネ定数(法線)	$1.26 \times 10^4$ (N/m)
(接線)	$6.29 \times 10^3$ (N/m)
個体要素減衰定数(法線)	$1.35 \times 10^2$ (Nsec/m)
(接線)	$3.02 \times 10$ (Nsec/m)
個体要素仮想バネ定数(法線)	$6.62 \times 10$ (N/m)
(接線)	$3.31 \times$ (N/m)
個体要素仮想減衰定数(法線)	$9.79 \times 10$ (Nsec/m)
(接線)	$2.19 \times 10$ (Nsec/m)
個体要素半径	0.259(m)
個体要素仮想半径	0.717(m)
単位体積重量	$1.69 \times 10^3$ (N/m <sup>3</sup> )
計算時間間隔	0.01sec
加速度	$0.837$ (m/sec <sup>2</sup> )

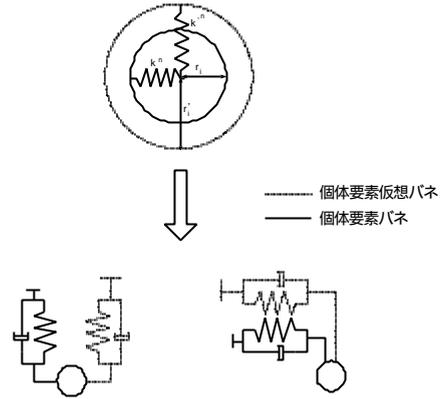


図 1 人間のモデル化

表 2 人口比率・歩行速度

属性		人口比率 (%)	固有速度(m/sec)	
			平均	分散
15歳以下	男性	1.93	1.02	1.8
	女性	6.52	1.09	
15歳~50歳	男性	27.45	1.45	1.6
	女性	40.76	1.23	
50歳~70歳	男性	5.01	1.19	1.6
	女性	5.75	1.04	
70歳~	男性	1.41	0.99	1.8
	女性	1.76	0.89	

表 3 固有速度の影響

歩行速度の設定	全属性 1m/sec	属性別に 平均値	平均・分散を用いて乱数発生
避難時間(sec)	37	35	AVE = 42 SD = 5.87

表 4 避難経路の影響

避難経路の設定	最短経路	光走行システムに準じた経路		
		ケース 1	ケース 2	ケース 3
避難時間(sec)	83	101	100	100

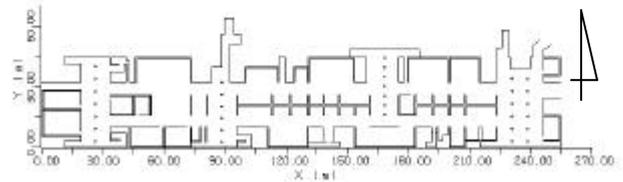


図 2 ゼスト御池のモデル化

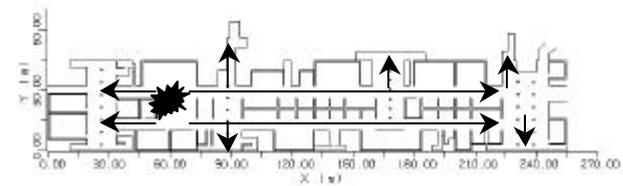


図 4 光走行システムによる誘導例

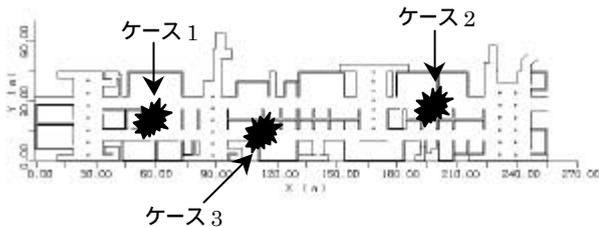


図 3 火災発生位置

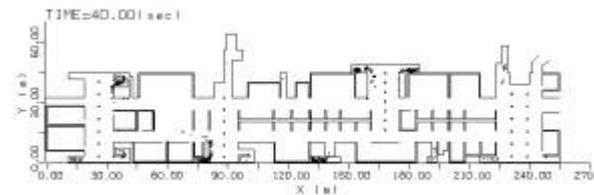
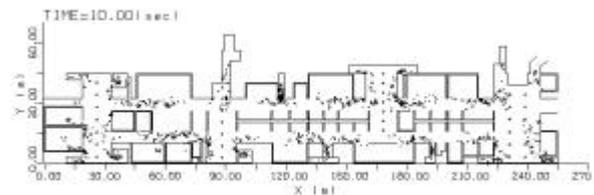
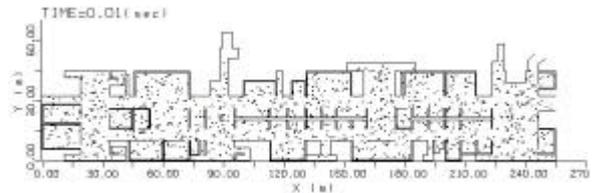


図 5 避難シミュレーション