

地下街浸水時避難行動シミュレーションに関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○坪郷 浩一
山口大学工学部 正会員 朝位 孝二

1.はじめに

近年、都市域や沿岸域での水害が多発している。例えば1999年6月の福岡市における地下街・地下室への浸水では犠牲者が発生した。また2000年9月の東海豪雨では地下鉄の3駅が浸水し3路線が不通となった。このように地下利用の進展に伴い浸水による被害例が目立っている。したがって、地下街など閉鎖的な空間への浸水に対する避難行動シミュレーションモデルを確立しておくことは重要である。本研究では群集状態での閉鎖的空間における浸水時の避難行動シミュレーションモデルの開発を目的とする。

2.群衆状態における避難行動

人は、基本的には現在位置から最終目標点(出口)に向かう方向に直進する。

a)浸水セルの回避行動

浸水が発生した場合、人は危険を回避する行動をとる。この行動をシミュレートするために横山ら¹⁾のポテンシャルモデルと類似の方法を導入した。このモデルでは、危険性の度合いに応じて場にポテンシャル値を与え、現在位置のポテンシャル値と周囲のポテンシャル値よりポテンシャル値の勾配を求めそれに応じた速度ベクトルを求めるものである。

b)他の避難者との衝突の回避行動

群衆状態における避難行動では、避難者は他者との衝突を回避しながら避難行動を行う。この行動のシミュレートを行うため避難者間の距離に反比例する排斥的速度(避難者間の衝突回避速度)成分を与えることにした。この衝突回避速度を以下の手順で求める。

1)周辺の避難者との位置関係

図-1に示すように避難者*i*の位置座標を $X_i=(x_i, y_i)$ 、他の避難者*m*の位置座標を $X_m=(x_m, y_m)$ とする。このとき各避難者間の距離 l_{im} は以下ようになる。

$$l_{im} = \sqrt{(x_m - x_i)^2 + (y_m - y_i)^2} \quad (1)$$

式(1)によって避難者間の距離を算出する。

2) 1)により算出された l_{im} を用いて避難者*i*から任意

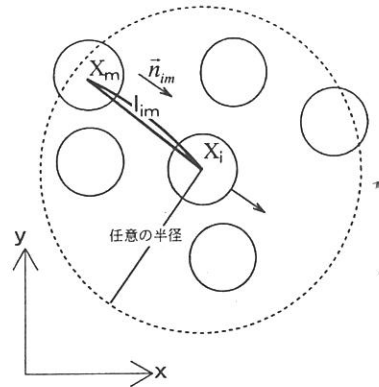


図-1 避難者間の間隔

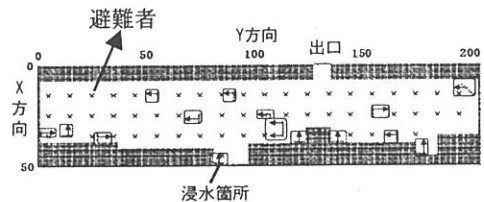


図-2 初期配置

半径内に存在する避難者を把握する。

- 3) 任意半径内に存在する避難者を対象に避難者*i*の衝突回避速度ベクトルは以下のように求める。 β は定数である。

$$\vec{g}(X_i, t) = \sum \left(-\frac{X_i - X_m}{l_{im}} \cdot \frac{\beta}{l_{im}} \right) \quad (m \neq i) \quad (2)$$

c)周囲の動きを考慮する

群衆状態においては、周囲の避難者の行動に合わせて避難行動を行う場合がある。前項と同様に避難者*i*の中心から任意半径内にいる周囲の避難者を把握する。任意半径内に存在する避難者の避難速度の平均値を求める。式に表すと以下ようになる。

$$\bar{h}(X_i, t) = \frac{1}{j} \sum \vec{v}_m^{(t-1)} \quad (m \neq i) \quad (3)$$

式(3)中の $t-1$ は1ステップ前の時刻を表す。式(3)が周囲の行動に従う速度成分である。群衆状態では

避難者*i*の移動速度ベクトル \vec{V}_i は以下ようになる。

$$\vec{V}_i = \alpha_{1i} \cdot v_i \cdot \vec{n}_i + \alpha_{2i} \cdot \vec{f}_i + \alpha_{3i} \cdot \vec{g}_i + \alpha_{4i} \cdot \vec{h}_i$$

.....(4)

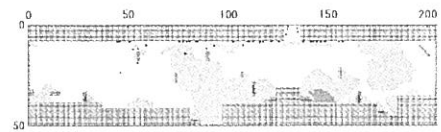
右辺第1項は出口に向かって直進する成分、右辺第2項は危険に応じて方向を変える成分である。第3項では、群衆状態時に避難者同士の衝突を回避するための成分である。第4項は、周囲の動きに動きに呼応する成分である。シミュレーションでは、 \vec{V}_i に制限値を設けている。人は始点から終点まで最短距離で進行しようとするが、その途中の障害物を上記アルゴリズムで回避可能か検討した。ただし、 α_{1i} 、 α_{2i} 、 α_{3i} 、 α_{4i} は各項の重みであり本研究では1とする。

3. 博多駅地下街1階の避難行動シミュレーション²⁾

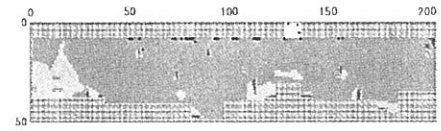
1999年6月28日夜から29日にかけて九州北部に豪雨をもたらす観測史上最大の雨量を観測し博多駅の地下空間に甚大な被害をあたえた。博多駅1階商店街(デイトス)の浸水時避難行動の検討を行う。

この節では本モデルによる浸水時の避難行動のモデル計算を示す。図-2の×印が避難者であり、個体51人を配置して一斉に避難させる。避難場は50m×205mの領域を考える。セルは1m×1mの正方形とし、避難場を10250分割した。計算条件は前節と同様である。図-2の範囲から単位幅流量0.113m²/secと0.017m³/secの浸水が有る場合を考える。浸水状況は汎濫解析で通常よく用いられる平面2次元浅水方程式と連続の式を数値的に解くことで求めた。流出流量は連続の式にのみ組み込んだ。汎濫解析においては避難行動シミュレーションで用いている1m×1mのセルでは計算格子が粗すぎるので、0.5m×0.5mの小さなセルで場を分割し、有限体積法で数値解析を行った。計算された水深は1m×1mの大きなセルごとに平均し、それを避難シミュレーションに用いた。

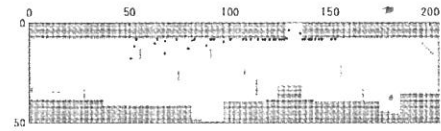
その結果を図-3に示す。図-3中の色のついた格子は色の濃い方の水深が深く、逆に薄い方が浅い水深を表す。図-3の黒丸は避難者を表す。図-3(a)、(b)に示す単位幅流量が0.113m²/sec場合は浸水の影響を受けている間は図-3(b)のような密集状態になっている。最終的に全避難者の避難が270秒後に完了する。逆に流入量が少ない場合(単位幅流量0.017m³/



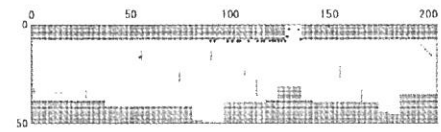
(a) t=50 秒後(単位幅流量 0.113m²/sec)



(b) t=90 秒後(単位幅流量 0.113m²/sec)



(c) t=50 秒後(単位幅流量 0.017m³/sec)



(d) t=90 秒後(単位幅流量 0.017m³/sec)

図-3 実空間の避難行動

sec)を、図-3(c)、(d)に示す。ほとんど浸水の影響を受けていないが、図-3(d)のように出口付近で密集状態になっている。最終的に全避難者の避難が150秒前後で完了する。群集状態では周囲の動きに呼応することにより浸水を完全に回避できない場合でも避難することができる。

4. 今後の課題

実際の地下街の避難行動をシミュレーションすることができたが、現実に近い浸水状態にする必要があり、広域的な見地からプログラミングする必要がある。

参考文献

- 1)横山秀史, 目黒公郎, 片山恒雄: 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集, No.513/I-31, pp.225-232, 1995.
- 2)橋本晴行: 1999年6月福岡都市水害, 河川災害シンポジウム, 2000.