

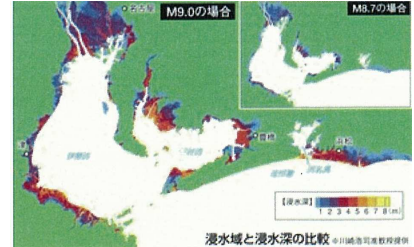
避難シミュレーションの開発

中日本建設コンサルタント株式会社 ○深尾 俊示 中根 進

1. はじめに

東北地方太平洋沖大地震の津波による下水処理場の被害は甚大なもので、今後、下水処理場においては、施設・設備のハード的な津波対策が進むものと考えられる。施設・設備の管理点検要員(以下管理要員)の安全確保は、避難訓練等が実施されることにより、逃げ遅れなどないように周知されていくと思われる。

本文では、管理要員が場内避難箇所に避難する様子をフロアフィールドモデル¹⁾を使ってシミュレーションする手法を開発したので紹介する。このシミュレーションにより避難に要する時間、避難の障害となる出口、通路などの洗い出しにも利用できるものと考えている。



中日新聞 HP2011/10/02

2. フロアフィールドモデルの概要

群集の移動をシミュレーションするモデルにセルオートマトンを用いた群集モデル(フロアフィールドモデル)¹⁾がある。

これは、2次元格子状のASEP(Asymmetric Simple Exclusion Process: 非対称単純排除過程)モデルが基本となっている。

- ・1つセルに1人配置し、時間ステップ毎に東西、南北方向に1セル移動する。
- ・すでに人がいるセルには、排除体積効果によって移動できないものとする。

この考えを実現するために人が動くことができるセルの設定に以下に示す複数の確率を導入する。

(1) 動くことができるセルの設定

1) 移動確率 p

人が移動できるセルの設定を、

- ・人はふつう出口までの最短ルートに沿って移動しようとする。
- ・冷静さを欠くと、他人の行動に追従する傾向を示す。

として、移動確率 p で表現する。移動確率 p は(1)式¹⁾で表す。

動的フロアフィールド 静的フロアフィールド

$$\text{移動確率 } p_{i,j} \approx \exp(k_D D_{i,j}) \exp(-k_S S_{i,j}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $S_{i,j}$: セル(i,j)から避難セル(場所)までの距離

$D_{i,j}$: セル(i,j)内の足跡の数(群集(人数))

人が通ったセルに足跡を残し、人は足跡の多いセルに向かう(他者に追従)

k_D / k_S = パニック度

$k_D / k_S = 0$: 冷静に最短距離を移動する。

$k_D / k_S > 0$: パニック度が高くなると、他人に追従して移動する。

セルに記録され足跡は、時間とともに拡散し減衰するものとし(2)式²⁾で表す。

$$D_{i,j}^{t+1} = (1 - \alpha)(1 - \delta) D_{i,j}^t + \frac{\alpha(1 - \delta)}{4} (D_{i+1,j}^t + D_{i-1,j}^t + D_{i,j+1}^t + D_{i,j-1}^t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 α : 拡散率 各セルの足跡数を減らす一人の視野距離に関係

δ : 減衰率 人のランダムな動きを反映

各セルで移動確率 p を算定し、図-2のように確率の高いセル，すなわち最大の確率値のセルに移動するようにする。

2) 譲歩確率 r

隣接セルへ移動可能な避難者でも譲りあってしまい，その場(セル)から移動せず，とどまってしまうようなことを，確率 r を使って表現する。

(2) 時間ステップの更新¹⁾

時間ステップの更新には，同期更新，ランダム更新，順序更新，マーゴラス更新がある。

今回は，すべてのセルに対して同一時間ステップで移動ルール（動くことができるセルの設定）を適用して，移動先を更新していく，同期更新とする。

3. フロアフィールドモデルの避難シミュレーション

(1) 避難場所までの最短距離 ($S_{i,j}$)

各セルの位置から避難場所までの最短距離を $S_{i,j}$ として各セルに書き込む。

最短経路とその距離は，各セル間の距離を与えることにより，ダイクストラ法³⁾ などグラフ理論を使って管理要員 1 人を計算する。

(2) セル内足跡数 ($D_{i,j}$)

計算初期値は、管理要員の数に合わせた数のセル内に 1 人ずつ配置する。

(3) パラメータ

- ・パニック度 k_D / k_S
- ・移動確率 p
- ・足跡の拡散率 α ，減衰率 δ
- ・譲歩確率 r

(3) 移動ルール

周辺セルの移動確率 p が最大のセルに移動することが基本であるが，セル内に複数の人がいることから，周辺セルの最大移動確率 p が同値の場合，最大値を示した複数セルに対して均等に人数を分散させる。譲歩確率 r が最大移動確率 p より小さい場合には，セル内の人は移動しないものとする。

更新は，同期更新とする。

(4) セル内管理要員の移動計算と計算フロー

セル内管理要員の移動計算の過程を図-3，セル内管理要員の移動計算フローを図-4に示す。

4. シミュレーション例4（水処理施設管廊）

管理要員4名が水処理施設管廊内にいるものとし，避難先は管廊出口2箇所とする。管廊内の管理要員の位置は，乱数を発生させてランダムに配置し，管廊出口から脱出するまでのルートと時間(ステ

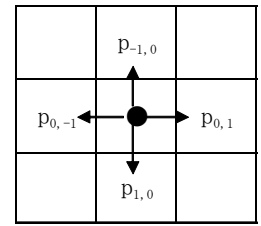


図-2 セル内の移動確率 p と移動方向

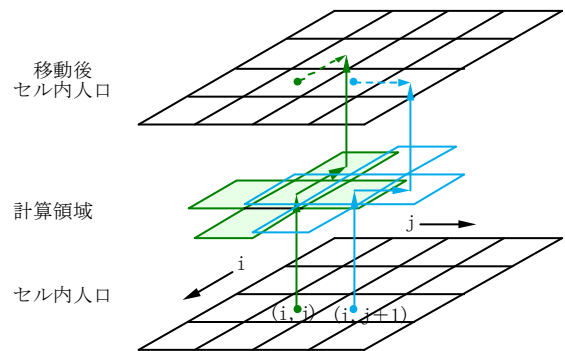


図-3 セル内の移動の計算模式図

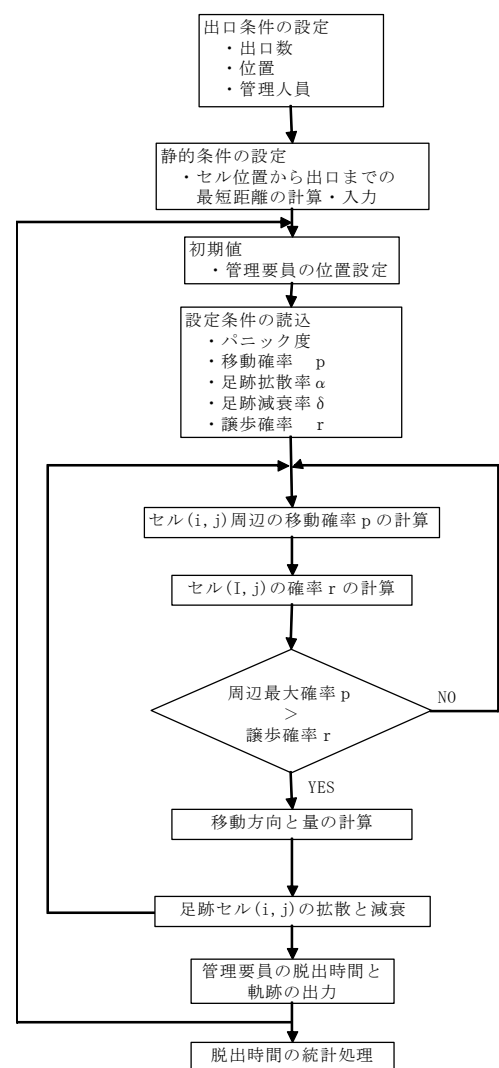


図-4 セル内要員の移動計算フロー

ップ)をシミュレーションする。

(1) 管廊出口までの最短距離の計算

格子間隔を1mと設定し、管廊出口までの距離をダイクストラ(Dijkstra)法で算定する。出口幅を2つのセルを使い2mとして、2ヶ所設定した。図-5に出口位置と最短距離の等値線を示す。

(2) 管理要員の位置とシミュレーション結果

管理要員4名が水処理施設管廊内に居たと仮定して、乱数を発生させて位置(初期位置)を決定する。管理要員の初期位置の一例と避難時の管廊からの脱出軌跡を図-6に示す。

非難時に管理要員は、管廊のどこで作業しているかわからないので、管理要員の位置を乱数を発生させてランダムに配置し、これを30回以上繰り返して、管廊からの脱出時間をシミュレーションし、4名全員が脱出する時間を推定した。

管理要員4名全員が管廊から避難するのに要する時間(時間ステップ)の分布は図-7の通りである。平均93時間ステップであり、最大側で $\mu + 2\sigma = 93 + 27 \times 2 = 147$ となる。

時間ステップは、実際に管廊内を移動する時間を計測し、シミュレーション結果とキャリブレーションすることが必要であるが、時速3.6km(1m/sec)で移動すると仮定すると、時間ステップ147は2.4分となる。

4. まとめと課題

事例で示した管廊内には、配管が多数収納され、配管架台や渡り歩廊などがあるため、管理要員の移動できる通路としては狭いところが多い。これら配管等を考慮した通路モデルを作成してシミュレーションする必要がある。実際の避難データを解析していないので、防災訓練などのデータを集積し、避難所位置、距離、避難に要した時間などを使い避難者シミュレーションの結果をキャリブレーション

し、パラメータ(譲歩確率、拡散率、減衰率など)を示していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 図解雑学よくわかる渋滞学 東京大学 西成活裕 ナツメ社
- 2) 群集の集団運動と拡張フロアフィールドモデル 柳澤 大地 西成活裕 応用力学研究所研究集会報告 No.17ME-S2

【問い合わせ先】中日本建設コンサルタント株式会社 水工技術本部 中根 進 TEL052-232-6055 E-mail

s_nakane@nakanihon.co.jp

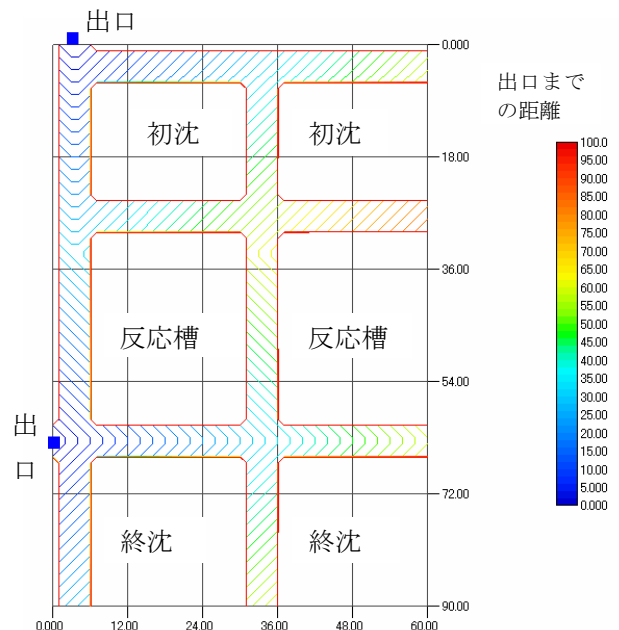


図-5 水処理管廊の2つの出口までの最短距離の等値線図

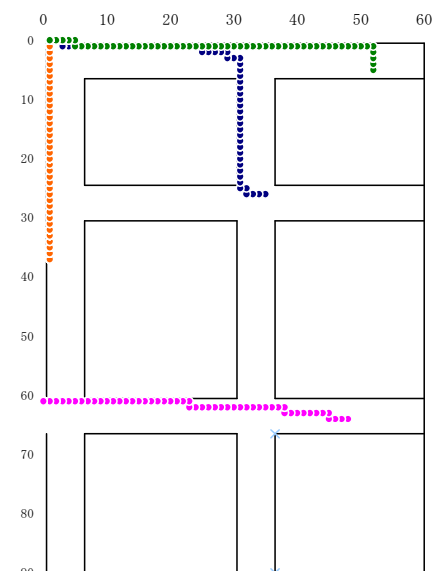


図-6 管理要員4名の脱出軌跡(例)

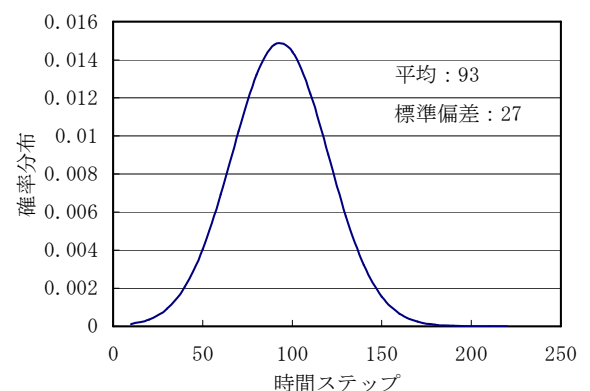


図-7 管理要員4名の脱出時間の分布