第Ⅱ部門　　出口変更行動の個人差が避難過程の不確実性に及ぼす影響

京都大学大学院工学研究科　学生員　○西野　裕貴
京都大学大学院工学研究科　学生員　　山根　輝己
京都大学大学院工学研究科　正会員　　原田　英治

1. はじめに

近年，内水氾濫による地下空間の浸水被害が頻発しており，群集避難過程の検討は重要な課題となっている．群集避難シミュレーションによる評価では，避難者特性に起因する避難行動の不確実性を考慮した確率論的な評価が重要である．本研究では，DEM 型群集避難シミュレータを用いて，出口選択に関する集団特性の違いを対象としたモンテカルロシミュレーションを実施した．さらに，避難者特性の違いが避難完了時間の不確実性および群集挙動の内部構造に及ぼす影響について検討した．

2. 計算条件と出口変更モデル

群集避難過程において，ある出口周辺の混雑度が増加すると，避難者が別の出口を探す行動をとることが見込まれる．本研究では，図 1 に示す仮想領域を用い，領域 1（$x \leq 12$ m）の$y = 0.0$ mから流入した避難者が，避難方向を出口 1 から出口 2 に変更する過程を検討した．領域 1 の出口 1 の幅を$B_1 = 1.0$ m, 領域 2 の出口 2 の幅を$B_2 = 2.0$ m に設定した．また，避難者の流入条件は，計算領域下方の$y = 0.0$ mから，x軸方向に等間隔に配置した一様な運動能力を持つ避難者要素（領域 1 および領域 2 それぞれ 5 人）が，流動係数 0.32 人/m/s の一定割合で流入し，避難者はそれぞれの避難口の中心座標$\boldsymbol{R}_1$, $\boldsymbol{R}_2$を目指して避難するものとした．なお，流入の開始時刻は$t = 0$ s とし，計算開始時刻から$t = 150$ s まで避難者の流入を与え，出口選択モデルは，時刻$t = 100$ s から発動する条件とした．また出口変更の判定条件は次式で与えられる．

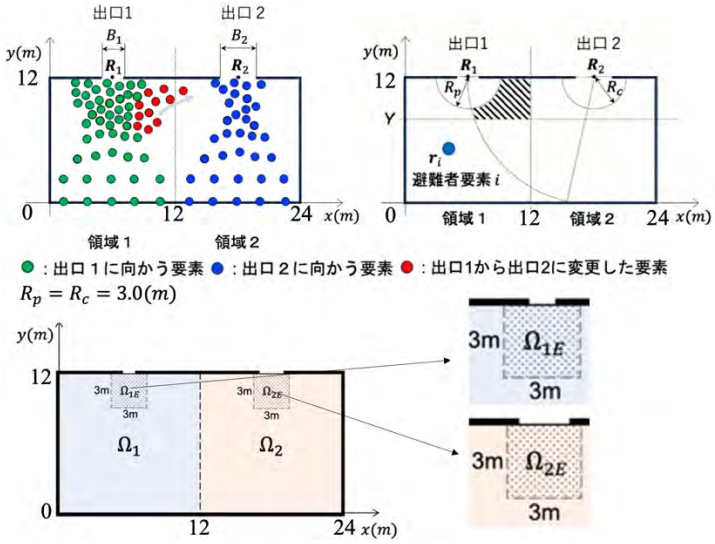


図 1 計算領域

$$|\boldsymbol{R}_{12}| \geq |\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{R}_2|\,;\ |\boldsymbol{R}_{12}| = |\boldsymbol{R}_2 - \boldsymbol{R}_1| \quad (1)$$

$$|\boldsymbol{R}_i - \boldsymbol{R}_1| \geq R_p \quad (2)$$

$$\boldsymbol{r}_i \cdot \boldsymbol{e}_y \geq Y \quad (3)$$

$$C_s \geq C_2 \quad (4)$$

C_2：出口 2 の中心位置を中心とした半径R_c(= 3.0 m)の領域内における数密度，C_s(= 2.2)：出口変更モデルが発動する条件の閾値となる数密度であり，Fruin[1]のサービス水準（Level of Service, LOS）の F の値を参考にした．また，本研究では，出口変更行動の個人差を考慮するため，3 種類の異なるベータ分布に従う乱数を用いて，それぞれ 101 回のモンテカルロシミュレーションを実施した．ベータ分布は 2 つの形状パラメータ(α, β)によって規定される．

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha,\beta)}, 0 \leq x \leq 1 \quad (5)$$

Hirotaka Nishino, Koki Yamane and Eiji Harada
nishino.hirotaka.37v@st.kyoto-u.ac.jp

$$B(\alpha,\beta)=\int_0^1 t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1}dt \qquad (6)$$

ここに，$f(x)$：ベータ分布の確率密度関数，$B(\alpha,\beta)$：ベータ関数である．本研究では，3つのベータ分布条件(α,β)=(1,1),(2,5),(5,2)を対象とした．定義域 [0,1]において，(1,1)は一様分布であり，個体の出口変更行動に偏りがない中立的な条件を示す．(2,5)は 0.5 より小さい値が相対的に多く出現する非対称分布であり，出口変更行動を取りにくい個体が多いことを表す(5,2)は 0.5 より大きい値が相対的に多く出現する非対称分布であり，出口変更行動を取りやすい個体が多いことを表す．各 101 回のモンテカルロシミュレーションを実施し，各試行における避難完了時間のヒストグラムの頻度分布から避難完了時間の確率密度関数を推定したが，分布の形状は(α,β)=(5,2)：正規分布に近い，(α,β)=(1,1)：対数正規分布に近い，(α,β)=(2,5)：正規分布または対数正規分布に近い傾向を示した．

3. 計算結果

表 1 には，各条件の避難完了時間の中央値と最大値，および出口変更者数を示す．「確率なし」の条件では，避難完了までに 277 秒を要し，出口変更者数が多い(5,2)の条件では，出口変更者数が「確率なし」の条件と近いことがわかる．また，本研究では群集挙動を定量評価するために図 1 に示す計測領域(Ω_{1E},Ω_{2E})を設定する．図 2 に(5,2),(2,5)の避難完了時間の中央値を示した試行に対応するエントロピーH_θの時系列，及び平均要素間力の大きさ$|\boldsymbol{F}_{hint}|$の時系列について，計測領域Ω_{1E}およびΩ_{2E}を対象に示す．$t=100$ sまでの区間では，Ω_{1E}におけるH_θの増加率がΩ_{2E}と比較して高い．$t=100$ s以降，いずれの条件においても，流入条件が終了する時刻$t=150$ sまでの区間でΩ_{2E}のH_θが急増傾向を示し，出口変更者の流入によって避難者の進行方向の多様性が高まることがわかる．また，(2,5)の条件では，出口変更者数が少ないため，Ω_{2E}におけるH_θの増加率は(5,2)と比較して緩やかである．(2,5)では，Ω_{2E}における要素間力のピーク値は約 600N であり，他の条件で見られる約 800N と比較しておよそ 25%低い．一方で，計測領域Ω_{1E}では混雑が継続するため，比較的強い要素間力が長時間作用している．

表 1 各条件の避難完了時間と出口変更者数

条件	避難完了時間(s) 中央値	避難完了時間(s) 最大値	出口変更者数(人) (平均，最大)
β (2,5)	485	517	20, 20
β (1,1)	398	443	123, 107
β (5,2)	287	302	270, 273
確率なし	277	—	278

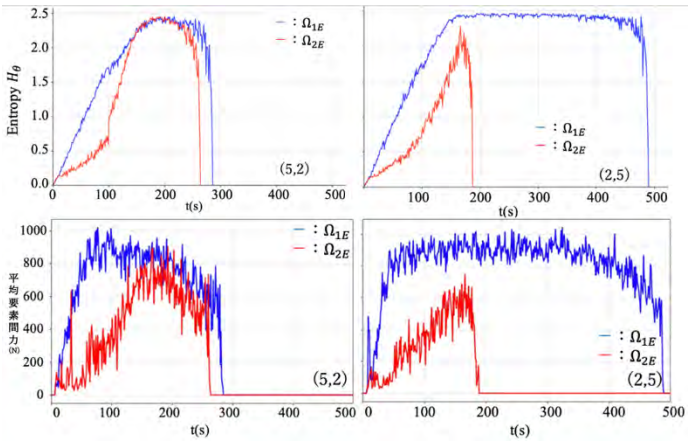


図 2 (5,2),(2,5)の内部構造解析結果

4. おわりに

避難者の特性が避難過程にもたらす影響について検討した．避難者の特性の違いは β 乱数を用いて表現した．その結果，避難完了時間は確率分布を示し，避難時間には不確実性が伴うことを明らかにした．また，方向エントロピーおよび要素間力の時系列による内部構造の解析から，出口変更挙動の違いが避難過程に影響を及ぼすことを確認した．以上より，避難過程を評価する際には，不確実性を考慮することが重要であることを示した．

参考文献

1) Fruin, JJ, Designing for pedestrians: A level of service concept, Mechanical Engineering, 92(12), pp.63-&, 1970.