

第II部門

群集行動シミュレータにおける水中避難行動モデルの改良

京都大学工学部	学生会員	○広瀬 将真
京都大学工学研究科	正会員	原田 英治
京都大学工学研究科	正会員	後藤 仁志

1 はじめに

浸水域での避難過程において、避難者は流況の激しい領域よりも比較的穏やかな領域に進路を取ることが考えられるが、既往の群集行動シミュレータでは、この種の心理的作用が考慮されていなかった。そこで本研究では、これをモデル化し、モデル導入による効果について検討した。

2 数値計算モデル

2.1 流体解析手法

流れ場の評価には MPS(Moving Particle Semi-implicit) 法に高精度化を適用した MPS-HS-HL-ECS-GC-DS 法¹⁾を用いる。以下に、本研究で用いる液相の支配方程式である Navier-Stokes 式を示す。

$$\bar{\rho} \frac{D\bar{\mathbf{u}}}{Dt} = -\nabla p + \bar{\mu} \nabla^2 \bar{\mathbf{u}} + \bar{\rho} \mathbf{g} + \mathbf{F}_{int} \quad (1)$$

ここに、 $\bar{\rho}$: 混相体密度、 t : 時間、 $\bar{\mathbf{u}}$: 混相体速度、 p : 圧力、 $\bar{\mu}$: 混相体粘性係数、 $\mathbf{g}$: 重力加速度ベクトル、 $\mathbf{F}_{int}$: 人要素から受ける力のベクトルである。

2.2 群集行動シミュレータ

人要素の運動は DEM 型群集行動シミュレータを用いて追跡し、人要素は、水中歩行実験に基づいて開発された二足歩行モデル²⁾により再現される。以下に、人要素 i についての並進の運動方程式を示す。

$$M_{hi} \frac{d\mathbf{u}_i}{dt} = \mathbf{F}_{hint} + \mathbf{F}_{aw} + \mathbf{F}_k + \mathbf{F}_{cen} + \mathbf{F}_{li} \quad (2)$$

ここに、 M_{hi} : 人要素 i の質量、 $\mathbf{u}_i$: 人要素 i の速度ベクトル、 $\mathbf{F}_{hint}$: 要素間作用力、 $\mathbf{F}_{aw}$: 自律歩行力、 $\mathbf{F}_k$: 人要素間の追従・回避力、 $\mathbf{F}_{cen}$: 人要素に作用する向心力、 $\mathbf{F}_{li}$: 人要素に作用する流体力である。

本研究では、流体力の評価に DEM-MPS 法(Model3)¹⁾を適用し、異なる離散化空間で計算された固相と液相は、混相粒子の導入により接続される。これにより、

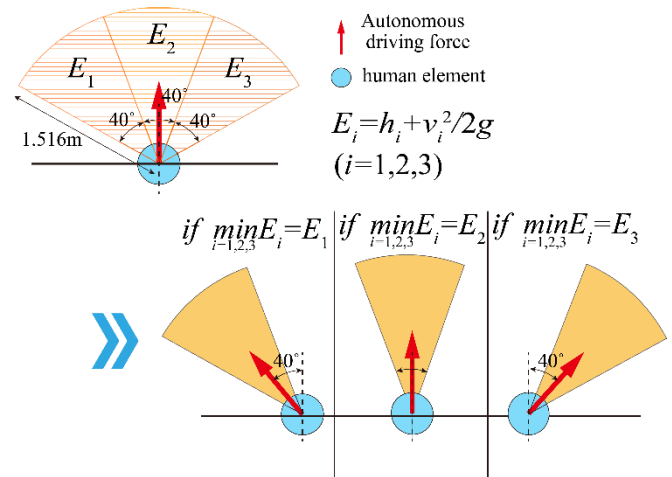


図-1 流況を考慮した進路選択モデル

流体力は次式で与えられる。

$$\mathbf{F}_{li} = \frac{\rho_s \mathbf{u}'_s - \bar{\rho} \mathbf{u}}{\Delta t} \quad (3)$$

ここに、 ρ_s : 固相密度、 $\mathbf{u}'_s$: 回転を考慮した固相粒子の局所速度である。

2.3 流況を考慮した進路選択モデル

浸水域において、歩行者は水流の激しい領域を避けて行動すると考えられる。この流体による心理的な作用を簡易に表現するため、本研究では、避難者の視野領域を三等分割し、比エネルギーの平均値が最小である領域へと自律歩行力の向きを補正する、流体心理モデルを導入した(図-1 参照)。これにより、避難者の進行方向は前方の流況に応じて動的に決定される。

3 流水条件における避難シミュレーション

3.1 計算条件

流れ場における避難シミュレーションを通じて、流体心理モデル導入による効果を検討した。

計算領域には、高水槽とそれに続く幅 1.5m の直角に曲がる地上部がスロープにより接続された水路を用

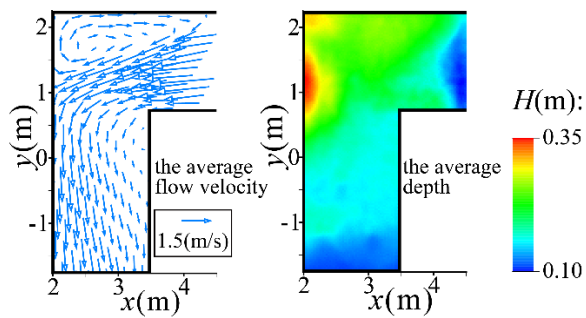


図-2 流速(左), 水深(右)の時間平均分布

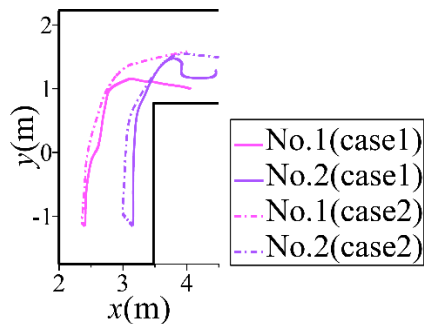


図-3 各人要素の軌跡

い, 2 名の人要素が水路下流端から進みコーナーを曲進する. なお, MPS 粒径は 5.0cm であり, 高水槽底面を流入境界, 水路下流端を流出境界とし, $t=30.0$ s を歩行開始時刻とする. シミュレーションは, 流体心理モデル導入前を case1, 導入後を case2 とし, 人要素はそれぞれ No.1~2 と呼称する.

3.2 シミュレーション結果と考察

歩行開始直前までの水路地上部における流速および水深の時間平均分布を図-2 に示す.

各人要素の軌跡を図-3 に示す. 各人要素について, コーナー曲進後の軌跡に特に大きな差異が確認される. ここで, 曲進後($t=34.0$ s)までの軌跡および比エネルギー分布図を併し図-4 に示す. モデル導入後においては, y 軸正の方向へと進路を選択している様が見られるが, これは, スロープ下部に形成される比エネルギーの高い領域を避けるように自律歩行力が補正されたためと考えられる. 一方で, モデル導入前においては, 比エネルギーの高い領域へと進み, 水流に進行を阻害されている様が見られ, これにより避難時間に遅延が生じている (表-1 参照). これらから, モデル導入が経路選択に大きく寄与していることが確認される.

次に, 各人要素に働く流体力の力積を図-5 に示す.

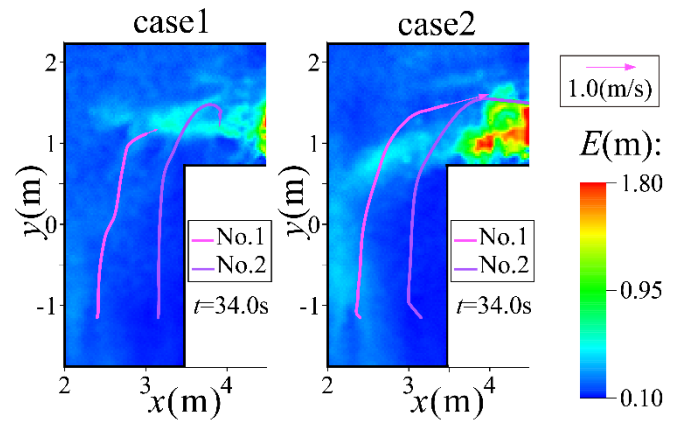


図-4 比エネルギー分布と人要素軌跡および速度

表-1 各ケースにおける避難完了時刻

case1	case2
36.8s	34.5s

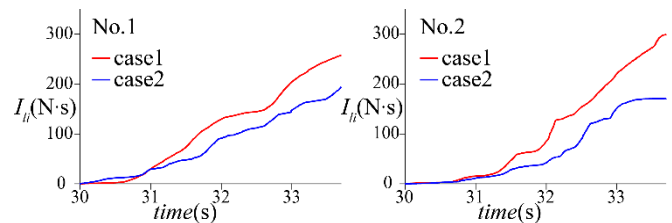


図-5 各人要素に加わる流体力の力積

両人要素に関して, その力積がモデル導入により減少している様子が見られる. このことから, モデルによる効果が確認され, それにより人要素は歩行しやすい経路を選択するようになるということが分かる.

4 おわりに

本研究では, 浸水避難シミュレーションの精度向上を目指し, 流体による避難者への心理的作用をモデル化した. モデルにより避難者は歩行しやすい経路を選択する効果が得られ, モデル導入の重要性が示された.

参考文献

- 1) 後藤仁志: 粒子法 —連続体・混相流・粒状体のための計算科学—, 森北出版株式会社, 289p., 2018.
- 2) 藤井琢也: DEM-MPS 法を用いた浸水時避難の水の中歩行モデルの改良, 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻, 修士論文, 2018.