

階段歩行を考慮した群集挙動モデルのモデル化と解析

首都大学東京 知能機械システムコース
B4 竹之内 優 (児島研究室)

1.はじめに

群集挙動を予測することは、安全で快適な都市空間の構築や避難経路の設計に有用である。

群集事故が発生する構造物上の主要因

逃げ場のない閉鎖的な道路、登り坂、道路合流点、**階段**など^[1]。

これまでの成果と課題

- 水平面状において群集内の相互作用を考慮した歩行者一人ひとりの動きを表現できた。
- **階段を考慮した群集挙動を表現できていない。**

研究目的

- 階段歩行を考慮した群集挙動モデルを構築する。
- 階段が群集挙動に及ぼす影響を評価する。

Fig. 1 群集の滞留

<http://z-shibuya.cocolog-nifty.com/blog/2012/02/post-06ac.html>

2.基本モデル^[2]

歩行者が目標点へと歩いていく動きを表現するため、速度制約、入力制約、障害物回避における制約を考慮し、**モデル予測制御**を導入する。また、障害物や他の歩行者を回避、追従行動する動きを**MLDシステム**を用いて表現する。

モデル予測制御

オンライン計算で制御入力を逐次決定し、ステップ毎に有限な予測区間をずらし続けることで最新の情報で最適な操作を行うことが可能である。

Mixed Logical Dynamical (MLD)システム表現

ハイブリッドシステム表現の一つであり、離散時間系でモード遷移を扱うことが可能である。

歩行特性

質点： $m = 60[\text{kg}]$
抵抗係数 $\mu = 20[\text{Ns/m}]$

運動方程式

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + \mu\dot{x} &= f_x \\ m\ddot{y} + \mu\dot{y} &= f_y \end{aligned}$$

回避条件

$$\begin{aligned} x(t+k|t) &\leq x_{\min} + M\delta_1(t+k|t) \\ -x(t+k|t) &\leq x_{\max} + M\delta_2(t+k|t) \\ y(t+k|t) &\leq x_{\min} + M\delta_3(t+k|t) \\ -y(t+k|t) &\leq x_{\max} + M\delta_4(t+k|t) \\ \sum_{l=1}^4 \delta_l(t+k|t) &\leq 3 \end{aligned}$$

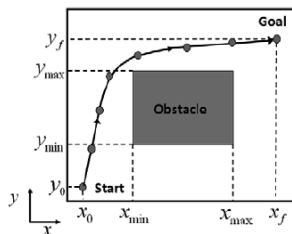


Fig. 2 回避行動

評価関数

$$J = \sum_{k=0}^{N-1} \{ (s_{t+k|t} - s_f)^T Q (s_{t+k|t} - s_f) + u_{t+k|t}^T R u_{t+k|t} - c \varepsilon_{t+k|t} \}$$

$$\min_u J, U := \{u_{t|t}, u_{t+1|t}, \dots, u_{t+N-1|t}\}$$

Subj. to $\left\{ \begin{array}{l} \text{状態方程式} \\ \text{位置・速度の制約} \\ \text{衝突回避条件} \\ \text{群集内相互作用} \end{array} \right.$

3.階段歩行のモデル化とシミュレーション

3.1 階段歩行のモデル化^[3]

階段上の歩行特性として、水平面方向の移動速度が上りと下りに応じて異なり、自由意志で歩行可能な群集密度が 1m^2 あたり4人以下であることから、階段上における速度制約を基本モデルで設定した値と独立して新たに設定し、Fig. 3のような扇形の歩行者の認識領域をの密度が 1m^2 あたり4人以上になるとき歩行者を停止させるモードを反映させた。

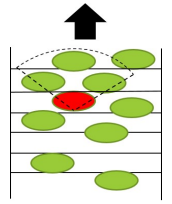


Fig. 3 階段上を移動する歩行モデル

3.2 階段歩行のシミュレーション

目的

階段が群集挙動に与える影響を評価する。

シミュレーション条件

49人の歩行者を建物から退出させ、退出にかかる時間と階段または通路の出口の流動係数を評価。

Table 1 シミュレーション条件

	階段の有無	通路幅L [m]
Case 1	無	1
Case 2	有	1
Case 3	無	2
Case 4	有	2

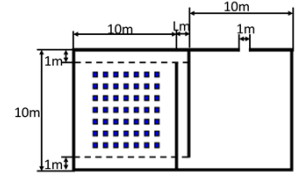


Fig. 4 建物の寸法

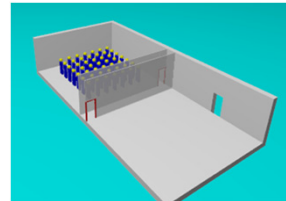


Fig. 5 レイアウト(Case 1, Case 3)

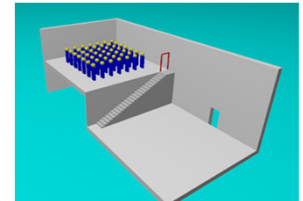


Fig. 6 レイアウト(Case 2, Case 4)

シミュレーション結果

通路幅が $1[\text{m}]$ のとき、Case 1とCase 2を比較すると、階段を含むCase2の方が退出時間が遅く、平均流動係数も低い。

また、通路幅が $2[\text{m}]$ になることで、 $1[\text{m}]$ のとき同様に退出時間の違いが見られたが、平均流動係数に違いが見られなかった。

Table 2 シミュレーション結果(Case 1, Case 2)

	退出時間[s]	平均流動係数[人/m ² s]
Case1	75	0.8596
Case2	85	0.8305

Table 3 シミュレーション結果(Case 3, Case 4)

	退出時間[s]	平均流動係数[人/m ² s]
Case3	73	0.9245
Case4	79	0.9245

4.まとめと今後の展望

- MLDシステム表現を用いて、階段歩行を考慮した群集挙動モデルを提案した。
- 階段を含む建物からの退出行動は、退出時間、流動係数に影響を与え、流量が低下することを確認した。
- 実際にある駅構内やビルなどの複雑なレイアウトを想定したシミュレーションを行い、階段が群集挙動に与える影響を評価する。

参考文献

- [1] 貝辻,北後: 雑踏事故に至る高密度群集滞留下での群集波動現象に関する研究~大規模イベント事例分析を通じて~ 地域安全学会論文集No.17 p. 63-71 (2012)
- [2] 幸加木,児島: MLDシステム表現に基づく群集挙動のモデリングシステム制御情報学会論文誌, Vol. 23, No. 7, p. 139-146(2010)
- [3] 山本, 石突: 駅の階段とホームの狭い部分における混雑時の歩行安全性評価 鉄道総合技術論文誌, Vol. 27, No. 6, p. 43-48 (2013)