

階段の歩行特性を反映させた群集挙動モデルの構築

東京都立大学大学院 機械システム工学域 M2 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。



Fig. 1 群集

これまでの成果と課題

- ハイブリッドシステム表現に基づく、群集内の相互作用を考慮した歩行モデルを表現できた。
- 階段は通常の歩行と異なり、群集に大きな影響を与える[1]。

- 階段を含む建物からの避難を従来の評価方法では滞留状況を考察することは容易ではない。

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。

ハイブリッドシステム表現

⇒ 離散変数と連続変数が混在したシステム表現。

2. 階段歩行モデル

2.1 基本モデル[2]

- ハイブリッドシステムの記述法の一つであるMixed Logical Dynamical (MLD)システム表現を用いることにより、歩行者の動特性を細部にわたって表現できるようになる。

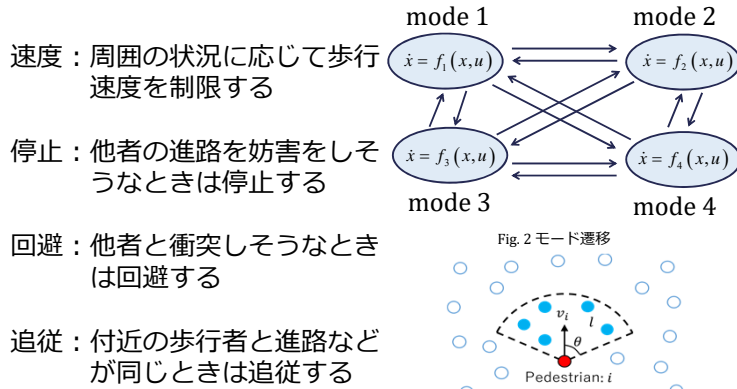


Fig. 2 モード遷移

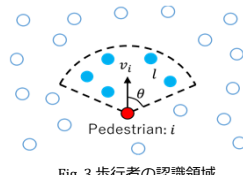


Fig. 3 歩行者の認識領域

制約条件を考慮した歩行者モデルの挙動を実現するために、技術的な動きをモデル予測制御で計算する。

- 運動方程式と評価関数

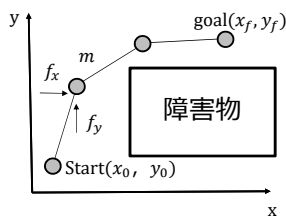


Fig. 4 障害物回避

$$\begin{aligned}
 m\ddot{x} + \mu\dot{x} &= f_x \\
 m\ddot{y} + \mu\dot{y} &= f_y \\
 x(t+1) &= Ax(t) + Bu(t), \\
 x(0) &= x_0 \quad u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max} \\
 x(t) &= [x \ y \ v_x \ v_y]^T \\
 u(t) &= [f_x \ f_y]^T
 \end{aligned}$$

- 有限時間区間の最適制御問題を次の評価関数 J で定める。

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

$s_{t+k|t}$: 位置, s_f : 目標位置, $Q, R \geq 0$: 重み行列, N : 予測ホライズン

2.2 階段歩行モデル

階段上の歩行は以下のような水平面上と異なる特性が見られる[3][4]。

- 水平面方向の最大移動速度は上り時と下り時それぞれ通常より遅い。
- 水平面上から階段へ移動する数メートル手前から減速するような歩行特性がある。

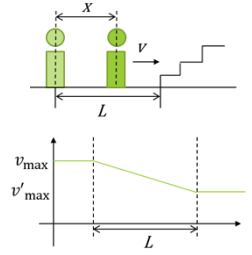


Fig. 5 階段歩行モデル

→これらの階段歩行特性を考慮した新たなモデルを構築する。

水平面から階段へ移動するときの最大速度制約

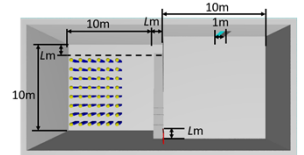
$$v \leq -\frac{v_{\max} - v'_{\max}}{L} \Delta x + v_{\max}$$

v_{\max} : 通常時の最大速度, v'_{\max} : 階段歩行時の最大速度
L: 減速開始距離

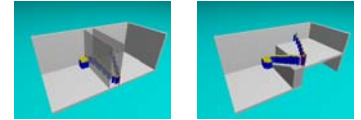
3. シミュレーション

3.1 シミュレーション

構築モデルによって階段の持つ流動性を適切に評価する。



	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



3.2 シミュレーション結果

結果はFig. 7, 8に示す。階段を含む場合の方が流動係数の推移に脈動が多く、群集密度が高いが、通路幅が広がることによりその影響が低減されている。

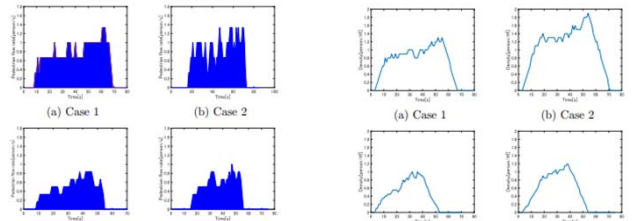
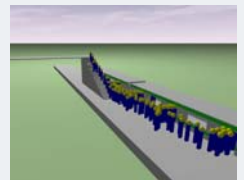


Fig. 7 流動係数

Fig. 8 群集密度

4. まとめと今後の展望

- 階段歩行を考慮した群集挙動の特徴をモデル化し、階段を含む群集挙動の様子を適切に評価できることを確認した。
- 構築したモデルを導入することで安全な階段設計の評価や滞留を緩和する警備・誘導に活用する。



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 pp. 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, pp. 139-146(2010)
 [3] 山本, 石突: 駅の階段とホームの狭陰部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, pp. 43-48 (2013)
 [4] 池内, 木村, 木村, 加藤, 山下, 佐藤: 階段歩行の床反力特性, 日本機械学会論文集, Vol. 62, No. 602, pp. 253-260, (1996)