

階段構造の仮想避難検証

玉川学園 中学部2年
岡航生

動機 昨年度の「おかしもち」に関する3次元シミュレーション研究を基礎として、今年度は3種類の階段に注目した。階段は様々な施設で使われていて、避難時における階段の形状や配置の違いが人の安全性や生存率を分ける可能性がある。

目的 本研究の目的は、避難時における人の動きや密度、衝突回数を比較し、階段の形状が避難の安全性および効率に与える影響を明らかにすること。

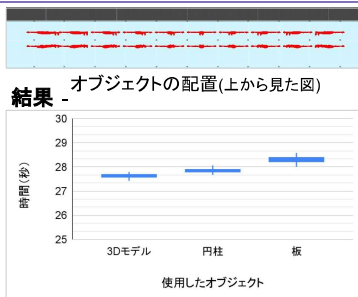
基礎実験1

目的 - 昨年度は球体を使用したけど、3Dモデルを使用しても時間に重大な変化が出ないかの検証

方法 - 床上に3Dモデル20体を配置し、移動プログラムで目的地まで移動させて到達時間を20回測定・平均し、形状(円柱・板)を変えて同様の手順を繰り返した。

考察 - 板は角ばっているためすれ違いが難しく移動時間が長くなり、丸みの多い円柱や3Dモデルは接触しても回避しやすく移動が速かった。3Dモデルと円柱では形状が似ているため移動時間に大きな差はなかったと考えられる。

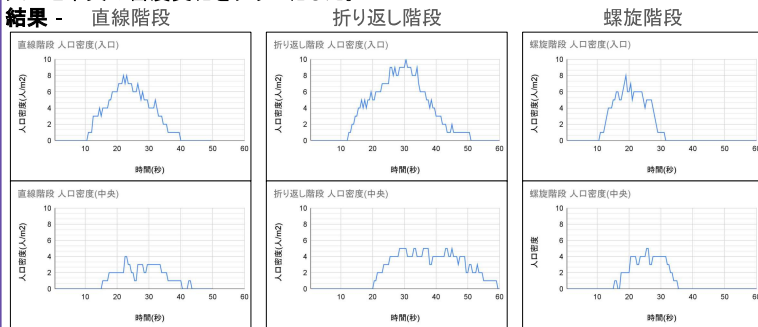
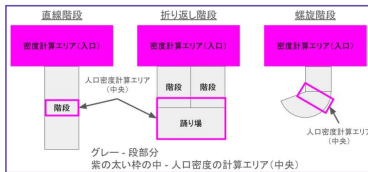
結論 - 3Dモデルは他のモデル(円柱、板)と比べ、大差がないことから、処理負荷の増大は少ない。そのため、今後の実験で3Dモデルを使っても問題ない。



実験1 階段ごとの人口密度の比較

目的 - 3種類の階段の[入口]と[中間地点]での密度の時間推移を調べる

方法 - 各階段を作成し、上階に30体3Dモデルを配置し下階まで移動させた。密度計算エリアの人口密度を0.5秒ごと60秒間計測。10回分のデータを取得し、入口と中央の密度変化をグラフ化した。



考察 - 直線階段は入口で急激に人口密度が上昇しやすく、中央でも一定の滞留が見られ、混雑が局所化する傾向がある。折り返し階段は構造上の順番変化で混雑が緩和されるが、人数が増えることで折り返し部分で滞留が生じる。螺旋階段は流れの分散で低密度だが、カーブの狭さが安全性に影響する可能性がある。

結論 - 密度の最大値・継続時間ともに折り返し階段が一番大きかった。直線と螺旋階段の密度の最大値は同程度で、螺旋階段の方が継続時間は短かった。

検証 実験1と2を合わせた危険度が高い階段の選別

目的 - 直線、折り返し階段、螺旋階段において、各階段の危険度を調べる

方法 - 実験1・2で得た階段ごとの人口密度、滞在時間、衝突回数を各項目ごとに正規化し、0~1点として評価。その合計値を危険度とし、3つの階段を比較した。

正規化手法: 正規化した点数 = $(x - \min(x)) / (\max(x) - \min(x))$
(x: 各階段での評価項目の値、min(x), max(x): 各評価項目の最小値・最大値)

考察 - 直線階段では混雑度が低くても、エリアでの滞在時間により危険度は変わる。螺旋階段は混雑度が高く、滞在時間が短い折り返し階段や螺旋階段のような方向転換がある階段は衝突回数が増え、危険度が増す。

結論 - 3種類の階段の危険度が折り返し>螺旋>直線になった。そのため、以降の実験では、一番危険度が高い折り返し階段の安全性向上を検討する。

実験3 階段の幅を変える

目的 - 折り返し階段の幅を変え、各地点での密度と衝突回数の時間推移を調べる

方法 - 元の幅(実験1,2)・幅2分の1・幅4分の1の折り返し階段を作成して設置し、入口や階段各部に人口密度・衝突回数計測用オブジェクトを配置して、既存のプログラムで各階段について10回ずつデータを取得し、エリアごとに線グラフを作成した。

考察 - 階段の幅を変化させた結果、入口では幅1/2の階段が最も安全で通過時間も短かったが、中央や後半では幅1/2で混雑や衝突が多く見られた。一方で幅1/4では入口での流入が制限され、階段内部では密度や衝突がやや抑えられる傾向が見られた。

結論 - 元の幅と幅1/4が入口の人口密度が高かったが、中央部分では幅1/2が高かった。衝突回数では、1/2と1/4が高かった。全体的にみると、元の幅と幅1/2が一番安全性が高かった。

使用ソフトについて Unityを使用してシミュレーションを行い、NavMeshという機能を使用し自動で最短経路を探索しながら障害物や他のエージェントを回避して移動する挙動を再現した。

階段の寸法 自身の中学校の階段の寸法を使用。踏み面32 cm、蹴上げ16.5 cm、幅212 cm、踊り場 439 cm × 220 cm。



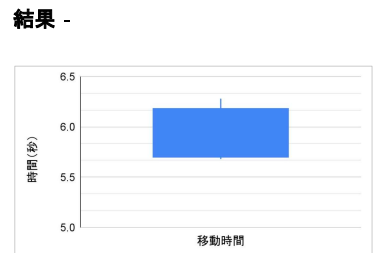
基礎実験2

目的 - 設定した3Dモデルの移動速度が現実の人と同程度かの検証

方法 - 直線階段を作成し、その上の階に3Dモデルを配置し、階段の上から下までの移動時間を5回測定し、結果を箱ひげ図にまとめた。

考察 - 本実験では、3Dモデルの階段下降時間が約6秒で、実際の人の平均速度とほぼ一致した。この結果から、モデルの速度設定は現実の人間の歩行速度を再現しているといえる。

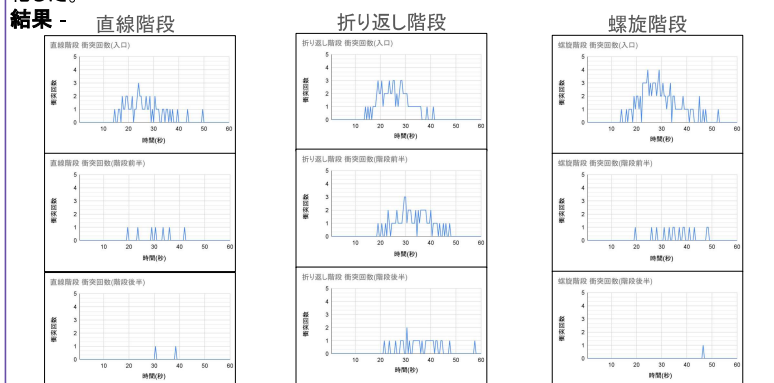
結論 - 3Dモデルの歩行速度は、現実の人の速度と同程度であった。



実験2 階段ごとの衝突回数の比較

目的 - 直線、折り返し階段、螺旋階段において、入口と階段の前半・後半での衝突回数の時間推移を調べる

方法 - 実験1と同じ配置で3種類の階段を設置し、入口・前半・後半にエリアを設定して衝突回数を記録するプログラムを用い、各階段で10回ずつ計測して結果を線グラフ化した。

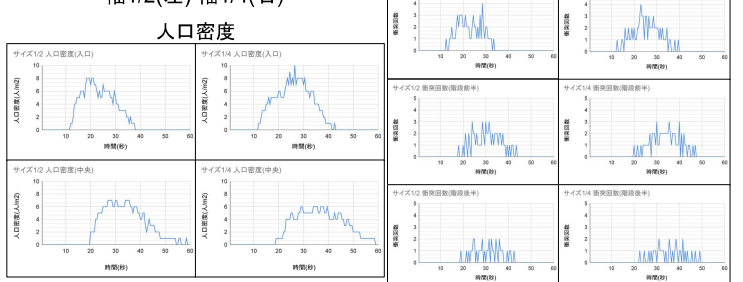


考察 - 直線階段では方向転換がなく流れが安定しているため衝突が少なく、主に入口付近の対流内でのみ発生した。折り返し階段は方向転換によって滞留や衝突が増え、螺旋階段は前半でやや衝突が見られたものの、後半では流れが安定して衝突が減少した。

結論 - 折り返し階段が、入口・階段の前半で衝突が多く、後半では衝突が少なかったが、他の階段では入口付近以外は少ない。

階段の種類	直線階段	折り返し階段	螺旋階段
人口密度(入口)での最大値	8人/m ² 0.000点	10人/m ² 1.000点	8人/m ² 0.000点
入口での滞在時間	28.5秒 0.472点	38秒 1.000点	20秒 0.000点
人口密度(中央)での最大値	4人/m ² 0.000点	5人/m ² 1.000点	5人/m ² 1.000点
中央での滞在時間	27.5秒 0.400点	39.5秒 1.000点	19.5秒 0.000点
衝突回数(入口)での最大値	3回 0.000点	3回 0.000点	4回 1.000点
衝突回数(前階段)での最大値	1回 0.000点	3回 1.000点	1回 0.000点
衝突回数(後階段)での最大値	1回 0.000点	2回 1.000点	1回 0.000点
合計	0.872点	6.000点	2.000点

結果 - 元の幅は実験1&2を参照
幅1/2(左) 幅1/4(右)



結論 本研究で、直線・折り返し・螺旋階段を比較した結果、折り返し階段が最も人口密度と衝突回数が高く、危険度が最も大きいことが明らかになった。さらに折り返し階段の幅を変えて検証したところ、幅1と1/2のときに最も安全性が高いことが確認された。

展望 今後は、折り返し階段の安全性向上を目的に、教室や廊下を含む実際の避難経路全体を再現したシミュレーションや多様な条件での実験を行い、より現実的で実践的な避難計画の改善につなげる必要がある。

参考文献

安福 健祐, 加藤 銀河, 正満 創太, 私の研究開発ツール (第94回)ゲームエンジン(Unity, Unreal Engine, 映像情報メディア学会誌, 2017年71巻5号 p. 353-357). https://www.islaga.isl.no.jp/article/detail/71/5/7_353/article-charla
ユニティ テクノロジーズ, "ナビゲーションシステムの内部的なしくみ - Unity マニュアル". Unity3d.com. <https://docs.unity3d.com/ja/2022.3/Manual/nav-InnerWorkings.html>. (参照 2024-10-17).