

京都大学工学部 学生員 ○久保有希
京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志
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 フェロー 酒井哲郎

1.はじめに 島国である日本は、四方を海で囲まれており、また地震の多発国である。そのため、沿岸地域では、津波からの避難対策が重要な課題である。近年、東南海・南海における大規模な地震が危惧されており、沿岸地域の自治体は、津波に対する避難場所および避難施設の整備を盛り込むための地域防災計画の見直しに着手している。住民に対して説明力のある整備内容の提示には、理論的な裏付けが不可欠であり、それには予測結果の視覚的な表現が都合良い。これらを念頭に本研究では、個々の要素運動が記述できる個別要素法を基礎とした粒状体モデルを応用し、個々の人間行動の相互作用が再現できるシミュレーターを開発して、モデル避難階段を対象に津波来襲時の群衆避難行動のシミュレーションを実施した。

2.シミュレーションモデルの概要 一般的な個別要素法は、要素の運動方程式は物理法則によって導かれているが、群衆行動のモデル化では、人間の心理的な行動といった非物理的な挙動のモデル化が必要である。個人によって性格は千差万別であり、対象とするシミュレーションの想定状況によっても人間の心理的な行動は異なるため、それをプログラム言語によって詳細に表現する事は不可能に等しいと思われる。しかしながら、例えば、早朝の駅構内のラッシュ時等で観測される群衆行動の分析から、大略的な人間の心理的な行動のモデル化は可能であると思われる。一般的な個別要素法では、接触力による力のみを考慮しているが、本研究では、接触を避けようとする力も考慮する。さらに、自律的歩行能力を考慮し、最大歩行速度を群衆密度による減衰関数とした。

3.計算条件 人間要素の粒径 $d=0.52\text{m}$ とした。避難階段踊場の形状による避難過程の相違を検討するために、case1 (矩形)、case2 (円形) の2つの形状を考えた。なお、人間要素数は47個とした。粒状体モデルで使用したモデル定数は、後藤・原田・酒井(2000)の設定法により準じ求めた(表-1 参照)。モデル定数の妥当性を検証するため、小関・渡部(1967)の群衆行動の観測結果との比較を図-1 に示す。群衆速度と歩行速度の関係は、群衆歩行の実態を表現する数値モデルになっており、モデル定数の妥当性が伺える。

4.シミュレーション結果 case1 のスナップショットを図-2 に示す。スナップショットからコーナーの手前で密集した群衆は、群衆の先頭集団が分散しつつ、コーナーを超える様子が伺える。また、群衆の最後尾の進行速度が、小さくなる様子が図中の点線から明瞭に理解できる。case2 のスナップショットを図-3 に示す。図中の最後のスナップショットは最終状態のスナップショットである。コーナー手前付近での群衆の渋滞および、渋滞した群衆の先頭集団が徐々に分散しつつ上階へと避難する傾向はcase1 と類似している。また、最終状態に到る経過時間が3秒の短縮しか確認できず、明瞭な違いは認められない。シミュレーションから得られた結果を定量的に検討するために、歩行速度、群衆密度を算出した。総時間による、case1 の群衆密度は $0.385 (\text{人}/\text{m}^2)$ 、歩行速度は $0.975 (\text{m}/\text{s})$ 。case2 の群衆密度は $0.379 (\text{人}/\text{m}^2)$ 、歩行速度は $0.980 (\text{m}/\text{s})$ 。群衆密度はcase1 がcase2 と比較して大きいため、歩行速度はcase1 が小さい結果になっており、群衆密度を反映した最大歩行速度式が効果的に作用したと考えられる。個別要素法の粒状体モデルで、均一運動能力の避難シミュレーションをコーナーの形状

が異なる2種類の避難階段の形状の条件下で実施した。しかしながら、コーナー形状の違いによる群衆避難状況には明確な違いは認められなかった。これは、スナップショットで確認できるように、case1では、case2との相違点である領域に人間要素がほとんど侵入していない事が原因であると推察できる。

5. 今後の課題 数千人規模の大規模な避難シミュレーションを実施したい。また、本研究で開発したシミュレーターでは、コーナーにおける加速度や最大速度はパラメータであるため、その設定は任意である。より一般化するために、例えば群集密度のみに依存する関数によって加速度や最大速度が自動的に決定されるようにプログラムを改良したい。

表-1 モデル定数

k_{hn}	3.56×10^3 N/m
k_{hs}	1.37×10^3 N/m
η_{hn}	2.08×10^4 Ns/m
η_{hs}	1.29×10^4 Ns/m

歩行速度[m/s]

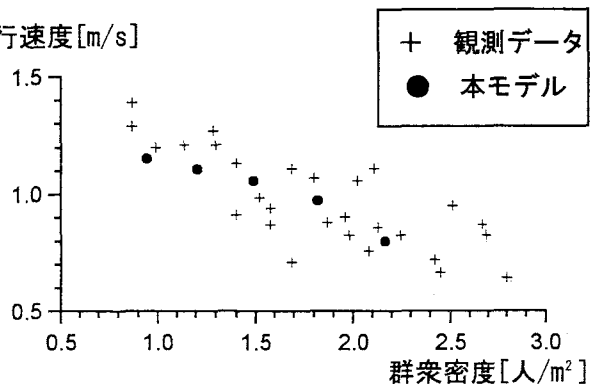


図-1 群衆歩行速度

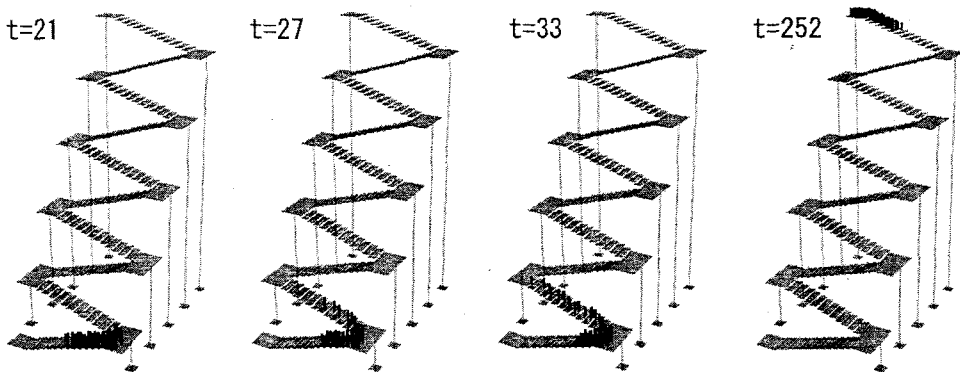


図-2 スナップショット(矩形踊場；case1)

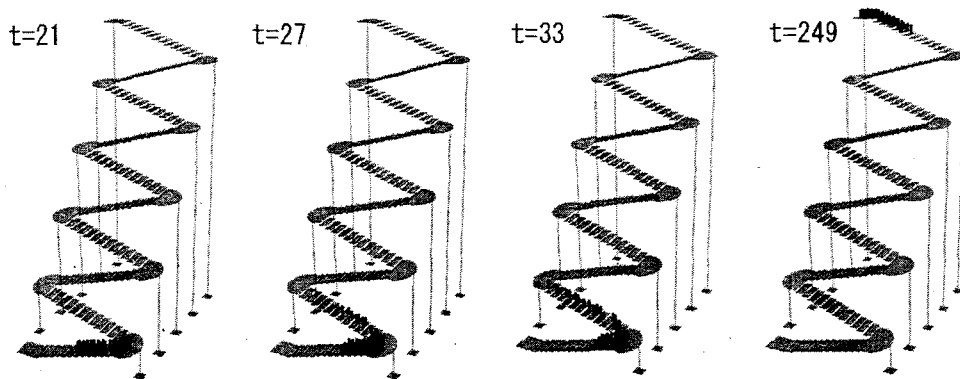


図-3 スナップショット(円形踊場；case2)