

内倉 22-77

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文審査報告書

論文題目

群衆力学に基づく歩行行動モデル

A Study on Pedestrian Model Based on Crowd Dynamics

申請者

高柳 英明

Hideaki Takayanagi

建設工学

建築計画学

2003年 3月

今日、駅や商業施設など不特定多数の人々が集まる空間では、建築空間のバリアフリー化や高齢者人口の増加等を考慮するに、これまで以上に多種多様な群衆行動が見られる。このような空間では、人は意志を持った個人としてよりもむしろ群れとしての挙動を呈し、群衆流や滞留を形成する。そこでの歩行安全性や快適性を確保するためには、調査・解析によって群衆の行動特性を的確に把握すること、および、こうした空間を設計する際に群衆がどのような状況を呈するかを事前に予測しておくことが大切である。

建築計画の分野では、建築人間工学として行動シミュレーションの研究が行われてきたが、必ずしも群衆としての特性を反映しているものではなかった。本論文は、群衆流や滞留などの群衆独自の挙動を力学的に記述する物理モデル系を「群衆力学」と新たに定義し、群衆を構成する歩行者の行動に対してこの物理モデル系を適用して、その有用性を確かめたものである。

従来、このような予測を行う場合には、人間をパチンコ玉に置き換えるとか、群衆を水の流れにたとえてコンピュータシミュレーション言語により記述するのが一般的であり、空間の平面形状や人間相互の関係までは扱えなかったため、設計者が自らモデルを操作して設計案を操作出来るものではなかった。そこで本論文では、群衆モデルの作成に必要な膨大な調査をもとに、群衆力学という体系を整理し、ここから群衆の歩行行動を予測するための新たな理論構築を行い、これを実際に起こった群衆事故の事例データを元に客観的に評価した上で、その有効性を検証した点が高く評価できる。

本論文は7章から成っている。

第1章は序論であり、群衆解析ならびに群衆流モデルに関する既往研究の体系化を通じ、本研究の位置づけを示している。既往の研究では、歩行者行動の定常的なデータの解析にのみ基づいてモデル化が成されており、本研究では、例えば群衆流相互の割り込み行動に見られる群衆の小集団化や交差群衆流の局所混雑などの非定常的な現象は扱われていないことを指摘している。そこで、本論文の目的を、空間ならびに歩行者間の相互作用を記述する方法論を群衆力学として定義・体系化し、それに基づいて、群衆シミュレーションのための歩行行動モデルを構築することである、としている。

第2章においては、研究目的を達成するために必要な群衆行動特性を力学という観点から数理的にモデル化し、これを「群衆力学」として新たに体系化している。具体的には群衆の相互作用の演算式を粒子動力学の概念に基づいて導き出し、これにより歩行行動モデルを定義しているが、これは、これまで再現できなかった群衆の行動特性を客観的に記述できることを示した点で評価できる。

第3章では、歩行群衆流の実測調査から得られたデータをもとに、隣接歩行者および対向歩行者間の回避特性等の数理的な基準値を抽出し、モデルへの適用を行っている。特に、これまで提案されることの無かった隣接歩行者間の引力や斥力についてその作用を明らかにし、最適速度保持に関する群衆力学関数を導出している点が注目される。

第4章においては、小集団化現象の可視化と解析によって、群衆力学モデルにおける小集団化をきたす歩行領域の算定を行い、流動交差パターンと領域融合の類型化を図っている。このことは、従来群衆が小さな塊を形成しながら流れると定性的に言われてきたことを、数理モデルとして客観的に示し、さらにその現象を可視化することで、その予測結果を設計者が容易に理解できるようになった点で高く評価できる。

第5章では、非定常な交差群衆流の局所混雑の把握と解析により、歩行時の歩きにくさの物理的指標となる領域干渉負荷を、交差パターン、交差時間、平均面積別に類型化し、負荷分布から見る局所混雑とその出現特性を明らかにしている。群衆の交差あるいは交錯現象は、これまでも多くの研究者取り上げてきたが、主として性状の把握に留まっており、汎用的なモデルの提案には至っていない。本論文では、この現象を可視化し把握を容易にするとともに、干渉負荷という指標を定義することで混雑評価を行っている点が独創的である。

第6章においては、これまでの群衆力学モデルを用いて群衆流シミュレーションを行っている。歩行速度・局所密度値を粒子色に反映させること、および端末のマウス操作によりシーンの表示視点を逐次移動することで、シミュレーション中の各歩行者の状態を容易に把握することを可能にしている。具体的には、駅の地下通路での対向流動、避難階段室での一方向避難流動、劇場階段室での対向流動、駅前空間での複合交錯流を取り上げ、各々任意の時刻の断面交通量を再現している。避難流動の場合は出口流率の計測にて、自由歩行流動の場合は主要箇所での断面交通量の値にて判断し、実際の調査データと比較した結果、本論文の群衆力学モデルが有効であることを確かめている。またこれらのシミュレーションの際に、地下通路の列柱位置、避難階段室の踊り場形状、劇場階段室での分流柵設置位置などの空間データ編集を対話的に行い、空間デザインと群衆シミュレーションを同時に行うことの有用性を指摘している。さらに、現実に起きた歩道橋における群衆雪崩事故を本論文で提案したモデルで再現し、事故調査委員会の公式調査データと比較した結果、事故原因ならびに雪崩発生箇所の特定に成功している。その上で、事故を未然に防ぐためには分流柵・目隠しパーティションと

いった空間要素を導入した場合の効果の検討も併せて行い、雑踏警備計画におけるシミュレーションの有用性を指摘している。これらは建築計画段階だけではなく、施設の管理運用の上でも群衆力学モデルが重要な役割を果たすことを示した点で、社会に大きく貢献するものである。

第7章では、各章の成果をまとめ、群衆力学の扱える範囲を明確にし、さらに設計支援技術としての位置づけを示して結論としている。

以上、要するに本論文は、不特定多数が利用する施設の施設計画立案において、群衆の非定常的な特性を反映させることの重要性を指摘し、これを実現するために群衆力学という新しい概念を体系化している。具体的には群衆力学に基づいて歩行行動モデルを作成し、実際にさまざまな群衆流に当てはめてその有効性を検証しているが、従来モデルとして扱うことができなかった群衆の特性を明らかにし、設計案の評価に適用できるようにしたことは極めて高く評価できる。

これは今後の建築設計学及び建築人間工学の発展に寄与するものであり、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2003年2月

審査員

(主査) 早稲田大学教授	渡辺仁史	工学博士 (早稲田大学)
早稲田大学教授	古谷誠章	
理工総研客員研究員	中村良三	工学博士 (早稲田大学)