

氏 名（本 籍）^{ゴ カン エン} WU GUAN YUAN（台湾）
学 位 の 種 類 博士（工学）
学 位 記 番 号 乙第 1069 号
学位授与の日付 2020 年 3 月 17 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 題 目 **The numerical analysis of mass evacuation
of super high-rise buildings with control
volume model**
(コントロールボリュームモデルによる超高層
ビルの大規模な避難の数値解析)

論 文 審 査 委 員 （主査）教授 大宮 喜文
嘱託教授 池田 憲一 嘱託教授 萩原 一郎
教授 瀬尾 隆 教授 秋津 貴城
准教授 水野 雅之

論文内容の要旨

With increasing awareness of the importance of occupant safety and the desire to avoid disorder, the issues of the mass evacuation of super high-rise buildings have raised special attention by the general public and authorities in the world, especially since the WTC 9/11 disaster. Several studies have investigated the recognition, response phases, pre-evacuation delay, and environmental factors of the evacuees of towers 1 and 2 to present detailed behaviors and experiences of large full-scale evacuation, and the results have been published.

Of all the buildings, those that exceed 100m or have 30 stories or more are usually classified as super high-rise buildings in Taiwan. For super high-rise buildings, the current evacuation strategies can basically be classified into two main subsets: phased evacuation and total building evacuation. In the phased evacuation, the occupants will be prioritized to evacuate firstly on the most hazardous floors like fire floor and the adjacent floors. The remaining occupants of the building will evacuate subsequently if necessary. In the total building evacuation, while the emergency fire is happening, all building occupants are expected to evacuate to the staircases which lead to the ground

floor.

The field of emergency evacuation has already been investigated in the past decades. Analysis based on the actual evacuation fire drill data plays an important part in researching occupant evacuation, but unfortunately these data are not consistent with the real situations. Most of the experimental studies and drills in the literature for evacuation of the super high-rise buildings are analyzed by considering free moving. Especially, our current understanding of how people act during an accident in the staircase of the super high-rise buildings is still limited. One of the complicated problems of the simulation model is the treatment of human behaviors such as crowd flow, counter flow, pre-movement delay, exit choice, decision making, physical factors, disabilities, and psychologies in emergency situations, etc.

In this study, the numerical results and dynamic processes of mass evacuation of a super high-rise building are investigated by using the control volume model. The super high-rise building, Taipei 101 is chosen for the object of evacuation simulation building, which is about 508m tall. The control volume model assumes that each individual is an independent particle and a virtual closed surface that can be formed by connecting the waiting persons at exit. One of these basic assumptions of this model was adopted a hydraulic analogy which evacuees were considered as a homogeneous fluid flow during the evacuation process. The simulation process of evacuation modelling in the stairwell is divided into 5 stages and presented. Based on fire drills, the speed characteristics of mass occupants in the stairwells for various floor intervals are investigated in this study. The numerical results of mass evacuation are found to be in good agreement with the result of the National Fire Protection Association (NFPA) first-order approximation and indicate that the evacuation processes are highly dependent on the parameters of walking speed and specific flow. The effects of different walking speed, coefficient of flow rate, and merge flow ratio on the dynamic change and the number of the occupants stagnating for each floor in various time scales are presented and discussed.

論文審査の結果の要旨

本論文は、超高層建築物における大規模避難の数値解析を、コントロールボリュームモデルを用いて避難モデルを構築し、建築物からの種々の避難シナリオを対象に分析したものであり、全5章から構成される。

第1章では、研究の背景や目的、超高層建築物からの避難に関わる課題を述べた上で、本論文で取り扱うコントロールボリューム法、NFPA（全米防火協会）における避難予測手法、実験的な火災避難訓練の概要を示し、また避難行動予測や超高層建築物の避難に

関連する既往の研究について詳述している。

第 2 章では、コントロールボリュームモデルに基づく高層建築物における緊急避難のモデリングと題して、様々な条件設定の下での避難流動に関する数値計算を実施し、避難過程の流動特性について議論している。ここに、コントロールボリュームモデルは、各個人を独立の粒子とし、出口に待機している人々を関連付けることによって形成される仮想状態を仮定したものである。このモデルでは、異なる階からの出口流出が合流する流れについて合流比を用いて均質な流れを仮定し、高層建築物における避難過程に影響する変数に様々な値を設定することが可能であり、本章では 7 つのシナリオを分析している。具体的な変数は、歩行速度、流動係数、合流比である。合流比が 1 の時、全館避難時間が最小となり、合流比が 1 より小さいほど低層階からの避難者がより早く避難を完了し、合流比が 1 より大きいほど高層階からの避難者がより早く安全なところまで到達できることを示している。また、流動係数が大きいほど全館避難時間が短くなり、歩行速度の増大は避難時間の短縮にはそれほど影響がないことを示している。

第 3 章では、超高層建築物の階段での火災訓練における大規模避難に関する研究と題して、高さ 508 m の台北 101 における 6 ケース（避難開始階を 86～89 階の上層階の 4 ケースと 40 階と 54 階の中層階の 2 ケースを設定）と、高さ 140 m の新台北市庁舎における 1 ケース（避難開始階を 29 階）の避難を調査した結果を分析している。台北 101 での避難訓練では、垂直速度（1 階層の階高をその階層を下りるのに要した時間で除した速度）は 0.22～0.24 m/s の範囲、歩行速度（移動軌跡に沿った距離をその移動に要した時間で除した速度）は 0.61～0.65 m/s の範囲にあることを示している。上層階から避難した 4 ケースで、40 階層を降下するまで歩行速度が低下し、その後一定になることを明らかにしている。一方、新台北市庁舎での避難訓練では、平均値として垂直速度 0.31 m/s、歩行速度 0.98 m/s を得ている。台北 101 での避難の結果が、既往の研究成果と良く一致したことを述べている。新台北市庁舎での避難の結果は、自衛消防隊が健康な避難者に対して先頭で誘導避難したことで歩行速度が速くなったことに言及している。

第 4 章では、コントロールボリュームモデルを用いた台北 101 における大規模避難の数値解析と題して、超高層建築物である台北 101 を分析対象に選定し、全館一斉避難と順次避難を含む 7 つの避難シナリオを設定し、階段避難について分析している。避難シナリオは、歩行速度と流動係数を NFPA の基準に基づいて設定し、合流比を 0.5～2.0 に設定して全館一斉避難した 4 ケースと 22 階を出火階として順次避難した 1 ケース、また全館一斉避難において歩行速度と流動係数を、日本建築センターの指針基準に従った値と第 3 章に示した台北 101 の火災訓練避難における調査結果に従った値を用いた 2 ケースである。解析結果は、NFPA 基準に規定の計算法による全館避難時間の算定結果や既往の研究におけるエージェントモデルによる避難シミュレーション EXODUS の結果と良く一致している。これらの分析を通じて、コントロールボリュームモデルを用いて超高層建築物の全館一斉避難や順次避難の避難時間算定への適用性を明らかにしたと共に、階段内の各階における滞留や避難流動などの避難状況を明らかにして避難シナリオ

を評価できることを示している。

第5章では、第2章から第4章で得られた成果をまとめると共に、本研究の展望について述べている。

以上のように、本研究で得られた成果は、コントロールボリュームモデルという計算手法を高層建築物の全館避難に適用可能なことを示すと共に、超高層建築物の火災訓練における大規模避難の調査に基づいて歩行速度や流動係数などの避難者の特性値を明らかにし、さらにこれらを用いて超高層建築物からの全館一斉避難や順次避難の予測に適用可能なことを示しており、超高層建築物の避難計画並びに維持管理における避難訓練のあり方の検討や、実火災時の避難シナリオを決定する上で重要な知見を得ている。

よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認める。