

奨励研究助成実施報告書

助成実施年度	2021 年度
研究課題（タイトル）	超高層建築物における中間避難階と避難用エレベーターを使用した全館避難方法に関する研究
研究者名※	PARK SEONGKYUNG
所属組織※	東京理科大学大学院 理工学研究科 国際火災科学専攻 水野研究室
研究種別	奨励研究
研究分野	その他
助成金額	80 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2021年度奨励研究助成実施報告書

所属機関名 東京理科大学
申請者氏名 パクソンギョン

研究課題	超高層建築物における中間避難階と避難用エレベーターを使用した全館避難方法に関する研究
<p>(概要) ※最大10行まで</p> <p>研究目的は、超高層建築物の避難特性を考慮して、中間避難階や避難用エレベーターを使用した全館避難の安全性および効率性を高めることである。ここに、超高層建築物の避難特性とは、対象建物の各階の在館者数に加えて、階段の避難者の流動容量および中間避難階と避難階との間を運行する避難用エレベーターによる輸送容量、そして階段室の避難者の収容容量および中間避難階の避難者の収容容量を表す。</p> <p>日本では中間避難階や避難用エレベーターを取り入れた超高層建築物は一般的ではなく、中間避難階や避難用エレベーターを活用した効果的な避難手法に関する研究は行われていない。今後、日本でも避難を階段のみの避難手段に頼った最低基準である建築基準法を満足する建築計画から脱却し、適切なハード対策と共に避難計画というソフト対策を整備するためにも、中間避難階の避難者の収容容量や避難用エレベーターの避難者の輸送容量を評価する必要である。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>本研究では、実際に中間避難階を計画し、さらに避難用エレベーターを使って中間避難階から避難階まで避難することができるシステムを導入している上海環球金融中心（中国・上海）やロッテワールドタワー2（韓国・ソウル）を分析対象とする。また、階段とエレベーターを垂直移動動線として設定可能な避難シミュレーションソフト Pathfinder (Thunderhead Engineering Consultants, Inc.) を用いる。</p> <p>※ 階段避難流動状態並びに中間避難階の一時退避状態の評価モデル</p> <p>超高層建築物を対象として、火災避難における中間避難階または1階の出口までの避難方法とシナリオを作成する手法を示すと共に、次の(i)から(iv)に示した指標に基づく最適化率を求め、それを定量的に比較することで、各避難シナリオに基づく一連の避難状況を相対的な評価を可能とする。</p> <p>(i) 1階出口の流動状態の指標：1階階段出口から避難者が流出する流動量の最大容量 F_{max} [p/s] またはエレベーターの避難者の最大輸送容量に対する避難開始時間 (0 秒) から避難完了時間 t_e [s] までの時刻 t [s] における流動量 $F(t)$ [p/s] の比を時間積分した値を避難完了時間 t_e で除した値 R_F [-] と定義する。</p>	

(ii) 中間避難階の混雑状態の指標：中間避難階においては、各時刻における収容人数を収容可能床面積で除して得られる一時退避時の滞留密度 $D_{t,F}$ を求め、一人当たり 2 m^2 に相当する 0.5 人/m^2 を超える時間 $t_{s(0.5)}$ 、および 1.0 人/m^2 を超える時間 $t_{s(1.0)}$ を求め、後者は前者の2倍の影響があることを前提として、中間避難階の高密度状態の継続時間を $t_{s,t} = t_{s(0.5)} + 2 t_{s(1.0)}$ より算定し、この時間が20分を超えないことを許容条件とする。また、前提条件として中間避難階の滞在密度は 1.5 人/m^2 以下に制限する。中間避難階での混雑状態の指標 $R_{c,r}[-]$ は、前述の高密度状態の継続時間 $t_{s,t}$ を20で除した値と定義する。

(iii) 煙伝播リスクに応じた許容時間に対する避難時間の指標：出火階の居室等の開口部の防火性能と各階のエレベーター着床階の条件によって定まる階許容時間 $t_{al,n} [\text{min}]$ に対する階避難時間 $t_{e,n} [\text{s}]$ の比が、0.5 から1に該当する階数 N_s を建物の階数 N で除した値を求め、その値を1から除いた値 $R_s [-]$ と定義する。

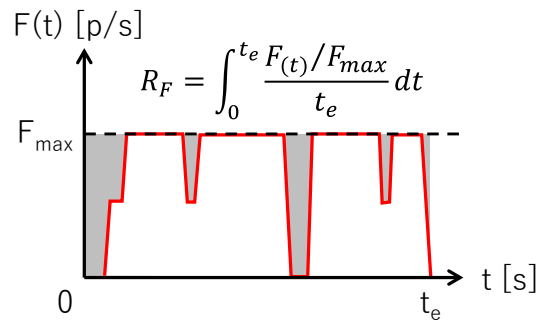
※ 避難シナリオ策定に関する重点整備事項

1) 避難シナリオの計画方法

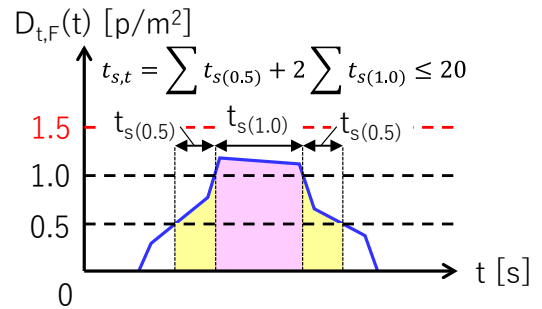
階段や階段出口における流動量 $[p/s]$ が混雑または途切れにより低下する状態の継続時間を抑制させるように避難流動が途切れないように各階からの避難群集をある程度オーバーラップさせて、その合流に伴う混雑の継続時間を抑制する。

2) 煙伝播の可能性が高い階から優先避難（煙は隙間から縦穴空間を経て上層階に伝播する可能性がある）

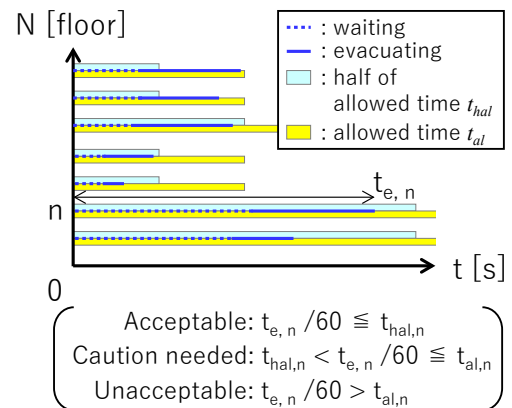
出火階を含むエレベーターシャフトのその上層の着床階や、建物全体の上層階では、早い段階で煙伝播の可能性が高いため許容時間を短く設定する。ただし、検討に際しては、出火階をケース毎に設定しては計算ケースが膨大になるため、本検討では、建物全体の上層階20%の階、各エレベーターバンクの主たる着床階がある区間の上層階20%の階を煙伝播リスクが高い階をみなす。加えて、居室等の開口部の性能に応じて各階の許容時間を設定する。その開口部が防火設備ならば、階の避難許容時間は20分とし、煙伝播リスクが高い階はその半分の10分とする。一方、特定防火設備ならば、同様に60分と30分とする。



(i) 1階出口の流動状態に基づく指標



(ii) 中間避難階の混雑状態に基づく指標



(iii) 各階の煙伝播と避難時間に基づく指標

図 最適化率の算定手法の概念図

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究は、上海環球金融中心（中国・上海）とロッテワールドタワー2（韓国・ソウル）を分析

対象として、避難用エレベーターを使って中間避難階から避難することができるシステムを導入することを目的とした。研究目的を達成するため、上海環球金融中心とロッテワールドタワー2をPathfinder上にモデリングをし、中国と韓国の建築設計の人員密度により在館者配置を行った。

中間避難階でエレベーターを使用した避難シナリオとは、既往研究により各階から下から最も近い中間避難階に移動し、シャトル運行する避難用エレベーターによって避難することである。まず、全館避難シナリオにより各建物の避難をPathfinderを使用して解析した。

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

分析1では、中国の上海環球金融中心を対象として、中間避難階並びに避難用エレベーターを使用した全館避難を分析して、避難時間や避難状況を考察することを目的とした。分析対象のビルは、101階建てであり、事務所(2~77階)、ホテル(79~88階)、展望台(90~101階)で構成されている。また、当建物には17台の避難用エレベーターと7系統の特別避難階段(防煙階段)、8階層の中間避難階が6階から12階毎に存在している。各階の在館者数は、全国民間建築工事設計技術施策を反映し、1階に200人、2-77階の事務所に16,141人、79-88階のホテルに1,180人、90-101階の展望台に3,160人、合計20,681人がいることを想定して分析した。

●全館避難時間と1階出口の避難流動

図1は1階出口を通過し、避難を終了した避難者の累積人数であり、傾きが大きいほど地上への避難流動が大きい。避難完了者数の累積人数の増加傾向は、約2000秒から緩やかになりはじめ、約8000秒、9000秒、11000秒で傾きが順に緩くなった。ここで、避難完了とは各中間避難階から避難用エレベーターで1階に移動し、1階出口を通過することを指す。

図2は、1階出口の単位時間当たりの避難完了者数を前後7秒毎に2回移動平均計算した流動量である。流動量は、約2000秒で急に下がり、約4000秒まで徐々に低下した。その後、78階からの避難完了時間(約8000秒)、2~30階の階段避難の終了(約9000秒まで)、54階からの避難完了時間(約11000秒)で段階的に下がった。

●避難中の階段室内の様子

図3, 4は、階段避難とエレベーター避難の様子をキャプチャーした画像である。階段避難ではFig. 4のbのように中央の3つの階段室以外に6階から1階に繋がる避難階段を使用している様子が見られたが、6階以下での避難が終わって4500秒からはほぼ使われていないことが観察された。

図4には中間避難階へ移動した避難流動を表した。aとbでは約4500人が各々30と54階へ移動したため、避難者が階段室に長時間滞留している場面が見られた。しかし、cとdでは78と89階に入り、避難していた場面が見られた。78階は負担した人数少なかったため、避難者が階段室まで並ぶ必要はなかった。89階は設置されたエレベーターの台数が多かった理由で速やかに避難ができたため、階段室内の滞留が比較的短かった。

この結果による考察は次となる。

●直通階段の設置階数

図1, 2により89階の避難終了以前の1階出口での流動量が下がったことが見られた。流動量が下がった原因は1階ロビーの避難が早い段階で終わったことと6階以下の階段室は6階以下の避難が終わった後からは使われず中央の3つの階段が使われたことで流動量が下がった。この結果で、直通階段が18階に設置されたとすると1階出口の流動量の低下が遅くなり、階段避難時間も短くなると期待

される。

●EV が設置されなかった中間避難階の実用性

当建物では6階から12階毎に中間避難階が設置され、その内30,54,78,89階のみに避難用エレベーターが設置された。今回の検討では、避難用エレベーターの無い中間避難階では一時待機させなかったが、そのために図4のa, bに示したように階段室内で多くが長時間滞留した。したがって、避難用エレベーターの設置されていない中間避難階において一時待機するシナリオによって階段室内の混雑を緩和できる可能性がある。

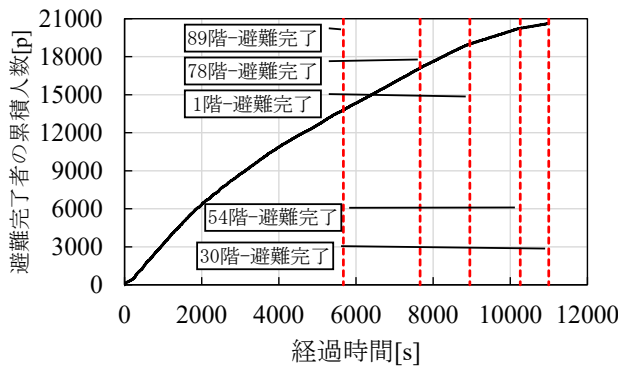


図1 全館避難完了時間

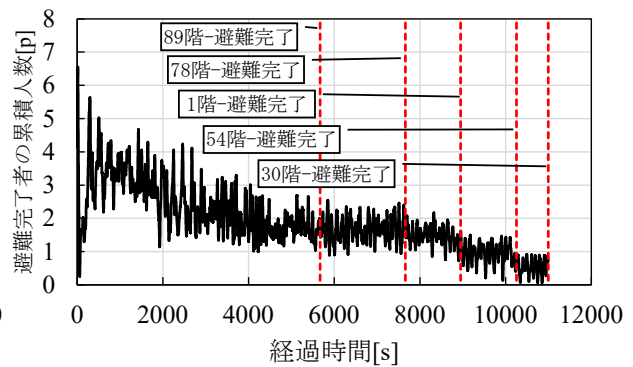


図2 1階出口の流動量

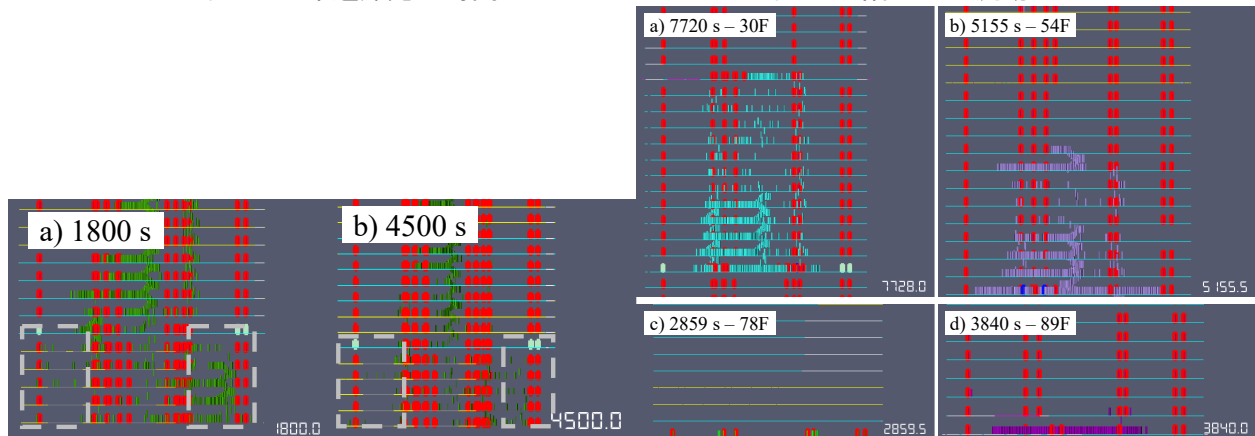


図3 階段室内の避難様子

図4 各中間避難階の避難様子

分析2では、韓国のロッテタワーを対象として、中間避難階並びに避難用エレベーターを使用した全館避難を分析して、避難時間や避難状況を考察することを目的とした。分析対象のビルは、123階建てであり、1~13階にポディウムとロビーが、14~39, 103~116階に事務所が、41~73階に共同住宅が、74~101階にホテルが、117~123階に展望台が存在している。また、当建物には19台の避難用エレベーターと4系統の特別避難階段（防煙階段）、5階層の中間避難階が22, 40, 60, 83, 102階に存在している。各階の在館者数は、既往研究を反映し、1~21階に5,414人、23~39階に4,169人、41~59階に1,527人、61~82階に1,382人、84~101階に737人、103~123階に2,018人、合計15,247人がいることを想定して分析した。

●全館避難時間と1階出口の避難流動

図5, 6は1階出口を通過し、避難を終了した避難者の累積人数と流動量であり、避難完了とは各中間避難階から避難用エレベーターで1階に移動し、1階出口を通過することを指す。避難完了者数の累積人数の増加傾向は、約200秒から傾きが急になりはじめ、約2500秒、4000秒で傾きが順に緩やかに

なった。1階出口の単位時間当たりの避難完了者数を前後7秒毎に2回移動平均計算した流動量である。流動量は、約2500秒で急に下がり、約4000秒まで徐々に低下した。その後、22と60階からの避難完了時間まで段階的に下がった。

この結果による考察は次となる。

●エレベーターの場所や台数の算定による避難時間の短縮の可能性

本分析結果では、全館避難時間が約6000秒であって、分析1の人数差を入れてもかなり早く終わった。しかし、約4000秒で、102, 83, 40階の順に避難が終わったが、22と60階での避難はその2000秒後に終わった。83~123階の煙伝播に脆弱な階を避難完了を優先にさせたことはエレベーターの配置が優秀にされたと考えられる。しかし、22と60階は102, 83, 40階より約2000秒避難完了時間がづれている。1回の往復時間と輸送人数を把握して、全ての間踊り場からの避難がほぼ同時に終わるようにエレベーターを設置することにより避難時間が短縮されることが考えられる。

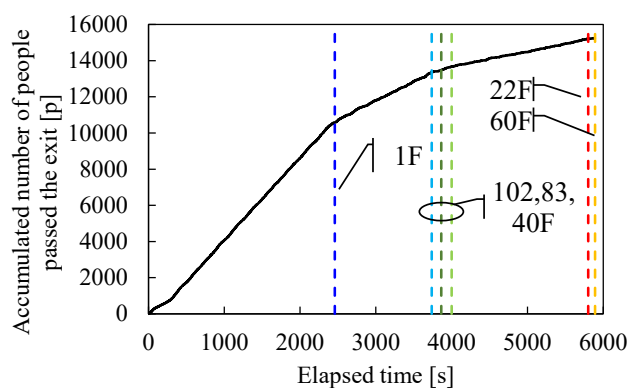


図5 全館避難完了時間

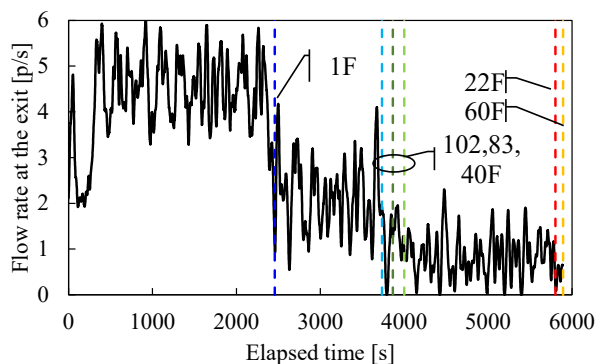


図6 1階出口の流動量

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

現在、各建物の中間避難階からの避難完了時間や避難の様子が分析された。しかし、これは本研究の目的の一部分にすぎないため、今後は示した分析指標による2つの建物の比較して、そのい結果から得られた結果により最適な避難シナリオを取り組む必要であり、最適化率の指標の重み付けを設定する必要がある。