

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 月 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360282

研究課題名（和文） 都心地下空間における街区・地下道一体型防災計画手法の開発

研究課題名（英文） Development of Disaster Mitigation Design Method for Urban Underground Complex

研究代表者

長谷見 雄二（HASEMI YUJI）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：40298138

研究成果の概要（和文）：

ターミナル駅周辺等に形成される都心地下空間について、街区・地下道を一体開発し、街区側に自然排煙を設置して火災時の避難安全性を確保する計画手法を提示するとともに、水害時の地下空間浸水範囲の抑止、地下の主要鉛直交通路であるエスカレータを利用する避難計算法を誘導した。更に、これらの予測手法を津波避難にも適用できるように拡張した。

研究成果の概要（英文）：

Evacuation design method for large scale urban underground complex is developed using private edifice for the smoke control of public underground passage. Evacuation from underground flood and evacuation design method based on moving and stationary escalators is proposed. The evacuation calculation methods are further applied to Tsunami evacuation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2010年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	8,800,000	2,640,000	11,440,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：地下空間、火災、煙制御、水害、避難、エスカレータ

1. 研究開始当初の背景

近年、都心のターミナル駅周辺等では、街区全体に及ぶ大規模再開発に併せて、駅、大型ビル等を地下道で接続して歩行者のアクセスを確保する開発が進められ、全体として、個々の所有権等を超えて非常に広範囲に及ぶ大規模地下空間が形成される傾向にある。駅舎内外の商業開発を含めると、こうした地下空間の滞在人口は極めて多いが、一方、地下空間の防災規制が異なる建物、駅、地下街

等が一体化することやいわゆるゲリラ水害の頻発によって新たな災害危険の発生が予想されるようになった。都心の大規模地下開発は、東京、横浜、名古屋、大阪等の日本の大都市のみならず、中国、韓国等の大都市にも認められる傾向であるが、地上の大規模再開発により昼間人口が著しく増加した都心地区では、歩行空間として地下を活用する必要は大きく、大規模な地下空間の開発を否定しない方向での防災計画手法の開発が求め

られている。

大規模で人口密度の高い地下空間の日常的な鉛直交通路として最も有効なのはエスカレータであり、地上駅でもホーム・コンコース間の斜路が往復のエスカレータのみで成り立っている場所も多い。一方、エスカレータは避難利用しないことが暗黙の前提とされ、その技術的可能性も十分検討されたことは殆どなかったが、大深度駅や乗降客の多いターミナル駅のラッシュ時等、階段だけで短時間での避難が成り立つとは考え難い状況となっている。このため、エスカレータを利用する避難方式の検討が待たれていた。なお、エスカレータを避難方向に作動させて避難利用することができれば、階段歩行が困難な高齢者・障がい者等の地下からの避難に有効と考えられる一方、エスカレータについては、近年、利用方法の多様化を背景に負傷事故等の増加が指摘されており、安全な利用法の確立も課題であった。

2. 研究の目的

従来、地下街、地下道等の防災対策は管理区分毎に独立・閉鎖性を保ち、災害発生時の火害等の及ぶ範囲を局限化することを目標としていたが、本研究では、地下道は上部に道路が存在するため排煙、地上避難路の設置に基本的な困難があるとの前提で、地下と地上、地下道と建物の一体的防災計画を行うこと、地下活用より増加しているエスカレータの避難活用可能性の追求により、現在の地下空間の実態を踏まえた災害時被害軽減計画の手法を誘導する。地下道と建物の一体的防災計画の考え方を図1に示す。

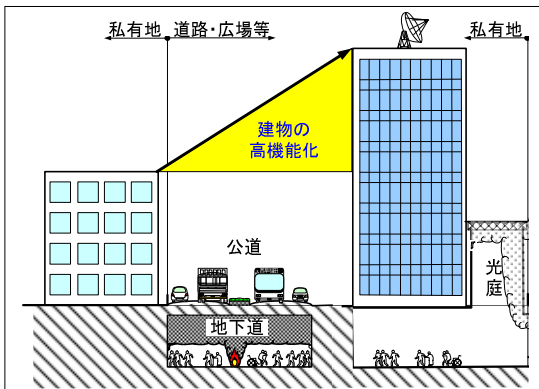


図1. 地下・街区一体型防災計画の概念

ところで、大規模な地下開発は、日本では高度経済成長期に一旦、推進された後、近年は街区の大規模再開発や地下鉄駅の増設を契機として、既存地下道等の拡張という形で進められているが、近年の経済成長が著しいアジアでは、大規模な地下開発は始まったばかりである。しかし、アジアでは地下空間の防災的脅威は十分に認識されておらず、今後、防災的整備が必要になると考えられるため、

本研究で開発している予測手法や計画手法のアジアでの活用可能性を検討する目的で、アジアの都心型地下空間を、防災と言う観点から調査した。

なお、避難については一般的なビル火災等では高層階から地上への下方避難を扱うのに対し、本研究では地下からの避難を扱うため、上方避難のモデル化を行ったが、その手法は津波避難予測にも有効であることが判明したため、研究が立ち遅れていた津波避難への展開可能性も研究した。その検討の成果が得られたのは、東日本大震災以前であり、震災後、津波被災地にこの手法を適用して、津波避難計画への一助とした。

3. 研究の方法

地下型空間の煙流動・制御、内水氾濫時の地下空間浸水予測、避難方式の検討と群集避難予測、既存大規模地下型施設のケーススタディ、アジアの大都市における都心型地下空間調査、津波避難への応用より成る。

3.1 地下空間の煙流動・制御

地下空間の煙制御については、地上施設との一体化や排煙塔による排煙効果を煙流動に関する模型実験・数値シミュレーションにより検証した。

3.2 内水氾濫時の地下空間の浸水予測

地下空間の水害危険については、盆地地形等、内水氾濫を誘発し易い地形を対象に、ある降水量履歴が与えられた場合の地上部の浸水シミュレーションの方法を開発のうえ、建物の開口部等から浸水した場合の浸水予測モデルをポンド・モデルの概念に基づいて開発した。本モデルは、浸水が各室に層状に蓄積し、室間の水面高さの差によって浸水拡大状況を予測するもので、煙流動に関する二層ゾーンモデルが浮力により煙が室内上方に蓄積するのと上下を入れ替えて水に置き換えた関係にあり、モデルに必要な入力等が煙流動予測と同様となる点に有用性がある。

3.3 地下空間からの群集避難方法の研究

エスカレータ利用避難については、まず、実施の高低差22mの長距離エスカレータにより群集避難実験を実施のうえ、1階分の高さのエスカレータにより、

- ①エスカレータの静止・作動及び作動方向
- ②高齢者比率(インスタントシニアによる)
- ③高齢者の配置

をパラメータとして、エスカレータ上の群集歩行速度、エスカレータ入口の流動係数を把握した。本実験中、作動しているエスカレータの停止時や再起動時に歩行者に躓きが認められる場合があったため、エスカレータの安全な避難利用という観点から、停止時・再起動時の時間に対し、被験者の躓き発生率及び不安・恐怖感がどう変化するかを、歩行者の歩行の有無、手荷物等の有無・内容をパラメータとして実験的に把握し、これらの条件

に対して、従来、標準的とされてきた「立ち止って片手をハンドレールを持つ」のと同程度の安全性が得られる停止時間、再起動時間の把握を行った。

エスカレータを避難方向に走行させて避難利用することは歩行困難者の避難の有効な手段となる一方、出口先方に十分な滞留スペースがない場合、滞留密度が過剰となる危険がある。このため、地上までの全避難経路で滞留が生じない計画手法を開発した。

3.4 既存大規模地下型施設に関するケーススタディ

大量の歩行者人口がある地下型施設として、防災上の性格が異なる次の三施設を取り上げて、3.1~3.3に示した予測手法を適用し、災害時避難安全性の検討と危険度軽減方策の検討を行った。

- ① 地上駅であるが、閉鎖性の高い改札内空間に多数の商業施設が存在するT駅
- ② 地上駅で、構内の店舗は少ないが、改札外部のコンコースが大規模店舗地階等に接続し、駅構内から地上への避難経路の安全性の確保が課題となるI駅
- ③ 多数の地下鉄路線が地下で交錯し、地下街とも接続するうえ、盆地地形のため内水氾濫危険も大きいS駅

3.5 アジアの大都市における都心型地下空間調査

ハルビン、上海浦東地区、仁川(韓国)、台北中央駅付近の既存の大規模地下道・地下街・駅コンコースについて現地調査し、煙流動予測シミュレーションにより、防災上の特質を検討した。

都市の選定理由は、ハルビンは寒冷地に多い冬季の歩行空間確保を目的とした地下道型の長大な地下開発が行われていること、上海は地上歩道の開発と連携した大規模な面的な地下開発が指向されていること、仁川は増設が繰り返され、建設年代の異なる地下街・地下道が接続する日本型の地下開発であること、台北は地下道・地下街の用途が変化していることなど、異質な特徴を有する点にある。

3.6 避難予測計算法の津波避難への応用

近海型津波時の避難は、人命危険の原因となる現象の発生からその到達までにある程度の時間がかかること、安全な避難地までの避難時間と危険の到達時間の比較によって避難安全性を評価できること等が、建物火災や地下空間浸水時の避難と共通していることを踏まえて、実務的に受け入れられている火災時の避難安全性評価法と比較できるレベルの津波避難予測計算法を構築した。東日本大震災で津波の被害を受けた南三陸町を対象に復興時の津波避難ビルの有効な配置方法を検討した。

4. 研究成果

主な成果を述べる。成果の具体的内容については、後で示す雑誌論文、学会発表で詳細に報告している。

4.1 地下空間の煙流動・制御

排煙困難を生じやすい都心型地下空間の典型として道路直下に造られる地下道や地下駅コンコースを対象に、街区側に自然排煙のための排煙塔・アトリウムを設置する場合の塔・アトリウムの高さ・開口面積及び間隔の一般的な指針を提示した。図2は、地下空間で煙が発生しても、排煙塔により、それより遠方への煙拡大を防止できることを示す。

4.2 内水氾濫時の地下空間の浸水予測

地形と降水量を入力して建物地下部分への浸水の開始・経過を予測できるモデルを開発した。

4.3 地下空間からの群集避難方法の研究

エスカレータ避難については、避難時間予

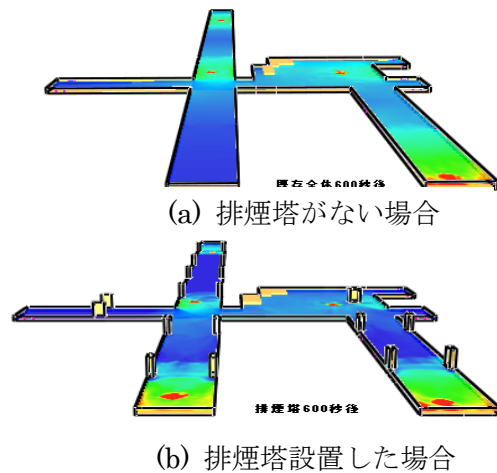


図2 地下空間に排煙塔を設置した場合の煙拡大範囲抑制効果：青い部分は煙汚染なし。(b)では、排煙塔より遠方への煙拡大を防止できている。

測に必要なエスカレータ上の移動(歩行)速度、有効流動係数をエスカレータの作動状態及び群集の高齢者比率との関係で整理し、エスカレータ利用避難における避難時間等を任意の条件で予測できるようにした。エスカレータ走行時は停止時に比べ、移動速度(歩行速度とエスカレータ走行速度の和)はほぼ倍増するだけでなく、入口流動係数が大幅に増加するため、エスカレータを避難方向に走行させれば地下駅火災等の際のプラットフォームからの避難には効果が極めて大きいことが判明した。一方、エスカレータ出口からは大量の歩行者が流出するため、エスカレータを走行させて避難利用するには、エスカレータから地上までの経路上の開口部・ネック等では、エスカレータ全体の流動人数の通行を保證できる合計幅を確保する必要がある

ことも明らかとなった。以上をもとに、エスカレータ利用避難については、施設設計図書及び避難人数をもとに一般的な避難安全検証と同様の計算ができる計算法を整備した。

エスカレータを避難利用する際の停止、また避難方向に走行させる場合の再起動の際の時間については、手荷物等がある場合や歩行している場合でも、停止時間を1.17秒(現状標準0.86秒)、再起動時間を4.45秒(現状標準3.04秒)とすれば、転倒・躓き等の危険を、手荷物が無い状態でハンドレールを持って立ち止まっている場合と同等以下にできることを明らかにした。

4.4 既存大規模地下型施設に関するケーススタディ

ケーススタディ3例のうち、2例で検討した既存地上駅のホーム下にある地下型空間については、一般的なホーム・線路間を排煙利用することができれば、火災時の煙拡大を抑制できるが、現在のような商業利用や可燃物の状況では、ラッシュ時には歩行者全員の安全を確保することはできないため、自動消火を徹底して火災規模を確実に抑制したり、コンコースの滞留人口を減らす方策の誘導が必要なことを明らかにした。

盆地地形の地下駅については、地上出口数が多く、個々の出口の浸水予防の徹底は困難なため、水害時には標高が特に低い出口は避難利用せず、地下空間に浸水しても更に浸水を広げないための遊水スペースを設けて避難路への影響を防ぐ計画手法を考案して、その有効性を検証した。また、災害時の地上への避難経路を火災時と浸水時で一貫させるため、浸水時に避難利用しない地上出口付近は火災時の自然排煙に利用可能な吹抜状の空間として設計すれば、地下全体の避難経路の遮煙に有効なことを確認した。図3,4は、この計画手法の概念を示す。

3.5 アジアの大都市における都心型地下空間調査

歩行空間に店舗が露出しないハルビンの地下道以外は、店舗が歩行路に沿って並んでおり、店舗等の室部分にスプリンクラーが設置されていた。しかし、調査したどの都市の都心型地下施設でも、火災により煙が歩行路に流出した場合の煙制御対策は講じられていなかった。上海以外、地上には直接開放されておらず、出入口には扉が設けられているのは冬季の冷気侵入防止や豪雨の浸入防止のためであろうが、排煙が設けられていないため、火災時には地下空間内で煙が拡大する可能性が高いと考えられる。ハルビン、台北の地下道は、本来、店舗等を内包しない地下道として計画されたが、台北ではその後、通路両側に店舗を設置し、通路部分の一部にも開放的な売場を設けている。ハルビンにも地下道内にキオスク状の売場が散在し、いずれ

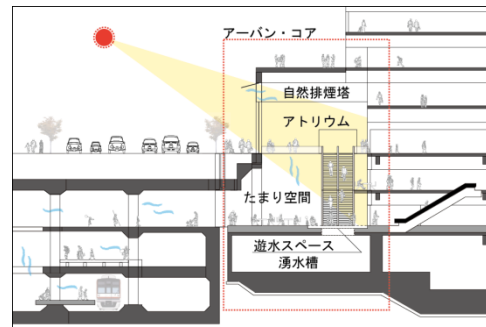


図3 アトリウム直下に遊水スペースを設けることによる煙制御・浸水局限化手法(断面)



図4 同上アトリウム・遊水スペースの内観透視図

もスプリンクラー未警戒部分で出火した場合の火災・煙拡大の危険が大きい。

本課題で検討した煙制御手法との関係では、ハルビンは大規模ビルとの接続部分に排煙塔等を設置すれば煙拡大の局限化は容易であり、上海、仁川は地上が公園・立体駐車場となっている部分に排煙を設置することが有効である。

なお、調査した中国、韓国、台湾では、地下空間一般を対象とする防災法令が、対策対効果が明確になる形では整備されておらず、夫々、消防当局が試行錯誤的に行政指導を行っていることが判明した。

4.6 避難予測計算法の津波避難への応用

中高層ビルを津波避難に利用する場合の避難可能人数算定法を構築し、建物・施設の特徴ごとに津波避難ビルとしての適性を評価した。建物到達後の階段手前の待ち行列が大きくなる傾向があるため、建築面積に対して階段が多い施設(大規模店舗等)、津波避難ビルに適していること等を示した。

更に、東日本大震災で甚大な津波被害を受けた南三陸町を対象に高台・津波避難ビル併用の津波避難計画を検討し、津波警報から10分の安全時間があれば、少数の津波避難ビルの整備で健常者住民全員の避難が可能となることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Naoko Okada, Yuji Hasemi, Shuji Moriyama, Feasibility of upward evacuation by escalator- An experimental study, Fire and Materials Online, 査読有, 2011 年 12 月 fam118

岡本衣未, 長谷見雄二, 森山修治, 岡田尚子, 「エスカレータの避難利用から見た停止・起動に対する歩行者の反応に関する実験研究」日本建築学会環境系論文集、査読有、第 668 号、2011 年 10 月

岡田尚子, 長谷見雄二, 森山修治, 岡本衣未, エスカレーターを用いた上方避難に関する研究、日本建築学会環境系論文集、査読有、第 668 号、2011 年 10 月

Shinji YAGI, Yuji HASEMI, Requirements and Verification Methodology for the Design Performance of Tsunami-hinan Buildings (Temporary tsunami refuge building), Journal of Disaster Research, 査読有, Vol.5, No.5, 2010

〔学会発表〕(計 15 件)

志村洋樹, 長谷見雄二, 森山修治, 小嶋美由希, ターミナル駅周囲に展開する地下通路における火災時避難安全性の検討と改善策 日本建築学会関東支部研究発表会 2012 年

北原魁人, 長谷見雄二, 森山修治, 平田裕信 南三陸町のケーススタディに基づく津波避難計画の提案 日本建築学会東日本大震災 1 周年記念シンポジウム 2012 年

平田裕信, 長谷見雄二, 森山修治, 火災と水害の類似性に基づく地下空間の水害安全計画の提案, 日本建築学会大会(関東) 学術講演梗概集, 2011

山崎彩加, 藤原海, 森山修治, 長谷見雄二, 地形特性に従った地上水位上昇速度の予測と浸水防止対策設備高さの選定指針の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2011

小嶋美由希, 長谷見雄二, 森山修治, 商業施設化が進む既存大規模地下型駅舎内の火災時避難安全性の検討と防災改善手法 日本建築学会大会(関東) 学術講演梗概集, 2011

津本達矢, 長谷見雄二, 森山修治, 平田裕信 排煙塔付き地下道による地下駅の防災・交通機能改善計画手法～東京スカイツリー周辺地域におけるケーススタディ～日本建築学会大会(関東) 学術講演梗概集, 2011

神和宏, 森山修治, 長谷見雄二, 岡本衣未, 川里翠 エスカレータを用いた疑似高齢者を含む群集の避難行動に関する研究—その 1 実験概要・健常者群集の実験結果, 日本火災学会研究発表会 2011 年

神和宏, 森山修治, 長谷見雄二, 岡本衣未,

川里翠, エスカレータを用いた疑似高齢者を含む群集の避難行動に関する研究—その 2 シニア混合群集の実験結果とエスカレータ上の群集避難歩行特性, 日本火災学会研究発表会 2011 年

平田裕信, 長谷見雄二, 森山修治, 藤原海, Fire and Flood-Safety Planning of Existing Subway Station Complex, 8th

Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, (CD-ROM), 2010

藤原海, 平田裕信, 長谷見雄二, 森山修治, 地下空間の水害時および火災時避難安全性能向上策の提案: その 1 地下駅の浸水シミュレーションによる安全性向上の対策の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010

平田裕信, 長谷見雄二, 森山修治, 藤原海, 地下空間の水害時および火災時避難安全性能向上策の提案—その 2 地下駅の火災シミュレーションと水害・火災双方に有効な避難安全性能向上策の提案—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010

藤澤寛久, 山崎彩加, 森山修治, 長谷見雄二, 藤原海, 水害時の中小ビルにおける地下空間からの避難に関する研究: その 1 浸水に対する避難計画手法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010

山崎彩加, 藤澤寛久, 藤原海, 森山修治, 長谷見雄二, 水害時の中小ビルにおける地下空間からの避難に関する研究 その 2 避難警報システムの概念設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010

岡本衣未, 神和宏, 岡田尚子, 森山修治, 長谷見雄二, 群集におけるエスカレータ避難利用時の安全な停止/再起動条件に関する実験研究: その 1 目的と方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010

神和宏, 岡本衣未, 岡田尚子, 森山修治, 長谷見雄二, 群集におけるエスカレータ避難利用時の安全な停止/再起動条件に関する実験研究: その 2 実験結果及び分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷見雄二 (HASEMI YUJI)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号: 40298138