地下空間浸水時の車いす利用者の 安全避難に関する研究

SAFE EVACUATION OF WHEELCHAIR USERS FROM INUNDATED UNDERGROUND MALL BY PLUVIAL FLOODING

川中 龍児1*・石垣 泰輔2・尾崎 平2・戸田 圭一3

Ryuji KAWANAKA1*, Taisuke ISHIGAKI2, Taira OZAKI2, Keiichi TODA3

Underground inundation is occurred by pluvial, fluvial, tsunami and storm-surge flooding in urbanized area. It is very difficult for ordinary persons to evacuate from there, much more for handicapped persons. In this paper, safe evacuation of wheelchair users from inundated underground mall by pluvial flooding is investigated in the downtown of Osaka. From the results, it is found that wheelchair users should evacuate before the beginning of inundation, because they could not use elevators if ground level inundation would happen. Map of lead time for safe evacuation is also investigated in this paper. This map indicates that there is not enough lead time for safe evacuation.

Key Words : underground inundation, wheelchair user, safe evacuation, pluvial flooding

1. はじめに

短時間でかつ局所的な豪雨の発生の増加に伴い、都市 部では浸水被害が深刻な問題となっている. この豪雨の 特徴として短時間に局所的に大量の降雨をもたらすこと から予測が困難である. このような都市部での浸水被害 は地上部のみでなく地下にも拡大することが危惧されて いる. 2013 年 8 月 25 日に大阪で発生した集中豪雨では、 午前10時45分から10時55分までの間の10分間雨量が 27.5mm を観測した. これは約 20 分間で計画降雨量を上 回る猛烈な豪雨である. さらに、発生時間帯が商店等の 開店時と重なったことで,従業員が外部の状況を確認せ ずシャッターを開けてしまい, 道路に溜まった雨水がシ ョッピングモール内に浸水した.このため、内水氾濫が 発生し駅や商店が浸水被害を受けた.地下空間への浸水 の問題点として、「地上の様子が把握できない」、「階 段や通路等の狭い場所を大勢の人が避難する」、ことで ある. 前者の問題点は避難開始の遅れにつながり、後者 の問題点は混雑による避難の遅れにつながる.

このことから、地下空間からの安全な避難に関して 様々な検討がなされてきた.石垣ら¹¹は実物大の階段模 型を用いて,浸水時の階段を用いた避難の危険性につい て検討を行っている.その結果,水深の上昇に伴い避難 が困難になり、成人女性では 0.2m,成人男性では 0.3m 以上になると避難の所要時間は大幅に増加することを指 摘している.大西ら³は,実物大の模型実験の結果を用 いて,避難困難度指標として単位幅運動量に加え、運動 量と水深の大きさを表現できる単位幅比力を新たな指標 として提案している.吉川ら³1は,安全避難についての 検討を行うため,避難者属性を高齢女性とし,混雑度と 変化させた場合,接続ビルを避難所として考慮した場合, 避難開始が遅れた場合での地下空間浸水時の避難行動解 析を行っている.混雑度が大きいケースほど滞留者が多 く,また接続ビルを利用することで避難成功率が高まる ことを示している.

このように従来の研究では、地下空間から地上などへ 避難する際には、電源施設などの問題から原則として通 路や階段を用いた避難が行われることから、徒歩による 避難について検討がなされてきた.しかし、車いす利用 者等の避難経路が制限されるような場合についての検討 についてはあまりなされていない.車いす利用者が避 難を行う際に、水平避難のおいては通路のスロープや段

キーワード:地下空間浸水、車いす利用者、安全避難、内水氾濫

¹正会員 関西大学先端科学技術推進機構研究員 Researcher, Kansai University, (E-mail: kawanaka.ryuji@gmail.com)

²正会員 関西大学環境都市工学部教授 Professor, Faculty of Environmental and Urban Enginieering, Kansai University

³正会員 京都大学大学院工学研究科教授 Professor, Graduate School of Engineering, Kyoto University



図-1 実験水路



図-2 実験の様子(左:自走,右:補助者あり)

差,幅の狭い場所のような場所の通行が困難であること から避難経路が制限される可能性ある.垂直避難に関し ては単独で階段を用いることができないため,エレベー タ等の設備を用いた避難しかできない.このように健常 者の避難経路と比べて大幅な制限が課せられる.

本研究では、水災害時の地下空間における車いす利用 者の安全避難を目的に、現地調査による避難経路の検討 及びその結果をに基づく車いす利用者特性を考慮した安 全避難マップの作成を行った.

2. 浸水時の車いす避難実験

(1) 実験方法

浸水時に車いすの避難がどのように困難になるかについて検討を行うために、浸水中の車いすの走行実験を行った.図-1に示す水路は、長さ約11.2m、幅約2.9mである.避難時には他の歩行者がいること、移動は直線のみではないことから曲がり角を含めた走行経路とした.走行距離は水路一周19.5mとし.車いすのフットレストの先がゴール地点を通過するまでの時間を測定した.水深は浸水していない状態の0.0mから実験水槽に0.1m,0.2m及び車いすの後輪の約半分が浸水する0.3mの水を溜める4条件で行った.使用した車いすは一般的な車いすを用い、それぞれ水深では図-2に示すように自走と補助者あり(被験者を乗せた状態で背後から補助者が押す形式)で走行速度を計測した.被験者は20歳代の男性12人、女性4人である.また、実験結果を確認できるように水



図-4 浸水深と無次元化走行速度の関係

路の正面と側面にビデオカメラを設置した.

(2) 実験結果

図-3,4ははそれぞれ水深ごとの走行速度および無次 元化走行速度(浸水時の走行速度÷非浸水時の走行速 度)を示している.図より、車いすも歩行者と同様に水 深が増加するごとに走行速度が低下することがわかる. 自走と補助者ありでの走行速度について比較を行うと, 補助者がある場合のほうが走行速度は速いことがわかる. 無次元化された走行速度について見ると、 自走の場合で は走行速度の低下率は大きくなっている. これは、 車い すの走行方法に起因している. 自走の場合ではある程度 の慣性力を利用して走行するため、水深が増加して水と の抵抗が増えることでこの慣性力が利用できなくなるこ とで走行速度が大きく低下している.一方で、補助者あ りの場合では常に一定の力を与えて走行するため自走と 比べて走行速度の低下が小さくなっている. しかしなが ら、どちらの条件においても走行速度は約6割まで低下 していることから、歩行者同様に浸水による避難への影 響は大きいと考えられる.この結果より、以下では車い す避難は浸水する前のみを安全避難とした.



図-5 対象地の概要 (Yahoo mapに加筆)

3. 車いす利用者の避難所要時間マップ

車いす利用者は避難経路が制限される.また,階段は 利用不可能であり,通路上のステップ等については迂回 する必要がある.そこで,車いす利用者がどのような避 難経路を通行可能かについて現地調査を行い,その結果 をもとに車いす利用者の避難所要時間マップを作製した.

(1) 調査対象地下街の概要

調査の対象地域は図-5に示す大阪の地下街を対象に行った.この地域には駅が7駅あり、地下に改札が存在するのがJR大阪駅、阪急梅田駅を除く5駅である.ここには、百貨店を含む商業施設やオフィスビルが存在し、大阪市営地下鉄の梅田駅・東梅田駅・西梅田駅の3駅の利用者は1日約69万人である.

(2) 調査方法

図-5に示す対象地下街をAからFの6エリアに分割して それぞれのエリアについて調査を行った.調査項目は車 いす利用者の避難を考慮するために,以下の項目につい て調査を行った.

a) 通路幅

車いすにおいては、通行しやすい幅は1.2mとされてい ることから、この幅以下の通路については避難が困難で あるため、狭い場所では幅について計測を行った.

b) 段差, スロープ等の位置

対象地の地下街では、平坦な通路上に数ステップの階 段やスロープが存在する.これは、建築されて年や地下 鉄の軌道等によってレベルの違う地下街を接続するため である.ステップについては通行不可能であるが、スロ ープについても7度を超える勾配については自走が困難 となるためその所在について調査した.

c) エレベータ

車いす利用者が自力で鉛直避難するために必要となる. しかしながら、入り口や庫内のサイズによっては車いす



図−6 現地調査結果



図-7 避難所要時間マップ

では利用できないものも存在する.また、対象地下街 では地上までしか行けないエレベータも存在するため到 達可能な階数や利用可能時間等も併せて調査を行った.

d) 避難可能な接続ビル

従来の研究においても接続ビルへの避難は有効である ことが分かっている.本研究においては、エレベーター での避難を前提としていることから,接続ビル内のエレ ベーターも利用可とした.また,接続ビル内のエレベー ターまでの通路も通路幅と同様に確認を行った.

(3) 避難所要時間マップの作製

図-6は現地調査結果を、図-7は現地調査の結果をもとに、エレベータで3階以上へ通じる場所を目的地とした場合の避難所要時間を示した図である. 避難所要時間の算出方法は、対象地を2mの格子に分割し、利用可能なエレベータを目的地として最短となる経路を算出した. その際に、現地調査で得られた通行不可能な通路は経路とせず迂回させた. 車いすの走行速度は前述した浸水しない場合の車いすの走行速度である0.7m/sを用いた. 図より、ほとんどの場所からおおむね5分以内には避難可



図-8 安全避難マップ

能なエレベータに到達可能なことが分かる.しかし,エ リアDの東側の一部では10分以上避難に要する箇所が存 在する.この位置については,通路改修工事がなされて おり,接続ビルへの通路や経路が存在しないため,北側 のエレベータを利用するしかないためことが原因である.

4. 車いす利用者を考慮した安全避難時間マップ

これまで,得られた結果をもとに地下街浸水時の車 いす利用者の安全に避難について検討を行う.2015年度 の大阪市地下空間浸水対策ガイドラインによると,水防 活動時に安全性を考慮してエスカレータやエレベータを 停止させるとされている.このことから,車いす利用者 が単独で避難する場合にはこれよりも前に避難を完了す る必要がある.このことを考慮して車いす利用者の安全 避難時間について検討を行った.

(1) 安全避難の検討方法

車いすの安全な避難を考える場合,前述のとおり浸水 が開始する前に避難を完了させる必要がある.つまり, 降雨開始から,避難開始までの時間+水平避難時間+垂直 避難時間が降雨開始から流入開始時間までの時間より小 さくなければならない.水平避難時間と垂直避難時間に ついては「3.車いす利用者の避難所要時間」を用いるこ とが可能である.降雨開始から流入開始時間については 浸水シミュレーションを行うことで算出した.対象とし た豪雨は2008年に発生した岡崎豪雨を用いた.この降雨 を用いて下水道を考慮した浸水計算を行い,対象の地下 空間への流入開始時間と流入量を計算した.地下空間の



図-9 避難開始時間と避難困難箇所の関係

浸水計算には一般的な2次元平面の浸水計算を行い地下 空間への浸水の広がりを計算した.

(2) 車いす利用者の安全避難マップ

図-8は対象とした降雨での大雨警報発令後から21分後 に避難した場合から27分後に避難した場合の避難不可能 場所を示した図である.ここでの大雨警報発令時間は大 阪府の基準である1時間の降水量が40mm以上を用いた. 図は大雨警報発令時間+避難開始時間+避難時間が降雨 開始から流入開始時間までの時間よりも長くなる場所, すなわち避難ができなくなる場所に色を付けいている. この結果より,避難開始が2分遅れるだけで急激に避難 ができない場所が増加していることが分かる.

図-9は避難開始時間ごとの避難困難箇所の割合を示している.この図より,警報発令から20分後から急激に避難困難になる箇所が増加していることが分かる.

5. まとめ

本研究では水災害時の地下空間における車いす利用者 の安全避難に関して検討を行い,現地調査と浸水計算に 基づいて安全避難マップの構築を行った.今後は,地下 鉄駅からの車いす避難を検討する.

参考文献

- 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川
 -:実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検討,水工学論文集,第 50 巻, pp.583-588, 2006.
- 2) 大西良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一:地下空間浸水時の避難困難度と利用者の水防意識について、水工学論文集,第51巻,pp559-564,2007.
- 3) 吉川雅志・石垣泰輔・川中龍児:大規模地下空間に おける浸水時の避難行動の検討,地下空間シンポジ ウム,第18巻,pp51-56,2013.