

地下空間浸水時の避難困難度について DIFFICULTY OF EVACUATION DURING UNDERGROUND FLOOD

石垣泰輔¹・馬場康之²・戸田圭一³・島田広昭⁴

Taisuke ISHIGAKI・Yasuyuki BABA・Keiichi TODA・Hiroaki SHIMADA

Underground spaces such as underground shopping arcades, subway stations and basements are prone to urban floods. People should evacuate from the underground spaces as soon as possible when a flood flow intrudes there. In this paper, the difficulty of evacuation from underground spaces is discussed by using the experimental results those are obtained by using real size model of door and staircase, and by using the results of questionnaire research to underground space users. From the results, it is found that the water depth of 0.3m on the ground level is the limit of safe and easy evacuation through staircases, and that the water depth in between 0.3m and 0.4m in front of the door is the limit to open it without difficulties. As water depth would reach the limits in a short time, people in the underground space should evacuate from there as soon as possible. The problems are that few people have interests on the underground flood and that many people want to be there during heavy rains. It is an urgent subject to establish the evacuation plan and the rescue system from underground spaces.

Key Words: urban flood, underground space, evacuation criteria, real size model, questionnaire research

1. はじめに

気象庁の異常気象レポート2005によると, 近年, 日降水量が100mm以上などの大雨の出現回数が日本の多くの地域で増加しており, 地球温暖化の影響があらわれている可能性がある, といわれている. また, 1時間雨量が50mmあるいは100mmを上回る降雨の発生回数も増加傾向にある. このように短時間に集中した雨が降り, 各地に甚大な被害が発生している. このような豪雨が都市域を襲った場合, 道路舗装の影響などにより降った雨は地面に浸透することなく, 多量の水が下水や河川に集中し, 短時間の内にその排水能力を上回る. その結果, 下水による排水ができない水による浸水(内水氾濫)や川から溢れた水による浸水(外水氾濫)が発生する. 1999年と2003年の福岡, 2000年の名古屋で発生した水害では, 地下鉄や地下街, ビルの地下室が浸水し, 逃げ遅れた人が犠牲となる被害も発生している. このような水害は, 都市型水害と呼ばれ, 複雑かつ多層化した都市域に新たな形態の水害を発生させている. 都市型水害による人的被害をなくすには, 地下浸水に関する意識を持ち, 迅速な避難を行うという自助努力に負うところが大きく, それが生死を分けることとなる. なお, このような地下浸水は, 高潮および津波時にも発生する可能性があることを考慮しておく必要がある. ここでは, これまでに行った京都大学防災研究所流域災害研究センターと関西大学工学部都市環境工学科環境防災工学研究室との共同研究成果^{1), 2), 3), 4)}を示し, 地下空間浸水時の避難困難度について検討する.

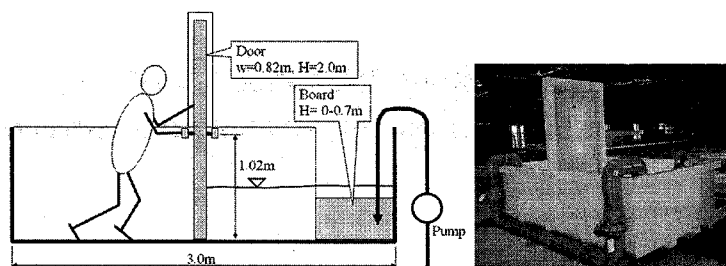
キーワード: 都市型水害, 地下浸水, 避難限界, 実物大模型実験, 意識調査

¹正会員 関西大学工学部都市環境工学科 教授

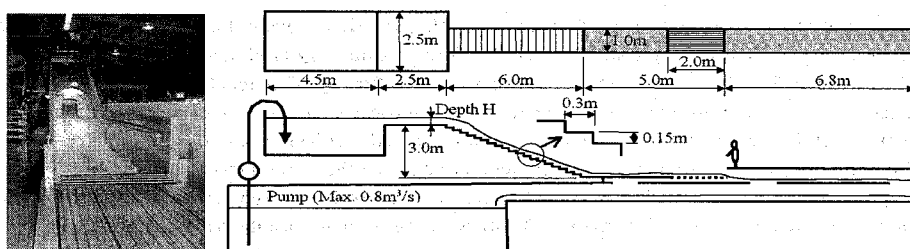
²正会員 京都大学防災研究所 助手

³正会員 京都大学防災研究所 教授

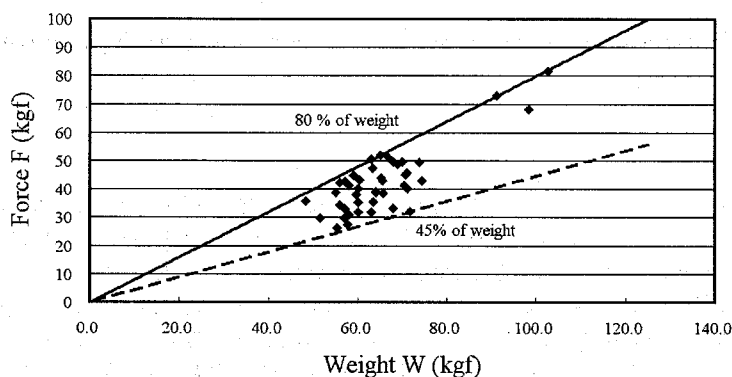
⁴正会員 関西大学工学部都市環境工学科 専任講師



図－１ 実物大ドア模型実験の概要



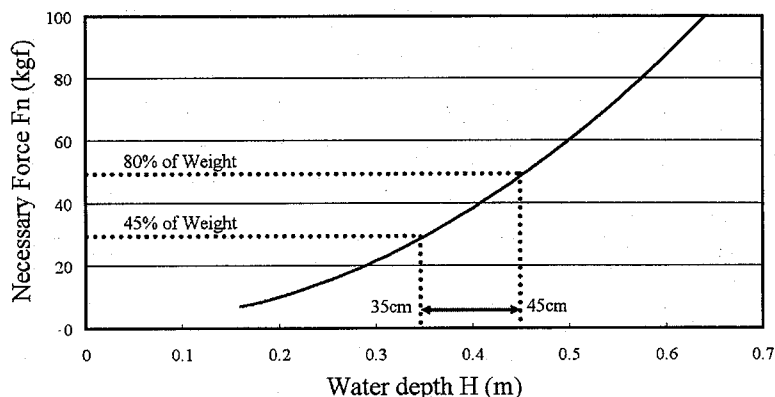
図－２ 実物大階段模型実験の概要



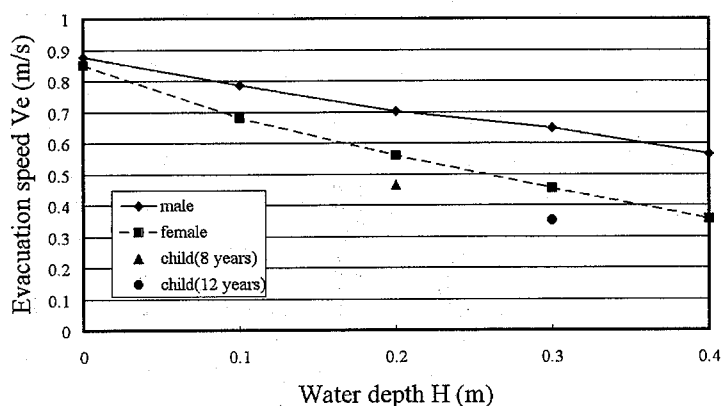
図－３ ドア押し開け力と体重との関係

2. 地下空間浸水時の避難困難度に関する実験

浸水時の地下空間からの避難は、ビルなどの小規模地下空間からの避難の場合は、地下室ドアから通路・階段・地上という経路、地下街や地下鉄などの大規模地下空間からの避難の場合は通路から階段・地上という経路で行われる。これまで、実規模のドア模型および階段模型を用いて避難に関する実験を行ってきた^{1),3),4)}。図－１は、実物大の地下室ドア模型実験の概要を示しており、ドア前の水槽に水を貯め、その水深を変化させてドアを押し開けて避難することが可能かどうかを実験した。また、図－２は、実物大の階段模型実験の概要であり、階段上部を地上と想定し、そこでの水深Hを変化させた場合（0cm から 40cm）に、20 段の階段とそれに続く通路を避難する際の所要時間および危険度を検討する実験を行った。階段を流れ下る流れの速さは洪水時の河川の流速を上回る速度となり、流れの激しさと音だけでも恐怖を感じるものである。



図－４ ドア押し開け必要力と地上水深との関係で示したドア押し開け避難限界水深

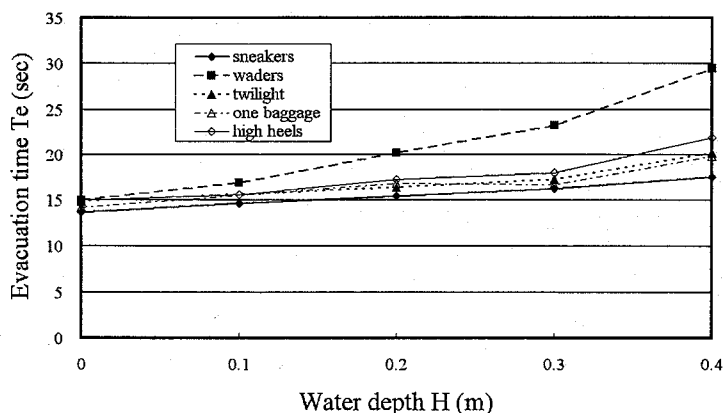


図－５ 性別および年令別の避難速度

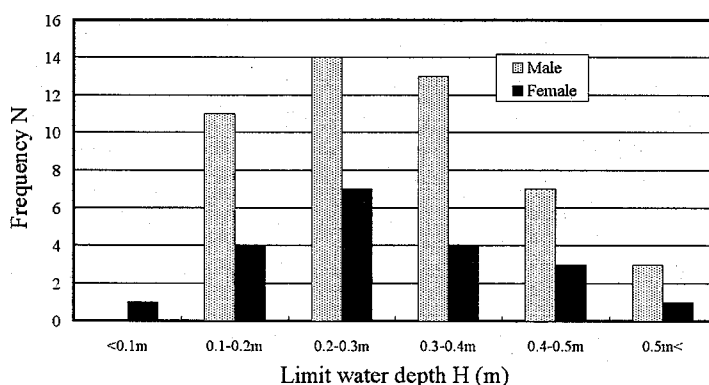
実規模ドア実験では、成人男性 47 名、女性 12 名の合計 59 名のデータを用い、地下浸水時に地下室ドアを開けて避難する際の困難度について検討を行った。通常、地下室ドアは、火災時の避難を考えて押し開きドアになっているため、ドアを押し開けるのに必要な力と個々人が持つドア押し開け力の測定を、ロードセルを用いて行った。測定の結果、個々人のドア押し開け力は体重と相関があることが分かった。その結果を成人男性について示したものが図－３である。図より、体重と押し開け力とに相関が認められ、測定結果は、体重の 45～80% の範囲の分布することが分かる。成人女性では、測定結果が体重の 40～70% の範囲となった。これらの結果を、図－４に示すように、ドア押し開けに必要な力の測定結果（図中の実線）に当てはめると、押し開けが可能なドア前面水深の範囲を知ることができる。図より、成人男性では 35～45cm の範囲となる。また、同様の実験を行った結果、成人女性では 29～37cm が避難の限界とするのが妥当であることが知れた。

次に、実規模階段実験の結果を用い、階段を利用して安全に避難できる条件について検討する。以下では、成人男性 66 名、女性 25 名および小学生 11 名（8 歳）、中学生 3 名（12 歳）を加えた合計 105 名のデータを用いて検討を行う。

図－５は、5m の通路と 20 段の階段を避難するのに要した時間（避難時間）の測定結果を用いて算定した避難速度と地上水深との関係を示したものである。図より、避難速度は地上水深が増加するにつれて減少することが分かり、地上水深 30cm で、男性では通常時（地上水深 0cm）の約 70%、女性では約 50% となっている。また、小学生および中学生は、女性よりもさらに避難速度は遅く、成人男性に比べて避難するのに 1.5～1.9 倍の時間が必要となる。このように、性別および年令により避難速度が異なるが、実際の避難状況を考えると、これらの要素の他に、服装、照明の有無、手荷物などが避難速度に影響すると考えられるため、



図－６ 服装等の条件を考慮した場合の避難所要時間

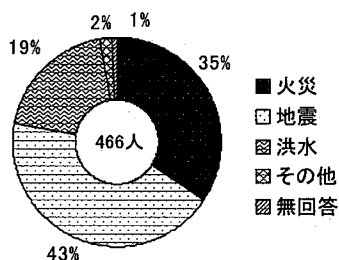


図－７ 階段実験経験者が考える避難限界地上水深の頻度分布

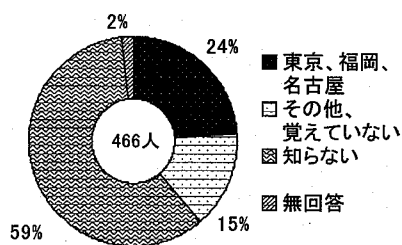
これらに要素を付加した条件での実験を行った。図－６は、種々の条件下での成人女性の結果を、避難所要時間と地上水深との関係で示したものである。図中、スニーカー (sneakers) とハイヒール (high heels) は、運動靴あるいはハイヒールを履いた場合を想定 (服装は半ズボンあるいはスカート)、胴長靴 (waders) は長ズボンに靴を履いた場合を想定、薄明かり (twilight) は一部停電した場合を想定、片手荷物 (one baggage) は片手に荷物を持った場合を想定したものである。図より、いずれの場合も、地上水深の増加に伴って避難所要時間は増加するが、荷物や照明が避難時間に与える影響はそれほど顕著ではなく、長ズボンを履いた場合を想定した結果に見られるように、服装による影響が大であると言える。これらの結果と、被験者へのアンケートの結果が示している地上水深 30cm 程度を避難限界と考える人が多いという図－７の結果を考慮すると、安全避難の限界としては、地上水深が 30cm 程度とするのが妥当と考えられる。また、これらの実験を通して、階段およびドア実験を体験した人は地下浸水の危険性を強く認識することが確認された。

３．地下空間利用者の水害に対する意識

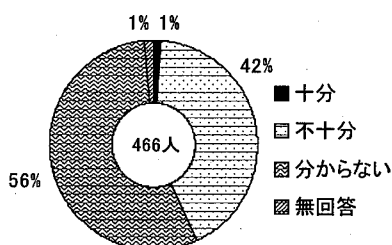
浸水の危険性がある地下空間は、ビルの地下室などの小規模地下空間および地下街や地下鉄といった大規模地下空間である。ここでは、大阪梅田地下街を中心とする利用者を対象に行ったアンケート調査結果⁵⁾を示し、地下空間利用者の水害に対する意識とその問題点について述べる。調査は、2005年10月～11月に実施したもので (JR大阪駅での街頭配布および知人への個別配布)、回収率は66.7% (466名) である。図－８は、地下空間利用時に発生すると怖い災害について聞いた結果であり、地震が43%、火災が35%と8割近くの人が地震か火災を恐れており、水害は19%と5人に1人程度と少ない。また、これらの地下浸水被害の認



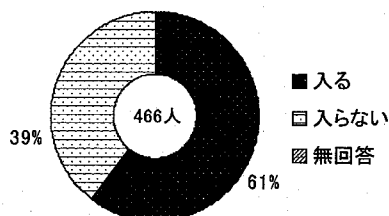
図－８ 地下空間利用時に発生すると怖い災害



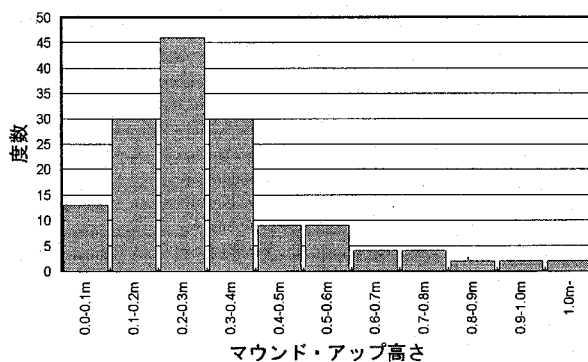
図－９ 過去の地下水害の認知度



図－１０ 地下空間の水害対策



図－１１ 大雨時の地下利用



図－１２ 地下街入り口のマウンド・アップ高さの分布（大阪梅田）

知度は、図－９に示すように、発生都市名まで答えた人は24%と少ない。一方、地下空間の水害対策については、図－１０に示すように不十分あるいは分からないと答えた人が98%となっており、ほとんどの人は水害対策について認識していない、というのが現状である。このような状況であることから、図－１１に示すように、大半の人が大雨時に地下を利用することとなる。なお、地下利用の理由としては、66%の人が濡れたくない、と答えている。以上のように、地下空間利用者の水害に対する危険意識は低く、その上、地下浸水に対する知識も乏しく、意識と危険回避行動に矛盾が見られる。このような状況を改善するためには、地下浸水の危険性および迅速な避難の必要性を利用者に伝えてゆくことが喫緊の課題である。

4. おわりに

現在、地下空間の浸水軽減対策としては、出入り口のマウンド・アップ、止水板および土嚢の設置などが行われている。大阪梅田地下街への出入り口 152 箇所について調査した結果⁶⁾、図-12に示すように、道路路面を基準とするマウンド・アップの高さは、30cm 前後が多い。したがって、70cm 程度の止水板を設置すれば、深さが 1 m 程度まで浸水に対応可能である。しかしながら、止水板の構造にもよるが、組み立て式の止水板であれば、設置に 1 箇所につき 20 分～30 分の時間が必要になる。また、地下街や地下鉄の職員は、利用者の避難誘導を優先するため、地下浸水の発生時には止水板の設置作業への従事が遅れるという状況が想定され、止水板の早期設置の実現には解決すべき問題が残っている。

現在、地下街および地下鉄の管理者は、火災やテロ・事故に対する避難計画を作成し、訓練を実施している。一方、地下浸水に対しては、気象情報の収集、止水板・土嚢の配置は実施しているものの、避難計画の作成までには至っていなかったが、平成 17 年 5 月の水防法改正に伴って浸水想定区域内の地下街等の所有者又は管理者による避難確保計画の作成が義務付けられたことを受け、地下空間管理者により、地下浸水時の避難計画が作成されつつある。しかしながら、大規模地下空間は、複数の地下街・地下鉄および隣接するビルから構成されており、安全避難の実現には、それらの管理者間の連携・調整が必要であるが、多くの問題が残されているのが現状である。また、より危険度が高いビルの地下室等の小規模地下空間からの避難では、個々人の危険性の認識と迅速な対応に依存しているが、前述したように意識が高いとは言えず、利用者の意識向上策が課題である。

以上のように、地下空間浸水時の避難は非常に危険であり、大雨時には地下空間に入らない、また、できるだけ早く地上に避難するなど、自らを守ることが重要である。なお、本研究の一部は、平成 18 年度関西大学重点領域研究助成金において、研究課題「都市型水害時における地下空間の危険度評価とその減災対策に関する研究」として研究費を受けたものの成果として公表するものである。

参考文献

- 1) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川 一・吉田義則・多河英雄：実物大階段およびドア模型を用いた地下空間からの避難に関する水理実験，京都大学防災研究所年報，48 号 B，pp. 639-646, 2005.
- 2) 戸田圭一・岩村真理・間島真嗣・石垣泰輔：都市水害時の地下浸水の危険性について，土木学会，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 11 巻，pp.163-170, 2006.
- 3) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川一：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，(98)，2006. (on CD-ROM)
- 4) Ishigaki, T., Baba, Y., Toda, K., Nakagawa, H. and Shimada, H. : Difficulty of evacuation from underground space in urban flood, Proc. of the 7th International Conference on Hydroinformatics, vol.1, pp.614-620, 2006.
- 5) 大西良純・石垣泰輔・島田広昭・川中龍児：地下空間利用者の水害に対する意識調査，平成 18 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，II-44，2006.
- 6) 畑中雅博・山佳玲子・石垣泰輔・島田広昭・川中龍児：大規模地下空間出入り口の浸水時避難危険度評価に関する調査，平成 18 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，II-39，2006.