

地下浸水体験実験の教育・広報活動への展開 DEVELOPMENT OF EVACUATION EXPERIMENTS TO PUBLIC INFORMATION AND EDUCATION ACTIVITY FOR DISASTER PREVENTION

馬場 康之¹・石垣 泰輔²・戸田 圭一³・中川 一³
Yasuyuki BABA・Taisuke ISHIGAKI・Keiichi TODA・Hajime NAKAGAWA

Many urbanized cities in Japan are located in alluvial plains, and the vulnerability of those cities to flood disaster is highlighted by flood attacks due to heavy rain fall or typhoons. Underground spaces like shopping arcades, parking lots and basements are also flood-prone areas, and some urban floods have caused inundation into underground space and inflicted severe damages on urban functions and infrastructures. When water intrusion to underground space occurs under flood condition, early evacuation is one of the most important measures to reduce the damage. The evacuation from underground space in urban flood has been investigated by using a real size model of staircase, and the evacuation from basement is also tested by using a real size model of door. From the experimental results, it is found that the water depth of 0.3m on the ground level is the limit of safety evacuation through staircases, and that the water depth of 0.4m in front of the door is the limit to open it for safety evacuation. These real size models of staircase and door are also used for evacuation experiments for the general public and news gathering activities by news media. This paper presents an overview of evacuation experiments for the general public and news gathering activities, and discusses the influence of the experiments and other activities on the increase of awareness about disaster prevention.

Key Words : Inundation in underground space, evacuation experiments, disaster prevention

1. はじめに

地下空間の有用性およびその利活用への関心の高まりに応じて、地下空間で起こる可能性のある災害に対する関心も高まりつつあり、平成17年には水防法が改正され¹⁾、地下空間の浸水時における避難確保計画の作成が定められた。また、昨今頻発する傾向にある集中豪雨では、短時間のうちに局地的な浸水被害が発生し、大規模な地下空間のみならず、ビルの地下駐車場や各戸の地下室などの小規模な地下空間における被害の発生が懸念されている。

筆者らの研究グループでは、地上氾濫、地下浸水に関する実験的検討ならびに数値シミュレーションによる浸水解析などを行い、氾濫水の挙動や浸水被害の予測に関する結果を得ている。また、地下空間への浸水発生時には素早い避難行動が重要であることから、実物大の実験装置（階段模型、ドア模型）を用いた避難行動時の危険度評価に関する実験も行い、地下浸水時の危険度評価に資する結果が示されつつある^{2), 3), 4), 5)}。

上記実物大模型については、全国共同利用の施設として他大学、研究機関の研究者に利用される他、各種団体の研修、見学活動、マスコミなどの取材などにも数多く利活用されている。ここでは、実物大模型を用いた地下浸水に関する体験実験が一般対象の教育・広報活動に広く展開されている状況について、その概要を報告する。

キーワード：地下浸水、避難体験実験、防災教育・広報活動

¹ 正会員 京都大学助教 防災研究所流域災害研究センター

² 正会員 関西大学教授 工学部都市環境工学科

³ 正会員 京都大学教授 防災研究所流域災害研究センター

2. 実物大模型による地下浸水体験実験の概要

実物大階段模型（階段模型，ドア模型）は，京都大学防災研究所・宇治川オープンラボラトリー内に設置されており，地下浸水時の避難行動に関する危険度評価を目的とした実物スケールの実験が行われている．これまでに行われた実験を通じて，避難限界に関する結果が示されつつあるので，以下に実験およびその結果の概要を示す．

(1) 実物大階段模型

図-1は実物大階段模型の概要を示したものである．装置は，高水槽とそれに続く地上を想定した平坦部，踏み板長さ0.3m，け込み0.15mの20段からなる高低差3mの階段部，および10mの水路部から構成されており，階段部，水路部の幅は1mである．高水槽から平坦部を通り階段を流下した水は，水路および踊り場下の排水口より低水槽に戻り，4台のポンプにて最大 $0.8\text{m}^3/\text{s}$ までの流量が高水槽に循環される．実験では，高水槽の平坦部での水深を地上水深として条件設定を行っている．

階段状の流速を計測した結果が図-2である．階段状を流下する流れは，高速かつ気泡を多く含むため，従来の実験室で用いている計測器の使用が困難であり，ここでは可視化法により流速を計測した．流速計測時には，紫外ランプを照明に使用し，蛍光のテニスボールをトレーサとしてビデオ撮影を行い，あらかじめ設定した側線を通過する時間を画像解析により計測する方法で流速を算定した．図-2より，地上水深が0.3mで流速は 4m/s 程度となり，地上水深が0.4m以上では，階段の中段より下流では 5m/s を超える高速流となっている．

本階段模型を用いた浸水時の避難体験実験は，最初に流水なしの状態での避難時間を測定し，その後，上流端（地上と想定）での水深を0.1m，0.2m，0.3m，0.4mとして避難時間を測定する方法で行われている．実験に際しては，0.3mおよび0.4mのケースにおいては命綱およびヘルメットを装着し手，体験者の安全を確保している．避難体験実験を通じて得られた主な結果は次の通りである．

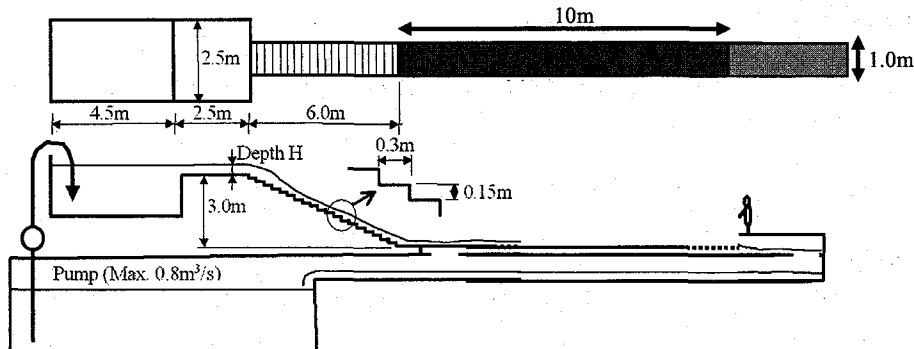


図-1 実物大階段模型の概要

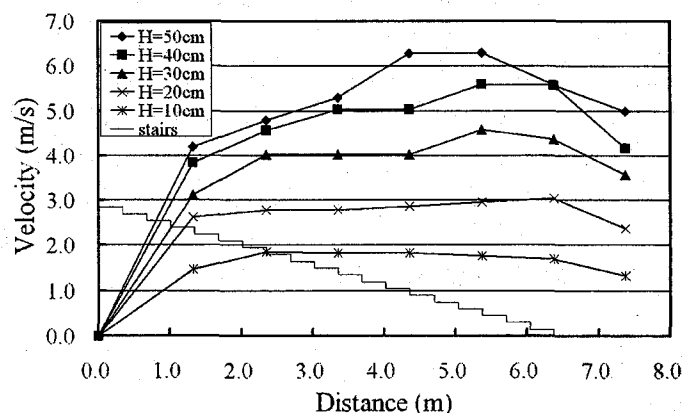


図-2 実物大階段模型上の流速分布

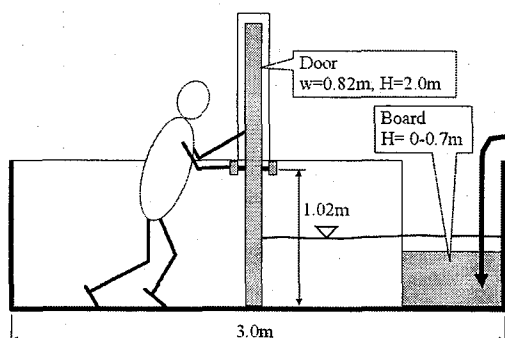


図-3 実物大ドア模型の概要

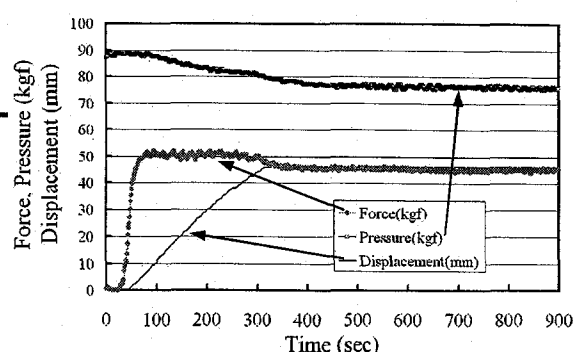


図-4 作用力、水圧、ドア変位測定例

- 地上の浸水深が増加するに従って、男女ともに階段を通じた避難に要する時間が増加する結果となった。浸水深の増加による避難の所要時間の増加は、男性よりも女性の方が大きく、浸水深40cmの場合に、本実験結果においては女性は男性よりも10秒以上避難に時間を要する結果となった。
- 大学生以上の一般の被体験者の結果と、小学生・中学生の実験結果を比較すると、小、中学生ともに一般女性よりも避難に時間を要する結果となり、子供の避難については大人よりも早い段階で避難が困難に可能性がある
- 服装条件は避難時間への影響の大きな項目であり、胴長靴のような流水抵抗の大きな服装を着用した場合に避難時間が大きく増加する結果が得られた
- 階段へ通じる通路部分の水深が増加すると、通路部分での移動時間が増える結果となり、避難により多くの時間を要する

体験実験後には避難限界水深に関するアンケートが実施され、体験実験結果と合わせた結果、被験者の多くは、男女ともに地上での浸水深が30cm前後で、階段を通じた避難行動が困難になると感じているという結果が得られている。

(2) 実物大ドア模型

浸水時の地下空間から避難においては、まず居室等の空間から通路などに出て、避難行動を開始することになる。ドアの前に湛水した水圧により、ドアが開きにくくなる（もしくは開かない）事例はこれまでも報告されており、1999年に発生した福岡・博多駅周辺で河川水が氾濫した際には、地下で作業をしていた女性が湛水のためにドアを開けて避難することができずに被災するという不幸な事例も発生している。

図-3は実物大ドア模型の概要であり、ドアの両側に水槽が設置されたシンプルな構造の模型となっている。ポンプからくみ上げられた水は片方の水槽に溜められ、水槽内の水深は各水槽に設けられた角落しの高さを変えることで設定できる。角落しの高さにより、ドアを開ける（押し開け、引き開け）際のドア前面の水深を変化させた条件の下で、避難体験実験および押し開けに必要な力の計測が行われている。

図-4は、ジャッキを用いてドアの押し開けに必要な力を計測した一例である。計測装置の概要は既報⁴⁾に示す通りであり、ロードセルによりジャッキがドアを押す力を計測している。図-4に示す計測結果は、ドア前面の水深が約46cmの条件で実施されており、図中には水深、ドア幅から求められた全水圧、ドアの変位および計測された力の時間変化が示されている。計測では、ジャッキを用いてほぼ一定の速度でドアを開け、ロードセルにより計測された力のピーク値を、ドア押し開けに必要な力とした。

機械的な力の計測と並行して、体験者がドアを押す際の力の計測も行っている。一般男性の計測結果と、体験者の体重の関係を示したものが図-5である。この結果から、一般男性は体重の5～8割程度の力でドアを押すことができることがわかる。同様に得られた女性の体験者による計測結果を総合すると、ドアを押すことができる力は、体重の4～8割程度であることが推測される。機械的および体験者の実験により得られたドア押し開けの力に関する結果をまとめたものが図-6である。ここで計測結果に基づいて、体重

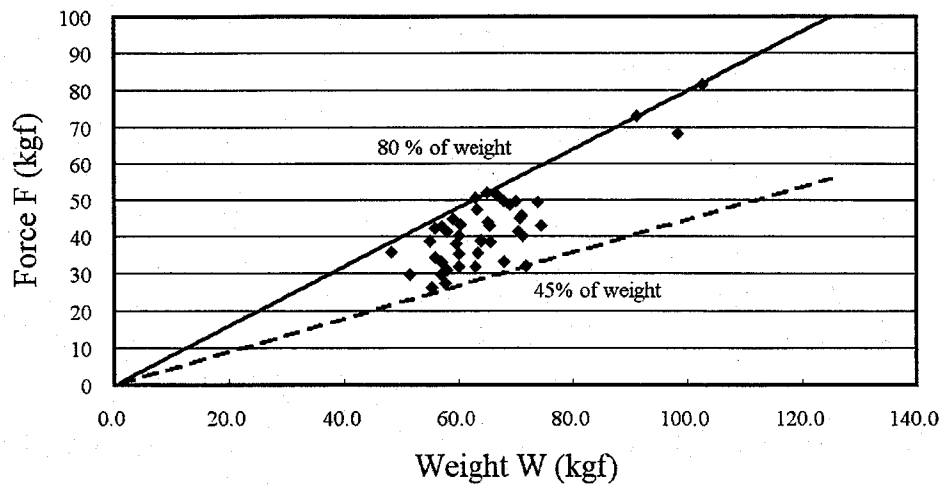


図-5 体験者（男性）の体重とドア押し開け時の力の計測結果の関係

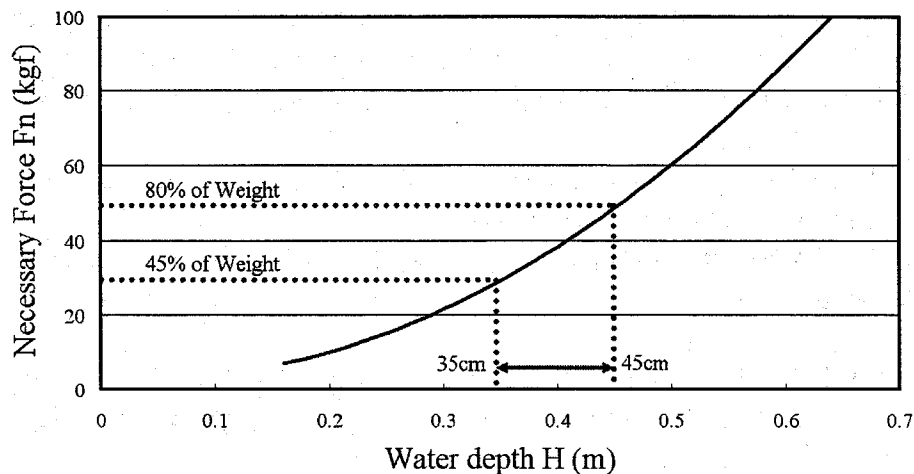


図-6 安全な避難のための限界と推定されるドア前面の水深

65kgの一般男性が体重の5～8割程度の力でドアを押すことができるとすると、発揮される力によりドアを開けることができる状況、すなわち避難限界に相当する状況は、ドア前面の水深が40cm前後であることがわかる。一般女性の場合にも同様の検討により、避難限界に相当するドア前面の水深は30～35cm程度であることが示されている。

3. 実物大模型を用いた体験実験の教育・広報活動への展開

上述のように実物大の階段模型、ドア模型を用いた実験結果は、地下空間の浸水時の被害軽減、避難対策などに有用な結果を示している。また、これらの実物大模型は体験型の実験施設であることから、各種研修、見学を通じた防災意識の啓蒙、向上にも有効であり、マスコミなどの取材活動を通じて広く実験結果が公開されることで、日常では体験できない災害時の対応などに関する知識を持つ機会が増えることが期待される。以下では、実物大模型を用いた地下浸水に関する体験実験が教育・広報活動に利活用されている状況について概説する。

これまでに実物大模型を用いて行われた研修、見学等には次のようなものがある。

- 小、中、高校生による見学、体験実験
- 民間団体、防災組織等による体験型研修

- 消防、警察関係者の災害対応に関する研修、訓練
- 海外からの来訪者による体験実験

この他にも、実験施設の一般公開の際の体験実験や、小、中学生と保護者を対象とした体験型のイベントなどを通じて、地下浸水時の避難に関する研究成果が防災意識の向上など防災教育の一環として活用されている。さらにマスコミによる取材活動にも随時対応しており、研究成果が地下浸水時の避難に関する報道等に生かされている。平成18年6月～平成19年5月の1年間を例にとると、全18件の研修、見学およびマスコミの取材が行われている（研修、見学：12件、取材：6件）。上記研修、見学のごく一部には時間の都合で実験施設の見学のみの場合もあったが、ほぼ全件において階段模型、ドア模型による体験実験（および実験の様子）の取材が実施されている（写真1、2：研修、見学および取材時の様子）

実物大模型を用いた体験実験による研修、見学には、上述の通り一般を対象とした公開実験的なものから、消防、警察関係者を対象とした専門的なものまでを含み、また大学生、高校生の学習目的の見学や海外からの来訪者の見学が含まれている。これらの研修、見学を通じて行われた実物大模型による体験実験において、浸水時における避難行動の困難さを、幅広い年齢層、立場の方々に実体験していただくことができ、体験後には地下浸水時の避難が困難なものであると認識していただいていることが体験後のアンケート結果などから示されている。本体験実験で設定されている状況は、実際の災害に直面した状況に比べて理想的（実際には想定される停電による視界不良などもない、精神的にも落ち着いた状態で体験できる）な状態で実施されているものの、通常の生活の中では到底体験し得ない貴重な体験であることは言うまでも無く、体験の有無が防災意識の持ち方や災害時の行動に大きく寄与することが期待される。

また、マスコミ等による取材の結果は、テレビや教育教材用のビデオなどを通じて広く放映、公開されている。このように映像を媒体として実験の様子が公開されることは、実際に実物大模型での実験に参加できない方々にも浸水時の避難が如何に困難なものであるかを訴えることができ、少なからず防災意識の向上に資する結果につながると予想される。さらに、作成されたメディアコンテンツは繰り返しの利用が可能であるので、継続的な広報活動の一助としても期待されることである。

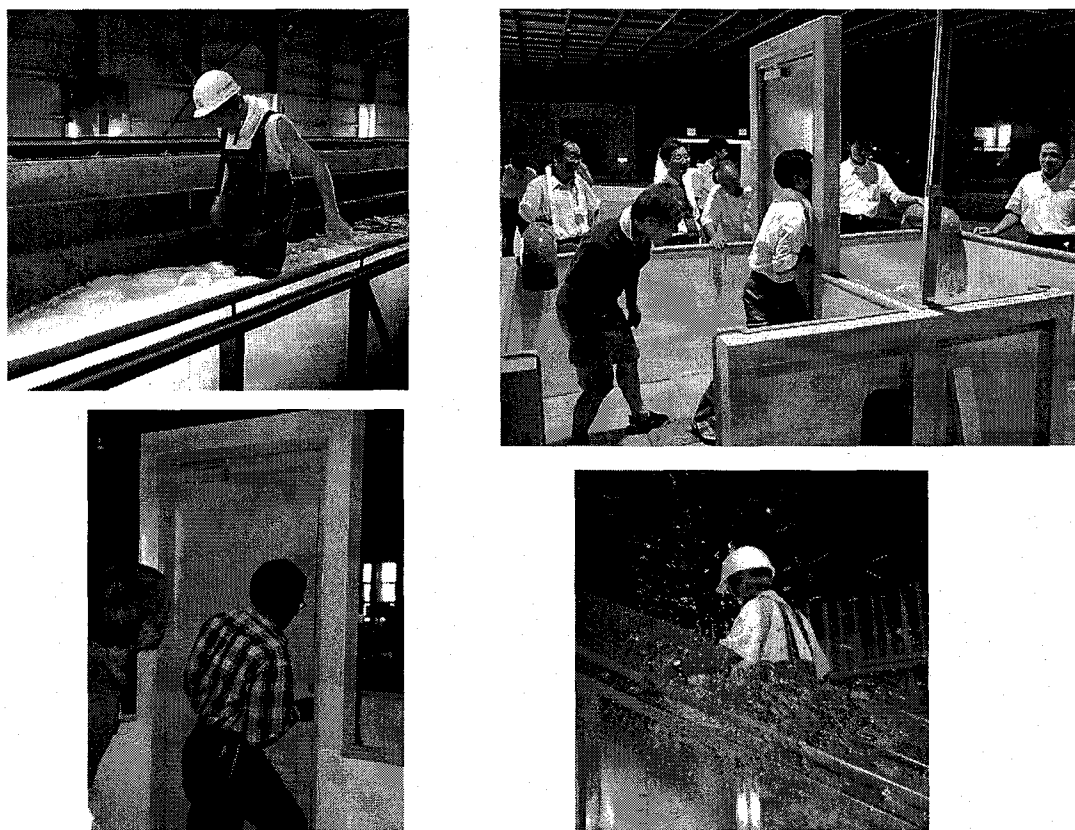


写真-1 体験実験の様子



写真-2 研修、取材の様子

4 おわりに

ここでは、実物大模型を用いた地下浸水に関する体験実験が、体験型の研修、見学として実施され、一般対象の防災教育および防災に関する広報活動に広く展開されている状況についてその概要を述べた。実施されている体験実験は、実験棟内で行われているため実際の災害時と比較してやや安易な状況下であることは止むを得ないところであるが、日常生活の範囲内では遭遇することのほとんどない災害体験ができるという点において、その有用性については言うまでもない。実体験を通して得た地下浸水時の避難に関する認識は防災意識の向上に有効であり、マスコミの取材活動による報道、ビデオなどの教材の利用などを通じた広範囲かつ継続的な広報活動についても、その効果が今後も期待されるところである。

謝辞：実物大模型（階段模型、ドア模型）での体験実験にご協力いただきました関係者各位ならびに参加者のみなさまに謝意を表します。

参考文献

- 1) 水防法研究会 編：逐条解説 水防法，ぎょうせい，2005.
- 2) 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，京大防災年報第 48 号 B，pp.639-646，2005.
- 3) 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，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 11 巻，pp.163-170，2006.
- 4) 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 (on CD-ROM)，2006.3.
- 5) 大西良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一，地下空間利用者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，pp.559-564. 2007.