

水没した自動車からの避難に関する体験実験 EVACUATION TESTS FROM A SUBMERGED VEHICLE

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 and basements are also flood-prone areas, and they inflicted severe damages on urban functions and infrastructures when urban flood occurs. In a similar way, underground parking lot and underground motorway are also prone to floods. Some accidents of submerged vehicles are caused around low-lying areas like "bowl-shaped" depression in recent days. Similar accidents are easily expected to happen in the underground parking lot and motorway, and it's important to investigate the risk to safety evacuation from a submerged vehicle. This paper presents an overview of evacuation experiments from a submerged vehicle and show some experimental results.

Key Words : urban flood, submerged vehicle, evacuation through the doors, real scale model

1. はじめに

人口、資産の集積する都市域において、地下空間の有効な利活用は今後の期待の大きい領域であり、都市機能の更なる高度化に向けた活用が進められている。地下空間という相対的に深い位置にあるという特徴は地震に対して強い特性を持つ他方で、水害発生時に氾濫水が流れ込みやすく被害を発生させる危険性をも包含する。地下空間の有効な利活用に際しては、安全性の確保が重要であり、水害発生時の迅速な避難行動が人的被害の抑制に対して重要となる。このような水害時の地下空間からの避難について、危険度評価に関する研究成果が示されつつある^{1),2),3),4),5)}。これらの研究成果の中では、主に地下室等から避難する場合のドアの押し開けや流水中の階段からの避難行動、地下空間内に浸水した場合の避難安全性の時間的な変化などに関する結果が示されている。

その一方で、近年局所的に降雨強度の強い雨が降る事例が散見されるようになり、中小河川や都市河川の流域では短時間のうちに溢水氾濫や内水氾濫の被害が発生することがある。その結果、周辺と比較して相対的に低い場所で浸水被害が発生し、自動車が水没する事故が何件か報告されている。2008年の夏には京都や栃木で自動車の水没事故が発生し、残念ながら人命が失われる結果となった。これらの事例は高速道路や鉄道の下を通過するアンダーパスにおいて発生したものである。しかしながら、過去の浸水事例において地下駐車場の自動車が被災していることから判断して、地下駐車場や地下に位置する自動車道においても同様の事故が起こることが想像される。従って、浸水時のドアや階段と同様に、水没した自動車からの安全な避難について、その危険度を評価することは重要な課題である。

本研究では、自動車が水没した状況を再現できる実物大の模型を用いて行われた避難体験実験の概要について報告するとともに、自動車水没時の安全な避難行動の限界などについて実験結果から考察する。

キーワード：都市水害・自動車の水没、避難、実物大模型

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 京都大学助教 防災研究所流域災害研究センター

3. 水没時の自動車からの避難体験実験

以下では、自動車の浸水状況を数段階に変化させた条件下での避難実験の結果について示す。実験時の計測項目は被験者がドアを開けて自動車から避難できたかどうか、および避難に要した時間の計測の二つである。これまでにある程度の被験者を集めて行われた避難体験実験は次に示す2回である。

●避難体験実験その1（以下、実験1）

被験者数：14名（全員男性）

年齢構成：20歳代×5名、40歳代×4名、50歳代×3名、60歳代×2名

●避難体験実験その2（以下、実験2）

被験者数：35名（男性33名、女性2名）

年齢構成：20歳代×35名

(1) 体験実験結果（実験1）

実験1は2008年1月に実施された（写真-3）。先に示すように、実験1は実験2と比べて被験者数が少ないものの、幅広い年齢構成の基に実験が行われている。実験1では、前部ドアからの避難体験実験が主であり、後部ドアからの避難体験実験は1つの水深条件のみで行われている。図-2は、実験1の全被験者14名の実験結果をドアの下端からの水深で整理して示したものである。なお、本実験装置では、床面からドア下端までの距離は32cmである。

図中、年代別に結果が色分けされており、また各水理条件別に示された数字は、避難成功率（脱出できた人数÷全被験者数）である。実験結果より、浸水深が増加するに従って、避難成功率が減少しており、

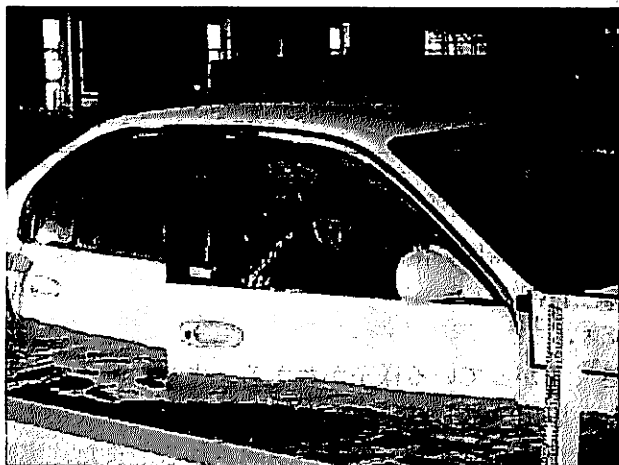


写真-3 実験1の様子（2008年1月）

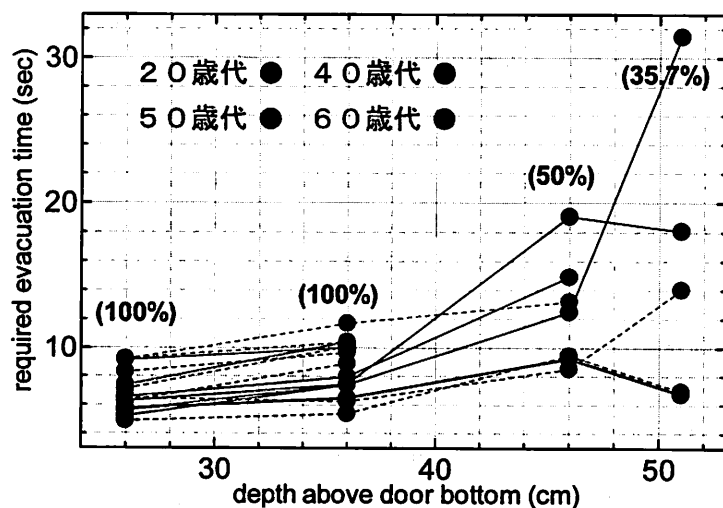


図-2 ドア下端からの水深と避難に要した時間の関係（実験1）



写真-4 実験2の様子 (2008年7月)

左：前部ドア，右：後部ドア

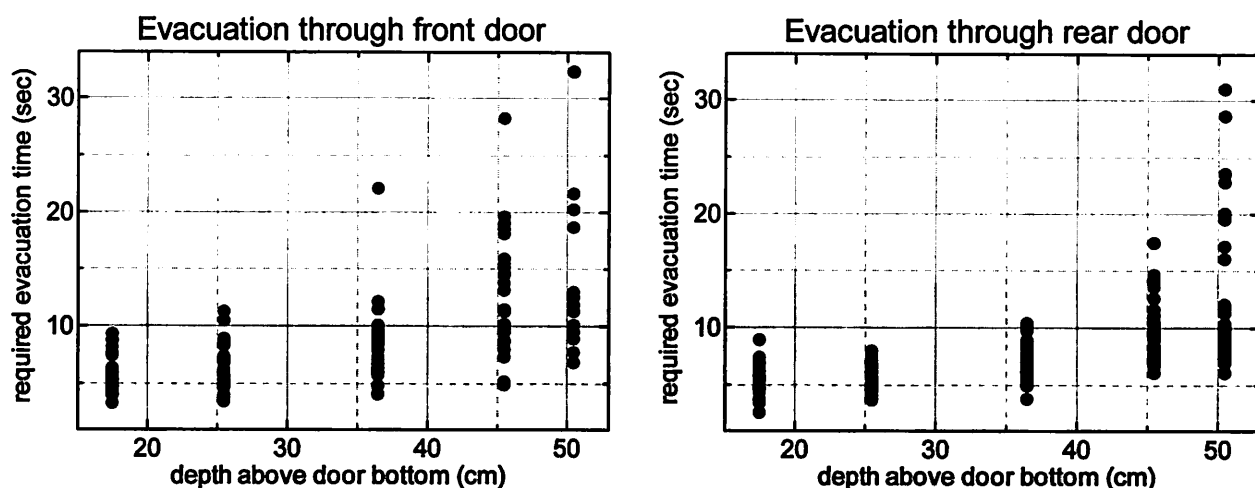


図-3 ドア下端からの水深と避難に要した時間の関係 (実験2)

左：前部ドア，右：後部ドア

ドア下端からの水深が40cmを超えると避難成功率が大きく下がっている様子がわかる。また、避難に要した時間も浸水深の増加に合わせて増える様子が確認され、脱出が厳しい状況となる中で避難には成功するものの、避難に要する時間が大きく増えるという危険な状況になっていることが予想される。また、実験結果の中では浸水深が増えているにも関わらず、避難に要する時間にあまり変化の無い結果をいくつか認めることができる。このような実験結果のばらつきは被験者の個人差に起因するものであり、本実験の結果がある程度の幅を持ったものにならざるを得ない状況を示している。

(2) 体験実験結果 (実験2)

実験2は2008年7月の2日間にわたって行われた (写真-4)。本実験は、実験1とは対照的に全被験者が20歳代という条件であり、30名以上の被験者 (女性2名を含む) を得て実施されている。被験者は設定された浸水深の条件下で、前部および後部ドアからの避難実験を行い、避難の可、不可ならびに避難の際の所要時間が計測されている。

図-3に、全被験者の実験結果を前部および後部ドアのそれぞれについて示す。いずれの結果も実験1の結果と同様に、ドア下端からの水深が増加するにつれて、避難に要する時間が増える傾向が確認される。また先にも述べたように、浸水深が大きくなるにつれて避難に要する時間がその平均値とともにデータのばらつきも大きくなる結果となっている。この結果も個人差に起因するもので、被験者数を増やすことで一定の幅に落ち着く結果になると予想されるが、性別、年齢などによる差が含まれる結果となるので、データのばらつきは止むを得ない結果である。前部ドアと後部ドアの結果を比較すると、後部ドアの実験結果

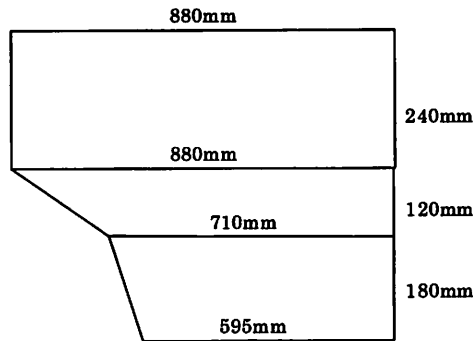


図-4 後部ドアの概形

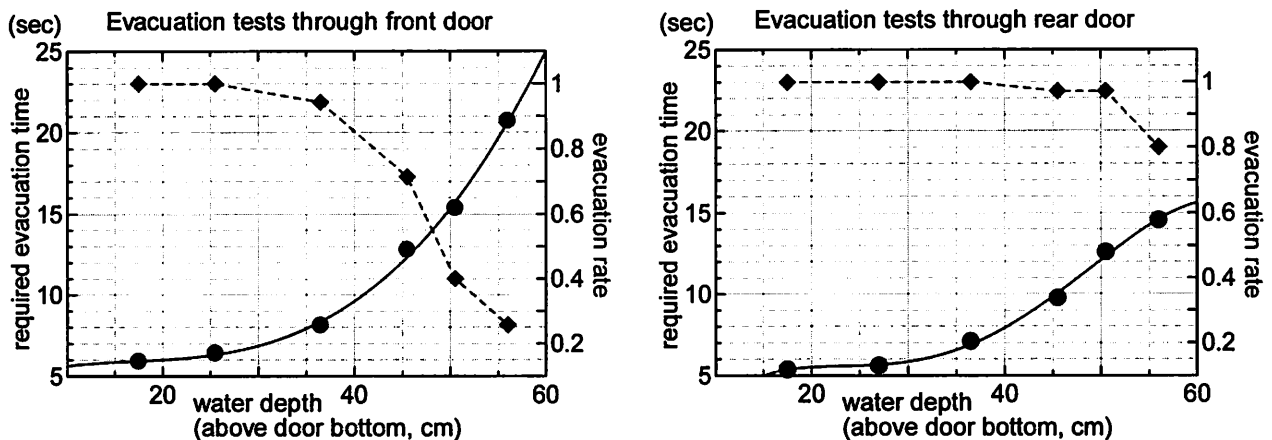


図-5 避難体験実験結果（実験2）

左：前部ドア，右：後部ドア

黒丸：所要時間の平均値，赤菱：避難成功率

では、避難に要する時間が増える度合いが前部ドアの結果と比較して相対的に少なくなっている。これは、後で示す避難時間の平均値でも同じ結果となっており、ドアの形状の違いに伴って作用する水圧に差が生じることによると考えられる。本実験で使用した普通乗用車の前部ドアは、実験中に水没する範囲の横幅が100.5cm程度であり、後部ドアの概形は図-4に示すように後輪のためにドアの下部ほど幅が小さい形状となっている。このようなドアの形状の差異が作用する水圧の差として現れるので、後部ドアの方が避難に要する時間の増加割合が少ない結果になるものと思われる。

実験2における避難に要した時間の平均値（図中黒丸）と避難成功率（図中赤菱）を、ドア下端からの水深で整理した結果を図-5に示す。ここに示した所要時間の平均値は、当該実験条件（浸水深）でドアからの避難に成功した被験者の所要時間の平均値である。先にも述べたように、浸水深が大きくなるにつれて、避難に要する時間が増加している。図中の青線は、避難所要時間の平均値を近似した曲線である。前部ドア、後部ドアともに避難に要する時間が増加する傾向が見られ、特に前部ドアでの増加の割合が大きいことがわかる。図中赤色で示した避難の成功率に着目すると、浸水深の小さい条件から大きい条件に変化するに従って、成功率が急激に減少する様子が確認できる。すなわち、自動車の浸水状況が進行するに従って、避難の可能性が著しく狭まるとともに、仮に避難ができたとしても所要時間が増えることを考え合わせると、浸水条件下でのドアからの避難は、浸水状況の進行に伴って急速に容易ではない状況となることがわかる。

図-6は、図-4で示した実験2の実験結果（前部ドア）と実験1の結果を合わせて示したものである。図中青色でプロットした結果が実験1の結果であり、これらの結果は実験2の結果とほぼ同様の結果となっている。実験1と実験2は異なる時期に異なる被験者集団を対象に行われており、これらの結果がほぼ同等の傾

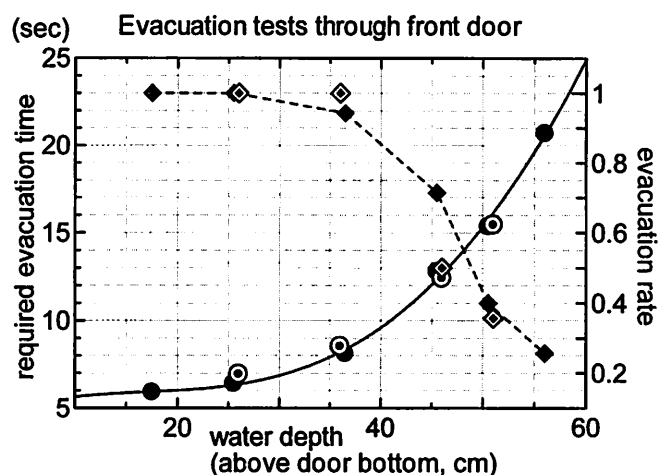


図-6 避難実験体験結果（前部ドア）

黒色、赤色の結果：前出 図-4左、青色の結果：実験1の結果

向を示すことは、被験者数が少ないながらも本実験の結果が水没した自動車からの避難に要する時間ならびに避難成功率の変化の傾向の概略を表すものであると思われる。

4 おわりに

ここでは、実物大の自動車模型を用いて行われた水没時の避難体験実験の結果を示した。本実験では、セダンタイプの普通乗用車を使用し、約50名の被験者の参加を得て避難体験実験を実施した。本実験の結果から、浸水深の増加に伴って避難に要する時間が急速に増大すること、地表面からの浸水深が70～80cm程度（ドア下端からの水深が40cm以上）になると、被験者の避難成功率が急激に低下することが確認された。また、ドアの形状の違いにより作用する水圧の大きさが変化するため、同じ浸水状況では前部ドアに比べて後部ドアが避難に有利となる状況が確認された。

ただし、ドアを通じての避難状況は車種、ドアのタイプによって異なることが予想され、避難行動に際しての被験者間の個人差も考慮に含める必要があるため、自動車のドアからの避難に関する危険度評価においては、避難限界などの指標がある程度の幅を持つことに留意する必要がある。

謝辞：本実験装置（自動車模型）の設置には、国土交通省の建設技術研究開発助成を受けた。本研究の避難実験データの整理には、関西大学工学部4回生の青柳政樹氏の協力を得た。また、本実験に参加していただいた方々および関係者の皆様に記して謝意を表します。

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, 京大防災年報第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, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第11巻, pp. 163-170, 2006. 1.
- 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, pp. 583-588, 2006. 3.
- 4) 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. 3.
- 5) 大西良純, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一：地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用, 水工学論文集, 第52巻, pp. 841-846, 2008. 3.