

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23310109

研究課題名(和文)クルマ社会の水害脆弱性の検証とその対応策に関する研究

研究課題名(英文)Study of flood vulnerability of motorized society and its countermeasures

研究代表者

戸田 圭一(TODA, Keiichi)

京都大学・経営学研究科・教授

研究者番号：70273521

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、洪水氾濫時の車に関連する水難事故の危険性や車もたらず災害助長特性、すなわち車社会の水害脆弱性を、様々な水理実験ならびに数値解析手法を駆使して明らかにしたものであり、得られた主な知見は以下のとおりである。

実物大の半水没の自動車模型を用いた避難に関する体験実験からは、水深75cm程度がスライド式のドアからの避難限界であること、車模型を用いた水理実験からは、実物換算で流速毎秒2m以上かつ水深0.5m以上の氾濫流の条件下で車が漂流する危険性が高いことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In flooding, low-lying streets and underpasses are common sites of accidents with submerged cars. In the case flooding is severe, cars are floated and flushed away. We executed two main research activities on car problems, namely, (1) experiment study of evacuation from a partially submerged car, and (2) experiment study of incipient floating motion of car in flooding.

(1)Evacuation experiments were conducted by using a real-size car model. A small minivan with a slide type rear door was used. The experimental results indicate that the water depth of about 0.75 m is the critical evacuation condition through the slide type door. (2) The critical incipient condition was studied experimentally, using the 1/10 and 1/18 scale car models. On the base of experimental results, we could draw the diagram of critical incipient condition of real car by both flow velocity and water depth. Sedan typed cars are likely to be floated if the flow velocity exceeds 2m/s and the water depth exceeds 0.5m.

研究分野：防災水工学

キーワード：都市水害 漂流車 水没車 避難実験 水理実験 氾濫解析 流体力 自転車

1. 研究開始当初の背景

昨今の水害を特徴づけるものとして、車に関連した水難事故がある。2008年8月には栃木県鹿沼市の東北自動車道下のアンダーパスで冠水による自動車の浸水事故が発生し、不幸にも軽自動車の中で1名が亡くなっている。また2010年7月には岐阜県可児市を襲った集中豪雨で、河川からの氾濫により車が流され、死者・行方不明者が3名発生している。氾濫水のなかで車は制御が効かなくなるどころか、一つタイミングを誤ると人が脱出することさえ困難となる。上に述べた水難事故以外にも、洪水氾濫時には過去にも自動車に関係した被害が多数発生している。

このように水害時の車に関係する問題は防災上、水工学上、大変重要な研究テーマと考えられるが、これまで本格的な研究はほとんど行われてきていなかった。洪水氾濫時の車に関連する水難事故の危険性や車もたらす災害助長特性を明らかにするとともに、その対応策を提言していくことが喫緊の課題であった。

2. 研究の目的

本研究は、洪水氾濫時の車に関連する水難事故の危険性や車もたらす災害助長特性、すなわち車社会の水害脆弱性を、様々な水理実験ならびに数値解析手法を駆使して明らかにするとともに、得られた成果をもとにその対応策を提言していくものである。大きく以下の4項目に分けられる。

- (1) 実物大の自動車模型を用いた避難に関する実験研究
- (2) 洪水氾濫時の車の漂流挙動に関する実験研究
- (3) 実物の自転車を用いた氾濫時の避難に関する実験研究
- (4) 洪水氾濫時の車に関わる様々な被害軽減策の提言

3. 研究の方法

- (1) 実物大の自動車模型を用いた避難に関する実験研究

図1のような水位を調節できる水槽の横に実物大の車を設置して、様々な水深に対して被験者が車から脱出する際の難しさについて検討した。以前に実施したセダンタイプの車に加えて、運転席のドアが押しあけ式ドア、後ろのドアがスライド式ドアの実物大のミニバン模型を用いて人間を被験者とした体験実験を実施した。実験の様子を図2に示す。



図1 実物大の車模型と水槽



図2 車からの避難実験の様子

- (2) 洪水氾濫時の車の漂流挙動に関する実験研究

- ①車の漂流限界ならびに漂流速度に関する実験

都市域での洪水氾濫時に、どの程度の流れの状態でも車が流され始めるか、またその後、どのような漂流速度で流されるかについて、車模型を用いた水理実験を実施した。

幅1m、長さ10mの直線水路の中に、縮尺1/10のセダン型の車模型ならびに縮尺1/18のミニバン型模型を設置し、水理条件を種々変化させて、車模型が漂流する限界となる条件を実験的に見出した。その後、漂流限界を超えた条件での車模型の漂流速度を、ビデオ撮影から求めた。車模型は実物と見かけの密度をほぼ合わせたものを用い、サイドブレーキを模してタイヤ部分にガムテープを付したケースや車の向きを変化させたケースの実験を実施した。実験時の車模型の様子を図3に示す。



図3 実験時の車模型の様子

- ②急傾斜地での車の漂流実験

洪水氾濫時の車の漂流や衝突過程を定性的に検討するために、縮尺1/60程度の仮想の急傾斜市街地模型に車模型を設置して通水し、一種の物理シミュレーションを実施した(図4参照)。市街地模型は急傾斜の道路や交差点、道路沿いの建物を取りこみ、また、氾濫水により車が浮遊・漂流・堆積するような状況を表現できるものとしている。

- (3) 実物の自転車を用いた氾濫時の避難に関する実験研究

長さ約10m、幅1mの直線水路に水を流した状況の中で、実際に被験者に2種類の自転車をこいでもらい、その所要時間を計測し、走行速度を求め、非浸水の条件下での時間と比較するとともに、実験後のアンケート調査を実施し、その難しさを尋ねた。実験は、流



図4 実験での車の漂流の様子

速 25cm/s, 50cm/s の条件下で実施し、水深を 40cm まで 10cm 刻みで変化させた。被験者の実験データ、ならびにアンケート結果を分析することにより、氾濫時の避難の限界指標（正常に自転車を動かすのが難しくなる状態を示す指標）を求めた。実験の様子を図 5 に示す。



図5 自転車による氾濫時の避難体験実験

4. 研究成果

(1) 実物大の自動車模型を用いた避難に関する実験研究

ミニバンの後部座席からスライドドアを開けての避難では、水深 75cm 程度が避難限界（被験者の 50% が何とか避難できる状況）となった。この値は、以前に実施したセダンタイプの小型自動車の運転席からの避難限界（75 cm～80 cm）と概ね一致している。ただし、最初の動きでは、ドアを若干押した後に横に動かすという行動を強いられることに注意を要する。

(2) 洪水氾濫時の車の漂流挙動に関する実験研究

①車の漂流限界ならびに漂流速度に関する実験

車の漂流限界状態で得られた抗力係数をもとに、力のつりあいから実物に換算した漂流限界判読図を作成した。その際には、実物での静止摩擦係数、車の空隙率、乗客や荷物の積載による追加質量を考慮している。その結果、流れ場の流速が 2m/s を超えて、かつ水深が 0.5m を超えると、流れ方向に設置された車が漂流する危険が高くなる。とくに、セダン型の車では明らかに漂流すると考えられる。

また模型実験より、セダン型の車模型では、いったん車が漂流しはじめると、漂流速度は、流れ場の平均流速の 70% 程度になることも明らかとなった。

②急傾斜地での車の漂流実験

道路上に設置する車模型の位置や台数を変化させて車の移動の様子を調べたところ、実験より、交差点付近で漂流した車が停止して衝突・堆積する状況が現れたり、下流端で車が激しく重なり合うような状況が現れたりすることが確認された。

(3) 実物の自転車を用いた氾濫時の避難に関する実験研究

浸水の影響のない通常の状態での歩行速度 1.33m/s (時速 4.8 km) と同等の自転車の走行速度は、流速 50cm/s では水深 20cm のときに、流速 25cm/s では水深 30cm のときに現れた。通常の歩行者と同じ速度でしか自転車をこげない状況で、まとまった距離を移動するというのは現実には相当困難であると考えられる。一方、体験者のアンケートによると、避難可能水深として「30cm 以下」との回答が約 8 割を占めた。

以上より総合的にみて、自転車走行は流れの影響を少なからず受けるものであり、流速 50cm/s 以下の流速の範囲では、水深 30cm 程度が自転車による避難の限界と考えられる。

(4) 洪水氾濫時の車に関わる様々な被害軽減策の提言

①半水没状態のスライドドアの車からの避難脱出限界指標を提示することにより、冠水したアンダーパスへの侵入行為は大変な危険を伴うこと、いざという時に窓ガラスを壊して脱出するために、先の尖ったハンマーを常備しておくことを訴えている。

②車の漂流限界指標を、過去に実施した京都市域での氾濫解析、大阪梅田地区での内水氾濫解析に適用した。京都市内中心部で鴨川が毎秒 100m³ 溢れるとの条件での氾濫シミュレーションによると、市内中心部で車が漂流する危険性のある箇所が見出された。また、大阪梅田地区を対象として、平成 20 年 8 月の岡崎豪雨を想定した内水氾濫シミュレーションを実施したところ、地下駐車場で浸水が発生し、場所によっては車が漂流する危険性があることが明らかとなった。

これらの解析結果をとおして、氾濫時の車の漂流の危険性を強く訴えている。また、氾濫時には車の使用を控えるように強く呼びかけている。

③半水没の車からの脱出避難の実験や氾濫時の自転車避難の実験の様子は、ビデオや画像等に整理しており、防災教育の場で有効に活用される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 25 件)

- ① 大西孝弘・岡本隆明・戸田圭一・石垣泰輔：都市水害時の地下駐車場への浸水と水没車の漂流挙動に関する研究，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 20 巻，土木学会・地下空間研究委員会，pp. 147-154，2015，査読有
- ② Toda, K., Baba, Y. and Ishigaki, T.: Evacuation Experiment from a Partially Submerged Car, IAHR-APD2014,(USB), Hanoi, Vietnam, 2014, 査読有
- ③ 戸田圭一・石垣泰輔・菊池未紗・島野睦大・馬場康之：氾濫時の自転車による避難に関する体験実験，河川技術論文集第 20 巻，土木学会水工学委員会河川部会，pp. 409-412，2014，査読有
- ④ 戸田圭一・石垣泰輔・岡本香奈・島田広昭：地下駐車場の浸水や地下調節池での雨水貯留を表現できるモデルによる水防災教育，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 19 巻，土木学会・地下空間研究委員会，pp. 117-120，2014，査読無
- ⑤ 戸田圭一：地下浸水とその備え，2013 年度（第 49 回）水工学に関する夏期研修会講義集 A コース，土木学会水工学委員会・海岸工学委員会，A-3-1 ~ A-3-14，2013，査読無
- ⑥ 高橋祐樹・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：浸水した大規模地下駐車場からの避難に関する検討，土木学会論文集 F2（地下空間研究），Vol. 69, No. 1, pp. 1-10, 2013, 査読有
- ⑦ Toda, K., Ishigaki, T. and Ozaki, T.: Experimental Study on Floating Cars in Flood Water, International Conference on Flood Resilience: Experiences in Asia and Europe, (USB), Exeter, United Kingdom, 2013, 査読有
- ⑧ 浅野統弘・尾崎平・石垣泰輔・戸田圭一：密集市街地における内水氾濫時の歩行避難および車両移動の危険度評価，土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 69, No. 4, pp. I_1561-I_1566, 2013, 査読有
- ⑨ Toda, K., Ishigaki, T., Baba, Y. and Ozaki, T.: Educational activities for urban flood damage reduction using unique facilities, Floods: From Risk to Opportunity (IAHS Pub.357), pp.135-142, 2013, 査読有
- ⑩ 石垣泰輔・戸田圭一：1982 長崎豪雨災害から 30 年，6. 都市水害の実験による検証 - その 1 水害時の車に関わる事象 -，自然災害科学，Vol. 31, No. 3, pp. 192-195, 2012, 査読無
- ⑪ 戸田圭一：都市水害への備え，都市問題，Vol. 103, 後藤・安田記念東京都市研究所，pp. 21-25, 2012, 査読無
- ⑫ Fukakusa, S., Toda, K. and Uno, N.: Prediction of Traffic Difficulties Caused by Inundation Due to Heavy Rainfall in Kyoto City, Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol.30,

No.2, pp.77-89, 2012, 査読有

- ⑬ 戸田圭一・石垣泰輔・尾崎平・西田知洋・高垣裕彦：氾濫時の車の漂流に関する水理実験，河川技術論文集第 18 巻，土木学会水工学委員会河川部会，pp. 499-504, 2012, 査読有
- ⑭ 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一：水没した自動車からの避難に関する体験実験（その 2），地下空間シンポジウム論文・報告集，第 17 巻，土木学会・地下空間研究委員会，pp. 187-192, 2012, 査読無
- ⑮ 石垣泰輔：都市型水害の減災と防災 - 都市型水害の実態と防災対策 -，日本推進技術協会，月刊推進技術，第 26 巻，第 2 号，pp. 3-6, (株) LS プラニング，2012, 査読無
- ⑯ 尾崎平・石垣泰輔・戸田圭一：高密度商業地域における内水氾濫の脆弱要因に関する考察 - 2011 年 8 月 27 日大阪の豪雨を対象として -，土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 68, No. 4, pp. I_1009-I_1014, 2012, 査読有
- ⑰ 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一・中川一：実物大モデルを用いた地下浸水の避難困難度に関する実験的研究，土木学会論文集 F2（地下空間研究），Vol. 67, No. 1, pp. 12-27, 2011, 査読有

[学会発表] (計 16 件)

- ① 戸田圭一：アンダーパス浸水時の自転車による避難に関する体験実験，平成 26 年度土木学会全国大会，大阪大学豊中キャンパス（大阪府豊中市），2014 年 9 月 11 日
- ② Toda, K.: Evacuation Experiment by Bicycle in Flood Water, AOGS2014, Royton Sapporo Hotel, Sapporo, Japan, 2014 年 8 月 1 日
- ③ 石垣泰輔：氾濫時の自転車による体験型避難実験，平成 26 年度土木学会関西支部年次学術講演会，大阪産業大学中央キャンパス（大阪府大東市），2014 年 5 月 31 日
- ④ 岡本隆明：大規模氾濫時の車の漂流限界に関する実験的研究，平成 26 年度土木学会関西支部年次学術講演会，大阪産業大学中央キャンパス（大阪府大東市），2014 年 5 月 31 日
- ⑤ 石垣泰輔：地下浸水と地下の雨水貯留を表現できるミニチュアモデルによる水防災教育，平成 25 年度土木学会全国大会，日本大学生産工学部津田沼キャンパス（千葉県習志野市），2013 年 9 月 4 日
- ⑥ 石垣泰輔：水没車の漂流限界条件に与えるフルード数の影響について，平成 25 年度土木学会関西支部年次学術講演会，大阪市立大学杉本キャンパス（大阪市），2013 年 6 月 8 日
- ⑦ 尾崎平：水災害時の水没車に作用する流体力と抗力係数に関する実験，平成 24 年度土木学会全国大会，名古屋大学東山キャンパス（名古屋市），2012 年 9 月 7 日
- ⑧ Toda, K.: Prediction of Traffic Difficulties Caused by Inundation due to Heavy Rainfall in Kyoto City, 18th IAHR-APD Congress, ICC Jeju,

Jeju Island, Korea (韓国・済州島), 2012年8月22日

⑨戸田圭一: 氾濫時の車の移動限界に関する水理実験, 平成24年度土木学会関西支部年次学術講演会, 神戸市立高等専門学校(神戸市), 2012年6月9日

⑩石垣泰輔: 水災害時における水没車の漂流に関する実験的研究, 平成24年度土木学会関西支部年次学術講演会, 神戸市立高等専門学校(神戸市), 2012年6月9日

⑪石垣泰輔: 洪水氾濫時の車の限界掃流条件に関する模型実験, 第30回日本自然災害学会学術講演会, 東京大学生産技術研究所(東京都目黒区), 2011年11月17日

⑫Toda, K.: Education Activities for Urban Flood Reduction Using Unique Facilities, 5th International Conference on Flood Management, UDX-Akihabara, Tokyo, Japan, 2011年9月28日

⑬馬場康之: 水没したスライドドア車からの避難に関する検討, 平成23年度土木学会全国大会, 愛媛大学城北キャンパス(松山市), 2011年9月8日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

報道関係など

①戸田圭一: 日本経済新聞「増える都市水害車は危険?」, 2015年4月5日

②石垣泰輔: 読売テレビ開局55年記念番組「ミヤネと学ぶ 南海トラフ超巨大地震「極限の選択」M9.1を生き延びろ!」, 2014年3月8日

③石垣泰輔: NHK かんさい熱視線「津波が大都市を襲う~その時何が 最新研究~」, 2012年5月18日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸田 圭一 (TODA Keiichi)

京都大学・経営学研究科・教授

研究者番号: 70273521

(2) 研究分担者

石垣 泰輔 (ISHIGAKI Taisuke)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号: 70144392

米山 望 (YONEYAMA Nozomu)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 90371492

川池 健司 (KAWAIKE Kenji)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 10346934

馬場 康之 (BABA Yasuyuki)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 30283675

岡本 隆明 (OKAMOTO Takaaki)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号: 70599612

(3) 連携研究者

尾崎 平 (OZAKI Taira)

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号: 40351499