

## 5. 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—

戸田 圭一\*・石垣 泰輔\*\*

#### 5.1 はじめに

洪水氾濫時には自動車に関係した被害が多数発生している。古くは1982年7月の長崎豪雨時に、長崎市内で、水没した自動車により多くの人が犠牲となっている。斜面都市の長崎では氾濫水が流下、拡散し、その影響で車が流されて被害を増大させており、今ふりかえれば、長崎豪雨災害は昨今話題となっている都市水害のいわば原点のような水害といっても過言ではない。

最近の水害を見ても、車に関わる被害は後をたない。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人が亡くなっている。さらに、2010年7月に岐阜県可児市を襲った集中豪雨では、河川からの氾濫水により車が流され、死者・行方不明者が3人にのぼる惨事が発生している。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。

また、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震の後の巨大津波によっても、多くの車が漂流物となり、被害を大きくしたことは記憶に新しい。

私達の研究グループでは都市水害時の車に関係する研究を行っているが、そのなかでも大型実験施設（京都大学宇治川オープンラボラトリ）で実験的な研究を進めているところに特色があるといえる。ここでは、（1）実物大の車を用いた水没した車からの避難実験、（2）洪水氾濫時の車の漂流限界に関する模型実験、そして、現在手がけ始めたところであるが、（3）小スケールの模型を用いた急傾斜市街地での車の漂流実験について、その概要を紹介することとする。

#### 5.2 水没した車からの避難実験

都市での氾濫時に、水没している鉄道や道路下のアンダーパスに誤って車が進入したり、地下駐車場で車が浸水したりする事態は十分に起こり得るものであり、浸水した車からの脱出がどれほど困難かを明らかにするために、実物大の模型を用いた体験型の避難実験を行っている（馬場ら、2010）。

写真5-1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。実験の様子を写真5-2に示す。水深の上昇につれて自動車のドアに作用する水圧が増大し、押し開けが困難になる。さらに、座位での押し開けであり、立位の場合に比べて発揮できる力は小さくなる。図5-1は、成人男性35人の体験者による結果をまとめたものである。図の横軸は、ドア下端を基準とした水深であり、これに32cmを加えると地面からの水深となる。図より、前部ドアからの避難の方が、所要時間が長く、浅い水深で避難成功率が下がっている。これは、ドアの大きさによる全水圧の差異が原因であり、前部ドア（運転席ドア）からの避難が後部ドアよりも難しいことを示している。実験結果より、地面からの水深が80cmを超えると前部ドアの押し開けが困難になることがわかる。なお、この結果は、車種を変

\* 京都大学防災研究所

\*\* 関西大学

えてスライドドアで行ってもほぼ同じであった(馬場ら, 2011)。さらに, 水没した車から何とか避難したとしても, 水深の大きい条件下での避難を考えると, その後の歩行避難も難しい。

一連の実験結果は, 万一, 車が浸水, 水没した際には, 直ちに避難を開始することが何よりも重

要であることを私達に再認識させるものである。

### 5.3 洪水氾濫時の車の漂流実験

都市域での洪水氾濫時に, どの程度の流れの状態 で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から明らかにしてきている(戸田ら, 2012)。

#### (1) 実験内容と従来の研究との関係

幅 1 m, 長さ 10 m 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写真 5-3 に示す。



写真 5-1 実物大の車模型と水槽

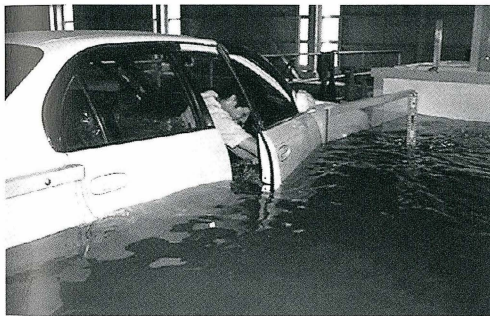


写真 5-2 実物大の車からの避難実験



写真 5-3 実験時の車模型の様子

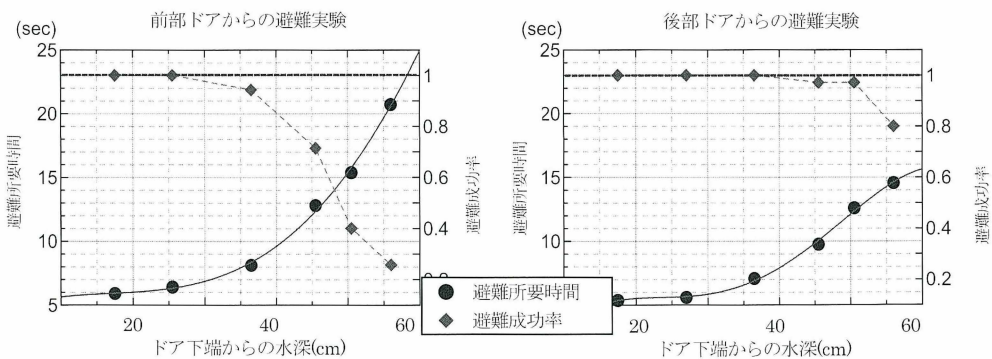


図 5-1 前部ドア（左図）および後部ドア（右図）からの避難所要時間と成功率

次に、実験での漂流限界状態での水平方向の力の釣り合いから、車に作用する流体力の抗力係数を、車の模型の向きごとに水深の関数として求め、その係数をもとに実際の事象での車の漂流限界を求めている。

なお漂流限界については、押川ら（2011）が、車模型に作用する流体力を三分力計によって計測し、抗力係数、揚力係数を算出することより求めているが、ここでは、車が流される状況をつくる水理実験から、直接、漂流限界を求め、それをもとに抗力係数を算出し、車の向きも、流れに直角な方向だけでなく平行な方向も扱っている。また、Shu et al.（2011）も、車模型を用いた通水実験を実施して模型の漂流限界を求め、若干の補正を含めてその値をフルードの相似則から実物値に換算しているが、模型と実物の静止摩擦係数の違いや車の中に侵入する水によって生じる浮力の減少については考慮していない。

## （2）得られた主な知見

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、押川らにならい、実物での静止摩擦係数 $\mu$ 、車の空隙率 $p$ 、乗客や荷物の積載による追加質量 $M'$ を考慮している。図5-2は、セダン型、ミニバン型それぞれの判読図である。図の白い記号は、流れ方向におかれた車の漂流限界、黒い記号は、流れに直角な方向におかれた押川らの漂流限界結果である。

図5-2より、流れ場の流速が2 m/sを超えて、かつ水深が0.5 mを超えると、流れ方向に設置された車が漂流しだす危険が高くなる。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。これは、車の空隙を考慮していないものの、Shu et al.の小型自動車、小型トラックの漂流限界の結果とも一致している。また流れの方向は異なるものの、押川らの小型自動車の結果も同様である。

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だすと、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。

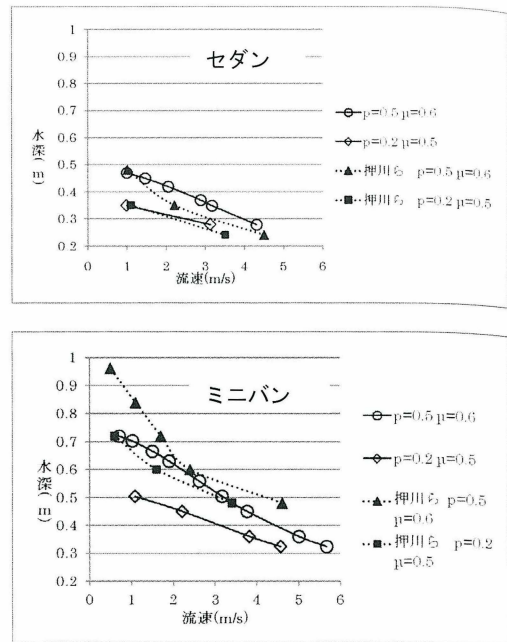


図5-2 漂流限界判読図 ( $M'=100\text{kg}$ )

## 5.4 急傾斜市街地での車の漂流実験

神戸や長崎のような急傾斜の斜面を含む都市では、洪水氾濫時に車が流れ、互いに衝突するような危険性が十分予想される。

急傾斜の都市で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ている。市街地模型は、写真5-4に示すように、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。

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ているが、実験より、交差点付近で漂流した車が停止して堆積する状況が現れたり（写真5-5）、下流端で車が激しく重なり合うような状況が現れたりしている。

## 5.5 おわりに

洪水氾濫であれ、津波氾濫であれ、都市水害時に漂流する車が、人や構造物に危害をもたらすこ



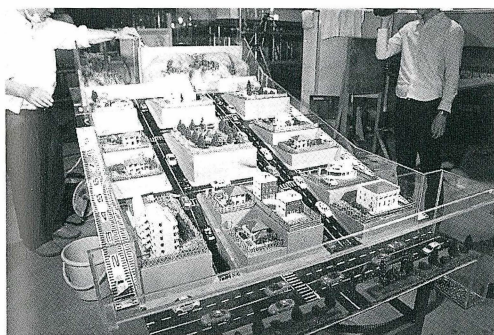


写真5-4 小スケールの急傾斜市街地模型

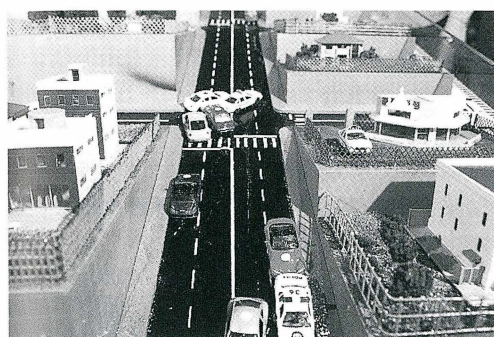


写真5-5 漂流後の車の様子

とには十分すぎる注意が必要である。また車のみならず市中の様々な物も漂流物となり得る。大規模な氾濫時に漂流物がもたらす危険事象の予測ならびにその対応策がこれからの重要な研究課題である。

最後に、共同研究者として、ともに研究を進めてきている京都大学防災研究所・馬場康之准教授に、この場を借りて謝意を表す。

### 参考文献

- 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一：水没した自動車からの避難の難しさ，京都大学防災研究所年報第53号 B, pp. 553-559, 2010.
- 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一：水没した自動車からの避難の難しさ（その2），京都大学防災研究所年報第54号 B, pp. 465-470, 2011.
- 押川英夫・大島崇史・小松利光：冠水時の自動車通行の危険性に関する研究，河川技術論文集第17巻，土木学会水工学委員会河川部会，pp. 461-466, 2011.

Shu, C., Xia, J., Falconer, R.A. and Lin, B.: Incipient velocity for partially submerged vehicles in flood waters, *Journal of Hydraulic Research*, Vol.49, No.6, pp.709-717, 2011.

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.