

内水氾濫時における地下駐車場への浸水に伴う 水没車の漂流について

CAR FLOATING IN AN UNDERGROUND PARKING BY PLUVIAL FLOODING

森本 陽介^{1*}・石垣 泰輔²・尾崎 平³・戸田 圭一⁴

Yosuke MORIMOTO^{1*}, Taisuke ISHIGAKI², Taira OZAKI³, Keiichi TODA⁴

There are many underground car parking in a densely urbanized area. This kind of parking is prone to inundation by pluvial, fluvial, storm surge and tsunami flooding. There is a possibility that cars are flashed out by intruding water on the slope of entrance to parking lots because the flow is so rapid. In this paper, critical condition of floating car was tested experimentally for several flow conditions on mild and steep slope. The results show that the condition depends on Froude number of flows. Velocity is dominant in sub-critical flow conditions, and flow depth is the main factor in super critical flow conditions. By using the results, the vulnerability of underground parking in a densely urbanized area was discussed on the basis of pluvial flooding calculated by a commercial program.

Key words: car floating, underground parking, pluvial flooding

1. はじめに

近年, 気候変動の影響により, 計画以上の降雨の発生頻度が増加傾向にあり, 各地で水害を引き起こし, 車両が流されるなど問題となっている。また, 都市化の進展に伴い都市部において計画規模を超える降雨による内水氾濫の危険性が増加している。内水氾濫が生じ, アンダーパス等や地下駐車場が浸水することで自動車が水没し, 流される危険性も高まっている。地下空間への実際の災害例としては 2009 年 11 月 11 日に和歌山市で集中豪雨が発生し, その際和歌山市の地下駐車場が浸水する被害が生じた。同様の被害が発生する可能性がある大阪梅田には, 広大な地下街が広がっており, 地下駐車場に限定しても J R 大阪駅南側だけで 6 か所存在する。もしそのような土地で地上が氾濫すると地下空間に氾濫水が侵入し甚大な被害が生じると考えられている。また, 大震災

に伴う津波では多くの車両が流されることが知れた。このような災害で発生する道路上を流れる氾濫水の先端は高速流となり, 人や構造物に被害を与える。このことから車両がどの程度の条件で流され始めるのかを明らかにする必要がある。

高垣ら¹⁾は車模型を使い, 車が動き始める水深や流速を限界掃流条件とし, 車が流され始める条件について考察している。しかしながら, 限られた水理条件下での検討であり, 広範囲の条件での検討が残されている。

また, 高橋ら²⁾は地下駐車場にも存在する多層構造駐車場の安全避難について考察している。ドア模型を使った実験により, 避難者が避難に要する時間や浸水解析結果を用い, 地下駐車場の浸水速度などを明らかにしている。しかし, 車の掃流条件や出入り口付近の車の滞留が考慮されておらず, 出入り口付近の車の滞留の様子を検討することによって, 地下駐車場における避難解析の精

キーワード: 水没車の漂流, 地下駐車場, 内水氾濫

¹正会員 関西大学大学院 理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Kansai University, (E-mail:k475616@kansai-u.ac.jp)

²正会員 関西大学 環境都市工学部 Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

³正会員 関西大学 環境都市工学部 Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

⁴正会員 京都大学大学院 工学研究科 Graduate school of Engineering, Kyoto University

度を上げる必要があると考えられる。

本研究では模型実験により、既往の研究では取り扱われていない広範囲の水利条件下における限界掃流条件を検討することを第1の目的としている。またその実験結果を氾濫水が高速流となることが予想される梅田地区の地下駐車場の出入り口付近に適用し、内水氾濫によって発生する氾濫水が地下駐車場に流入する際の危険性について検討することを本研究の第2の目的とする。

2. 対象地域における地下駐車場

梅田地区は西日本を代表する繁華街であり、その地区内には6か所の大規模地下駐車場が存在する。地上からの進入路の勾配は5%程度である。坂の勾配が0.5%を越えると流れが射流となるために氾濫水の流速は高速になると考えられる。そのため、水災害に氾濫水が流入することで、地下駐車場の出入り口付近は危険性が高くなる。対象とした地下駐車場の出入り口の位置を図-1に示す。また、地下駐車場の出入り口の向き・マウンドアップの高さ・出入り口の幅を表-1に示す。



図-1 地下駐車場の分布図

表-1 出入り口の向き・マウンドアップの高さ・
出入り口幅

	入り口の向き	マウンドアップ	出入り口幅(m)
A	南向き	15cm	4.44
B	西向き	なし	3.19
C	北向き	15cm	4.22
D	南向き	5cm	4.23
E	西向き	なし	5.25
F	東向き	なし	5.21

3. 水没車の掃流条件に関する実験

(1) 実験方法

実験には関西大学内の水利実験場にある幅50cm、長さ13mの可変勾配直線水路を用いた。この水路に写真-1に示す実物の18分の1のミニバンの模型、写真-2に示す実物の16分の1のスポーツセダンの模型を設置し、流水実験を行った。2種類の車模型を用いることで車種による違いについても検討した。設置角度については写真-3に示す通り、上流向きを角度0°、下流向き角度180°としている。なお2車種とも駐車している車を想定しているため、後輪をガムテープで固定することによって、サイドブレーキを掛けた状態を表現した。

実験では模型の重量を補正し、模型と実物の見かけの密度の比率が1となることを確認し、車模型の重心を車の中心に調整した。実験で得られた結果をフルードの相似則を用いて実物値に変換した。これ以降の実験結果のすべての数値は実物値で示す。実験方法は水路の流量を変化させるとともに車模型の向きを変化させ、車両の掃流状況を観察した。

また、勾配は水平、1/800、1/400、1/200、1/100、1/50の6ケースの勾配を設定した。1/200、1/100、1/50の3ケースの流れは射流となった。1/50の勾配は角度にすると1.1°であり、一般的な道路にも多く存在する。また、車の向きを考慮することで水を受ける向きや形状がどのような影響を与えるかを検討した。



写真-1 ミニバン-0°、180°



写真-2 スポーツセダン-0°、180°



ミニバン-0° ミニバン-180°

写真-3 車模型の設置角度

(2) 実験結果

本実験で得られたミニバン、スポーツセダンの限界掃流条件を水深と流速で整理したものが表-2、表-3、表-4、表-5である。また実験結果はすべて実物値に換算している。なお、限界掃流条件は車が水の流れにより動きはじめる状態(模型値で約5mm移動した状態)を判断の基準として求めた。また、実験結果を整理した結果が図-2、図-3である。ミニバン、スポーツセダンとも丸いマークが0°での結果であり、四角いマークが180°の結果である。射流状態の場合、0°と180°のミニバンタイプの実験結果を見ると、すべてのケースでほぼ同程度の流速で、0.4m程度の水深で流れ始めることがわかる。一方、スポーツセダンでは水深0.3m程度で流れ始めることがわかる。両車模型が流れ始めた水深はそれぞれのバンパーに相当する高さであり、水がバンパーに当たることで、急激に車に作用する流体力が大きくなり、流れ始めたと考えられる。常流の場合、流速に注目するとミニバンにおいて0°、180°の両パターンともに限界掃流条件の水深は変化しているが流速はほぼ一定の値であることがわかる。これは流速が遅い流れでは、水深が十分にあったとしても、掃流されるためにはある程度の流速が必要であり、実物換算値で約1.4m/sを越えないと流れにくいという結果が得られた。また、ミニバン・スポーツセダンともに向きの違いによる限界掃流条件に大きな差は見られなかった。

これらの実験結果から氾濫水が射流となるような箇所では、水深がバンパーを越えるほどの深さになると車が流される可能性があるということがわかった。

表-2 限界掃流条件(ミニバン-0°)

0°	0	1/800	1/400	1/200	1/100	1/50
流速(m/s)	1.36	1.45	1.40	2.02	2.72	3.89
水深(m)	0.94	0.68	0.60	0.39	0.35	0.36
フルード数	0.47	0.56	0.58	1.03	1.46	2.07

表-3 限界掃流条件(ミニバン-180°)

180°	0	1/800	1/400	1/200	1/100	1/50
流速(m/s)	1.47	1.43	1.50	2.10	2.73	3.90
水深(m)	1.03	0.67	0.57	0.40	0.34	0.36
フルード数	0.46	0.56	0.63	1.06	1.50	2.07

表-4 限界掃流条件(スポーツセダン-0°)

0°	0	1/800	1/400	1/200	1/100	1/50
流速(m/s)	1.20	1.28	1.50	1.94	3.13	3.58
水深(m)	0.64	0.54	0.41	0.35	0.32	0.27
フルード数	0.48	0.57	0.75	1.04	1.77	2.20

表-5 限界掃流条件(スポーツセダン-180°)

180°	0	1/800	1/400	1/200	1/100	1/50
流速(m/s)	1.41	1.33	1.48	1.92	2.80	3.55
水深(m)	0.58	0.55	0.53	0.33	0.30	0.26
フルード数	0.59	0.57	0.65	1.07	1.63	2.22

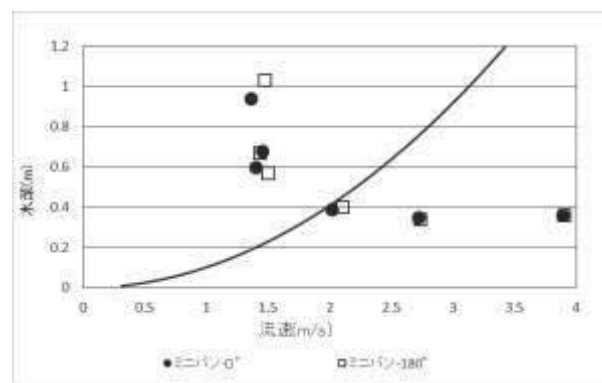


図-2 限界掃流条件(ミニバン)

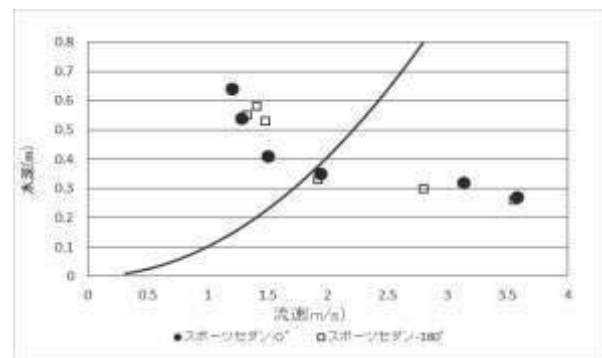


図-3 限界掃流条件(スポーツセダン)

4. 内水氾濫時の検討

(1) 解析条件

ここでは、InforWorksCSを用いて内水氾濫計算を行った。本研究では実績豪雨である岡崎豪雨を想定して解析

を行った。岡崎豪雨は平成20年8月に発生した豪雨であり、東海地方を中心に記録的な大雨となった。愛知県の各所で時間雨量100mm以上を記録し、中でも岡崎市では時間雨量146.5mmが記録された。

(2) 解析結果

岡崎豪雨を想定した場合の地下駐車場への氾濫水の流入を調べると、すべての地下駐車場に流入することがわかった。各駐車場の流入量を示したグラフが図-4である。また、同様に各駐車場の水深の変化グラフにしたものが図-5である。図より、流入量、水深ともにF駐車場への流入量が最大となることがわかり、最大で $4\text{m}^3/\text{s}$ を超える流入が発生する。石垣ら³⁾の研究により出入口での水深が30cmを越えると、歩行者の地下空間からの避難が困難になるということが指摘されていることを考慮すると、最大水深が30cmを越えているB駐車場、C駐車場、F駐車場では地下駐車場からの避難において避難困難者が生じる恐れがある。また、出入口付近から地下駐車場へ誤って人が流される事態が発生する可能性もある。

地下駐車場の出入口付近で車が流される危険性があるのは氾濫水の水深と流速が限界掃流条件を越えている場合である。表-2～5の結果より、限界掃流条件の下限値を用い、ミニバンでは水深0.34m、流速2.02m/s、セダンでは水深0.26m、流速1.92m/sを掃流限界とし、各駐車場の出入口の流れがこれらの条件を上回る流量を求めた。なお、進入路の勾配を5%、粗度係数を0.015として設定条件を上回る流量を算定した。図-6はB駐車場とF駐車場の流量のグラフとB駐車場におけるスポーツセダンが流される流量とF駐車場におけるスポーツセダンとミニバンが流される流量を描いたものである。F駐車場において駐車場への流入量が実線で表されている流量 $3.47\text{m}^3/\text{s}$ より多くなる7020～10620秒の間はミニバンが流され、同様に駐車場への流入量が破線で表されている流量 $2.48\text{m}^3/\text{s}$ より多くなる6480～12000秒の間ではスポーツセダンも流されることがわかった。B駐車場においては駐車場への流入量が一点鎖線で表されている流量 $1.57\text{m}^3/\text{s}$ より多くなる6300～10200秒の間はスポーツセダンが流されることがわかった。このような車が流される可能性のある出入口の通行を制限する必要がある。

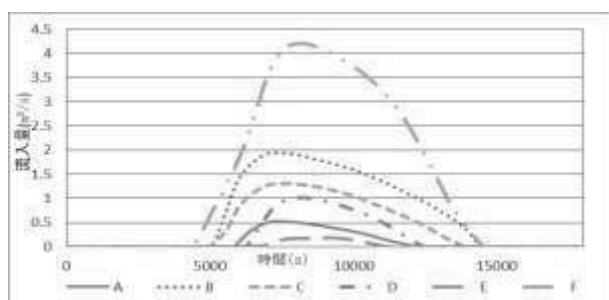


図-4 地下駐車場への流入量

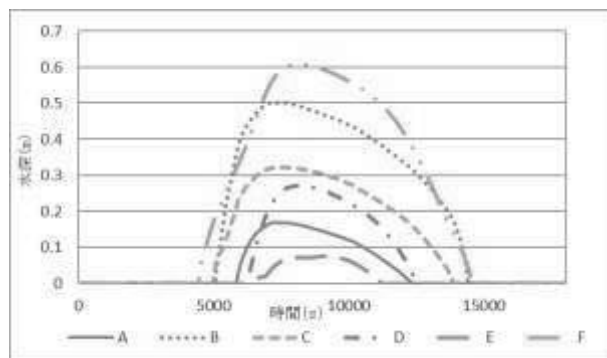


図-5 地下駐車場の出入口の水深

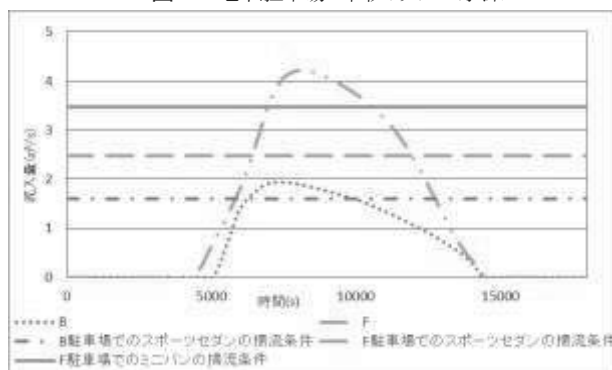


図-6 B, F駐車場の流量と車の掃流条件

5. おわりに

本報告では、勾配を有する通路上の流れを対象とした模型実験結果に基づき、車の漂流限界条件と流れとの関係を示した。また、その結果を用い、内水氾濫時に浸水が予測される地下駐車場における車の漂流について検討したが、このような車の水没・漂流は、アンダーパスや路上でも発生する。また、2012年10月のニューヨークを襲ったハリケーン・サンディでも高潮による浸水で地下の駐車場や地下トンネルに氾濫水が流入して車両被害が発生したように、内水氾濫のみならず、高潮氾濫、外水氾濫、津波氾濫による車の水没・漂流に対する対応が必要である。今後は、このような水災害時についても検討して行く予定である。

参考文献

- 1) 高垣裕彦, 石垣泰輔, 戸田圭一, 西田知洋: 水災害時における水没車の移動限界に関する実験的研究, 土木学会関西支部年次学術講演会, 講演概要集, II-27, 2011.
- 2) 高橋祐樹, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一: 浸水した大規模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, pp1-10, 2013.
- 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, 土木学会水工学論文集, 第50巻, pp583-588, 2006.