

関西大学大学院理工学研究科 学生員 ○高橋 祐樹
 関西大学環境都市工学部 非会員 根来 悠司
 関西大学環境都市工学部 正会員 石垣 泰輔
 京都大学防災研究所 正会員 馬場 康之
 京都大学防災研究所 正会員 戸田 圭一

1. はじめに

近年、都市部において下水処理能力を超える 1 時間雨量 50mm 以上の激しい集中豪雨が増加傾向にある。雨水が地下施設（アンダーパス等）に流れ込むと、自動車が水没する危険性もある。実際に 2008 年 7 月 28 日には京都府向日市で、2010 年 7 月 15 日には岐阜県可児市でアンダーパスが浸水し、自動車が水没する事故が発生している。これを受け高橋らは普通自動車（セダントイプ車）を用いて、どの程度までの水深なら脱出できるのかについて検討した¹⁾。本研究ではスライド式ドア車を用いて、車種の違いで脱出限界水深が変わるのか検討した。また、実験から得られる結果を用いて避難解析を行い、避難開始の遅れが避難にどのような影響を及ぼすのか、また、車種の違いによりどのような影響が生じるのかを京都府向日市のアンダーパスを想定したモデルを用いて検討した。

2. 水没車からの脱出限界水深に関する検討

実験では、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーに設置されている実物大の自動車模型を用いた。被験者 27 名（男性 23 名）に対し水没車からの浸水深を変化させて脱出実験を行い、脱出成功率、脱出所要時間を調べた。脱出成功率、脱出所要時間の計測結果を図 - 1 に示す。脱出成功率について、従来の研究のセダントイプ車、本研究のスライドトイプ車、可搬式ドアを比較したグラフを図 - 2 に示す¹⁾。脱出に関しては、スライドドアではドアの構造が他のドアと違うので少しの誤差が出たものの、全水圧に依存していることがわかる。よって、車種の違いではなくドアの形状の違いに関係していることがわかった。図 - 3 に示す曲線は、水深とドアを開けるために必要な力の関係を表している。この曲線は各水深におけるドアを開けるために必要な力を計測し、それぞれ得られた値を近似した曲線である。このグラフを用いて脱出限界水深を求める。成人男性がドアを押すことのできる力は体重の 20%~70%とされており、成人男性が水没車から脱出できる水深の範囲をここに表す¹⁾。ここで成人男性の体重は、平成 20 年度体力・運動能力調査を参考に 65kg とした。すると 0.58m~0.74m という水深の範囲を得ることができた。脱出限界水深は低くて安全な水深を定義しなければならないので、この結果から得られた最小値の値である 0.58m が脱出限界水深である。

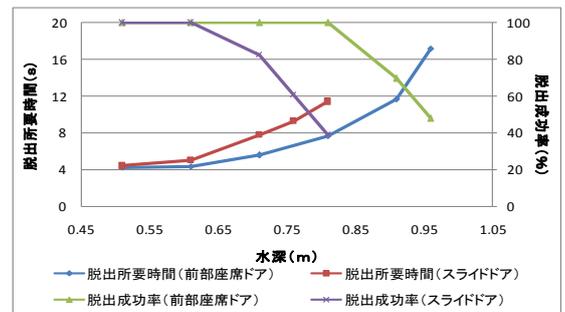


図 - 1 水没車からの脱出実験

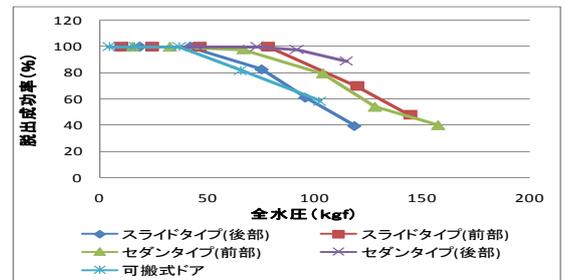


図 - 2 全水圧と脱出成功率の関係

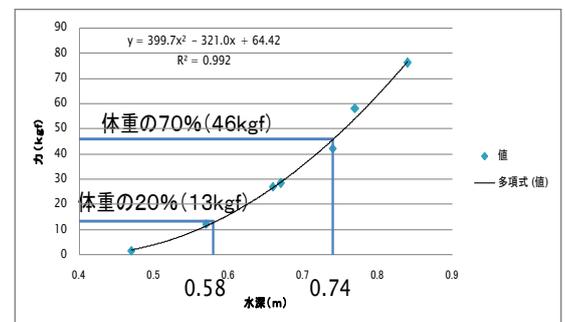


図 - 3 脱出限界水深

3. 水没車からの脱出限界水深に関する検討

浸水計算の対象地として京都府向日市のアンダーパスを対象地として解析を行った。詳細を図-4に示す。平坦部の長さ l と表記し、規模の違いによる比較を検討した。また、車種の違い及び車の配置を変えることでどのような影響を与えるのか検討した。本研究では、正方格子を用いた構造格子モデルを用いて浸水解析を行った。浸水は内水氾濫を想定し、地上部での水深上昇速度を0.02m/分とした。避難の危険度を表すため、従来の研究¹⁾で得られている単位幅比力による避難困難度の指標を参考にした。脱出所要時間において、実験で得られたデータを使用している。本解析では京都府向日市の実物大のアンダーパス($l=160$ m、全長300m)、中規模の仮想アンダーパス($l=80$ m、全長220m)、小規模の仮想アンダーパス($l=10$ m、全長150m)の3つの規模で行い、それぞれ自動車が混雑している時と台数が1台の時の計6ケースで解析を行う。これより規模の大きい順にサイズL、M、Sと称す。そして、それぞれのアンダーパスの中央部から避難を行う。ここで言う避難とは水没車からの脱出と地上までの移動を合わせたものとする。30s毎に避難開始時間を遅らせ、避難開始の遅れがどのような影響を与えるかを検討した。解析結果で得られた避難開始の遅れと避難の成否についてまとめたものを表-1に、避難開始の遅れと避難所要時間をまとめたものを表-2に示す。避難の成否に関しては、規模の違いに依存することがわかり、小規模だと移動距離は短い浸水の速さが速いため早めの避難が必要であることがわかった。また大規模でも浸水の速さは小さいが、移動距離が長いので早めの避難が必要である。また、避難開始の遅れが大きくなればなるほど、全ケースで避難所要時間は長くなることが検討できた。

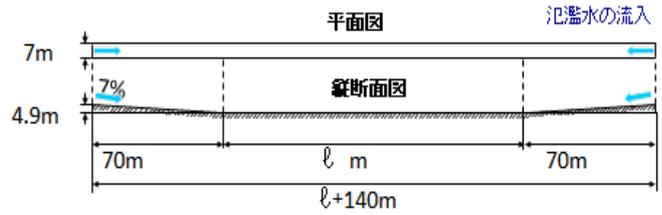


図-4 京都府向日市のアンダーパス

○：避難困難状態にならずに避難することができた。
 △：避難困難状態になったが避難することができた。
 ()内の数値=(避難困難状態になっていた時間(s))/避難所要時間(s)
 ×：避難不可能状態になり、避難することができなかった。

表-1 避難開始の遅れと避難の成否(混雑時)

脱出開始時間	避難困難度(L混雑時)				避難困難度(M混雑時)				避難困難度(S混雑時)			
	スライド		セダン		スライド		セダン		スライド		セダン	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
210									○	○	○	○
240									○	○	○	○
270									○	○	○	○
300									△(0.1)	△(0.09)	△(0.1)	△(0.09)
330					○	○	○	○	x	x	x	x
360	○	○	○	○	△(0.08)	○	△(0.08)	○				
390	○	○	○	○	△(0.23)	△(0.14)	△(0.21)	△(0.21)				
420	△(0.1)	△(0.11)	△(0.1)	△(0.11)	△(0.43)	△(0.43)	△(0.43)	△(0.43)				
450	△(0.29)	△(0.29)	△(0.27)	△(0.24)	x	△(0.47)	x	△(0.47)				
480	x(0.89)	x(0.88)	x(0.78)	x(0.78)		x		x				

表-2 避難開始の遅れと避難所要時間(混雑時)

脱出開始時間	避難所要時間(s)(L混雑時)				避難所要時間(s)(M混雑時)				避難所要時間(s)(S混雑時)			
	スライド		セダン		スライド		セダン		スライド		セダン	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
210									90	90	90	90
240									90	90	90	90
270									90	100	90	100
300									100	110	100	110
330					120	130	130	130				
360	180	180	180	180	130	130	130	130				
390	190	180	190	180	130	140	140	140				
420	200	190	200	190	140	140	140	140				
450	210	210	220	210		150		150				
480												

4. まとめ

本研究からスライド式ドア車の脱出限界水深は0.58mであり、従来の研究で得られた0.56mと比べても大きな差はなく、脱出成功率、脱出所要時間に関しても同じことが言える。そのため、車種の違いよりもドアに掛かる水圧に関係することがわかった。避難に関しても、車種による違いは差がなく、アンダーパスの規模の違いが避難の成否に関係することがわかった。

<参考文献>：1) 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
 地下空間シンポジウム論文・報告集、第16巻、pp141-146、2010年1月。
 2) 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一・中川一：水没した自動車からの避難に関する実験的研究、
 土木学会水工学論文集 第53巻、pp. 853-858、2009年2月。