水没したスライドドア車からの避難に関する検討

関西大学大学院　学生員　○高橋　祐樹
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，地球規模の気候変動に伴う局所的な集中豪雨の増加が問題とされている．それに加え，地面が浸透能力の少ないアスファルトやコンクリートで被覆され，また，限られた土地を有効利用するために地下空間が形成されてきた事から，都市部において下水処理能力を超える降雨が降った場合，内水氾濫が生じ，地下空間に雨水が流れ込む危険性が高まっている．実際に2008年8月27日には栃木県鹿沼市の東北自動車道下が冠水し，人が自動車に閉じ込められるという被害が生じた．先の報告では，セダンタイプの自動車模型を用いて行われた避難体験実験[1)]，および自動車水没時の安全な避難行動[2)]についての考察を行った．本研究では，浸水時のスライドドアによる避難体験実験，さらにはスライドドアを開ける際に必要となる力の計測，避難体験実験と力の計測の結果で算出した脱出限界水深は車種の違いに影響するか検討する．

2．自動車からの避難体験実験

実験に用いた実物大の自動車模型の概要を図 1 に示す．装置は小型のワンボックスタイプの自動車と浸水状況を再現するための水槽（図中赤枠内）から構成され，京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内に設置されている．実験装置に使用された自動車は 5 ドアの小型のワンボックスカー（長さ 3.4m，幅 1.5m）であり，床面に固定されている．水槽（長さ 6.0m，幅 1.5m）は自動車の運転席側に設置されている．水槽内の水深は，水槽の一部に設置された角落しの高さを変えることで調節され，水は低水槽を経て循環される．

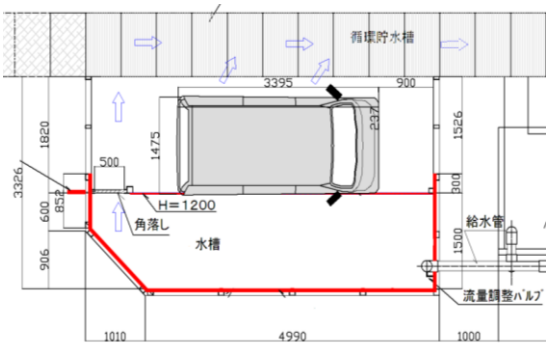

図 1　自動車模型

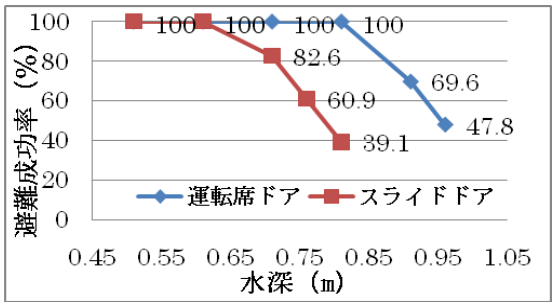

図 2　避難成功率

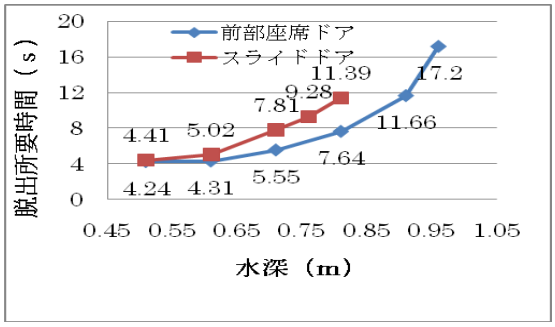

図 3　脱出所要時間

避難体験実験は，2010 年 8 月 3 日，4 日に行われた．被験者数は全 27 名であり，男性 23 名，女性 4 名である．実験では，前部座席ドア（一般的な横開き）と，スライドドアの両方で体験実験を行った．水深条件は，前部座席ドア：6 段階，スライドドア：5 段階と設定した．水深は床面を基準にしている．実験結果では，女性の被験者数が少ないので男性のみの結果を示す．図 2，図 3 には，避難成功率と避難に要した時間をそれぞれ示す．運転席ドアとスライドドアの結果を比較すると，スライドドアからの避難は運転席ドアからの避難よりもより困難であることがわかる．本実験装置では，運転席ドアの面積がスライドドアよりも小さく，水深に応じてドアに作用する全水圧が相対的に小さいことが，両者の実験結果の違いを生む要因の 1 つである．

キーワード　地下空間，水没車，スライドドア，避難体験実験，脱出限界水深
連絡先　〒564-8680　大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号　(06) 6368-1121（代）

３．スライドドアを開ける際に必要な力の計測

スライドドアを開ける際に必要な力を，ロードセル，パワーウィンチ等を用いて計測した．実験時の水深条件，計測された力などを表に示す．計測された値は，車体後方 35 度方向の力で設定したので，①自動車後方向き，②側方向きの成分をそれぞれ求めている．自動車後方向き成分（ドアを後ろに引く力）は，スライドドアがレール上を外向きに移動する際に①−1 後方成分と①−2 側方成分に分解される．上記①と①−2 の和であると仮定すると，表 1 に示す側方成分の力の和が水圧に逆らってドアを外側に押す力となる．水深が大きい条件（水深 0.77m，0.87m）では，ドアを外側に押す力とドアに作用する全水圧がほぼ等しくなっている．一方，水深の小さい条件では，ドアに作用する全水圧よりもかなり小さい力でスライドドアが開く結果となった．

表 1　力の計測結果

		①	①-2	②		
水深(m)	計測値(kgf)	後方成分(kgf)	①の側方成分	側方成分(kgf)	側方成分の和	水圧との比
0.47	2.26	1.85	1.27	1.29	2.57	4.62
0.57	17.44	14.29	9.82	10.01	19.83	1.60
0.66	39.03	31.97	21.97	22.39	44.36	1.30
0.67	40.86	33.47	23.00	23.43	46.44	1.32
0.74	60.82	49.82	34.24	34.88	69.12	1.27
0.77	84.00	68.81	47.29	48.18	95.47	1.05
0.84	110.06	90.16	61.96	63.13	125.09	1.07

４．脱出限界水深の比較

図 4 に示す曲線は，水深とスライドドアを開ける際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際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算出する．平成 20 年度体力・運動能力調査によると，成人男性の平均体重は 65kgf なので，体重の 20%は 13kgf・体重の 70%は 46kgf と導き出すことができ，機械的に測定したドアを開けるのに必要な力の後部座席の曲線に各々の値を代入すると，0.58m～0.74m という水深の範囲の脱出限界水深を算出することができる．脱出限界水深は，その範囲の一番低く，安全な水深を定義しなければならないことから，得られた最小値の値である 0.58m が脱出限界水深であることがわかった．先の報告で，セダンタイプの自動車模型においても同様の方法から，一番低く安全な脱出限界水深を算出されており，その結果は，0.56m とほぼ同様の値であった．これにより脱出限界水深は，車種の違いよりもドアに掛かる全水圧により決まると言える．

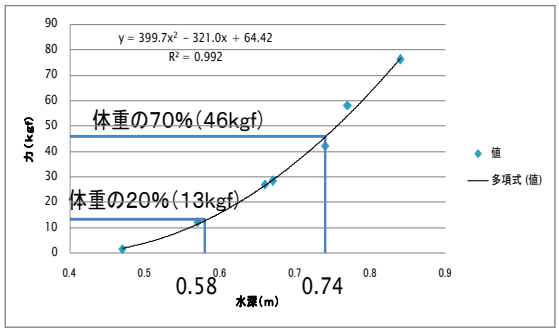

図 4　脱出限界水深

５．まとめ

本研究から，浸水時のスライドドア車による避難体験実験を行うことでわかったことは，車種の違いではなく，ドアにかかる全水圧の大きさが実験結果に影響していることがわかった．また，スライドドア車の後部座席ドアの脱出限界水深は 0.58m が算出でき，従来の研究で算出されたセダンタイプの脱出限界水深 0.56m と比較しても大きな差はなかった．このことから，脱出限界水深においても車種の違いではなく，ドアにかかる全水圧に依存していることがわかった．本検討では，被験者数が十分とは言えず，今後，色々な機会を設けて体験者を募り，実験結果の充実を図っていく予定である．

参考文献

1) 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．
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
地下空間シンポジウム論文報告集 第 16 巻，pp. 141-146，2010 年 1 月．